

Energiestudie Ham District Heating Greenification

Luminus NV

30 december 2025

Contactpersoon

DAVID MERTENS
Expert Energie

T +32 (0)2 505 75 00
M +32 (0)499 96 84 55
E david.mertens@arcadis.com

Arcadis Belgium nv
Koningin Fabiolalaan 190
9000 Gent
België

Inhoudsopgave

1	INLEIDING	5
1.1	Voorwerp van de energiestudie	5
1.2	Doelstelling van de energiestudie	5
1.3	Opdrachtgever	6
1.4	Auteur	6
2	TECHNISCHE BESCHRIJVING VAN DE INRICHTING	7
2.1	Algemene situering	7
2.2	Gedetailleerde beschrijving van de installaties voor productie van warmte (voor het stadsverwarmingsnet)	7
2.2.1	Huidige situatie: WKK en ketels	7
2.2.2	Geplande situatie: extra warmtepompen en e-boiler	10
2.3	Toekomstige werkingsregimes	15
2.3.1	Warmtevraag	15
2.3.2	Warmteproductie	15
3	ENERGIEVERBRUIK EN ENERGIEBALANS	17
3.1	Beschouwde scenario's	17
3.2	Energieverbruik voor warmteproductie in de huidige situatie	18
3.2.1	Brandstofverbruik	18
3.2.2	Elektriciteitsverbruik	19
3.2.3	Finaal energiegebruik en primair energieverbruik	19
3.3	Energieverbruik van de nieuwe installaties	20
3.3.1	Warmtepompen en hulpapparatuur	20
3.3.2	E-boiler en hulpapparatuur	22
3.3.3	Totaal elektriciteitsverbruik	22
3.3.4	Finaal energiegebruik en primair energieverbruik	23
3.4	Energieverbruik voor warmteproductie in de geplande situatie	24
3.4.1	Brandstofverbruik	24
3.4.2	Elektriciteitsverbruik	24
3.4.3	Finaal energiegebruik en primair energieverbruik	25
3.5	Energieverbruik site Ham	26
4	ENERGIE-EFFICIËNTIE	28

4.1	Energie-efficiëntie van het project	28
4.2	Situering ten opzichte van alternatieven	29
4.2.1	Alternatieven voor duurzame warmteproductie	29
4.2.2	Alternatieve warmtebronnen voor warmtepompen	31
4.2.3	Alternatieve koelmiddelen voor warmtepompen	34
4.3	Situering ten opzichte van de stand van de technologie	35
4.3.1	Toetsing aan de BBT-conclusies	35
4.3.2	Toetsing van specifieke componenten aan de stand der techniek	37
4.4	Conclusie	38
5	MOGELIJKE MAATREGELEN TER VERHOOGING VAN DE ENERGIE-EFFICIËNTIE	39
5.1	Identificatie maatregelen	39
5.2	Analyse	39
5.2.1	Het verhogen van de verdampertemperatuur en/of het verlagen van de condensortemperatuur	39
5.2.2	Het in serie schakelen van condensors	40
5.2.3	Rechtstreeks gebruik kanaalwater in verdampers (weglaten van de glycolwatercircuits)	42
5.2.4	Het toepassen van elektromotoren met rendementsklasse IE4 (in plaats van IE3)	44
5.2.5	Het toepassen van UPS-systemen met een ECO-mode	47
5.3	Samenvatting	48
6	CONCLUSIES	51
	COLOFON	52

1 INLEIDING

1.1 Voorwerp van de energiestudie

Voorliggende energiestudie kadert in de aanvraag tot vroegtijdige hervergunning (vernieuwing van de omgevingsvergunning) voor de site Ham te Gent ('elektriciteitscentrale Gent-Ham'), inclusief uitbreiding van de activiteiten met nieuwe warmtepompen en e-boiler, met het oog op een meer duurzame productie van warmte voor het stadsverwarmingsnet.

De geplande uitbreiding heeft als primair doel om de warmteproductie voor het stadsverwarmingsnet, dewelke momenteel wordt ingevuld via aardgasgestookte WKK's (motoren met inwendige verbranding) en aardgasgestookte ketels, gedeeltelijk te verduurzamen door elektrificatie. Concreet zal daarom een deel van de warmtevraag ingevuld worden door aquathermische warmtepompen (dewelke kanaalwater uit het nabijgelegen Achterdok als warmtebron gebruiken) en een e-boiler. De bestaande WKK's en ketels blijven (technisch) ongewijzigd, maar zullen na de uitbreiding minder warmte produceren.

Het eigenlijke stadsverwarmingsnet en de overige processen op de site van de centrale Ham (voornamelijk elektriciteitsproductie via open cyclus gasturbines) worden niet gewijzigd. De energiestudie zal dus enkel als scope hebben om het energieverbruik en de energie-efficiëntie van de nieuwe warmtepompen en e-boiler te onderzoeken.

1.2 Doelstelling van de energiestudie

Volgens de bepalingen uit de wetgeving rond de Omgevingsvergunning moet bij de aanvraag van een omgevingsvergunning bij het aanvraagdossier een energiestudie toegevoegd worden, indien het gaat om de verandering van een ingedeelde inrichting of activiteit met een toekomstig totaal jaarlijks primair energiegebruik van ten minste 0,1 PJ (energie-intensieve inrichting), als die verandering een jaarlijks primair energieverbruik van ten minste 10 TJ met zich meebrengt en als in het verleden reeds een energieplan voor de inrichting of activiteit werd opgesteld. Voor de ondergrens van 10 TJ (voor het jaarlijks primair energieverbruik van de verandering) wordt enkel gekeken naar het energieverbruik van de nieuwe installatie(s) op zich. Een dergelijke energiestudie dient te voldoen aan de bepalingen uit het Energiebesluit¹, en dient opgesteld worden door een aanvaarde onafhankelijke energiedeskundige, op initiatief en onder de verantwoordelijkheid van de exploitant.

Volgende elementen moeten volgens het Energiebesluit in de energiestudie aan bod komen:

- Het verwachte jaarlijks energiegebruik;
- De naam, het adres van de energiedeskundige(n) betrokken bij het opstellen van de energiestudie;
- Een situering van de energie-efficiëntie van de inrichting of onderdeel ervan op basis van een vergelijking met gelijkaardige inrichtingen of onderdelen van inrichtingen die op de markt beschikbaar zijn;
- Een motivering dat de in bedrijf te stellen inrichting de meest energie-efficiënte inrichting is die economisch haalbaar is. De exploitant moet aantonen dat energie-efficiëntere installaties die beschikbaar zijn op de markt of dat maatregelen die extra genomen kunnen worden om de energie-efficiëntie van de inrichting te verhogen, een interne rentevoet hebben van minder dan 13 % na belastingen. De exploitant neemt daarvoor in de energiestudie een vergelijkende tabel op waarin voor al de beschikbare energie-efficiëntere installaties en voor de mogelijke extra investeringen ter verbetering van de energie-efficiëntie de volgende gegevens zijn opgenomen:
 - Een beknopte technische beschrijving;
 - De investeringskost;
 - De voorziene jaarlijkse exploitatiekost;
 - De verwachte energiebesparing ten opzichte van de vooropgestelde installatie;
 - De jaarlijkse financiële opbrengst door deze energiebesparing;
 - De terugverdientijd;
 - De interne rentevoet na belastingen;

¹ Besluit van de Vlaamse Regering houdende algemene bepalingen over het energiebeleid van 19 november 2010, het laatst gewijzigd bij het besluit van de Vlaamse Regering van 8 juli 2022, Art.6.5.1 tot en met 6.5.8

De site Gent-Ham voldoet aan de criteria voor energie-intensieve inrichting, en ook het energieverbruik van de warmtepompen, en e-boiler, die het voorwerp van de aanvraag uitmaken, kan worden ingeschat op meer dan 10 TJ. Naar aanleiding van het toetreden tot de Energiebeleidsovereenkomst 2023-2026 voor VER-bedrijven heeft Luminus tevens een energieplan opgemaakt voor de site Gent-Ham².

Bijgevolg dient een energiestudie bij de omgevingsvergunningsaanvraag gevoegd te worden, waarin echter enkel de nieuwe installaties (warmtepompen, e-boiler en de bijhorende hulpapparatuur) worden behandeld. De bestaande installaties op de site blijven ongewijzigd en vallen buiten de scope van de energiestudie. Evenmin wordt in deze energiestudie een kosten-batenanalyse (in overeenstemming met het Ministerieel besluit van 24 juli 2015 en zoals bedoeld in Addendum R43B bij de omgevingsvergunningsaanvraag) opgenomen. Het geplande project betreft immers geen stookinstallaties.

1.3 Opdrachtgever

De opdrachtgever is:

Luminus NV
Centrale Gent-Ham
Ham 68,
9000 Gent

De contactpersonen zijn:

- Niels Tobback, Project Manager Decarbonisation – telefoon: +32472647609 – e-mail: Niels.Tobback@luminus.be
- Steven Van Caneghem, Site Manager centrale Gent-Ham – telefoon: +3292695009 – e-mail: Steven.VanCaneghem@luminus.be

1.4 Auteur

De studie werd uitgevoerd door:

Arcadis Belgium nv
Koningin Fabiolalaan 190
9000 Gent

De auteur van de studie is:

David Mertens (aanvaarde energiedeskundige)
Expert Energie
Arcadis Belgium NV
M: +32 (0)499 96 84 55
E-mail: david.mertens@arcadis.com

² Energieplan 2023-2026; Luminus NV site Ham; nummer E33

2 TECHNISCHE BESCHRIJVING VAN DE INRICHTING

2.1 Algemene situering

Al bijna een eeuw lang wordt er op de site aan de Ham te Gent elektriciteit geproduceerd. In 1926 werd de eerste kolengestookte elektriciteitscentrale er in dienst genomen door de stad Gent, en sinds 1958 wordt vanuit de centrale ook een stadsverwarmingsnet gevoed. In de loop der jaren onderging de centrale diverse (ingrijpende) wijzigingen.

Luminus, de huidige eigenaar van de centrale, produceert momenteel elektriciteit op de site met behulp van drie aardgasgestookte open cyclus gasturbines of OCGT's (2 x 58 MWe en 1 x 39 MWe) en drie aardgasgestookte motoren met inwendige verbranding (die ook warmte leveren). De geproduceerde elektriciteit wordt geïnjecteerd in het lokaal vervoersnet van netbeheerder Elia (36 kV) en het distributienet van netbeheerder Fluvius (12 kV). Ook het stadsverwarmingsnet is nog steeds operationeel, en bestaat momenteel eigenlijk uit twee geschieden netten: een net Noord (Ius) en een net Zuid (antenne). Via deze netten levert Luminus voornamelijk warmte voor ruimteverwarming (aan gebouwen in de residentiële en de dienstensector). Tot de klanten behoren onder meer het ziekenhuis AZ Sint-Lucas, diverse gebouwen van de Universiteit Gent, het gerechtsgebouw en de nieuwe woonunits op de Tondeliersite. De jaarlijkse vraag naar warmte op het stadsverwarmingsnet bedraagt ongeveer 63 GWh. De vertrektemperatuur varieert naargelang het seizoen hoofdzakelijk tussen 85°C en 95°C, maar ligt soms nog hoger (bij extreme koude). De retourtemperatuur schommelt rond 65°C.

Momenteel wordt de benodigde warmte voor het stadsverwarmingsnet (samen met de benodigde warmte voor enkele kleinere, interne warmte-afnemers) voornamelijk geproduceerd door middel van kwalitatieve warmtekrachtkoppeling, met behulp van de eerder vermelde aardgasgestookte motoren met inwendige verbranding. Daarnaast wordt ook warmte geproduceerd met aardgasgestookte ketels (een warmwaterketel en meerdere stoomketels). Deze ketels fungeren vooral als piek- en backup-eenheden. Er is immers ook een warmtebuffer (warmwatertank) met een warmtecapaciteit van +/- 100 MWh voorzien op de site, die kan helpen om warmteproductie (via WKK) en warmtevraag op mekaar af te stemmen. Het benodigde aardgas voor de inwendige-verbrandingsmotoren en de ketels wordt aangeleverd via het Fluxys-netwerk op een druk van circa 50 bar, en wordt op de site geëxpandeerd naar lage druk in een eigen aardgasontspanstation.

Luminus wenst de productie van warmte voor het stadsverwarmingsnet te verduurzamen, en de ermee verbonden emissies van broeikasgassen te reduceren. Diverse opties werden overwogen in een haalbaarheidsonderzoek, op basis waarvan elektrificatie van de warmteproductie met behulp van aquathermische warmtepompen (met kanaalwater uit het nabijgelegen Achterdok als warmtebron) werden weerhouden als beste optie. Om snel te kunnen inspelen op eventuele opportuniteiten op de elektriciteitsmarkten (zoals negatieve prijzen op onbalansmarkten), werd ook een e-boiler toegevoegd.

Het zijn precies deze warmtepompen en e-boiler die het voorwerp uitmaken van voorliggende energiestudie. In volgende paragrafen worden deze installaties en hun belangrijkste hulpapparatuur meer in detail beschreven. Gezien ze ook nauw verbonden zijn met de andere installaties die warmte produceren voor het stadsverwarmingsnet, lichten we ook deze installaties kort toe.

2.2 Gedetailleerde beschrijving van de installaties voor productie van warmte (voor het stadsverwarmingsnet)

2.2.1 Huidige situatie: WKK en ketels

Momenteel wordt op de site Ham warmte geproduceerd uit aardgas, door middel van kwalitatieve warmtekrachtkoppeling (motoren met inwendige verbranding) en ketels (een warmwaterketel en meerdere stoomketels). Er is ook een warmtebuffer voorzien. Het overgrote deel van de geproduceerde warmte wordt gebruikt voor warmtelevering aan derden via het stadsverwarmingsnet; een klein deel gaat naar interne warmte-afnemers binnen de site (aardgasvoorverwarming, verwarming van de gebouwen,...). In deze energiestudie wordt enkel de productie van warmte voor het stadsverwarmingsnet behandeld.

Het retourwater van beide stadsverwarmingsnetten (Noord en Zuid) komt binnen de muren van de centrale Ham samen in een collector ('retourcollector'). Vanuit deze retourcollector stroomt het water naar een tweede collector (de 'vertrekcollector') doorheen één van meerdere parallelle warmtewisselaars. In elke van deze warmtewisselaars wordt de warmte van een warmtebron (WKK's, warmwaterketel, buffertank, stoomnet – maar vroeger bijvoorbeeld ook restwarmte uit de rookgassen van de intussen uit dienst genomen STEG-eenheid) overgedragen naar het warmtenet. In de vertrekcollector komen alle parallelle circuits weer samen, en worden alle stromen dus gemengd. De warmtewisselaar van de buffertank kan ook in omgekeerde zin (dus van de 'vertrekcollector' naar de 'retourcollector') worden doorstroomd om de buffer 'op te laden'.

Vanuit de vertrekcollector vertrekken de twee netten (Noord en Zuid): de circulatiepompen van elk net zorgen ervoor dat het vereiste debiet uit de vertrekcollector wordt aangezogen. Na de circulatiepompen bevindt zich in elk net nog een warmtewisselaar (Noord: Laufer; Zuid: Timmerman) die aan de secundaire zijde verbonden is met het stoomnet. In geval van hoge warmtevraag, kan in deze warmtewisselaars ('naverwarmers') kan de temperatuur van het water in elk warmtenet individueel worden opgedreven (in theorie tot circa 125°C, in praktijk zelden hoger dan 105°C).

Hieronder worden de verschillende installaties voor warmteproductie verder omschreven.

WKK-installatie CHP70 bestaat uit twee identieke motoren met inwendige verbranding (CHP71 en CHP72), en werd gebouwd in 2013. De motoren van CHP70 hebben een (bruto) elektrisch vermogen van circa 2,7 MW en kunnen tot circa 2,9 MW aan nuttige warmte leveren (door warmterecuperatie uit de koelcircuits van de motor en uit de rookgassen).

Een gemeenschappelijke centrifugaalpomp zuigt retourwater van het stadsverwarmingsnet aan uit de retourcollector, en pompt het naar de in parallel opgestelde CHP71 en CHP72. Er is ook een tweede, identieke pomp voorzien, maar deze fungeert als reserve. De pomp zorgt ervoor dat er – wanneer de motoren in werking zijn - steeds een voldoende waterdebiet naar de motoren stroomt om deze te kunnen koelen. Elke motor beschikt over warmtewisselaars die warmte halen uit de koelvloeistoffen van het motorblok, alsook over een rookgaskoeler. De warmtewisselaars kunnen met behulp van kleppen in serie of in parallel geschakeld worden. Gezien water op een hogere temperatuur (95°C) gewenst is, is serieschakeling aangewezen.

Het aardgas dat als brandstof voor de motoren fungeert, wordt (in beperkte mate) voorverwarmd in een gemeenschappelijk platenwarmtewisselaar, met behulp van retourwater van het stadsverwarmingsnet. Het aardgas op hoge druk, afkomstig uit het Fluxys-net, wordt immers op de site ontspannen, waardoor de temperatuur daalt. De voorverwarming moet de aardgastemperatuur opnieuw binnen de voorgeschreven range brengen

Op basis van historische meetgegevens werden volgende cijferwaarden bepaald:

- Gezamenlijk netto elektrisch vermogen: 5258 kW
- Gezamenlijk nuttig warmtevermogen: 5746 kW
- Gezamenlijk thermisch inputvermogen (brandstofverbruik): 12644 kW (LHV)
- Netto elektrisch rendement: 39,81%
- Netto thermisch rendement: 45,44%

De werkelijke vermogens en rendementen kunnen in de toekomst uiteraard licht afwijken van de vermelde waarden. Er wordt echter aangenomen dat deze waarden, voor de doeleinden van deze energiestudie, voldoende representatief zijn voor de toekomstige werking van CHP71 en CHP72.

WKK-installatie CHP80 bestaat uit één enkele motor met inwendige verbranding en werd gebouwd in 2018. Ook deze motor beschikt over twee centrifugaalpompen (waarvan één in dienst, en één als reserve), die een voldoende debiet aan water verzekeren om de motor steeds te kunnen koelen. Diverse warmtewisselaars zorgen voor overdracht van water uit die koelcircuits van de motor naar het stadsverwarmingsnet, waarna rookgaskoelers zorgen voor een verdere opwarming tot de gewenste temperatuur van 95°C.

Op basis van historische meetgegevens werden volgende cijferwaarden bepaald:

- Netto elektrisch vermogen: 4287 kW
- Nuttig warmtevermogen: 4856 kW
- Thermisch inputvermogen (brandstofverbruik): 10237 kW (LHV)
- Netto elektrisch rendement: 41,49%
- Netto thermisch rendement: 47,43%

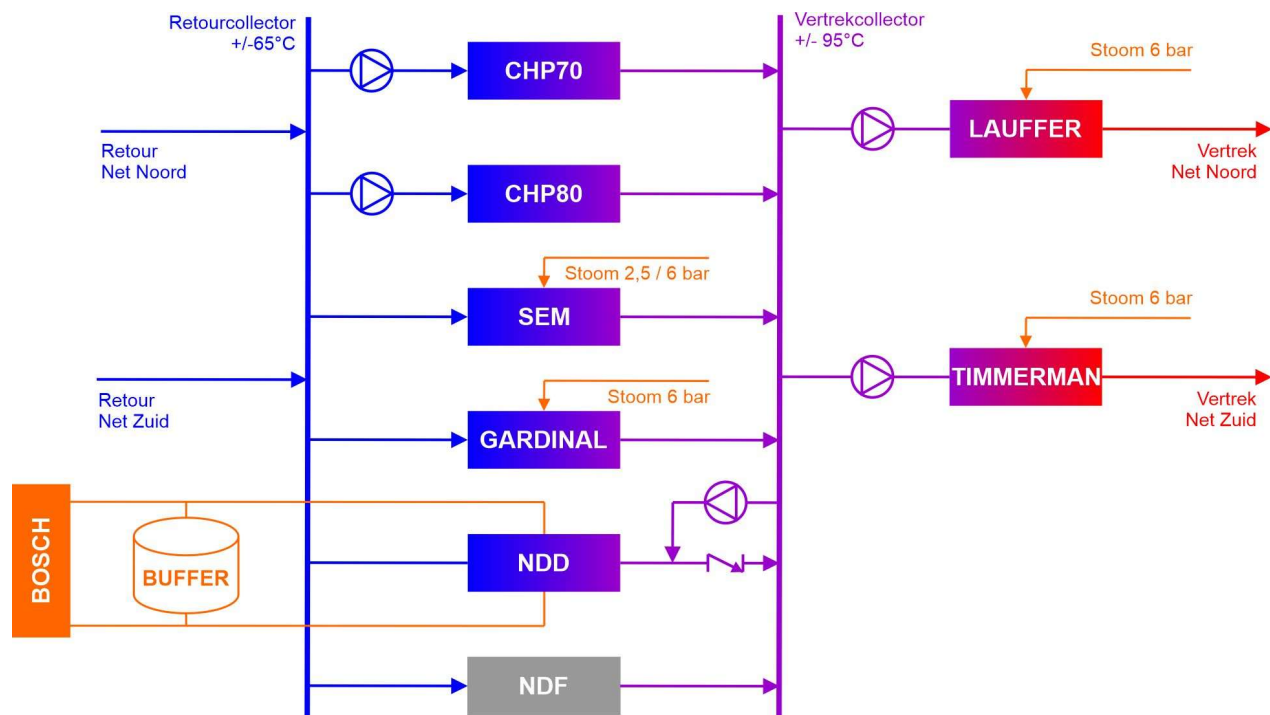
De werkelijke vermogens en rendementen kunnen uiteraard licht afwijken van de vermelde waarden. Er wordt echter aangenomen dat deze waarden, voor de doeleinden van deze energiestudie, voldoende representatief zijn voor de toekomstige werking van CHP80.

De **Bosch-warmwaterketel** is een moduleerbare ketel, met een maximaal thermisch outputvermogen van 4500 kW en een gemiddeld rendement (ten opzichte van de onderste verbrandingswaarde) van 89%. Bij vollastwerking kan een hoger rendement worden bekomen, maar de ketel heeft in praktijk een sterk fluctuerende belasting met veel starts en stops.

De **stoomketels** worden gemakshalve als een geheel beschouwd, maar bestaan in praktijk uit meerdere stoomketels met diverse vermogens. Het rendement van de stoomketels wordt geschat op 80% (LHV). Het totaal nuttig warmtevermogen is voldoende om de stadsverwarming van warmte te voorzien indien geen van de andere eenheden operationeel is. Het is echter de bedoeling van Luminus om deze ketels zo weinig mogelijk te gebruiken, en prioriteit te geven aan andere eenheden, dewelke vaak ook energiezuiniger en kostenefficiënter zijn. Bij erg hoge warmtevraag worden ze echter wel gebruikt om de temperatuur van het water in de steekleidingen van het warmtenet te verhogen boven 95°C (warmtewisselaars Lauffer en Timmerman). Dit is uiteraard enkel nodig bij koude buitentemperaturen. Het stoomnet, en bijgevolg ook de stoomketels, worden daarom tijdens de zomerperiode uit dienst genomen. Er wordt aangenomen dat dit geldt voor de periode van half april tot half oktober, al wordt dit in realiteit mee bepaald door de weersomstandigheden.

Historisch werd ook warmte gerecupereerd uit de rookgassen van de STEG-centrale (via warmtewisselaar NDF), en kon ook stoom worden afgetapt uit de stoomturbine van de STEG om (via het interne stoomnet) warmte te leveren aan het stadsverwarmingsnet). Sinds een aantal jaren wordt de gasturbine van de STEG-eenheid echter uitsluitend als open cyclus gasturbine (OCGT) uitgebaat, waardoor deze opties zijn komen te vervallen. Ze worden dan ook niet meer opgenomen in de verdere analyse en berekeningen.

De **warmwaterbuffer** is een omgebouwde stookolietank, met een capaciteit van circa 4500 m³. Deze tank werd voorzien van de nodige apparatuur om als stratificatiebuffer (gelaagde buffer) gebruikt te kunnen worden. Uitgaande van 90% nuttige inhoud en een temperatuurregime in de buurt van 70°C/90°C, betekent dit een nuttige warmte-inhoud van circa 100 MWh. De buffertank wisselt zijn warmte uit met het stadsverwarmingsnet via een warmtewisselaar (NDD), die bij de gangbare temperatuurregimes een vermogen heeft van circa 10 MW. Ook de Bosch-warmwaterketel maakt gebruik van dezelfde warmtewisselaar om warmte te leveren aan het net.



