

**DIE ONTWERP EN IMPLEMENTERING VAN 'N LAE KOSTE
MELK-PASTEURISEERDER VIR DIE ONTWIKKELENDE
KLEINBOER**

PIETER BENHARDUS VAN ZYL

Voorgelê ter vervulling van die vereistes vir die

**MAGISTER TECHNOLOGIAE:
INGENIEURSWESE: MEGANIES**

in die

**Fakulteit Ingenieurswese
(Departement Meganiese Ingenieurswese)**

aan die

Technikon Vrystaat

Studieleier: Dr. J.A. Strauss (Ph. D)

BLOEMFONTEIN

Oktober 1997

VERKLARING

Ek, PIETER BENHARDUS VAN ZYL, verklaar hiermee dat die navorsingsprojek wat vir die MAGISTER TECHNOLOGIAE: INGENIEURSWESE: MEGANIES aan die Vrystaat deur my ingedien word, my selfstandige werk is en nie voorheen deur my of enige ander persoon ter verwerwing van enige kwalifikasie ingedien is nie.

.....
HANDTEKENING VAN STUDENT

.....
DATUM

BEDANKINGS

Hiermee wil ek my opregte dank en waardering betuig teenoor;

Dr JA Strauss wat as studieleier opgetree het. Sy vakkennis, insig en perspektief was vir my 'n groot inspirasie en motivering.

Prof GJ Prinsloo met sy positiewe invloed en inspirasie.

Die SNO wat uit sy navorsingsfonds die navorsingsprojek gedelg het.

Mnr Makoa van die Departement van Werke wat dit vir my moontlik gemaak het vir voltydse studie om die Graad te verwerf.

Met groot dankbaarheid en waardering dra ek die verhandeling aan my vrou, Linda en my kinders, Ben-Pieter en Georgene op wat my met liefde bygestaan het en opofferings moes maak tydens die studie.

Aan God gee ek al die dank en eer vir die geleentheid om die studie te voltooi.

OPSOMMING

Vir die navorsing is 'n probleem geïdentifiseer vir die kleinskaalse pasteurisering van melk in die afgeleë gebiede van die Vrystaat. Die son is as energiebron benut vir die pasteuriseringsproses. Verskeie toetse is uitgevoer met bestaande sonpanele maar dit kon nie die vereiste watertemperatuur van 65°C bereik nie. Toetse is ook uitgevoer om die regte verhouding te verkry tussen die oppervlakte, die volume water in die pasteuriseertank en die volume melk wat op een slag gepasteuriseer kan word.

Die sonpaneel wat vervaardig is, het 'n dubbelbank koperpype van 0,6 m² area om die 13 liter water na die verlangde temperatuur binne ongeveer 3 uur te verhit. Die melk, wat in 1 liter plastieksakkies verseël is, word dan daarin geplaas vir die pasteuriseringsproses. Onder die koperpype is 'n spieël van 0,3 m² area om die sonstrale te weerkaats vir effektiewer verhitting van die water. Die spieël aan die sykant is as hitte reguleerder aangewend indien die water die vereiste temperatuur oorskry. Die pasteuriseerder het die kapasiteit om 1 liter melk in ongeveer 71 minute te pasteuriseer.

Die melk is deur die Universiteit van die Oranje-Vrystaat getoets en die uitslag het getoon dat die melk wat so gepasteuriseer is, 100 % aan die vereistes voldoen.

Die navorsing maak dit nou moontlik om baie ekonomies melk te pasteuriseer deur middel van sonenergie, tot voordeel van die ontwikkelende kleinboer in afgeleë gebiede.

SUMMARY

For this research a problem was identified for the small scale pasteurizing of milk in rural areas of the Free State. The sun was utilized as an energy source for the pasteurizing process. Several experiments were carried out with existing solar panels but it was unable to reach the desired water temperature of 65°C. Tests were also conducted to get the ratio between the area, the volume of water in the tank and the volume of the milk that could be pasteurized in one batch.

