

**EVALUATIE ANRE
DEMONSTRATIEPROJECT
VAATWASMACHINE MET WARMTEPOMP
in ziekenhuis St. Norbertus te Duffel en ziekenhuis
Sancta Maria te St.Truiden**

J. Desmedt

VITO

Mei 1996

Samenvatting

In het kader van de bevordering van nieuwe energietechnologieën (KB van 10/02/1983) heeft de Vlaamse overheid subsidies toegekend aan het ziekenhuis St.-Norbertus te Duffel en aan het ziekenhuis Sancta Maria te St. Truiden voor de aanschaf van een vaatwasmachine met geïntegreerde warmtepomp. De subsidies bedragen respectievelijk 323.000 BEF en 267.000 BEF, zijnde 30 % van de kosten van de warmtepomp.

VITO voert in opdracht van de Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie (ANRE) een evaluatie van deze demonstratieprojecten uit, waarbij de prestaties van de technologie, de besparing op primaire energie en de vermindering van de CO₂-emissie geanalyseerd worden.

De geïntegreerde warmtepomp in de vaatwasmachine werkt als volgt : de elektrisch aangedreven warmtepomp gebruikt warmte uit de omgevingslucht van het lokaal en warmte teruggewonnen uit de drooglucht van de vaatwasmachine om het koud water in de watertanks op te warmen en om het naspoelwater voor te verwarmen. Dit voorverwarmde naspoelwater wordt aansluitend bijverwarmd in een elektrische boiler.

De meetresultaten tonen dat de beide vaatwasmachines gemiddeld 2 m³ koud water per dag verbruiken. Het elektriciteitsverbruik voor de vaatwasmachine in het ziekenhuis St. Norbertus bedraagt 180 kWh per dag terwijl deze in het ziekenhuis Sancta Maria 195 kWh per dag verbruikt. De warmtepomp verbruikt circa 57 à 65 kWh elektriciteit per dag. De warmtepomp levert hierbij 148 à 187 kWh aan warmte af aan het spoelwater. Voor een toevoer van 1 kWh elektrische energie wordt er dus door de warmtepomp 2,7 tot 3,4 kWh warmte afgegeven aan het water m.a.w. de machine heeft een COP (coefficient of performance) van 2,7 tot 3,4.

Als referentiesituatie voor de bepaling van de primaire energiebesparing en CO₂-emissiereductie veronderstellen we eenzelfde vaatwasmachine zonder warmtepomp, waarbij de warmte wordt geproduceerd met een elektrische boiler (rendement : 90 %).

Gedurende de registratieperiode werd er 234 GJ bespaard in het ziekenhuis Sancta Maria en 431 GJ (equivalent 12.000 m³ aardgas) in het ziekenhuis St. Norbertus. Uitgaande van een CO₂-emissiefactor voor de vermeden elektriciteitsproductie van 624 g/kWh leidt dit tot een CO₂-emissiereductie van 24 ton voor het ziekenhuis Sancta Maria en 32 ton voor het ziekenhuis St. Norbertus.

Met een subsidie van 30 % van de kosten voor de warmtepomp wordt een terugverdientijd (TVT) gehaald van 5,3 jaar in het ziekenhuis Sancta Maria en 6,6 jaar in het ziekenhuis St. Norbertus; zonder subsidie wordt de TVT verlengd tot respectievelijk 7,1 en 9,4 jaar.

INHOUD

Samenvatting	2
1 INLEIDING	4
2 TECHNISCHE BESCHRIJVING VAATWASMACHINE.....	5
3 METING EN REGISTRATIE ENERGIESTROMEN.....	9
3.1 Probleemstelling	9
3.2 Meetschema	10
4 TECHNISCHE EVALUATIE	11
4.1 Bepaling elektriciteitsverbruik totale machine	11
4.2 Bepaling waterverbruik	14
4.3 Prestaties warmtepomp	16
4.4 Samenvattende resultaten	20
5 PRIMAIRE ENERGIEBESPARING EN CO2-VERMINDERING	21
6 ECONOMISCHE EVALUATIE	23
7 BESLUITEN.....	26
REFERENTIES	30

1 INLEIDING

In dit rapport worden de vaatwasmachines met warmtepomp in de ziekenhuizen St.Norbertus te Duffel en Sancta Maria te St.Truiden besproken. Beide ziekenhuizen waren aan de vervanging van hun vaatwasmachine toe en hebben geopteerd voor een nieuwe vaatwasmachine met geïntegreerde warmtepomp vanwege zijn zuinig energiegebruik. De elektrisch aangedreven warmtepomp in de vaatwasmachine wordt gebruikt om het koud water in de watertanks op te warmen en om het naspoelwater voor te verwarmen. Het naspoelwater wordt aansluitend bijverwarmd in een elektrische boiler.

Vanwege het energiebesparend karakter van deze installatie heeft de Vlaamse overheid in het kader van de bevordering van nieuwe energietechnologieën (KB van 10/02/1983) een subsidie toegekend voor de aanschaf van deze vaatwasmachine met geïntegreerde warmtepomp. De subsidie bedraagt voor de ziekenhuizen respectievelijk 323.000 BEF en 267.000 BEF, zijnde 30 % van de kosten van de warmtepomp.

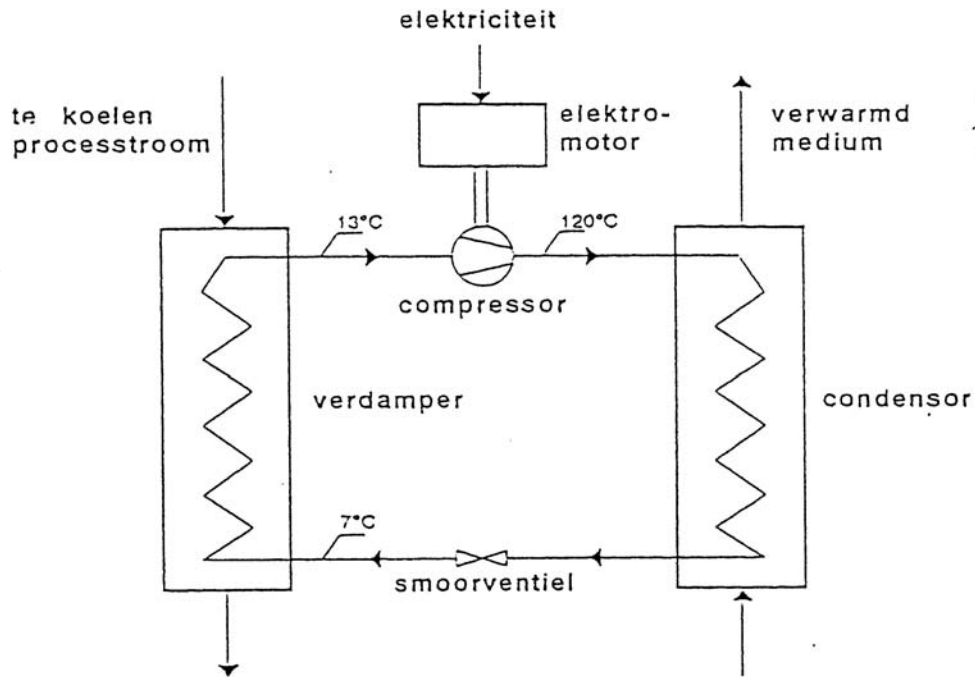
VITO voert in opdracht van de Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie (ANRE) een evaluatie van dit demonstratieproject uit, waarbij de prestaties van de technologie en de bereikte besparing op primaire energie en de vermindering van de CO₂-emissie geanalyseerd worden. Deze analyses zijn gebaseerd op metingen over een periode van één jaar.

De analyse start in hoofdstuk 2 met een technische beschrijving van de vaatwasmachine met warmtepomp. In hoofdstuk 3 wordt de meetprocedure voor de energieregistratie beschreven waarna in hoofdstuk 4 de meetgegevens worden geanalyseerd.

In hoofdstuk 5 worden de primaire energie- en CO₂-emissiereductie voor deze vaatwasmachines bepaald ten opzichte van een vaatwasmachine zonder warmtepomp. In hoofdstuk 6 wordt de economische evaluatie gemaakt waarna in het hoofdstuk 7 het besluit wordt geformuleerd.