Figuur 2-1: Schematisch overzicht van de verschillende installaties voor warmteproductie t.b.v. het warmtenet, in de huidige situatie

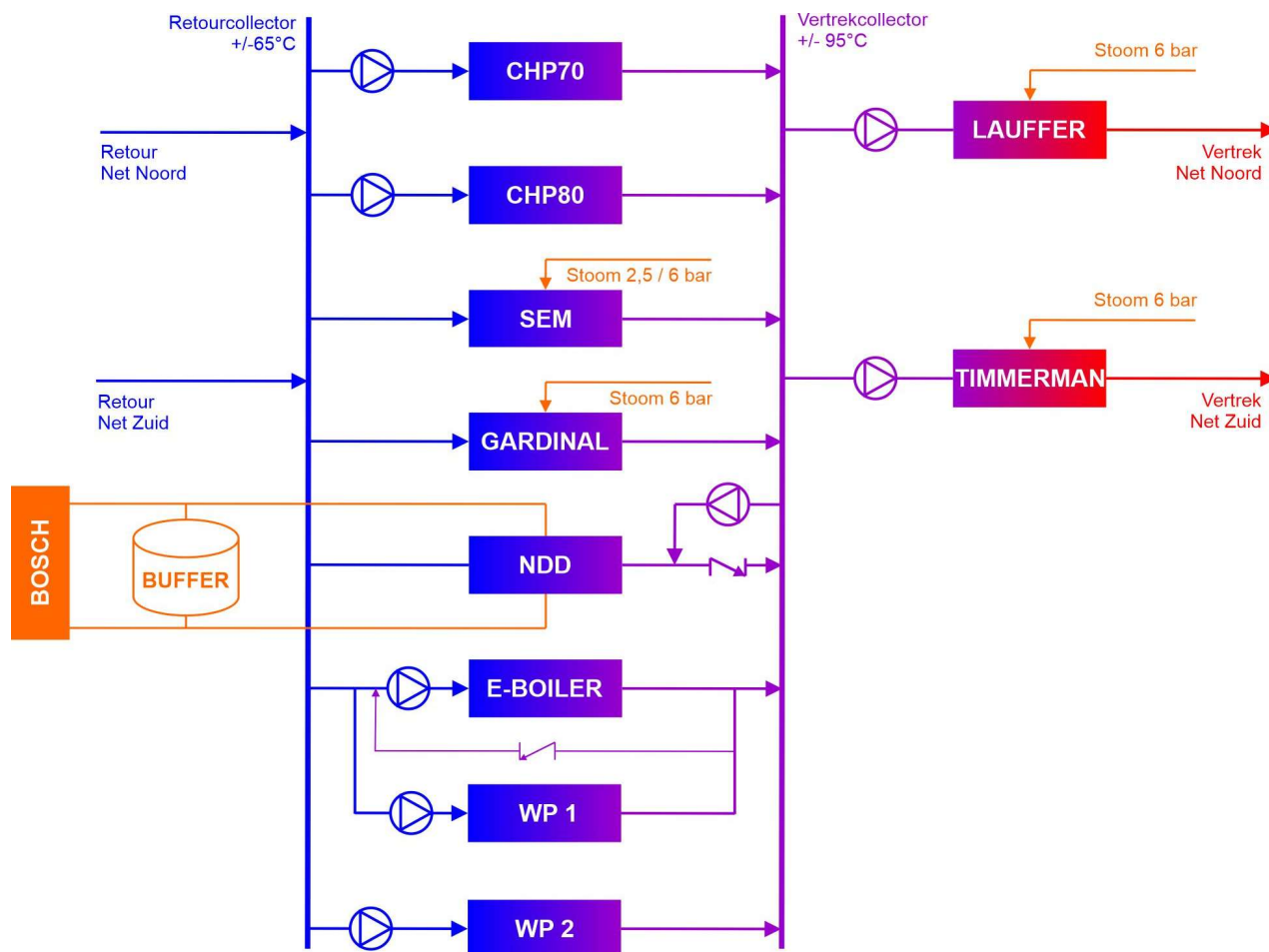
Figuur 2-1 geeft een schematisch overzicht weer van de verschillende installaties voor warmteproductie en hun integratie in het warmtenet.

In 2024 stonden de WKK-installaties in voor circa 77,3% van de warmteproductie voor het stadsverwarmingsnet (CHP70: 41,6% en CHP80: 35,7%). Tijdens de wintermaanden draaiden zij quasi continu, in de zomermaanden vooral op de momenten met hoge elektriciteitsprijzen (ochtendpiek en avondpiek). De overige 22,7 werd ingevuld door de ketels (warmwaterketel 'Bosch: 12,2% en stoomketels: 10,5%).

Het vermelde warmteverbruik van het stadsverwarmingsnet omvat naast de warmtelevering aan eindklanten ook de verliezen in het warmtenetwerk. Een evaluatie van het energieverbruik en de energie-efficiëntie van het warmtenetwerk (inclusief het energieverbruik van de circulatiepompen), valt echter buiten de scope van deze energiestudie. Dit zal immers niet wijzigen ten gevolge van de geplande aanpassingen aan de warmteproductie.

2.2.2 Geplande situatie: extra warmtepompen en e-boiler

In de geplande situatie worden extra installaties voor warmteproductie toegevoegd: warmtepompen en een e-boiler. De bestaande warmteproductie-installaties (WKK's en ketels) blijven behouden, en worden (technisch) ook niet gewijzigd, maar zullen wel minder warmte produceren (zie verder bij paragraaf 3.1). De nieuwe installaties zullen parallel aan de bestaande installaties voor warmteproductie (o.a. WKK's) warmte kunnen leveren (zie schema in Figuur 2-2). Ook de nieuwe installaties zullen dus een deel van het water uit de retourcollector van het stadsverwarmingsnet opwarmen, waarna het opgewarmde water in de vertrekcollector terechtkomt.



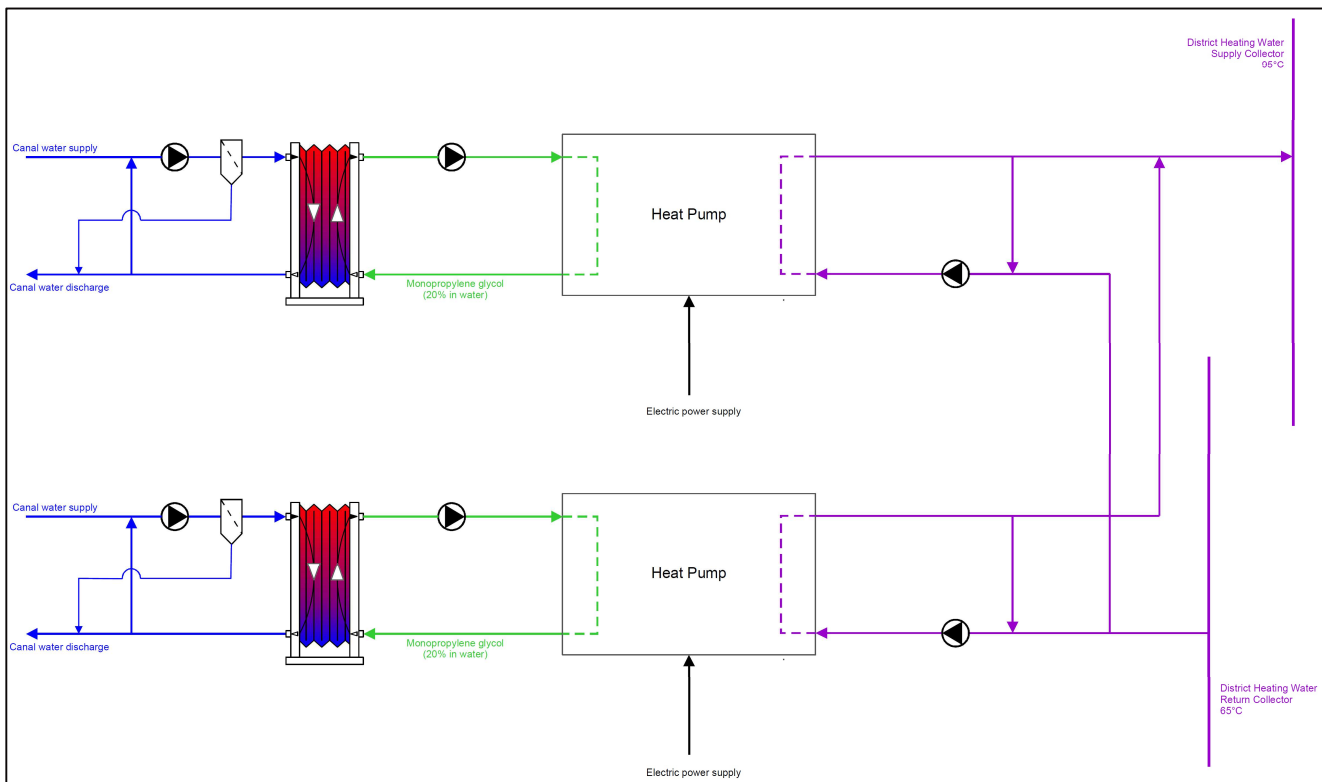
Figuur 2-2: Schematisch overzicht van de verschillende installaties voor warmteproductie t.b.v. het warmtenet, in de geplande situatie

2.2.2.1 Warmtepompen

Luminus beschikt over een watervang langs het Achterdok, ter hoogte van de voormalige dieselcentrale, vanwaar een ondergronds kanaal onder de R40 naar de site leidt. Dit toevoerkanaal wordt gebruikt om het benodigde koelwater voor de site te voorzien. Via een afvoerkanaal, dat verder stroomafwaarts in het Achterdok uitkomt (ter hoogte van het Stapelplein), wordt het opgewarmde koelwater vervolgens terug geloosd. De huidige debieten zijn beperkt, maar historisch werden veel grotere koelwaterdebieten gebruikt. Tot enkele jaren geleden werd bijvoorbeeld ook het koelwater voor de condensor van de STEG langs deze kanalen uit het Achterdok gehaald en terug geloosd. Gezien de grote koelwaterdebieten die historisch werden verbruikt, kan aangenomen worden dat het toevoerkanaal en het afvoerkanaal voldoende groot zijn om de benodigde kanaalwaterdebieten voor de warmtepomp te kunnen verwerken.

Luminus liet een studie uitvoeren naar de mogelijkheden (en limieten) om kanaalwater uit het Achterdok als bronwarmte voor een warmtepomp te gebruiken, waarbij dan vooral werd gekeken naar de impact op het Achterdok (en het ermee verbonden Handelsdok). Hierbij is het debiet in het Achterdok (vanuit de stad richting het kanaal Gent-Terneuzen) bepalend. In deze studie werd geconcludeerd dat tot 10 MW aan warmteproductie op basis van aquathermische warmtepompen mogelijk moet zijn.

Luminus plant dit potentieel op termijn volledig te benutten, maar het hiervoor benodigde warmtepompvermogen gefaseerd te installeren: circa 5 MW op korte termijn en het resterende vermogen tegen 2035. De installaties die in de eerste en de tweede fase gebouwd worden, zullen dus een vergelijkbaar vermogen hebben, maar zullen niet noodzakelijk identiek zijn. Voor de installatie van de tweede fase zal immers ook rekening worden gehouden met de stand der techniek op dat moment, en met de ervaringen uit fase 1. Voor de doeleinden van deze energiestudie wordt echter uitgegaan van twee identieke warmtepompinstallaties, met elk een thermisch outputvermogen van 5 MW, die gefaseerd worden gebouwd. De eerste warmtepompinstallatie zal, samen met de e-boiler (zie verder), in het processchema de plaats innemen van de buiten gebruik gestelde NDF-warmtewisselaar. Voor de tweede warmtepompinstallatie zal een bijkomende, parallelle verbinding tussen retourcollector en vertrekcollector worden voorzien.



Figuur 2-3: Process Flow Diagram voor één warmtepompinstallatie, inclusief kanaalwatercircuits (blauw), glycolwatercircuits (groen) en stadsverwarmingswatercircuits (paars)

Elke warmtepompinstallatie zal bestaan uit ofwel één warmtepomp met een thermisch outputvermogen van circa 5 MW, ofwel twee parallel opgestelde warmtepompen, met elk een thermisch outputvermogen van circa 2.5 MW. Een opstelling met nog meer kleinere units wordt onwaarschijnlijk geacht. Voor de doeleinden van deze energiestudie wordt uitgegaan van een configuratie met twee identieke, parallel opgestelde warmtepompen, met elk een thermisch outputvermogen van circa 2.5 MW. Dergelijke vermogengroottes zijn immers couranter, en bovendien biedt een modulaire oplossing extra redundantie. Het process flow diagram van Figuur 2-3 geeft een schematische voorstelling van een dergelijke warmtepompinstallatie. De werking wordt hieronder meer in detail toegelicht per circuit.

2.2.2.1.1 Kanaalwatercircuit

Momenteel wordt op de site Ham reeds kanaalwater uit het Achterdok gebruikt als koelwater. Daartoe is een watervang (inclusief groffilter) aanwezig, alsook ondergrondse kanalen die het water tot onder de gebouwen brengen en de nodige voorzieningen voor teruglozing in het Handelsdok. In het verleden was het gecapteerde (en terug geloosde) kanaalwaterdebiet veel hoger dan nu, gezien het kanaalwater toen ook gebruikt werd om de condensor van de STEG-eenheid te koelen. De watervang en de ondergrondse kanalen zijn dus zeker voldoende groot voor de beoogde toepassing waarbij kanaalwater uit het Achterdok zal worden gebruikt als (lage temperatuur) warmtebron.

Elke warmtepomp beschikt over een eigen kanaalwatercircuit, met een kanaalwaterpomp (een centrifugaalpomp aangedreven door een elektromotor met een nominaal vermogen van 75 kW, met rendementsklasse IE4 en voorzien van frequentiesturing (VFD)). Het opgepompte kanaalwater wordt na de pomp gefilterd door middel van een automatische, zelfreinigende korffilter (fijnfilter, voorzien van spoelklep met pneumatisch dubbelwerkende actuator). Vervolgens wordt het kanaalwater door een warmtewisselaar gestuurd. Daar geeft het kanaalwater warmte af aan een intermediair glycolwatercircuit. Er wordt uitgegaan van een afkoeling van het kanaalwater met 3°C, tenzij dit ertoe zou leiden dat het kanaalwater geloosd wordt aan een temperatuur lager dan 2°C. In dat geval wordt de afkoeling van het kanaalwater beperkt, teneinde steeds aan minimum 2°C terug te lozen. Na de warmtewisselaar wordt het kanaalwater afgevoerd naar de afvoerkanalen, die verbonden zijn met Het handelsdok.

Er is een bypass voorzien die toelaat om een deel van het afgekoelde kanaalwater te recirculeren naar de inlaat van de warmtewisselaar (enkel in geval de temperatuur van het kanaalwater te hoog is voor een goede werking van de warmtepomp).

Het benodigde kanaalwaterdebiet door de warmtewisselaar varieert (licht) in functie van de belasting van de warmtepomp (meestal vollast) en de kanaalwatertemperatuur, maar ligt in de buurt van 500 m³/h per warmtepomp (of dus circa 1000 m³/h voor een warmtepompinstallatie met een thermisch outputvermogen van 5 MW).

2.2.2.1.2 Glycolwatercircuit

Het intermediair glycolwatercircuit heeft als doel de verdamper te beschermen tegen bevuiling en corrosie door (mogelijks chloride-rijk) kanaalwater. Elke warmtepomp beschikt over een eigen glycolwatercircuit, waarin glycolwater (een mengsel van 20% monopropyleenglycol in water) wordt rondgepompt door middel van een glycolwater-circulatiepomp (een centrifugaalpomp aangedreven door een elektromotor met een nominaal vermogen van 55 kW, met rendementsklasse IE3 en voorzien van frequentiesturing (VFD)). Het glycolwater neemt warmte op uit het kanaalwatercircuit (in een warmtewisselaar), en geeft dezelfde hoeveelheid warmte terug af aan het koelmiddelcircuit (in de verdamper).

Het debiet van het glycolwatercircuit wordt dusdanig geregeld dat in regimewerking een temperatuurverschil van 3°C wordt bekomen (3°C opwarming over de warmtewisselaar, 3°C afkoeling over de verdamper). Het debiet in het glycolwatercircuit varieert bijgevolg (licht) in functie van de belasting van de warmtepomp (meestal vollast) en de kanaalwatertemperatuur, maar ligt in dezelfde grootte-orde als het kanaalwaterdebiet (gezien het beperkte dichtheidsverschil). Het glycolwaterdebiet bedraagt aldus circa 500 m³/h per warmtepomp (of dus circa 1000 m³/h voor een warmtepompinstallatie met een thermisch outputvermogen van 5 MW).

2.2.2.1.3 Koelcircuit (eigenlijke warmtepomp)

Het koelcircuit vormt het hart van de eigenlijke warmtepomp. Als koelmiddel wordt ammoniak gebruikt. Twee elektrische aangedreven gascompressoren in serie (lagedruk- en hogedruk-compressor) comprimeren het gasvormige koelmiddel (tweetrapscompressie). Tussen de twee compressortrappen wordt het koelmiddel afgekoeld in een 'intercooler'. Door de compressie neemt de druk van het gas toe, waardoor ook de temperatuur van het gas stijgt. Door de hogere druk, gebeurt de faseverandering (gas <> vloeibaar) van het koelmiddel bij hogere temperatuur. Het koelmiddel op hoge druk

doorstroomt vervolgens een reeks warmtewisselaars desuperheater, condensor, subcooler), waar het afkoelt en condenseert. Aan de secundaire zijde van de warmtewisselaars stroomt retourwater van het stadsverwarmingswatercircuit, dat opgewarmd wordt (tot de vereiste aanvoertemperatuur voor het stadsverwarmingsnet). Het vloeibare, afgekoelde koelmiddel stroomt door een expansieventiel, waardoor de druk verlaagt. Het vloeibare koelmiddel wordt vervolgens door een warmtewisselaar (verdampers) gepompt om warmte uit glycolwatercircuit te absorberen. Hierdoor verdampt het koelmiddel en verandert het in een gas met lage druk en lage temperatuur. Dit gas gaat weer naar de LP-compressor om de cyclus te herhalen.

Het stadsverwarmingswater doorstroomt achtereenvolgens subcooler, verdampers en desuperheater. Een klein deel van het koude stadsverwarmingswater bypass de subcooler, maar stroomt door andere warmtewisselaars om warmte te recupereren uit het oliecircuits en de intercooler. Gezien de intercooler het koelmiddel tot een lagere temperatuur zal afkoelen dan de retourtemperatuur van het stadsverwarmingsnet, zal slechts een deel van de warmte van de intercooler gerecupereerd worden. De overige weggekoelde warmte (op lage temperatuur) wordt afgegeven aan de omgeving.

De compressoren vormen de grootste energieverbruikers. De lagedrukcompressor is van het type (oliegekoelde) schroefcompressor, en wordt aangedreven door een elektromotor met een nominaal vermogen van circa 500 kW, met rendementsklasse IE3 en voorzien van frequentiesturing (VFD). Gezien de hoge gewenste outputtemperatuur, zal voor hogedrukcompressor geopteerd worden voor een zuigercompressor, aangedreven door een elektromotor met een nominaal vermogen van eveneens circa 500 kW, met rendementsklasse IE3 en voorzien van frequentiesturing (VFD). De belasting van de compressoren zal variëren om steeds de gewenste warmteoutput (bij regimewerking in principe steeds het volle vermogen) te bekomen.

Andere, kleinere energieverbruikers zijn de oliepompen (aangedreven door een elektromotor met nominaal vermogen van 3 kW en met rendementsklasse IE3) en de ammoniakpomp (aangedreven door een elektromotor met nominaal vermogen van 5,5 kW en met rendementsklasse IE3).

Daarnaast wordt de warmtepompinstallatie in een brand- en geluidwerende omkasting geplaatst, dewelke voorzien dient te zijn van ventilatie (onder meer voor afvoer van warmteverliezen, maar ook voor verdunning van eventuele koelmiddellekken) en verlichting. Ook ammoniakdetectie, noodventilatie en noodverlichting worden voorzien, met een aparte elektrische voeding (inclusief UPS-eenheid). Voor de hoofdventilatie wordt uitgegaan van 3 ventilatoren (waarvan 2 in dienst en één reserve), elk aangedreven door een elektromotor met nominaal vermogen van 5,5 kW, met rendementsklasse IE3 en voorzien van frequentiesturing (VFD). Voor de noodventilatie worden drie kleinere ventilatoren (waarvan 2 in dienst en één reserve) voorzien, elk aangedreven door een elektromotor met nominaal vermogen van 3 kW, met rendementsklasse IE3.

Het exacte merk en type warmtepomp is nog niet gekend. Op basis van ontvangen budgetoffertes van leveranciers, kan echter reeds een goede inschatting gemaakt worden van de technische data van de warmtepomp. In het kader van de energiestudie, is hierbij voor de COP (coefficient of performance) van belang. De COP varieert echter in functie van de verdampers- en condensortemperatuur van de warmtepomp, die op hun beurt worden bepaald door respectievelijk de kanaalwatertemperatuur en de gewenste outputtemperatuur. Bij een kanaalwatertemperatuur van 10°C en een outputtemperatuur van 95°C, wordt op basis van de informatie uit de technische offertes een COP in de buurt van 2,85 verwacht. Bij lagere kanaalwatertemperaturen ligt de COP lager, bij hogere kanaalwatertemperaturen hoger. Indien de outputtemperatuur kan dalen (onder 95°C), dan stijgt de COP.

2.2.2.1.4 Stadsverwarmingswatercircuit

Momenteel leveren meerdere warmtebronnen warmte aan het stadsverwarmingsnet. Deze warmtebronnen bevinden zich tussen een koude retourcollector (meestal bij 65 °C) en een warme toevoercollector (meestal bij 95 °C). Elke warmtepomp zal, indien operationeel, slechts een deel van het water uit de koude retourcollector opwarmen. Om de warmtepomp zo veel mogelijk op vollast (meest efficiënte werkingpunt) te laten werken, zal elke warmtepomp beschikken over een eigen stadsverwarmingswaterpomp, die het water door de subcooler, condensor en desuperheater pompt. Deze stadsverwarmingswaterpomp is een centrifugaalpomp, aangedreven door een elektromotor met een nominaal vermogen van 11 kW, met rendementsklasse IE3 en voorzien van frequentiesturing (VFD).

Een bypass maakt recirculatie van het water mogelijk, om te voorkomen dat water met een lage temperatuur de warme toevoercollector van het stadsverwarmingsstelsel bereikt (bij het opstarten van de warmtepomp) en om de watertemperatuur aan de inlaat van de subcooler te stabiliseren. Het debiet in het stadsverwarmingswatercircuit wordt zodanig geregeld dat de gewenste outputtemperatuur wordt gehandhaafd. Het debiet varieert bijgevolg (licht) in functie van de belasting van de warmtepomp (meestal vollast), de retourtemperatuur van het warmtenet en de gewenste

outputtemperatuur. Het ligt in de buurt van 90 m³/h per warmtepomp (of dus circa 180 m³/h voor een warmtepompinstallatie met een thermisch outputvermogen van 5 MW).

De netto warmte die aan het stadsverwarmingsnet wordt geleverd, wordt gemeten.

2.2.2.2 E-boiler

De e-boiler is in feite een inline weerstandsverwarmer, bestaande uit een groot aantal U-vormige elektrische weerstandsbuizen, die zich in een tank bevinden. Het toestel lijkt qua opbouw enigszins op een 'shell and tube'-warmtewisselaar, alleen zijn de 'tubes' vervangen door elektrische weerstandsbuizen. Het stadsverwarmingswater doorstroomt de 'shell' en warmt hierbij op. Door elektriciteit te laten stromen door meer of minder weerstandsbuizen, kan het vermogen van het toestel worden gemoduleerd. Het exacte merk en type weerstandsverwarmer is nog niet gekend. Op basis van ontvangen budgetoffertes van leveranciers, kan echter reeds een goede inschatting gemaakt worden van de technische data van de weerstandsverwarmer.

Het opgenomen elektrisch vermogen bedraagt 2,5 MW. Mits goede isolatie van de tank ('shell'), zijn de verliezen erg beperkt. Op basis van de ontvangen technische offertes, kan een omzettingsrendement naar warmte van minstens 99% worden aangenomen.

Ook de inline weerstandsverwarmer (e-boiler) zal, indien operationeel, slechts een deel van het water uit de koude retourcollector van het stadsverwarmingsnet opwarmen (en naar de warme vertrekcollector brengen). Het is de bedoeling dat de e-boiler zo veel mogelijk op vollast zal werken op momenten met gunstige elektriciteitsprijzen, ongeacht de warmtevraag op dat moment. Daarom zal de e-boiler, net als de warmtepompen, beschikken over een eigen stadsverwarmingswaterpomp. Deze stadsverwarmingswaterpomp is een centrifugaalpomp, aangedreven door een elektromotor met een nominaal vermogen van 11 kW, met rendementsklasse IE3 en voorzien van frequentiesturing (VFD). Het debiet aan stadverwarmingswater dat de -boiler doorstroomt ligt in de buurt van 80 m³/h, en wordt geregeld om steeds de gewenste outputtemperatuur van het stadsverwarmingswater te bekomen.

2.2.2.3 Utiliteitsvoorzieningen en hulpdiensten

2.2.2.3.1 Elektriciteitsdistributie

De elektriciteit, die nodig is voor de warmtepompen, de e-boiler en hun hulpapparatuur, zal worden afgenomen uit een intern middenspanningsverdeelbord op 12 kV. Via dit middenspanningsverdeelbord is de site verbonden met het publieke elektriciteitsnet van netbeheerder Fluvius, eveneens op 12 kV. Op dit middenspanningsverdeelbord zijn ook de WKK-eenheden gekoppeld. Tevens worden vanuit dit middenspanningsverdeelbord worden meerdere transformatoren (voor transformatie naar laagspanning) gevoed.

Voor de warmtepompen en de e-boiler worden drie bijkomende transformatoren voorzien, met een nominaal vermogen van 3150 kVA elk. Aan laagspanningszijde (400V) wordt elke transformator via busbar verbonden met een eigen laagspanningsverdeelbord, van waaruit de elektriciteit verder wordt verdeeld naar diverse MCC's en andere verbruikers. Alle bijkomende transformatoren zijn oliegekoeld (ONAN) en worden indoor opgesteld (in de machinehal).

De e-boiler krijgt zijn eigen transformator en laagspanningsverdeelbord, de overige twee transformatoren voeden elk een warmtepompinstallatie. Eén van deze twee transformatoren zal dus op korte termijn worden gerealiseerd (samen met de eerste warmtepompinstallatie, met een thermisch outputvermogen van circa 5 MW); de andere tegen 2032, samen met de tweede warmtepompinstallatie.

