

'N ONDERSOEK NA DIE LEWENSVATBAARHEID
VAN 'N EENVOUDIGE PRAKTIESE SONENERGIE
KOLLEKTEERDER MET
HITTEVERSPREIDINGSTELSEL

N. P. DU TOIT

'N ONDERSOEK NA DIE LEWENSVATBAARHEID
VAN 'N EENVOUDIGE PRAKTIESE SONENERGIE
KOLLEKTEERDER MET
HITTEVERSPREIDINGSTELSEL

deur

Nicolaas Pieter du Toit

Verhandeling ingelewer ter voldoening aan die vereistes vir die

Magister Technologiae: Meganiese Ingenieurswese

in die

Fakulteit Ingenieurswese

aan die

Technikon Vrystaat

Augustus 1998

Studieleier: Mnr. B. de Witt. MSc Fisika

Medestudieleier: Mnr. D.J. de Beer. M. Dip. Tech.

VERKLARING

Ek NICOLAAS PIETER DU TOIT, verklaar dat die navorsingsprojek wat vir die verwerwing van die graad Magister Technologiae: Meganiese Ingenieurswese aan die Technikon Vrystaat deur my voorgelê word, my eie selfstandige werk is en nog nie voorheen deur my of enige ander persoon ingelewer is vir die verkryging van 'n kwalifikasie nie.

N P Du Toit

N P DU TOIT

98-08-20

DATUM

BEDANKINGS

Ek wil graag die volgende persone bedank vir die waardevolle hulp en bystand wat hulle tydens die loop van dié navorsingsprojek aan my verleen het:

Mnr. Bissch de Witt, my studieleier, vir sy toesig en leiding vanaf die begin van die projek.

Mnr. Deon de Beer, Departementshoof Meganiese Ingenieurswese, medestudieleier, vir sy advies en bystand.

Prof. Gert Jordaan, Dekaan Fakulteit Ingenieurswese, vir sy advies, bystand en hulp met eksperimentele werk.

Al my kollegas vir hul entoesiasme en motivering

Die Technikon Vrystaat en die SNO vir hul finansiële en ander ondersteuning.

My vrou Hester, en kinders, Mariette en Marius vir hul begrip, liefde en ondersteuning tydens my studie.

Aan my hemelse Vader vir die krag en genade wat Hy aan my gegee het om die studie te voltooi.

UITTREKSEL

Die uitvoering van die projek het die ontwikkeling van sowel 'n eenvoudige, goedkoop sonontvangstelsel wat energie oordra aan 'n hittepyp, as die ontwikkeling van 'n geskikte hittepyp vir sodanige hitteoordrag behels.

'n Sonkonsentreerder, wat so eenvoudig en goedkoop moontlik is, is ontwikkel. Die konsentreerder moes ongeveer 150 W verskaf.

Water is as werksvloeistof van die hittepyp gebruik en het tussen 20°C en 200°C gefunksioneer. Die pyp is van koper vervaardig.

Alhoewel die sonkonsentreerder so goedkoop moontlik gemaak is, en die tinplaat nie 'n hoë glansafwerking het nie, het dit tog goeie resultate opgelewer. Die konsentreerder het 'n maksimum van 206 watt gelever en 'n maksimum temperatuur van 406°C is gemeet. Atmosferiese toestande het egter 'n groot invloed op die uitset van die konsentreerder.

Die hittepyp het baie goeie resultate gelever. Die rendement met die hittepyp horisontaal was 79,5%. Met die verdamper onder die kondensator het die pyp as gevolg van die gravitasie effek die hoogste rendement van 96% gehad. Teen 200 °C het dit ongeveer 80 watt oorgedra.

ABSTRACT

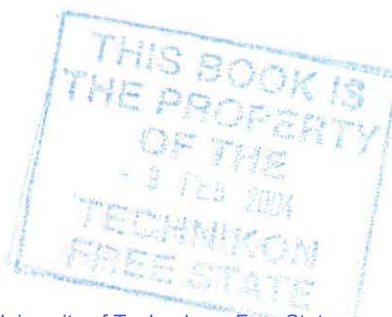
Execution of the project entailed the development of a simple inexpensive sun collector system with energy transfer to a heat pipe, as well as the development of an appropriate heat pipe for the transfer of the collected heat.

A cheap, simple sun collector, with an output of approximately 150 W, had to be developed.

Water was used as the working fluid of the heat pipe which operated between 20°C and 200°C. The heat pipe was made of copper.

Although the sun collector was made as cheaply as possible and the tin plate did not have a high finish, the collector still performed well. The collector delivered a maximum of 206 watt and a maximum temperature of 406°C was measured. Atmospheric conditions had a great influence on the output of the collector.

Good results were obtained from the heat pipe. The efficiency of the heat pipe in the horizontal position was 79,5%. With the evaporator below the condenser the heat pipe obtained the highest efficiency of 96% due to the gravitational effect. About 80 watt was transferred at 200°C.



INHOUDSOPGAWE

1. INLEIDING	1
1.1 Inleiding.	1
1.2 Doelwit en uitvoering van projek.	1
1.3 Hipotese.	2
1.4 Afbakening van studieterrein.	2
1.5 Samestelling van verhandeling.	3
1.6 Probleme ondervind.	4
2. TEORIE VAN HITTEPYPE	5
2.1 Inleiding.	5
2.2 Konstruksie en eienskappe van hittepype.	6
2.3 Teorie van hittepype.	8
2.4 Oppervlaktespanning.	10
2.5 Drukverskil oor 'n geboë oppervlakte.	13
2.6 Dampdrukverandering by 'n geboë vloeistof-oppervlak.	14
2.7 Meting van oppervlaktespanning.	15
2.8 Temperatuurafhanklikheid van oppervlaktespanning.	16
2.9 Drukverskil as gevolg van wrywingskragte.	17
2.9.1 Laminêre vloei met behulp van die Hagen-Poiseuille-vergelyking.	17
2.9.2 Die aksiale Reynoldsgetal, Re .	19

2.9.3	Turbulente vloei met behulp van die Fanning-vergelyking.	21
2.9.4	Navier-Stokes-vergelyking.	22
2.10	Drukverskil in die vloeistoffase.	23
2.11	Homogene pitte.	24
2.12	Dampfase-drukverskil, ΔP .	27
2.12.1	Inleiding.	27
2.12.2	Onsamedrukbare vloei (eendimensionele geval).	29
2.12.3	Tweedimensionele nie-samedrukbaarheidsvloei.	32
2.12.4	Samedrukbare vloei.	32
2.13	Gravitasiehoogte.	33
2.14	Meesleuring.	34
2.15	Hitteoordrag in die verdamper.	35
2.16	Hitteoordrag in die kondensator.	36
2.17	Beperkings op hitteoordrag.	37
2.17.1	Viskoselimiet.	37
2.17.2	Soniese limiet.	38
2.17.3	Meesleuringslimiet.	38
3. ONTWERP VAN HITTEPYP		39
3.1	Inleiding.	39
3.2	Werksvloeistof.	39
3.3	Die pit en kapillêre struktuur.	48
3.4	Homogene strukture.	50

3.5	Termiese weerstand van versadigde pitte.	55
3.6	Maasdraad.	55
3.7	Die houer.	56
3.8	Aanpasbaarheid.	58
3.9	Vloeistofvolume.	61
3.10	Aan-die-gang-sit-prosedures.	62
3.11	Ontwerp van hittepyp.	63
3.11.1	Verdamper onder.	63
3.11.2	Soniese limiet.	66
3.11.3	Meesleuringslimiet.	66
3.11.4	Pyp horisontaal.	67
3.11.5	Verdamper bo.	68
3.12	Vul van hittepyp.	68
 4. TEORIE, ONTWERP EN KONSTRUKSIE VAN SON- KONSENTREERDER		 69
4.1	Inleiding.	69
4.2	Platplaat-kollekteerders.	70
4.3	Konsentrerende kollekteerders.	71
4.4	Atmosferiese diffundering van sonstrale.	71
4.5	Ontwerp van sonkonsentreerder.	72
4.5.1	Inleiding.	72
4.5.2	Ontwerp.	73

5. EVALUERING VAN KARAKTERISTIEKE VAN HITTEPYP EN SONKONSENTRERDER	76
5.1 Inleiding.	76
5.2 Sonkonsentreerder.	76
5.2.1 Hitteoordrag van sonkonsentreerder.	76
5.2.2 Drywingsoordrag van sonkonsentreerder.	78
5.3 Hittepyp.	80
5.3.1 Hitteverspreiding oor die lengte van die pyp.	82
5.3.2 Insetdrywing by verskillende insettemperatures.	83
5.3.3 Rendement.	84
5.4 Hittepyp in sonkonsentreerder.	85
5.4.1 Toetsprosedure.	85
5.4.2 Resultate van hittepyp in sonkonsentreerder.	86
6. GEVOLGTREKKING	88
6.1 Inleiding.	88
6.2 Sonkonsentreerder.	88
6.3 Hittepyp.	89
6.4 Hittepyp in sonkonsentreerder.	90

7. SAMEVATTING	92
7.1 Inleiding.	92
7.2 Sonkonsentreerder.	92
7.3 Hittepyp.	92
AANHANGSEL 1: Eienskappe van werksvloei-stowwe.	94
AANHANGSEL 2: Termiese geleiding van hittepyphouer en pitmateriaal.	100
BRONNELYS	101

FIGURELYS

Hoofstuk 1

Figuur 1.1: Skematiese voorstelling van samestelling van die verhandeling.	3
--	---

Hoofstuk 2

Figuur 2.1: Konstruksie van hittepyp.	7
---------------------------------------	---

Figuur 2.2: Beperkings op hitteoordrag van 'n hittepyp.	9
---	---

Figuur 2.3: Vloeistofoppervlaktekurwes.	12
---	----

Figuur 2.4: Kapillêre styging in buis.	13
--	----

Figuur 2.5: 'n Snelheidsverspreidingsdiagram.	20
---	----

Hoofstuk 3

Figuur 3.1: Nuttigheidsyfer vir geselekteerde werksvloeistowwe by hulle kookpunt.	44
--	----

Hoofstuk 4

Figuur 4.1: Konstruksie van parabool.	73
---------------------------------------	----

Figuur 4.2: Segmente van sonkonsentreerder.	74
---	----

Figuur 4.3: Sonkonsentreerder.	75
--------------------------------	----

Hoofstuk 5

Figuur 5.1: Horisontale posisie van brandpunt.	77
--	----

Figuur 5.2: Vertikale posisie van brandpunt.	78
--	----

Figuur 5.3: Sirkelvormige waterhouer (Syaansig).	79
--	----

Figuur 5.4: Eksperimentele opstelling vir evaluering van hittepyp.	82
--	----

Figuur 5.5: Temperatuurverspreiding oor die hittepyp.	83
---	----

Figuur 5.6: Verdampertemperatuur as funksie van insetdrywing.	83
---	----

Figuur 5.7: Rendement van hittepyp in drie verskillende posisies.	84
Figuur 5.8: Blokdiagram van hittepyp in sonkonsentreerder-opstelling.	86
Figuur 5.9: Uitsetdrywing van hittepyp in sonkonsentreerder.	86

LYS VAN TABELLE

Tabel 3.1: Hittepyp-werksvloei-stowwe.	42
Tabel 3.2: Poriegrootte van pit en deurdringbaarheidsdata.	51
Tabel 3.3: Aanpasbaarheidsdata.	60
Tabel 5.1: Insetdrywing, Uitsetdrywing en rendement van sonkonsentreerder.	80

INLEIDING

1.1 INLEIDING

In Suid-Afrika met sy hoë persentasie sonskyndae is die gebruik van sonkrag as alternatiewe energiebron uiters geskik. As gevolg van die sonnige klimaat en hoë temperature is 'n enorme hoeveelheid energie beskikbaar en moet daar tegnologie ontwikkel word om dit te benut. Verder kan daar 'n bydrae gemaak word om die kweekhuiseffek te verlig as die gebruik van brandhout verminder kan word, wat ooglopende voordele vir die omgewing inhou. Boonop is Suid-Afrika 'n uitgestrekte land en daarom kan alle plekke nie op 'n kostedoeltreffende wyse vanaf die elektrisiteitsnetwerk voorsien word nie.

1.2 DOELWIT EN UITVOERING VAN PROJEK

Die doel met die projek was:

Die ondersoek na die moontlikheid van die ontwikkeling van 'n eenvoudige, goedkoop sonontvangsstelsel wat energie oordra aan 'n hittepyp, sowel as die ontwikkeling van 'n geskikte hittepyp vir sodanige hitteoordrag.

Die uitvoering van die projek kan opgedeel word in 'n aantal stappe. Die volgende is 'n kort beskrywing van die belangrikste stappe.

1. Die ontwerp en bou van 'n hittepyp om die hitte oor te dra.

2. Die evaluering van die hittepyp onder gesimuleerde toestande in 'n laboratorium.
3. Die ontwerp en bou van 'n eenvoudige sonkonsentreerder om die verlangde energie te lewer.
4. Die evaluering van die sonkonsentreerder se energie- en temperatuur uitset.
5. Die evaluering van die hittepyp in die sonkonsentreerder vir bepaling van die uitsetdrywing van die kombinasie.

1.3 HIPOTESE

'n Eenvoudige sonkonsentreerder en hittepyp samestelling kan ontwikkel word vir die konsentrasie en oordrag van sonenergie.

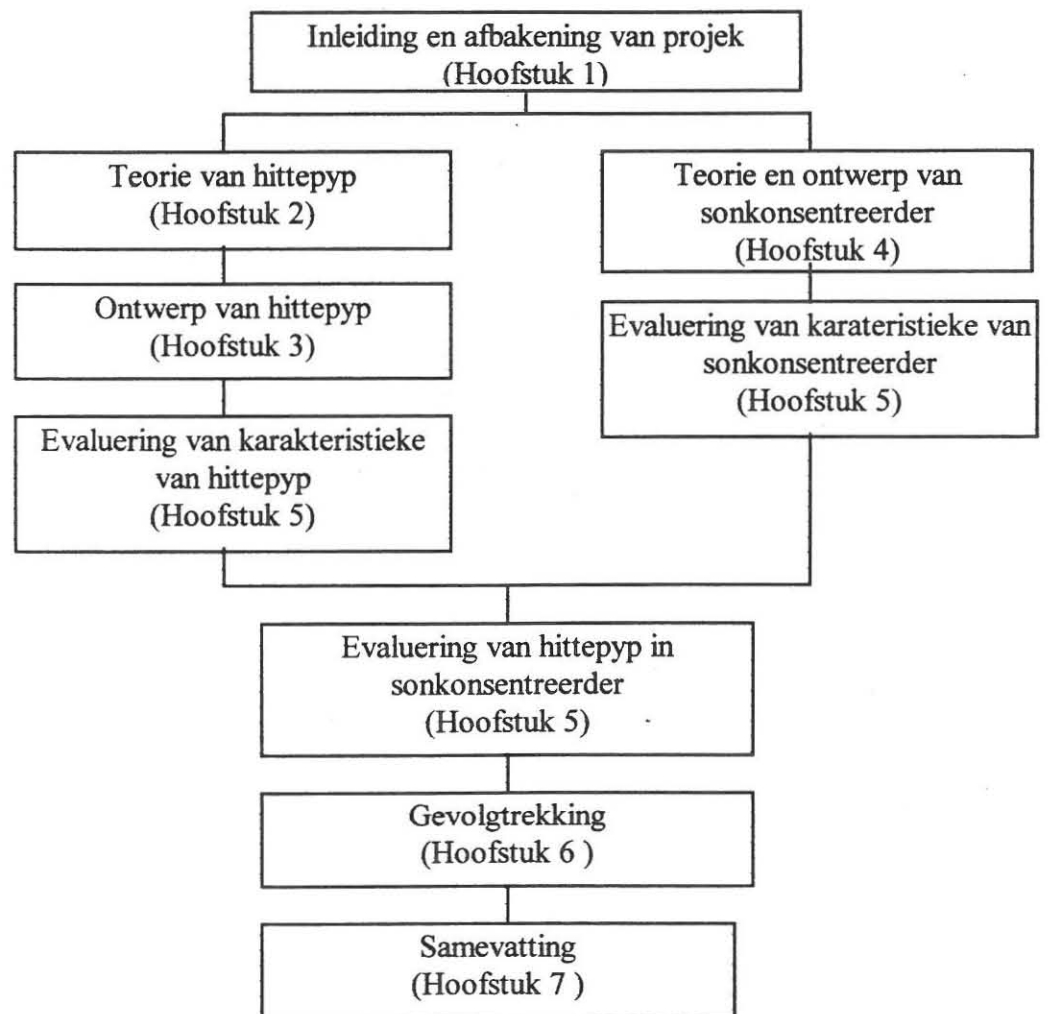
1.4 AFBAKENING VAN STUDIETERREIN

'n Sonkonsentreerder, wat so eenvoudig en goedkoop moontlik is, moes ontwikkel word. Die konsentreerder moes ongeveer 150 W oordra.

Vir werksvloeistof van die hittepyp is water gekies en dit funksioneer tussen 20°C en 200°C. Koper is gekies as pypmateriaal, aangesien dit goed versoenbaar is met water.

1.5 SAMESTELLING VAN VERHANDELING

Die onderstaande diagram toon 'n skematiese voorstelling van die samestelling van die verhandeling:



Figuur 1.1 Skematiese voorstelling van die samestelling van die verhandeling

1.6 PROBLEME ONDERVIND

Die eerste probleem ondervind, was dat die hittepypvloeistof gedurende vulling in die vakuumsisteem gekondenseer het in plaas van in die hittepyp. Die onderkant van die hittepyp is toe met vloeibare stikstof afgekoel, sodat die vloeistof in die hittepyp kondenseer en nie in die sisteem nie.

Die eerste watermantel wat gebruik is vir die meting van die uitsetdrywing van die hittepyp het tydens evaluering te veel variasies in die uitsettemperatuur veroorsaak. Die rede was dat die mantel te groot was en dat daar oënskynlik onegalige vloei van water om die hittepyp voorgekom het. 'n Kleiner watermantel is gemaak, terwyl stappe geneem is om egalige vloei te verkry en die spasie om die hittepyp te beperk.

Aanvanklik is die drywing van die sonkonsentreerder bepaal, deur die temperatuur-toename van 'n blikkie gevul met water in die brandpunt, oor 'n periode te meet. Die lesings was egter nie bevredigend nie. Daar is toe van 'n plat silindervormige houër gebruik gemaak wat in die brandpunt geplaas is en waardeur water vloei waarvan die inset- en uitsettemperatuur gemeet kon word.

1.6 PROBLEME ONDERVIND

Die eerste probleem ondervind, was dat die hittepypvloeistof gedurende vulling in die vakuumsisteem gekondenseer het in plaas van in die hittepyp. Die onderkant van die hittepyp is toe met vloeibare stikstof afgekoel, sodat die vloeistof in die hittepyp kondenseer en nie in die sisteem nie.

Die eerste watermantel wat gebruik is vir die meting van die uitsetdrywing van die hittepyp het tydens evaluering te veel variasies in die uitsettemperatuur veroorsaak. Die rede was dat die mantel te groot was en dat daar oënskynlik onegalige vloei van water om die hittepyp voorgekom het. 'n Kleiner watermantel is gemaak, terwyl stappe geneem is om egalige vloei te verkry en die spasie om die hittepyp te beperk.

Aanvanklik is die drywing van die sonkonsentreerder bepaal, deur die temperatuur-toename van 'n blikkie gevul met water in die brandpunt, oor 'n periode te meet. Die lesings was egter nie bevredigend nie. Daar is toe van 'n plat silindervormige houër gebruik gemaak wat in die brandpunt geplaas is en waardeur water vloei waarvan die inset- en uitsettemperatuur gemeet kon word.

TEORIE VAN HITTEPYPE

2.1 INLEIDING

Die hittepyp is 'n toestel met 'n baie hoë termiese geleiding. Die idee van 'n hittepyp is eerste deur R.S. Gauler in 1942 voorgestel. Dit het egter nie as hittepype bekend gestaan nie. Dit was eers in 1963 wat G.M. Grover en sy medewerkers die term "hittepyp" geskep het en wat hy die merkwaardige eienskappe van 'n hittepyp aan die lig gebring het. Hierna het omvangryke ontwikkelingswerk plaasgevind [8, p. 1]. Hierdie hittepypontwikkeling het egter vir meer as twintig jaar nie 'n toepassing in die tegnologie gevind nie. Die ontwikkeling van hoë temperatuurruimte-drywingstelsels het 'n hergeboorte aan die idee geskenk [13, p. 1].

Dan moet egter beklemtoon word dat hittepype wel 'n voorloper gehad het in die sogenaamde Perkins-pype. Die Perkins-pyp het nie 'n pit gehad nie en die hitteoordrag het ook deur latente verdamping plaasgevind, terwyl sirkulasie van die hitteoordraer deur gravitasie voortgebring is (termohewel). Hierdie toestel is deur Perkins in 1897 uitgevind en is aanvanklik suksesvol in die brood-industrie, en later in verskeie ander velde gebruik. Hierdie pitlose buise was in gebruik lank voor die verskyning van hittepype, soos byvoorbeeld in die konstruksiebedryf. In gebiede met permanente ryp, het dit voorkom dat grond

vries onder fundamente van geboue wat opgerig word. Die gebruik van die kapillêre krag in damp-vloeistofhitte-geleiding was egter die vernaamste nuwe stap in die ontwikkeling van hittepype [13, p. 1].