2 TECHNISCHE BESCHRIJVING VAATWASMACHINE

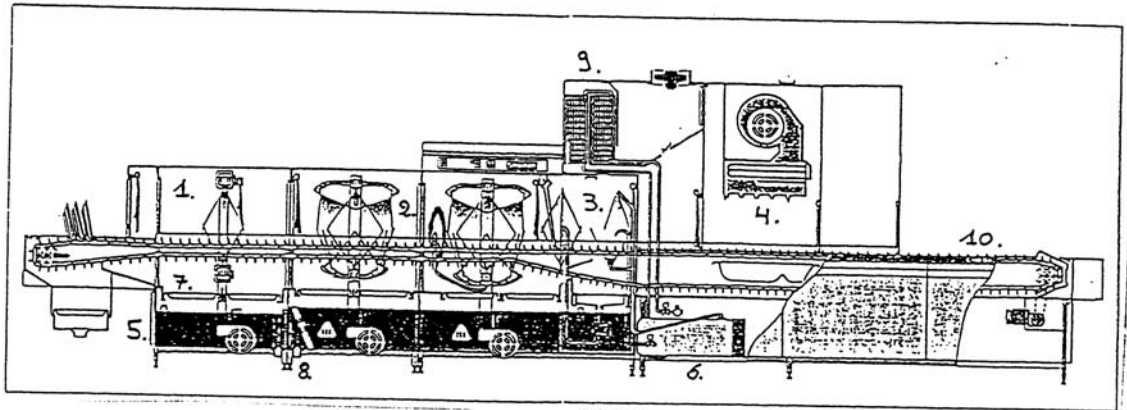
Figuur 1 geeft het principeschema weer van een elektrisch aangedreven warmtepomp, waarin de voornaamste onderdelen van de warmtepomp (compressor, condensor, smoorventiel en verdamper) zijn opgenomen.



Figuur 1: Principeschema van een elektrisch aangedreven warmtepomp

Een dergelijke warmtepomp is geïntegreerd in een vaatwasmachine zoals die is weergegeven in figuur 2. We zien dat de vaatwasmachine bestaat uit een voorspoelzone, spoelzones, naspoelzone en droogzone. Verder is de vaatwasmachine uitgerust met twee watertanks met een totale inhoud van 390 liter die zich onderaan in de vaatwasmachine bevinden.

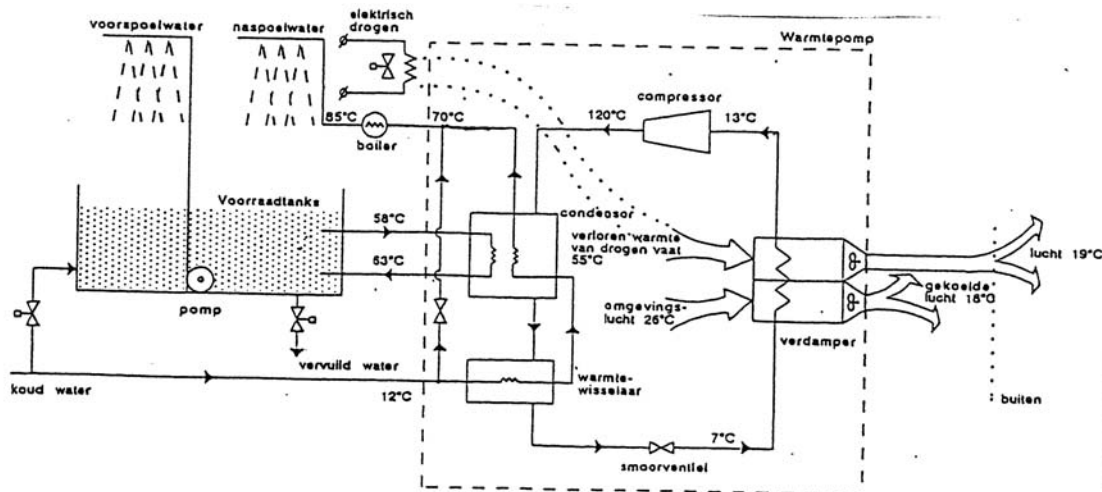
Figuur 2 geeft de vaatwasmachine (zonder warmtepomp) weer met de compartimenten.



- | | |
|------------------|--------------------|
| 1. Voorspoelzone | 6. Boiler |
| 2. Spoelzone | 7. Filter |
| 3. Naspoelzone | 8. Afvoerventiel |
| 4. Droogzone | 9. Warmtewisselaar |
| 5. Watertank | 10. Transportband |

Figuur 2: Vaatwasmachine (zonder warmtepomp) met de compartimenten [1]

De hier toegepaste vaatwasmachine is van het merk Stierlen-Maquet, type BTM-EN 247 V met geïntegreerde warmtepomp SPW1000. Figuur 3 geeft het warmtecircuit van de vaatwasmachine met warmtepomp weer.



Figuur 3 : Warmtecircuit van de vaatwasmachine met warmtepomp

De warmtepomp gebruikt warmte uit de omgevingslucht van het lokaal (ongeveer 26°C) en warmte teruggewonnen uit de drooglucht van de vaatwasmachine (elektrische verwarming, 57 °C) om het koud leidingwater ($\pm 12^\circ\text{C}$) in de watertanks op te warmen tot 63°C (eerste circuit) en vervolgens op temperatuur te houden.

Het water in de watertanks wordt gebruikt in de voorspoelzone en spoelzones van de vaatwasmachine.

De warmtepomp wordt tevens gebruikt voor het voorverwarmen van het naspoelwater tot ongeveer 70°C alvorens het de boiler bereikt (tweede circuit).

Bij het bereiken van een temperatuur van 63°C in de watertanks kan de vaat gewassen worden. De pompen in de watertanks sturen het warm water over de vaat. Het warm water loopt door de filters terug in de watertanks. Het water in de watertanks wordt gemiddeld 1 maal per dag ververs; het vervuilde water wordt met het afvoerventiel geloosd, waarna de watertanks opnieuw gevuld worden met koud water.

Voor het schoonspoelen van de vaat wordt in een elektrische boiler het door de warmtepomp voorverwarmde naspoelwater (70°C) verder opgewarmd tot circa 85°C. De vaat wordt schoongespoeld met dit warme water. Dit warme naspoelwater wordt opgevangen en wordt nogmaals over de vaat gespreid waarna het terecht komt in de watertanks.

Vervolgens wordt door middel van droge lucht de vaat gedroogd. De afgezogen lucht uit de verdampert wordt in het lokaal gebracht voor koeling van de omgeving.

Volgens informatie van de leverancier bedraagt het thermisch vermogen van de warmtepomp 42,5 kW en het aandrijfvermogen van de compressor 9,5 kW. De hulpapparaten vragen een elektrisch vermogen van ongeveer 0,9 kW, zodat een globale COP van 4,1 ($42,5/(9,5+0,9)$) wordt bereikt. In bijlage 1 worden de technische specificaties van deze warmtepomp, zoals die door de leverancier zijn verstrekt, gegeven.

- Globaal dagelijks werkregime

De onderstaande uren geeft het globale dagelijks werkregime van de vaatwasmachine in het ziekenhuis Sancta Maria weer :

- 8:10 : Inschakeling vaatwasmachine
- 8:10 - 8:40 : Vullen van de watertanks met koud water
- 9:10 - 10:10 : Opwarmen watertanks tot 63°C
- 13:10 - 13:30 : Afwassen keukengereedschap
- 13:40 - 15:40 : Eerste afwasbeurt
- 15:40 - 16:00 : Afvoer van het vervuilde water uit de watertanks
- 16:10 - 16:40 : Vullen van de watertanks met koud water
- 16:40 - 17:40 : Opwarmen watertanks tot 63°C
- 18:10 - 19:10 : Tweede afwasbeurt
- 19:10 : Uitschakeling vaatwasmachine

De onderstaande uren geeft het globale dagelijks werkregime van de vaatwasmachine in het ziekenhuis St. Norbertus weer :

- 6:15 : Inschakeling vaatwasmachine
- 6:15 - 6:30 : Vullen van de watertanks met koud water
- 6:30 - 7:30 : Opwarmen watertanks tot 63°C
- 7:30 - 9:45 : Afwassen keukengereedschap
- 9:45 - 10:30 : Eerste afwasbeurt
- 10:30 - 14:00 : Afwassen keukengereedschap
- 14:00 - 14:45 : Tweede afwasbeurt
- 14:45 - 15:00 : Afvoer van het vervuild water uit de watertanks
- 15:00 - 15:15 : Vullen van de watertanks met koud water
- 15:15 - 16:15 : Opwarmen watertanks tot 63°C
- 16:15 - 18:30 : Afwassen keukengereedschap
- 18:30 - 19:15 : Derde afwasbeurt
- 19:15 - 19:30 : Afvoer van het vervuild water uit de watertanks
- 19:30 : Uitschakeling vaatwasmachine

Uit de twee dagregimes besluiten we dat de vaatwasmachine in het ziekenhuis Sancta Maria reeds om 8:10 wordt opgestart en pas om 13:10 de eerste grote afwasbeurt heeft terwijl in het ziekenhuis St. Norbertus de opstart om 6:15 geschiedt en de eerste afwasbeurt om 9:45 plaatsvindt. Het aantal afwasbeurten per dag is in beide ziekenhuizen verschillend (Sancta Maria : 2 en St. Norbertus : 3).

3 METING EN REGISTRATIE ENERGIESTROMEN

3.1 Probleemstelling

Het opstellen van het meetschema is gebaseerd op het vinden van het antwoord op de vraag "Welke energiebesparing wordt bereikt met een vaatwasmachine met geïntegreerde warmtepomp ten opzichte van dezelfde vaatwasmachine zonder warmtepomp?".