2.2.2.3.2 Noodstroomvoorziening

Er worden geen (bijkomende) noodstroomgeneratoren voorzien voor de levering van elektriciteit aan de warmtepompen en/of de e-boiler bij netonderbrekingen. Er zijn immers reeds voldoende backupvoorzieningen voor warmteproductie, met eigen noodstroomvoorziening. Wel wordt per warmtepomp-installatie een kleine UPS-eenheid voorzien, zodat noodventilatie en gasdetectie in dienst kunnen worden gehouden (7,5 kVA; 6 uur autonomie). De UPS-eenheden zijn niet voorzien van ECO-mode.

2.3 Toekomstige werkingsregimes

De toekomstige werkingsregimes van de verschillende productie-installaties van warmte voor het stadsverwarmingsnet, hangen natuurlijk ook sterk af van de warmtevraag in het stadsverwarmingsnet. Daarom staan we hieronder eerst even stil bij de warmtevraag, en vervolgens ook bij de manier waarop de verschillende productie-eenheden worden ingezet om deze warmtevraag in te vullen. Tenslotte lijsten we de aannames op die zullen worden gehanteerd bij de berekening van het jaarlijks finaal energiegebruik.

2.3.1 Warmtevraag

Gezien de warmte uit het stadsverwarmingsnet voornamelijk wordt gebruikt voor ruimteverwarming, is de warmtevraag sterk afhankelijk van de weersomstandigheden (en vooral van de buitentemperatuur). De warmtevraag in het stadsverwarmingsnet vertoont dan ook het (voor ruimteverwarming typische) badkuipprofiel, met een lage warmtevraag in de zomermaanden en een hogere vraag in de winter. Ook de totale hoeveelheid geleverde warmte ligt hoger in jaren met een 'koude winter' (lagere gemiddelde temperatuur, hoger aantal vorstdagen en winterse dagen) dan in jaren met een meer gematigde winter.

De toegenomen aandacht voor energie-efficiëntie (inclusief energetische renovaties) zorgt voor een lichte afname van de warmtevraag bij de bestaande verbruikers, die in het Noordnet de stijging door nieuwe klanten compenseert. Op het Zuidnet zijn er recent geen nieuwe klanten aangesloten, mede omdat het Zuidnet reeds tegen zijn limieten aanloopt. Daartegenover staat dat ook in het Zuidnet dezelfde licht dalende tendens wordt vastgesteld in de warmtevraag bij de bestaande verbruikers (door de toegenomen aandacht voor energie-efficiëntie en energetische renovaties). Zeker UGent, veruit de grootste afnemer in het Zuidnet, heeft de voorbije jaren sterk ingezet op energetische renovaties van zijn gebouwen en optimalisatie van zijn installaties. Hierdoor daalde de warmtevraag in het Zuidnet tijdens de voorbije jaren, maar er wordt verwacht dat deze in de toekomst terug zal stabiliseren.

Er kan bijgevolg aangenomen worden dat de huidige warmtevraag (voor het recente jaar 2024) representatief zal zijn voor de toekomstige warmtevraag in het stadsverwarmingsnet. Dit impliceert tevens een piekvermogen (tijdens een normaal jaar) van circa 25 MW, dat tijdens periodes van extreme koude kan oplopen tot circa 30 MW.

2.3.2 Warmteproductie

In de geplande situatie zal dagelijks worden ingeschat hoeveel warmte er de volgende dag nodig zal zijn (op basis van prognoses voor de warmtevraag en op basis van de actuele warmte-inhoud in de buffertank). In functie van de energieprijzen voor de volgende dag, zal vervolgens worden bepaald door welke eenheden (WKK's, warmtepompen, ketels) en op welke momenten deze hoeveelheid warmte moet worden geproduceerd om een zo laag mogelijke totale warmteproductiekost te bekomen. Er gelden nog enkele extra voorwaarden, maar in grote lijnen kan dus gesteld worden dat de dispatching van WKK's en warmtepompen day-ahead en kostprijsgedreven zal gebeuren. Op bepaalde momenten zullen de WKK's de voorkeur genieten, op andere momenten de warmtepompen, en soms zullen ze zelfs beiden (moeten) draaien.

De e-boiler vormt hierop een uitzondering, en zal quasi volledig onafhankelijk worden aangestuurd, voornamelijk op basis van gunstige elektriciteitsprijzen. Wanneer wordt verwacht dat de elektriciteitsprijs (op de Day-Aheadmarkt, Intraday-markt of onbalansmarkt) onder een vooraf ingestelde waarde zal liggen, dan zal de e-boiler in principe worden aangezet (en op vol vermogen warmte produceren). Er wordt niet gekeken naar de verwachte warmtevraag op dat moment, noch naar de dispatching van andere warmteproducenten (WKK's, warmtepompen). Het kan dus zeker voorkomen dat de geproduceerde warmte in de buffer terechtkomt. Daarom zal de e-boiler niet kunnen opgestart worden als de buffer reeds 'te vol is' (dus boven een vooraf gedefinieerde warmte-inhoud uitkomt).

Ook de warmtepompen en de WKK's zullen, wanneer ze operationeel zijn, zo veel mogelijk op vollast uitgebaat worden. De bestaande buffertank laat immers toe dat de warmteproductie niet op elk ogenblik de warmtevraag in het stadsverwarmingsnet volgt.

Bovenstaande impliceert dat het aantal draaiuren van WKK's, warmtepompen, ketels en e-boiler functie zal zijn van de marktprijzen op de day-aheadmarkt (of zelfs de intraday of onbalansmarkt). Het aantal draaiuren kan derhalve van jaar tot jaar variëren, maar het staat wel vast dat de WKK's (en de aardgasgestookte ketels) minder draaiuren zullen halen dan in de huidige situatie. Tevens, kan, op basis van historische marktgegevens, worden aangenomen dat gedurende circa 1200 uur per jaar de prijs voor elektriciteit voldoende gunstig is om de e-boiler warmte te laten produceren. Het

verwachte aantal draaiuren en de verwachte hoeveelheid geproduceerde warmte per warmteproducent (WKK's, warmtepompen, e-boiler, gasgestookte ketels) zal worden bepaald op basis van simulaties (zie verder bij paragraaf 3.1).

3 ENERGIEVERBRUIK EN ENERGIEBALANS

Hoewel de energiestudie (vooral) tot doel heeft het energieverbruik van de geplande, nieuwe installaties (dus de warmtepompen en e-boiler) te beschrijven en te begroten, kan dit moeilijk los gezien worden van de overige installaties voor de productie van warmte voor het stadsverwarmingsnet. Deze dienen immers samen de totale warmtevraag in het stadsverwarmingsnet in te vullen, en fungeren daarbij in zekere zin als 'communicerende vaten': hoe meer warmte de ene installatie produceert, hoe minder de andere moet produceren.

Daarom wordt ook de actuele situatie beschouwd, waarbij het (finaal) energiegebruik en de warmteproductie verder worden toegelicht. Voor een aantal parameters blijft deze actuele situatie immers ook in de toekomst relevant. Vervolgens worden ook voor de geplande situatie – met warmtepompen en e-boiler – het (finaal) energiegebruik en de warmteproductie ingeschat en/of berekend. Hierdoor zal niet allen het energieverbruik van de nieuwe installaties zichtbaar worden, maar zullen ook de belangrijkste verschillen en/of verschuivingen in energiegebruik tussen de huidige en de geplande situatie duidelijk worden.

De circulatiepompen van het warmtenet vallen in beide situaties buiten de onderzochte scope. Hun energieverbruik is immers onafhankelijk van welke eenheden de warmte produceren. Dit geldt uiteraard eveneens voor andere processen (zoals de open cyclus gasturbines) op de site Ham.

3.1 Beschouwde scenario's

De huidige situatie wordt in kaart gebracht op basis van meetgegevens voor het jaar 2024, aangeleverd door Luminus.

Gezien Luminus het potentieel voor aquathermische warmtepompen (met water uit het Achterdok/Handelsdok al warmtebron) wil benutten, maar het hiervoor benodigde warmtepompvermogen gefaseerd wenst te installeren, worden voor de nieuwe installaties – en dus ook voor geplande situatie – twee scenario's beschouwd. In een eerste scenario zal naast de e-boiler enkel een eerste warmtepompinstallatie operationeel zijn. In een tweede scenario wordt het warmtepompvermogen verhoogd, door indienstname van een tweede warmtepompinstallatie ('fase 2'). De e-boiler blijft ongewijzigd in fase 2. Er wordt aangenomen dat 'fase 2' operationeel zal zijn tegen 2035.

Voor de doeleinden van deze energiestudie wordt uitgegaan van een warmtepompinstallatie met een thermisch outputvermogen van 5 MW voor fase 1 en een tweede, identieke warmtepompinstallatie voor fase 2 (waardoor het totale outputvermogen aan warmtepompen wordt verdubbeld tot 10 MW). In realiteit zullen de installaties die in de eerste en de tweede fase gebouwd worden weliswaar een vergelijkbaar vermogen hebben, maar niet noodzakelijk identiek zijn. Voor de installatie van de tweede fase zal immers ook rekening worden gehouden met de stand der techniek op dat moment, en met de ervaringen uit fase 1.

Beide scenario's werden gesimuleerd op basis van volgende aannames:

- De jaarlijkse warmtevraag en het warmtevraagprofiel zijn identiek aan deze in het jaar 2024;
- Het verloop van de kanaalwatertemperatuur doorheen het jaar is identiek aan het verloop in het jaar 2024;
- De uurlijkse energieprijzen (op de spotmarkt), gebruikt om te bepalen welke eenheid gedurende elk uur van het jaar warmte kan produceren aan de laagste kost, zijn identiek aan deze in 2024;
- Netkosten, heffingen en taksen op de afname van elektriciteit en aardgas, alsook de captatievergoeding voor oppervlaktewater, zijn gebaseerd op de tarieven geldig in 2025. Door de tarieven voor 2025 te gebruiken, wordt rekening gehouden met de nieuwe tariefstructuur, waarbij met name de netkosten voor afname van elektriciteit rekening gehouden deels zijn verschoven van verbruiksgebonden tarieven naar capaciteitsgebonden tarieven;
- De huidige warmtebuffer blijft behouden;
- De warmtepompinstallaties warmen (een deel van) het retourwater van het stadsverwarmingsnet op tot 95°C.
- Het aantal mogelijke activatie-uren (uren met gunstige elektriciteitsprijzen) van de e-boiler bedraagt 1200 uren per jaar.

Indien de warmtepomp operationeel is, zal ernaar gestreefd worden deze steeds het volledige warmte-outputvermogen (5 MW per warmtepompinstallatie) te laten leveren. Dit betekent dat het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp zal variëren in functie van de temperatuur van het kanaalwater (en eventueel ook de temperatuur van de warmte-output, indien afwijkend van 95°C). De COP van een warmtepomp (verhouding tussen warmte-output ten elektriciteitsinput) is immers functie van de temperatuur van warmtebron en warmte-afnemer.

De simulatieresultaten omvatten niet enkel de verwachte hoeveelheid door de warmtepompen geproduceerde warmte (in beide scenario's), maar ook de jaargemiddelde COP van de warmtepompen en het aandeel van de (bestaande)

warmteproducenten in de warmteproductie voor het stadsverwarmingsnet na indienstname van de warmtepompinstallatie(s).

Tabel 3-1 geeft de cijferwaarden weer met betrekking tot het aandeel van de verschillende warmteproducenten in de totale warmteproductie voor het stadsverwarmingsnet. Voor de huidige situatie gaat het hierbij om meetwaarden uit 2024, voor de geplande situatie om simulatieresultaten. De warmtepompen en e-boiler zorgen ervoor dat het aandeel van de WKK's in de warmteproductie afneemt van 77,3% (in 2024) tot circa 48% (fase 1) of zelfs 37% (fase 2). Toch zijn het vooral de stoomketels (en in iets mindere mate de warmwaterketel) die worden weggedrongen. De stoomketels zijn enkel nog nodig bij onverwachte uitval van één van de andere warmtebronnen op een moment met een piekvraag naar warmte, of wanneer een temperatuurboost (tot boven 95°C) nodig is.

Verder valt het ook op dat de verdubbeling van het warmtepompvermogen (tussen fase 1 en fase 2) resulteert in een toename van de hoeveelheid door warmtepompen geproduceerde warmte met slechts een derde (33%). De in fase 1 gebouwde warmtepompen zullen dus minder draaien van zodra de warmtepompen van fase 2 ook operationeel zijn. Er kan aangenomen worden dat alle warmtepompen ongeveer hetzelfde aantal draaiuren halen.

Tabel 3-1: Aandeel van de verschillende warmteproducenten in de totale warmteproductie voor het stadsverwarmingsnet

		Huidig	Gepland - Fase 1	Gepland - Fase 2
Warmteproductie voor stadsverwarmingsnet	MWh/jaar	62.741	62.741	62.741
<i>waarvan warmteproductie door warmtepompen</i>	MWh/jaar	0	25.470	33.750
<i>waarvan warmteproductie door e-boiler</i>	MWh/jaar	0	2.950	2.930
<i>waarvan warmteproductie door CHP70</i>	MWh/jaar	26.125	15.055	11.325
<i>waarvan warmteproductie door CHP80</i>	MWh/jaar	22.389	15.102	11.586
<i>waarvan warmteproductie door warmwaterketel 'Bosch'</i>	MWh/jaar	7.636	2.976	2.185
<i>waarvan warmteproductie door stoomketels</i>	MWh/jaar	6.590	1.188	964
Aandeel warmtepompen in warmteproductie stadsverwarmingsnet	%	0,0%	40,6%	53,8%
Aandeel e-boiler in warmteproductie stadsverwarmingsnet	%	0,0%	4,7%	4,7%
Aandeel CHP70 in warmteproductie stadsverwarmingsnet	%	41,6%	24,0%	18,1%
Aandeel CHP80 in warmteproductie stadsverwarmingsnet	%	35,7%	24,1%	18,5%
Aandeel Bosch-ketel in warmteproductie stadsverwarmingsnet	%	12,2%	4,7%	3,5%
Aandeel stoomketels in warmteproductie stadsverwarmingsnet	%	10,5%	1,9%	1,5%

3.2 Energieverbruik voor warmteproductie in de huidige situatie

3.2.1 Brandstofverbruik

Het brandstofverbruik in de huidige situatie bestaat uitsluitend uit aardgasverbruik voor de WKK-gasmotoren, de 'Bosch'-warmwaterketel en de stoomketels. Het brandstofverbruik kan worden berekend op basis van de hoeveelheden geproduceerde warmte (zie Tabel 3-1) en de (gemiddelde) thermische rendementen zoals vermeld in paragraaf 2.2.1. De resultaten worden weergegeven in Tabel 3-2.

Het totaal jaarlijks brandstofverbruik voor warmteproductie ten behoeve van het stadsverwarmingsnet bedraagt 121,5 GWh(LHV) per jaar, of dus 437 TJ per jaar.

Tabel 3-2: Berekend jaarlijks brandstofverbruik voor warmteproductie (t.b.v. het stadsverwarmingsnet) in de huidige situatie

		Huidige toestand
Netto thermisch rendement CHP70	%	45,44%
Netto thermisch rendement CHP80	%	47,43%
Netto thermisch rendement 'Bosch'-ketel	%	89,00%
Netto thermisch rendement stoomketels	%	80,00%
Aardgasverbruik CHP70	MWh(LHV)/jaar	57.493
Aardgasverbruik CHP80	MWh(LHV)/jaar	47.205
Aardgasverbruik 'Bosch'-ketel	MWh(LHV)/jaar	8.580
Aardgasverbruik stoomketels	MWh(LHV)/jaar	8.238
Totaal aardgasverbruik warmteproductie stadsverwarmingsnet	MWh(LHV)/jaar	121.516

3.2.2 Elektriciteitsverbruik

Het elektriciteitsverbruik van de hulpapparaten van de warmwaterketel en de stoomketels (onder meer de voedingswaterpompen en de verbrandingsluchtventilatoren), wordt niet apart gemeten en wordt dus ingeschat. Er wordt uitgegaan van een specifiek elektriciteitsverbruik van 2 kWh per MWh geproduceerde warmte (wat eerder hoog is, maar te rechtvaardigen wegens het sterk fluctuerende bedrijf van de ketels, vaak ook sterk in deellast).

Het elektriciteitsverbruik van de hulpdiensten van de WKK-installaties zit reeds mee verrekend in de netto elektriciteitsproductie door deze installaties, en dient derhalve niet apart te worden berekend.

Het jaarlijkse elektriciteitsverbruik voor (de hulpapparatuur van) de warmteproductie ten behoeve van het stadsverwarmingsnet, bedraagt aldus 28 MWh per jaar.

3.2.3 Finaal energiegebruik en primair energieverbruik

Het in vorige paragrafen bepaalde jaarlijks brandstofverbruik en jaarlijks elektriciteitsverbruik wordt vervolgens omgerekend naar een jaarlijks finaal energiegebruik en een jaarlijks primair energieverbruik (beiden in TJ), conform de geldende rekenregels van de Vlaamse overheid. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 3-3.

Het totaal jaarlijkse finaal energiegebruik voor warmteproductie ten behoeve van het stadsverwarmingsnet bedraagt aldus 438 TJ. Omgerekend naar primair energieverbruik, blijft dit (gezien de erg beperkte bijdrage van het elektriciteitsverbruik) 438 TJ. Het brandstofverbruik is verantwoordelijk voor 99,98% van het finale energiegebruik.

Er dient echter opgemerkt te worden dat het brandstofverbruik van de WKK-installaties niet louter wordt aangewend om warmte te produceren, maar ook om elektriciteit op te wekken. Het hierboven berekende finaal energiegebruik volledig toeschrijven aan de warmteproductie, houdt dus een overschatting in van het finaal energiegebruik voor warmteproductie. Daarom wordt ook een gecorrigeerd finaal energiegebruik voor warmteproductie berekend, waarbij de netto geproduceerde hoeveelheid elektriciteit wordt afgetrokken.

Uitgaande van het berekende aardgasverbruik van CHP70 en CHP80, en de eerder vermelde netto elektrische rendementen, kan de netto elektriciteitsproductie worden berekend. Deze bedraagt 22.888 MWh per jaar voor CHP70 en 19.585 MWh per jaar voor CHP80, of dus samen 42.473 MWh per jaar.

Het gecorrigeerde finaal energiegebruik bedraagt aldus 285 TJ per jaar.

Tabel 3-3: Berekening van het totaal jaarlijks finaal energiegebruik en totaal jaarlijks primair energieverbruik voor warmteproductie ten behoeve van het stadsverwarmingsnet, in de huidige situatie

		Huidige toestand
Brandstofverbruik	$MWh(LHV)/jaar$	121.516
Brandstofverbruik	$GJ_{fin}/jaar$	437.457
Elektriciteitsverbruik	$MWh/jaar$	28
Elektriciteitsverbruik	$GJ_{fin}/jaar$	102
Jaarlijks finaal energiegebruik	$GJ_{fin}/jaar$	437.560
Jaarlijks finaal energiegebruik	$TJ_{fin}/jaar$	438
Specifiek finaal energiegebruik (per MWh geproduceerde warmte)	GJ/MWh_{warmte}	6,97
Jaarlijks primair energieverbruik	$TJ_{prim}/jaar$	438
Elektriciteitsproductie	$MWh/jaar$	42.473
Elektriciteitsproductie	$GJ_{fin}/jaar$	152.904
Gecorrigeerd jaarlijks finaal energiegebruik	$GJ_{fin}/jaar$	284.656
Gecorrigeerd jaarlijks finaal energiegebruik	$TJ_{fin}/jaar$	285
Specifiek gecorr. finaal energiegebruik (per MWh geproduceerde warmte)	GJ/MWh_{warmte}	4,54

3.3 Energieverbruik van de nieuwe installaties

Het energieverbruik van de nieuwe installaties (warmtepompen en e-boiler) bestaat enkel uit elektriciteitsverbruik, gezien warmte wordt opgewekt uit elektriciteit, en gezien ook de hulpapparatuur elektrisch wordt aangedreven.

3.3.1 Warmtepompen en hulpapparatuur

De warmtepompen worden extern aangekocht bij een gespecialiseerde leverancier. De ammoniakpomp en de oliepomp(en) zijn inbegrepen in de scope van de leverancier. Hun verbruik wordt derhalve, samen met het verbruik van de lagedruk- en hogedrukcompressoren, mee verrekend in het door de leverancier opgegeven elektriciteitsverbruik en dus ook in de opgegeven COP van de warmtepomp.

Het elektriciteitsverbruik van de warmtepompen zal variëren in functie van de temperatuur van het kanaalwater (en eventueel ook de temperatuur van de warmte-output, indien afwijkend van 95°C). De COP van een warmtepomp (verhouding tussen warmte-output ten elektriciteitsinput) is immers functie van de temperatuur van warmtebron en warmte-afnemer.

Er is nog geen definitieve keuze gemaakt omtrent leverancier, merk en type warmtepomp. Op basis van ontvangen budgetoffertes van leveranciers, kan echter reeds een goede inschatting gemaakt worden van de technische data van de warmtepomp. Elektriciteitsverbruik en COP werden opgegeven voor een aantal discrete punten, waarna met behulp van de simulatie een gewogen gemiddelde voor het specifieke draaipatroon werd bepaald. Voor fase 1 bedraagt deze jaargemiddelde COP 2,93; voor fase 2 is dit 2,91. Dit resulteert in een jaarlijks elektriciteitsverbruik voor de warmtepompen van 8.703 MWh in fase 1, en 11.604 MWh in fase 2.

De belangrijkste elektriciteitsverbruikers die buiten de scope van de warmtepompleverancier vallen, en waarvan het verbruik dus nog bovenop het hogervermelde verbruik komt, zijn:

- de kanaalwaterpompen, met een gemiddeld asvermogen van 51,8 kW per kanaalwaterpomp en een rendement van de elektromotoren van 95,6% (nominaal vermogen 75 kW; rendementsklasse IE4), of dus een gemiddeld opgenomen vermogen van 54,2 kW;

- de glycolwaterpompen, met een gemiddeld asvermogen van 40,5 kW per kanaalwaterpomp en een rendement van de elektromotoren van 94,3% (nominaal vermogen 55 kW; rendementsklasse IE3), of dus een gemiddeld opgenomen vermogen van 42,9 kW;
- de stadsverwarmingswaterpompen, met een gemiddeld asvermogen van 5,2 kW per kanaalwaterpomp en een rendement van de elektromotoren van 91,2% (nominaal vermogen 11 kW; rendementsklasse IE3), of dus een gemiddeld opgenomen vermogen van 5,7 kW;
- de ventilatoren voor basisventilatie, met een gemiddeld opgenomen vermogen van 9,2 kW (per package, dus per warmtepompinstallatie).

Daarnaast zijn er nog enkele kleinere verbruikers (kranen, kleppen, instrumentatie,...), waarvan het gezamenlijk opgenomen vermogen (tijdens de bedrijfstijd van de warmtepompen) op 5 kW per warmtepompinstallatie wordt geschat.

Tabel 3-4: Berekening van het jaarlijkse elektriciteitsverbruik van de nieuwe warmtepompen (in fase 1 en fase 2)

		Fase 1	Fase 2
Elektriciteitsverbruik warmtepompen			
Gemiddelde COP warmtepompen (tijdens bedrijfsuren)	--	2,93	2,91
Elektriciteitsverbruik warmtepompen	MWh/jaar	8.703	11.604
Aantal kanaalwaterpompen	--	2	4
Gemiddeld opgenomen vermogen per kanaalwaterpomp	kW	54,2	54,2
Elektriciteitsverbruik kanaalwaterpompen	MWh/jaar	552,2	731,7
Aantal glycolwaterpompen	--	2	4
Gemiddeld opgenomen vermogen per glycolwaterpomp	kW	42,9	42,9
Elektriciteitsverbruik glycolwaterpompen	MWh/jaar	437,1	579,2
Aantal stadsverwarmingswaterpompen	--	2	4
Gemiddeld opgenomen vermogen per stadsverwarmingswaterpomp	kW	5,7	5,7
Elektriciteitsverbruik stadsverwarmingswaterpompen	MWh/jaar	58,1	77,0
Gemiddeld opgenomen vermogen packageventilatie	kW	9,2	18,4
Elektriciteitsverbruik packageventilatie	MWh/jaar	46,9	62,1
Gemiddeld opgenomen vermogen varia	kW	5,0	10,0
Elektriciteitsverbruik varia	MWh/jaar	25,5	33,8
Totaal elektriciteitsverbruik hulpapparatuur	MWh/jaar	1.120	1.484
Totaal elektriciteitsverbruik warmtepompinstallaties	MWh/jaar	9.823	13.087
COP warmtepompinstallaties (all-in)	--	2,59	2,58

Aldus wordt voor de warmtepompen (inclusief hulpapparatuur) in fase 1 een jaarlijks elektriciteitsverbruik van 9.823 MWh berekend, zoals ook blijkt uit Tabel 3-4. De netto warmteproductie bedraagt 25.470 MWh per jaar, wat dus resulteert in een overkoepelende COP voor de warmtepompinstallatie (inclusief hulpapparatuur) van 2,59. Voor fase 2 bedraagt het jaarlijkse elektriciteitsverbruik 13.087 MWh, en de overkoepelende COP voor de warmtepompinstallatie (inclusief hulpapparatuur) 2,58.