The solar panel that was developed, consisted of a double bank flat copper tubes of 0,6 m² area that could heat up 13 liter of water to the desired temperature in approximately 3 hours. The milk, sealed in one litre plastic bags, could then be put into the tank for the pasteurizing process. A mirror of 0,3 m² area underneath the copper tubes reflects the sunbeams for more effective heating of the water. A mirror on the side of the panel was used to regulate the heat to the water if the desired temperature was exceeded. This milk pasteuriser has the capacity to pasteurize 1 litre of milk in approximately 71 minutes.

The milk was tested at the University of the Orange Free State and the results indicated that the milk so pasteurized complied 100 % to the requirements.

This research make it now possible to pasteurize milk very economically by utilizing solar energy, to the benefit of the small scale farmer in rural areas.



INHOUDSOPGAWE

Bladsy

HOOFSTUK 1: MELKPASTEURISERING VIR DIE ONTWIKKELDE KLEINBOER

1.1	Inleiding	1
1.2	Probleemstelling	1
1.3	Doel van die studie	1
1.4	Beplande ondersoekmetodes	2

HOOFSTUK 2: MELKPASTEURISERING

2.1	Inleiding	3
2.2	Pasteurisering van melk	3
2.3	Hoë temperatuur snelpasteurisering	4
2.4	Lot- of Hou pasteuriseerproses	7
2.5	Opsomming	9

HOOFSTUK 3 TEORETIESE BEGINSELS

3.1	Inleiding	11
3.2	Sonenergie	11
3.3	Hitte-uitruiling	12
3.4	Sonbestraling	18
3.5	Die eerste wet van Termodinamika	19
3.6	Die tweede wet van Termodinamika	19
3.7	Fourier se wet van geleiding	20
3.8	Newton se verkoelingswet	23
3.9	Swart liggaam uitstraling	26
3.10	Stefan-Boltzman se Wet	27
3.11	Hittegeleidingsmediums	28
3.12	Opsomming	30

HOOFSTUK 4: EKSPERIMENTELE OPSTELLING

4.1	Inleiding	31
4.2	Eksperimentele opstelling	31
4.3	Beskikbare energie	39
4.4	Eksperiment 1	40
4.5	Eksperiment 2	44

4.6	Eksperiment 3	45
4.7	Eksperiment 4	47
4.8	Opsomming	51

HOOFSTUK 5 PROTOTIPE MODEL

5.1	Inleiding	52
5.2	Algemeen	52
5.3	Pasteuriseerder	52
5.4	Toetsing	55
5.5	Opsomming	60

HOOFSTUK 6 SAMEVATTING

6.1	Opsomming van resultate	62
6.2	Bestaande inligting	63
6.3	Praktiese toepassings	63
6.4	Kommersiële toepassing	64
6.5	Opsomming	65

BRONNELYS	66
------------------	----

SIMBOLELYS	68
-------------------	----

FIGURE	69
---------------	----

TABELLE	70
----------------	----

AANHANGSEL 1	71
---------------------	----

AANHANGSEL 2	72
---------------------	----

INGENIEURSTEKENING	
---------------------------	--

MELKPASTEURISERING VIR DIE ONTWIKKELENDE KLEINBOER

1.1 INLEIDING

In Suid-Afrika is daar 'n behoefte aan die pasteurisering van melk op kleinskaal en veral in die afgeleë gebiede waar nie elektrisiteit beskikbaar is nie. In die boerdery sektor is daar kleinboere wat klein hoeveelhede melk beskikbaar het om 'n bestaan te maak, maar die melk is nie kiemvry nie en die verkope daarvan word deur die Wet verbied.

Vir die pasteurisering van melk is daar sekere voorskrifte wat gevolg moet word voordat dit verkoop kan word aan die publiek. Die medium moet 'n sekere temperatuur bereik in 'n spesifieke periode om te voldoen aan die vereistes soos neergelê in die "Wet op Voedingsmiddels, Skoonheidsmiddels en Ontsmettingsmiddels" [16]. Vir die ontwikkelende kleinboer is pasteurisering onmoontlik, want daar is nie infrastrukture om die melk te pasteuriseer nie en fondse is 'n beperkende faktor omdat toerusting duur is. Melk word in die gebiede net op kleinskaal geproduseer vir eie gebruik en min of geen melk word verkoop nie as gevolg van die beperkinge.