De grootte van de energiebesparing zou relatief eenvoudig berekend kunnen worden indien het mogelijk was om in de vaatwasmachine met geïntegreerde warmtepomp, de warmtepomp tijdelijk uit te schakelen. Door een aantal dagen het energiegebruik van de vaatwasmachine met warmtepomp te meten en daarna een aantal dagen het energiegebruik te bepalen met uitschakeling van de warmtepomp, zou na vergelijking van de resultaten de besparing op primaire energie eenvoudig kunnen bepaald worden. Probleem is echter dat de warmtepomp niet uitgeschakeld kan worden.

Een andere mogelijkheid om de energiebesparing te bepalen zou zijn dat tegelijkertijd met de metingen in het ziekenhuis te St.-Truiden metingen zouden uitgevoerd worden aan eenzelfde vaatwasmachine maar dan **zonder** warmtepomp in een ander ziekenhuis. Omdat echter het werkingsregime van de vaatwasmachine (zie paragraaf 2) nogal sterk kan variëren per ziekenhuis is ook deze oplossing niet interessant.

De enige oplossing was dus om een aantal energiemetingen aan de warmtepomp uit te voeren en deze vervolgens te vergelijken met **berekeningen** voor de situatie waarin geen warmtepomp (enkel een elektrische boiler) aanwezig was in de vaatwasmachine.

Omdat echter de warmtepomp één geheel vormt met de vaatwasmachine en vanwege de zeer beperkte ruimte in de machine was het onmogelijk om alle gewenste metingen uit te voeren.

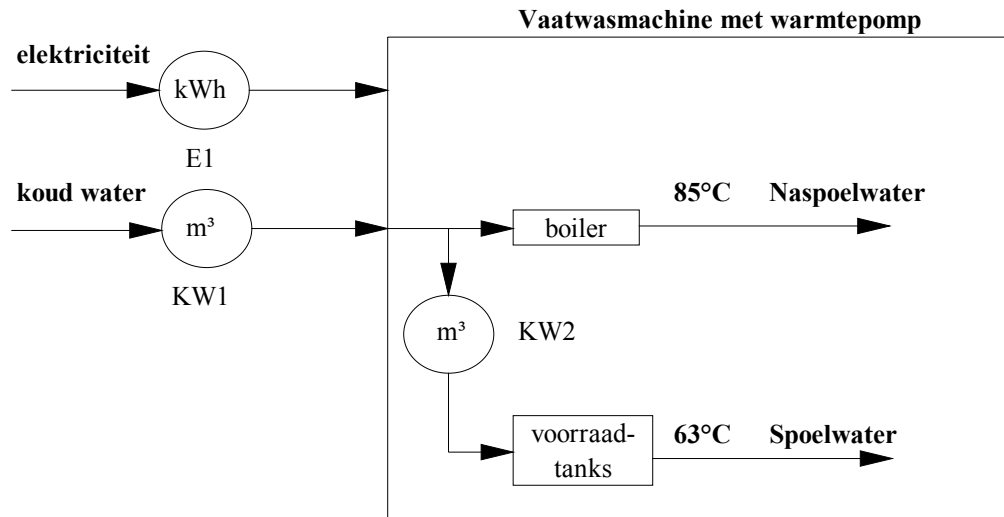
We hebben ons daarom op de volgende wijze moeten beperken tot het bepalen van de benodigde elektrische energie en de geleverde thermische energie van de warmtepomp :

- elektrische energie
 - het elektriciteitsverbruik van de gehele vaatwasmachine wordt dagelijks genoteerd
 - gedurende één week is de gehele elektrische belasting van de vaatwasmachine en compressor iedere 5 minuten geregistreerd.
- thermische energie
 - het koudwaterverbruik wordt dagelijks genoteerd
 - gedurende één week is het totale koudwaterverbruik van de vaatwasmachine en het koudwaterverbruik van de watertanks iedere 5 minuten geregistreerd.

Uit bovenvermelde metingen is de COP van de warmtepomp afgeleid, waarna de energiebesparing en de CO₂-vermindering door toepassing van de warmtepomp ten opzichte van het gebruik van een elektrische boiler is berekend.

3.2 Meetschema

Figuur 4 geeft het meetschema weer voor dit project.



Verklaring symbolen :

- KW1 : koud waterteller in de aanvoerleiding van de vaatwasmachine
- KW2 : koud waterteller in de aanvoerleiding van de watertanks
- E1 : elektriciteitsmeter in de toevoerleiding naar de vaatwasmachine

Figuur 4 : Meetschema van de vaatwasmachine met warmtepomp

De meters zijn voorzien van pulsgevers (mogelijkheid tot datalogging) en werden door VITO geïnstalleerd.

Er werd overeengekomen dat de technische dienst van het ziekenhuis **dagelijks** de meetwaarden op een invulformulier noteert en deze maandelijks naar VITO opstuurt voor verwerking en analyse. In eerste instantie is er dus niet geopteerd voor uurlijkse dataregistratie. Na verwerking en analyse van een aantal gegevens is besloten om gedurende één week de 3 meters (1 elektriciteitsmeter en 2 koudwatertellers) om de vijf minuten uit te lezen.

Tabel 1 geeft enkele nadere gegevens betreffende de gemeten parameters.

Tabel 1: Dagelijks te meten parameters

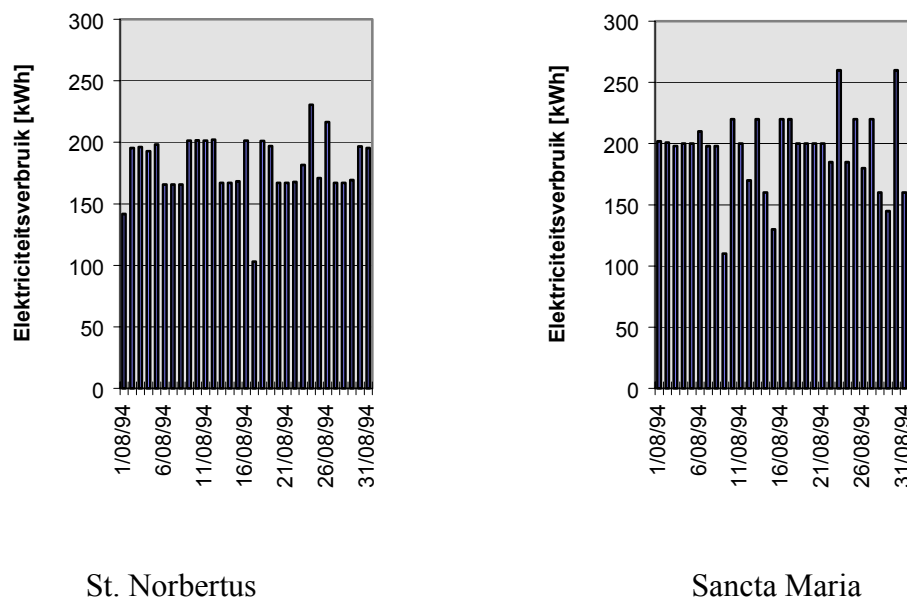
	Te meten grootheid	Eenheid
KW1	Koud waterverbruik	m ³
KW2	Koud waterverbruik van de voorraad-tanks	m ³
E1	Elektriciteitsverbruik	kWh
-	Aantal maaltijden	maaltijden

4 TECHNISCHE EVALUATIE

In deze paragraaf worden de meetresultaten van de registratieperiode april 1994 - maart 1995 geanalyseerd en besproken. Zoals reeds eerder vermeld worden de energiestromen bij dit project **dagelijks** opgenomen. Om een nauwkeurigere evaluatie te maken werd gedurende een week het elektriciteits- en het koud waterverbruik iedere 5 minuten geregistreerd.

4.1 Bepaling elektriciteitsverbruik totale machine

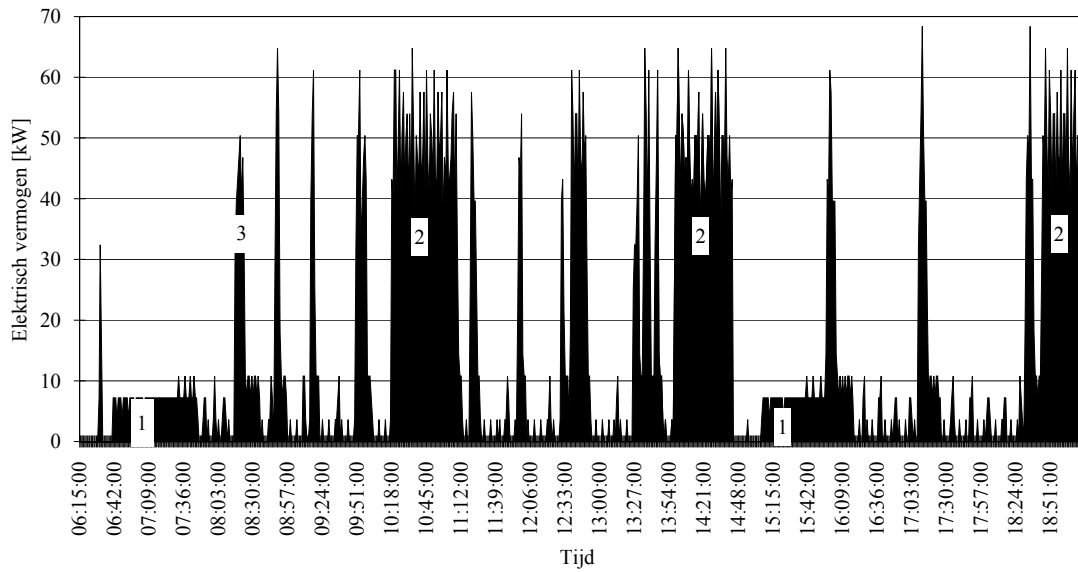
Figuur 5 geeft het verloop weer van het dagelijks elektriciteitsverbruik van de totale vaatwasmachine in de maand augustus 1994 voor de beide ziekenhuizen.