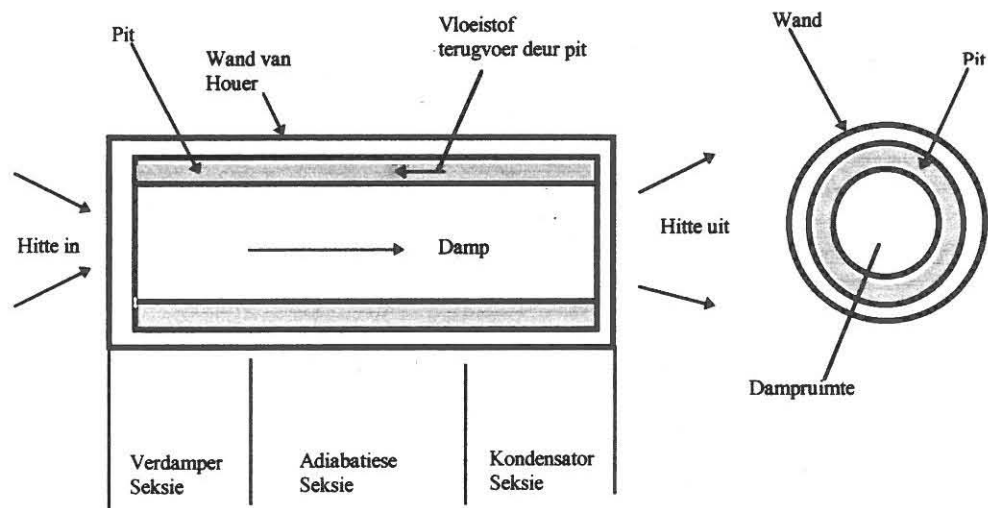
Die basiese verskil tussen die hittepype en die Perkins-pyp (termohewel) is die byvoeging van die pit in eersgenoemde. Die pit word gekonstrueer van 'n paar lae fyn gaas wat in kontak met die binneoppervlakte van die houer is, sodat die kapillêre krag die kondensaat terugbring na die verdamper. In 'n hittepype is die verdamperposisie nie beperk nie en dit kan in enige oriëntasie gebruik word. Indien dit wel gebeur dat die verdamper die laagste punt is, sal gravitasie die kapillêrekrag help. Die term hittepype word ook gebruik om hoë termiese geleidingstoestelle te beskryf waarin die kondensaat-terugvloei deur ander metodes bv. sentripetale krag, osmose, of elektrohidrodinamika verkry word [8, p. 2].

2.2 KONSTRUKSIE, EN EIENSKAPPE VAN HITTEPEYPE.

Die hoofonderdele van 'n hittepype word in figuur 2.1 aangetoon. In die lengte word die hittepype verdeel in 'n verdampergedeelte, en 'n kondensatorgedeelte. Indien geometriese toestande dit benodig, kan 'n adiabatiese gedeelte ingebring word om die verdamper en die kondensator te skei. 'n Dwarssnit van die hittepype bestaan uit 'n houerwand, die pitstruktuur en die dampspasie.

Die werkverrigting van 'n hittepype word dikwels uitgedruk as die ekwivalente termiese geleidingsvermoë. 'n Buisvormige hittepype soos in die figuur

aangetoon, wat van water as werksvloeistof gebruik maak en werk teen 150°C , het 'n termiese geleidingvermoë van 'n paar honderd keer dié van koper. Die drywingskapasiteit van 'n hittepyp kan baie hoog wees, afhangende van sy afmetings. Hittepype wat litium as werksvloeistof gebruik en by 'n temperatuur van 1500°C werk, kan $10\text{-}20\text{ kW/cm}^2$ oordra. Deur 'n geskikte keuse te maak van werksvloeistof en houermateriaal is dit moontlik om hittepype te bou vir gebruik by temperature vanaf 4 K tot 2300 K [8, p. 3].



Figuur 2.1: Konstruksie van hittepyp

Vir baie toepassings is die silindriese geometrie-hittepyp geskik, maar ander geometrieë kan gebruik word vir spesiale behoeftes.

Die hittepyp word gekenmerk deur die volgende karakteristieke:

1. Baie hoë effektiewe termiese geleiding.
2. 'n Isotermiese oppervlakte met lae termiese impedansie. Die kondensatoroppervlakte van die hittepyp sal geneig wees om teen 'n uniforme temperatuur te funksioneer. Indien 'n plaaslike hittelas toegepas word, sal

meer damp by die punt kondenseer wat neig om die temperatuur by die oorspronklike vlak te hou.

3. Veranderbare impedansie: Spesiale tipes hittepype kan ontwerp word wat oor hierdie karakteristiek beskik en dit staan bekend as 'n vloedtransformator of 'n gasgebufferde hittepyp en val buite die studie.
4. Termiese diodes en skakeling. Eersgenoemde laat hitte slegs in een rigting vloei, terwyl termiese skakelaars gebruik kan word om die pyp aan en af te skakel [8, p. 4].

2.3 TEORIE VAN HITTEPYPE

Vir 'n hittepyp om te funksioneer moet die maksimum kapillêre drukhoogte $(\Delta P_c)_{maks}$ groter wees as die totale drukval in die pyp [8, p. 27]. Hierdie drukval bestaan uit drie komponente, nl:

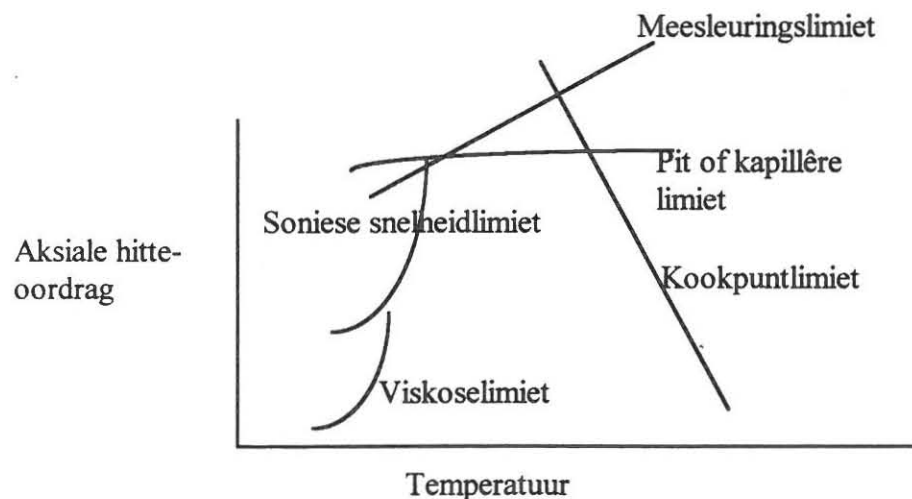
1. Die drukval ΔP_l , benodig om die vloeistof terug te voer vanaf die kondensator na die verdamper.
2. Die drukval ΔP_v , vereis om die damp te laat vloei vanaf die verdamper na die kondensator.
3. Die gravitasiehoogte ΔP_g wat nul, positief of negatief kan wees. Dus:

$$(\Delta P_c)_{maks} \geq \Delta P_l + \Delta P_v + \Delta P_g \quad 2.1$$

Indien hierdie vereiste nie nagekom word nie sal die pit uitdroog in die verdampergebied en die pyp sal nie funksioneer nie.

Gedurende die-aan-die-gang-sit en met sekere hoë temperatuur vloeibare metaal-pype kan die dampnelheid soniese waardes bereik. In sulke gevalle moet samedrukbaarheidseffekte in berekening gebring word. Soniese toestande plaas een beperking op die maksimum moontlike hitte-oordragkapasiteit van 'n hittepyp. Ander beperkings kom voor by lae temperature deur viskose kragte. By hoë temperatuur word dit beperk deur die meesleuring van die werksvloeistof deur die dampstroom by die pit, onvoldoende kapillêre hoogte en deur uitbrand van die verdamper.

Hierdie beperkings op die maksimum aksiale hitteoordrag word in Figuur 2.2 aangetoon.



Figuur 2.2: Beperkings op hitteoordrag van 'n hittepyp

Dit is nodig om die werkpunt so te kies dat dit onder hierdie kurwes lê. Die werklike vorm van die area hang af van die werksvloeistof en pitmateriaal en sal merkbaar verskil vir verskillende hittepepe. Dit kan getoon word dat as die dampdrukverlies en gravitasiehoogte verontagsaam kan word, die eienskappe van die werksvloeistof wat die maksimum hitteoordrag bepaal, gekombineer kan word om 'n nuttigheidsyfer M te verkry wat die hitteoordrag gee in W/m^2 soos volg [8, p. 29]:

$$M = \frac{\rho_L \sigma_L L}{\mu_L} \quad 2.2$$

Waar: ρ_L = Die vloeistofdigtheid van die werksvloeistof.

σ_L = Die oppervlaktespanning.

L = Die entalpie van verdamping of latente warmte.

μ_L = Die viskositeit van die werksvloeistof.

2.4 OPPERVLAKTESPANNING

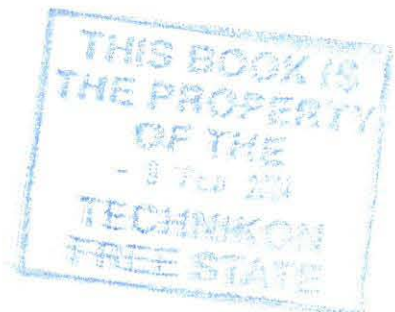
Molekules in 'n vloeistof trek mekaar aan. 'n Molekule in 'n vloeistof word aangetrek deur die ander molekules wat dit omring en daar is dus 'n gemiddelde aantrekkingskrag in alle rigtings sodat daar geen resulterende krag ondervind word nie. In die geval van 'n molekule naby die oppervlakte van die vloeistof is die aantrekking nie meer gebalanseer nie en sal daar 'n resulterende inwaartse krag voorkom. As gevolg van hierdie effek sal die vloeistof neig om 'n minimale

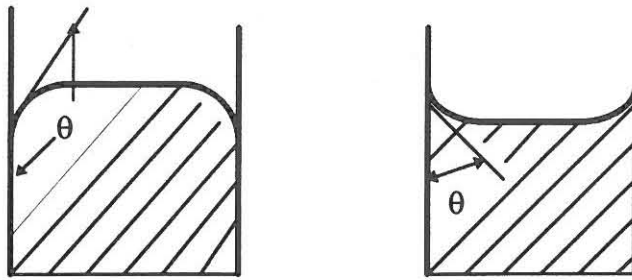
area in te neem. In die geval van 'n vryvallende druppel in 'n vakuum sal dit 'n sfeer vorm. As gevolg van die spontane neiging van die vloeistofoppervlakte om saam te trek, reageer dit soos 'n rubber membraan onder spanning.

Om die oppervlakarea te vergroot, sal daar arbeid op die vloeistof verrig moet word. Die energie geassosieer met hierdie werk is bekend as vrye oppervlakte-energie en vrye oppervlakte-energie/eenheidarea word deur die simbool σ_L weergegee. Die krag per eenheidlengte is bekend as oppervlaktespanning.

Aangesien latente verdampingswarmte, L , 'n mate van die aantrekkingskrag tussen die molekules van die vloeistof is, kan verwag word dat die oppervlakte-energie of oppervlakspanning, σ_L , verwant sal wees aan L . Vaste stowwe sal ook 'n vrye oppervlakte-energie hê en daar is gevind dat dit dieselfde is vir dieselfde materiaal in 'n gesmelte toestand [8, p. 30].

Wanneer 'n vloeistofmolekule binne die vloeistof in kontak kom met 'n vastestofoppervlak, aangrensend aan die vaste stof, sal dit kragte ondervind vanaf die molekules van die vaste stof addisioneel tot die kragte van ander molekules in die vloeistof. Afhangend of hierdie vaste stof/vloeistof-kragte aantrekkend of afstotend is, sal die vloeistofoppervlakte opwaarts of afwaarts buig. Die twee bekendste voorbeelde van aantrekkings- of afstotingskragte is dié van water en kwik. Wanneer die kragte die vloeistof aantrek, word dit gesê dat dit die vaste stof benat.





Figuur 2.3: Vloeistofoppervlaktekurwes [9, p. 64]

Die kontakhoek wat die vloeistof met die vaste stof maak, is bekend as die kontakhoek θ . Vir benatting sal θ lê tussen 0 en $\frac{\pi}{2}$ en vir vloeistowwe wat nie benat nie $\theta > \frac{\pi}{2}$. Wanneer benatting plaasvind, word die totale oppervlakte-energie verlaag. Dus

$$\sigma_{sl} + \sigma_{lv} < \sigma_{sv} \text{ (benatting kom voor)} \quad 2.3$$

Waar die voetskrifte s, l en v verwys na vaste stof, vloeistof en damp respektiewelik.

$$\text{Benatting kom nie voor nie as } \sigma_{sl} + \sigma_{lv} > \sigma_{sv} \quad 2.4$$

$$\text{Gedeeltelike benatting kom voor indien } \sigma_{sl} + \sigma_{lv} = \sigma_{sv} \quad 2.5$$

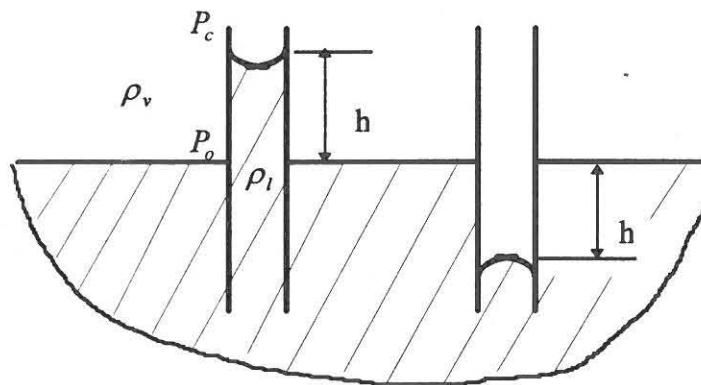
[9, p. 65]

2.5 DRUKVERSKIL OOR 'N GEBOË OPPERVLAKTE

Een van die gevolge van oppervlakspanning is dat die druk op die konkawe oppervlakte minder is as op die konvekse oppervlakte. Hierdie drukverskil, ΔP , is verwant aan die oppervlakte-energie, σ_l , en die krommingsstraal R van die oppervlakte. Hierdie verhouding kan soos volg verkry word:. Indien 'n hemisferiese oppervlakte oorweeg word, word die kragte wat om die omtrek werk, gegee deur $2\pi R\sigma_l$ en dit word gebalanseer deur die drukkragte wat dwars op die oppervlakte werk, $\Delta P \times \pi R^2$. Die drukverskil is dan:

$$\Delta P = \frac{2\sigma_l}{R} \quad 2.6$$

As gevolg van die drukverskil gebeur dit dat, indien 'n vertikale buis met radius r binne in 'n vloeistof, wat die materiaal benat, geplaas word, sal die vloeistof in die buis styg tot 'n hoogte h , bokant die vrye oppervlak van die vloeistof. Vir vloeistowwe wat nie benat word nie, word die geboë oppervlakte ingedruk onder die vloeistofvlak soos getoon in Figuur 2.4



Figuur 2.4: Kapillêre styging in buis

By ewewig is

$$\rho_l gh = \frac{2\sigma_l}{r} \cos\theta \quad 2.7$$

Waar ρ_l die vloeistofdigtheid is

σ_l die oppervlaktespanning

θ die kontakhoek is.

Die effek staan bekend as kapillêre aksie en is die basiese dryfkrag vir hittepype.

Slegs benattende vloeistowwe word in hittepype gebruik [8, p. 31-33].

2.6 DAMPDrukVERANDERING BY 'N GEBOË VLOEISTOF-OPPERVLAK

Vanaf figuur 2.4 kan dit gesien word dat die dampdruk by die konkawe oppervlak minder is as by die vloeistofvlak met 'n hoeveelheid wat gelyk is aan die gewig van die dampkolom met lengte h .

Hierdie drukverskil is

$$g\rho_v h = P_o - P_c \quad 2.8$$

Aanvaar dat ρ_v is konstant ('n geldige benadering) [8, p. 33].

$$\text{nou } (\rho_l - \rho_v)gh = \frac{2\sigma_l}{r} \quad 2.9$$

$$h = \frac{2 \times \sigma_l}{r(\rho_l - \rho_v)g}$$

$$\therefore P_o - P_c = \frac{2\sigma_l}{r} \times \frac{\rho_v}{\rho_l - \rho_v} \quad 2.10$$

Hierdie drukverskil ($P_o - P_c$) is klein in vergelyking met die totale kapillêre hoogte $\frac{2\sigma_l}{r}$ en kan geïgnoreer word in die ontwerp van hittepye [8, p. 33].

2.7 METING VAN OPPERVLAKTESPANNING

Daar is 'n groot aantal metodes om die oppervlaktespansing van 'n vloeistof te meet. Vir dié navorsing is dit nodig om $\sigma_l \cos\theta$ as 'n maatstaf van die kapillêre krag uit te druk. Die eenvoudigste meting is dié van die kapillêre hoogte h in 'n buis. Uit 2.7 is:

$$\sigma_l \cos\theta = \frac{\rho_l g h r}{2} \quad 2.11$$

Waar r = Effektiewe porieradius.

Dit is 'n moeilike proses om r te bepaal vir 'n pit wat van gesinterde struktuur of verskeie lae gas gedraai is nie. Deur die meting van die maksimum hoogte van die werksvloeistof is dit moontlik om die kapillêre hoogte vir vloeistof-pit

kombinasies vas te stel. Verskeie navorsers het al verslag gelewer oor die maksimum hoogte vir die verskeie strukture. Die resultate mag verskil afhangend daarvan of die film styg of daal.

'n Ander eenvoudige metode vir die meting van σ_l is die meet van die maksimum borreldruk volgens Jäger. Die druk word progressief verhoog totdat die borrel wegbreek en die druk daal. Wanneer die borrelradius dié van die buis bereik, is die druk 'n maksimum, P_{maks} , waar.

$$P_{maks} = \rho_l hg + \frac{2\sigma_l}{r} \quad 2.12$$

Hierdie metode is deur Bohdanski en Schins vir vloeibare metale gebruik [4, p. 2173-2179].

2.8 TEMPERATUURAFHANKLIKHEID VAN OPPERVLAKTESPANNING

Oppervlaktespanning verlaag as die temperatuur toeneem. Hierdie effek is eerste deur Eötvös bestudeer en sy vergelyking is later deur Ramsay en Shields verander om die volgende te gee [8, p. 35]:

$$\sigma_l \left(\frac{M}{\rho_l} \right)^{\frac{2}{3}} = H(T_c - 6 - T) \quad 2.13$$

Waar M = die molekulêre gewig

T_c = die kritiese temperatuur in K.

T = die temperatuur in K.

H = 'n konstante gelyk aan 2.12 is vir normale, nie-verbode vloeistowwe. Stowwe soos water en alkohol bevat hidroksied-groepe wat 'n laer waarde van H gee wat temperatuurafhanklik is.

2.9 DRUKVERSKIL AS GEVOLG VAN WRYWINGSKRAGTE

In hierdie afdeling word oorweging aan die drukverskille in die vloeistof- en dampfases wat veroorsaak word deur wrywingskragte gegee.

2.9.1 LAMINÊRE VLOEI MET BEHULP VAN DIE HAGEN-POISEUILLE-

VERGELYKING:

Die laminêre vloeï deur 'n buis met 'n sirkelvormige dwarsnit word beskryf deur die Hagen-Poiseuille-vergelyking.

$$v_r = \frac{a^2}{4\mu} \left[1 - \left(\frac{r}{a} \right)^2 \right] \frac{P_2 - P_1}{l} \quad 2.14$$

Waar: μ = die viskositeit.

a = die radius.

v_r = die snelheid van die vloeistof.

$P_2 - P_1$ = die drukverskil is.

Die vergelyking druk die snelheid van die vloeistof, v_r , by 'n radius r uit in terme van die drukverskil $P_2 - P_1$ oor die buis met radius a en lengte l .

Die snelheid varieer in 'n paraboliese vorm van 'n maksimum waarde by die middel van die buis tot nul by die rand.

$$v_m = \frac{a^2}{4\mu} \frac{P_2 - P_1}{l} \quad 2.15$$

Die gemiddelde snelheid word gegee deur:

$$v = \frac{a^2}{8\mu} \frac{P_2 - P_1}{l} \quad 2.16$$

Na herrangskikking lewer dit:

$$\frac{P_2 - P_1}{l} = \frac{8\mu v}{a^2} \quad 2.17$$

In 'n eendimensionele stelsel sal slegs die gemiddelde snelheid v gebruik word.

Die volume vloei per sekonde S word gegee deur:

$$S = \pi a^2 v = \frac{\pi a^4}{8\mu} \frac{P_2 - P_1}{l} \quad 2.18$$

Indien ρ die vloeistofdigtheid is, dan word die massavloei \dot{m} gegee deur [8, p. 35-38]:

$$\dot{m} = \rho S = \rho \frac{\pi a^4}{8\mu} \frac{P_2 - P_1}{l} \quad 2.19$$

2.9.2 DIE AKSIALE REYNOLDSGETAL, Re

Namate die vloeistofsnelheid toeneem, sal die vloei verander van laminêre na turbulente vloei en die oorgangspunt word gespesifiseer in terme van die Reynoldsgetal:

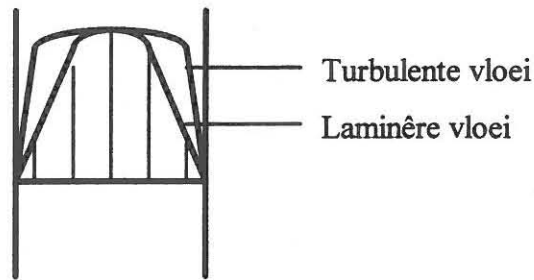
$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad 2.20$$

Waar $d = 2a$, die pypdiameter

Re is sonder eenhede, en wanneer geskryf in die vorm:

$$Re = \frac{\rho v^2}{\mu \frac{v}{d}} \quad 2.21$$

Kan gesien word dat dit 'n verhouding is van die traagheidskragte tot die viskosekragte wat op die vloeistof inwerk. By $Re > 2100$ verander die vloeipatroon van laminêr na turbulent en die snelheidsdiagramprofiel verander van parabolies na die vorm wat in Figuur 2.5 aangetoon word.



Figuur 2.5 'n Snelheidsverspreidingsdiagram

Dit is insiggewend om die kinetiese of vloei-energie te vergelyk met die energie wat verlore gaan as gevolg van viskosewrywing oor 'n pylengte l . Beide word in terme van drukverskille ΔP uitgedruk.