3.3.2 E-boiler en hulpapparatuur

Ook de inline weerstandsverwarmer wordt extern aangekocht bij een gespecialiseerde leverancier. Er is nog geen definitieve keuze gemaakt omtrent leverancier, merk en type weerstandsverwarmer. Op basis van ontvangen budgetoffertes van leveranciers, kan echter reeds een goede inschatting gemaakt worden van de technische data van de weerstandsverwarmer. Het elektrisch inputvermogen bedraagt 2,5 MW, en er wordt een omzettingsrendement van elektriciteit naar warmte van 99% vooropgesteld.

Daarnaast wordt ook een de stadsverwarmingswaterpomp voorzien, met een gemiddeld asvermogen van 4,9 kW en een rendement van de elektromotor van 91,2% (nominaal vermogen 11 kW; rendementsklasse IE3), of dus een gemiddeld opgenomen vermogen van 5,4 kW. Daarnaast zijn er nog enkele kleinere verbruikers (kranen, kleppen, instrumentatie...), waarvan het gezamenlijk opgenomen vermogen minder dan 1 kW is. Het elektriciteitsverbruik van de stadsverwarmingswaterpomp (en de overige kleine verbruikers) zit niet mee verrekend in het omzettingsrendement van de weerstandsverwarmer.

In Tabel 3-5 wordt jaarlijks elektriciteitsverbruik van de e-boiler (inclusief hulpapparatuur) berekend. Dit bedraagt 2.988 MWh voor fase 1, en is nagenoeg identiek voor fase 2 (2.967 MWh), gezien de e-boiler onafhankelijk van de warmtevraag en van de andere warmteproducenten wordt uitgebaat. Het enige verschil ligt in de momenten waarop de warmteproductie door de e-boiler beperkt wordt door een te volle buffertank, wat in principe enkel in de zomermaanden (bij lage warmtevraag) kan voorkomen. Het resulterende nettorendement van de e-boiler (rekening houdend met het elektriciteitsverbruik van de hulpapparatuur) bedraagt derhalve 98,7%.

Tabel 3-5: Berekening van het jaarlijkse elektriciteitsverbruik van de nieuwe e-boiler (in fase 1 en fase 2)

		Fase 1	Fase 2
Elektriciteitsverbruik e-boiler			
Elektriciteitsverbruik e-boiler	<i>MWh/jaar</i>	2.980	2.960
Aantal stadsverwarmingswaterpompen	--	1	1
Gemiddeld opgenomen vermogen per stadsverwarmingswaterpomp	<i>kW</i>	5,4	5,4
Gemiddeld opgenomen vermogen varia	<i>kW</i>	1,0	1,0
Elektriciteitsverbruik stadsverwarmingswaterpompen	<i>MWh/jaar</i>	7,7	7,7
Totaal elektriciteitsverbruik e-boiler (incl hulpapparatuur)	<i>MWh/jaar</i>	2.988	2.967
Netto omzettingsrendement e-boiler (all-in)	--	98,7%	98,7%

3.3.3 Totaal elektriciteitsverbruik

Het totaal elektriciteitsverbruik van de nieuwe installaties bestaat uiteraard voor het overgrote deel uit het hierboven toegelichte elektriciteitsverbruik van de warmtepompinstallatie(s) en de e-boiler, inclusief hun hulpapparatuur. Daarnaast worden ook de transformatorverliezen in rekening gebracht.

Transformatorverliezen bestaan uit ijzerverlies (nullastverlies) en koperverlies (belastingsverlies of kortsluitverlies):

- Ijzerverlies is een vast verlies dat wordt gegenereerd door de ijzeren kern in de transformator. Het ijzerverlies is meer bepaald het vermogen dat door de transformator in de ijzeren kern wordt verbruikt onder de nominale spanning (secundaire open circuit), inclusief excitatieverlies en wervelstroomverlies.
- Koperverlies verwijst naar het verlies veroorzaakt door de primaire en secundaire stroom van de transformator die door de spoelweerstand vloeit. Omdat de spoel meestal van koperen geleider is gemaakt, wordt dit koperverlies genoemd.

Er worden drie nieuwe transformatoren voor transformatie van middenspanning (12 kV) naar laagspanning (400 V) voorzien. De verliezen van deze transformatoren liggen niet hoger dan de maximale verliezen voor 'medium power

transformers' gespecificeerd in de Europese Ecodesign-richtlijn en de bijhorende verordeningen³. Er wordt uitgegaan van een nullastverlies (ijzerverlies) van 1980 W per transformator (vast) en een kortsluitverlies (koperverlies) van 23 kW indien de transformator belast is op zijn nominaal vermogen van 3150 kVA (proportioneel). Er is geen geforceerde koeling aanwezig, dus dient ook geen elektriciteitsverbruik van pompen of ventilatoren in rekening gebracht te worden.

De transformatorverliezen en het totale elektriciteitsverbruik van de nieuwe installaties worden berekend in Tabel 3-6. Het totaal jaarlijks elektriciteitsverbruik voor de nieuwe installaties bedraagt 12.938 MWh in fase 1 en 16.224 MWh in fase 2.

Gezien de e-boiler en de warmtepompinstallaties elk over hun eigen transformator beschikken, kunnen we de transformatorverliezen ook toewijzen aan warmtepompen en e-boiler. Op deze manier bekomen we in fase 1 een jaarlijks elektriciteitsverbruik van 9.912 MWh voor de warmtepompen en 3.027 MWh voor de e-boiler; in fase 2 is dit respectievelijk 13.217 MWh en 3.006 MWh. Indien we de transformatorverliezen ook mee verrekenen in de COP van de warmtepompen en het nettorendement van de e-boiler, dan bekomen we een COP van 2,57 in fase 1 en 2,55 in fase 2 (voor de warmtepompen); en een nettorendement van 97,5% (voor de e-boiler, identiek voor fase 1 en 2).

Tabel 3-6: Berekening van het totale jaarlijkse elektriciteitsverbruik van de nieuwe installaties, inclusief transformatorverliezen

		Fase 1	Fase 2
Totaal elektriciteitsverbruik			
Totaal elektriciteitsverbruik laagspanning	<i>MWh/jaar</i>	12.810	16.055
Aantal transformatoren	--	2	3
Nullastverliezen transformatoren	<i>MWh/jaar</i>	34,7	52,0
Kortsluitverliezen transformatoren	<i>MWh/jaar</i>	93,5	117,2
Totaal transformatorverliezen	<i>MWh/jaar</i>	128,2	169,3
Totaal elektriciteitsverbruik middenspanning	<i>MWh/jaar</i>	12.938	16.224
waarvan toe te schrijven aan de warmtepompen	<i>MWh/jaar</i>	9.912	13.217
waarvan toe te schrijven aan de e-boiler	<i>MWh/jaar</i>	3.027	3.006

3.3.4 Finaal energiegebruik en primair energieverbruik

Het in vorige paragrafen bepaalde jaarlijks brandstofverbruik en jaarlijks elektriciteitsverbruik wordt vervolgens omgerekend naar een jaarlijks finaal energiegebruik en een jaarlijks primair energieverbruik (beiden in TJ), conform de geldende rekenregels van de Vlaamse overheid. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 3-7. De nieuwe installaties verbruiken enkel energie onder de vorm van elektriciteit, zodat het finaal energiegebruik in dit geval gelijk is aan het elektriciteitsverbruik.

Het totaal jaarlijkse finaal energiegebruik van de nieuwe installaties bedraagt aldus 47 TJ_{fin} in fase 1, en 58 TJ_{fin} in fase 2. Omgerekend naar primair energieverbruik, wordt dit respectievelijk 116 TJ_p en 146 TJ_p. De drempelwaarde voor de opmaak van een energiestudie (van 10 TJ_{fin} aan jaarlijks finaal energiegebruik) is derhalve overschreden.

³ Commission Regulation (EU) 548/2014 of May 21st, 2014 on implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to small, medium and large power transformers

Tabel 3-7: Berekening van het totaal jaarlijks finaal energiegebruik en totaal jaarlijks primair energieverbruik van de nieuwe installaties

		Fase 1	Fase 2
Finaal energiegebruik			
Elektriciteitsverbruik	<i>MWh/jaar</i>	12.938	16.224
Jaarlijks finaal energiegebruik	<i>GJ_{fin}/jaar</i>	46.578	58.406
Jaarlijks finaal energiegebruik	<i>TJ_{fin}/jaar</i>	47	58
Jaarlijks primair energieverbruik	<i>TJ_{prim}/jaar</i>	116	146

3.4 Energieverbruik voor warmteproductie in de geplande situatie

3.4.1 Brandstofverbruik

Het brandstofverbruik in de geplande situatie bestaat uitsluitend uit aardgasverbruik voor de WKK-gasmotoren, de 'Bosch'-warmwaterketel en de stoomketels. Het brandstofverbruik kan – naar analogie met paragraaf 3.2.1 – worden berekend op basis van de hoeveelheden geproduceerde warmte (zie Tabel 3-1) en de (gemiddelde) thermische rendementen zoals vermeld in paragraaf 2.2.1. De hoeveelheden door WKK's en ketels geproduceerde warmte liggen in de geplande situatie echter een stuk lager dan in de huidige situatie, waardoor ook het aardgasverbruik lager zal liggen dan in de huidige situatie. De resultaten worden weergegeven in Tabel 3-8.

Tabel 3-8: Berekend jaarlijks brandstofverbruik voor warmteproductie (t.b.v. het stadsverwarmingsnet) in de geplande situatie

		Fase 1	Fase 2
Brandstofverbruik			
Netto thermisch rendement CHP70	%	45,44%	45,44%
Netto thermisch rendement CHP80	%	47,43%	47,43%
Netto thermisch rendement 'Bosch'-ketel	%	89,00%	89,00%
Netto thermisch rendement stoomketels	%	80,00%	80,00%
Aardgasverbruik CHP70	<i>MWh(LHV)/jaar</i>	33.132	24.923
Aardgasverbruik CHP80	<i>MWh(LHV)/jaar</i>	31.841	24.428
Aardgasverbruik 'Bosch'-ketel	<i>MWh(LHV)/jaar</i>	3.343	2.456
Aardgasverbruik stoomketels	<i>MWh(LHV)/jaar</i>	1.485	1.205
Totaal aardgasverbruik warmteproductie stadsverwarmingsnet	<i>MWh(LHV)/jaar</i>	69.801	53.011

Het totaal jaarlijks brandstofverbruik voor warmteproductie ten behoeve van het stadsverwarmingsnet bedraagt 69,8 GWh(LHV) per jaar in fase 1, en 53,0 GWh(LHV) per jaar in fase 2. Dit is respectievelijk 42,6% en 56,4% lager dan in de huidige situatie. Door de geplande warmtepompen en e-boiler kan het (jaarlijkse) brandstofverbruik voor warmteproductie ten behoeve van het stadsverwarmingsnet dus ongeveer gehalveerd worden.

3.4.2 Elektriciteitsverbruik

Het jaarlijkse elektriciteitsverbruik voor warmteproductie ten behoeve van het stadsverwarmingsnet, bestaat in hoofdzaak uit het elektriciteitsverbruik van de nieuwe installaties, zoals berekend in paragraaf 3.3.3. Daarnaast is er ook

een (in verhouding bijna verwaarloosbaar klein) elektriciteitsverbruik van de hulpapparaten van de warmwaterketel en de stoomketels (onder meer de voedingswaterpompen en de verbrandingsluchtventilatoren), dat door de gereduceerde warmteproductie van de ketels bovendien nog een stuk lager ligt dan in de huidige situatie.

Het elektriciteitsverbruik van de hulpdiensten van de WKK-installaties zit reeds mee verrekend in de netto elektriciteitsproductie door deze installaties, en dient derhalve niet apart te worden berekend.

Het aldus bekomen jaarlijkse elektriciteitsverbruik voor warmteproductie ten behoeve van het stadsverwarmingsnet bedraagt 12.818 MWh in fase 1 en 16.061 MWh in fase 2, zoals ook blijkt uit Tabel 3-9.

Tabel 3-9: Berekend jaarlijks elektriciteitsverbruik voor warmteproductie (t.b.v. het stadsverwarmingsnet) in de geplande situatie

		Fase 1	Fase 2
Elektriciteitsverbruik			
Elektriciteitsverbruik warmtepompinstallaties	<i>MWh/jaar</i>	9.822,6	13.087,2
<i>waarvan verbruik warmtepompen</i>	<i>MWh/jaar</i>	8.702,9	11.603,5
<i>waarvan verbruik hulpapparatuur</i>	<i>MWh/jaar</i>	1.119,7	1.483,7
Elektriciteitsverbruik e-boiler	<i>MWh/jaar</i>	2.987,6	2.967,5
Specifiek verbruik hulpdiensten ketels (per MWh geproduceerde warmte)	<i>kWh/MWh</i>	2,0	2,0
Elektriciteitsverbruik hulpdiensten ketels	<i>MWh/jaar</i>	8	6
Totaal elektriciteitsverbruik warmteproductie stadsverwarmingsnet	<i>MWh/jaar</i>	12.818	16.061

3.4.3 Finaal energiegebruik en primair energieverbruik

Het in vorige paragrafen bepaalde jaarlijks brandstofverbruik en jaarlijks elektriciteitsverbruik wordt vervolgens omgerekend naar een jaarlijks finaal energiegebruik en een jaarlijks primair energieverbruik (beiden in TJ), conform de geldende rekenregels van de Vlaamse overheid. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 3-10.

Het totaal jaarlijkse finaal energiegebruik voor warmteproductie ten behoeve van het stadsverwarmingsnet bedraagt aldus 297 TJ_{fin} in fase 1 en 249 TJ_{fin} in fase 2. Dit impliceert een daling van het finaal energiegebruik (bij dezelfde hoeveelheid geproduceerde warmte) van respectievelijk 141 TJ (-32,0%) en 189 TJ (-43,2%) ten opzichte van de huidige situatie.

Omgerekend naar primair energieverbruik bekomen we 367 TJ_p per jaar in fase 1 en 335 TJ_p per jaar in fase 2, wat respectievelijk 16,2% en 23,4% lager ligt dan het primair energiegebruik in de huidige situatie.

Zoals reeds eerder vermeld, wordt het brandstofverbruik van de WKK-installaties niet louter aangewend om warmte te produceren, maar ook om elektriciteit op te wekken. Het hierboven berekende finaal energiegebruik volledig toeschrijven aan de warmteproductie, houdt dus een overschatting in van het finaal energiegebruik voor warmteproductie. Daarom wordt ook een gecorrigeerd finaal energiegebruik berekend, waarbij de netto geproduceerde hoeveelheid elektriciteit wordt afgetrokken.

Uitgaande van het berekende aardgasverbruik van CHP70 en CHP80, en de eerder vermelde netto elektrische rendementen, kan de netto elektriciteitsproductie worden berekend. Deze bedraagt in fase 1 circa 26.400 MWh per jaar (waarvan 13.190 MWh per jaar voor CHP70 en 13.211 MWh per jaar voor CHP80) en in fase 2 nog circa 20.057 MWh per jaar (9.922 MWh per jaar voor CHP70 en 10.135 MWh per jaar voor CHP80).

Het gecorrigeerde finaal energiegebruik bedraagt aldus 202 TJ per jaar in fase 1 en 176 TJ per jaar in fase 2, hetgeen respectievelijk 28,9% en 38,0% minder is dan in de huidige situatie.

Tabel 3-10: Berekening van het totaal jaarlijks finaal energiegebruik en totaal jaarlijks primair energieverbruik voor warmteproductie ten behoeve van het stadsverwarmingsnet, in de geplande situatie

		Fase 1	Fase 2
Finaal energiegebruik			
Brandstofverbruik	$MWh(LHV)/jaar$	69.801	53.011
Brandstofverbruik	$GJ_{fin}/jaar$	251.282	190.840
Elektriciteitsverbruik	$MWh/jaar$	12.818	16.061
Elektriciteitsverbruik	$GJ_{fin}/jaar$	46.147	57.819
Jaarlijks finaal energiegebruik	$GJ_{fin}/jaar$	297.428	248.659
Jaarlijks finaal energiegebruik	$TJ_{fin}/jaar$	297	249
Specifiek finaal energiegebruik (per MWh geproduceerde warmte)	GJ/MWh_{warmte}	4,74	3,96
Jaarlijks primair energieverbruik	$TJ_{prim}/jaar$	367	335
Elektriciteitsproductie	$MWh/jaar$	26.400	20.057
Elektriciteitsproductie	$GJ_{fin}/jaar$	95.041	72.205
Gecorrigeerd jaarlijks finaal energiegebruik	$GJ_{fin}/jaar$	202.387	176.455
Gecorrigeerd jaarlijks finaal energiegebruik	$TJ_{fin}/jaar$	202	176
Specifiek gecorr. finaal energiegebruik (per MWh geproduceerde warmte)	GJ/MWh_{warmte}	3,23	2,81

3.5 Energieverbruik site Ham

De site Ham is een energie-intensieve-vestiging. Het energieverbruik voor warmteproductie ten behoeve van het stadsverwarmingsnet maakt slechts een fractie uit van het totale energieverbruik op de site. In 2024 werd 306.617 MWh(LHV) aardgas en 545,5 MWh elektriciteit extern aangekocht, goed voor een finaal energiegebruik van 1.106 TJ per jaar.

Het aardgasverbruik vertegenwoordigt meer dan 99% van de extern aangekochte energie (en dus meer dan 99% van het finaal energiegebruik). Zoals ook blijkt uit het meest recente energieplan⁴, gaat meer dan de helft (circa 65%) van het aardgasverbruik op de site naar de open cyclus gasturbines (OCGT's), circa 30% naar de WKK's en de rest naar de ketels (warmwaterketel + stoomketels).

De geplande installaties (warmtepompen en e-boiler) zorgen voor een daling van het finaal energiegebruik voor warmteproductie. Hierdoor zal naar verwachting ook het finaal energiegebruik van de site dalen, hoewel dit uiteraard ook sterk afhangt van het aantal draaiuren van de open cyclus gasturbines.

In Tabel 3-11 wordt het finaal energiegebruik van de site Ham berekend voor het jaar 2024. Het vermelde aardgasverbruik en elektriciteitsverbruik betreft de extern aangekochte hoeveelheden. Daarnaast wordt een inschatting gemaakt van (het effect van de nieuwe installaties op) het finaal energiegebruik van de site in de geplande situatie (voor zowel fase 1 als fase 2). Hierbij werd voor de OCGT's (en alle andere energieverbruikers behalve de warmteproductie ten behoeve van het stadsverwarmingsnet) een identiek verbruik verondersteld als dat in 2024. Dit is uiteraard slechts een ruwe benadering. Voor de warmteproductie ten behoeve van het stadsverwarmingsnet werden de verwachte evoluties in het energieverbruik, zoals bepaald in bovenstaande paragrafen, verrekend. Het elektriciteitsverbruik voor

⁴ Energieplan 2023-2026; Luminus NV site Ham; nummer E33

warmtepompen en e-boiler wordt verondersteld volledig afgenomen te worden uit het net. In realiteit zal dit echter ook voor een deel door lokale productie (met de WKK's) worden ingevuld.

Tabel 3-11: Berekening van het jaarlijks finaal energiegebruik van de site Ham, in de huidige situatie (2024) en in de geplande situatie

		2024	Gepland - Fase 1	Gepland - Fase 2
Finaal energiegebruik				
Brandstofverbruik	$MWh(LHV)/jaar$	306.617	254.902	238.112
Brandstofverbruik	$GJ_{fin}/jaar$	1.103.821	917.646	857.204
Elektriciteitsverbruik	$MWh/jaar$	546	13.336	16.578
Elektriciteitsverbruik	$GJ_{fin}/jaar$	1.964	48.008	59.681
Jaarlijks finaal energiegebruik	$GJ_{fin}/jaar$	1.105.785	965.654	916.885
Jaarlijks finaal energiegebruik	$TJ_{fin}/jaar$	1.106	966	917
Jaarlijks primair energieverbruik	$TJ_{prim}/jaar$	1.109	1.038	1.006

De tabel illustreert dat (althans bij gelijkblijvend aardgasverbruik van de OCGT's) het aardgasverbruik op de site zal dalen, en het elektriciteitsverbruik zal stijgen. Dit resulteert in een daling van het finaal energiegebruik (ten opzichte van 2024) met circa 12,7% in fase 1, en met circa 17% in fase 2.

4 ENERGIE-EFFICIËNTIE

4.1 Energie-efficiëntie van het project

Op basis van de cijfers uit de energiebalans in paragraaf 3.3 bedraagt het specifiek finaal energiegebruik van de nieuwe installaties 1.639 MJ per MWh geproduceerde warmte (in fase 1), verder dalend naar 1.592 MJ per MWh warmte (in fase 2). Dit specifiek finaal energiegebruik ligt significant lager dan het specifiek finaal energiegebruik in de huidige situatie, dat in paragraaf 3.2 werd bepaald en 4.537 MJ per MWh geproduceerde warmte bedraagt (na correctie voor de door de WKK's opgewekte elektriciteit). Dit staft de eerdere conclusie dat het project leidt tot een daling van het finaal energiegebruik voor warmteproductie ten behoeve van het stadsverwarmingsnet.

Tabel 4-1: Berekende rendementen en specifieke finale energiegebruiken van de nieuwe installaties

		Fase 1	Fase 2
Energie-efficiëntie			
Warmteproductie	<i>MWh/jaar</i>	28.420	36.680
Jaarlijks finaal energiegebruik	<i>GJ_{fin}/jaar</i>	46.578	58.406
Specifiek finaal energiegebruik (per MWh geproduceerde warmte)	<i>GJ/MWh_{warmte}</i>	1,639	1,592
Warmtepompen			
Warmteproductie warmtepompinstallaties	<i>MWh/jaar</i>	25.470	33.750
Finaal energiegebruik warmtepompen (enkel warmtepomp)	<i>MWh/jaar</i>	8.703	11.604
Finaal energiegebruik warmtepompen (all-in, @ 12 kV)	<i>MWh/jaar</i>	9.912	13.217
COP warmtepompen (enkel warmtepomp)	--	2,93	2,91
COP warmtepompen (all-in, @12 kV)	--	2,57	2,55
Specifiek finaal energiegebruik warmtepompen (all-in, @12 kV)	<i>GJ/MWh_{warmte}</i>	1,401	1,410
E-boiler			
Warmteproductie e-boiler	<i>MWh/jaar</i>	2.950	2.930
Finaal energiegebruik e-boiler (enkel weerstandsverwarmer)	<i>MWh/jaar</i>	2.980	2.960
Finaal energiegebruik e-boiler (all-in, @ 12 kV)	<i>MWh/jaar</i>	3.027	3.006
Omzettingsrendement e-boiler (enkel weerstandsverwarmer)	%	99,0%	99,0%
Omzettingsrendement e-boiler (all-in, @ 12 kV)	%	97,5%	97,5%
Specifiek finaal energiegebruik e-boiler	<i>GJ/MWh_{warmte}</i>	3,694	3,694

Omdat de nieuwe installaties zowel warmtepompen als een e-boiler omvatten, zegt het gecombineerde specifiek finaal energiegebruik echter niet zoveel. Daarom beschouwen we ook de energie-efficiëntie van de warmtepompen en de e-boiler apart. Tabel 4-1 geeft een overzicht van de rendementen en specifieke finale energiegebruiken, alsook, van de gegevens die eraan ten grondslag liggen.

Zoals eerder aangegeven, hebben de eigenlijke warmtepompen (inclusief olie- en ammoniakpompen,...) een COP van 2,93 (in fase 1). Doordat op andere momenten wordt gedraaid, wijzigt dit in fase 2 lichtjes naar 2,91. Indien we ook de hulpapparatuur en de transformatorverliezen in rekening brengen, en de COP dus berekenen op basis van het

elektriciteitsverbruik op het spanningsniveau van 12 kV, dan wordt een COP van respectievelijk 2,57 (fase 1) en 2,55 (fase 2) bekomen. Dit stemt overeen met een specifiek finaal energiegebruik van 1.401 MJ per MWh geproduceerde warmte in fase 1, en 1.410 MJ per MWh geproduceerde warmte in fase 2.

Het jaargemiddeld brutorendement van de e-boiler bedraagt 99,0% (door constructeur gegarandeerde waarde) en het jaargemiddeld nettorendement (dat dus ook rekening houdt met het elektriciteitsverbruik van de stadsverwarmingswaterpomp en de transformatorverliezen) 97,5%. Dit stemt overeen met een specifiek finaal energiegebruik van 3.694 MJ per MWh geproduceerde warmte.

Voor een toetsing van de bekomen specifieke energieverbruiken en omzettingsrendementen aan de stand der techniek, wordt verwezen naar paragraaf 4.3.

4.2 Situering ten opzichte van alternatieven

4.2.1 Alternatieven voor duurzame warmteproductie

Dit project heeft als doel de warmteproductie ten behoeve van het stadsverwarmingsnet te verduurzamen en te decarboniseren. Hierbij kan gerefereerd worden aan de 'EED-richtlijn'⁵, waarin de criteria zijn opgenomen waarin een 'efficiënt systeem voor stadsverwarming' moet voldoen, teneinde voor een efficiënter verbruik van primaire energie te zorgen en het aandeel hernieuwbare energie in verwarming dat naar het netwerk gaat, te verhogen. De richtlijn stelt tevens dat exploitanten van bestaande systemen voor stadsverwarming de nodige maatregelen moeten nemen om uiterlijk op 1 januari 2028 te voldoen aan deze criteria.