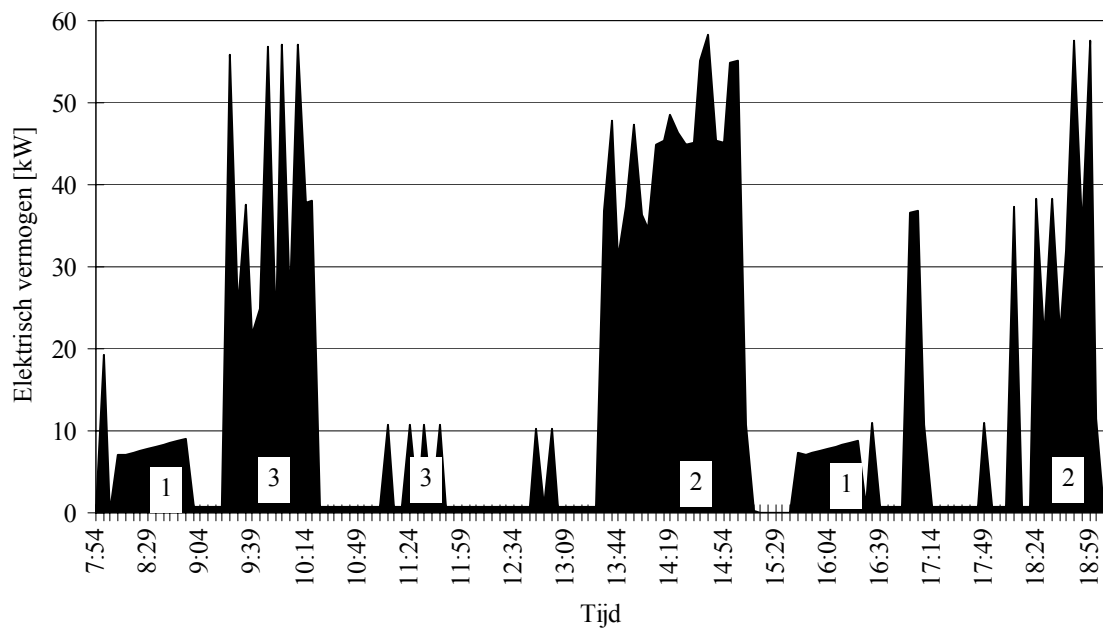
Figuur 5 : Dagelijks elektriciteitsverbruik gedurende de maand augustus 1994

Uit figuur 5 kunnen we besluiten dat de vaatwasmachine in het ziekenhuis St. Norbertus gemiddeld 180 kWh elektriciteit per dag verbruikt terwijl de vaatwasmachine in het ziekenhuis Sancta Maria 195 kWh per dag verbruikt. Omdat er in het weekend geen dagelijkse metingen opgenomen worden, is het verbruik evenredig verdeeld over de weekenddagen. Gedurende de meetperiode is gebleken dat in het ziekenhuis St. Norbertus gemiddeld 730 maaltijden per dag worden geserveerd, zodat het elektriciteitsverbruik gemiddeld 0,25 kWh per maaltijd bedraagt terwijl het specifieke verbruik in ziekenhuis Sancta Maria met 350 maaltijden per dag circa 0,55 kWh per maaltijd bedraagt.

De figuren 6 en 7 geven het elektrisch vermogen weer van de vaatwasmachines gedurende een dag. Cijfer "1" in de figuren 6 en 7 staat voor het vullen van de watertanks, cijfer "2" voor een afwasbeurt en cijfer "3" voor het op temperatuur houden van de watertanks en/of afwassen van keukengereedschap.



Figuur 6 : Verloop van het elektrisch vermogen gedurende een dag (St. Norbertus)

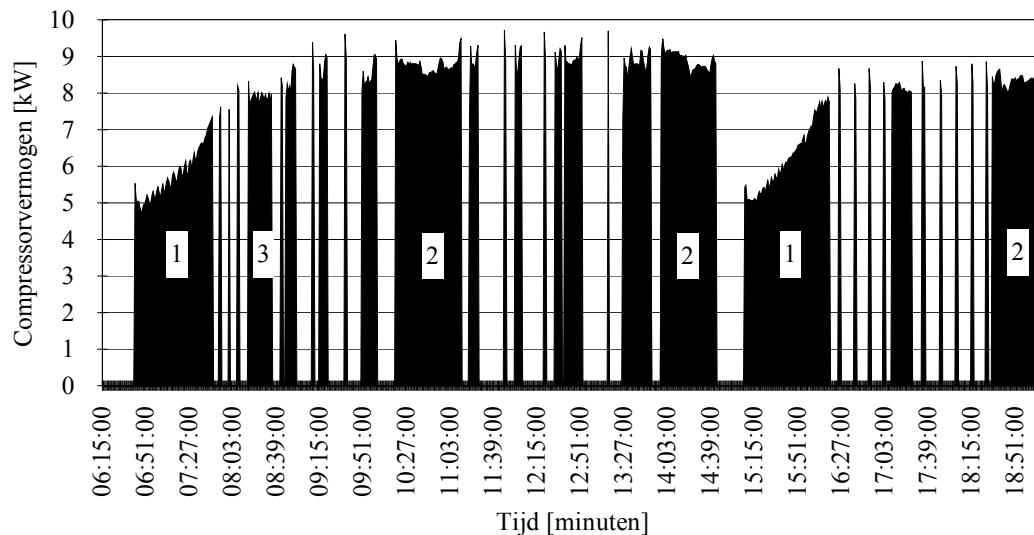


Figuur 7 : Verloop van het elektrisch vermogen gedurende een dag (Sancta Maria)

Uit de figuren 6 en 7 besluiten we dat de elektrische belasting bij het vullen van de watertanks ("1") 8 kW, bij een afwasbeurt ("2") 40 tot 50 kW en bij het opwarmen van de watertanks en/of afwassen van keukengereedschap ("3") 10 tot 45 kW bedraagt.

- Bepaling compressorvermogen

Figuur 8 geeft het verloop weer van het compressorvermogen in functie van de tijd en daarmee ook de werktijden van de warmtepomp gedurende een dag (de cijfers staan voor dezelfde werkregimes als in figuur 6, maar gedurende een andere dag). De figuur heeft betrekking op de vaatwasmachine in het ziekenhuis St. Norbertus.



Figuur 8 : Compressorvermogen in functie van de tijd

Uit figuur 8 blijkt dat het compressorvermogen tijdens een afwasbeurt gemiddeld 8 à 9 kW bedraagt. Het compressorvermogen tijdens het opwarmen van het water in de watertanks varieert tussen 5 en 9 kW. We bemerken tevens dat de compressor en daarmee de warmtepomp vaak in dienst is voor het op constante temperatuur houden van de watertanks (63°C). De compressor schakelt in wanneer de temperatuur van het water in de watertanks 58°C bedraagt en is maar voor enkele minuten in dienst voor het opwarmen van het water van 58°C naar 63°C.

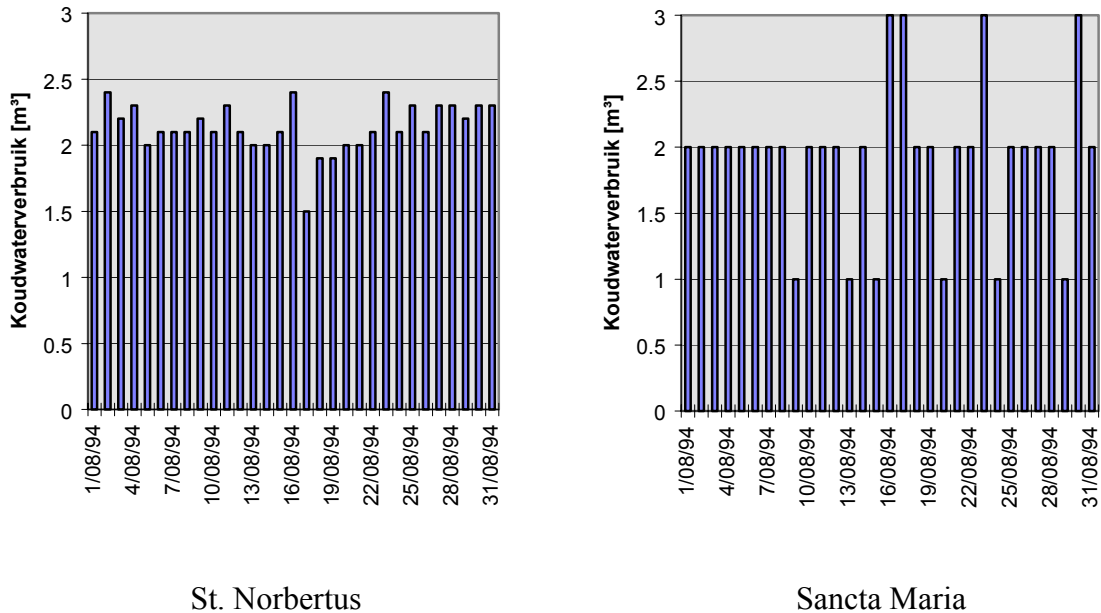
Gemiddeld verbruikt de compressor 55 kWh per dag. We nemen aan dat het gemiddeld elektriciteitsverbruik van de hulpapparaten 10 kWh per dag bedraagt. Het totaal elektriciteitsverbruik van de warmtepomp bedraagt dus 65 kWh per dag.