1.2 PROBLEEMSTELLING

Gesondheid is 'n groot faktor in die snelle ontwikkeling van tegnologie. 'n Leemte is geïdentifiseer om melk te pasteuriseer in gebiede waar nie elektrisiteit beskikbaar is om kieme soos Maltakoors en Brusulose te dood nie. Melk is 'n produk wat sensitief is vir die groei van die bakterieë en gevaarlike siektes en dit is dus noodsaaklik dat dit bekamp moet word op maniere wat ekonomies is vir die kleinboer.

1.3 DOEL VAN DIE STUDIE

Die doel van die studie is om 'n lae koste melkpasteuriseerder te ontwikkel d.m.v. sonenergie vir die kleinboer in die afgeleë gebiede waar elektrisiteit is nie altyd beskikbaar vir die pasteurisering van die melk nie. In die toepassing van pasteurisering van melk, is die gebruik van sonpanele nog onderontgin. Die son is 'n onuitputbare energiebron wat daagliks beskikbaar is vir die opwekking van energie vir verskeie toepassings in die ingenieurswese. Die navorsing is daarop gemik om die proses so te ontwikkel dat die probleem uitgeskakel kan word en daardeur 'n positiewe bydrae te lewer tot die bekamping van siektes asook om die afgeleë gebiede meer ekonomies te ontwikkel.

Bestaande sonpanele gaan gebruik word as energieverkaffer om die melk te pasteuriseer soos vereis deur die "Wet op Voedingsmiddels, Skoonheidsmiddels en Ontsmettingsmiddels"[16]. Die bestaande pasteuriseerders wat tans gebruik word om grootmaat melk te pasteuriseer, verhit die melk tot 72°C vir 'n periode van 15 sekondes. Die proses wat geskik is vir die gebruik van sonpanele is die lotproses, waar melk in plastieksakkies geplaas word en daarna ondergedompel word teen die vereiste temperatuur om die kieme in die melk te dood. Die minimum vereistes vir dié proses is dat melk vir ten minste 30 minute ondergedompel bly teen 'n temperatuur van ten minste 65°C. Volgens verskeie wetenskaplikes mag die verhittingstemperatuur verhoog en die tyd verkort word om die melk effektief te pasteuriseer. Verskeie eksperimente gaan uitgevoer word met bestaande sonpanele en toerusting wat reeds beskikbaar is vir die verhitting van water. Daar is reeds kommersiële lotpasteuriseerders wat met elektrisiteit werk wat gebruik word vir die pasteuriseringsproses.

1.4 BEPLANDE ONDERSOEKMETODES

Omdat water baie effektief is vir die oordraging van hitte, gaan dit gebruik word in die eksperimentele werk. Verskillende volumes water gaan gebruik word om waar te neem hoe vinnig die hitte-oordraging plaasvind en of dit effektief gaan wees vir die pasteurisering van die melk. Die melk gaan ook in verskillende volumes verhit word om te bepaal of pasteurisering wel geskied met die beskikbare hitte wat deur die son voorsien is.

In die volgende hoofstuk gaan die verskillende pasteuriseerders wat beskikbaar is, duidelik omskryf word en ook die verskillende prosesse om melk te pasteuriseer. Die pasteuriseerders wat tans beskikbaar is, word op grootskaal gebruik deur boere en die industrie.

MELKPASTEURISERING

2.1 INLEIDING

In die boerderysektor is daar reeds verskeie melk pasteuriseermasjiene beskikbaar. Die mees algemene pasteuriseerder wat tans in gebruik is, is die hoë snelpasteuriseerder. 'n Ander pasteuriseerder wat in die laaste paar jaar sy verskyning begin maak het, is die lotpasteuriseerder wat melk teen 'n stadiger tempo pasteuriseer oor 'n langer periode [9].