De criteria waaraan een efficiënt systeem voor stadsverwarming moet voldoen, zijn:

- tot en met 31 december 2027: een systeem dat ten minste 50 % hernieuwbare energie, 50 % restwarmte, 75 % warmte uit warmtekrachtkoppeling of 50 % uit een combinatie van dergelijke energie en warmte gebruikt;
- vanaf 1 januari 2028: een systeem dat gebruikmaakt van ten minste 50 % hernieuwbare energie, 50 % restwarmte, 50 % hernieuwbare energie en restwarmte, 80 % warmte uit hoogrenderende warmtekrachtkoppeling of van ten minste een combinatie van dergelijke thermische energie die naar het netwerk gaat, waarbij het aandeel hernieuwbare energie ten minste 5 % bedraagt en het totale aandeel hernieuwbare energie, restwarmte of warmte uit hoogrenderende warmtekrachtkoppeling ten minste 50 % bedraagt;
- vanaf 1 januari 2035: een systeem dat ten minste 50 % hernieuwbare energie, 50 % restwarmte of 50 % hernieuwbare energie en restwarmte gebruikt, of een systeem waarbij het totale aandeel hernieuwbare energie, restwarmte of warmte uit hoogrenderende warmtekrachtkoppeling ten minste 80 % bedraagt, en het totale aandeel hernieuwbare energie of restwarmte ten minste 35 % bedraagt;
- vanaf 1 januari 2040: een systeem dat ten minste 75 % hernieuwbare energie, 75 % restwarmte of 75 % hernieuwbare energie en restwarmte gebruikt, of een systeem dat ten minste 95 % hernieuwbare energie, restwarmte en hoogrenderende warmtekrachtkoppeling gebruikt en waarbij het totale aandeel hernieuwbare energie of restwarmte ten minste 35 % bedraagt;
- vanaf 1 januari 2045: een systeem dat ten minste 75 % hernieuwbare energie, 75 % restwarmte of 75 % hernieuwbare energie en restwarmte gebruikt;
- vanaf 1 januari 2050: een systeem dat uitsluitend hernieuwbare energie, uitsluitend restwarmte of uitsluitend een combinatie van hernieuwbare energie en restwarmte gebruikt.

In 2024 stonden de WKK-installaties in voor circa 77,3% van de warmteproductie voor het stadsverwarmingsnet, waardoor werd voldaan aan de op dit ogenblik geldende criteria voor een efficiënt systeem voor stadsverwarming. Luminus wenst uiteraard ook in de toekomst te blijven voldoen aan de (steeds strenger wordende) criteria. Dit vormt dan ook een belangrijke randvoorwaarde voor toekomstige investeringen in warmteproductie voor het stadsverwarmingsnet.

Warmtepompen

Warmtepompen zijn belangrijk voor het koolstofvrij maken van de verwarmingsvoorziening, ook in stadsverwarming. Warmte die afkomstig is van een warmtepomp en die naar het warmtenet gaat, mag in het kader van hogervermelde criteria dan ook als hernieuwbare energie worden beschouwd, tenminste indien de warmtepomp op het moment van

⁵ Richtlijn (EU) 2023/1791 van het Europees Parlement en de Raad van 13 september 2023 betreffende energie-efficiëntie en tot wijziging van Verordening (EU) 2023/955 (herschikking).

installatie voldoet aan de minimefficiëntiecriteria van bijlage VII bij de 'REDII-richtlijn'⁶. Deze minimefficiëntiecriteria stipuleren dat enkel warmtepompen waarvoor $SPF > 1,15 * 1/\eta$ in aanmerking worden genomen, waarbij:

- SPF : het geraamde gemiddelde seizoensgebonden rendement voor deze warmtepompen (dus de sCOP van de warmtepomp)
- η : de verhouding tussen de totale brutoproductie van elektriciteit en het verbruik van primaire energie voor de productie van elektriciteit en wordt berekend als een EU-gemiddelde, gebaseerd op Eurostatgegevens.

Voor de primaire-energiefactor ($1/\eta$) mogen de lidstaten een standaardcoëfficiënt van 1,9 toepassen, tenzij zij gebruikmaken van hun discretionaire bevoegdheid om een andere coëfficiënt vast te stellen op basis van gerechtvaardigde nationale omstandigheden. Uiterlijk op 25 december 2026 en daarna om de vier jaar herziene de Commissie de standaardcoëfficiënten op basis van waargenomen gegevens.

Kort gezegd kan de warmte geproduceerd door warmtepompen met een sCOP van minstens 2,185 (of dus $1,15 * 1,9$) dus worden beschouwd als hernieuwbare energie.

De door Luminus geplande warmtepompen voldoen hier ruimschoots aan. De investering in nieuwe warmtepompinstallaties zal Luminus bijgevolg helpen om te blijven voldoen aan de criteria voor een efficiënt systeem voor stadsverwarming. Op basis van de simulatieresultaten opgenomen in Tabel 3-1, kan inderdaad geconcludeerd worden dat na realisatie van fase 1 van het project reeds wordt voldaan aan de criteria tot en met 31 december 2039. Dit geldt uiteraard a fortiori na realisatie van fase 2. Immers, na realisatie van fase 1 wordt naar verwachting 40,6% van de warmte geproduceerd door warmtepompen en 48,1% door hoogrenderende WKK. Na realisatie van fase 2 is dit respectievelijk 53,8% en 36,6%.

Alternatieven voor de warmtepompen kunnen dus enkel gezocht worden binnen de types installaties die er ook kunnen voor zorgen dat Luminus blijft voldoen aan de criteria voor een efficiënt systeem voor stadsverwarming. Niet alleen het type installatie speelt hierbij een rol, maar ook de hoeveelheid warmte die wordt opgewekt (en dus het aandeel in de totale warmteproductie ten behoeve van het stadsverwarmingsnet). Op korte termijn is er nog wel wat vrijheid, maar als we over de volledige (technische) levensduur van een investering kijken, dan lijken hoogrenderende warmtekrachtkoppeling, restwarmte en hernieuwbare energie de enige opties:

- **Hoogrenderende warmtekrachtkoppeling** met aardgas als brandstof kan momenteel nog helpen om te kunnen voldoen aan de criteria voor een efficiënt systeem voor stadsverwarming. Het is echter duidelijk dat dit slechts een overgangmaatregel is. In het kader van een verdere decarbonisering van warmtenetten, worden (hoogrenderende) WKK's op fossiele brandstoffen geleidelijk uitgefaseerd, om vanaf 2050 volledig te verdwijnen. Luminus heeft bovendien reeds enkele WKK's op aardgas, die nog wel een aantal jaren warmte kunnen blijven produceren. In deze context lijkt het verder opdrijven van het geïnstalleerd vermogen aan WKK's dus geen valabel alternatief. Het verhaal wordt natuurlijk anders indien de WKK niet gevoed wordt met fossiele brandstoffen, maar met een hernieuwbare energiebron (zoals biogas).
- **Restwarmterecuperatie** is op dit ogenblik geen realistische optie. In de omgeving van de site Ham zijn geen grote hoeveelheden restwarmte op voldoende hoge temperatuur beschikbaar. Op de site zelf is in theorie wel restwarmte op voldoende hoge temperatuur aanwezig in de rookgassen van de open cyclus gasturbines. Dit zijn echter piekcentrales die slechts een beperkt aantal draaiuren maken, en bovendien frequent starten en stoppen. De gemiddelde uptime per start is erg laag (circa 1 uur). Dit grillige karakter leent zich niet voor warmteproductie. Bovendien zou het inbouwen van warmtewisselaars in het rookgaskanaal ervoor zorgen dat de turbines minder snel kunnen opstarten, terwijl een korte opstarttijd net één van de belangrijkste kenmerken van de OCGT's is. Hierdoor zijn ze ook uitermate geschikt om netondersteunende diensten (zoals aFRR) te leveren. Restwarmterecuperatie is derhalve geen valabel alternatief.
- **Hernieuwbare energie** (andere dan warmtepompen), of dus biobrandstoffen, (diepe) geothermie en thermische zonne-energie, is ook geen voor de hand liggende keuze. Bij biobrandstoffen zijn vooral de commerciële beschikbaarheid (in voldoende hoeveelheden en tegen een competitieve prijs) en de opslag op de site knelpunten. Niet alleen is de beschikbare ruimte voor opslag op de site beperkt, er bevinden zich ook woongebieden op korte afstand, waardoor de opslag van (grote hoeveelheden) gevaarlijke stoffen niet mogelijk is. Ook (diepe) geothermie lijkt uitgesloten, gezien de Hernieuwbare Energieatlas Vlaanderen voor de regio Gent geen potentieel weergeeft voor energieproductie uit diepe geothermie (de regio's met het hoogste

⁶ Richtlijn (EU) 2018/2001 van het Europees Parlement en de Raad van 11 december 2018 ter bevordering van het gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen (herschikking).

potentieel situeren zich in Limburg en in de Kempen). Thermische zonne-energie tenslotte heeft een groot ruimtebeslag en is niet continu beschikbaar. Vooral de beperkte opbrengst tijdens de wintermaanden, wanneer de warmtevraag net het hoogst is, maakt thermische zonne-energie technisch onhaalbaar (ook met de aanwezige buffercapaciteit).

Alternatieve warmtebronnen voor de warmtepompen, zoals ondiepe geothermie en omgevingslucht, worden besproken in paragraaf 4.2.2

E-boiler

Ook de e-boiler kan gekaderd worden in de decarbonisatie (en elektrificatie) van de warmteproductie voor het warmtenet. De e-boiler zal immers zeker zorgen voor een reductie van de CO₂-emissies ten gevolge van de warmteproductie voor het stadsverwarmingsnet. Ook op vlak van energie-efficiëntie scoort de e-boiler beter dan de huidige (aardgasgestookte) ketels. Toch heeft de e-boiler niet helemaal hetzelfde doel als de warmtepompen. De e-boiler wil vooral de kost voor de productie van warmte drukken, door in te spelen op opportuniteiten op de (korte-termijn) elektriciteitsmarkten. De e-boiler zal daartoe enkel warmte produceren wanneer elektriciteit aan een lage prijs kan ingekocht worden. Alleen dan kan de (marginale) warmteproductiekost immers lager liggen dan de (marginale) warmteproductiekost van de (aardgasgestookte) WKK's of ketels. In praktijk zal dit vooral voorkomen wanneer er een overschot aan elektriciteit is binnen de Belgische regelzone, bijvoorbeeld door (onverwachts) hoge elektriciteitsproductie door windturbines en/of fotovoltaïsche zonnepanelen. Door op deze momenten elektriciteit af te nemen, draagt de e-boiler ook bij aan de stabiliteit van het net.

Niettegenstaande de e-boiler vaak zal werken op momenten dat een groot deel van de elektriciteitsproductie koolstofarm wordt opgewekt (nucleair, hernieuwbaar), en via het systeem van GvO's ook perfect kan voorzien worden dat louter hernieuwbare energie wordt gebruikt door de e-boiler, wordt warmte opgewekt door de e-boiler niet beschouwd als hernieuwbare energie in het kader van de criteria voor een efficiënt systeem voor stadsverwarming. Tenzij deze regel nog zou aangepast worden, zal het aandeel van de e-boiler in de warmteproductie dus sowieso beperkt blijven, omdat steeds een minimum-aandeel uit hoogrenderende warmtekrachtkoppeling, restwarmte en/of hernieuwbare energie moet komen.

Er zijn weinig of geen valabele alternatieven voor de specifieke doelstelling van de e-boiler (reductie van de warmteproductiekost + decarbonisatie van de warmteproductie). Warmtepompen zetten uiteraard ook elektriciteit om in warmte, maar reageren minder snel en worden ook beveiligd tegen pendelen (te frequent aan- en afschakelen), wat hen eerder geschikt maakt voor het invullen van de basislast, maar minder geschikt voor arbitrage (zeker op snel fluctuerende markten zoals de intraday-markt en zeker de onbalansmarkt).

4.2.2 Alternatieve warmtebronnen voor warmtepompen

In paragraaf 4.2.1 werd reeds toegelicht dat de investering in nieuwe warmtepompinstallaties Luminus kan helpen om te blijven voldoen aan de criteria voor een efficiënt systeem voor stadsverwarming, tenminste indien voldaan wordt aan de minimefficiëntiecriteria en indien omgevingsenergie (of mogelijks ook hernieuwbare energie of restwarmte) wordt gebruikt als bronwarmte. Ook dit laatste is het geval voor de door Luminus geplande aquathermische warmtepompinstallaties, die oppervlaktewater (en dus omgevingsenergie) gebruikt als warmtebron.

Naast omgevingsenergie uit oppervlaktewater, komen ook omgevingsenergie uit de lucht en ondiepe geothermie (zowel gesloten als open systemen) in aanmerking als warmtebron voor de warmtepomp (zonder impact op de mate waarin Luminus kan voldoen aan de criteria voor een efficiënt systeem voor stadsverwarming).

Lucht-waterwarmtepompen onttrekken warmte aan de **omgevingslucht**. In tegenstelling tot oppervlaktewater – waarvoor een captatievergoeding dient betaald te worden – is omgevingslucht een gratis bron. Ook de investeringen voor het uitkoppelen van de bronwarmte liggen in de meeste gevallen lager dan bij ondiepe geothermie (waar veelal kapitaalintensieve boringen of bodemlussen nodig zijn) of andere warmtebronnen. In het specifieke geval van Luminus is echter ook de uitkoppelkost voor warmte uit oppervlaktewater relatief beperkt, gezien de aanwezigheid van een watervang en een kanaal tot onder de locatie van de warmtepomp.

Omgevingslucht heeft een veel lagere energie-inhoud dan water, waardoor grote luchtdebieten nodig zijn, zeker voor de vermogens die Luminus beoogt. Bovendien is de omgevingslucht meer onderhevig aan temperatuurschommelingen dan oppervlaktewater of de bodem, die door de grotere thermische inertie een stabiel temperatuurprofiel kennen. Lage buitenluchttemperaturen in de winter leiden tot een hoger elektriciteitsverbruik of dus een lagere COP. Gezien het belang

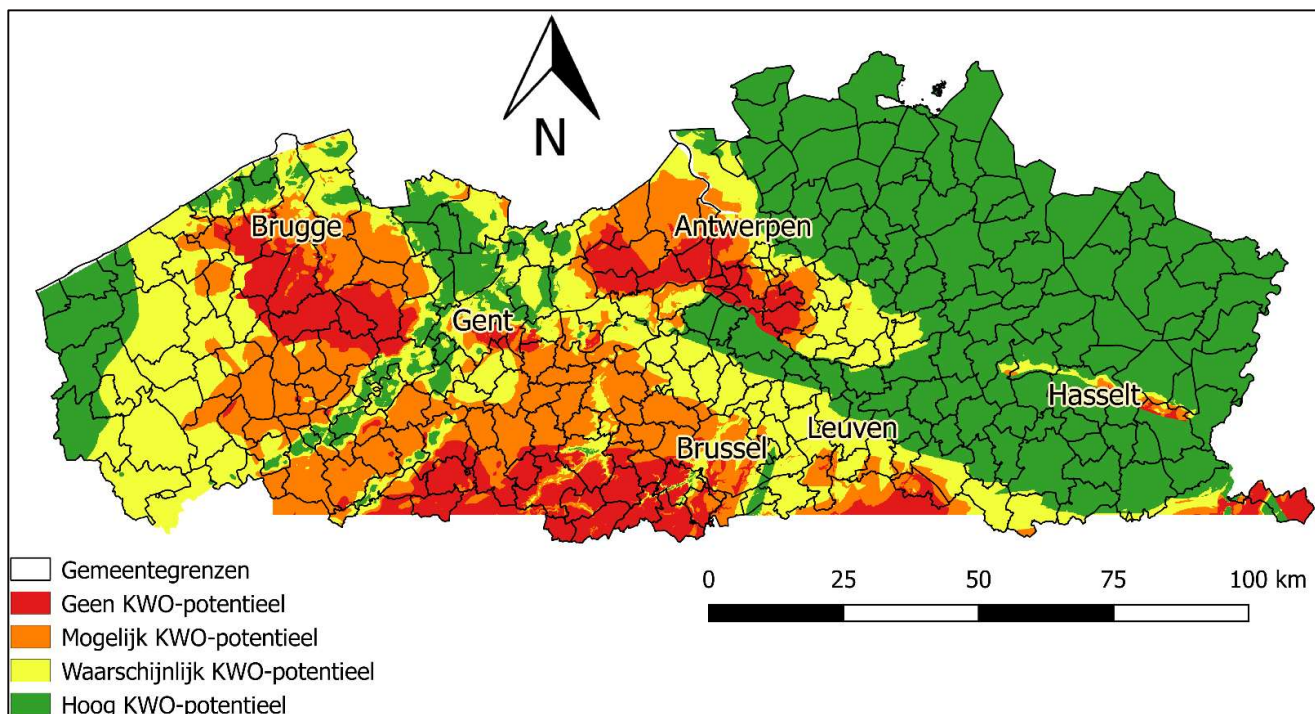
van de wintermaanden (hogere warmtevraag), betekent dit ook dat lucht-waterwarmtepompen een lagere gemiddelde COP halen.

Bij bepaalde weersomstandigheden kan op de verdamer van de lucht-waterwarmtepompen ook condensatie ontstaan, die vervolgens bevroest, waardoor de luchtstroom door de warmtewisselaar wordt verminderd. Om deze condensatie te verwijderen, voert een lucht-warmtepomp standaard een ontdooicyclus uit, waarbij de warmte van het circulerende (stadsverwarmings-)water wordt gebruikt. Dit vormt een aandachtspunt voor de regeling van de vertrektemperatuur in het warmtenet, en betekent uiteraard ook een (weliswaar klein) energieverlies.

De buitenunit van luchtwaterwarmtepompen (met de verdamer waarover buitenlucht stroomt) bevat ventilatoren die geluid produceren. Dit vormt een belangrijk aandachtspunt voor de site Ham, zeker gezien de nabijheid van woningen. Er kan weliswaar geopteerd worden voor een stille modus met lagere ventilatorsnelheid (wat het thermisch outputvermogen verlaagt), voor speciale, traagdraaiende (en dus stillere) ventilatoren (wat de investeringskost verhoogt) of andere oplossingen, doch deze hebben allemaal een negatieve impact op de economische haalbaarheid.

Er kan derhalve geconcludeerd worden dat lucht-waterwarmtepompen qua investeringskosten vergelijkbaar zullen zijn met aquathermische warmtepompen, maar operationeel wel in het nadeel zijn door de lagere gemiddelde COP, de verliezen bij ontdooiing. Dit leidt tot een hogere warmteproductiekost (levelised cost of heat). Daarnaast is er ook nog het geluidsaspect. Dit alles maakt de aquathermische warmtepomp de meest logische keuze voor dit project, tenminste zolang het kanaalwater hiervoor potentieel heeft.

Bij **ondiepe geothermie** onderscheiden we de open systemen (KWO: Koude- en WarmteOpslag of ATES: Aquifer Thermal Energy Storage) en de gesloten systemen (BEO: Boorgat EnergieOpslag of BTES: Borehole Thermal Energy Storage).



Figuur 4-1: Inschatting van het KWO-potentieel in Vlaanderen (Bron: project SmartGeotherm)

Open systemen voor **koude- en warmteopslag (KWO)** maken gebruik van watervoerende lagen in de ondergrond (aquifers) en pompen daaruit water op. Het water uit een aquifer heeft een vrij constante temperatuur, en in principe ook een hogere temperatuur dan de gemiddelde oppervlaktewatertemperatuur. Dit heeft een gunstig effect op de (gemiddelde) COP van de warmtepomp. Veelal wordt het water, nadat het zijn warmte heeft afgegeven, teruggepompt in een andere grondwaterlaag. Hierbij dient rekening gehouden te worden met een aantal belangrijke aandachtspunten. Het onttrekken van grondwater kan immers een impact hebben op de grondwaterspiegel. Daarom kan sowieso enkel water opgepompt worden uit een watervoerende laag met voldoende debiet. Daarnaast dient ook de warmtebalans

bewaard te blijven. KWO wordt daarom vooral toegepast bij een seizoensgebonden warmtevraag, idealiter in combinatie met een koudevraag in de zomer. Sowieso is grondig onderzoek noodzakelijk. Een indicatie voor de haalbaarheid van KWO kan worden gevonden uit de resultaten van het project 'Smart Geotherm'. Binnen dit project werd het KWO-potentieel voor Vlaanderen in kaart gebracht. Uit de kaart van Figuur 4-1 blijkt dat het grootste potentieel zich situeert in Limburg en de Kempen. De Gentse stadskern bevindt zich in een gebied met een beperkter potentieel, maar ook in een gebied met nogal wat onzekerheid (getuige de op korte afstand sterk wisselende inkleuring op de kaart).

In Figuur 4-2 wordt daarom een meer gedetailleerde analyse getoond voor de specifieke locatie van de site Ham, uitgevoerd via de Geothermische Screeningstool van Buidwise⁷. Deze tool geeft een inschatting van geologische opbouw van de bodem (verschillende bodemlagen) en de waterdoorlatendheid ervan. De kleurcodering in de vijfde kolom geeft ook een indicatie voor het potentieel voor KWO. In dit geval worden enkel de kleuren rood en oranje aangetroffen. De rode bodemlagen zijn ongeschikt voor KWO; de oranje lagen zijn misschien geschikt en vereisen dus een site-specifieke studie.

HCOV-data aangeleverd door VMM					Interpretatie Buidwise				
Naam HCOV-eenheid	dikte (m)	diepte (m)	type		k _a (m/dag)			Opm.	Hydro-dyn.
					Min	Gem	Max		
Alluviale deklagen	3.2	3.2			0.10	0.20	0.30		F
Deklagen (dekzanden)	3.7	6.9			0.10	5.05	10.00		F
Pleistoceen van de riviervalleien	1.2	8.1			10.00	20.00	30.00		F
Zand van Vlierzele en/of Aalterbrugge	21.4	29.5			0.80	3.00	6.70		F
Paniseliaan Aquitard	3.4	32.9			0.00	0.50	1.00		-
Ieperiaan Aquifer	17.7	50.5			0.03	2.00	1.50		G
Silt van Kortemark	16.0	66.6						NW	G
Ieperiaan Aquitardsysteem	97.0	163.5						NW	-

De geologische opbouw wordt weergegeven tot een maximale diepte van 300m. Deze opbouw is een interpretatie van onvolledige data. Alle gegevens dienen steeds te worden bevestigd door verder onderzoek.

LEGENDE

	Groot potentieel voor KWO
	Waarschijnlijk potentieel voor KWO, site-specifieke studie nodig
	Misschien geschikt voor KWO, site-specifieke studie nodig
	Ongeschikt voor KWO

Figuur 4-2: Inschatting waterdoorlatendheid van de bodem ter hoogte van de site ham, m.b.v. de Geothermische Screeningstool van Buidwise

Dit betekent dat koude- en warmteopslag niet noodzakelijk onmogelijk is op de site Ham, maar wel dat er rekening dient gehouden te worden met een verhoogde kost. Sowieso vergen boringen reeds een aanzienlijke investeringskost, zeker als een grotere diepte nodig is om een geschikte watervoerende laag te vinden. Klassiek wordt uitgegaan van € 750 - € 1000 per kW voor de uitkoppeling van de bodemwarmte (dus de boringen en het leidingwerk, maar zonder de warmtepomp). Voor bodems met een hoger KWO-potentieel wordt hierbij eerder naar de onderkant van de kostenvork gekeken, en voor bodems met een lager of minder waarschijnlijk KWO-potentieel (zoals in de omgeving van de site Ham) eerder naar de bovenkant van de kostenvork.

⁷ <https://tool.smartgeotherm.be/geo/alg>

Gezien de grote onzekerheid en complexiteit, de afwezigheid van een (voldoende) koelvraag in de zomerperiode en de hoge verwachte investeringskost, is koude- en warmteopslag (KWO, ATES, ondiepe geothermie via open systeem) bijgevolg niet te verkiezen boven een aquathermische warmtepomp (met oppervlaktewater als warmtebron).

Gesloten systemen met **boorgat-energieopslag (BEO)** worden frequenter toegepast, ook voor wijkverwarming of bij grote gebouwen.

Bij een BEO-installatie wordt een gesloten systeem van buizen in de grond gelegd om warmte te onttrekken aan de bodem. In een verticaal systeem gaan die buizen de diepte in, soms tot 100 meter diep; in een horizontaal systeem zitten de buizen op een beperkte diepte van pakweg 2 meter, verspreid over een grote oppervlakte. Het spreekt voor zich dat de temperatuur in een horizontaal systeem meer onderhevig is aan klimaatinvloeden zoals omgevingstemperatuur, regen en droogte. In een verticaal systeem wordt een zeer stabiele temperatuur bekomen – typisch rond zo'n 10°C. Dat geeft warmtepompen in de winter een veel beter rendement dan wanneer omgevingslucht of oppervlaktewater als warmtebron worden gebruikt.

Ook bij BEO-velden is het belangrijk om de warmtebalans in de bodem te bewaren; idealiter wordt dus ook hier in de zomer terug warmte in de bodem gestopt (al dan niet door het invullen van een koelbehoefte).

Bij een verticale boring wordt klassiek uitgegaan van een (gemiddeld) vermogen van circa 40 W per meter diepte. Een boring tot op een diepte van 100 meter zal dus slechts een vermogen van circa 4 kW opleveren. Voor de door Luminus beoogde vermogens zal een groot aantal verticale boringen nodig zijn, hetgeen een grote ruimte-inname impliceert. Uitgaande van een tussenafstand van 6 meter tussen twee boringen, kan de totale benodigde ruimte ingeschat worden op circa 3 hectare. Gezien de ligging van de site binnen de stadsring, is deze ruimte niet voorhanden. Voor een horizontaal systeem is een nog grotere oppervlakte nodig.

