

Ontwerp verdampersysteem



Studie naar een ontwerp van het luchtgekoelde verdampersysteem

Van : G.J. Doornbos, TransferWorks, geert.doornbos@transferworks.nl

Versie/datum : Origineel, 21 april 2020

Project : HP-Launch, TEUE117058



Inleiding

In het project HP-Launch heeft als doel een warmtepomp te ontwerpen voor de Nederlandse markt, die een goede terugverdientijd heeft en goed te integreren is in de Nederlandse woningbouw.

In het deel “Warmtewisselaars en luchtzijdig ontwerp” wordt een groot aantal aspecten genoemd die te maken hebben met het ontwerp van het verdampersysteem: luchtstroming en verdeling daarvan, afvoer condenswater, het proces en de cyclus van berijpen en ontdooien en de verdeling van het koudemiddel. Deze samenvatting brengt alle onderzoeken samen en adresseert zoveel mogelijk de genoemde aspecten in hun samenhang.

1. Overzicht beschikbare kennis

1.1 Resultaten literatuuronderzoek (Doornbos, 2020, ref. 1)

Schaalfactoren: Het gedrag van de verdamper als warmtewisselaar is weliswaar in theorie bekend, maar dat de schaalfactoren die in een rekenmodel beschikbaar moeten zijn door geen enkele fabrikant worden gegeven. Dat betekent dat deze gemeten moeten worden.

Condensvorming, berijpen en ontdooien: Geen van de fabrikanten die nu op de markt zijn, durven hier iets over te zeggen. Eurovent Certita Certification hanteert daarom slechts de zogenaamd ‘droge’ capaciteit, en wijst op een maximale vermenigvuldigingsfactor (met waarde 1 en 1,35 afhankelijk van de temperatuur).

Luchtverdeling: Elk praktisch ontwerp begint met hoofdafmetingen die via vuistregels worden bepaald. Of het ontwerp goed genoeg is wordt vervolgens empirisch bepaald. Dit omdat bij een luchtkoeler met buizen en lamellen de verdeling van lucht en koudemiddel nauw samenhangen. Om deze reden zal het zogenaamde luchtpad nauwkeurig in kaart worden gebracht.

1.2 Benchmark onderzoek (Aleven, 2020, ref. 3 en 4.)

Overeenkomsten: Alle lucht/water warmtepompen passen een axiaalventilator in zuigende positie toe. Als verdamper worden buis-lamelwarmtewisselaars ingezet, er zijn nog geen voorbeelden van een *microchannel*-type gezien. De toegepaste buispatronen zijn allemaal van het driehoektype.

Alle fabrikanten passen heel kleine lamelafstanden toe. Dat helpt om de warmtepomp compact te houden, maar beperkt ook de standtijd onder berijpende luchtcondities die in Nederland veelvuldig voorkomen. Ook passen bijna alle fabrikanten louvres toe in de verdamperlamel. Dat is gunstig voor de initiële capaciteit, maar uiterst ongunstig na vervuiling en het belemmert de luchtstroming.

Verschillen: De verdamper wordt met circuits bedreven waarbij goede en minder goede verdelers worden toegepast. De aansturing van de ventilatoren is soms nog traditioneel (meerdere-toeren AC motoren), maar steeds meer worden goed regelbare EC motoren toegepast. Sommige fabrikanten hebben erg veel maatregelen genomen voor een goede luchtverdeling (lucht geleiding zonder obstakels), terwijl anderen gebogen koelerblokken toepassen met diverse obstakels in de luchtstroom, zoals kabels, de motorsteun van de ventilator en andere voorzieningen zoals de elektrische doos met schakel- en regelapparatuur.

In de tabel hieronder worden de kengetallen van de beoordeelde warmtepompen weergegeven.