Voor het bijverwarmen van het voorverwarmde naspoelwater in de boiler van 70°C naar 85°C is berekend dat de boiler een elektriciteitsverbruik van 21 kWh per dag heeft (zie paragraaf 4.3). De rest van het elektriciteitsverbruik (94 kWh) gaat naar de weerstandsverwarming en hulpapparaten (pompen, sturingen, transportband,...).

Voor de vaatwasmachine in het ziekenhuis Sancta Maria kunnen dezelfde waarden genomen worden.

4.2 Bepaling waterverbruik

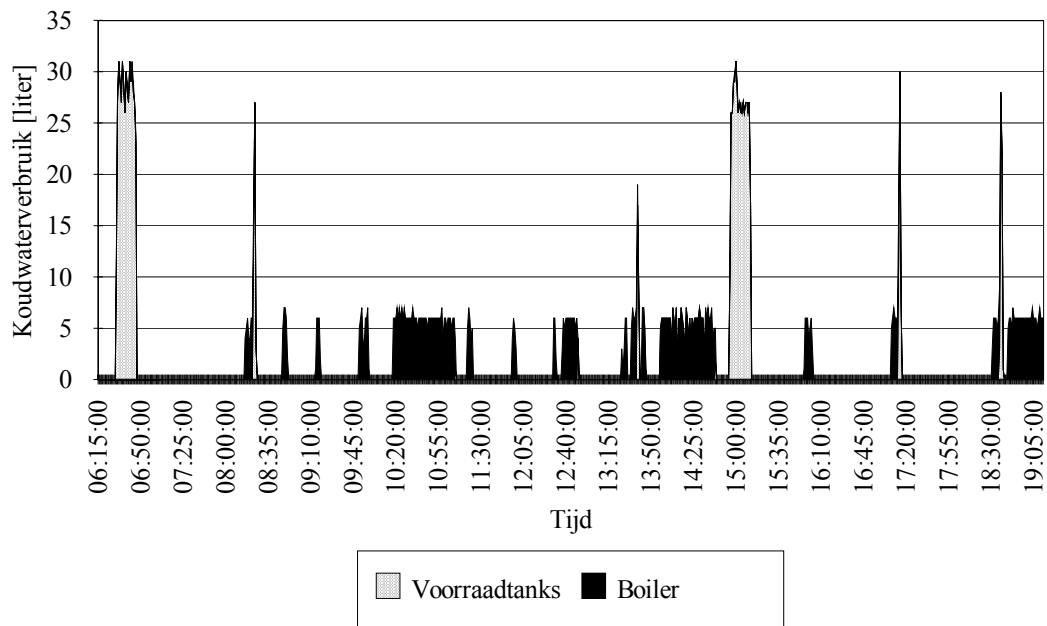
Figuur 9 geeft de evolutie weer van het waterverbruik voor de vaatwasmachine in de maand augustus voor beide vaatwasmachines.



Figuur 9 : Verloop van het waterverbruik gedurende de maand augustus 1994

Uit de figuur 9 kunnen we besluiten dat het waterverbruik gemiddeld 2 m³ per dag bedraagt. Met gemiddeld 730 maaltijden per dag leidt dit tot een gemiddeld waterverbruik van 2,8 liter per maaltijd voor het ziekenhuis St. Norbertus en 5,7 liter per maaltijd voor het ziekenhuis Sancta Maria (350 maaltijden per dag).

Figuur 10 geeft het verloop weer per minuut van het waterverbruik voor de boiler en de tanks. De som van deze verbruiken geeft het totaal waterverbruik van de vaatwasmachine voor het ziekenhuis St. Norbertus.



Figuur 10 : Verloop van het waterverbruik in watertanks en in boiler gedurende een dag

Uit figuur 10 kunnen we besluiten dat het vullen van de tanks 15 minuten in beslag neemt (30 liter per minuut). Tijdens een afwasbeurt wordt er gemiddeld 6 liter per minuut verbruikt dat volledig naar het naspelwater gaat (in boiler).

4.3 Prestaties warmtepomp

4.3.1 Warmteafgifte warmtepomp

Ziekenhuis St. Norbertus

Bij de beoordeling van de prestaties van de warmtepomp is het belangrijk om de warmte die de warmtepomp afgeeft aan het spoelwater te kennen. Door plaatsgebrek was de plaatsing van een calorimeter in de vaatwasmachine niet mogelijk. Zodoende steunen onze berekeningen op metingen gedurende één week van een aantal elementen zoals het elektriciteitsverbruik van de compressor en het waterverbruik van de watertank en boiler.

Hieronder geven we een voorbeeldberekening van de warmteafgifte van de warmtepomp gedurende een dag. Zoals eerder vermeld, wordt de warmte van de warmtepomp in 2 circuits benut :

- eerste circuit : opwarmen en op temperatuur houden van watertanks (63 °C)
- tweede circuit : naspoelwater voorverwarmen tot 70 °C.

- Eerste circuit

Om het water in de watertanks (460 liter) op te warmen van de begintemperatuur van 12°C naar 63°C geeft de warmtepomp 27 kWh af aan het spoelwater. Per dag zijn er twee waterverversingen zodat de warmtepomp per dag 54 kWh afgeeft.

Voor het op constante temperatuur (63°C) houden van de watertanks is berekend dat de warmtepomp aan het spoelwater (bij elke bijverwarming van 58°C tot 63°C) 3 kWh afgeeft. De frequentie van het bijverwarmen van deze watertanks varieert tussen 10 en 20 keer per dag. Hier veronderstellen we dat voor het op temperatuur houden van de watertanks per dag maximaal $20 \times 3 = 60$ kWh aan warmte door de warmtepomp wordt geleverd.

- Tweede circuit

Voor het voorverwarmen van het naspoelwater (met begintemperatuur 12°C en eindtemperatuur 70°C) dat naar de elektrische boiler gaat, is berekend dat de warmtepomp per dag 73 kWh afgeeft.

Ziekenhuis Sancta Maria :

Op analoge wijze kan een berekening gemaakt worden voor de vaatwasmachine in Sancta Maria. Onderstaande tabel geeft voor beide vaatwasmachines de resultaten weer.

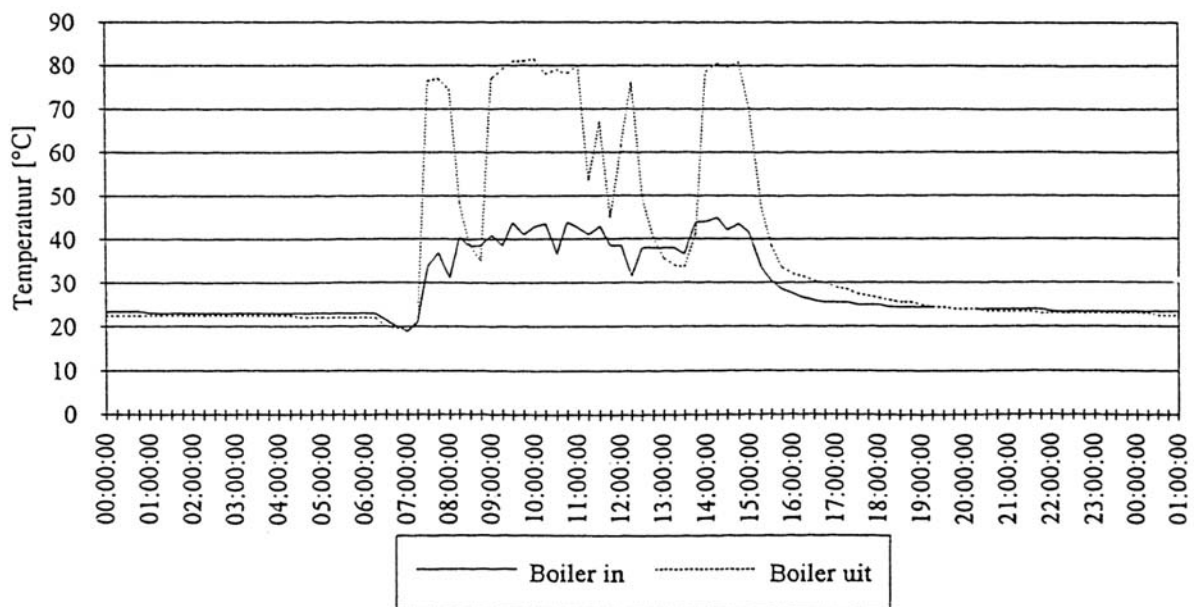
Tabel 2 : Warmteafgifte warmtepompen

	St. Norbertus	Sancta Maria
Eerste circuit (kWh)		
Opwarmen tanks	54	46
Bijverwarmen tanks	60	23
Tweede circuit (kWh)		
Voorverwarmen naspelwater	73	67
Warmteafgifte totaal	187	136