De kostprijs voor de aanleg BEO-velden is aanzienlijk, hetgeen niet hoeft te verwonderen gezien het groot aantal boringen (of het grote horizontale systeem), en bijgevolg de erg grote leidinglengte. Klassiek wordt uitgegaan van € 1100 - € 1250 per kW voor de uitkoppeling van de bodemwarmte (dus de boringen en het leidingwerk, maar zonder de warmtepomp), wat dus nog een stuk hoger ligt dan bij KWO-systemen.

Gezien er onvoldoende ruimte beschikbaar is voor de aanleg van de boringen of het grondnet, gezien de afwezigheid van een (voldoende) koelvraag in de zomerperiode en gezien de hoge verwachte investeringskost, vormen gesloten systemen voor ondiepe geothermie (BEO, BTES) in voorliggend project geen valabel alternatief voor aquathermische warmtepompen (met oppervlaktewater als warmtebron).

4.2.3 Alternatieve koelmiddelen voor warmtepompen

Er wordt uitgegaan van ammoniak (R717) als koelmiddel voor de warmtepompen, gezien dit de duidelijke voorkeur van Luminus geniet.

Het aantal technisch haalbare koelmiddelen is beperkt, gezien de grote 'temperatuurlift' (verschil tussen condensortemperatuur en verdampertemperatuur) van de voorziene warmtepompen. In de meeste gevallen wordt het temperatuurbereik van een koelmiddel wordt aan de onderzijde bepaald door het kookpunt bij atmosferische druk (hoewel het technisch ook mogelijk, doch complexer is om onder partieel vacuüm te werken) en aan de bovenzijde door (een zekere offset onder) de kritische temperatuur (hoewel het ook mogelijk is om transkritisch of superkritisch te werken, maar dan is enkel gaskoeling mogelijk en geen condensatie, wat energetisch minder gunstig is). Ammoniak heeft een atmosferisch kookpunt van -33°C en een kritisch punt van 132°C. De verdamper- en condensortemperatuur voor de geplande warmtepompen liggen mooi binnen dit bereik. Toch is de condensordruk bij een condensortemperatuur van 90°C reeds meer dan 50 bar, wat hoog is voor het gebruik van schroefcompressoren. Daarom worden (althans voor de hogedrukcompressie) zuigercompressoren voorzien.

Er zijn uiteraard nog koelmiddelen die een geschikt temperatuurbereik hebben. Toch vallen reeds een aantal frequent toegepaste koelmiddelen omwille van hun temperatuurbereik af voor dit project: CO₂ en propaan hebben bijvoorbeeld een (te) laag kritisch punt (respectievelijk 31°C en 97°C), terwijl pentaan dan weer een (te) hoog atmosferisch kookpunt heeft (36°C).

Ammoniak heeft bovendien een erg hoge energiedichtheid (1250 kJ/kg latent bij 10°C), hoger dan de meeste andere koelmiddelen. Hierdoor is minder koelmiddel nodig om hetzelfde warmtevermogen te produceren, wat ook betekent dat

de compressor minder koelmiddel moet comprimeren, hetgeen gunstig is voor het energieverbruik (hogere COP mogelijk).

Naast de thermodynamische aspecten, is natuurlijk ook de impact op de omgeving van belang bij de keuze van een koelmiddel. Ammoniak is een natuurlijk koelmiddel, met een GWP (global warming potential) gelijk aan 0, en ook een ODP (ozone depletion potential) gelijk aan 0. Dit betekent dat ammoniak, bij vrijstelling in de atmosfeer, niet zal bijdragen aan het broeikas effect, noch aan het gat in de ozonlaag.

De belangrijkste nadelen van ammoniak zijn dat het toxisch (en bij hogere concentraties zelfs giftig) is, en bij bepaalde concentraties ook ontplofbaar. Het wordt gerangschikt in categorie B2L (lower flammability, higher toxicity). Extra veiligheidsmaatregelen zijn derhalve nodig om bij vrijstelling de concentraties in de omgevingslucht te beperken (gasdetectie, ventilatie,...). Een ander nadeel is dat ammoniak corrosief is (voor bepaalde metalen). Zo is het bijvoorbeeld niet compatibel met koper, waardoor het in warmtepompen en koelinstallaties frequent gebruikte materiaal CuNi (90% koper, 10% nikkel) niet kan toegepast worden in installaties met ammoniak als koelmiddel.

Tetrafluoropropeen (R1234ze, merknaam Solstice@ze) lijkt op basis van thermodynamische eigenschappen een mogelijk alternatief voor ammoniak. Het atmosferisch kookpunt bedraagt -19°C en het kritisch punt 109°C. De energiedichtheid ligt lager dan bij ammoniak, maar het is toch nog steeds een van de meest energie-efficiënte koelmiddelen voor warmtepomptoeepassingen bij hoge en middelhoge temperaturen. Het is echter geen natuurlijk, maar een synthetisch koelmiddel, dat bij vrijstelling kan leiden tot de vorming van PFAS. De TFA-yield (een maatstaf voor de hoeveelheid PFAS die wordt gevormd) ligt echter eerder laag in vergelijking met andere synthetische koelmiddelen. Het GWP bedraagt 7 (dus een impact op het broeikas effect die 7 keer groter is dan deze van eenzelfde hoeveelheid CO₂), en het ODP 0. Het wordt ingedeeld in categorie A2L (lower flammability, lower toxicity), en is ook niet corrosief voor (gebruikelijke) materialen.

Zowel ammoniak als R1234ze hebben dus hun specifieke voor- en nadelen, maar toch kan ammoniak als het best mogelijke alternatief inzake koelmiddel voor de geplande warmtepompen worden beschouwd. Het biedt immers de hoogste (energie-)efficiëntie van de technisch en milieutechnisch haalbare opties, en de risico's zijn (mits het nemen van de nodige maatregelen) beheersbaar.

4.3 Situering ten opzichte van de stand van de technologie

4.3.1 Toetsing aan de BBT-conclusies

In deze paragraaf wordt nagegaan of de geplande technologie als 'best beschikbare technologie' kan worden beschouwd. Hiervoor wordt de geplande installatie getoetst aan de relevante BBT-conclusies en/of de beschreven technieken in BBT- of BREF-studies. Een volledige toetsing van het project aan de BBT-conclusies behoort niet tot de scope van een energiestudie. Indien relevant, wordt dit elders in de vergunningaanvraag opgenomen (bijlage RX bij de omgevingsvergunningaanvraag). In deze studie beperken we ons daarom tot een bespreking van de BBT-conclusies die relevant zijn op vlak van energie-efficiëntie.

Er is geen specifieke Europese BREF-studie of Vlaamse BBT-studie beschikbaar voor warmteproductie door middel van warmtepompen en e-boilers. Ook het aantal horizontale BREFs dat (op vlak van energie-efficiëntie) relevant is voor de warmtepompen en de e-boiler, is erg beperkt. De horizontale BREF 'Energy Efficiency (ENE)' is hier (althans gedeeltelijk) relevant. De BREF 'Industrial Cooling Systems (ICS)' richt zich uitsluitend op 'systemen om restwarmte uit een medium te verwijderen door middel van warmte-uitwisseling met water en/of lucht, waarbij de temperatuur van het betrokken medium wordt verlaagd tot omgevingstemperatuur'. Bijgevolg is de BREF ICS niet van toepassing op warmtepompen, maar kan mogelijks wel als inspiratiebron worden gebruikt om bepaalde aspecten van energie-efficiëntie bij warmtepompen te toetsen.

4.3.1.1 BBT-conclusies voor energie-efficiëntie (BREF Energy Efficiency - ENE)

De 'BREF Energy Efficiency' bevat een aantal algemene technieken om energie-efficiëntie te verhogen op installatieniveau, maar ook een aantal specifiekere technieken om energie-efficiëntie te verhogen in systemen en processen die energie verbruiken. In het kader van deze energiestudie wordt vooral naar deze laatste gekeken. Hieronder worden technieken besproken voor een aantal specifieke componenten die relevant zijn bij het ontwerp van de nieuwe installaties voor warmteproductie ten behoeve van het stadsverwarmingsnet.

Elektrische voeding

In BBT-conclusie BBT23 worden een aantal technieken beschreven om de (energie-)efficiëntie van de elektrische voeding te verbeteren. Volgende technieken worden toegepast:

- Transformatoren met hoog rendement en lage verliezen:
 - o Voor de transformatoren (voor transformatie van de netspanning (12 kV) naar laagspanning (400V)) werd geopteerd voor oliegekoelde types (ONAN). Oliegekoelde transformatoren hebben weliswaar een iets hogere investeringskost, maar hebben ook een lichtjes hoger rendement (en dus lichtjes lagere verliezen) dan luchtgekoelde transformatoren.
 - o De verliezen van de transformatoren die zorgen voor de transformatie van 12 kV naar 400V, liggen niet hoger dan de maximale verliezen voor 'medium power transformers' gespecificeerd in de Europese Ecodesign-richtlijn en de bijhorende verordeningen⁸. In dit geval betreft het transformatoren met een nominaal vermogen van 3150 kVA, waardoor volgende maximale verliezen van toepassing zijn:
 - Nullastverlies: 1.980 W
 - Kortsluitverlies: 23.000 W
- Transformatoren uitbaten boven 40% à 50% van de nominale belasting:
 - o Zowel de warmtepompen en als de e-boiler zullen (indien operationeel) vrijwel steeds op vollast worden uitgebaat.
 - o Het nominaal vermogen van de transformatoren (3.150 kVA) is afgestemd op het verwachte opgenomen vermogen bij vollast van de warmtepompen (> 1.900 kW) en de e-boiler (2.506 kW). Er kan dus zeker gesteld worden dat de transformatoren voor meer dan 50% belast worden.
- Grote stroomverbruikers zo dicht mogelijk bij de stroombron of transformator plaatsen:
 - o De 'nieuwe installaties worden compact opgebouwd binnen de bestaande machinehal, met de laagspanningsverdeelborden vlak naast de transformatoren.

Subsystemen aangedreven door elektromotoren

In BBT-conclusie BBT24 worden een aantal technieken vermeld om elektromotoren te optimaliseren (nadat eerst het volledige systeem is geoptimaliseerd). De BBT is om één of meer van de vermelde technieken toe te passen. Dit is het geval voor de door Luminus geplande nieuwe installaties, met name door toepassing van volgende technieken:

- Het gebruik van energie-efficiënte motoren:
 - o De laagspanningsmotoren hebben een rendementsklasse conform de Europese verordening (EU) 2019/1781, of dus:
 - Rendementsklasse IE4 voor elektromotoren (400VAC, met 2, 4 of 6 polen) met een nominaal vermogen tussen 75 kW en 200 kW;
 - Rendementsklasse IE3 voor elektromotoren (400VAC, met 2, 4, 6 of 8 polen) met een nominaal vermogen tussen 0,75 en 1000 kW, behalve de motoren die vallen onder (i);
 - Rendementsklasse IE2 voor elektromotoren (400VAC, met 2, 4, 6 of 8 polen) met een nominaal vermogen tussen 0,12 en 0,75 kW.
- Een correcte dimensionering van de motoren:
 - o Voor de pompen en ventilatoren waarvoor een debiet en een opvoerhoogte of drukverschil bekend is, liggen de opgegeven vermogens van de elektromotoren steeds in de buurt van het (op basis van debiet en opvoerhoogte/drukverschil) berekende vermogen, waardoor geconcludeerd mag worden dat ze correct werden gedimensioneerd.
- Het gebruik van frequentiesturing (VFD):
 - o Vervult de meeste elektromotoren (doch niet allemaal) zijn voorzien van frequentiesturing. Frequentiesturing wordt steeds toegepast bij (licht) variërende belasting en een hoog aantal draaiuren, of waar nodig om piekstroom bij opstart te vermijden. Zo zijn onder meer de compressoren van de warmtepompen, alle stadsverwarmingswaterpompen, kanaalwaterpompen en glycolwaterpompen voorzien van VFD. Enkel bij enkele kleinere elektromotoren, waar de te verwachten energiebesparing minimaal of zelfs verwaarloosbaar is (omwille van vrijwel continue vollast of bij een beperkt aantal draaiuren), wordt dit niet toegepast.
- Het gebruik van efficiënte transmissie-of reductiesystemen:

⁸ Commission Regulation (EU) 548/2014 of May 21st, 2014 on implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to small, medium and large power transformers

- Overall wordt gebruik gemaakt van directe koppeling van elektromotor en machine.

Pompsystemen

In BBT-conclusie BBT26 worden een aantal technieken vermeld om pompsystemen te optimaliseren, zowel bij het ontwerp als bij uitbating en onderhoud. Volgende technieken zijn relevant en worden toegepast:

- Een correcte dimensionering van de pompen en de motoren: voor de pompen waarvoor een debiet en een opvoerhoogte bekend is, liggen de opgegeven vermogens van de elektromotoren steeds in de buurt van het (op basis van debiet en opvoerhoogte) berekende vermogen, waardoor geconcludeerd mag worden dat ze correct werden gedimensioneerd.
- Het gebruik van frequentiesturing (VFD): de belangrijkste pompen (stadsverwarmingswaterpompen van warmtepompen en e-boiler, kanaalwaterpompen en glycolwaterpompen) worden voorzien van frequentiesturing. Dit is logisch gezien hun (licht) variërende belasting en/of hoog aantal draaiuren.
- Een goed ontwerp van het leidingsysteem: het leidingsysteem wordt ontworpen conform geldende normen, codes van goede praktijk en interne standaarden van Luminus. De leidinglengtes worden beperkt.

4.3.1.2 BBT-conclusies voor koelsystemen (BREF Industrial Cooling Systems - ICS)

De BREF Industrial Cooling Systems richt zich uitsluitend op 'systemen om restwarmte uit een medium te verwijderen door middel van warmte-uitwisseling met water en/of lucht, waarbij de temperatuur van het betrokken medium wordt verlaagd tot omgevingstemperatuur'. De BREF ICS is bijgevolg niet van toepassing op warmtepompen. Specifiek voor de warmtewisselaars in het kanaalwatercircuit en glycolwatercircuit, kunnen de technieken vermeld in de BREF ICS echter mogelijk wel relevant zijn.

In de BREF Industrial Cooling Systems worden volgende technieken vermeld als best beschikbare technieken voor de reductie van het energieverbruik:

- Het beperken van leidingverliezen, door het minimaliseren van stromings- en warmteweerstanden, en door het moduleren van lucht en/of waterstromen;
- Het gebruik van transportapparatuur (pompen, ventilatoren) met hoog rendement en lage energievraag
- Een goed regelbaar systeem (o.a. frequentiegeregelde aandrijving)

Deze technieken sluiten aan bij wat eerder werd vermeld bij de BREZF ENE, en worden toegepast bij de nieuwe installaties.

4.3.2 Toetsing van specifieke componenten aan de stand der techniek

4.3.2.1 Warmtepompen

De (jaargemiddelde) COP van de warmtepompen kan niet zomaar getoetst worden aan een referentiewaarde. De COP van een warmtepomp (verhouding tussen warmte-output ten elektriciteitsinput) is immers functie van de temperatuur van warmtebron en warmte-afnemer. Voor aquathermische warmtepompen die gebruik maken van oppervlaktewater als warmtebron, fluctueert de temperatuur van de warmtebron bovendien doorheen het jaar, zodat ook de COP geen constante is. Ook de temperatuur van de warmteafnemer kan variëren, al gaan we ervan uit dat dit voor het specifieke geval van de stadsverwarming vaak in de buurt van 92 à 95°C zal liggen.

Bij installaties die energie omzetten worden de (thermodynamische) prestaties vaak geanalyseerd met behulp van vergelijkingsprocessen. Het werkelijke proces kan dan vergeleken worden met een theoretisch proces (ideaal proces, zonder verliezen), dat men dan zo dicht mogelijk wens te benaderen. Voor koelmachines en warmtepompen is het Carnotproces het vergelijkingsproces met de hoogste theoretische COP. Dit proces bestaat uit twee isothermen (warmtetoevoer in een verdamper, warmteafvoer in een condensor) en twee isentropen (isentropische compressie en expansie). De theoretische warmtefactor (COP_{th}) van het Carnotproces hangt alleen af van de temperaturen waarbij warmte toe- en afgevoerd wordt, of dus van de verdampertemperatuur en de condensortemperatuur. Er geldt:

$$COP_{th} = \frac{T_{condensor}}{T_{condensor} - T_{verdamper}}$$

In werkelijkheid zal het proces afwijken van het Carnotproces (onder meer door niet-isentropische compressie, wrijving, oververhitting, onderkoeling, niet ideaal-medium,...). Daarnaast treden ook verliezen op bij de aandrijving van de

compressor (verliezen elektromotor,...). De COP van het werkelijke proces zal hierdoor een stuk lager liggen dan deze van het theoretische proces. De verhouding tussen de werkelijke en de theoretische COP is het 'Carnotrendement'. Dit Carnotrendement is beter geschikt voor benchmarking dan de COP zelf.

Voor industriële warmtepompen ligt het Carnotrendement typisch tussen 0,5 en 0,7. Er is nog geen definitieve keuze gemaakt omtrent leverancier, merk en type warmtepompen voor voorliggend project. In de ontvangen technische offertes van de leveranciers werd wel reeds de COP opgegeven voor een aantal discrete punten (in functie van kanaalwatertemperatuur en warmte-outputtemperatuur). Indien we voor deze discrete punten eveneens de theoretische warmtefactor bereken, en vervolgens ook, het Carnotrendement, dan stellen we vast dat het Carnotrendement steeds in de buurt van 0,7 ligt. Met een Carnotrendement nabij de bovengrens van het typische bereik voor industriële warmtepompen, kan dus gesteld worden dat de COP van de geplande warmtepompen in lijn liggen met de huidige stand der techniek.

4.3.2.2 E-boiler

E-boilers met weerstandsverwarming hebben een hoog omzettingsrendement. Er zijn immers geen rookgasverliezen. Door goede isolatie (van toestellen en leidingen) kunnen ook de warmteverliezen naar de omgeving beperkt worden (doch niet helemaal vermeden) worden. Het vat (waarin de weerstanden zitten) en de leidingen zullen in dit geval inderdaad geïsoleerd worden (op gelijkaardige wijze dan andere apparatuur en leidingen binnen de centrale). Een omzettingsrendement dat net onder 100% ligt, is dus haalbaar, en wordt door de potentiële leveranciers ook gegarandeerd (>99%).

Voor wat betreft de hulpapparatuur is enkel een stadsverwarmingswaterpomp voorzien. Bij het ontwerp van de pomp, de elektromotor en de elektrische voeding, is rekening gehouden met best beschikbare technieken vermeld in de BREF ENE (zie paragraaf 4.3.1.1). Hierdoor wordt het verbruik van de stadsverwarmingswaterpomp beperkt gehouden, en blijft het nettorendement van de e-boiler (inclusief hulpapparatuur) hoog (circa 97,5%). Hiermee kan geconcludeerd worden dat het omzettingsrendement in lijn ligt met de huidige stand der techniek.

4.4 Conclusie

Dit project heeft als doel de warmteproductie ten behoeve van het stadsverwarmingsnet te verduurzamen en te decarboniseren. Waar de warmtepomp tot doel heeft grotere hoeveelheden warmte op een zo duurzaam mogelijke manier te produceren, richt de e-boiler zich eerder op het benutten van marktopportunities (en dus een reductie van de warmteproductiekost), zij het wel in combinatie met decarbonisatie. Gelet op deze specifieke doelstellingen, en rekening houdend met technische, economische en milieutechnische randvoorwaarden, kunnen zowel de aquathermische warmtepompen met ammoniak als koelmiddel als de e-boiler beschouwd worden als **de best mogelijke alternatieven voor dit project**.

Er is geen specifieke Europese BREF-studie of Vlaamse BBT-studie beschikbaar voor warmteproductie met warmtepompen en/of e-boilers. Er zijn bijgevolg ook geen relevante BBT-GEENs. De horizontale BREF Energy Efficiency (ENE) is gedeeltelijk relevant voor de geplande installaties op vlak van energie-efficiëntie. De horizontale BREF Industrial Cooling Systems is niet van toepassing op warmtepompen, maar kan voor specifieke deelsystemen ter inspiratie worden gebruikt.

De voor de doeleinden van deze studie relevante technieken, die als 'best beschikbare technieken' (voor wat betreft energie-efficiëntie) worden vermeld in deze Europese BREF-studies, worden in ruime mate toegepast in de door Luminus geplande installatie.

Verder kan gesteld worden dat de energie-efficiëntie van de geplande warmtepompen en e-boiler in lijn ligt met de stand der techniek. Er kan bijgevolg geconcludeerd worden dat de door Luminus geplande warmtepompen en e-boiler in totaliteit **als best beschikbare techniek kunnen beschouwd worden**.

5 MOGELIJKE MAATREGELEN TER VERHOOGING VAN DE ENERGIE-EFFICIËNTIE

5.1 Identificatie maatregelen

De geplande installaties (aquathermische warmtepompen en e-boiler) zorgen inherent voor een reductie van het finale energiegebruik voor warmteproductie ten behoeve van het warmtenet, in vergelijking met de huidige situatie. In het ontwerp van de geplande installaties zijn bovendien reeds een aantal energiebesparende maatregelen (zoals het toepassen van frequentiesturing op elektromotoren met een wisselende belasting, thermische isolatie,...) of gunstige keuzes vanuit energetisch oogpunt (ammoniak als koelmiddel,...) opgenomen. Voor deze (in het ontwerp vervatte) maatregelen of keuzes wordt geen verdere analyse van de financiële haalbaarheid uitgevoerd.

Er wordt wel gekeken naar mogelijke energiebesparende technieken die (nog) niet zijn opgenomen in het ontwerp. Het kan hierbij gaan om technieken die worden vermeld in de relevante BREF-studies, maar ook om in vergelijkbare installaties toegepaste technieken. Op deze manier wordt volgende lijst van verder te onderzoeken maatregelen bekomen:

- Het verhogen van de verdampertemperatuur en/of het verlagen van de condensortemperatuur
- Het weglaten van de glycolwatercircuits (tussenkringen) in alle warmtewisselaars;
- Het in serie schakelen van verdampers;
- Het toepassen van elektromotoren met rendementsklasse IE4 (in plaats van IE3);
- Het toepassen van UPS-systemen met een ECO-mode.

Deze maatregelen worden in volgende paragrafen verder toelicht, kwalitatief onderzocht, en waar nodig ook economisch doorgerekend.

5.2 Analyse

Voor het bepalen van de jaarlijkse financiële opbrengst door energiebesparingen, wordt een elektriciteitsprijs van 144,4 €/MWh (on site) en een aardgasprijs van 32,4 €/MWhHHV (on site) verondersteld.

De elektriciteitsprijs is gebaseerd op de gemiddelde notering op de internationale markten gedurende de maand oktober 2025 voor elektriciteitsleveringen in de kalenderjaren 2027 en 2028 (ICE Endex Power Baseload BE), hetgeen ons representatief lijkt voor de te verwachten elektriciteitsprijs na opstart van de 'nieuwe installaties. De commodityprijs van 79,4 €/MWh voor elektriciteit werd verder omgerekend naar prijzen voor de eindklant (on site) op basis van de actueel gangbare tarieven voor transmissie en distributie, heffingen en taksen (voor afname uit het 12kV-net van netbeheerder Fluvius Imewo), en tenslotte afgerond. Hierbij werd aangenomen dat het volledige elektriciteitsverbruik van de nieuwe installaties uit het net zal worden afgenomen (wat niet helemaal overeenstemt met de realiteit, gezien dit ook deels lokaal zal opgewekt worden, wanneer de WKK-installaties en de nieuwe installaties gelijktijdig draaien).

De aardgasprijs is gebaseerd op de gemiddelde notering op de internationale markten gedurende de maand oktober 2025 voor aardgasleveringen in de kalenderjaren 2027 en 2028 (ICE Endex Gas TTF jaarlijkse termijncontracten), hetgeen ons representatief lijkt voor de te verwachten aardgasprijs na opstart van de nieuwe installaties. De commodityprijs van 27,6 €/MWhHHV voor aardgas werd verder omgerekend naar prijzen voor de eindklant (on site) op basis van de actueel gangbare tarieven voor transport, heffingen en taksen (voor levering via het transportnet van netbeheerder Fluxys), en tenslotte afgerond.

5.2.1 Het verhogen van de verdampertemperatuur en/of het verlagen van de condensortemperatuur

Een op het eerste zicht voor de hand liggende energiebesparende maatregel bij warmtepompen is het verhogen van de verdampertemperatuur en/of het verlagen van de condensortemperatuur. Dit zou immers leiden tot een hogere COP en dus een lager elektriciteitsverbruik bij productie van dezelfde hoeveelheid warmte.

- Bij aquathermische warmtepompen wordt de verdampertemperatuur echter bepaald door de temperatuur van het (oppervlakte) water dat als warmtebron fungeert, in dit geval dus het kanaalwater uit het Achterdok. De kanaalwatertemperatuur zelf kan niet worden beïnvloed. Het is dus enkel mogelijk om – bij variatie van de

kanaalwatertemperatuur doorheen het jaar – de verdampertemperatuur af te stemmen op de kanaalwatertemperatuur (hetgeen ook voorzien is).