Die kinetiese energieterm is $\Delta P_{KE} = \frac{\rho v^2}{2}$ en die viskoseterm word gegee deur die vergelyking 2.17

$$\Delta P_F = \frac{8\mu v l}{a^2}$$

$$\frac{\Delta P_{KE}}{\Delta P_F} = \frac{\rho v a^2}{16\mu l}$$

$$= \frac{Re \cdot a}{32l}$$

2.22

Waar $Re = \frac{2\rho v a}{\mu}$

Indien aanvaar word dat die vloeï steeds laminêr bly, is die kinetiese energieterm,

ΔP_{KE} , gelyk aan die viskoseterm, ΔP_F , vir 'n lengte [8, p. 39].

$$l = \frac{Re \cdot a}{32} \quad 2.23$$

2.9.3 TURBULENTE VLOEI MET BEHULP VAN DIE FANNING-VERGELYKING.

Die drukval vir turbulente vloeï word gewoonlik in verband gebring met die gemiddelde snelheid deur die Fanning-vergelyking.

$$\frac{P_2 - P_1}{l} = \frac{4}{d} f \frac{1}{2} \rho v^2 \quad 2.24$$

Waar f die Fanning-faktor is.

f Hou verband met die Reynoldsgetal en in die turbulente gebied word dit gegee deur die Blasius-vergelyking.

$$f = \frac{0,0791}{Re^{\frac{1}{4}}} |2100 < Re < 10^5| \quad 2.25$$

As $f = \frac{16}{Re}$ vir $Re < 2100$ herlei die Fanning-vergelyking na die Hagen-

Poiseuille-vorm (vergelyking 2.17) soos volg [8, p. 39-40]:

$$\frac{P_1 - P_2}{l} = \frac{4}{d} \times \frac{16}{Re} \times \frac{1}{2} \rho v^2$$

$$\frac{P_2 - P_1}{l} = \frac{4 \times 16 \times \mu \times v}{d^2}$$

$$\frac{P_2 - P_1}{l} = \frac{8\mu v}{a^2}$$

2.9.4 NAVIER-STOKES-VERGELYKING.

Die eenvoudige eendimensionele behandeling soos hierbo is gewoonlik genoegsaam om die situasie in die vloeistoffase te beskryf. Die dampfase is egter meer ingewikkeld omdat die radiale snelheidskomponente in die verdamper- en kondensatorgebiede in berekening gebring moet word. Indien dit in berekening gebring word, kan gesien word dat die snelheidsprofiel ongeveer die Hagen-Poiseuille-vloei in die verdamper en adiabatiese gebiede het, maar taamlik afwyk vir die kondensatorgebied. Dit is egter nodig vir 'n volledige analise om die volle momentumvergelyking op te los. Dit kan vir 'n klein volume element in woorde uitgedruk word as:

$$\begin{aligned} \text{Massa van element} \times \text{versnelling} &= \text{Som van die kragte wat op die element} \\ &\text{inwerk} \\ &= \text{Drukkrag} + \text{viskosekrag} + \text{gravitasiekrag} + \\ &\text{ander kragte wat op liggaam inwerk (bv.} \\ &\text{magnetiese kragte)} \end{aligned}$$

2.10 DRUKVERSKIL IN DIE VLOEISTOFFFASE.

Die vloeistelsel in die vloeibare fase is omtrent altyd laminêr, maar aangesien die vloeistof-kanale nie in die algemeen altyd reguit is of 'n sirkelvormige dwarsnit het nie en somtyds onderling verbind is, moet die Hagen-Poiseuille-vergelyking aangepas word om die verandering te akkommodeer.

Aangesien die massavloei sal varieer in beide die verdamper- en kondensator-gebiede, moet 'n effektiewe lengte eerder gebruik word in stede van 'n geometriese lengte vir hierdie gebiede. Indien die massaverandering per eenheidslengte konstant is, sal die totale massavloei liniêr verhoog of verlaag oor die gebiede. Ons kan dus die lengtes van die verdamper l_e en die kondensator l_c vervang met $\frac{l_e}{2}$ en $\frac{l_c}{2}$. Die totale effektiewe lengte vir die vloei van vloeistof sal dan l_{eff} wees, waar

$$l_{eff} = l_a + \frac{l_e + l_c}{2} \quad 2.26$$

Waar : l_a = die lengte van die adiabatiese seksie.

l_e = die lengte van die verdamper.

l_c = die lengte van die kondensator.

Kronkeling binne die kapillêre struktuur moet apart in berekening gebring word en word hier onder bespreek.

Daar is drie vernaamste geometriese strukture is:

1. Pitstrukture wat bestaan uit poreuse strukture opgemaak uit porieë wat onderling verbind is. Gaas-, velt- en sinterpitte val binne die kategorie en word na verwys as homogene pitte.
2. Oop groewe.
3. Bedekte kanale wat bestaan uit 'n area vir die vloei van vloeistof bedek met 'n fyner maas-kapillêre struktuur. Gegroefde hittepype wat bedek is met 'n gaas oor die groewe, en geslotekanaalpitte val in hierdie kategorie. Hierdie pitte word somtyds beskryf as saamgestelde pitte [8, p. 41].

2.11 HOMOGENE PITTE

Indien ε die fraksionele ruimte van die pit is, is die totale dwarsnitoppervlakte van vloei gelyk aan:

$$\pi(r_w^2 - r_v^2)\varepsilon \quad 2.27$$

Waar r_w = buiteradius van die pit.

r_v = buiteradius van die dampgang.

As r_c die effektiewe porieradius is, dan gee die Hagen-Poiseuille-vergelyking (2.19):

$$\dot{m} = \frac{\pi (r_w^2 - r_v^2) \varepsilon r_c^2 \rho_l \Delta P_l}{8 \mu_l l_{eff}} \quad 2.28$$

Of in terme van hittevloei $Q = \dot{m}L$

Waar L die latente hitte of entalpie van verdamping is, en deur te herrangskik, lewer dit:

$$\Delta P_l = \frac{8 \mu_l Q l_{eff}}{\pi (r_w^2 - r_v^2) \varepsilon r_c^2 \rho_l L} \quad 2.29$$

Vir poreuse media word die vergelyking gewoonlik soos volg geskryf:

$$\Delta P_l = \frac{b \mu_l Q l_{eff}}{\pi (r_w^2 - r_v^2) \varepsilon r_c^2 \rho_l L} \quad 2.30$$

waar b 'n konstante van ongeveer 10-20 is, afhangend van die kronkeling. Alhoewel hierdie verband handig is vir die teoretiese hantering is, bevat dit drie konstantes b , ε en r_c wat moeilik is om prakties te meet. Dit is dus meer algemeen vir pitstrukture van die tipe om Darcy se wet te gebruik om ΔP_l te bepaal.

$$\Delta P_l = \frac{\mu_l l_{eff} \dot{m}}{\rho_l K A} \quad 2.31$$

Waar K die pitdeurdringbaarheid is.

A die pitdwarssnitoppervlakte

As ons vergelykings (2.31) en (2.30) vergelyk, blyk dit dat Darcy se wet dieselfde as die Hagen-Poiseuille-vergelyking is met 'n konstante K vir poriegrootte en kronkeling [8, p. 41-45].

Die gebruik van growwe pitstrukture vermeerder warm kolle op die oppervlakte wat 'n beperking in die ontwerp van die pit teweegbring. Dit wil egter voorkom of 'n gegradeerde fyn sif teen die wand en 'n progressiewe growwer sif nader aan die dampgang die hoogste gravitasie-bystand hittepyp-werkverrigting teweegbring [5, p.137-146].

Hoë hitteoordrag is verkry met fyn sifbedekking en relatiewe groot kanale. Die fyn sifbedekking voorsien groot kapillêre krag vir vloeistofsirkulasie. Dit verminder ook die meesleur van vloeistof wat die hitteoordrag beïnvloed. Indien genoegsame kapillêre krag beskikbaar is, sal die kondensaat deur die sif terugkeer na die verhitte seksie.

Die kombinasie van fyn porieë vir vloeistofsirkulasie en 'n verminderde weerstandsvloeipad vir vloeistof-terugvloei word 'n tweekomponent of saamgestelde pit genoem.

Alhoewel die beweging van damp effektief die vloeistofdrukval verhoog, plaas dit 'n groter beperking wanneer die vloeistof van die oppervlakte van die pit

geskeur word en in die damp meegesleur word. Wanneer meesleuring ontstaan, is daar skielik 'n aansienlike verhoging in vloeistofsirkulasie totdat die vloeistofsisteem nie die verhoogde vloei kan akkommodeer nie, by hierdie punt oorverhit die verdamper [,15 p. 355-358].

2.12 DAMPFASE-DRUKVERSKIL, ΔP

2.12.1 INLEIDING

Die totale verskil in dampfase sal die som van die drie gebiede wees, naamlik: drukval in die verdamper Δp_{ve} , die drukval in die adiabatiese gedeelte Δp_{va} en die drukval in die kondensator Δp_{vc} . As gevolg van die radiale vloei is dit egter 'n ingewikkelde probleem om die drukval in die verdamper- en kondensator-areas te bepaal. Dit is egter gerieflik om 'n verdere Reynoldsgetal te definieer naamlik die Radiale Reynoldsgetal:

$$R_r = \frac{\rho_v v r_v}{\mu_v} \quad 2.32$$

Deur konvensie word die damp radius r_v eerder gebruik in plaas van die dampspasie diameter wat gebruikelik is met die definieering van die aksiale Reynoldsgetal.

Om die radiale snelheid r_v by die pit, in berekening te bring is R_r positief in die verdampersesksie en negatief in die kondensatorseksie en is normaalweg in die gebied 0,1 tot 100.

R_r is verwant aan die radiale tempo van die massa ingespuut of verwyder per

eenheidlengte $\frac{dm}{dz}$

$$R_r = \frac{1}{2\pi\mu_v} \frac{dm}{dz} \quad 2.33$$

Die radiale en aksiale Reynoldsgetal word in verband gebring met uniforme verdamping of kondensasie met behulp van die volgende vergelyking:

$$R_r = \frac{R_e r_v}{4 z} \quad 2.34$$

Waar z die afstand van of die ent van die verdamper of die ent van die kondensator is. Vanaf vergelyking 2.23 en as aanvaar word dat die vloeï laminêr is, is die drukval as gevolg van viskosekragte in 'n lengte l gelyk aan die kinetiese hoogte:

$$l = \frac{R_e a}{32} = \frac{R_e r_v}{32} \quad 2.35$$

As substitusie toegepas word:

$$R_e = \frac{4R_r l}{r_v} \quad 2.36$$

Vir die verdamper- en kondensatorgebiede reduseer die toestande na [8, p. 46]:

$$R_e = \frac{32l}{r_v} = \frac{4R_r l}{r_v}$$

$$R_r = 8 \quad 2.37$$

2.12.2 ONSAMEDRUKBARE VLOEI (EENDIMENSIONELE GEVAL)

Aanvaar dat die damp onsamedrukbaar is. Dit impliseer dat die snelheid v baie klein is in vergelyking met die snelheid van klank c in die damp, dus:

$$\text{Mach-getal } \frac{v}{c} < 0,3 \quad 2.38$$

Of anders gestel, beskou 'n hittepyl waarvan ΔP_v baie klein is in vergelyking met P_v , die gemiddelde dampdruk in die pyl. Hierdie aanname is nie geldig gedurende die aan-die-gang-sit van hittepyl nie en is ook nie altyd waar vir hoëtemperatuur vloeibaremetaal hittepyl nie.

In die verdampergedeelte moet die dampdrukgradiënt twee funksies verrig:

1. Om die damp te versnel wat die verdamper binnekom tot 'n aksiale snelheid v . As die damp die verdamper binnekom, besit dit radiale

snelheid, maar nie aksiale snelheid nie. Die benodigde drukgradiënt sal die traagheidsterm $\Delta P'_v$ genoem word.

2. Om die wrywingsleerkrag by die oppervlakte $r = r_v$ van die pit te oorkom. Hierdie word die viskoseterm $\Delta P''_v$ genoem.

Let op dat $\Delta P'_v$ onafhanklik van die verdamperlengte is, maar varieer oor die lengte van die verdamper. As laminêre vloei aanvaar en die Hagen-poiseuille-vergelyking geïntegreer word, lewer dit:

$$\Delta P'_v = \rho v^2 \quad 2.39$$

$$\Delta P''_v = \frac{8\mu_v \dot{m} l_e}{\rho \pi r_v^4 2} \quad 2.40$$

Dus die totale drukval in die verdampergebied ΔP_{ve} word gegee deur die som van die twee terme.

$$\begin{aligned} \Delta P_{ve} &= \Delta P'_v + \Delta P''_v \\ &= \rho v^2 + \frac{8\mu_v \dot{m} l_e}{\rho \pi r_v^4 2} \end{aligned} \quad 2.41$$

Die kondensator kan op dieselfde manier hanteer word, maar in daardie geval is daar 'n aksiale momentumverlies as gevolg van die dampstroom wat tot stilstand gebring word, sodat die traagheidsterm negatief word. Dit is dus hoe

drukherstel verkry word. Die twee traagheidsterme kanselleer mekaar en die totale drukval in die dampfase is die viskoseterm.

In die adiabatiese seksie sal die drukverskil slegs die viskoseterm bevat wat gegee word deur die Hagen-poiseuille-vergelyking of die Fanning-vergelyking afhangend van of dit laminêr of turbulent is.

Vir laminêre vloei:

$$\Delta P_a = \frac{8\mu_v \dot{m}}{\rho \pi r_v^4} l_a \quad 2.42$$

Vir turbulente vloei:

$$\Delta P_a = \frac{2}{r_v} f \frac{1}{2} \rho_v \times v^2 l_a \quad (\text{Re} > 2100) \quad 2.43$$

Waar $f = \frac{0,0791}{R_e^4}$

Die totale dampdrukval ΔP word gegee deur:

$$\begin{aligned} \Delta P_v &= \Delta P_{ve} + \Delta P_{vc} + \Delta P_{va} \\ &= \rho v^2 + \frac{8\mu_v \dot{m}}{\rho \pi r_v^4} \left[\frac{l_e + l_c}{2} + l_a \right] \quad 2.44 \end{aligned}$$

Vir laminêre vloei met geen drukherstel en:

$$\Delta P_v = \frac{8\mu_v \dot{m}}{\rho \pi r_v^4} \left[\frac{l_e + l_c}{2} + l_a \right] \quad 2.45$$

Vir laminêre vloei met volle drukherstel.

Vergelykings 2.44 en 2.45 stel ons in staat om die dampdrukval in 'n eenvoudige hittepyontwerp te bepaal en word algemeen gebruik [8, p. 46-52].

2.12.3 TWEEDIMENSIONELE NIE-SAMEDRUKBAARHEIDSVLOEI

In praktiese hittepye bly die temperatuur en druk nie konstant oor die dwarsnitoppervlakte nie. Hierdie variasie is veral belangrik in die kondensatorgebied. Bankston en Smith het aangetoon dat omgekeerde aksiale snelhede voorkom aan die ente van die kondensatorseksie onder toestande van hoë verdamping en kondensering [8, p. 52-55].

2.12.4 SAMEDRUKBARE VLOEI

Samedrukbaarheid is van belang gedurende die aan-die-gang-sit en ook in hoë-temperatuur vloeibaremetaal hittepye. In silindriese hittepye neem die aksiale massavloei toe langs die lengte van die verdamper tot 'n maksimum aan die einde van die verdamper en neem af in die kondensator. Die vloeisnelheid sal tot

'n maksimum styg by die einde van die verdampergebied waar die druk gedaal het tot 'n minimum [8, p. 56-60].

2.13 GRAVITASIEHOOGTE

Die drukverskil as gevolg van die hidrostatische hoogte van die vloeistof kan egter positief, negatief of nul wees, afhangend van die posisie van die verdamper en kondensator. Hierdie drukverskil, ΔP_g , word gegee deur die volgende vergelyking:

$$\Delta P_g = \rho_l g l \sin \phi \quad 2.47$$

Waar ρ_l die vloeistofdigtheid is.

g die gravitasieversnelling is.

l die hittepyplengte

ϕ die hoek wat die hittepyp met die horisontaal maak. (ϕ is positief as die kondensator laer as die verdamper is.) [8, p. 60]

Pit-lose hittepype funksioneer hoofsaaklik met behulp van gravitasie, met ander woorde die oordragvermoë van die pyp word baie geaffekteer deur die rigting van gravitasie. Dit bring mee dat die hoek waarteen die pyp funksioneer, 'n groot invloed op die karakteristieke van die pyp het [20, p. 517-524].

2.14 MEESLEURING

In hittepype vloei die damp vanaf die verdamper na die kondensator en die vloeistof word teruggevoer deur die pitstruktuur. By die skeidingsvlak tussen die pitoppervlakte en die damp veroorsaak die damp 'n skuifkrag op die vloeistof in die pit. Die grootte van die krag sal afhang van die eienskappe van die damp en die snelheid. Hierdie aksie sal die meesleuring van druppels vloeistof na die kondensator veroorsaak. Hierdie meesleuringsaksie word teengewerk deur die oppervlaktespanning in die vloeistof. Die meesleuring sal verhoed dat die hittepyp werk en het dus 'n beperking op die werkverrigting van die hittepyp.

Die Webergetal, wat gedefinieer word as 'n verhouding tussen die traagheidsdampkrag en die vloeistof-oppervlaktespanningskragte, gee 'n gerieflike meetmetode van die waarskynlikheid van meesleuring.

$$W_e = \frac{\rho_v v^2 z}{2\pi\sigma_l} \quad 2.48$$

Waar ρ_v die dampdigtheid

v die dampsnelheid

σ_l die oppervlaktespanning

z 'n dimensie wat die vloeistof-dampoppervlakte karakteriseer. In 'n hittepyp met 'n pit is dit verwant aan die pitspasiëring.

Dit word aanvaar dat meesleuring sal voorkom indien $W_e = 1$. Die beperkende dampnelheid v_c sal gegee word deur:

$$v_c = \sqrt{\frac{2\pi\sigma_1}{\rho_v z}} \quad 2.48$$

aangesien die aksiale energiefleks

$$q = \rho_v L v$$

sal die aksiale meesleurfleks gegee word deur

$$q = \sqrt{\frac{2\pi\rho_v L^2 \sigma_1}{z}} \quad 2.50$$

waar $\rho_v L^2 \sigma_1$ die nuttigheidsyfer M vir die werksvloestof is in soverre dit meesleuring behels [8, p. 61].

2.15 HITTEOORDRAG IN DIE VERDAMPER.

Vir lae waardes van hittevloed sal die oordrag van hitte na die vloestofvlak gedeeltelik geskied deur geleiding deur die pit en die vloestof en gedeeltelik deur natuurlike konveksie. Verdamping sal geskied vanaf die vloestofvlak. Namate die hittevloei verhoog, sal die vloestof wat in kontak met die wand is, progressief oorverhit en borrels sal vorm. Hierdie borrels sal energie na die oppervlakte oordra deur latente verdampingswarmte en sal dus die konveksie-hitteoordrag grootliks vermeerder. Met 'n verdere verhoging in vloei sal 'n

kritieke waarde bereik word waar die pit sal uitdroog en die hittepyp sal ophou funksioneer [8, p. 63].

Wanneer vloeibare metaal as werksvloeistof gebruik word, vind hitteoordrag deur geleiding oor die vloeistofversadigde pit na die buitevlak van die pit plaas, waar verdamping van die vloeistof plaasvind. Wanneer nie-metaal-werksvloeistof gebruik word, word hitte oorgedra deur geleiding na 'n vloeistofdamp-tussenvlak wat in die pitstruktuur voorkom.

In alle vorige studies is aanvaar dat die hitteoordrag in die hittepypverdamper-sone geskied deur middel van geleiding oor 'n vloeistofge vulde pit na 'n vloeistof-damp-tussenvlak by 'n onbepaalde punt in die pitstruktuur. Na die heroorweging van die versamelde resultate van Cartoehers en Fox, Alleavitch, Alexander en Piver en ander outeurs aan die "North Carolina State University" is daar besluit dat hierdie aanname foutief was. Die werklike meganisme van hitteoordrag in die verdampersone van waterhittepype is van geleiding oor 'n dun laag damp aan die verhitte wand, gevolg deur verdamping van 'n vloeistof-damp-tussenvlak wat binne die pitstruktuur voorkom [22, p. 413-420].

2.16 HITTEOORDRAG IN DIE KONDENSATOR.

Damp kondenseer op die vloeistofvlak in die kondensator en veroorsaak 'n klein temperatuurval wat 'n termiese weerstand tot gevolg het. 'n Verdere

temperatuurval sal by die vloeistoffilm en in die versadigde pit en by die hittepyphuls voorkom.

Kondensasie kan in twee vorms voorkom, naamlik deur kondensering van die damp in 'n kontinue vloeistofvlak, of deur 'n groot aantal druppels wat kondenseer. Kondensasie word nadelig beïnvloed deur die teenwoordigheid van nie-samedrukbare gas. Maar in 'n hittepyf sal die damp Pompeffek hierdie gas in die punt van die kondensator konsentreer. Die gedeelte van die kondensator sal dan effektief afgeskakel wees en hierdie effek is die basis van gasgebufferde hittepyf [8, p. 80].

2.17 BEPERKINGS OP HITTEOORDRAG.

2.17.1 VSKOSELIMIET

By lae temperature is die viskosekragte dominant in die dampvlei in die pyp af. Busse het aangetoon dat die aksiale vlei verhoog indien die druk in die kondensator verlaag. Die maksimum hittevlei kom voor wanneer die kondensatordruk tot nul daal. Busse het 'n twee dimensionele analise uitgevoer en bevind dat die radiale snelheidskomponent 'n wesenlike effek het. Hy het die volgende formule ontwikkel:

$$q = \frac{r_v^2 L \rho_v P_v}{16 \mu_v l_{eff}} \quad 2.50$$

Waar P_v en ρ_v verwys na die verdampersdruk en -digtheid van die pyp.

Hierdie limiet is gewoonlik net van belang in die aan die gang sit van die pyp [8, p. 85].

2.17.2 SONIESE LIMIET

By 'n ietwat hoër temperatuur sal smoring by die verdamperuitgang 'n limiet op die totale drywinghanteringsvermoë van die pyp teweegbring. Die soniese limiet word aangegee deur:

$$q = 0.474L(\rho_v P_v)^{1/2} \quad 2.51$$

2.17.3 MEESLEURINGS-LIMIET

Hierdie is reeds in paragraaf 2.14 bespreek, alhoewel 'n aantal navorsers data oor meesleuring voorhou. Tien en Chung het 'n vergelyking ontwikkel wat die gebruiker in staat stel om die maksimum hitteoordragtempo as gevolg van meesleuringlimiet te voorspel [8, p. 87].

ONTWERP VAN HITTEPYP

3.1 INLEIDING:

In die ontwerp van hittepype moet die volgende komponente gekies word om by die werksomstandighede aan te pas. Die werksvloeistof, die omhulsel, die pitmateriaal en afmetings van die pitstruktuur [1, p. 110]. Die keuse van bogenoemde kombinasies kan lei tot die konflik van verskeie faktore. Die basiese hoofpunte vir keuses word hieronder bespreek.