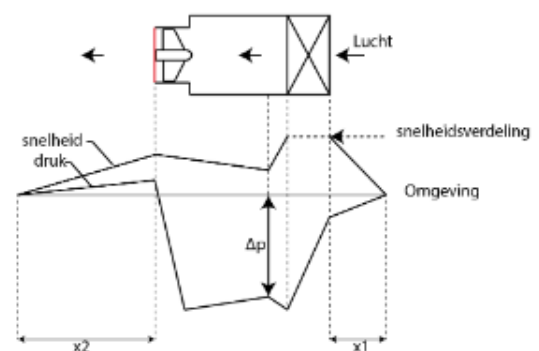
Make Heat Pump		Samsung	GREE Versatie III	Nibe	Samsung	Hautec
Type		AE050	GRS-CQ4	F2120	RC090	HWL
General ratios						
Angle of Zijlstra (average)	°	51,7	53,4	40,3	60,7	44,1
Area evap/ Area fan	-	3,0	3,0	2,8	3,7	3,4
Sound power	dB(A)	61/62	64	53	63/60	62
Weight	kg/kW	12	24	42	9	21
Volume	dm ³ /kW	44	121	205	34	98
Refrigerant mass	g/kW	230	218	667	156	250
Price	€/kW	524	-	1328	408	1660

De luchtsnelheidsverdeling over de verdamper is waarschijnlijk het best bij de Nibe, omdat deze de kleinste hoek van Zijlstra heeft, en de kleinste oppervlakte verdamper/ventilator-verhouding. Maar de unit is heel zwaar en volumineus en daarom relatief duur. Door de grote verdamper is de koudemiddelinhoud ook groot. Opgemerkt dient te worden dat hoewel de commerciële Samsung en Gree units laag in gewicht (materiaalgebruik) en compact zijn, dat het totale energiegebruik (SEER) van de gehele unit over de hele gebruiksperiode de allesoverheersende factor is.

2. Onderzoekingen en testen

2.1 Het luchtpad

Het luchtpad komt uitgebreid aan de orde in het rapport van Aleven (2020). Het omvat het hele traject dat de lucht doorloopt wanneer het door de warmtepomp loopt: aanzuig uit de omgeving, doorstroming van de verdamper, doorstroming van het plenum, aanzuig en uitblaas door de ventilator en grill en uitblaas naar de omgeving (figuur rechts). Zie ook par. 4.4.



2.2 Selectie van de beste buis-lamelconfiguratie

Er is uitgebreid onderzoek gedaan naar de beste buis-lamelconfiguraties. In nevenstaande tabel wordt bij elke diameter een benaming aangegeven. Tussen de zgn. 'microchannels' en de gewone 'macrochannels' plaatste één fabrikant zich in de markt met een 5 mm buis onder de naam 'minichannel'.

Benaming	Diameter	Stroming dampbel
Macrochannel	7 – 22 OD	Kan vrij bewegen
Minichannel	3 – 5 OD	Vrij, maar belemmerd
Microchannel	0,8 – 2 ID	Alleen voor/achteruit

Gebaseerd op de drie genoemde warmtewisselaarconcepten zijn luchtunnelmetingen uitgevoerd om de prestaties van de concepten te onderzoeken (G. Doornbos en T. Beumer, 2019, ref. 7).

Het ging om een macrochannel van 7 mm buis, een minichannel met 5 mm buis en een microchannel met 22 kanalen van 0,9 mm in een profiel. In de tabel hieronder wordt een overzicht gegeven van de bevindingen naar aanleiding van de testen. We kunnen de volgende conclusies trekken:

Materiaalgebruik: de drie concepten scoren ongeveer gelijk.

Intern volume: bij kleinere buizen scoort de microchannel veruit het best. Rekenen we echter ook het verzamelsysteem erbij, dan blijkt de minichannel verdampert het beste te zijn.