Sommige boere het nie die kapitaal of die kapasiteit melk om die hoëtempo pasteuriseerders aan te koop nie en maak dus van die goedkoper metodes, soos die lotpasteuriseerders, gebruik om klein hoeveelhede melk te pasteuriseer.

In hierdie hoofstuk word die verskillende pasteuriseerders asook die pasteuriserings- prosesse breedvoerig bespreek.

2.2 PASTEURISERING VAN MELK

Daar is verskeie metodes om die melk te pasteuriseer soos die lotproses waar melk vir 'n periode van 30 minute teen 65°C gehou moet word. Die ander proses is waar melk vir 'n periode van 15 sekondes teen 72°C gehou moet word [16]. In die samelewing word melk as 'n primêre voedselbron in veral die afgeleë gebiede gebruik omdat dit maklik bekombaar is en dit 'n hoë voedingswaarde het. Dit is egter gevaarlik om te gebruik sonder behandeling, omdat melk vatbaar is vir gevaarlike bakterieë. Volgens die Wet is daar sekere vereistes gestel om die probleem van gevaarlike siektes te beperk. Die bakterieë wat die gevaarlikste is, is *Escheridia coli* bakterie en ook die bruselose en maltakoors bakterieë. Om die bakterieë te dood is die pasteuriseringsproses die mees effektiewe wyse omdat die bakterieë nie toestande warmer as 65°C kan hanteer nie. Indien die bakterieë effektief vernietig wil word moet dit vir 'n spesifieke tyd aan die verhitting blootgestel wees om te verseker dat alle kieme wat nog in die melk teenwoordig is, vernietig word. Dit is ook belangrik dat die melk tot die vereiste temperatuur verkoel moet word om te verhoed dat die bakterieë weer ontwikkel en begin groei [5].

- (a) Die houters waarin die melk hanteer word by die melkproses moet so min as moontlik aan die omgewing blootgestel wees, want baie van die bakterieë bly lewendig indien dit nie skoongemaak word met spesifieke chemikalieë nie.
- (b) Die sakkies waarin die melk gepasteuriseer word moet kiemvry wees want melk is hoogs vatbaar vir die groei van kieme.
- (c) Die temperature wat die melk deurgaen tydens die melkproses is van uiterste belang, want kieme word slegs gedood by hoë temperature.

Die voorwaardes is net so belangrik as wat die pasteuriseerproses is en dit is dus noodsaaklik dat daar altyd higiënies gewerk moet word met melk.

Die groot firmas wat die melk verwerk, het groot toetslaboratoriums waar die melk daagliks getoets word voordat enige melk versprei word. Verskeie metodes word aangewend om die melk te toets of dit gepasteuriseer is of nie soos die Etanolstabiliseringstoets, die Standaard-agarplaatontledingstoets, die Stol-by-kook-toets en die Aschaffenburg-en-mullen-fosfatase-toets.

Indien dit sou gebeur dat die melk nie die toetse slaag nie, mag die melk en die byprodukte nie versprei word nie. Die Departement van Gesondheid doen gereeld aan by die firmas en die toetsverslae word gekontroleer met die toetse wat self deur die Departement uitgevoer is.

2.3 HOË TEMPERATUUR SNELPASTEURISERING

Die hoëtemperatuur snelpasteuriseringsproses word meestal gebruik deur die groot melkverspreiders wat die boere se melk opkoop, pasteuriseer, verpak en dan aan kleinhandelaars verkoop. Figuur 1 toon aan hoe die hoëtemperatuur snelpasteuriseerder lyk. Die pasteuriseerders moet groot hoeveelhede melk beskikbaar hê voordat die proses kan begin. Die masjiene lewer van 500 liter per uur tot ongeveer 10 000 liter per uur en die pasteuriseerders kan nog verder vergroot word soos die aanvraag toeneem [12].

Die pasteurisering is egter baie arbeidsintensief en hoogsopgeleide personeel is nodig om die toerusting in stand te hou. Die proses self moet uurliks gekontroleer word om te verseker dat die melk soos voorgeskryf, gepasteuriseer word. Die kostes vir die aankoop van 'n pasteuriseerder wat tot 500 liter per uur pasteuriseer beloop ongeveer R150 000,00.