3.2 WERKSVLOEISTOF.

Die eerste aspek in die identifisering van 'n geskikte werksvloeistof is die werksdamp temperatuurgebied en 'n keuse van vloeistowwe word in tabel 3.1 aangetoon. Met die benaderde temperatuurgebied kan daar verskeie moontlike werksvloeistof voorkom en 'n verskeidenheid karakteristieke moet ondersoek word om die mees aanvaarbare vloeistof te kies. Die belangrikste voorskrifte is:

1. Aanpasbaarheid met pitmateriaal en wandmateriaal.
2. Goeie termiese stabiliteit.
3. Benatting van pit en wandmateriaal.

4. Die dampdruk nie te hoog of te laag oor die werkstemperatuurgebied nie.
5. Hoë latente hitte.
6. Hoë termiese geleidingsvermoë.
7. Lae vloeistof- en dampviskositeit.
8. Hoë oppervlaktespanning.
9. Aanvaarbare vries- of vloeipunt.

Die seleksie van die werksvloeistof moet gebaseer wees op termodinamiese beskouings met betrekking tot verskeie beperkings van hittevloei wat in die pyp voorkom. Hierdie is alreeds bespreek in hoofstuk 2.17 en is die viskositeit, soniese, kapillêre meesleuring en (kern) kooklimiete.

Baie van die probleme wat met lang-lewe hittepyperwerking geassosieer word, is die direkte gevolg van materiaal aanpasbaarheid. Dit betrek al drie die komponente van hittepype. Een aspek met betrekking tot hoofsaaklik die werksvloeistof, is egter die moontlikheid van die termiese degradering. Met sekere organiese vloeistowwe is dit nodig om die filmtemperatuur onder 'n sekere waarde te hou om afbreking van die vloeistof na verskillende verbindings te voorkom. 'n Goeie termiese stabiliteit is dus 'n belangriker eienskap van die werksvloeistof as die werkstemperatuurgebied.

Die oppervlakte van die vloeistof reageer soos 'n gerekte vel behalwe dat die spanning in die vloeistofoppervlakte onafhanklik is van die oppervlaktearea.

Regoor die vloeistof is daar 'n trekkras gevolg van die aantrekking van die molekules wat ontsnapping probeer verhoed. Die oppervlakspanning varieer met temperatuur en druk, maar die variasie met druk is dikwels klein.

Die effektiewe waarde van die oppervlaktespanning mag aansienlik verander deur die akkumulering van vreemde materiaal by die vloeistof/damp vloeistof/vloeistof, of soliede oppervlaktes. Bepaling van oppervlaktespanning is in hoofstuk 2.4 bespreek.

In die ontwerp van 'n hittepyp is 'n hoë waarde van oppervlaktespanning verkieslik om die hittepyp te laat werk teen gravitasie en om 'n hoë kapillêre dryfkras op te wek. Verder is dit noodsaaklik dat die werksvloeistof die pit en die houermateriaal benat. Daarvoor moet die kontakhoek nul of ten minste baie klein wees.

Die dampdruk oor die werkstemperatuur-gebied moet groot genoeg wees om te voorkom dat hoë dampnelhede voorkom wat neig om 'n groot temperatuurgradiënt te veroorsaak. Dit veroorsaak die meesleuring van terugvloei-kondensaat wat in die teenoorgestelde rigting vloei, of veroorsaak vloei-onstabielheid wat geassosieer word met saamdrukbaarheid. Nieteenstaande moet die dampdruk nie te hoog wees nie, omdat dit die noodsaaklikheid van 'n te dikwandhouer verg.



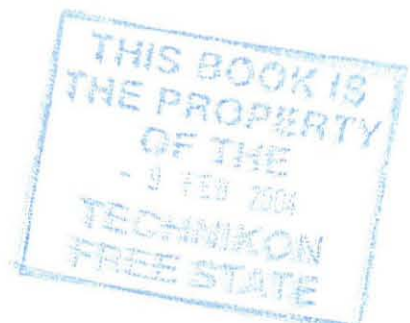
Tabel 3.1 Hittepyp-werksvloei-stowwe

MEDIUM	SMELT-PUNT (°C)	KOOKPUNT BY ATMOS. DRUK (°C)	BRUIKBARE GRENSE (°C)
Helium	-271	-261	-271- -269
Stikstof	-210	-196	-203- -160
Ammoniak	-78	-33	-60- 100
Pentaaan	-130	28	-20- 120
Asetoon	-95	57	0- 120
Metielalkohol	-98	64	10- 130
Etanol	-112	78	0- 130
Heptaaan	-90	98	0- 150
Water	0	100	30- 200
Tolueen	-95	110	50- 200
Dowtherm A	12	257	150- 350
Kwik	-39	361	250- 650
Sesium	29	670	450- 900
Kalium	62	774	500- 1000
Natrium	98	892	600- 1200
Litium	179	1340	1000- 1800
Silwer	960	2212	1800- 2300

‘n Hoë latente warmte is wenslik om die oordrag van groot hoeveelhede hitte met ‘n minimum vloeistofvloeï te bewerkstellig en gevolglik ‘n lae drukval binne die hittepyl te hou. Die termiese geleidingsvermoë van die werksvloeistof moet ook hoog wees om die radiale temperatuurgradiënt te minimaliseer en die moontlikheid van kondensasiekernkook by die pit-wandskeidingsvlak te verminder.

Die weerstand teen vloeistofvloeï sal geminimaliseer word deur die keuse van vloeistowwe met lae waardes van damp- en vloeistofviskositeit.

‘n Geskikte manier vir vinnige vergelyking van die werksvloeistof word verskaf deur die nuttigheidsyfer M , wat gegee is in vergelyking 2.2. Figuur 3.1 gee die nuttigheidsyfer by die kookpunt van verskillende werksvloeistowwe binne die temperatuurgrens van 200 tot 1750 K. Een ooglopende kenmerk is die merkbare voortreflikheid van water met sy hoë latente warmte en oppervlakspanning, in vergelyking met organiese vloeistowwe, soos asetoon en alkohol, wat in dieselfde temperatuurgebied werk. Finale vloeistofseleksie is natuurlik gebaseer op koste, beskikbaarheid, aanpasbaarheid en ander faktore wat hierbo gelys is. In fig 3.1 word die nuttigheidsyfer M gestip teen die kookpunt van verskillende werksvloeistowwe [8, p. 107-110].



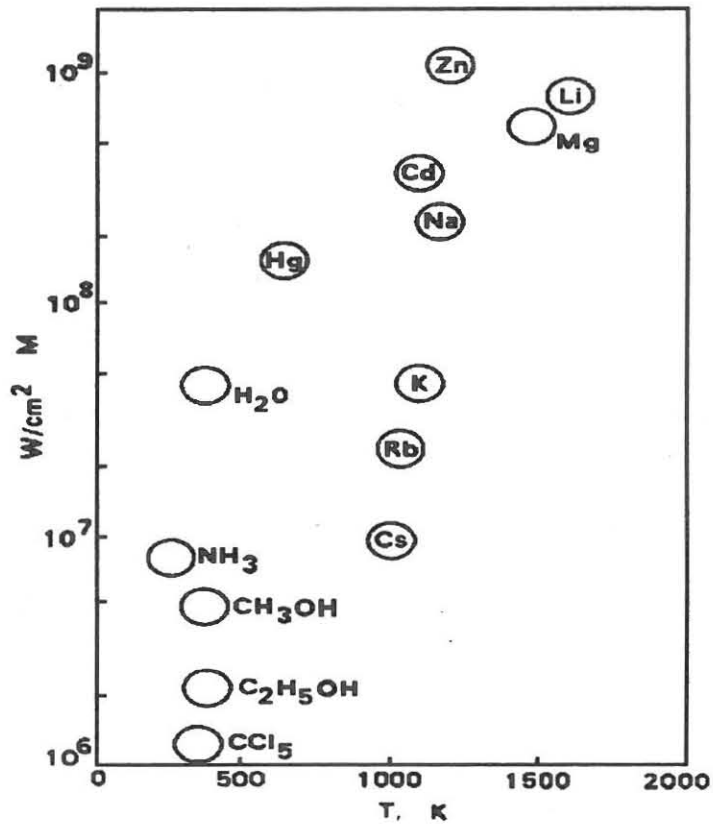


Fig.3.1 Nuttigheidsyfer vir geselekteerde werksvloei-stowwe by hulle kookpunt [Phillips tech. rev.]

Soos Asselman en Green aangetoon het, is 'n hoë nuttigheidsyfer nie die enigste kriterium vir die seleksie van die werksvloei-stof nie, aangesien ander faktore in sekere situasies van groot belang kan wees [1, p. 32-34]. Byvoorbeeld oor die temperatuurgebied 1200-1800 K het litium 'n hoër nuttigheidsyfer as die meeste metale, natrium ingesluit. Dit benodig egter 'n houer van duur litiumwerende allooi, terwyl natrium in 'n houer van vlekvrige staal gehou kan word. Dit mag dus daarom

goedkoper en meer geskik wees om 'n laer-werkverrigting-hittepyp te maak van natrium / vlekvrystaal.

Werksvloeistowwe wat in hittepype gebruik word, wissel van helium by 4 K tot litium by 2300 K. Figuur 3.1 toon die voortreflikheid van water oor die gebied 350-500 K, waar die alternatiewe organiese vloeistowwe geneig is om 'n lae meriete-waarde te hê. By 'n effens laer temperatuur, 270-350 K, is ammoniak 'n meer wenslike vloeistof, alhoewel dit noukeurige hantering verg om suiwerheid te behou, terwyl asetoon en alkohol alternatiewe met lae dampdrukke is. Hierdie vloeistowwe word algemeen in hittepype vir ruimtetoepassings gebruik. Water en metanol, beide aanpasbaar met koper, word gewoonlik gebruik vir verkoeling van elektroniese apparaat.

Vir temperature tussen 500 K en 650 K word die hoë-temperatuur-organiese-hitte-oordragsvloeistowwe soos Thermex (ICI) en Dowtherm A (Dow Chemical Co) gebruik. Beide die vloeistowwe is difeniel/difenieloksied eutetikums met kookpunte rondom 260 °C by atmosferiese druk. Ongelukkig het hulle 'n lae oppervlakspanning en 'n swak latente warmte. Soos met baie organiese verbindings, breek difeniel geredelik af wanneer die film die kritieke waarde oorskry. Maar anders as ander vloeistowwe met dieselfde werkstemperatuur-gebied, het hierdie eutektiese mengsels 'n spesifieke kookpunt eerder as 'n kook-gebied. Ander vloeistowwe soos silikone word bestudeer vir gebruik bo 600 K.

Een van die mees volledige stelle aanpasbaarheidstoetse is uitgevoer by IKE, Stuttgart [11, p. 19-66] op 'n aantal organiese werksvloei-stowwe. Hierdie toetse het gekonsentreer op termohewels deur van 'n reeks ketel- en austeniet-staalhouers of pype gebruik te maak. Vanuit die toetsresultate het dit geblyk dat organiese vloei-stowwe wat werk by temperature ver bokant 300°C geneig is om onbruikbaar te wees vir langtermyn gebruik in hittepype.

Daar is deur navorsers aangetoon dat difeniel en naftaleen, die twee werksvloei-stowwe wat die geskikste is vir werking by hierdie temperatuur-gebiede. Beide is onderworpe aan ontbinding, veroorsaak deur oorverhitting by die verdamperseksie. Dit lei tot 'n opwekking van nie-kondenseerbare gas, wat geventileer kan word via bv. 'n klep [18, p. 485].

Indien verder op die temperatuurskaal beweeg word, word die gebied van vloeibare metale bereik. Kwik het 'n bruikbare werkstemperatuurgrens van ongeveer 500-950 K en het aantreklike termodinamiese eienskappe. Dit is ook 'n vloeistof by kamertemperatuur wat hantering, vulling en aan die gang sit van hittepype vergemaklik [8 p110-130].

Buiten die giftigheid, is die hoofnadeel van die gebruik van kwik as 'n werksvloei-stof in hittepype, in teenstelling met termiese hewels, die benatting van

die pit en die houer. Daar is min referate wat 'n spesiale studie oor hierdie onderwerp gemaak het, maar Deveraal [6, p. 9] by Los Alamos en Reay [Mercury wetting of wicks] het beide in hul werk gerapporteer oor die benatting met kwik.

'n Hittepyl met kwik en 'n pit is suksesvol in werking gestel in Japan en werk met gravitasie (verdamper onder die kondensator). In hierdie eenheid was die houer van 316 vlekvryestaal en twee lae 50 maasdraad aan die wand gepuntsweis as pit. Die lengte van die hittepyl was 1000 mm, en dit was gevul met 1150 gm kwik. Die werkstemperatuur was 350°C tot 600°C. Daar is waargeneem dat temperatuurmetings in dele van die verdamper aangetoon het dat lokale uitdroging plaasvind wat toegeskryf is aan swak voeding van kwik in die omgewing. Na 30-50 uur was die temperatuurpiek baie verlaag. Dit dui op die ontwikkeling van amalgaam op die binnekant van die houer wat die benatting verbeter het [23, p. 483].

Bienert [3, p. 12-1] wat voorgestel het dat kwik/vlekvryestaal hittepyl vir son-energie-konsentreerders gebruik word, het van Deverall se tegniek gebruik gemaak vir die benatting van die pit in die verdampersesie van hittepyl en het geskikte benatting verkry vir gravitasie-hulpwerking. Hy redeneer dat nie-benatting in die kondenseeromgewing van die hittepyl druppelvorming kondensasie sal verhoog wat 'n hoër filmkoeffisiënt tot gevolg sal hê as wat met filmkondensasie sou plaasvind. In navorsingswerk wat onlangs by Los Alamos gedoen is, het Kemme

voorgestel dat magnesium gebruik kan word om benatting met kwik aan te help [15, p. 78-431].

Beweeg ons hoër op met die damptemperatuurreeks is cesium, kalium en natrium aanvaarbaar as werksvloei-stowwe en hulle eienskappe met betrekking tot hittepype is goed gedokumenteer. Bo 1400 K word litium algemeen gekies, maar silwer is al gebruik [17, p. 4-4].

3.3 DIE PIT EN KAPILLÊRE STRUKTUUR

Die keuse van 'n pit vir hittepype word deur verskeie faktore bepaal waarvan verskeie nou verwant is aan die eienskappe van die werksvloei-stof. Dit is duidelik dat die hoofdoel van die pit is om die kapillêre druk op te wek wat die vloeistof van die kondensator na die verdamper bewerkstellig. Dit moet ook in staat wees om die vloeistof rondom die verdamperseksie na enige area van die hittepyp waar hitte vermoedelik ontvang kan word, te versprei. Baie keer vereis hierdie funksie pitte van verskillende vorm veral waar die kondensaat teruggevoer moet word oor 'n afstand van een meter in zero gravitasie. Wanneer pitte behoue bly in 'n gravitasie-ondersteunde hittepyp, is die doel om die hitteoordrag te verhoog en vir die verspreiding van die vloeistof om die pyp. Dit kan gesien word vanaf 2.12 dat die maksimum kapillêre hoogte gegenereer deur 'n pit, verhoog, indien die porieruimte verlaag. Die pitdeurdringbaarheid, 'n verlangde eienskap,

verhoog met die verhoging in porieruimte. Vir homogene pitte is daar 'n optimale porieruimte wat 'n kompromie is. Daar is drie belangrike tipes in hierdie konteks. Lae-werkverrigting pitte in horisontale en gravitasie-ondersteunde hittepype wat maksimum vloeistofvloei moet verseker, het betreklik groot porieruimte soos 100 of 150 sifgrootte. Waar pompvermoë teen gravitasie benodig word, word klein porieruimtes benodig. Ruimtetoepassings met die beperkings van grootte en algemene hoë drywingsvermoë, noodsaak die gebruik van nie-homogene of geslote kanaalpitte, aangehelp deur klein porieruimtes vir aksiale vloeistofvloei.

'n Ander kenmerk van die pit wat geoptimaliseer moet word, is die dikte. Die hitte-oordragkapasiteit van die hittepype verhoog met die verhoging in pitdikte. Maar die verhoogde radiaal termiese weerstand van die pit sal 'n verhoging in die vermoë van die pit teewerk en sal die toelaatbare maksimum verdamperhittevloei verlaag. Die totale termiese weerstand by die verdamper hang af van die geleidingsvermoë van die werksvloeistof in die pit. Ander benodigde eienskappe van die pit is versoenbaarheid met die werksvloeistof en benatting. Dit moet maklik gevorm kan word in die vorm van die wand van die hittepype en moet verkieslik in 'n vorm wees wat maklik herhaal kan word. Dit moet ook goedkoop wees.

3.4 HOMOGENE STRUKTURE

Van al die pitvorms beskikbaar, is maas- en keperweefsel die algemeenste. Hulle word vervaardig in 'n reeks van porieruimte-groottes en materiale. Laasgenoemde sluit in vlekvrystaal, nikkell, koper en aluminium. Tabel 3.2 toon die gemete waardes van porieruimtes en die deurdringbaarheid van 'n verskeidenheid van sifgroottes en keperweefsel-groottes. Homogene pitte, vervaardig deur gebruik te maak van metaalskuim en vernaamlik vilt, word al meer gebruik. Deur die drukking op die vilt gedurende montering te verander, kan 'n verandering in porieruimte teweeg gebring word.

Veselagtige materiale word redelik algemeen in hitte-type gebruik en het oor die algemeen klein porieruimtes. Die grootste nadeel is dat die keramiekvesels baie min styfheid het en benodig dit deurgaans 'n aaneenlopende ondersteuning van byvoorbeeld 'n metaalsif. Al is die vesel self chemies versoenbaar met die werksvloei-stof, kan die ondersteuningsmateriaal probleme veroorsaak.

Onlangs het die belangstelling verskuif na koolstofvesel as pitmateriaal. Koolstof-veseltjies het baie fyn longitudinale groewe op die oppervlakte en het dus 'n hoë kapillêre druk en is natuurlik chemies stabiel.

Tabel 3.2 Porie grootte van pit en deurdringbaarheidsdata
[Heat pipes PD Dunn en DA Reay]

Material and Mesh Size	Capillary height (cm)	Pore radius (cm)	Permeability m ²	Porosity (%)
Glass fibre (3.29)	25.4	-	0.061x10 ⁻¹¹	-
Refrasil sleeving (3.29)	22.0	-	2.104x10 ⁻¹⁰	-
Refrasil (bulk) (3.30)	-	-	0.18x10 ⁻¹⁰	-
Refrasil (batt) (3.30)	-	-	1.00x10 ⁻¹⁰	-
Monel beads (3.31)				
30 - 40	14.6	0.052 ²	4.15x10 ⁻¹⁰	40
70 - 80	39.5	0.019 ²	0.78x10 ⁻¹⁰	40
100 - 140	64.6	0.013 ²	0.33x10 ⁻¹⁰	40
140 - -200	75.0	0.009	0.11x10 ⁻¹⁰	40
Felt metal (3.32)				
FM1006	10.0	0.004	1.55x10 ⁻¹⁰	-
FM1205	-	0.008	2.54x10 ⁻¹⁰	-
Nickel powder (3.29)				
200μ	24.6	0.038	0.027x10 ⁻¹⁰	-
500μ	>70.0	0.004	0.081x10 ⁻¹¹	-
Nickel fiber (3.29)				
0.01 mm dia.	>40.0	0.001	0.015x10 ⁻¹¹	68.9

THIS BOOK IS
THE PROPERTY
OF THE
- 1 FEB 200

TECHNIKON
FREE STATE

TECHNIKON
VRYSTAAT/FREE STATE

10 MAR 1999

PRIVAATSAK
PRIVATE BAG X20539
BLOEMFONTEIN

843 418



Material and Mesh Size	Capillary height (cm)	Pore radius (cm)	Permeability m^2	Porosity (%)
Nickel felt (3.33)	-	0.017	6.0×10^{-10}	89
Nickel foam (3.33)				
Ampornik 220.5	-	0.023	3.8×10^{-9}	96
Copper foam (3.33)				
Amporcop 220.5	-	0.021	1.9×10^{-9}	91
Copper powder(sintered)(3.32)	156.8	0.0009	1.74×10^{-12}	52
Copper powder(sintered)(3.34)				
45 - 56 μ	-	0.0009	-	28.7
100 - 145 μ	-	0.0021	-	30.5
150 - 200 μ	-	0.0037	-	35
Nickel 50 (3.29)	4.8	-	-	62.5
50 (3.35)	-	0.0305	6.635×10^{-10}	-
Copper 60 (3.32)	3.0	-	8.4×10^{-10}	-
Nickel 60 (3.34)	-	0.009	-	-
100 (3.35)	-	0.0131	1.523×10^{-10}	-
100 (3.36)	-	-	2.48×10^{-10}	-
120 (3.32)	5.4	-	6.00×10^{-10}	-
120 ³ (3.32)	7.9	0.019	3.50×10^{-10}	-
2 ⁵ × 120 (3.37)	-	-	1.35×10^{-10}	-



Material and Mesh Size	Capillary height (cm)	Pore radius (cm)	Permeability m^2	Porosity (%)
120 (3.38)	-	-	1.35×10^{-10}	-
S/s 180 (22°C) (3.39)	8.0	-	0.5×10^{-10}	-
2 × 180 (22°C) (3.39)	9.0	-	0.65×10^{-10}	-
200 (3.34)	-	0.0061	0.771×10^{-10}	-
200 (3.32)	-	-	0.520×10^{-10}	-
Nickel 200 (3.29)	23.4	0.004	0.62×10^{-10}	68.9
2 × 200 (3.37)	-	-	0.81×10^{-10}	-
Phosp./bronze 200 (3.40)	-	0.003	0.46×10^{-10}	67
Titanium 2 × 200 (3.34)	-	0.0015	-	67
4 × 200 (3.34)	-	0.0015	-	68.4
250 (3.36)	-	-	0.302×10^{-10}	-
Nickel ³ 2 × 250 (3.34)	-	0.002	-	66.4
4 × 250 (3.34)	-	0.002	-	66.5
325 (3.34)	-	0.0032	-	-
Phosp/bronze (3.38)	-	0.021	0.296×10^{-10}	67
S/s (twill) 80 ⁴ (3.41)	-	0.013	2.57×10^{-10}	-
90 ⁴ (3.41)	-	0.011	1.28×10^{-10}	-
120 ⁴ (3.41)	-	0.008	0.79×10^{-10}	-
250 (3.37)	-	0.0051	-	-

Material and Mesh Size	Capillary height (cm)	Pore radius (cm)	Permeability m ²	Porosity (%)
270 (3.37)	-	0.0041	-	-
400 (3.37)	-	0.0029	-	-
450 (3.41)	-	0.0029		

- 1 Met water verkry, tensy anders vermeld.
- 2 Diameter van partikels.
- 3 Oksidering.
- 4 Deurdringbaarheid gemeet in die rigting van die afwyking
- 5 Toon aantal lae.