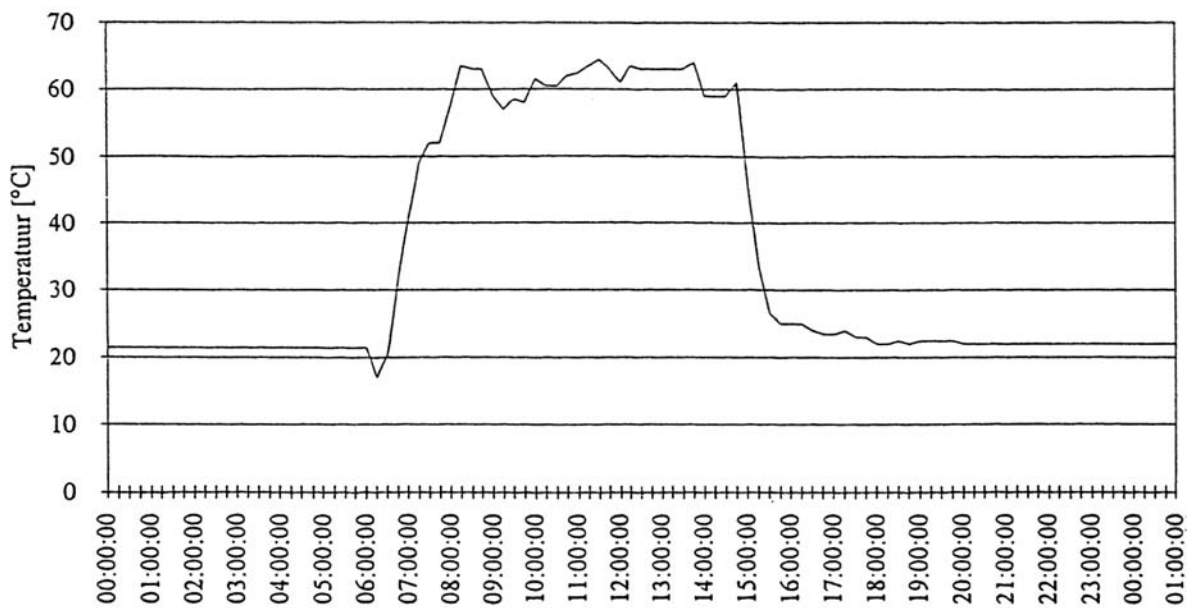
Uit de tabel 2 besluiten we dat er een groot verschil is tussen de bijverwarming van de tanks. Een eerste reden hiervoor is dat de watertanks in de vaatwasmachine bij het ziekenhuis St. Norbertus 20 maal per dag worden bijverwarmd en in het ziekenhuis Sancta Maria maar 10 maal per dag. Een tweede reden is dat er een verschil is tussen het aantal afwasbeurten (St. Norbertus : 3 en Sancta Maria : 2). Per afwasbeurt koelt het water in de tanks af zodanig dat er meer dient bijverwarmd te worden.

4.3.2 Temperatuurniveau

Gedurende een week zijn temperaturen gemeten aan de in- en uitgang van de boiler (figuur 11) en in de voorraadtanks (figuur 12) van de vaatwasmachine in het St. Norbertus. Vergelijkende resultaten werden behaald bij de vaatwasmachine in het ziekenhuis Sancta Maria.



Figuur 11 : Temperatuur aan de in- en uitgang van de boiler



Figuur 12 : Temperatuur van het water in de voorraadtanks

Uit figuur 11 kunnen we besluiten dat tijdens een afwasbeurt de temperatuur aan de uitgang van de boiler circa 80 °C bedraagt en dat de temperatuur aan de ingang van de boiler gemiddeld 40 °C is. Uit figuur 12 kunnen we afleiden dat de temperatuur in de voorraadtanks gemiddeld 60 °C bedraagt.

De temperatuur aan de ingang van de boiler is niet gelijk met de temperatuur aan de uitgang van de warmtepomp. Dit komt door het feit dat bij het warme water van de warmtepomp er koud water wordt bijgemengd (zie figuur 3).

Tussen de ingang van het koud water naar de warmtepomp en de uitgang van de warmtepomp is een bypassventiel geplaatst. Zodoende is er de mogelijkheid om aan het warme water dat uit de warmtepomp komt koud water toe te voegen. Indien het bypassventiel gesloten is, wordt er geen koud water toegevoegd en bekomen we een maximale opwarming van het water.

4.3.3 Bepaling COP

De coefficient of performance (COP) is een bruikbaar element om de prestaties van een warmtepomp bij gegeven temperatuurscondities aan te duiden en deze wordt gedefinieerd als de verhouding tussen de geleverde warmte van de warmtepomp tot het elektriciteitsverbruik van de compressor. Een hoge COP duidt op een meer energie-efficiënt systeem.

Uit de meetresultaten blijkt dat het elektriciteitsverbruik van de compressor afhankelijk is van het gebruikspatroon van de vaatwasmachine (aantal afwasbeurten) en dat waarden

behaald worden tussen 46 à 55 kWh per dag. De totale warmteafgifte van de warmtepomp schommelt tussen 144 en 187 kWh per dag. De hulpapparaten van de warmtepomp nemen 10 kWh per dag in beslag. Zodoende bekomen we een COP die afhankelijk van het werkingsregime een waarde heeft tussen 2,7 en 3,4.

Dit wil zeggen dat met toevoer van 1 kWh elektrische energie aan de compressor de warmtepomp gemiddeld 3 kWh warmte afgeeft. Volgens de specificaties van de leverancier van de warmtepomp bedraagt de COP 4,1. De werkelijke waarde en de gemeten waarde wijken erg veel van mekaar af. Oorzaken zijn dat de COP volgens de leverancier is gemeten bij referentieomstandigheden.

Bij een lage belasting van de vaatwasmachine (en ook van de compressor) daalt de efficiëntie van de warmtepomp en bekomen we een lagere COP.

4.3.4 Bedrijfsuren

In de beide ziekenhuizen zijn de vaatwasmachines dagelijks in bedrijf (365 dagen/jaar). De vaatwasmachine in het ziekenhuis St. Norbertus heeft een werkingsregime van 13 uren per dag terwijl deze in het ziekenhuis Sancta Maria 9 uren per dag in dienst is. De compressor van de warmtepomp draait hierbij respectievelijk gemiddeld 6,9 uren per dag of circa 2500 uren per jaar en 6,4 uren per dag of 2300 uren per jaar.

4.3.5 Onderhoud

De COP van een warmtepomp is afhankelijk van verschillende factoren zoals compressorefficiëntie, condensatietemperatuur,... Een goed onderhoud van de compressor zal een invloed hebben op de COP. Vandaar dat voor de vaatwasmachine met warmtepomp een onderhoudscontract van 30.000 BEF/jaar werd afgesloten met de fabrikant van de vaatwasmachine. In de situatie zonder warmtepomp bedraagt het onderhoudscontract 21.000 BEF/jaar. Voor specificaties van de onderhoudsfiche van warmtepomp en vaatwasmachine zie bijlage 2.

4.3.6 Werkmiddel

CFK's zijn schadelijk voor de ozonlaag en bevorderen het broeikaseffect. Sinds het protocol van Montreal in 1987 en updates in 1992 heeft men besloten om de CFK's tegen het eind van 1995 te verbannen m.a.w. er worden vanaf dan geen CFK's meer geproduceerd. De onderstaande tabel 3 geeft een vergelijking van de meest toegepaste werkmiddelen [2].

Tabel 3 : Toegepaste werkmiddelen

Refrigerants	T _{mas} @ 25 bar [°C]	Regulated by Montreal Protocol	Ozone depletion potential
HFC-134a	75	No	0.0
HCFC-22	60	No	0.05
CFC-502	55	Yes ¹⁾	0.33
CFC-500	70	Yes ¹⁾	0.74
CFC-12	80	Yes	1.0
CFC-114	130	Yes	1.0

1)CFC-502 and CFC-500 are controlled by the Montreal Protocol as they contain regulated substances.
Information obtained from United Nations Environment Programma [2] and Du Pont [3].

Een voorwaarde voor het gebruik van alternatieve werkmiddelen (HCFK's) is dat deze dezelfde energie efficiëntie geven als systemen met CFK's. Vanaf 2030 wordt HCFK niet meer toegelaten als werkmiddel en dient men andere koelmiddelen te ontwerpen welke milieuvriendelijker zijn.