2.3.1 Die proses

Melk word per tenkwa vanaf die boer se plaas na die melkdepot gebring waar die melk in groot Vlekvrye staal tenks gepomp word totdat daar genoeg melk is om met die proses te begin. Die melk gaan deur 'n vakuumtenk waar al die reuke verwyder word, want die voedingspatrone van elke boer verskil en gee dus verskillende smake aan melk. Die melk gaan vanaf die tenk na 'n roomafskeier om die melk van die room te skei. Die room word apart gepasteuriseer en weer op 'n later stadium teruggeplaas in die klaar gepasteuriseerde, afgeroomde melk.

Stoom word benut om die hitte-energie aan die melk oor te dra vir verhitting. Die pasteuriseerder bestaan uit hol vinne wat twee-twee aanmekaar vas is, een vir die melk en een vir die stoom. Die melk vloei vir ongeveer 15 sekondes deur dié vinne voordat dit gepasteuriseer is. Die melk word na die proses deur 'n sif gepers om die melk- en roomdeeltjies effektief te laat meng sodat, as die melk 'n rukkie staan, die melk nie uitsak en die room bo-op die melk dryf nie. Die gepasteuriseerde melk word dan in kleiner tenks gepomp waar dit verkoel word na ongeveer 7°C. Wanneer die melk hierdie temperatuur bereik het, word dit in sakkies of kartonhouers verpak en versprei.

2.3.2 Voordele

Dié proses van pasteurisering is voordelig vir die besigheidsman wat kapitaal het en op groot maat melk wil pasteuriseer. Groot hoeveelhede melk is beskikbaar vir die proses, veral vir die boer wat groot kuddes het. Sommige boere wat ook melk van die plaas af wil pasteuriseer, maak gebruik van die kleiner pasteuriseerders en pasteuriseer soms elke tweede dag om genoeg voorraad melk te hê vir die proses.