'n Hele paar hittepype is suksesvol vervaardig deur die gebruik van koolstofpitte, ook een wat 100 m lank was. Hierdie pit demonstreer 'n hitteoordrag van drie keer meer as 'n metaalpit [21, p. 77-93]. Meer onlangs is gerapporteer dat ander ontwerpe van dié pitmateriaal gebruik gemaak het [19, p. 483-490 & 14, p. 577-585].

Gesinterde poeier is beskikbaar in sferiese vorm in 'n aantal materiale en fyn porieruimtes kan gemaak word vir moontlike gebruik in groot kanale vir verhoogde vloeistofvloei-vermoëns. Uitloging word gebruik om fyn longitudinale kanale en gegroefde wande in koper- en aluminiumhittepype aan te bring wat toegepas word op hittepype in zero gravitasie-omgewings.

(Normaalweg is groewe alleen nie geskik om voldoende kapillêre hoogte te lewer in die aarde se gravitasie-toepassings nie, en kan meesleuring ook 'n beperking op die aksiale hittevloei plaas. Indien die groewe met 'n sif bedek word, word dit grootliks uitgeskakel.)

3.5 TERMIESE WEERSTAND VAN VERSADIGDE PITTE

Een kenmerk vermeld in die bespreking van die wenslike eienskappe van beide die pit en die werksvloeistof, is die termiese geleidingsvermoë. Vergelykings is beskikbaar vir die voorspelling van die termiese geleiding van versadigde pitte van verskeie tipes en dit word hieronder bespreek. Die geleidingsvermoë is 'n belangrike faktor in die bepaling van die toelaatbare pitdikte [8, p. 121].

3.6 MAASDRAAD

Gorring en Churchill [13, p. 53-59] het oplossings vir die berekening van die termiese geleidingsvermoë van ongelyksoortige materiale wat in drie kategorieë verdeel is, aanbeveel, nl.; dispersie, diggepakte mat en onafgebroke pare. Geen bevredigende oplossing vir maas word gegee nie, omdat maas 'n beperkte geval van dispersie is bv. die deeltjies is in kontak, maar nie dig gepak nie. Nietemin, al is die geleidingsvermoë van dispersiewe materiale kleiner as diggepakte mat, kan 'n raming van maasgeleiding gemaak word met behulp van Rayleigh se

vergelyking vir die effektiewe geleidingsvermoë van dispersies bestaande uit 'n vierkantige rangskikking van uniforme silinders, bv. maasdraad.

$$k_w = \left(\frac{\beta - \varepsilon}{\beta + \varepsilon} \right) k_l \quad 3.1$$

$$\text{waar } \beta = \left(1 + \frac{k_s}{k_l} \right) / \left(1 - \frac{k_s}{k_l} \right) \quad 3.2$$

k_w = Termiese geleidingsvermoë van die pit.

k_s = Termiese geleidingsvermoë van soliede fase

k_l = Termiese geleidingsvermoë van vloeistof

ε = Fraksionele volume van soliede fase

3.7 DIE HOUER

Die funksie van die houer is om die werksvloeistof te isoleer van die eksterne omgewing. Dit moet dus lekvry wees, die drukverskil oor die wand behou en in staat wees om die oordrag van hitte van en na die werksvloeistof te laat plaasvind.

Die keuse van die houermateriaal hang van verskeie faktore soos die volgende af:

1. Aanpasbaarheid (beide met werksvloeistof en eksterne omgewing)
2. Sterkte tot gewigverhouding.
3. Termiese geleidingsvermoë
4. Maklike vervaardigbaarheid, insluitende sweising en masjineerbaarheid.
5. Poreusheid.
6. Benatbaarheid.

Meeste van die bogenoemde faktore is selfverklarend. 'n Hoë sterkte- tot gewigverhouding is belangriker in ruimtetuigtoepassings en materiaal moet nie poreus wees nie om die verspreiding van gas in die hittepyp te voorkom. 'n Hoë termiese geleiding verseker 'n minimum temperatuurval tussen die hittebron en die pit [8, p. 126].

Die termiese geleiding van sommige wandmateriaal word in aanhangsel 2 aangetoon.

3.8 AANPASBAARHEID

Aanpasbaarheid is reeds bespreek met betrekking tot werksvloeistof, pit en houër van die hittepyp. Hierdie kenmerk is van primêre belang en regverdig daarom verdere vermelding hier.

Twee belangrike kenmerke van nie-aanpasbaarheid is korrosie en die opwekking van nie-kondenseerbare gas. Indien die wand of die pitmateriaal oplosbaar is in die werksvloestof, sal massa-oordrag gewoonlik tussen die kondensator en die verdamper voorkom, met soliede materiaal wat neerslaan in laasgenoemde. Dit sal lokale warm kolle of blokkering van die porieë van die pit veroorsaak. Nie-kondenseerbare gasopwekking is waarskynlik die mees algemene aanduiding van hittepypfaling en, is die nie-kondenseerbare gas geneig om in die hittepypkondensatorseksie te vergader, wat die kondensator geleidelik sal blokkeer. Dit is maklik om te identifiseer as gevolg van die skerp temperatuurval wat bestaan by die gas/damp-skeivlak.

Sommige aanpasbaarheidsdata is vrylik beskikbaar in wetenskaplike publikasies asook handelsliteratuur oor chemiekalieë en materiale. Dit het algemene praktyk geword om leeftydtoetse op verteenwoordigende hittepype uit te voer. Die hoofdoel van die toets is om 'n langtermyn-beraming van materiaalaanpasbaarheid onder hittepypwerkstoestande te maak.

Aan die einde van die leeftydtoets mag gasanalise en metallurgiese ondersoek, asook chemiese analise van die werksvloestof, gedoen word.

Baie laboratoriums het leeftydtoetse uitgevoer en 'n aansienlike hoeveelheid data is gepubliseer. Dit is belangrik om te onthou dat alhoewel leeftydtoets-data verkry deur een laboratorium, mag aantoon dat aanpasbaarheid aanvaarbaar is, ander samestellingsprosedures by 'n ander laboratorium, gemoeid met bv. nie-standaard-

materiaalbehandelings-resultate, met ander korrosie- of gasopwekking ander karakteristieke kan vind. Dit is dus belangrik om aanpasbaarheidsdata te verkry wanneer 'n verandering in skoonmaakprosedure of pypsamestelling gemaak word.

Vlekvrye staal is geskik as houer- en pitmateriaal vir die gebruik met vloeistowwe soos asetoon, ammoniak en vloeibare metale vanuit 'n aanpasbaarheidsoogpunt. Vlekvrye staal se lae termiese geleidingsvermoë is 'n nadeel, en koper en aluminium word gebruik waar die kenmerk belangrik is. Die eersgenoemde is besonder aantreklik vir massa-geproduseerde eenhede met water as werksvloeistof. Plastiek is gebruik as houermateriaal, en baie hoë temperatuur keramiek en vuurvaste metale soos tantalum (Ta) is ernstig oorweeg. Om 'n mate van buigbaarheid aan die hittepywand te verleen, is daar van vlekvrye-staalkonsertinas gebruik gemaak en, in gevalle waar elektriese isolasie belangrik is, is keramiek- of glas-tot-metaalseëls geïnkorporeer. In die geval moet elektriese nie-geleidende pitte en werksvloeistof gebruik word.

'n Uitgebreide oorsig van materiaalkombinasies in die intermediêre temperatuur-gebied is uitgevoer deur Basiulis en Filler [2, p. 4] en word opgesom in tabel 3.3.

Tabel 3.3: Aanpasbaarheidsdata

PIT- MATERIAAL	WERKSVLOEISTOF					
	Water	Asetoon	Ammoniak	Metanol	Dow-A	Dow-E
Koper	RU	RU	NU	RU	RU	RU
Aluminium	GNC	RL	RU	NR	UK	NR
Vlekvrye Staal	GNT	PC	RU	GNT	RU	RU
Nikkel	PC	PC	RU	RL	RU	RL
Versterkte Vesel	RU	RU	RU	RU	RU	RU

RU = Aanbeveel deur vorige gebruik.

RL = Aanbeveel deur literatuur

PC = Waarskynlik aanpasbaar

NR = Nie aanbeveel nie

NU = Nie aanbeveel deur vorige gebruik

UK = Onbekend

GNC = Ontwikkeling van gas by alle temperature

GNT = Ontwikkeling van gas by verhoogde temperature

Leefydtoetse bokant 8 000 uur met ammoniak-aluminium is gerapporteer, maar slegs 1 008 ure is verkry vir 'n samestelling van aluminium /asetoon. Geen temperature is gespesifiseer deur Basiulis vir hierdie toetse nie. Ander Navorsers het reeds 16 000 uur oorskry met die laasgenoemde kombinasie.

Lewenstoetse wat te IKE Stuttgart gepubliseer is en op ongeveer 40 hittepype uitgevoer is, het aangetoon dat koper/water hittepype oor 'n lang tydperk kan werk sonder degradering, maar ernstige gasopwekking is waargeneem met vlekvrige staal/water hittepype [8, p. 126-127].

3.9 VLOEISTOFVOLUME

'n Eienskap wat belangrik is in hittepytpontwerp wanneer klein hittepype en eenhede vir ruimtegebruik beskou word, is die vloeistofhoeveelheid. In algemene gebruik word 'n klein ekstra hoeveelheid werksvloeistof bo en behalwe die hoeveelheid om die pit te versadig, bygevoeg. Wanneer die dampspasie klein is, kan 'n merkbare temperatuur-gradiënt by die kondensator voorkom wat identies is aan die wat die teenwoordigheid van nie-kondenseerbare gas aandui. Dit verminder die effektiewe lengte van die kondensator, wat op sy beurt weer die werkverrigting van die hittepyp verlaag.

By termohewels word die hoeveelheid vloeistof deur twee faktore beïnvloed, nl: 'n te klein hoeveelheid vloeistof kan lei tot uitdroging, 'n oormaat vloeistof kan weer lei tot klein hoeveelhede vloeistof wat oorgedra word na die kondensator waar die oppervlakte vir kondensasie dan geblokkeer word. Bezrodnyi en Alekseenko het aanbeveel dat die hoeveelheid vloeistof ten minste 50 persent van die volume van die verdamper moet wees [8, p. 138-139].

Groll en sy medewerkers se bevinding is dat vir verskeie werksvloei-stowwe die vloei-stof hoeveelheid, uitgedruk as 'n persentasie van die verdampervolume opgeneem deur die werksvloei-stof, 'n wye optimum van tussen 20% en 80% het [12, p. 1-62].

3.10 AAN-DIE-GANG-SIT-PROSEDURES.

Die aan-die-gang-sit-gedrag van hitte-tipe is moeilik om te voorspel. Kiem die effek van die werksvloei-stof en die pit op die aan-die-gang-sit-prosedures bestudeer en met die volgende algemene beskrywing vorendag gekom:

Gedurende die aan-die-gang-sit van die hitte-tipe moet damp teen 'n relatiewe hoë snelheid vloei om hitte vanaf die verdamper na die kondensator oor te dra, as gevolg waarvan die drukval deur die sentralekanaal groot sal wees. Aangesien die aksiale temperatuurgradiënt in 'n hitte-tipe bepaal word deur die val in dampdruk, sal die temperatuur van die verdamper aanvanklik heelwat hoër wees as die van die kondensator. Die temperatuur wat die verdamper behaal, sal afhang van die werksvloei-stof. Gedurende die aan-die-gang-sit sal die verdampertemperatuur verhoog totdat die hoë temperatuurfront die kondensator bereik. By hierdie punt sal die kondensator-temperatuur verhoog totdat die pypstruktuur isotermies raak [8, p. 140].

3.11 ONTWERP VAN HITTEPYP

Daar is op water as werksvloeistof besluit, omrede die goeie termiese eienskappe waaroor dit beskik. Die houermateriaal wat gekies is, is koper wat goed aanpasbaar is met water [8, P. 128]. 'n Koperpyp met die lengte van 300 mm, binnediameter 13 mm en 'n wanddikte van 1,5 mm is gebruik. Die pit is saamgestel uit 2 lae 250 gaas en 2 lae 100 gaas.

Aangesien die hittepyp veelsydig moet wees, word dit in drie verskillende posisies geëvalueer en word die hitteoordrag vir die drie verskillende posisies gemaak naamlik:

1. Pyp teen 'n hoek van 60° met verdamper onder.
2. Pyp horisontaal.
3. Pyp teen 'n hoek van 60° met verdamper bo.

3.11.1 VERDAMPER ONDER

Die pyp werk teen 'n hoek van 60° met die verdamper onder die kondensator.

Die maksimum hitteoordrag in die hittepyp by 'n gegewe temperatuur kan verkry word deur die volgende formule:

$$Q_{\text{maks}} = \dot{m}_{\text{maks}} L$$

3.3

waar \dot{m}_{maks} die maksimum vloeistofmassavloei voorstel.

As van die standaard drukbalans gebruik gemaak word en die dampdrukval ΔP_v geïgnoreer word vir die eerste benadering. Vanaf vergelyking 2.1 is:

$$\Delta P_c = \Delta P_v + \Delta P_g \quad 2.1$$

$$\frac{2\sigma_l \cos \theta}{r_c} = \frac{\mu_l}{\rho_l L} \times \frac{Q l_{\text{eff}}}{A_w K} + \rho_l g l \sin \phi \quad 3.4$$

Indien geherrangskik word om \dot{m}_{maks} te vind

$$\dot{m}_{\text{maks}} = \frac{\rho_l K A_w}{\mu_l l_{\text{eff}}} \left[\frac{2\sigma_l}{r_c} \cos \theta - \rho_l g l_{\text{eff}} \sin \phi \right] \quad 3.5$$

Die diameter van die draad van 'n 250 gaas is 0,04 mm., die dikte van 2 lae is dus 0,16 mm.

Die diameter van die draad van 'n 100 gaas is 0,11 mm., die dikte van 2 lae is dus 0,44 mm

Die totale dikte is dus $0,16 + 0,44 = 0,6$ mm

$$\begin{aligned}\therefore A_w &= 0,6 \times 10^{-3} \times \pi \times 13 \times 10^{-3} \\ &= 24,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2\end{aligned}$$

Vanaf tabel 3.4 is die porieradius $r_c = 0,002 \times 10^{-2} \text{ m}$ en die deurdringbaarheid $K = 0,302 \times 10^{-10} \text{ m}$ onderskeidelik.

Die kapillêre druk word deur die 250 gaas, en die deurdringbaarheid deur die 100 gaas bepaal.

Aanvaar perfekte benatting en gebruik die eienskappe van water by 100°C .

Waar $L = 2258 \text{ kJ/kg}$

$$\sigma_1 = 5,89 \times 10^{-2} \text{ N/m}$$

$$\rho_l = 958 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_l = 0,28 \text{ Ns/m}^2$$

$$\rho_v = 0,6 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned}\therefore \dot{m}_{maks} &= \frac{958 \times 0,302 \times 10^{-10} \times 24,5 \times 10^{-6}}{0,28 \times 10^{-3} \times 0,3} \left[\frac{2 \times 5,89 \times 10^{-2}}{0,002 \times 10^{-2}} - 958 \times 9,81 \times 0,3 \times \sin - 60^\circ \right] \\ &= 70,305 \times 10^{-6} \text{ kg/s}\end{aligned}$$

$$Q_{maks} = \dot{m}L$$

$$= 70,305 \times 10^{-6} \times 2258 \times 10^3$$

$$= 158,75 \text{ W}$$

3.11.2. SONIESE LIMIET

Die minimum aksiale hittevloed as gevolg van soniese beperking sal by die minimum werkstemperatuur van 0°C voorkom en kan soos volg bereken word:

$$\begin{aligned}q_s &= 0,474L(\rho_v P_v)^{\frac{1}{2}} && 3.6 \\&= 0,474 \times 2258 \times 10^3 (0,6 \times 1,01 \times 10^5)^{\frac{1}{2}} \\&= 263,47 \text{ Mw/m}^2\end{aligned}$$

Die soniese limiet sal dus nie 'n invloed hê indien water as werksvloeistof gebruik word nie.

3.11.3 MEESLEURINGSGLIMIET

Die maksimum hitteoordrag as gevolg van meesleuring kan soos volg bepaal word:

$$Q_{ent} = \pi r_v^2 L \sqrt{\frac{2\pi\rho_v\sigma_l \cos\theta}{\lambda}} \quad 3.7$$

Waar λ = karakteristieke afmeting van die vloeistof/damp-tussenvlak. Vir fyn gaas kan dit geneem word as 0,036 mm. [8, p. 144].

$$r_v = 6 - (4 \times 0,112 = 4 \times 0,04) = 5,892 \text{ mm.}$$

$$Q_{ent} = \pi(5,892 \times 10^{-3})2258 \times 10^3 \sqrt{\frac{2 \times \pi \times 0,6 \times 5,89 \times 10^{-2}}{0,036 \times 10^{-3}}}$$

$$= 19,341 \text{ kW}$$

Hieruit kan gesien word dat die soniese en meesleurlimiete hoër is as die drywing wat die pyp kan uitsit en dus geen beperking het op die ontwerp nie.

3.11.4 PYP HORIZONTAAL

Die pyp werk nou teen 'n hoek van 0° met die verdamper op dieselfde vlak as die kondensator. Uit vergelykings 3.3 en 3.5 volg dit:

$$\therefore \dot{m}_{maks} = \frac{958 \times 0,302 \times 10^{-10} \times 24,5 \times 10^{-6}}{0,28 \times 10^{-3} \times 0,3} \left[\frac{2 \times 5,89 \times 10^{-2}}{0,002 \times 10^{-2}} - 958 \times 9,81 \times 0,3 \times \sin 0^\circ \right]$$

$$= 49,702 \times 10^{-6} \text{ kg/s}$$

$$Q_{maks} = \dot{m}xL$$

$$= 49,702 \times 10^{-6} \times 2258 \times 10^3$$

$$= 112,22 \text{ W}$$

3.11.5 VERDAMPER BO

Die pyp werk teen 'n hoek van 60° met die verdamper onder die kondensator. Uit vergelykings 3.3 en 3.5 volg dit:

$$\begin{aligned} \therefore \dot{m}_{maks} &= \frac{958 \times 0,302 \times 10^{-10} \times 24,5 \times 10^{-6}}{0,28 \times 10^{-3} \times 0,3} \left[\frac{2 \times 5,89 \times 10^{-2}}{0,002 \times 10^{-2}} - 958 \times 9,81 \times 0,3 \times \sin 60^\circ \right] \\ &= 29,09 \times 10^{-6} \text{ kg/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{maks} &= \dot{m}xL \\ &= 29,09 \times 10^{-6} \times 2258 \times 10^3 \\ &= 65,7 \text{ W} \end{aligned}$$

3.12 VUL VAN HITTEPYP

Na reiniging en ontvetting van die hittepyp is dit geëvakueer met behulp van 'n Alcatel turbopomp na 'n druk van 1×10^{-6} mbar. 'n Voorafbepaalde hoeveelheid vloeistof is na ontgasing in die vloeibare stikstof verkoel hittepyp ingelaat. Hierna is die hittepyp toegeknyp en verseël deur dit te silwersoldeer.

TEORIE, ONTWERP EN KONSTRUKSIE VAN SONKONSENTRERDER

4.1 INLEIDING

Energie word termodinamies gedefinieer as die kapasiteit om werk te verrig. Energie word huidiglik verkry uit vier primêre bronne, naamlik: petroleum, natuurlike gas, steenkool en hout. Die lewensduur van natuurlike hulpbronne wissel van 35 jaar vir natuurlike gas tot 200 jaar vir steenkool. Soos wat die huidige energiebronne uitgeput raak, ontstaan daar 'n tekort aan energie. Verder veroorsaak hierdie bronne lugbesoedeling. Daar moet egter na langtermyn permanente energiebronne gesoek word wat verkieslik nie tot die kweekhuiseffek bydra nie. Die belangrikste twee energiebronne huidiglik is kernkrag en sonenergie. Kern-energie is koste-effektief maar, benodig egter hoë tegnologie, terwyl sonenergie meer belowend is as energiebron sonder hoë- en gespesialiseerde tegnologie vir sy wye toepassings [16, p. 1].

Sonenergie word deur middel van elektromagnetiese uitstraling vanaf die son na die aarde oorgedra. Aangesien die sonenergie-digtheid redelik laag is, moet dit verhoog word deur energiekonsentreerders te gebruik. Die sonenergie wat die aarde se oppervlakte bereik, bestaan uit twee vorme, naamlik direkte uitstraling en verstrooide strale vanaf die atmosfeer. Sonkonsentreerders is die toestelle wat gebruik word om die sonstrale na hitte om te skakel en het gewoonlik 'n

oppervlakte wat uitstraling absorbeer en die invallende vloed na hitte omskakel. Sonkonsentreerders word hoofsaaklik in twee ontwerpe geklassifiseer, naamlik: konsentrenderende konsentreerders en nie-konsentrenderende konsentreerders of platplaat absorbeerders [16, p. 9].

4.2 PLATPLAAT- KOLLEKTEERDERS.

Die platplaat-kollekteerder absorbeer so veel as moontlik van die inkomende kortgolf-, hoë energie-sonstrale. Terselfdertyd verloor die absorbeerder hitte aan die omgewing teen 'n tempo wat hoofsaaklik van die verskil in temperatuur tussen die absorbeerder en die omgewing afhang. Daar moet egter opgelet word dat platplaat-kollekteerders beide die direkte strale van die son, sowel as die verstrooide straling vanaf die hemelruim, kan gebruik. Platplaat-kollekteerders is gewoonlik staties en word gebruik vir temperature onder 95°C.