Het werkmiddel dat in de warmtepomp van de vaatwasmachine wordt gebruikt is HFC-134a, wat vergelijkbare thermische en fysische eigenschappen bezit als CFK-12. De COP van machines met HFC-134a en CFK-12 zullen vergelijkbaar zijn maar bij lage verdampingstemperaturen (lager dan -10°C) of bij een hoge temperatuurlift zal de COP lager zijn.

4.4 Samenvattende resultaten

Uit de metingen en berekeningen geven we volgende gemiddelde waarden per dag :

Tabel 4 : Vergelijkende resultaten

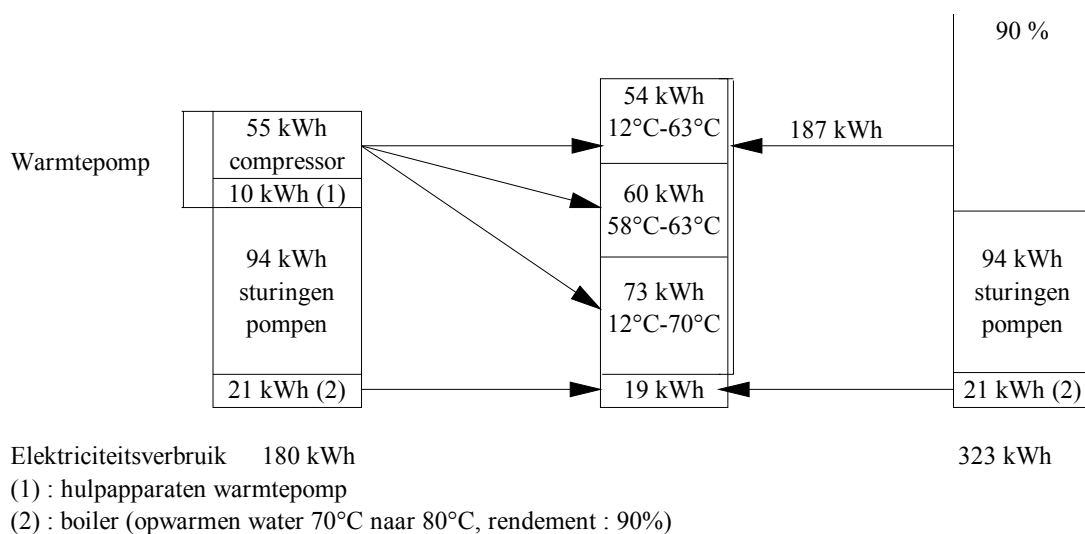
	St. Norbertus	Sancta Maria
Vaatwasmachine		
Aantal maaltijden	730	350
Elektriciteitsverbruik [kWh]	180	195
Elektriciteitsverbruik per maaltijd [kWh/maaltijd]	0,25	0,55
Koudwaterverbruik [m³]	2,1	1,9
Koudwaterverbruik per maaltijd [liter/maaltijd]	2,8	5,7
Warmtepomp		
Warmteafgifte [kWh]	187	148
COP	2,7 - 3,4	2,7 - 3,1

5 PRIMAIRE ENERGIEBESPARING EN CO₂-VERMINDERING

In deze paragraaf wordt berekend wat de primaire energie en CO₂-emissiereductie is voor een vaatwasmachine met warmtepomp ten opzichte van een vaatwasmachine zonder warmtepomp. Als voorbeeld geven we de berekeningen voor de vaatwasmachine in het ziekenhuis St. Norbertus. Op analoge wijze kan voor de andere warmtepomp de berekening gemaakt worden.

Voor de berekening van de primaire energie en CO₂-besparing veronderstellen we als referentiesituatie eenzelfde vaatwasmachine zonder warmtepomp, waarbij alle benodigde warmte wordt geproduceerd met een elektrische boiler (rendement = 90 %).

Figuur 13 toont de vergelijking van een vaatwasmachine met warmtepomp en een vaatwasmachine zonder warmtepomp waarbij is uitgegaan van een dagelijkse warmtebehoefte van 187 kWh. Een elektrische boiler heeft voor het produceren van dezelfde hoeveelheid warmte 208 kWh elektriciteit nodig. Verder wordt (zowel in de situatie met als zonder warmtepomp) 94 kWh verbruikt door de sturingen, pompen en verwarmingselementen en 21 kWh voor het opwarmen van het naspoelwater van 70 °C naar 85°C in de elektrische boiler.



Figuur 13 : Vergelijking vaatwasmachine zonder en met warmtepomp

Voor de situatie met warmtepomp bedraagt het totale elektriciteitsverbruik van de vaatwasmachine 180 kWh per dag terwijl dit zonder warmtepomp (voor dezelfde hoeveelheid warmte) wordt berekend op 323 kWh per dag. Een besparing van 143 kWh per dag of op jaarbasis $365 \times 143 \text{ kWh} = 52.195 \text{ kWh}$.

In de situatie met warmtepomp is er 1,48 GJ aan primaire energie per dag nodig (rendement : 43,7 %) terwijl dit zonder warmtepomp 2,66 GJ per dag bedraagt. Dit betekent een besparing van 1,18 GJ aan primaire energie per dag. Op jaarbasis zou dit leiden tot een energiebesparing van $365 \times 1,18 \text{ GJ} = 431 \text{ GJ}$ (equivalent 12.000 m³ aardgas) voor het ziekenhuis St. Norbertus. Voor het ziekenhuis Sancta Maria bedraagt dit 234 GJ.

Uitgaande van een CO₂-emissiefactor voor de vermeden elektriciteitsproductie van 624 g/kWh leidt dit tot een CO₂-emissiereductie van 24 ton per jaar voor ziekenhuis Sancta Maria en 32 ton voor het ziekenhuis St. Norbertus

6 ECONOMISCHE EVALUATIE

Voor het bepalen van de rendabiliteit van de vaatwasmachine vergelijken we de kosten van een vaatwasmachine met warmtepomp met deze van een vaatwasmachine zonder warmtepomp met volgende aannames :

- het waterverbruik van een vaatwasmachine met en zonder warmtepomp is hetzelfde vermits het water in de situatie met warmtepomp opgeslagen is in de voorraadtanks en in de situatie zonder warmtepomp in de elektrische boiler
- bij een machine zonder warmtepomp wordt alle benodigde warmte geproduceerd in een elektrische boiler met een rendement van 90 %.
- de gemiddelde elektriciteitsprijs voor het ziekenhuis Sancta Maria bedraagt 4,25 BEF/kWh terwijl deze voor het ziekenhuis St. Norbertus 2,36 BEF/kWh is.

Tabel 5 geeft de investeringsanalyse van het project.

Tabel 5 : Investeringsanalyse warmtepomp (excl. BTW)

	St. Norbertus		Sancta Maria	
	Zonder warmtepomp [kBEF]	Met warmtepomp [kBEF]	Zonder warmtepomp [kBEF]	Met warmtepomp [kBEF]
Investeringskosten				
Investering vaatwasmachine	2.212	2.212	2.212	2.212
Investering warmtepomp	-	1.077	-	1.077
Subsidie	-	323	-	267
Netto investeringskosten	2.212	2.966	2.212	3.022
Δ investeringskosten (1)	-	754	-	810
Exploitatiekosten				
Elektriciteit	278	155	441	279
Onderhoud	21	30	21	30
Totale exploitatiekosten	299	185	462	309
Δ exploitatiekosten (2)		114		153
TVT zonder subsidie [jaar]		9,4		7,1
TVT (1)/(2) met subsidie [jaar]		6,6		5,3

Uit de economische analyse kunnen we besluiten dat de warmtepomp in het ziekenhuis Sancta Maria de kortste terugverdientijd (TVT) heeft. Dit is te wijten aan het de hogere elektriciteitsprijs t.o.v. het ziekenhuis St. Norbertus.

Uit de tabel kunnen we afleiden dat de elektriciteitskosten gedaald zijn met ongeveer 55 % t.o.v. een vaatwasmachine zonder warmtepomp. Met een subsidie van 30 % van de kosten voor de warmtepomp wordt een TVT behaald van 5,3 jaar in het ziekenhuis Sancta Maria en 6,6 jaar in het ziekenhuis St. Norbertus; zonder subsidie wordt de TVT verlengd tot respectievelijk 7,1 en 9,4 jaar.

7 BESLUITEN

Een evaluatie maken van een vaatwasmachine met geïntegreerde warmtepomp is geen eenvoudige zaak, daar vanwege de zeer beperkte ruimte in de vaatwasmachine warmtetechnische metingen aan het warmtecircuit van vaatwasmachine en warmtepomp praktisch niet mogelijk zijn.

De elektrisch aangedreven warmtepomp in de vaatwasmachine wordt gebruikt om het koud water in de watertanks op te warmen en om het naspooelwater voor te verwarmen.

We besluiten dat de vaatwasmachines gemiddeld 2 m³ koud water per dag verbruiken. Het elektriciteitsverbruik van de vaatwasmachine in het ziekenhuis St. Norbertus bedraagt 180 kWh per dag en deze in het ziekenhuis Sancta Maria 195 kWh per dag. De compressor van de warmtepomp en zijn hulpapparaten verbruiken 57 kWh per dag of 32 % van het totale elektriciteitsverbruik van de vaatwasmachine. De warmtepomp produceerde hierbij gemiddeld 148 à 187 kWh thermisch, zodat de COP van de warmtepomp hiermee op 2,7 à 3,4 komt. Volgens de leverancier van de vaatwasmachine bedraagt de COP in ideale omstandigheden 4,1.