- De condensortemperatuur wordt bepaald door de gewenste outputtemperatuur van het stadsverwarmingswater, dewelke circa 95°C bedraagt. Dit lijkt hoog, vooral in de zomerperiode, maar kan op korte termijn niet significant worden gereduceerd. Er dient immers rekening gehouden te worden met de noden van de warmteafnemers op het stadsverwarmingsnet en met de bepalingen uit de leveringscontracten die met de warmteafnemers zijn afgesloten. De stipuleren een minimumtemperatuur voor de aangeleverde warmte, waarop klanten zich hebben gebaseerd voor het ontwerp van hun installaties. Daarnaast wordt, zeker in de zomermaanden, vaak gebruik gemaakt van de buffertank; Hierdoor kunnen WKK's en warmtepompen op het economisch meest optimale moment warmte produceren, en kunnen ze ook quasi steeds vollast draaien (wat de energie-efficiëntie ten goede komt). Anderzijds wordt zowel bij het 'opladen' als bij het 'ontladen' van de buffertank een warmtewisselaar doorstroomd, waardoor twee keer een temperatuurval optreedt. Bij gebruik van warmte uit de buffertank, kan de vertrektemperatuur in de netten dus nooit zo hoog zijn als bij rechtstreeks gebruik van de warmte (uit WKK's en warmtepompen). Om dus ook bij gebruik van de buffertank de minimum vertrektemperatuur te respecteren, dient de outputtemperatuur van WKK's en warmtepompen dus nog enkele graden hoger te liggen dan de contractueel bepaalde minimumtemperatuur. Ook de condensortemperatuur ligt bijgevolg min of meer vast.

Het verhogen van de verdampertemperatuur en/of het verlagen van de condensortemperatuur is bijgevolg geen haalbare maatregel (technisch niet haalbaar omwille van de buffertank, juridisch/commercieel niet haalbaar omwille van bestaande contracten) en wordt dan ook niet verder onderzocht.

5.2.2 Het in serie schakelen van condensors

Als variant op het verlagen van de condensortemperatuur, kan een configuratie worden overwogen waarbij de condensors van twee warmtepompen waterzijdig in serie geschakeld worden. Het gaat hierbij telkens om de twee warmtepompen die tegelijkertijd worden gebouwd en die samen één warmtepompinstallatie met een thermische output van circa 5 MW vormen.

Sterk vereenvoudigd betekent dit dat – indien we ervan uitgaan dat het retourwater van het stadsverwarmingsnet dient opgewarmd te worden van 65°C naar 95°C – de eerste condensor kan zorgen voor een opwarming van 65°C naar circa 80°C, en de tweede voor de verdere opwarming naar de gewenste outputtemperatuur van 95°C. Hierdoor kan de condensortemperatuur van de eerste warmtepomp een stuk lager liggen dan de condensortemperatuur van de tweede warmtepomp, waardoor de COP van de eerste warmtepomp een stuk hoger zal liggen dan de COP van de tweede warmtepomp. Ook de 'gezamenlijke COP' stijgt hierdoor uiteraard mee.

In realiteit is de condensor echter niet de enige warmtewisselaar aan de warme zijde: het gasvormige koelmiddel (hier ammoniak) is na de compressor immers oververhit. Een eerste warmtewisselaar zorgt voor de ontvoerverhitting: het koelmiddel blijft gasvormig, maar koelt af tot net boven de condensatietemperatuur. Daarna condenseert het koelmiddel in de condensor, waarbij de temperatuur van het koelmiddel nagenoeg gelijk blijft. Vervolgens doorstroomt het (inmiddels vloeibare) koelmiddel een subcooler, waarin het koelmiddel verder afkoelt. De temperatuur waarop het koelmiddel de subcooler verlaat, is functie van de temperatuur van het op te warmen medium (in dit geval dus het retourwater van het stadsverwarmingsnet). Het stadsverwarmingswater doorloopt de warmtewisselaars uiteraard in tegengestelde richting, dus achtereenvolgens subcooler, condensor en ontvoerverhitter (desuperheater).

Het koelmiddel naar een lagere temperatuur afkoelen in de subcooler heeft een positief effect op de energie-efficiëntie van de warmtepomp. In dat opzicht is het een minder goed idee om de twee warmtepompen als geheel in serie te zetten. Dit zou immers betekenen dat het koelmiddel in de tweede warmtepomp slechts kan worden afgekoeld tot een temperatuur boven 80°C (gezien het 'koelwater' aan 80°C de subcooler binnenkomt). Het is dan ook beter om de subcoolers in parallel te houden (zodat ze beiden 'koelwater' krijgen op een temperatuur van 65°C), en vervolgens de condensors in serie te zetten. Om een zo hoog mogelijk outputtemperatuur (van het stadsverwarmingswater) te bekomen, verdient het ook aanbeveling om beide desuperheaters (in parallel) na de serieschakeling van condensors te plaatsen.

Het resultaat is een complexe heen en weer van leidingen tussen beide warmtepompen, hetgeen uiteraard de kostprijs omhoogduwt. Bovendien dienen de condensors het dubbele debiet aan water aan te kunnen (ten opzichte van het basisscenario met volledig parallelle warmtepompen), wat ook aanleiding geeft tot een meerprijs. De exacte meerkost ten opzichte van de standaardoplossing is moeilijk te bepalen, gezien deze ook functie is van de lay-out van de installatie. Sommige constructeurs werken bovendien standaard met een geïntegreerde subcooler, condensor en desuperheater,

waardoor een kleinere footprint een lagere koelmiddelinhoud kan bereikt worden. Een dergelijke configuratie maakt het natuurlijk niet mogelijk om de warmtewisselaars optimaal te schikken, en laat dus enkel toe om de warmtepompen (als geheel) in serie te plaatsen. Dit reduceert de meerkost, maar (afhankelijk van de precieze configuratie), maar ook de potentiële energiebesparing. Omwille van bovenstaande redenen, kunnen er tussen de potentiële leveranciers aanzienlijke verschillen zijn, zowel inzake meerkost bij investering, als inzake gerealiseerde energiebesparing.

Indien de warmtewisselaars wel optimaal kunnen geschikt worden, zou de gemiddelde COP van de warmtepomp met lagere condensortemperatuur in circa 3,26 kunnen bedragen. De gemiddelde COP van de warmtepomp met de hogere condensortemperatuur blijft behouden op 2,91. De gemiddelde COP voor het geheel van beide warmtepompen bedraagt hierdoor 3,07. Hierdoor kan het elektriciteitsverbruik van de warmtepompen, bij gelijkblijvende hoeveelheid geproduceerde warmte, dalen met circa 495 MWh per jaar (in fase 2). Bij een gemiddelde elektriciteitsprijs (inclusief netkosten, heffingen en taksen) van 144,4 €/MWh, betekent dit een besparing van circa € 71.400 per jaar. Daartegenover staat mogelijks een reductie van de beschikbaarheid, gezien het bij uitval van één van beide warmtepompen niet steeds mogelijk zal zijn om het stadsverwarmingswater op te warmen tot de gewenste temperatuur (van circa 95°C). In realiteit zal vaak worden geopteerd voor twee identieke warmtepompen, waarbij de condensortemperatuur (en dus ook de condensordruk) verschillend wordt ingesteld. Dat kan de beschikbaarheid verhogen, maar kan er ook voor zorgen dat de compressor in een suboptimaal werkingpunt opereert, waardoor een klein deel van de potentiële energiewinst verloren gaat.

Gezien de grote onzekerheid op zowel de extra investeringskost, de te realiseren energiebesparing als de financiële impact van de lagere beschikbaarheid, kan slechts een ruwe inschatting worden gemaakt van de financiële haalbaarheid van de maatregel. Om de gedachten te vestigen, wordt niettemin een berekening uitgevoerd met volgende aannames:

- Er kan 80% van de hierboven berekende, maximale energiebesparing worden gerealiseerd. Het gaat bijgevolg om een besparing van 396 MWh of € 52.841 per jaar;
- De totale meerprijs bij aanschaf wordt begroot op € 200.000 per warmtepompinstallatie (dus in totaal € 400.000 in fase 2);
- Een eventuele reductie van de beschikbaarheid heeft een verwaarloosbare financiële impact.

Verder wordt een technische levensduur van 20 jaar vooropgesteld (in lijn met verwachte levensduur van de warmtepompen). De afschrijftermijn bedraagt 10 jaar, en de belastingvoet voor de vennootschapsbelasting bedraagt 25%.

Op basis van bovenstaande gegevens wordt een terugverdientijd van 7,6 jaar (na belastingen) en een interne rentevoet (IRR, eveneens na belastingen) van 11% bekomen. Er kan dus geconcludeerd worden dat het weglaten van de glycolwatercircuits bij alle warmtepompen een potentieel rendabele maatregel is. De belangrijkste cijfers zijn samengevat in onderstaande Tabel 5-3. Er dient benadrukt te worden dat dit slechts een ruwe inschatting betreft.

Tabel 5-1: Belangrijkste parameters in de rendabiliteitsberekening voor het in serie schakelen van de condensors van twee warmtepompen, in fase 2

Evaluatie maatregel: Serieschakeling van condensors	
Meerkost (investering)	€ 400.000
Jaarlijks verschil in exploitatiekost	Geen
Verwachte energiebesparing	395,6 MWh/jaar (elektriciteit)
Jaarlijkse financiële opbrengst door de energiebesparing	€ 57.121 per jaar
Terugverdientijd	7 jaar voor belastingen; 7,6 jaar na belastingen
Interne rentevoet na belastingen	11,0%

Luminus wenst potentiële leveranciers die geen serieschakeling van condensors aanbieden (en dus mogelijks enkel een serieschakeling van warmtepompen als geheel), nog niet a priori uit te sluiten. De uiteindelijke keuze zal gemaakt worden op basis van bindende offertes van de potentiële leveranciers. Luminus engageert er zich wel toe om tijdens de aanbestedingsfase aan de potentiële leveranciers te vragen om ook in serie geschakelde condensors aan te bieden (toegelaten optie), en de nodige informatie te verstrekken om de meerkost, de energiebesparing en de impact op de beschikbaarheid van deze optie in detail in kaart te kunnen brengen. Op basis van deze informatie zal Luminus met de nodige onderbouwing kunnen beslissen of de maatregel al dan niet zal worden toegepast.

5.2.3 Rechtstreeks gebruik kanaalwater in verdamper (weglaten van de glycolwatercircuits)

Het intermediair glycolwatercircuit heeft als doel de verdamper te beschermen tegen bevulling en corrosie door (mogelijks chloride-rijk) kanaalwater. De verdamper komt dan immers niet rechtstreeks in contact met kanaalwater (maar enkel met glycolwater, dat in een gesloten circuit circuleert). Het kanaalwater geeft warmte af aan het glycolwatercircuit in een warmtewisselaar, die dan wel moet ontworpen zijn om te weerstaan aan corrosie en bevulling. Deze warmtewisselaar is echter geen verdamper, maar een water-water-warmtewisselaar, waardoor ook andere constructietypes (zoals een platenwarmtewisselaar) in aanmerking komen. Platenwarmtewisselaars kunnen ook eenvoudig worden geopend voor reiniging. Het circuit leidt echter tot een extra energieverbruik (door de glycolwaterpomp), en zorgt er anderzijds ook voor dat de verdampertemperatuur lager komt te liggen, waardoor de COP daalt.

Het energiebesparingspotentieel van het weglaten van het glycolwatercircuit (bij alle warmtepompen), en dus het rechtstreeks gebruik van kanaalwater in de verdamper, bedraagt:

- circa 579,2 MWh per jaar (in fase 2) door het vermeden verbruik van de glycolwaterpompen
- circa 143,3 MWh per jaar (in fase 2) door de toename van de COP ten gevolge van een stijging van de verdampertemperatuur met 1°C. Dit impliceert dat het gemiddeld temperatuurverschil tussen het glycolcircuit en het kanaalwatercircuit in de (platen)warmtewisselaar slechts 1°C bedraagt, hetgeen in de buurt van de praktische ondergrens ligt. Door deze stijging van de verdampertemperatuur, kan de gemiddelde COP van de warmtepomp (tijdens bedrijfsuren) stijgen van 2,91 naar 2,94, wat bij een gelijke warmteproductiehoeveelheid neerkomt op een daling van het elektriciteitsverbruik van 143,3 MWh per jaar (in fase 2).

In totaal bedraagt het energiebesparingspotentieel dus 722,5 MWh per jaar, of omgerekend circa 2600 GJ_{fin} per jaar. Om dit potentieel te kunnen realiseren, dienen natuurlijk wel alternatieve oplossingen gezocht te worden om de verdamper te beschermen tegen corrosie en bevulling.

Corrosie

Bij hoge chloridegehaltes in het kanaalwater kan immers spleetcorrosie ('crevice corrosion') optreden, wat uiteindelijk tot lekken zal leiden. Indien (een lek door) corrosie zou optreden, dan is dit bij leidingen nog (relatief) makkelijk te herstellen. Voor warmtewisselaars is de situatie anders. Corrosie in een warmtewisselaar zal in eerste instantie leiden tot prestatievermindering (en dus energieverliezen), en later ook tot lekken. Vaak wordt de corrosie pas in een laat stadium vastgesteld. Het herstellen van de warmtewisselaar is dan niet evident, en vaak zal geopteerd worden voor de vervanging van de warmtewisselaar. Daarom focussen we in wat volgt dan ook op de warmtewisselaars.

Het maximaal toegelaten chloridegehalte (om corrosie te vermijden) is functie van het materiaal (van de warmtewisselaar), maar ook van bijvoorbeeld de temperatuur en de zuurtegraad van het kanaalwater. Meestal liggen de chloridegehaltes in het kanaalwater ter hoogte van de site Ham eerder laag, zodat voor een warmtewisselaar in RVS 316 geen corrosie wordt verwacht. In drogere periodes kan het echter voorkomen dat de invloed van het zilte zeewater verder doordringt in het binnenland, waarbij ook hogere chloridegehaltes voorkomen ter hoogte van het Handelsdok en dus ook in het kanaalwater op de site Ham. Er zijn echter onvoldoende gegevens beschikbaar om de precieze chloridegehaltes ter hoogte van de centrale Ham te bepalen, en om te bepalen hoe frequent 'verhoogde waarden' optreden. Toch is bij de materiaalkeuze voor warmtewisselaars extra voorzichtigheid aangewezen. Alternatieve roestvrijstaalsoorten zoals SMO-254, zijn te overwegen, maar ook titanium is een optie.

Het weglaten van het glycolwatercircuit impliceert bijgevolg dat de verdamper in een meer corrosiebestendige materiaalsoort (SMO-254; titanium,...) dient uitgevoerd te worden, wat uiteraard een meerprijs inhoudt. Hoe groot deze meerprijs is, hangt af van marktomstandigheden. Er zijn momenten waar het prijsverschil tussen RVS en titanium vrij beperkt is, wat de keuze makkelijker maakt. Anderzijds worden ook kosten bespaard door dat een glycolwatercircuit

(inclusief warmtewisselaar) wordt vermeden. Deze warmtewisselaar is echter van een ander type, en een stuk goedkoper dan de verdamper.

Bevuiling

Zeker wanneer het kanaalwater rechtstreeks wordt gebruikt in de verdamper van de warmtepomp, bestaat daarnaast ook het risico op (biologische) vervuiling van het warmtewisselend oppervlak van de verdamper. In principe kunnen grote deeltjes niet tot in de warmtewisselaar geraken, omdat er zowel een groffilter (1500 micron) voor de pomp als een fijnfilter (200 micron) na de pomp worden voorzien. Toch kunnen ook kleinere deeltjes zorgen voor een film van vervuiling op de warmtewisselende oppervlakken, en kan biologische vervuiling ook aangroeien in de warmtewisselaar. Een vervuilde verdamper ziet zijn prestaties achteruitgaan, waardoor uiteindelijk ook de gewenste warmte-output van de warmtepomp niet meer wordt gehaald. Indien de warmtewisselaar niet (regelmatig) wordt gereinigd, zal de vervuiling steeds verder toenemen. Verdampers zijn vaak van het type 'shell & tube' of 'plate & shell'; in enkele gevallen zelfs een volledig gelaste platenwarmtewisselaar ('fully welded'). Dergelijke types warmtewisselaars zijn minder eenvoudig te openen voor reiniging dan een klassieke platenwarmtewisselaar. Ook om deze reden wordt een glycolwatercircuit als tussenkring

'Shell & tube' warmtewisselaars kunnen worden uitgerust met een reinigingssysteem dat de pijpen van de warmtewisselaar kan reinigen terwijl de warmtewisselaar in bedrijf is: een taproggesysteem of borstelsysteem. Bij een taproggesysteem worden rubberen ballen aan het kanaalwater toegevoegd, waarna ze samen met het kanaalwater door de buizen (tubes) van de verdamper gaan. De ballen zijn iets groter dan de diameter van de buis, zodat ze bij het doordringen alle deeltjes verwijderen die zich in de buizen hebben afgezet en deze deeltjes meenemen naar de kanaalwaterafvoer. Bij de uitlaat bevindt zich een "ball trap" – in feite een Y-vormige filter die de ballen terugvoert naar de collector, waar ze wachten om teruggepompt te worden naar de kanaalwatertoevoer. Dergelijke systemen verminderen de beschikbaarheid van de warmtepomp niet, maar leiden wel tot een (extra) energieverbruik. Er is immers een pomp nodig om de ballen in de toevoerleiding te brengen. Deze pomp wordt aangedreven door een elektromotor met een nominaal vermogen van 4 kW, met rendementsklasse IE3. Er wordt één pomp per verdamper voorzien, dus 4 pompen in totaal (in fase 2). Het jaarlijks elektriciteitsverbruik van de pompen wordt begroot op 45,9 MWh.

Sommige warmtepompleveranciers opteren, in plaats van de duurdere 'shell & tube'-verdampers echter voor verdampers van het type 'plate & shell' of zelfs voor 'fully welded' platenwarmtewisselaars. Deze laatste twee types zijn goedkoper te produceren, maar zijn niet geschikt voor een mechanische reiniging terwijl de warmtewisselaar in bedrijf is (dus via taprogge- of borstelsysteem). In dergelijke gevallen kan voor een chemische reiniging worden gekozen, maar dit is niet steeds toereikend. Het is dan ook beter om dergelijke types warmtewisselaars niet rechtstreeks te laten doorstromen door het kanaalwater, maar te werken met een tussenkring. Dan wordt het probleem van vervuiling immers verplaatst naar een vloeistof/vloeistof-warmtewisselaar (bijvoorbeeld een klassieke platenwarmtewisselaar), die makkelijker kan gereinigd worden.

Conclusie

Het is mogelijk om het glycolwatercircuit weg te laten en dus kanaalwater rechtstreeks door de verdamper te sturen, mits een aantal aanpassingen om corrosie en bevuiling van de verdamper tegen te gaan. Zo dient de verdamper uitgevoerd te worden in een meer corrosiebestendig materiaal (minstens RVS 316, bij voorkeur SMO-254 of titanium), en uitgerust te worden met een inline reinigingssysteem (taprogge of vergelijkbaar). Hiertoe dient de verdamper ook van het type shell & tube te zijn. De meerkost van deze aanpassingen hangt onder meer af van de marktprijzen van materialen, maar verschilt ook van leverancier tot leverancier (in functie van welk type verdamper zij standaard voorzien). Een configuratie met 'shell & tube'-verdampers wordt als meer robuust beschouwd, maar is duurder in aanschaf.

Het netto energiebesparingspotentieel (rekening houdend met het elektriciteitsverbruik van het inline reinigingssysteem) bedraagt 676,6 MWh per jaar. Voor het bepalen van de jaarlijkse financiële opbrengst door deze energiebesparing, wordt een elektriciteitsprijs van 144,4 €/MWh (on site) verondersteld, wat de jaarlijkse opbrengst ten gevolge van de energiebesparing op € 97.695 brengt. Een inline reinigingssysteem verhoogt bovendien de beschikbaarheid van de warmtepompen. Bovendien wordt het reinigen van de (weggelaten) platenwarmtewisselaar overbodig. Dit alles betekent een reductie van de onderhouds- en exploitatiekosten, die echter moeilijk te kwantificeren is (o.a. functie van de graad van bevuiling,...).

Gezien de onzekerheid op de investeringskosten en op de reductie in onderhouds- en exploitatiekosten, kan slechts een ruwe inschatting worden gemaakt van de financiële haalbaarheid van de maatregel. Om de gedachten te vestigen,

wordt niettemin een berekening uitgevoerd, waarbij wordt uitgegaan van een totale meerprijs bij aanschaf van € 400.000 per warmtepompinstallatie (dus in totaal € 800.000 in fase 2) en een reductie van de onderhouds- en exploitatiekosten van € 20.000 per jaar (in fase 2). Verder wordt een technische levensduur van 20 jaar vooropgesteld (in lijn met verwachte levensduur van de warmtepompen). De afschrijftermijn bedraagt 10 jaar, en de belastingvoet voor de vennootschapsbelasting bedraagt 25%.

Op basis van bovenstaande gegevens wordt een terugverdientijd van 7,4 jaar (na belastingen) en een interne rentevoet (IRR, eveneens na belastingen) van 11,4% bekomen. Er kan dus geconcludeerd worden dat het weglaten van de glycolwatercircuits bij alle warmtepompen een potentieel rendabele maatregel is. De belangrijkste cijfers zijn samengevat in onderstaande Tabel 5-3. Er dient benadrukt te worden dat dit slechts een ruwe inschatting betreft.

Tabel 5-2: Belangrijkste parameters in de rendabiliteitsberekening voor het weglaten van het glycolwatercircuit (en rechtstreeks gebruik van kanaalwater in de verdamper van alle warmtepompen), in fase 2

Evaluatie maatregel: Rechtstreeks gebruik kanaalwater in de verdamper (weglaten glycolwatercircuit bij alle warmtepompen)	
Meerkost (investering)	€ 800.000
Jaarlijks verschil in exploitatiekost	€ 20.000 (reductie)
Verwachte energiebesparing	676,6 MWh/jaar (elektriciteit)
Jaarlijkse financiële opbrengst door de energiebesparing	€ 97.695 per jaar
Terugverdientijd	6,8 jaar voor belastingen; 7,4 jaar na belastingen
Interne rentevoet na belastingen	11,4%

Luminus engageert er zich toe om tijdens de aanbestedingsfase aan de leveranciers kenbaar te maken dat een ontwerp zonder glycolwatercircuit de voorkeur geniet, maar wenst het alternatief met glycolwatercircuit nog niet helemaal uit te sluiten. Sommige leveranciers gebruiken immers standaard types verdamper die een tussenkring vereisen, en Luminus wenst deze nog niet a priori uit te sluiten. De uiteindelijke keuze zal gemaakt worden op basis van bindende offertes van de potentiële leveranciers. Hierbij zullen energie-efficiëntie en 'lifetime cost' belangrijke criteria zijn.

Op deze manier kan mogelijks ook een beter beeld worden bekomen van de effectieve meerkoet van een configuratie zonder glycolcircuit, maar met een meer robuuste shell & tube verdamper (uitgevoerd in corrosiebestendige materialen en voorzien van een inline reinigingssysteem).

5.2.4 Het toepassen van elektromotoren met rendementsklasse IE4 (in plaats van IE3)

De nieuwe installaties omvatten een aantal elektromotoren (op laagspanning), die worden ingezet voor aandrijving van pompen, ventilatoren,... Voor elektromotoren met 2, 4 of 6 polen en met een nominaal vermogen tussen 75 kW en 200 kW, is het gebruik van elektromotoren met rendementsklasse IE4 verplicht. Buiten deze vermogenrange wordt standaard een elektromotor met rendementsklasse IE3 voorzien. Als energiebesparende maatregel kan voorgesteld worden om ook daar elektromotoren met rendementsklasse IE4 toe te passen in plaats van elektromotoren met rendementsklasse IE3.

De bekomen rendementswinst is functie van het vermogen van de betrokken motoren. Elektromotoren bestaan in een aantal standaard uitvoeringen (met standaard vermogens). Indien het vermogen van de elektromotoren nog niet eerder werd vermeld in deze studie, wordt het laagste standaardvermogen genomen dat groter is dan het benodigd elektrisch vermogen voor aandrijving (van bijvoorbeeld de pomp, ventilator of compressor).

Concreet gaat het om volgende elektromotoren:

- Lagedrukcompressoren warmtepomp: in totaal 4 elektromotoren met een nominaal vermogen van 500 kW elk;
- Hogedrukcompressoren warmtepomp: in totaal 4 elektromotoren met een nominaal vermogen van 500 kW elk;
- Glycolwaterpompen: in totaal 4 elektromotoren met een nominaal vermogen van 55 kW elk;
- Stadsverwarmingswaterpompen: in totaal 4 elektromotoren met een nominaal vermogen van 11 kW elk;
- Oliepompen (warmtepomp): 4 elektromotoren met een nominaal vermogen van 3 kW elk;
- Ammoniakpompen (warmtepomp): 4 elektromotoren met een nominaal vermogen van 5,5 kW elk;
- Packageventilatie: 6 elektromotoren met een nominaal vermogen van 5,5 kW elk (1500 rpm).

De kanaalwaterpompen worden aangedreven door elektromotoren met een nominaal vermogen van 75 kW (en met 2 polen), en worden dus niet doorgerekend omdat zijn reeds standaard rendementsklasse IE4 zullen hebben. De packageventilatie omvat drie ventilatoren per package, waarvan 2 in dienst en één reserve. Dit wordt verrekend in het aantal draaiuren (over een langere periode wordt ernaar gestreefd om alle ventilatoren een gelijk aantal uren te laten draaien).

Onderstaande Tabel 5-3 bevat de gegevens van de verschillende elektromotoren (nominaal vermogen, gemiddeld asvermogen, bedrijfstijd en rendementen voor zowel klasse IE3 als klasse IE4). Hierbij zijn identieke motoren slechts één keer weergegeven (met vermelding van het aantal demotoren). Voor de stadsverwarmingswaterpompen wordt echter wel een onderscheid gemaakt tussen de pompen voor de e-boiler en deze voor de warmtepompen, gezien het verschil in bedrijfstijd. Voor de compressoren wordt verondersteld dat de lagedrukcompressor en de hogedrukcompressor exact evenveel verbruiken. In realiteit zal echter niet elke compressor instaan voor exact 50% van het totale verbruik. Dit heeft echter geen wezenlijke invloed op de energiebesparing of op de financiële haalbaarheid van de maatregel.