Die konsentrasieverhouding van die kollekteerder kan gevind word deur die inkomende stralingsarea te deel deur die absorbeerder-area. Die konsentrasieverhouding vir platplaat-kollekteerders met reflekteerders is relatief laag en is gewoonlik 2 [24, p. 56]. Platplaat-konsentreerders word hoofsaaklik gebruik vir ruimteverhitting, swembad- en warmwater verhitting [16, p. 43].

4.3 KONSENTRERENDE KOLLEKTEERDERS

'n Tweede metode om sonstraling na hitte om te skakel, is met behulp van 'n konsentreerkollekteerder wat 'n groot area sonstraling fokus op 'n relatiewe klein absorbeerder. Die konsentrasieverhouding van konsentreerkollekteerders is so hoog as 10,000 vir paraboliese konsentreerders. Hierdie tipe konsentreerders moet op een of ander manier die son volg, omdat dit in die algemeen slegs van direkte sonstrale gebruik maak. Die uitsondering op die reël is die saamgestelde paraboliese konsentreerder wat van 'n beperkte hoeveelheid weerkaatsende strale gebruik maak [24, p. 56].

4.4 ATMOSFERIESE DIFFUNDERING VAN SONSTRALE

Sonstrale wat normaalweg ontvang word op die oppervlakte van die aarde, word deur twee belangrike faktore beïnvloed, naamlik:

1. Atmosferiese verstrooiing deur lugmolekules, water en stof.
2. Atmosferiese absorbering van O_3 , H_2O en CO_2 .

Verstrooiing van die strale soos dit deur die atmosfeer beweeg, word veroorsaak deur die interaksie van die strale met lugmolekules, water (damp en druppels), en stofdeeltjies. Die graad van dispersie hang af van die hoeveelheid deeltjies waardeur die straal moet gaan, asook die grootte van die deeltjies relatief tot die golflengte van die straal [7, P. 64].

Absorpsie van uitstraling in die atmosfeer in die sonenergie-spektrum is grootliks as gevolg van die osoon in die ultravioletgebied en waterdamp, en koolstofdiksied in die infrarooigebied. Daar is amper totale absorbering van kort-golfuitstraling in die boonste atmosfeer vir golflengtes onder $0,29 \mu\text{m}$. Osoonabsorpsie verminder soos wat die golflengte verhoog en bokant $0,35 \mu\text{m}$ is daar geen absorbering nie.

Waterdamp absorbeer sterk in die infrarooigedeelte van die son se stralingspektrum. Sterk absorpsie vind plaas binne die stroke van $1,0$; $1,4$ en $1,8 \mu\text{m}$. Bokant $2,5 \mu\text{m}$ is die deurlating van die atmosfeer baie laag as gevolg van die absorbering van H_2O en CO_2 . Die energie in die uitstralingspektrum by $2,5 \mu\text{m}$ is minder as 5% van die totale sonstralingspektrum, en die energie wat by grond- vlak ontvang word, is baie klein [7, P. 65].

4.5 ONTWERP VAN SONKONSENTRERDER

4.5.1 INLEIDING

Die konsentreerder moet so goedkoop en eenvoudig moontlik vervaardig word. Daar is besluit om van 'n paraboliese konsentreerder gebruik te maak, aangesien 'n hoë konsentrasieverhouding nodig is om die verlangde temperatuur te verkry. Die hittepyp kan dan in die brandpunt geplaas word.

4.5.2 ONTWERP

Die konsentreerder is van tinplaat gemaak wat in segmente gesny is en op staalringe, wat die vorm van 'n parabool het, gepuntswys (fig.4.3). Die hele konsentreerder is op sy beurt weer op 'n struktuur geplaas wat kan beweeg sodat die son gevolg kan word. Die tinplaat het nie 'n baie hoëglansoppervlakte nie.

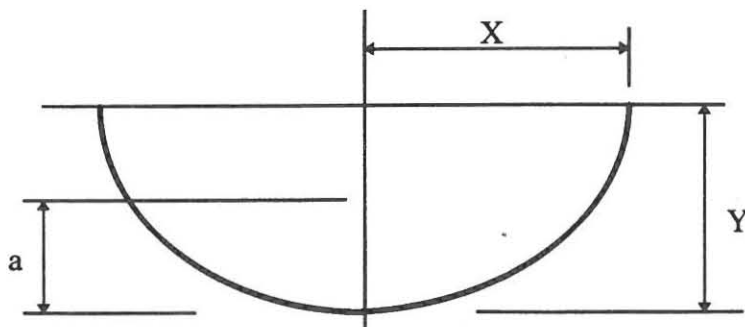
Die algemene vergelyking vir 'n parabool is:

$$x^2 = 4ay \quad 4.1$$

Waar x die horisontale verplasing is.

y die vertikale verplasing is.

a die posisie van die brandpunt



Figuur 4.1 Konstruksie van parabool

Indien die konsentreerderoppervlakte as 1 m^2 (1 kW/m^2) aangeneem word sal die diameter ongeveer 1,2 m wees. Om die 300 mm lengte

hittepype te akkommodeer, is die brandpunt in die middel van die konsentreerder gekies, dus is:

$$x = r = 0,6 \text{ m en } y = 2a$$

Dus vanaf 4.1 $\frac{x^2}{4a} = 2a$

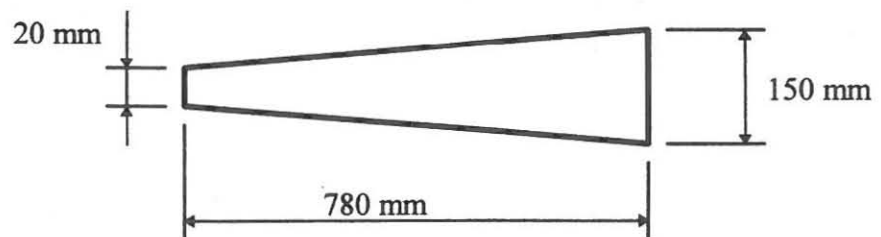
$$\frac{0,6^2}{4a} = 2a$$

$$a = 212,13 \text{ mm}$$

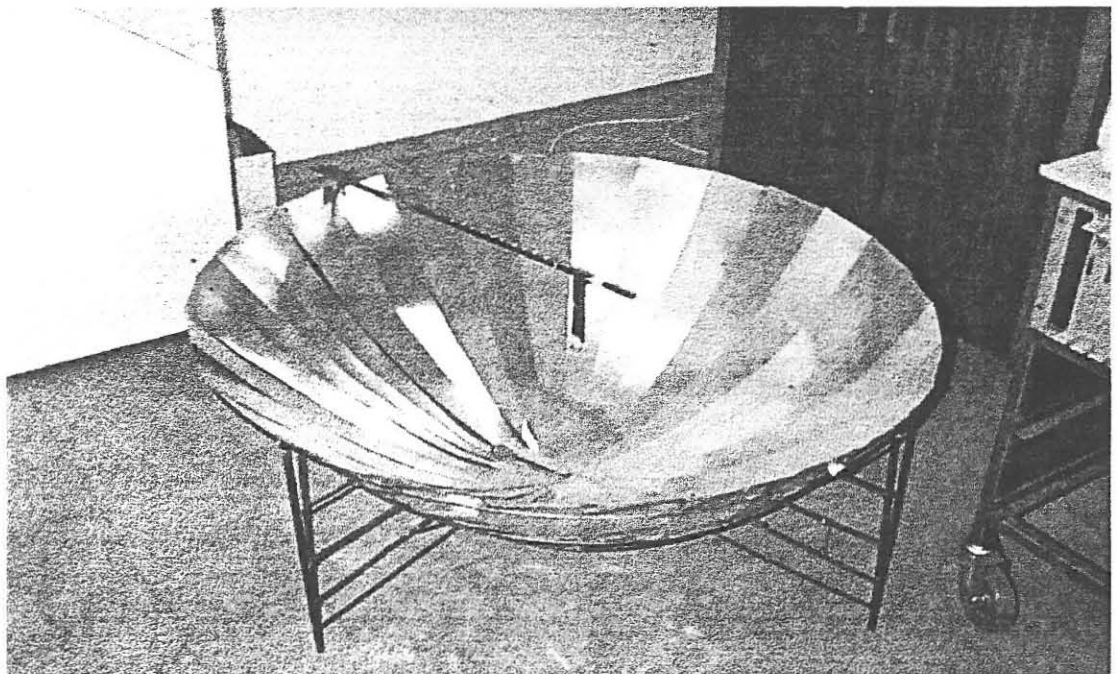
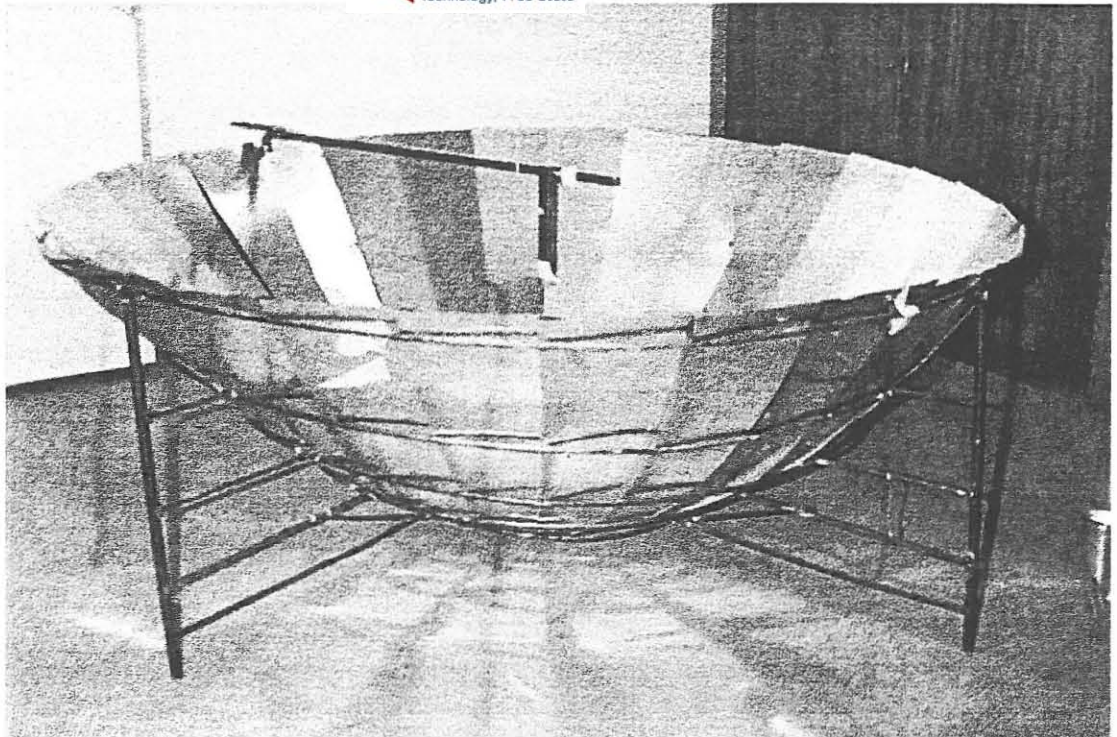
Met behulp van vergelyking 4.1 en die brandpunt op 212,13 mm, kon soveel punte as wat nodig was, bereken word om die konstruksie van die parabool te voltooi, sodat die kurve gestip kon word.

Die segmente van die sonkonsentreerder is gemaak van tinplaat met die afmetings soos aangetoon in figuur 4.2 en aan die raam gepuntsweis (fig 4.3).

Die raamwerk kon teen die verlangde hoek gestel word sodat die strale loodreg inval op die konsentreerder.



Figuur 4.2 Segmente van sonkonsentreerder



Figuur 4.3 Sonkonsentreerder

EVALUERING VAN KARAKTERISTIEKE VAN HITTEPYP EN SONKONSENTREERDER

5.1 INLEIDING

Die hittepyp en konsentreerder is eers onafhanklik geëvalueer. Die sonkonsentreerder is onder natuurlike toestande in die son geëvalueer, terwyl die hittepyp onder gesimuleerde toestande in die laboratorium geëvalueer is.

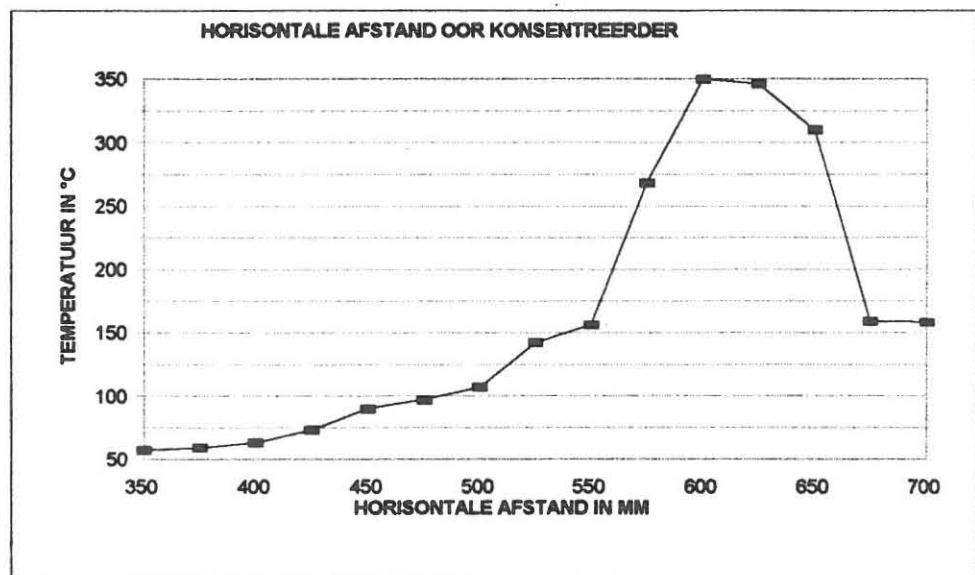
5.2 SONKONSENTREERDER

5.2.1 HITTEOORDRAG VAN SONKONSENTREERDER.

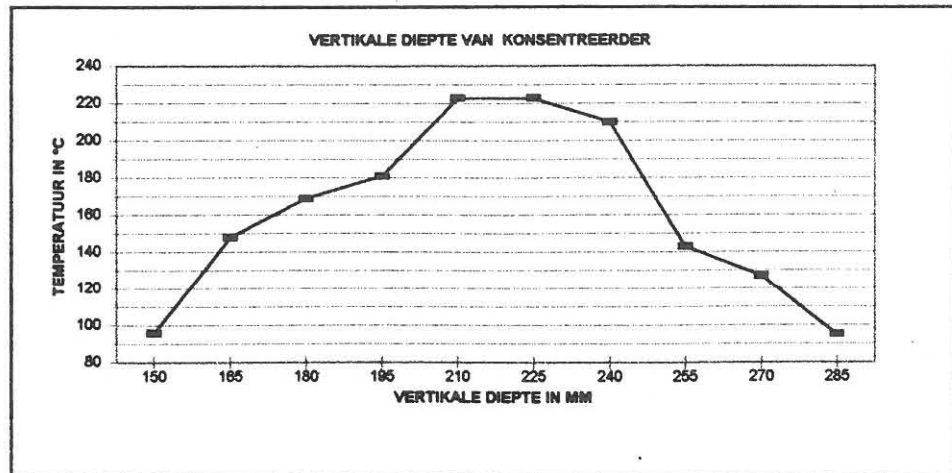
Die temperatuurmetings is driedimensioneel gedoen, dit wil sê, temperatuurlesings is op 'n vaste hoogte van 210 mm dwarsoor die konsentreerder geneem, sowel as op verskillende dieptes in die middel van die konsentreerder. Die temperatuur is met behulp van termokoppels en digitale termometers gemeet. Deur die temperature teen die verplasing te stip, kon die brandpunt akkuraat bepaal word. Na verifiëring van die brandpuntposisie kon die skottel gefokus word, en die maksimum temperatuur met behulp van die son verkry, gemeet word.

Die twee stelle metings word voorgestel deur die Figure 5.1 en 5.2. Figuur 5.1 toon die horisontale temperatuurverspreiding vanaf 'n afstand van 350 mm vanaf die kant van die konsentreerder tot op 'n afstand van 700 mm vanaf die kant. Figuur 5.2 toon die temperatuurverspreiding vertikaal ten opsigte van die konsentreerder-draaipunt, vanaf 'n afstand van 150 mm vanaf die draaipunt van die konsentreerder (riglyn) tot op 'n afstand van 285 mm vanaf die punt.

Met behulp van 'n kombinasie van hierdie twee stelle lesings was dit moontlik om enige afwyking van die gemete brandpunt, vanaf die teoretiese berekende posisie te bepaal.



Figuur 5.1 Horisontale posisie van brandpunt



Figuur 5.2 Vertikale posisie van brandpunt

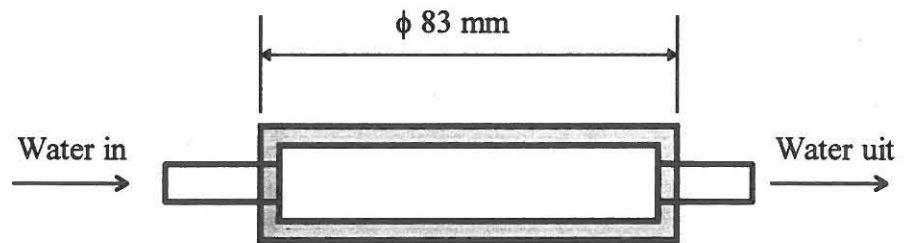
Vanaf die grafiek kan gesien word dat die brandpunt op 'n punt 600 mm vanaf die kant en 212 mm vanaf die draaipunt van die sonkonsentreerder lê. Hierdie waardes korrespondeer met die teoretiese ontwerp.

Die maksimum temperature gemeet en getoon in Figuur 5.1 en 5.2 verskil, aangesien die lesings op verskillende tye en onder verskillende toestande gemeet is. Nadat die posisie van die brandpunt bepaal is, kon die sonkonsentreerder gefokus word. 'n Maksimum temperatuur van 406°C is gemeet.

5.2.2. DRYWINGSOORDRAG VAN SONKONSENTRERDER

Die drywingsoordrag is eers met 'n houer water, wat op die brandpunt van die sonkonsentreerder geplaas is, bepaal. Die begintemperatuur van die water en die eindtemperatuur is oor 'n vasgestelde tyd gemeet. Met hierdie inligting kon die

drywing van die konsentreerder bepaal word. Die metode het egter nie bevredigende resultate gelewer nie. Die drywingsoordrag is vervolgens met behulp van 'n plat, sirkelvormige houër, waardeur water vloei, bepaal. Die buitediaameter was 83 mm, die wanddikte 0,6 mm en die hoogte 12 mm, soos getoon in Figuur 5.3.



Figuur 5.3 Sirkelvormige waterhouër (Syaansig)

Die temperatuur van die inkomende en uitgaande water is met behulp van termokoppels en digitale termometers bepaal en die vloeitempo van die water met behulp van 'n maatsilinder en 'n stophorlosie. Die drywing is soos volg bereken:

$$E = m \times L \times \Delta t. \quad 5.1$$

Waar: E = Energieoordrag

m = massavloeitempo

L = Latente warmte van water

Δt = verskil in temperatuur van inkomende- en uitgaande water.

Tabel 5.1 toon die insetdrywing, uitsetdrywing en rendement van die konsentreerder namate die son vanaf die optimum posisie beweeg het. Die insetdrywing is met behulp van 'n Davis-weerstasie model 7460 gemeet. Die konsentreerder is optimaal gefokus en in hierdie posisie gelaat, terwyl die uitsetdrywing periodiek bepaal is.

Tabel 5.1: Insetdrywing, Uitsetdrywing en rendement van sonkonsentreerder

INSET- DRYWING (W/m ²)	UITSET- DRYWING (W)	η
1111	206	16,4
1106	168	13.43
1112	155	12.33
1104	123	9.85
1062	112	9.32
1093	74.36	6.01

Uit die bostaande kan gesien word dat die sonkonsentreerder, indien gerig vir maksimum drywingsoordrag, 'n rendement van ongeveer 16% het.

5.3 HITTEPYP

Die hittepyp is in die laboratorium onder gesimuleerde toestande in die drie teoreties berekende oriëntasies geëvalueer, dit wil sê:

Posisie 1: Met die verdamper onder en die kondensator bo teen 'n hoek van 60° met die horisontraal.

Posisie 2: In 'n horisontale posisie.

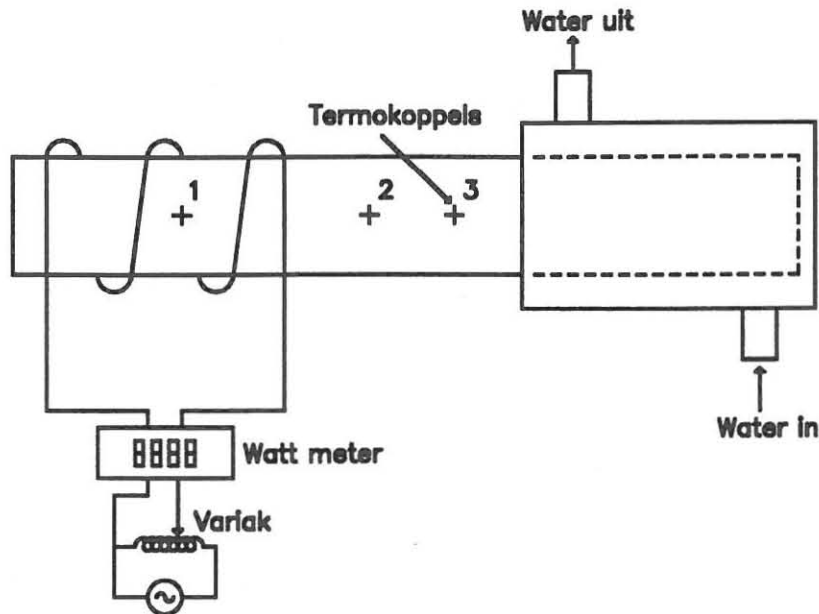
Posisie 3: Met die verdamper bo en kondensator onder teen 'n hoek van 60° met die horisontaal.