Gedurende de registratieperiode zijn er geen technische aanpassingen aan de vaatwasmachine gebeurd. Het koelmiddel HFC-134a dat gebruikt wordt in de warmtepomp, zou dezelfde thermische en fysische eigenschappen bezitten als CFK-12 maar is vriendelijker voor het milieu.

Als referentiesituatie voor de bepaling van de primaire energiebesparing en CO₂-emissiereductie veronderstellen we eenzelfde vaatwasmachine zonder warmtepomp, waarbij de warmte wordt geproduceerd met een elektrische boiler (rendement : 90 %).

Gedurende de registratieperiode werd er 234 GJ bespaard in de situatie van Sancta Maria en 431 GJ (equivalent 12.000 m³ aardgas) voor het ziekenhuis St. Norbertus. Uitgaande van een CO₂-emissiefactor van 624 g/kWh voor de vermeden elektriciteitsproductie leidt dit tot een CO₂-emissiereductie van 24 ton voor het ziekenhuis Sancta Maria en 32 ton voor het ziekenhuis St. Norbertus.

Met een subsidie van 30 % van de kosten voor de warmtepomp wordt een terugverdientijd (TVT) behaald van 5,3 jaar in het ziekenhuis Sancta Maria en 6,6 jaar in het ziekenhuis St. Norbertus; zonder subsidie wordt de TVT verlengd tot respectievelijk 7,1 en 9,4 jaar.

Bijlage 1: Technische specificaties van de vaatwasmachine met warmtepomp

Bijlage 1: Specificaties van de vaatwasmachine met warmtepomp

Type- aanzicht	HAUPTSPÜLZONE											HEISSWASSERBEREITER						WÄRME- PUMPE				TROCKENZE- TUM		GEWICHT (ohne Zusatz- ausstattungen)								
	VORABRÄUZONE			KLARSPÜLZONE			HEISSWASSERBEREITER			WÄRME- PUMPE			TROCKENZE- TUM		Trockenzonen TUM - 8 KW (mit Wunsch 6 KW)	Leert- gewicht ca. kg																
	Tankinhalt		Pumpenleistung	Tankinhalt		Pumpenleistung	Maschine mit Wärmerückgewinnung durch: WR 60 + TSM		Wärmepumpe		(Tankheizung entfällt)		Gebläseleistung				Betriebs- gewicht ca. kg															
	Wasserdruck	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min																	
l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min																
TM-N 130 (VN)	-	-	150	1400	2,2	9	13,5	15,5	0,43	40	0,12	300	28	45	36	13	23	18	-	9,0	15	4000	1,5	415	705							
TM-N 130 F (VN)	700	-	150	1400	2,2	9	13,5	15,5	0,61	40	0,12	300	26	45	36	13	23	18	750	9	15,5	18	6,3	9,2	9,0	15	4000	1,5	525	850		
TM-N 130 P (VN)	-	60	660	150	1400	2,2	9	13,5	15,5	0,61	40	0,12	300	26	45	36	13	23	18	750	9	15,5	18	6,3	9,2	9,0	15	4000	1,5	555	940	
TM-N 130 FP (VN)	700	60	660	150	1400	2,2	9	13,5	15,5	0,61	40	0,12	300	26	45	36	13	23	18	750	9	15,5	18	6,3	9,2	9,0	15	4000	1,5	640	1045	
TM-N 130 V (VN)	-	90	1050	1,5	1400	2,2	9	13,5	15,5	0,61	40	0,12	300	26	45	36	13	23	18	750	9	15,5	18	6,3	9,2	9,0	15	4000	1,5	645	1080	
TM-EN 247 P (VN)	-	60	660	0,75	240	2x1400	2x2,2	18	22,5	31	0,86	40	0,12	350	31	53	36	16	28	27	1000	12	21	18	9,5	11,2	9,0	15	4000	1,5	755	1280
TM-EN 247 V (VN)	-	90	1050	1,5	240	2x1400	2x2,2	18	22,5	31	0,86	40	0,12	350	31	53	36	16	28	27	1000	12	21	18	9,5	11,2	9,0	15	4000	1,5	845	1430
TM-DN 325 V (VN)	-	90	1050	1,5	300	3x1400	3x2,2	27	46,5	1,22	40	0,12	400	35	60	45	21	36	27	1000	20	35	27	10,4	11,2	9,0	15	4000	1,5	990	1680	
TM-EEEN 364 V (VN)	-	90	1050	1,5	330	3x1400	3x2,2	27	46,5	1,29	40	0,12	400	35	60	45	21	36	27	1000	20	35	27	10,4	11,2	9,0	15	4000	1,5	1070	1840	

	Nutzbare Durchfahrbreite - zwischen Geschirrhänge: 620 mm - Nutzbreite Geschirrhänge: 400 mm	Das Maschinengewicht erhöht sich bei Ausstattung mit
		- Trockenzonen TZM/TZS - Trockenzonen TZO - Wärmepumpe 750/1000
		150 100 550

Bijlage 2 : Onderhoudsfiche van vaatwasmachine en warmtepomp

NR	BESCHRIJVING DER WERKEN	DAG	WEEK	MAAND	TRIM.	SEM.	JAAR	
	<u>Nazicht</u>							
1	Geluid		T		S			
2	Tank T° (60°) (naziën thermostaatregeling)		T		S			
3	Spoel T° (70 < T < 90° C)		T		S			
4	Pressostaat: *uitschakelen bij 0,3 bar *terug inschakelen bij 1,8 bar				S S			
5	Onderdrukschakelaar bij uitgeschakelde circulatiepomp max. 17 bar					S		
6	Lekken in koelkring (bij werkende pomp)				S			
7	Oliepeil compressor		T		S			
8	Niveau koelvloeistof: *bij 1-3-4 tankmachine: 15 mm aan onderkantniv.glas *bij 2 tankmachine: 15 mm aan bovenkantniv.glas				S S			
9	Corrosieverschijnselen met verf beschermen					S		
10	Electr. en mechanica van circulatiepomp					S		
11	Blaasinrichting reinigen					S		
12	Electr. en mechanica van blaasinrichting						S	
13	Dichting electr. aansluitingen aan compressor						S	
14	Veren en gummibevestigingen aan compressor						S	
15	Verdamper en reiniging v. lamellen met lauw water					S		
16	Condensordeksel dichting en filter reinigen				S			
17	Condensorleidingen dichting				S			
18	Buizen en leidingen						S	
19	Reinigingen van verluchting waterpomp					S		
20	Reinigen van condensatie afloop				S			
21	ph van wastank		T		S			
22	Filter en deshydrator vervangen						S	
23	Werkingsdruk en temp. op compressor					S		
24	Spanningsschommeling < 3% techn. regelen		T			S		
25	Ventilator werking		T		S			
26	Expansieventiel, magneetventiel						S	
27	Protocol samenstellen						S	
28	Thermostatiek expansieventiel					S		
29	Klemmen vastschroeven					S		
30	Olie zuurtegraad (verversen indien nodig)					S		
P= personeel T= techniker S= specialist								
						BTM	003	

Apparaat: Vaatwasmachine
 Merk: STIERLEN
 Type:
 Serie nr.:

NR	BESCHRIJVING DER WERKEN	DAG	WEEK	MAAND	TRIM.	SEM.	JAAR
1	Grondige reiniging van de machine: *buitenkant *gordijnen *afval, bestek in machine gevallen => wegnemen *Filters (afval niet in tank ledigen) *pomp filters <u>Nazicht:</u>	P					
2	Waterhardheid (max. 7°F)		T		S		
3	Watertoevoertemperatuur		T		S		
4	Waterdruk (max. 3 Bar)				S		
5	Waterniveau				S		
6	Voorwaszone				S		
7	Waszone				S		
8	Voorspoelzone				S		
9	Naspoelzone				S		
10	Electrische magneetkleppen				S		
11	Waterlekken				S		
12	Thermostaten en watertemperatuur vd versch. zones				S		
13	Tangentiale sproeiers			T	S		
14	Naspoelsproeiers			T	S		
15	Kalkaanslag (ontkalken indien nodig)		T				
16	Waterverbruik					S	
17	Bestuursorganen (schakelaars, eindkoersschakel, magneetschakelaars)				S		
18	Weerstand (isolatie, werking)				S		
19	Verbindingen, bekabeling				S		
20	Bandonderdelen		T		S		
21	Oliepeil in aandrijfsysteem					S	
22	Condessysteem WNE/WR				S		
23	Droogtunnel				S		
P= personeel T= techniker S= specialist							

REFERENTIES

- [1] Technische beschrijving van de warmtepomp voor vaatwasmachines, Stierlen-Maquet.
- [2] International Heat Pump Status and Policy Review, HPC-AR2, Heat Pump Centre, September 1994.