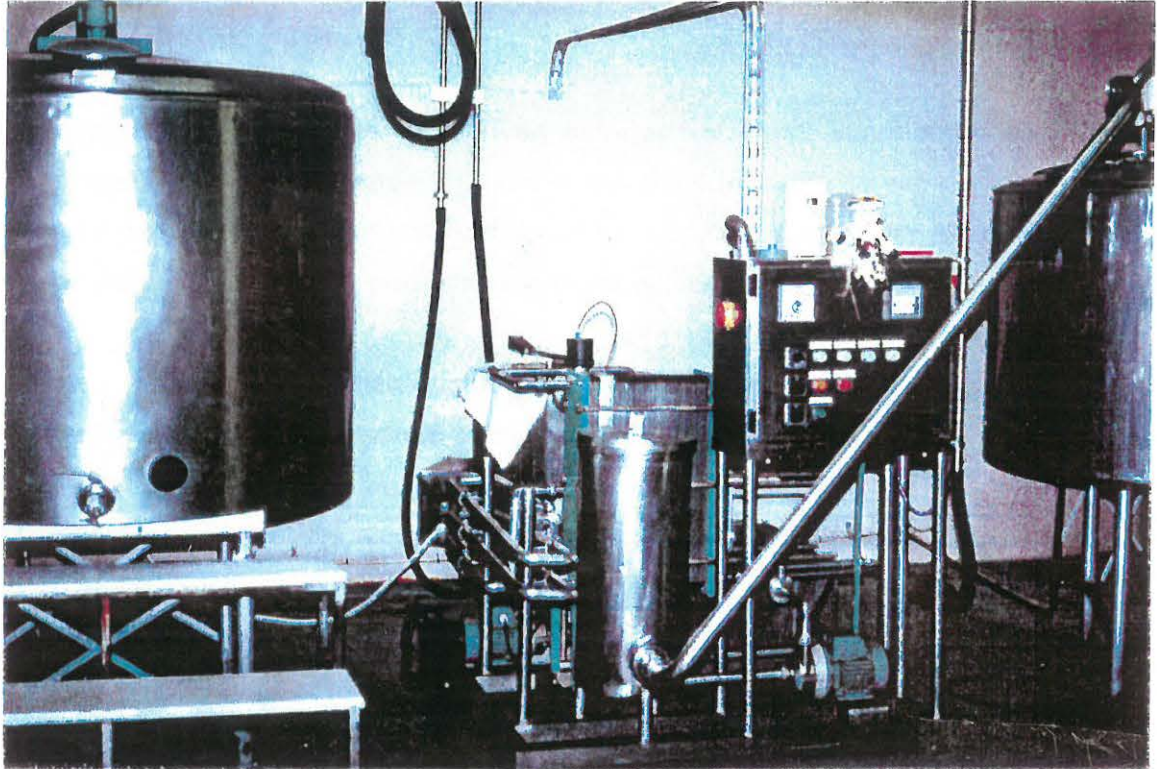


Fig. 1: Hoëtemperatuur snelpasteuriseerder

2.4 LOT- OF HOU PASTEURISEERPROSES

Die proses is 'n tydrowende proses en baie minder melk kan gepasteuriseer word. Dit is veral op die kleinboer gemik is en omdat dit nie so duur as die hoë temperatuur snelproses is nie. Die proses is ook nie so arbeidsintensief nie en kan maklik behartig word met ongeskoolde arbeid [9]. Figuur 2 toon die lotpasteuriseerder met die rakke waarin die melksakkies geplaas moet word om die vloeï van die warm water eweredig oor die sakkies te versprei. Die pasteuriseerder kan 48 sakkies op een slag pasteuriseer. Die kostes vir die lotpasteuriseerder beloop ongeveer R11 000,00

2.4.1 Die proses

Die apparaat vir die proses is klein en kan verskuif word waar dit benodig word. Die pasteuriseerder is 'n geïsoleerde tenk wat voorsien is van elemente wat die water in die tenk verhit na ongeveer 65°C. Die pasteuriseerder kan van 1 liter tot 48 liter pasteuriseer en geen pompe word benodig om die proses in werking te stel nie.

Die melk word eers in plastiekhouders van 1 liter elk geplaas en verseël deur middel van 'n apparaat wat die sakkies se wande aanmekaar seël. Die sakkies word dan in rakkies gepak om te verhoed dat dit opmekaar lê sodat die vloeï van die warmwater egalig versprei tussen al die sakkies. Die rakke met die melk, word in die tenk geplaas met 'n temperatuur van ongeveer 65°C. 'n Tydskakelaar is aan die stelsel gekoppel om te verseker dat die melk slegs vir 30 minute gepasteuriseer word, dan gaan 'n alarm af om die operateur te waarsku dat die tyd van pasteurisering verstreke is. Die oomblik as die alarm afgaan, knik al die elemente uit om die pasteuriseerproses te stop [9].

Die melk word dan in 'n koeltenk geplaas tot die temperatuur van 7°C bereik is. Nadat die hele proses voltooi is, is die melk gereed vir bemarking [9].



Fig. 2: Elektriese lotpasteuriseerder met rakke om 48 liter melk te pasteuriseer

2.4.2 Voordele

Daar is sekere voordele om melk te pasteuriseer met die lot- of houproses wat dit vir die kleinboer moontlik maak om melk op dié manier te pasteuriseer:

- (a) Die toerusting is relatief goedkoop en geen gespesialiseerde vakmanskap word benodig om die toerusting in stand te hou nie.
- (b) Die aanvanklike kapitaalluitleg vir die aankoop en installering van die toerusting is laag en dus kan die kleinboer maklik melk pasteuriseer.
- (c) Dit is nie nodig om personeel op te lei om die melk te pasteuriseer nie en die kleinboer kan van ongeskoolde arbeid gebruik maak.
- (d) Die kleinboer hoef ook nie groot kuddes aan te hou om die toerusting ekonomies aan te wend nie, want klein hoeveelhede kan ook gepasteuriseer word.
- (e) Die kleinboer wat slegs enkelfase elektrisiteit het, kan van die proses gebruik maak en hoef nie kapitaal uit te lê om drie fase elektrisiteit aan te lê vir die toerusting nie [9].