Op basis van deze gegevens wordt tevens het jaarlijks elektriciteitsverbruik per elektromotor berekend, zowel in geval van een motor met rendementsklasse IE3 als in geval van een motor met rendementsklasse IE4. Het verschil tussen beide is dan de jaarlijkse energiebesparing die kan gerealiseerd worden door het gebruik van IE4-motoren in plaats van IE3-motoren. De potentiële energiebesparing bedraagt in totaal 94,5 MWh per jaar, hetgeen ongeveer 0,6% van het totale elektriciteitsverbruik (en dus ook van het totale finaal energiegebruik) van de nieuwe installaties is.

Tabel 5-3: Bepaling van de jaarlijkse energiebesparing door toepassing van elektromotoren met rendementsklasse IE4 in plaats van elektromotoren met rendementsklasse IE3

Apparaat	Aantal	Nominaal vermogen (kW)	Rendement IE3	Rendement IE4	Jaarlijkse bedrijfstijd (h/j)	Gemiddeld asvermogen (kW)	Jaarlijks verbruik IE3 (MWh)	Jaarlijks verbruik IE4 (MWh)	Jaarlijkse besparing (MWh)
Glycolwaterpompen	4	55	94,3%	95,3%	3375	40,5	144,9	143,4	1,52
Stadsverwarmingswaterpompen WP	4	11	91,2%	92,6%	3375	5,2	19,2	19,0	0,29
Stadsverwarmingswaterpompen EB	1	11	91,2%	92,6%	1200	4,9	6,4	6,3	0,10
LD-compressoren WP	4	500	95,8%	96,5%	3375	407,6	1436,0	1425,5	10,42
HD-compressoren WP	4	500	95,8%	96,5%	3375	407,6	1436,0	1425,5	10,42
Oliepompen WP	4	3	87,1%	89,1%	3375	2,6	10,1	9,9	0,23
Ammoniakpompen WP	4	5,5	89,2%	90,9%	3375	4,9	18,6	18,2	0,35
Packageventilatie	6	5,5	89,6%	91,9%	2250	4,1	10,3	10,0	0,26
Totaal	31	4342					12327	12233	94,5

Voor het bepalen van de jaarlijkse financiële opbrengst door deze energiebesparing, wordt een elektriciteitsprijs van 144,4 €/MWh (on site) verondersteld. De meerkost van een elektromotor met rendementsklasse IE4 ten opzichte van een elektromotor met rendementsklasse IE3 (en hetzelfde nominaal vermogen) wordt ingeschat op basis van actuele, door leveranciers opgegeven prijzen of - bij onbeschikbaarheid van prijzen voor een bepaald motortype - op basis van extrapolatie. Er wordt geen verschil in onderhouds- en exploitatiekosten verondersteld. Voor de analyse van de financiële haalbaarheid van de maatregel, wordt een technische levensduur van 20 jaar vooropgesteld (in lijn met

verwachte levensduur van de warmtepompen en e-boiler). De afschrijftermijn bedraagt 10 jaar, en de belastingvoet voor de vennootschapsbelasting bedraagt 25%.

Per type apparaat wordt de terugverdientijd en de interne rentevoet van het gebruik van elektromotoren met hogere rendementsklasse berekend, zowel voor als na belastingen. De belangrijkste parameters en resultaten van de financiële haalbaarheid van de maatregel worden weergegeven in Tabel 5-4.

Tabel 5-4: Rendabiliteitsberekening voor de toepassing van elektromotoren met rendementsklasse IE4 i.p.v. IE3

Apparatuur	Aantal	Nominaal vermogen (kW)	Jaarlijkse bedrijfstijd (h/j)	Jaarlijkse besparing (MWh)	Jaarlijkse besparing (€)	Meerkost (investering) (€)	TVT voor belasting (jaar)	IRR voor belasting	TVT na belasting (jaar)	IRR na belasting
Glycolwaterpompen	4	55	3375	1,52	219,63	1768,70	8,1	10,8%	8,5	9,2%
Stadsverwarmingswaterpompen WP	4	11	3375	0,29	42,01	784,30	18,7	0,7%	18,7	-0,7%
Stadsverwarmingswaterpompen EB	1	11	1200	0,10	14,08	784,30	55,7	-8,3%	55,7	-9,6%
LD-compressoren WP	4	500	3375	10,42	1504,11	12060,05	8,0	10,9%	8,4	9,2%
HD-compressoren WP	4	500	3375	10,42	1504,11	12060,05	8,0	10,9%	8,4	9,2%
Oliepompen WP	4	3	3375	0,23	32,82	600,00	18,3	0,9%	18,3	-0,4%
Ammoniakpompen WP	4	5,5	3375	0,35	50,13	700,00	14,0	3,7%	14,0	2,4%
Packageventilatie	6	5,5	2250	0,26	37,21	700,00	18,8	0,6%	18,8	-0,7%

Voor de elektromotoren van de stadsverwarmingswaterpompen, de packageventilatie en de oliepompen is de IRR na belastingen negatief, en loopt de terugverdientijd op tot 18 jaar en meer. Voor de ammoniakpompen is de IRR na belastingen maar net positief, en ligt de verwachte terugverdientijd rond 14 jaar. Zeker gezien de opbrengst uit de energiebesparing mogelijks is overschat (door de aanname dat het volledige elektriciteitsverbruik van de nieuwe installaties wordt afgenomen uit het net, terwijl dit in realiteit ook deels lokaal zal opgewekt worden, wanneer de WKK-installaties en de nieuwe installaties gelijktijdig draaien). Voor al deze (kleinere) elektromotoren is een upgrade naar rendementsklasse IE4 dus duidelijk geen rendabele maatregel. Zoals blijkt uit Tabel 5-5 (waarin de belangrijkste parameters en resultaten van de berekening van de financiële haalbaarheid gegroepeerd worden weergegeven) is de gezamenlijke IRR voor al deze kleinen elektromotoren ook negatief.

Tabel 5-5: Belangrijkste parameters in de rendabiliteitsberekening voor de upgrade van elektromotoren naar rendementsklasse IE4 (i.p.v. IE3) (gegrepeerd)

Evaluatie maatregel: Toepassen van elektromotoren met rendementsklasse IE4 in plaats van IE3			
Apparatuur	Elektromotoren met nominaal vermogen < 15kW	Glycolwaterpompen	Compressoren
Aantal elektromotoren	19	4	8
Gezamenlijk nominaal vermogen	142 kW	220 kW (4 x 55 kW)	4000 kW (8 x 500 kW)
Meerkost (investering)	€ 13.322	€ 7.075	€ 96.480
Jaarlijks verschil in exploitatiekost	Geen	Geen	Geen
Verwachte energiebesparing	5,1 MWh/jaar (elektriciteit)	6,1 MWh/jaar (elektriciteit)	83,3 MWh per jaar (elektriciteit)
Jaarlijkse financiële opbrengst door de energiebesparing	€ 737 per jaar	€ 879 per jaar	€ 12.033 per jaar

Terugverdientijd	Steeds >14 jaar; gemiddeld 18 jaar	8,1 jaar voor belastingen; 8,5 jaar na belastingen	8 jaar voor belastingen; 8,4 jaar na belastingen
Interne rentevoet na belastingen (over 20 jaar)	Steeds < 2,5%; Gezamenlijk: -0,3%	9,2%	9,2%

Voor de grotere elektromotoren (van compressoren en glycolwaterpompen) ligt de berekende terugverdientijd net boven 8 jaar (na belastingen). De berekende interne rentevoet na belastingen bedraagt 9,2% voor zowel de glycolwaterpompen als voor de compressoren. Er kan dus geconcludeerd worden dat ook het toepassen van elektromotoren met rendementsklasse IE4 (in plaats van IE3) op de glycolwaterpompen en op de compressoren geen rendabele maatregel is (IRR < 13%), zeker gezien de opbrengst uit de energiebesparing (en dus ook de IRR) wellicht een beetje werden overschat (zie hoger).

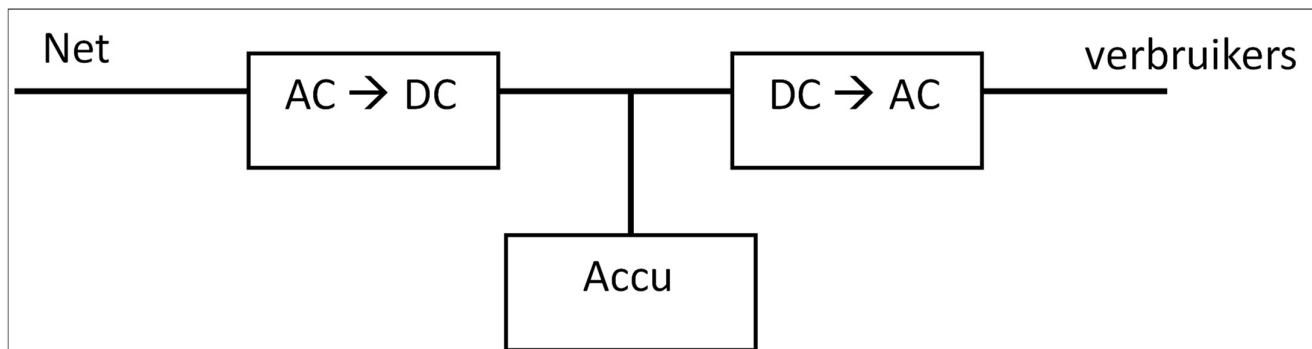
Toch zorgen de grotere elektromotoren voor het gros van de potentiële energiebesparing. De elektromotoren van de glycolwaterpompen hebben reeds een groter energiebesparingspotentieel dan de 19 kleinere elektromotoren samen (met nauwelijks meer dan de helft van de investeringskost); de elektromotoren van de compressoren zorgen voor 88% van het totale besparingspotentieel.

Indien de warmtepompen op termijn meer draaiuren zouden gaan maken (bijvoorbeeld bij einde levensduur van de WKK's, of indien er een significante taxshift komt van elektriciteit naar gas), dan kunnen elektromotoren met rendementsklasse IE4 mogelijk wel rendabel worden, tenminste voor de grotere vermogens (compressoren, glycolwaterpompen). Financieel is het natuurlijk minder interessant om deze achteraf te vervangen dan om deze van bij de bouw te voorzien. Het verdient dan ook aanbeveling dit verder te overwegen tijdens detailed engineering en/of op te nemen in de specificaties voor aankoop van de warmtepompskids.

5.2.5 Het toepassen van UPS-systemen met een ECO-mode

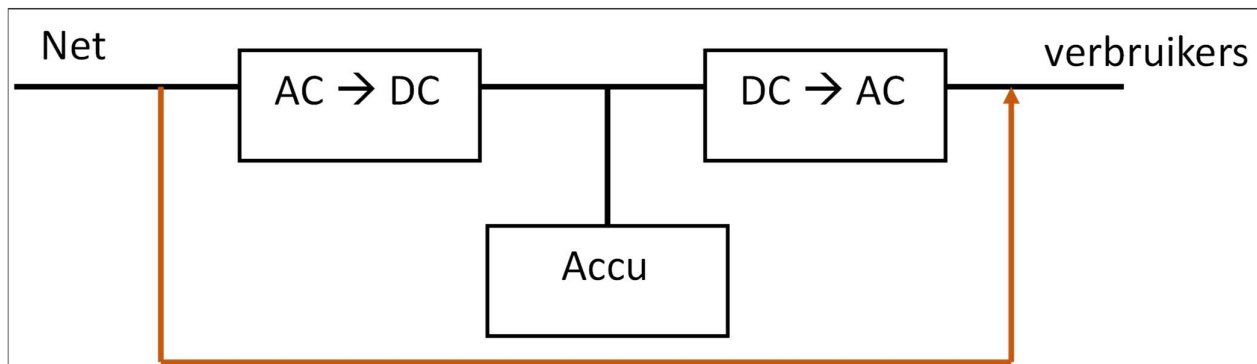
Er wordt voor de site in totaal 15 kVA (2 x 7,5 kVA) aan bijkomende UPS-eenheden (uitgerust met batterijen) voorzien op 400V (AC).

Voor online UPS-systemen op wisselspanning (AC) is een rendement van 95% gebruikelijk indien de belasting "direct online" is geschakeld. In de UPS omvormer zijn immers twee energie-omzetters actief: een gelijkrichter (AC/DC) en een wisselrichter (DC/AC). Onderstaande Figuur 5-1 illustreert dit schematisch.



Figuur 5-1: Principeschema klassieke UPS-eenheid

Veel moderne UPS-systemen hebben de mogelijkheid om in een zogenaamde 'actieve ECO-modus' geschakeld te worden. De accu wordt geladen en in goede conditie gehouden. In de normale situatie wordt het meeste vermogen echter via een bypass gevoerd, waar door de AC/DC en DC/AC omvormers veel minder verliezen veroorzaken. De omvormers blijven echter wel operationeel. Het rendement van de UPS kan door de bypass opgedreven worden naar circa 98%. Onderstaande Figuur 5-2 illustreert dit schematisch.



Figuur 5-2: Principeschema UPS-eenheid met ECO-modus

Indien we aannemen dat de 15 kVA aan opgesteld vermogen aan UPS-eenheden een achterliggende belasting van 80% moeten verzekeren (12kW), en door gebruik te maken van ECO-mode effectief een rendementstoename van 95% naar 98% kan realiseren, dan bedraagt de jaarlijkse energiebesparing 3,4 MWh per jaar. Deze potentiële energiebesparing is verwaarloosbaar (0,02%) is ten opzichte van het totale elektriciteitsverbruik (en dus ook van het totale finaal energiegebruik) van de nieuwe installaties (en bij uitbreiding van de site).

Voor het bepalen van de jaarlijkse financiële opbrengst door deze energiebesparing, wordt een elektriciteitsprijs van 144,4 €/MWh (on site) verondersteld (zie hierboven). De jaarlijkse besparing bedraagt hierdoor circa € 489.

De meerkost voor UPS-systemen met actieve ECO-modus (ten opzichte van conventionele online UPS-sustemen) is beperkt, en er wordt geen verschil in onderhouds- en exploitatiekosten verwacht. Mogelijks is het toepassen van UPS-systemen met actieve ECO-modus dus een rendabele maatregel. Bij het omschakelen naar de noodstroomvoorziening treedt bij UPS-systemen met actieve ECO-modus echter een onderbreking van de stroomvoorziening van 15 milliseconde op. Voor veel besturingsapparatuur is dit acceptabel. In dit geval gaat het echter om gasdetectie en noodventilatie, of dus om belangrijke veiligheidssystemen (zeker gezien het gebruik van ammoniak als koelmiddel).

Gezien het beperkte energiebesparingspotentieel, en ook de beperkte netto huidige waarde van de investering, wenst Luminus het risico op een storing in de veiligheidssystemen niet te nemen. Luminus engageert er zich wel toe om dit verder te bespreken met leverancier van de UPS-eenheden, en het toepassen van UPS-systemen met actieve ECO-modus te herevalueren indien voldoende (veiligheids)garanties kunnen worden geboden door de leverancier.

5.3 Samenvatting

In onderstaande Tabel 5-6 worden alle onderzochte maatregelen samengevat.

Het in serie schakelen van de condensoren en het rechtstreeks gebruik van kanaalwater in de verdampers zijn potentieel rendabele maatregelen. Er is op dit ogenblik onvoldoende informatie beschikbaar, zodat de haalbaarheid slechts ruw kan worden ingeschat. De financiële haalbaarheid van deze maatregelen hangt ook af van de precieze configuratie en lay-out van de warmtepompen, en kan dus van leverancier tot leverancier verschillen. Luminus engageert er zich toe om dit tijdens de aanbestedingsfase verder te onderzoeken, en op basis van meer gedetailleerde informatie van leveranciers een gefundeerde keuze te maken.

De toepassing van elektromotoren met rendementsklasse IE4 (in plaats van IE3) is geen rendabele maatregel. Bij de grotere elektromotoren (van de glycolwaterpompen en compressoren) komt de IRR na belastingen (9,2%) het dichtst in de buurt van de drempelwaarde van 13%

Het toepassen van UPS-systemen met ECO-modus heeft slechts een erg beperkt energiebesparingspotentieel. Gezien de UPS-eenheden veiligheidssystemen (gasdetectie, noodventilatie,...) voedt, wenst Luminus geen risico's te nemen, en zal het de maatregel slechts overwegen indien absolute veiligheidsgaranties kunnen worden geboden door de leverancier.

Er zij derhalve geen verplichte of met zekerheid uit te voeren maatregelen. Verder onderzoek (voornamelijk het bekomen van meer gedetailleerde informatie van de potentiële leveranciers tijdens de aanbestedingsfase) zal uitwijzen of volgende mogelijks rendabele maatregelen worden uitgevoerd:

- serieschakeling van condensors;
- rechtstreeks gebruik van kanaalwater in de verdampers door het weglaten glycolwatercircuits;
- gebruik van elektromotoren met rendementsklasse IE4 op glycolwaterpompen (indien nog aanwezig) en compressoren.

Het gezamenlijke energiebesparingspotentieel van deze mogelijks uit te voeren maatregelen bedraagt 1156 MWh aan elektriciteit per jaar, of dus 4160 GJ_{fin} per jaar. De energiebesparing door het gebruik van elektromotoren met rendementsklasse IE4 op de glycolwaterpompen is hierbij uiteraard niet meegeteld, gezien de glycolwaterpompen worden gesupprimeerd bij rechtstreeks gebruik van kanaalwater in de verdampers.

Tabel 5-6: Samenvatting van de onderzochte energiebesparende maatregelen (in fase 2)

Maatregel	Energiebesparing	Uitvoering	Toelichting
Het verhogen van de verdampertemperatuur en/of het verlagen van de condensortemperatuur	Niet bepaald	Niet uitgevoerd	Verlagen verdampertemperatuur: niet beïnvloedbaar (kanaalwater) Verhogen condensortemperatuur: - Technisch onhaalbaar (wegens gebruik buffertank en behorende temperatuurval) - Juridisch/commercieel niet haalbaar (minimumtemperatuur in bestaande warmteleveringscontracten)
Serieschakeling van condensors	Maximaal 494,5 MWh (elektriciteit) Geschat: 395,6 MWh (elektriciteit) of dus 1424 GJ_{fin}	Mogelijks uitgevoerd	Potentieel rendabel, maar onvoldoende gegevens beschikbaar om rendabiliteit met voldoende nauwkeurigheid te bepalen; rendabiliteit mogelijks ook verschillend naargelang de gekozen leverancier. Verder te onderzoeken tijdens aanbestedingsfase (samen met potentiële leveranciers)
Rechtstreeks gebruik kanaalwater in verdampers - weglaten van de glycolwatercircuits bij alle warmtepompen	676,6 MWh/jaar (elektriciteit) of dus 2436 GJ_{fin}	Mogelijks uitgevoerd	Potentieel rendabel, maar onvoldoende gegevens beschikbaar om rendabiliteit met voldoende nauwkeurigheid te bepalen; rendabiliteit mogelijks ook verschillend naargelang de gekozen leverancier. Verder te onderzoeken tijdens aanbestedingsfase (samen met potentiële leveranciers)
Elektromotoren met rendementsklasse IE4- elektromotoren (i.p.v. IE3) – voor kleinere elektromotoren met P_{nom} < 15 kW	5,1 MWh/jaar (elektriciteit) of dus 18,4 GJ_{fin}	Niet uitgevoerd	Niet rendabel (IRR < 13%)

Elektromotoren met rendementsklasse IE4-elektromotoren (i.p.v. IE3) – elektromotoren glycolwaterpompen	6,1 MWh/jaar (elektriciteit) of dus 22 GJ _{fin}	Niet verplicht uitgevoerd	Niet rendabel (IRR < 13%)
Elektromotoren met rendementsklasse IE4-elektromotoren (i.p.v. IE3) – elektromotoren compressoren	83,3 MWh/jaar (elektriciteit) of dus 300 GJ _{fin}	Niet verplicht uitgevoerd	Niet rendabel (IRR < 13%)
UPS systemen met ECO-modus	3,4 MWh/jaar (elektriciteit) of dus 12,2 GJ _{fin}	Wellicht niet uitgevoerd (veiligheid)	IRR mogelijks > 13%, maar aanzienlijke veiligheidsrisico's door spanningsonderbreking van 15ms (voor gasdetectie- en ventilatiesystemen) bij omschakeling. Herevaluatie mogelijk mits voldoende (veiligheids)garanties kunnen geboden worden door de leverancier

6 CONCLUSIES

Luminus wenst de productie van warmte ten behoeve van zijn stadsverwarmingsnet in de stad Gent te verduurzamen en te decarboniseren. Hiertoe zullen (gefaseerd) twee nieuwe warmtepompinstallaties (met een thermisch outputvermogen van circa 5 MW elk) en een e-boiler (met thermisch outputvermogen van circa 2,5 MW) worden gebouwd. De huidige installaties voor de productie van warmte ten behoeve van het stadsverwarmingsnet (WKK-motoren en ketels, allen aardgasgestookt) blijven (technisch) ongewijzigd, maar zullen na realisatie van het project minder vaak operationeel zijn en dus ook minder warmte produceren. De overige installaties op de site Ham (voornamelijk open cyclus gasturbines) worden niet gewijzigd.

Volgens de bepalingen uit de wetgeving rond de Omgevingsvergunning moet Luminus beschikken over een energiestudie voor de nieuwe installaties, en deze toevoegen bij de omgevingsvergunningsaanvraag. Voorliggende studie geeft **invulling aan deze wettelijke verplichting**.

Het **totaal jaarlijks finaal energiegebruik** van de geplande, nieuwe installaties bedraagt **58 TJ**, en bestaat uitsluitend uit elektriciteitsverbruik.

De nieuwe warmtepompen en e-boiler kunnen als **best beschikbare techniek** worden beschouwd, op basis van een vergelijking met alternatieven en een toetsing van de prestaties aan de huidige stand der techniek. Er is geen specifieke Europese BREF-studie of Vlaamse BBT-studie beschikbaar voor warmteproductie met warmtepompen en/of e-boilers. De voor de doeleinden van deze studie relevante technieken, die als 'best beschikbare technieken' (voor wat betreft energie-efficiëntie) worden vermeld in relevante horizontale BREF-studies, worden in echter ruime mate toegepast.

In het kader van deze studie werden bovendien meerdere **energiebesparende maatregelen** onderzocht. Geen van de onderzochte maatregel is echter met zekerheid technisch en economisch haalbaar.

Voor enkele onderzochte maatregelen (meer bepaald 'het in serie schakelen van condensators' en 'het rechtstreeks gebruiken van kanaalwater in de verdamper door het weglaten van het glycolwatercircuit') kon slechts een ruwe inschatting van de financiële haalbaarheid worden gemaakt. De financiële haalbaarheid van deze maatregelen hangt ook af van de precieze configuratie en lay-out van de warmtepompen, en kan dus van leverancier tot leverancier verschillen. Luminus engageert er zich toe om deze maatregelen tijdens de aanbestedingsfase verder te onderzoeken, en op basis van meer gedetailleerde informatie van leveranciers een gefundeerde keuze te maken.

Daarnaast wordt het aanbevolen om het gebruik van elektromotoren met rendementsklasse IE4 minstens in overweging te nemen voor de grotere elektromotoren (glycolwaterpompen, compressoren). Deze maatregel is op dit ogenblik niet rendabel, maar kan rendabel worden indien de warmtepompen in de toekomst een hoger aantal draaiuren zouden halen.

Het gezamenlijke energiebesparingspotentieel van deze mogelijks uit te voeren maatregelen bedraagt 1156 MWh aan elektriciteit per jaar. De corresponderende besparing op het finale energiegebruik bedraagt 4160 GJ_{fin} per jaar, of circa 7% van het finale energiegebruik van de geplande, nieuwe installaties (warmtepompen en e-boiler).

Door het gebruik van de best beschikbare technieken (BBT) en door het engagement van Luminus om een aantal potentieel rendabele maatregelen verder te onderzoeken, kan geconcludeerd worden dat het project zal leiden tot **de meest energie-efficiënte inrichting die economisch haalbaar is**.

Colofon

ENERGIESTUDIE HAM DISTRICT HEATING GREENIFICATION

KLANT

Luminus NV

AUTEUR

David Mertens

ONZE REFERENTIE

30279550

DATUM

30 december 2025

Over Arcadis

Arcadis is een toonaangevend wereldwijd ontwerp- en consultancybureau voor de natuurlijke en gebouwde omgeving. Wij maken het verschil voor onze klanten en de maatschappij met doeltreffende, duurzame en digitale oplossingen. Met 27.000 mensen in meer dan 70 landen genereerden we in 2020 een omzet van €3,3 miljard. Wij ondersteunen UN-Habitat met kennis en expertise om leefomstandigheden te verbeteren in gebieden getroffen door de gevolgen van de klimaatverandering.

www.arcadis.com

Arcadis Belgium nv

Koningin Fabiolalaan 190
9000 Gent
België

T 02 505 75 00

Arcadis. Improving quality of life

Volg ons op



[arcadis](https://www.linkedin.com/company/arcadis)



[ArcadisBelgie](https://twitter.com/ArcadisBelgie)



[arcadisbelgium](https://www.facebook.com/arcadisbelgium)



[arcadisbelgium](https://www.instagram.com/arcadisbelgium)