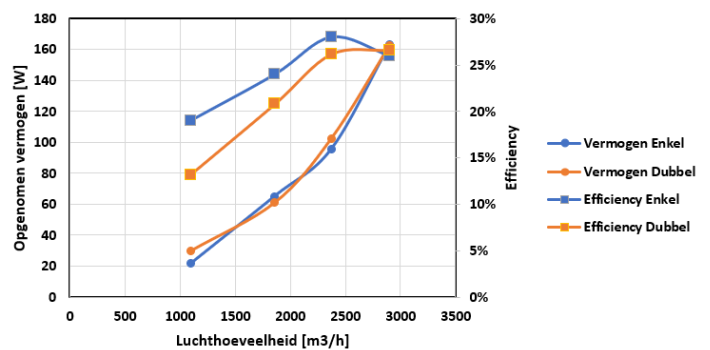
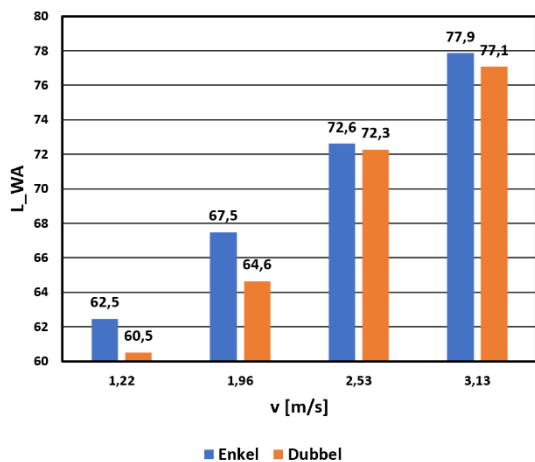
Rijpaccumulatiecapaciteit: hier is de minichannel ook veruit favoriet. Door zijn hele compacte bouw lijkt de microchannel in het geheel niet geschikt om rijp te accumuleren.

Uit deze vergelijkende studie kwam dus de minichannel als beste uit de bus.

2.3 Een nadere studie aangaande twee ventilatoren (Kersten, 2020, ref. 4)

Kersten toonde aan, dat het plaatsen van twee ventilatoren op dezelfde unit met hetzelfde totaaldebiet niet meer stroom hoeft te kosten.

In de grafiek rechts is in beide onderste lijnen te zien dat twee ventilatoren bij hethalve debiet hetzelfde vermogen opnemen als één met het



totaaldebiet. Als er echter twee draaien is het rendement niet goed. Daarom moeten voor half debiet aparte selecties plaatsvinden voor fans die juist in dit punt hun optimale vermogen leveren.

Voor wat betreft het geluid zijn er 's nachts metingen uitgevoerd (Kersten, 2019, ref. 5) met een enkele en de beide fans bij vier lichtsnelheden (zie grafiek links). Vooral bij lagere lichtsnelheid is het geluidsvermogen $L_{W,A}$ aanzienlijk lager.

2.4 Drainage van condenswater

In het algemeen zal de verdampingstemperatuur lager liggen dan het dauwpunt van de lucht. Dat betekent dat er met het Nederlandse weersysteem veel condenswater te verwachten is.

De drainage van condenswater is gesimuleerd door water te versproeien op de lamellen en het drainagegedrag te bestuderen. Dit is gedaan op de minichannel verdampert (Kersten, 2019, ref. 6).

Er werd water versproeid op het lamellenpakket als nieuw (links), of behandeld met een zeepoplossing (middenonder) of hydrofobe vloeistof (diesel, rechts). Wat opvalt is het volgende. In onbehandelde toestand, en met de hydrofobe laag vormen zich dikke druppels (1), die hangen aan een louver, of zo dik zijn dat ze de gehele ruimte tussen de lamellen vullen. De onbehandelde

toestand en de hydrofobe laag (2) vullen de ruimtes rondom de louvres zich geheel met water. Zowel in onbehandelde als met de hydrofobe laag rollen aaneengesloten druppels snel als een trein naar beneden (3). Met de zeepoplossing vullen zich de ruimtes tussen de louvres en lamellen in het geheel niet (4) en het lamellenpakket blijft geheel zonder waterdruppels.

Eigenlijk kunnen we als conclusie trekken dat condenswater snel naar beneden weg loopt, ook in vervuilde toestand. Wel zullen de geblokkeerde louvres de capaciteit doen verlagen.