2.5 OPSOMMING

Omdat die son 'n kernbron van energie is, is daar baie navorsing gedoen om sonstrale effektief te benut en verskeie sonpanele is al ontwerp en ontwikkel om water te verhit. Die meeste sonpanele is spesifiek ontwerp vir die verskaffing van warmwater aan huishoudings. Dus is die opgaarvermoë groot en die absorbeeroppervlakte klein soos byvoorbeeld 'n kommersiële sonpaneel van ongeveer 3 m² sonoppervlakte kan 150 liter verhit tot 60°C in ongeveer 8 ure. Die sonstoof is weer ontwerp om klein hoeveelhede voedsel gaar te maak vir 'n periode van 6-8 ure. Geen literatuur kon verkry word waarin sonenergie aangewend is vir melkpasteurisering nie.

Uit die voorafgaande werk blyk dit dat die lotproses, wat nie 'n baie ingewikkeld is nie, geskik kan wees om die pasteuriseerder op die metode te ontwikkel met sonenergie as primêre hittebron.

In die volgende hoofstuk gaan die teoretiese beginsels van sonenergie uiteengesit word en gebruik word om 'n sonpaneel te ontwikkel wat uitsluitlik vir die doel van melkpasteurisering aangewend kan word.

LITERATUUR EN TEORETIESE BEGINSELS**3.1 INLEIDING**

In die vorige hoofstuk is die verskillende tipe pasteuriseerders en die toepassing daarvan ondersoek.

In dié hoofstuk gaan die teoretiese beginsels vir die oordraging van sonenergie ondersoek word om 'n melkpasteuriseerder te ontwikkel.

3.2 SONENERGIE

Daar is sekere beginsels wat in die ontwerp as konstant aanvaar sal word aangesien die projek nie 'n uitbreiding is op die ontwikkeling van 'n alternatiewe sonpaneel nie, maar om eerder bestaande toerusting te gebruik en te verander wat reeds beskikbaar is vir ontwerp van die pasteuriseerder, indien dit aan die vereistes voldoen.

Die son se uitstralingsenergie het sekere beperkings wat in ag geneem moet word wanneer dit as energiebron benut wil word. Wolkbedekkings kom onreëlmatig voor wat die direkte uitstraling beperk en verhoed dat die uitstraling konstant benut kan word [15].

Alhoewel dit beperk word, is daar nog gebroke uitstraling wat weer op ander metodes opgevang kan word. Min navorsing is gedoen op die gebied van gebroke sonenergie. Met die navorsing word meer gekonsentreer op direkte sonenergie aangesien Suid-Afrika 'n land is met relatief baie sonskyn.

Die tweede groot probleem van die uitstraling van die son, is dat dit op verskeie areas in die land meer effektief is. Onbewoonde gebiede, soos die Namibwoestyn, is uitstekend vir die benutting van sonenergie omdat daar nie wolkbedekking voorkom nie.

Derdens kan son slegs bedags direk benut word wat die gebruik van sonenergie beperk, tensy die hoeveelheid energie opgegaar word in 'n medium soos byvoorbeeld in 'n battery of 'n vloeibare medium. Dan kan die energie ook in die nag benut word [3].

In Bloemfontein is die gemiddelde uitstraling van die son ongeveer $0,886 \text{ kW/m}^2$ in die winter en ongeveer 1 kW/m^2 in die somer volgens die weerkantoor in Pretoria se statistieke [15]. Die Vrystaat is dus 'n ideale gebied vir sonenergiebenutting.

3.2.1 Sonstoof

'n Opvanger wat reeds ontwikkel is, is die sonstoof wat gebruik word om voedsel gaar te maak. In figuur 3 word die konstruksie van die sonstoof aangetoon. Volgens die bemarker het die apparaat 'n kapasiteit om 1 liter water binne minute te verhit na 96°C . Die area van die sonopvanger is 1 m^2 . Volgens eie berekeninge (sien aanhangsel 1) moet 1 kg water in egter 297 sekondes (4 minute 57 sekondes) verhit word vanaf 25°C na 96°C met 1 kW. [10].