Om die hittepyp te kon evalueer, moes daar twee spesiale apparate ontwerp en gebou word, naamlik 'n verhitter en 'n watermantel. Die watermantel is sodanig ontwerp dat die hittepyp in die middel pas, en die water om die pyp kan vloei, om sodoende die hitte te kan onttrek (fig. 5.4). Die temperatuur van die inkomende water, T_1 , en die uitgaande water, T_2 , asook die temperatuur van drie termokoppels op die pyp, is gemonitor. Daar is van 'n rekenaar en dataregisteerder gebruik gemaak vir die versameling van die data. Die vloeitempo van die water is voortdurend met behulp van 'n maatsilinder en stophorlosie bepaal. Vergelyking 5.1 is gebruik om die energie-oordrag te bepaal.

Die verhitter van die verdamper is van Nichroom $3.87 \Omega/m$ weerstandsdraad gedraai, en 'n outotransformator is gebruik om die insetdrywing te beheer. Daar is van 'n Watt-meter gebruik gemaak om die insetdrywing akkuraat te bepaal,

Daar is drie termokoppels oor die lengte van die pyp aangebring. Die eerste termokoppel is in die middel van die verdamper aangebring. Op hierdie wyse kon die insettemperatuur gemonitor word. Die ander twee is oor die lengte van

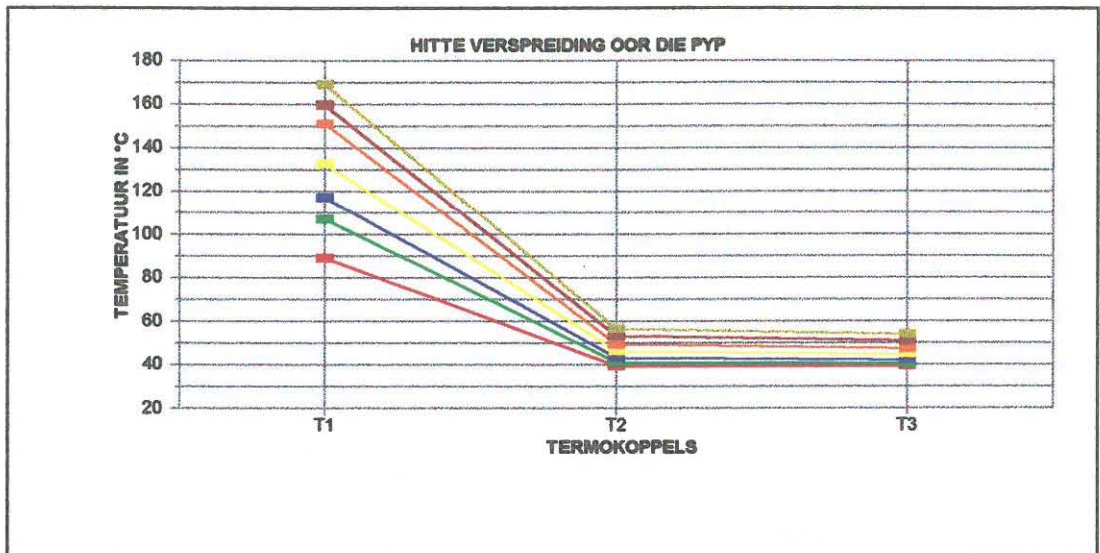
die pyp gespaseer, 50 mm vanaf die verdamper en 50 mm vanaf die kondensator (sien figuur 5.4)



Figuur 5.4 Eksperimentele opstelling vir evaluering van hittepyp

5.3.1 HITTEVERSPREIDING OOR DIE LENGTE VAN DIE PYP

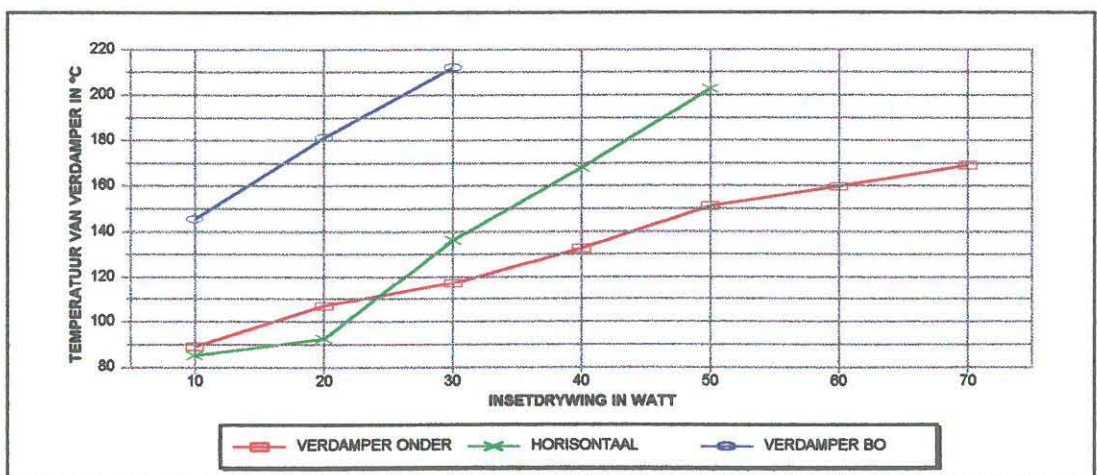
Die hitteverspreiding oor die pyp is by verskillende insettemperature gemeet. Daar is waargeneem dat, indien die temperatuur by die verdamper styg, dit ook 'n styging van temperatuur oor die lengte van die pyp veroorsaak. Die temperature by die termokoppels 2 en 3 is egter baie na aan mekaar wat aantoon dat die hitte effektief na die kondensator weggevoer word, soos in die Figuur 5.5 aangetoon.



Figuur 5.5 Temperatuurverspreiding oor die hittepyp

5.3.2 INSETDRYWING BY VERSKILLENDE INSETTEMPERATURE

Insetdrywing is in al drie posisies (sien paragraaf 5.3) gemeet en die resultate wat verkry is, word in die Figuur 5.6 aangetoon.

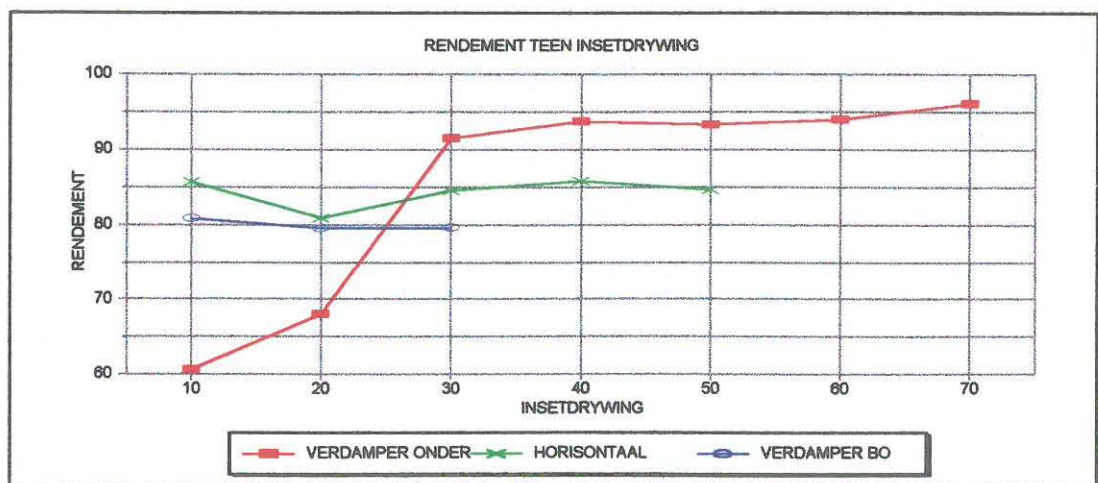


Figuur 5.6 Verdampertemperatuur as funksie van insetdrywing.

Vanaf die figuur kan gesien word dat die hittepyp met die verdamper onder meer insetdrywing benodig om die verdampertemperatuur by 'n sekere temperatuur te kry. Die hittepyp met die verdamper bo het die minste insetdrywing benodig om dieselfde temperatuur te bereik. Die rede hiervoor is dat die hittepyp met die verdamper onder die drywing die beste na die kondensator oordra, omdat gravitasie die vloeistof help om na die verdamper terug te keer. Die hittepyp (posisie 2) in 'n horisontale posisie, het soos verwag, die tweede meeste drywing oorgedra. Die temperatuur is beperk tot $\pm 200^{\circ}\text{C}$, aangesien die waterhittepyp teoreties tussen 30°C en 200°C kan funksioneer (sien tabel 2.8.)

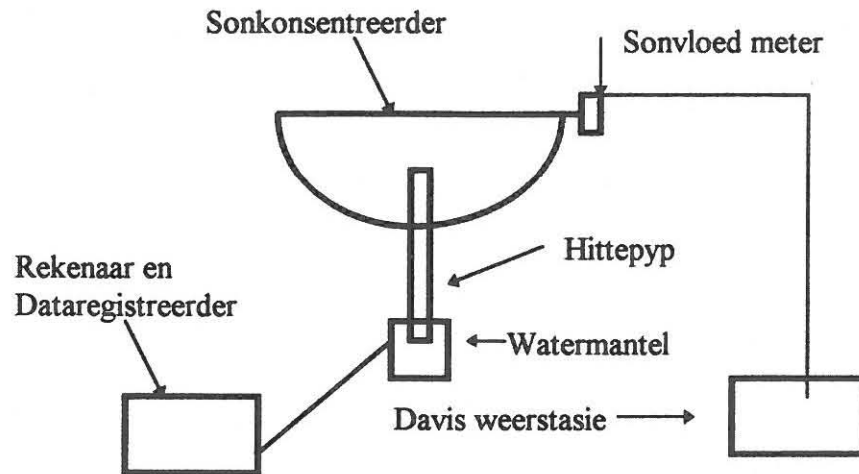
5.3.3 RENDEMENT

Die rendement van die hittepyp is in die drie verskillende posisies getoets en die resultate word in die Figuur 5.7 aangetoon.



Figuur 5.7 Rendement van hittepyp in drie verskillende posisies

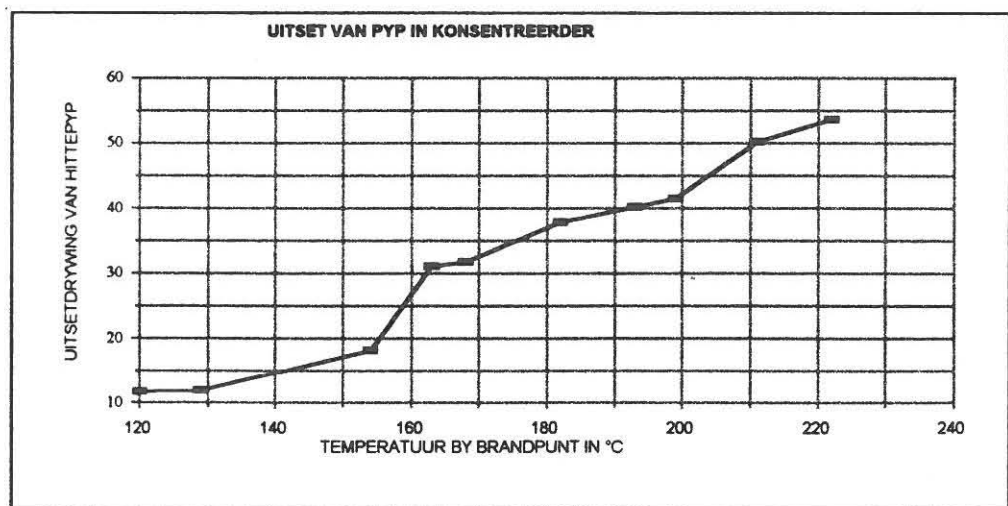
'n maatsilinder en stophorlosie gemeet.



Figuur 5.8: Blokdiagram van hittepy in sonkonsentreerder-opstelling

5.4.2 RESULTATE VAN DIE HITTEPY IN SONKONSENTRERDER

Die uitsetdrywing wat verkry is, is teen verskillende insettemperature gemeem.



Figuur 5.9 Uitsetdrywing van hittepy in sonkonsentreerder

Die lesings is gedurende Julie geneem terwyl die sonvloed 'n bietjie swakker was as gedurende Januarie. Daar kan ook net een voorwerp op 'n slag in die brandpunt van die konsentreerder geplaas word. Dit was derhalwe onmoontlik om die konsentreerder-uitset direk te meet terwyl die hittepyp in posisie was, en gevolglik kon die werklike rendement van die hittepyp in hierdie opstelling nie bepaal word terwyl die hittepyp in die konsentreerder was nie. (Die totale rendement van die stelsel kon dus ook nie akkuraat gemeet word nie.) As gevolg van hierdie probleem is die rendement van die konsentreerder en hittepyp so akkuraat moontlik apart bepaal. Indien die insetdrywing van die son 1111 w/m^2 is, en die uitsetdrywing van die hittepyp word gemeet op 54 W , dan is die algehele rendement $4,29\%$.

GEVOLGTREKKING

6.1 INLEIDING

'n Gevolgtrekking van die funksionering van die sonkonsentreerder en die hittepyp word eers afsonderlik gedoen, waarna 'n gevolgtrekking van die funksionering van die hittepyp in die sonkonsentreerder gemaak word.

6.2 SONKONSENTRERDER

Alhoewel die sonkonsentreerder so goedkoop moontlik gemaak is, en die tinplaat nie 'n hoë-glansafwerking het nie, het dit tog goeie resultate gelewer. Die konsentreerder het 'n maksimum uitsetdrywing van 206 watt gelewer. Gesien in die lig daarvan dat gepoog is om ongeveer 160 watt uit die hittepyp te verkry, was die uitset van die konsentreerder voldoende.

Die fokusmeganisme wat gebruik is om die sonkonsentreerder mee te fokus, het baie goed gewerk. Daar is egter waargeneem dat die konsentreerder elke 5 tot 7 minute gefokus moes word. Sonder 'n eenvoudige meganisme om hierdie verstelling moontlik te maak sou die bruikbaarheid van die konsentreerder veel laer wees. Die gebruik van 'n sonvolgapparaat om die konsentreerder gefokus te hou, is dus noodsaaklik.

Daar is ook waargeneem dat, indien daar 'n wind waai, dit 'n redelike invloed op die temperatuur by die brandpunt van die konsentreerder het. Daar is van deurskynende plastiek gebruik gemaak wat oor die konsentreerder getrek is om die wind af te keer. Verder is daar ook waargeneem dat indien daar vog (of stofdeeltjies) in die lug is, ook die wat nie met die blote oog sigbaar is nie, dit 'n groot invloed op die sterkte van die sonstrale het, wat die sonkonsentreerder bereik. Dit toon ooreenstemming met die absorpsie deur waterdamp in die infrarooigebied. Tydens tydperke van hoë vogtigheid is die maksimum temperatuur van die konsentreerder dus veel laer as andersins.

Die hittepyp wat in die brandpunt van die konsentreerder geplaas moet word, het ook 'n skaduwee-effek op die konsentreerder, wat die uitset van die konsentreerder nadelig beïnvloed.

6.3 HITTEPYP

Die hittepyp het baie goeie resultate opgelewer. Alhoewel die rendement met die hittepyp horisontaal sleg 79,5% was, lewer dit nog steeds voldoende hitteoordrag. Met die verdamper onder, het die pyp die hoogste rendement van 96 % gehad as gevolg van die gravitasie-effek.

Daar is waargeneem dat die temperatuur van die hittepyp met die verdamper onder ongeveer 70°C moet wees voordat dit aan die gang begin kom. Die

maksimum temperatuur is ook tot ongeveer 200°C beperk, omdat die maksimum temperatuur van 'n waterhittepyp tussen 30°C en 200°C is, om sodoende uitdroging van die pyp te voorkom.

Die hittepyp met die verdamper onder het ongeveer 80 watt oorgedra voordat 200°C bereik is. Met die verdamper bo het die hittepyp ongeveer 27 watt behaal teen 200°C, en in die horisontale posisie het dit ongeveer 48 watt behaal teen 200°C.

6.4 HITTEPYP IN SONKONSENTRERDER

Die hittepyp moes ongelukkig met die verdamper bo in die konsentreerder geplaas word. In hierdie posisie is die rendement die laagste, naamlik ongeveer 79,5%. Verder kon die uitsetdrywing van die konsentreerder nie gemeet word terwyl die hittepyp in die brandpunt van die konsentreerder is nie. Dit het tot gevolg gehad dat slegs die totale rendement van die stelsel bepaal kon word. Wanneer daar na die rendement van die hittepyp en die konsentreerder gekyk word, blyk dit dat die totale rendement ongeveer 4,29% is.

Die gevolgtrekking wat hieruit gemaak kan word, is dat indien 'n drywing van 160 watt benodig word, daar moontlik na 'n ander werksvloeistof gekyk sal moet word. Die rede hiervoor is dat die temperatuur van die sonkonsentreerder moeilik tot 200°C beperk kan word. Daar moet dus gekyk word na 'n werksvloeistof wat 'n maksimum temperatuur van 400°C kan

hanteer. By hierdie temperatuur-gebied is daar egter min stabiele vloeistowwe en dit word die dooie gebied genoem. Daar is twee vloeistowwe bekend, naamlik Dowtherm A en Kwik, wat by hierdie temperature funksioneer. Kwik skei tydens verhitting egter giftige gasse af.

SAMEVATTING

7.1 INLEIDING

'n Samevatting van die resultate behaal met die sonkonsentreerder en hittepyp word vervolgens aangebied met aanbevelings vir verdere ontwikkeling.

7.2 SONKONSENTRERDER

Die sonkonsentreerder het goed gereageer, maar daar kan gepoog word om die konsentreerder met plastiek te bedek, sodat die wind nie so 'n groot effek op die werking daarvan het nie. Verder sal 'n sonvolgapparaat om die konsentreerder gefokus te hou, die doeltreffendheid sowel as die praktiese nuttigheid verbeter.

7.3 HITTEPYP

Die hittepyp het goed gefunksioneer, veral met die verdamper in die onderste posisie (96%). Die moontlikheid om die hittepyp so te plaas dat die verdamper onder is, kan ook met vrug ondersoek word, indien die hittepyp en konsentreerder afgeskerm kan word van die wind met 'n deursigtige materiaal.

Die uitsettemperatuur van die konsentreerder kan nie beperk word tot onder 200°C nie, Dus sal verdere navorsing gedoen moet word om 'n geskikte werksvloeistof te identifiseer wat by temperature bo 400°C kan funksioneer.

EIENSKAPPE VAN WERKSVLOEISTOWWE

Eienskappe: Latente verdampingswarmte
 Vloeistofdigheid
 Digtheid van die damp
 Termiese geleiding van vloeistof
 Dinamiese viskositeit van vloeistof.
 Dinamiese viskositeit van die damp
 Dampdruk
 Spesifieke hitte van die damp
 Oppervlakspanning van die vloeistof.

HELIUM

Temp °C	Latente hitte kJ/kg	Vloeistof Digtheid kg/m ³	Damp Digtheid kg/m ³	Vloeistof Termiese Geleiding W/m°C x10 ⁻²	Vloeistof Viskos. cPx10 ²	Damp Viskos. cPx10 ³	Damp Druk Bar	Damp Spesifieke Hitte kJ/kg°C	Vloeistof Oppervl. Spanning N/mx10 ³
-271	22,8	148,3	26	1,81	3,90	0,20	0,06	2,045	0,26
-270	23,6	140,7	17,0	2,24	3,70	0,30	0,32	2,699	0,19
-269	20,9	128,0	10,0	2,77	2,90	0,60	1,00	4,619	0,09
-268	4,0	113,8	8,5	3,50	1,34	0,90	2,29	6,642	0,01

STIKSTOF

Temp °C	Latente hitte kJ/kg	Vloeistof Digtheid kg/m ³	Damp Digtheid kg/m ³	Vloeistof Termiese Geleiding W/m°C x10 ⁻²	Vloeistof Viskos. cPx10 ²	Damp Viskos. cPx10 ³	Damp Druk Bar	Damp Spesifieke Hitte kJ/kg°C	Vloeistof Oppervl. Spanning N/mx10 ³
-203	210,0	830,0	1,84	0,150	2,48	0,48	0,48	1,083	1,054
-200	205,5	818,0	3,81	0,146	1,94	0,51	0,74	1,082	0,985
-195	198,0	798,0	7,10	0,139	1,51	0,56	1,62	1,079	0,870
-190	190,5	778,0	10,39	0,132	1,26	0,60	3,31	1,077	0,766
-185	183,0	758,0	13,68	0,125	1,08	0,65	4,99	1,074	0,662
-180	173,7	732,0	22,05	0,117	0,95	0,71	6,69	1,072	0,561
-175	163,2	702,0	33,80	0,110	0,86	0,77	8,37	1,070	0,464
-170	152,7	672,0	45,55	0,103	0,80	0,83	1,07	1,6068	0,367
-160	124,2	603,0	80,90	0,089	0,72	1,00	19,37	1,063	0,185
-150	66,8	474,0	194,00	0,075	0,65	1,50	28,80	1,059	0,110



AMMONIAK

Temp	Latente hitte	Vloeistof Digtheid	Damp Digtheid	Vloeistof Termiese Geleiding	Vloeistof Viskos.	Damp Viskos.	Damp Druk	Damp Spesifieke Hitte	Vloeistof Oppervl. Spanning
°C	kJ/kg	kg/m ³	kg/m ³	W/m°C x10 ⁻²	cPx10 ²	cPx10 ³	Bar	kJ/kg°C	N/mx10 ³
-60	1343	714,4	0,03	0,294	0,36	0,72	0,27	2,050	4,062
-40	1384	690,4	0,05	0,303	0,29	0,79	0,76	2,075	3,574
-20	1338	665,5	1,62	0,304	0,26	0,85	1,93	2,100	3,090
0	1263	638,6	3,48	0,298	0,25	0,92	4,24	2,125	2,480
20	1187	610,3	6,69	0,286	0,22	1,10	8,46	2,150	2,133
40	1101	579,5	12,00	0,272	0,20	1,16	15,34	2,160	1,833
60	1026	545,2	20,49	0,255	0,17	1,27	29,80	2,180	1,367
80	891	505,7	34,13	0,235	0,15	1,40	40,90	2,210	0,767
100	699	455,1	54,92	0,212	0,11	1,60	63,12	2,260	0,500
120	428	374,4	113,16	0,184	0,07	1,89	90,44	2,292	0,150