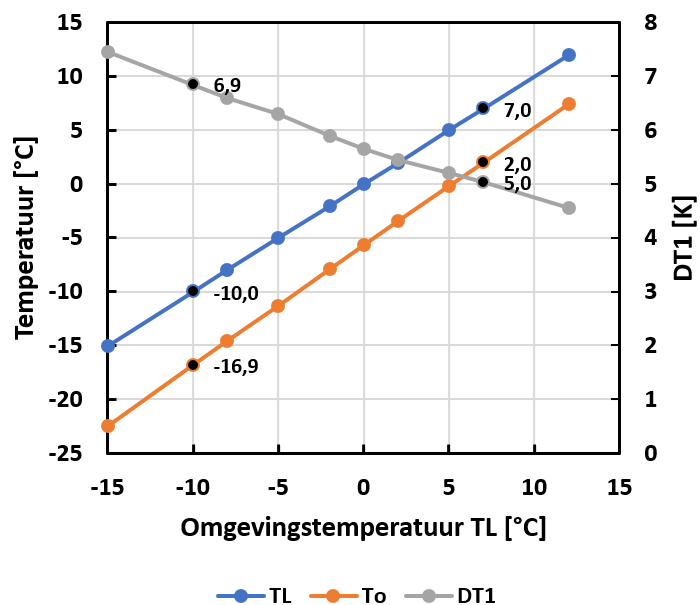
3. Het geselecteerde prototype

3.1 Programma van eisen

In het HP-Launch project is vastgesteld dat de warmtepomp ongeveer 3,5 kW moet produceren bij een COP van minstens 4,0. Dat betekent dat de compressor 3,5/4 kW toevoegt (875 W), en de verdamper bijgevolg 2,63 kW moet opnemen uit de omgevingslucht.

In de grafiek rechts zien we het thermische vermogen van de geselecteerde warmtewisselaar in direct expansie bedrijf (DX). De oververhitting is op 65% ingesteld, en voor alle luchttemperaturen is een relatieve vochtigheid uitgerekend die overeenkomt met 1 K verschil tussen droge- en natte bol temperatuur.

Het verschil tussen lucht- en verdampingstemperatuur is 2 K bij een omgeving van 7°C, terwijl diezelfde DT1 nog beheersbaar blijft bij -10°C. Hij is hier 6,9°C.

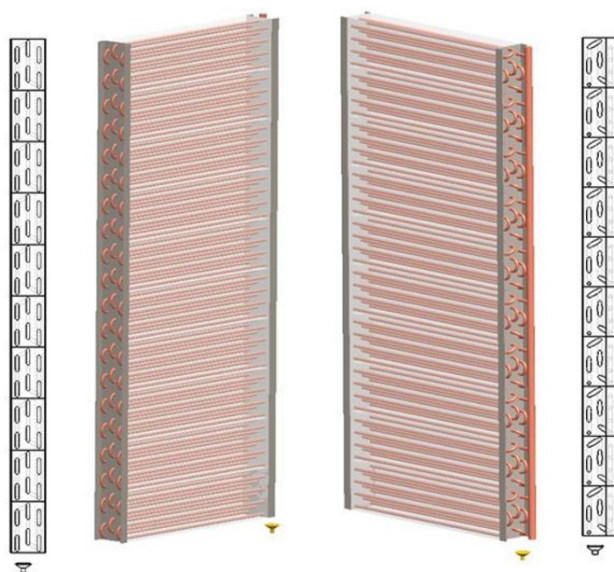


3.2 Opbouw van het geselecteerde verdampersysteem

De geselecteerde verdamper is 360 x 52 x 800 mm (L x D x H) en is hiernaast getekend in twee aanzichten.

We zien rechts de aansluitzijde en links de keerzijde. Duidelijk te zien zijn de 40 buizen hoog, 3 diep en 10 herhalende circuits. Aan de onderzijde is de verdeler (geel) geschetst.

Als ventilator werd de EBM Papst EC-ventilator 3G 350 geselecteerd met 5 vleugels, een diameter van 350 mm en bij 1087 RPM een stroomopname van 50W.

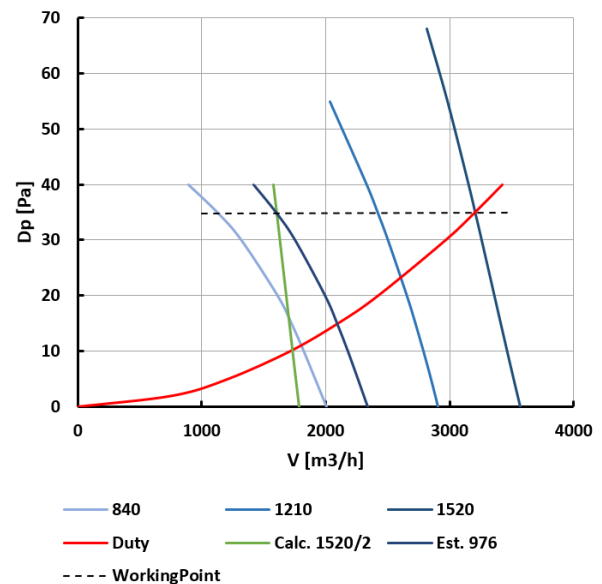


4. Aanbevelingen voor verder onderzoek

4.1 Ventilatorselectie

Zolang het debiet niet te sterk wordt teruggeregeld blijft de efficiëncy redelijk op pijl. Wanneer we lager komen, dan daalt het rendement sterk. Dit is te verklaren aan de hand van de grafiek hiernaast.

Vooraf voor deellastbedrijf is het wenselijk dat de ventilator bij lage toeren relatief veel druk kan opbrengen. Dit betekent dat het ventilatorblad een groter oppervlak moet hebben.



4.2 Berijpings- en ontdooimechanismen

Aanvankelijk werd aangenomen dat het aantal keren dat de verdamper na berijpen zou moeten verwaarloosbaar is. Van den Berg (2020, referentie 8) laat echter zien dat misschien wel 1000 nodig zijn per jaar. Uit het literatuuronderzoek (Doornbos, 2020, referentie 1), bleek dat berijpen en ontdooien bijzonder complexe processen zijn. Daarom bevelen we aan te onderzoeken:

1. Hoe verloopt het mechanisme van berijpen en ontdooien?
2. Hoe kunnen we via een geschikte regelstrategie beide processen minimaliseren?
3. Kan het verdamperontwerp worden aangepast zodat er minder cycli nodig zijn?

4.3 Verdere verbeteringen in het verdamperontwerp

Op basis van ervaringen met het geselecteerde buis-lamelconcept met de 5 mm buis zijn de volgende opmerkingen te maken:

1. Het verdient aanbeveling om alert te blijven op introducties nog kleinere buisdiameters dan 5 mm. Dit komt de reductie van het koudemiddelvolume ten goede.
2. Het geselecteerde concept bevat vele louvres in de lamellen. Deze werken contraproductief wanneer vervuiling optreedt. *Wavy* patronen hebben hier veel minder last van.
3. De lameldikte is door de fabrikant gekozen op 0,10 mm. De capaciteit gaat verbeteren als de dikte tot 0,15 mm toeneemt. Wordt de dikte nog groter, dan nemen de kosten teveel toe.

4.4 Het luchttechnisch ontwerp

Om een gelijkmatiger snelheidsverdeling, minder drukval, minder geluid en minder kans op recirculatie te krijgen komen we tot de volgende ontwerprichtlijnen:

- Ontwerp een *rechte verdamper* in plaats van een gebogen verdamper.
- Plaats *geen componenten in het plenum*; vermijd ventilatorbeugels en andere obstakels.
- Plaats de *ventilator op de grootste mogelijke afstand* van de verdamper.
- Ontwerp de *ventilator diameter zo groot mogelijk*. Hierdoor kan ook het toerental omlaag.
- Combineer *luchtgeleiders in de grill* waardoor de in axiale richting stroomt en niet schroeft. Hierdoor wordt ook de werp beter.
- Overweeg toepassing van *twee ventilatoren* bij rechthoekige verdampers. De snelheidsverdeling verbetert, het elektrische opgenomen vermogen kan lager zijn en het geluid vermindert door het lagere toerental.

Referenties

1. Om gebruik te maken van de nieuwste inzichten, literatuuronderzoek in het kader van HP_Launch, G.J. Doornbos, 10 maart 2020
2. Benchmark_WA, Overzicht (in Excel), W. Aleven, 13 februari 2019
3. Benchmark, Beschrijvend overzicht (in pdf), W. Aleven, 13 februari 2019
4. Volumestroom testen, R. Kersten, 6 januari 2020
5. Geluidstesten, R. Kersten, 16 december 2019
6. Testverslag drainage testen, R. Kersten, 5 december 2019
7. Test: drie warmteopomp-verdamperconcepten, Geert Doornbos en Tim Beumer, RCC Koude- en Luchtbehandeling, nr. 10, pp. 30-34, 2019
8. Aanvriezen van de verdamper, M. van den Berg en R. ter Steeg, maart 2020
9. Verdampersysteem_HP_Launch_6_Origineel, G.J. Doornbos. 23 maart 2020