PENTAAN

Temp	Latente hitte	Vloeistof Digtheid	Damp Digtheid	Vloeistof Termiese Geleiding	Vloeistof Viskos.	Damp Viskos.	Damp Druk	Damp Spesifieke Hitte	Vloeistof Oppervl. Spanning
°C	kJ/kg	kg/m ³	kg/m ³	W/m°C x10 ⁻²	cPx10 ²	cPx10 ³	Bar	kJ/kg°C	N/mx10 ³
-20	390,0	663,0	0,01	0,149	0,344	0,51	0,10	0,825	2,01
0	378,3	644,0	0,75	0,143	0,283	0,53	0,24	0,874	1,79
20	366,9	625,5	2,20	0,138	0,242	0,58	0,76	0,922	1,58
40	355,5	607,0	4,35	0,133	0,200	0,63	1,52	0,971	1,37
60	342,3	585,0	6,51	0,128	0,174	0,69	2,28	1,021	1,17
80	329,1	563,0	10,61	0,127	0,147	0,74	3,89	1,050	0,97
100	295,7	537,6	16,54	0,124	0,128	0,81	7,19	1,088	0,83
120	269,7	509,4	25,20	0,122	0,120	0,90	13,81	1,164	0,68

ASETOON

Temp	Latente hitte	Vloeistof Digtheid	Damp Digtheid	Vloeistof Termiese Geleiding	Vloeistof Viskos.	Damp Viskos.	Damp Druk	Damp Spesifieke Hitte	Vloeistof Oppervl. Spanning
°C	kJ/kg	kg/m ³	kg/m ³	W/m°C x10 ⁻²	cPx10 ²	cPx10 ³	Bar	kJ/kg°C	N/mx10 ³
-40	660,0	860,0	0,03	0,200	0,800	0,68	0,01	2,00	3,10
-20	615,6	845,0	0,10	0,189	0,500	0,73	0,03	2,06	2,76
0	564,0	812,0	0,26	0,183	0,395	0,78	0,10	2,11	2,62
20	552,0	790,0	0,64	0,181	0,323	0,82	0,27	2,16	2,37
40	536,0	768,0	1,05	0,175	0,269	0,86	0,60	2,22	2,12
60	517,0	744,0	2,37	0,168	0,226	0,90	1,15	2,28	1,86
80	495,0	719,0	4,30	0,160	0,192	0,95	2,15	2,34	1,62
100	472,0	689,6	6,94	0,148	0,170	0,98	4,43	2,39	1,34
120	426,1	660,3	11,02	0,135	0,148	0,99	6,70	2,45	1,07
140	394,4	631,8	18,61	0,126	0,132	1,03	10,49	2,50	0,81

METANOL

Temp °C	Latente hitte kJ/kg	Vloeistof Digtheid kg/m ³	Damp Digtheid kg/m ³	Vloeistof Termiese Geleiding W/m°C x10 ⁻²	Vloeistof Viskos. cPx10 ²	Damp Viskos. cPx10 ³	Damp Druk Bar	Damp Spesifieke Hitte kJ/kg°C	Vloeistof Oppervl. Spanning N/mx10 ³
-50	1194	843,5	0,01	0,210	1,700	0,72	0,01	1,2	3,26
-30	1187	833,5	0,01	0,208	1,300	0,78	0,02	1,27	2,95
-10	1182	818,7	0,04	0,206	0,945	0,85	0,04	1,34	2,63
10	1175	800,5	0,12	0,204	0,701	0,91	0,10	1,40	2,36
30	1155	782,0	0,31	0,203	0,521	0,98	0,25	1,47	2,18
50	1125	764,1	0,77	0,202	0,399	1,04	0,55	1,54	2,01
70	1085	746,2	1,47	0,201	0,314	1,11	1,31	1,61	1,85
90	1035	724,4	3,01	0,199	0,259	1,19	2,69	1,79	1,65
110	980	703,6	5,64	0,197	0,211	1,26	4,98	1,92	1,46
130	920	685,2	9,81	0,195	0,166	1,31	7,86	1,92	1,25
150	850	653,2	15,9	0,193	0,138	1,38	8,94	1,92	1,04

FLUTEC PP 2

Temp °C	Latente hitte kJ/kg	Vloeistof Digtheid kg/m ³	Damp Digtheid kg/m ³	Vloeistof Termiese Geleiding W/m°C x10 ⁻²	Vloeistof Viskos. cPx10 ²	Damp Viskos. cPx10 ³	Damp Druk Bar	Damp Spesifieke Hitte kJ/kg°C	Vloeistof Oppervl. Spanning N/mx10 ³
-20	390,0	663,0	0,01	0,149	0,344	0,51	0,10	0,825	2,01
0	378,3	644,0	0,75	0,143	0,283	0,53	0,24	0,874	1,79
20	366,9	625,5	2,20	0,138	0,242	0,58	0,76	0,922	1,58
40	355,5	607,0	4,35	0,133	0,200	0,63	1,52	0,971	1,37
60	342,3	585,0	6,51	0,128	0,174	0,69	2,28	1,021	1,17
80	329,1	563,0	10,61	0,127	0,147	0,74	3,89	1,050	0,97
100	295,7	537,6	16,54	0,124	0,128	0,81	7,19	1,088	0,83
120	269,7	509,4	25,20	0,122	0,120	0,90	13,81	1,164	0,68

ETANOL

Temp °C	Latente hitte kJ/kg	Vloeistof Digtheid kg/m ³	Damp Digtheid kg/m ³	Vloeistof Termiese Geleiding W/m°C x10 ⁻²	Vloeistof Viskos. cPx10 ²	Damp Viskos. cPx10 ³	Damp Druk Bar	Damp Spesifieke Hitte kJ/kg°C	Vloeistof Oppervl. Spanning N/mx10 ³
-30	939,4	825,0	0,02	0,177	3,4	0,75	0,01	1,25	2,76
-10	928,7	813,0	0,03	0,173	2,20	0,80	0,02	1,31	2,66
10	904,8	798,0	0,05	0,170	1,50	0,85	0,03	1,37	2,57
30	888,6	781,0	0,38	0,168	1,02	0,91	0,10	1,44	2,44
50	872,3	762,2	0,72	0,166	0,72	0,97	0,29	1,51	2,31
70	858,3	743,1	1,32	0,165	0,51	1,02	0,76	1,58	2,17
90	932,1	725,3	2,59	0,163	0,37	1,07	1,43	1,65	2,04
110	786,6	704,1	5,17	0,160	0,28	1,13	2,66	1,72	1,89
130	734,4	678,7	9,25	0,159	0,21	1,18	4,30	1,78	1,75



HEPTAAN

Tem p	Latente hitte	Vloeistof Digtheid	Damp Digtheid	Vloeistof Termiese Geleiding	Vloeistof Viskos.	Damp Viskos.	Damp Druk	Damp Spesifieke Hitte	Vloeistof Oppervl. Spanning
°C	kJ/kg	kg/m ³	kg/m ³	W/m°C x10 ⁻²	cPx10 ²	cPx10 ³	Bar	kJ/kg°C	N/mx10 ³
-20	384,0	715,5	0,01	0,143	0,69	0,57	0,01	0,83	2,42
0	372,6	699,0	0,17	0,141	0,53	0,60	0,02	0,87	2,21
20	362,2	683,0	0,49	0,140	0,43	0,63	0,08	0,92	2,01
40	351,8	667,0	0,97	0,139	0,34	0,66	0,20	0,97	1,87
60	341,5	649,0	1,45	0,137	0,29	0,70	0,32	1,02	1,62
80	331,2	631,0	2,31	0,135	0,24	0,74	0,62	1,05	1,43
100	319,6	612,0	3,71	0,133	0,21	0,77	1,10	1,09	1,28
120	305,0	592,0	6,08	0,132	0,18	0,82	1,85	1,16	1,10

WATER

Tem p	Latente hitte	Vloeistof Digtheid	Damp Digtheid	Vloeistof Termiese Geleiding	Vloeistof Viskos.	Damp Viskos.	Damp Druk	Damp Spesifieke Hitte	Vloeistof Oppervl. Spanning
°C	kJ/kg	kg/m ³	kg/m ³	W/m°C x10 ⁻²	cPx10 ²	cPx10 ³	Bar	kJ/kg°C	N/mx10 ³
20	2448	998,2	0,02	0,603	1,00	0,96	0,02	1,81	7,28
40	2402	992,3	0,05	0,630	0,65	1,04	0,07	1,89	6,96
60	2359	983,0	0,13	0,649	0,47	1,12	0,20	1,91	6,62
80	2309	972,0	0,29	0,668	0,36	1,19	0,47	1,95	6,26
100	2258	958,0	0,60	0,680	0,28	1,27	1,01	2,01	5,89
120	2200	945,0	1,12	0,682	0,23	1,34	2,02	2,09	5,50
140	2139	928,0	1,99	0,683	0,20	1,41	3,90	2,21	5,06
160	2074	909,0	3,27	0,679	0,17	1,49	6,44	2,38	4,66
180	2003	888,0	5,16	0,669	0,15	1,57	10,04	2,62	4,29
200	1967	865,0	7,87	0,659	0,14	1,65	16,19	2,91	3,89

FLUTEC PP9

Tem p	Latente hitte	Vloeistof Digtheid	Damp Digtheid	Vloeistof Termiese Geleiding	Vloeistof Viskos.	Damp Viskos.	Damp Druk	Damp Spesifieke Hitte	Vloeistof Oppervl. Spanning
°C	kJ/kg	kg/m ³	kg/m ³	W/m°C x10 ⁻²	cPx10 ²	cPx10 ³	Bar	kJ/kg°C	N/mx10 ³
-30	103,0	2098	0,01	0,060	5,77	0,82	0,00	0,80	2,36
0	98,4	2029	0,01	0,059	3,31	0,90	0,00	0,87	2,08
30	94,5	1960	0,12	0,057	1,48	1,06	0,01	0,94	1,80
60	90,2	1891	0,61	0,056	0,94	1,18	0,03	1,02	1,52
90	86,1	1822	1,93	0,054	0,65	1,21	0,12	1,09	1,24
120	83,0	1753	4,52	0,053	0,49	1,23	0,28	1,15	0,95
150	77,4	1685	11,81	0,052	0,38	1,26	0,61	1,23	0,67
180	70,8	1604	25,13	0,051	0,30	1,33	1,58	1,30	0,40
225	59,4	1455	63,27	0,049	0,21	1,44	4,21	1,41	0,01



THERMEX (DIFFENIEL-DIFFENIEL OKSID)

Temp °C	Latente hitte kJ/kg	Vloeistof Digtheid kg/m ³	Damp Digtheid kg/m ³	Vloeistof Termiese Geleiding W/m°C x10 ⁻²	Vloeistof Viskos. cPx10 ²	Damp Viskos. cPx10 ³	Damp Druk Bar	Damp Spesifieke Hitte kJ/kg°C	Vloeistof Oppervl. Spanning N/mx10 ³
100	354,0	992,0	0,03	0,131	0,97	0,67	0,01	1,34	3,50
150	338,0	951,0	0,22	0,125	0,57	0,78	0,05	1,51	3,00
200	321,0	905,0	0,94	0,119	0,39	0,89	0,25	1,67	2,50
250	301,0	858,0	3,60	0,113	0,27	1,00	0,88	1,81	2,00
300	278,0	809,0	8,74	0,106	0,20	1,12	2,43	1,95	1,50
350	251,0	755,0	19,37	0,099	0,15	1,23	5,55	2,03	1,00
400	219,0	691,0	41,89	0,093	0,12	1,34	10,90	2,11	0,50
450	185,0	625,0	81,00	0,086	0,10	1,45	19,00	2,19	0,03

KWIK

Temp °C	Latente hitte kJ/kg	Vloeistof Digtheid kg/m ³	Damp Digtheid kg/m ³	Vloeistof Termiese Geleiding W/m°C x10 ⁻²	Vloeistof Viskos. cPx10 ²	Damp Viskos. cPx10 ³	Damp Druk Bar	Damp Spesifieke Hitte kJ/kg°C	Vloeistof Oppervl. Spanning N/mx10 ³
150	308,8	13230	0,01	9,991	1,09	0,39	0,01	1,04	4,45
250	303,8	12995	0,60	11,23	0,96	0,48	0,18	1,04	4,15
300	301,8	12880	1,73	11,73	0,93	0,53	0,44	1,04	4,00
350	298,9	12763	4,45	12,18	0,89	0,61	1,16	1,04	3,82
400	296,3	12656	8,75	12,58	0,86	0,66	2,42	1,04	3,74
450	293,8	12508	16,80	12,96	0,83	0,70	4,92	1,04	3,61
500	291,3	12308	28,60	13,31	0,80	0,75	8,86	1,04	3,41
550	288,8	12154	44,92	13,62	0,79	0,81	15,03	1,04	3,25
600	286,3	12054	65,75	13,87	0,78	0,87	23,77	1,04	3,15
650	283,5	11962	94,39	14,15	0,78	0,95	34,95	1,04	3,03
750	277,0	11800	170,00	14,80	0,77	1,10	63,00	1,04	2,75

CAESIUM

Temp °C	Latente hitte kJ/kg	Vloeistof of Digthei d kg/m ³	Damp Digtheid kg/m ³	Vloeistof Termiese Geleiding W/m°C x10 ⁻²	Vloeistof Viskos. cPx10 ²	Damp Viskos. cPx10 ³	Damp Druk Bar	Damp Spesifieke Hitte kJ/kg°C	Vloeistof Oppervl. Spanning N/mx10 ³
375	530,4	1740	0,01	20,76	0,25	2,20	0,02	1,56	5,81
425	520,4	1730	0,01	20,51	0,23	2,30	0,04	1,56	5,61
475	515,2	1720	0,02	20,02	0,22	2,40	0,09	1,56	5,36
525	510,2	1710	0,03	19,52	0,20	2,50	0,16	1,56	5,11
575	502,8	1700	0,07	18,83	0,19	2,55	0,36	1,56	4,81
625	495,3	1690	0,10	18,13	0,18	2,60	0,57	1,56	4,51
675	490,2	1680	0,18	17,48	0,17	2,67	1,04	1,56	4,21
725	485,2	1670	0,26	16,83	0,17	2,75	1,52	1,56	3,91
775	477,8	1655	0,40	16,18	0,16	2,28	2,46	1,56	3,66
825	470,3	1640	0,55	15,53	0,16	2,90	3,41	1,56	3,41



KALIUM

Temp °C	Latente hitte kJ/kg	Vloeistof Digtheid kg/m ³	Damp Digthei d kg/m ³	Vloeistof Termiese Geleiding W/m°C x10 ⁻²	Vloeistof Viskos. cPx10 ²	Damp Viskos. cPx10 ³	Damp Druk Bar	Damp Spesifieke Hitte kJ/kg°C	Vloeistof Oppervl. Spanning N/mx10 ³
350	2093	763,1	0,002	51,08	0,21	0,15	0,01	5,32	9,50
400	2078	748,1	0,006	49,08	0,19	0,16	0,01	5,32	9,04
450	2060	735,4	0,015	47,08	0,18	0,16	0,02	5,32	8,69
500	2040	725,4	0,031	45,08	0,17	0,17	0,05	5,32	8,44
550	2020	715,4	0,062	43,31	0,15	0,17	0,10	5,32	8,16
600	2000	705,4	0,111	41,81	0,14	0,18	0,19	5,32	7,86
650	1980	695,4	0,193	40,08	0,13	0,19	0,35	5,32	7,51
700	1969	685,4	0,314	38,08	0,12	0,19	0,61	5,32	7,12
750	1938	675,4	0,486	36,31	0,12	0,20	0,99	5,32	6,72
800	1913	665,4	0,716	34,81	0,11	0,20	1,55	5,32	6,32
850	1883	653,1	1,054	33,31	0,10	0,21	2,34	5,32	5,92

NATRIUM

Temp °C	Latente hitte kJ/kg	Vloeistof Digtheid kg/m ³	Damp Digtheid kg/m ³	Vloeistof Termiese Geleiding W/m°C x10 ⁻²	Vloeistof Viskos. cPx10 ²	Damp Viskos. cPx10 ³	Damp Druk Bar	Damp Spesifieke Hitte kJ/kg°C	Vloeistof Oppervl. Spanning N/mx10 ³
500	4370	828,1	0,003	70,08	0,24	0,18	0,01	9,04	1,51
600	4243	805,4	0,013	64,62	0,21	0,19	0,04	9,04	1,42
700	4090	763,5	0,050	60,81	0,19	0,20	0,15	9,04	1,33
800	3977	757,3	0,134	57,81	0,18	0,22	0,47	9,04	1,23
900	3913	745,4	0,306	53,35	0,17	0,23	1,25	9,04	1,13
1000	3827	725,4	0,667	49,08	0,16	0,24	2,81	9,04	1,04
1100	3690	690,8	1,306	45,08	0,16	0,25	5,49	9,04	0,95
1200	3577	669,0	2,303	41,08	0,15	0,26	9,59	9,04	0,86
1300	3477	654,0	3,622	37,08	0,15	0,27	15,91	9,04	0,77

LITHIUM

Temp °C	Latente hitte kJ/kg	Vloeistof Digtheid kg/m ³	Damp Digtheid kg/m ³	Vloeistof Termiese Geleiding W/m°C x10 ⁻²	Vloeistof Viskos. cPx10 ²	Damp Viskos. cPx10 ³	Damp Druk Bar	Damp Spesifieke Hitte kJ/kg°C	Vloeistof Oppervl. Spanning N/mx10 ³
1030	20500	450	0,005	67	0,24	1,67	0,07	0,532	2,90
1130	20100	440	0,013	69	0,24	1,74	0,17	0,532	2,85
1230	20000	430	0,028	70	0,23	1,83	0,45	0,532	2,75
1330	19700	420	0,057	69	0,23	1,91	0,96	0,532	2,60
1430	19200	410	0,108	68	0,23	2,00	1,85	0,532	2,40
1530	18900	405	0,193	65	0,23	2,10	3,30	0,532	2,25
1630	18500	400	0,340	62	0,23	2,17	5,30	0,532	2,10
1730	18200	398	0,490	59	0,23	2,26	8,90	0,532	2,05

AANHANGSEL 2

TERMIESE GELEIDING VAN HITTEPYPHOUER EN PITMATERIAAL

MATERIAAL	TERMIESE GELEIDING (W/M°C)
Aluminium	205
Geelkoper	113
koper (0 - 100°C)	394
Glas	0,75
Nikkel (0 - 100°C)	88
Sagte Staal	45
Vlekvrye Staal (tipe 304)	17,3
Teflon	0,17

1. **Asselman, G.A.A. Green, D.B.** Heat pipes. Phillips Tech. Rev. vol 33, no.4, 1973. pp. 104-113.
2. **Basiulis, A. Filler, M.** Operating characteristics and long life capabilities of organic fluid heat pipes. American Institute of Aeronautics and Astronautics 6th Thermophysics Conference. April 1971, Paper 71-408.
3. **Bienert, W.** Heat pipe for solar energy collectors, International Heat Pipe Conference, Stuttgart, Oct 1973, Paper 12-1.
4. **Bohdansky, J. Schins, H.E.J.** The surface tension of alkali metals, J.Inorg.Nucl.Chem.29 1967 pp. 2173-2179.
5. **Coyne, F. Prenger, Jr en Kemme, E.J.** Performance limits of gravity-assist heat pipes with simple wick structures : Los Alamos National Laboratory. pp. 137-146.
6. **Deverall, J.E.** Mercury as a heat pipe fluid. American Society of Mechanical Engineers 1970 paper 70-HT/Spt-8.
7. **Duffie, J. A, Beckman, William A.** Solar Engineering of Thermal Processes. 2nd edition. New York. John Wiley & Sons, Inc.1991.pp. 64.



8. **Dunn, P.L. en Reay, D.A.** Heat Pipe Technology, 1st edition., Great Britain BPCC Wheatons Ltd 1994.
9. **Faghri, A.** Heat Pipe Science and Technology, 1st edition., Washington, Taylor and Francis.
10. **Gorring, R.L.Churchill, S.W.** Thermal conductivity of heterogeneous materials.Chemical Engineering Progress Symposium ,vol 57 No.7 July,1961 pp.53-59.
11. **Groll, M.** Heat pipe research and development in Western Europe. Heat Recovery systems, Vol. 9, No.1, pp. 19-66, 1984.
12. **Groll, M. Heine,D. Spendel, T.H.** Heat recovery units employing reflux heat pipes as components. Commission of the European Communities report EUR9166EN, 1984, pp.1-62
13. **Ivanovskii, M.N. Sorokin, V.P. en Yagodkin, I.V.** The physical principles of heat pipes. 2nd edition., New York. Oxford University press. 1982.
14. **Kaudinya, J.V. Vasiliev, L.L. Khaustov, V.M.** Experimental investigation on heat pipe with carbon fiber wick. 7th International Heat Pipe Conference, Minsk, 1990, pp. 577-585.
15. **Kemme, J.E.** High performance heat pipes :Los Alamos Scientific Laboratory. pp. 355-358.
16. **Kreider, J. F. Kreith, F.** Solar Heating and Cooling. 2nd edition. Washington. McGraw-Hill. 1982.

17. **Quataert, D. Busse, C.A. and** Time behavior of high temperature tungsten-rhenium heat pipes with lithium or silver as the working fluid. *International Heat Pipe Conference, Palo Alto, May 1978, Paper 4-4.*
18. **Roesler, A et al.** Performance of closed two-phase thermosyphons with high-temperature organic working fluids. 7th International Heat Pipe Conference, Minsk, 1990, pp. 483-490.
19. **Shimizu, A. Mochizuki, M. Yamazaki, S.** Characteristics of a heat pipe with Carbon fiber Wick. 7th International Heat Pipe Conference, Minsk, 1990, pp. 483-490.
20. **Terdtoon, P. Shiraishi, M. en Murakami, M.** Investigation of effect of inclination on heat transfer characteristics of closed two-phase thermosyphon. :University of Tsukuba, pp. 517-524.
21. **Takaoka, T. Motai, T. Sakaya, M. Mochizuki, M. Mashiko, K. Ito, M.** Development of long heat pipes and heat-pipe applied products. Fujikura Technical review, 1985, pp. 77-93.
22. **Winston, H.M. Ferrell, J.K. Davis, R.** The mechanism of heat transfer in the evaporator zone of the heat pipe: North Carolina State University. pp.413-420.
23. **Yamamoto, T.** Experimental study on mercury heat pipe. 7th International Heat Pipe Conference, Minsk, 1990, pp. 483-490.
24. **John, I. Yellott, PE.** Process water heat from solar energy, Heating/piping/Air Conditioning, Januarie 1981.