Fig. 3: Sonstoof met 'n paraboliese spieël om klein hoeveelhede voedsel te verhit

Alhoewel die sonstoof baie effektief is volgens die bemarker, sal dit nie vir pasteurisering gebruik kan word nie, want die temperatuurverandering is te groot en word te hoog as 1 liter melk verhit word. Die temperatuur kan nie gereguleer word om die melk vir die vereiste periode teen die voorgestelde tyd te pasteuriseer nie.

3.2.2 Sonpaneel

'n Kommersiële sonpaneel wat beskikbaar is, bestaan uit ses koperpype met 'n lengte van 1.2 meter elk wat gebed is in aluminium plaat met 'n dikte van 2 mm. Die hele paneel is geïsoleer en is swart geverf om maksimum straling te absorbeer. Die paneel verhit 150 liter water na ongeveer 60°C indien die water nie benut word nie [17]. Figuur 4 toon die konstruksie van die sonpaneel en tabel 1 toon die werklike gemete temperature oor 'n periode van een week. Uit die gegewens kom dit na vore dat die kommersiële sonpaneel nie die vereiste temperature van 65°C vir pasteurisering kon behaal nie.

3.3 HITTE-UITRUILING

Hitte-uitruiling kom in feitlik alle dele van die samelewing en die natuur voor. Indien 'n energiebron met enige voorwerp in aanraking kom word energie opgeneem of afgegee deur die voorwerp en die voorwerp stel weer energie vry of neem dit op totdat ewewig verkry is. Temperatuur speel dus 'n primêre rol in die uitruilingsprosesse. Daar is verskeie prosesse van hitte-uitruiling, soos geleiding, konveksie en uitstraling [2].

Tabel 1: Die tabel toon die gemete waardes van die kommersiële sonpaneel oor 'n periode van een week.

Datum	Temperatuur °C na 8 ure	Weerstoestande
10/6/1996	61,2	10 % bewolk
11/6/1996	61,8	Mooiweer
12/6/1996	62,6	Mooiweer
13/6/1996	63,1	Mooiweer
14/6/1996	61,7	5 % Bewolk



Fig. 4: Kommersiële warmwater sonpaneel met 'n kapasiteit van 150 liter water.

3.3.1 Geleiding

Die oordraging van hitte deur soliede liggame word geleiding genoem. Geleiding is die oordrag van hitte van een stof (vastestof of vloeistof) na 'n ander stof indien dit direk in kontak met mekaar is. Lug is een van die beste isolasie mediums en daarom is dit noodsaaklik dat kontak effektief moet wees. Die twee stowwe moet ook verskil in temperatuur om die proses moontlik te maak [2]. Figuur 5 toon die termiese geleidingsvermoë van 'n paar vloeistowwe, wat moontlik in die navorsing gebruik kan word, aan.

3.3.2 Konveksie

Konveksie is die oordrag van hitte na vloeistowwe of gasse indien dit meng. Daar is twee soorte van konveksie naamlik natuurlike konveksie en gedwonge konveksie. Natuurlike konveksie kom voor wanneer die digtheid van die stof verander indien dit verhit of verkoel word. Uitruiing vind dan plaas soos die stof meng totdat ewewig verkry is, soos byvoorbeeld die huishoudelike geiser. Die huishoudelike geiser se element is onder geplaas om die water te verhit. Die water styg op en hou aan meng tot ewewig verkry is. Sodra ewewig verkry is sal die termostate van die geiser afskakel omdat al die water dieselfde temperatuur bereik het. Gedwonge konveksie kom voor indien 'n medium in beweging gestel word deur 'n energiebron en dus die proses versnel.

Die oordraging van hitte vanuit 'n soliede liggaam na 'n vloeistof of 'n gas kan deur konveksie plaasvind. Wanneer daar 'n merkbare beweging van die gas of vloeistof is, is die geleiding weglaatbaar klein as dit vergelyk word met konveksie. Daar is wel 'n klein hoeveelheid vloeistof teen die soliede liggaam en daar kom geleiding ook voor [2].

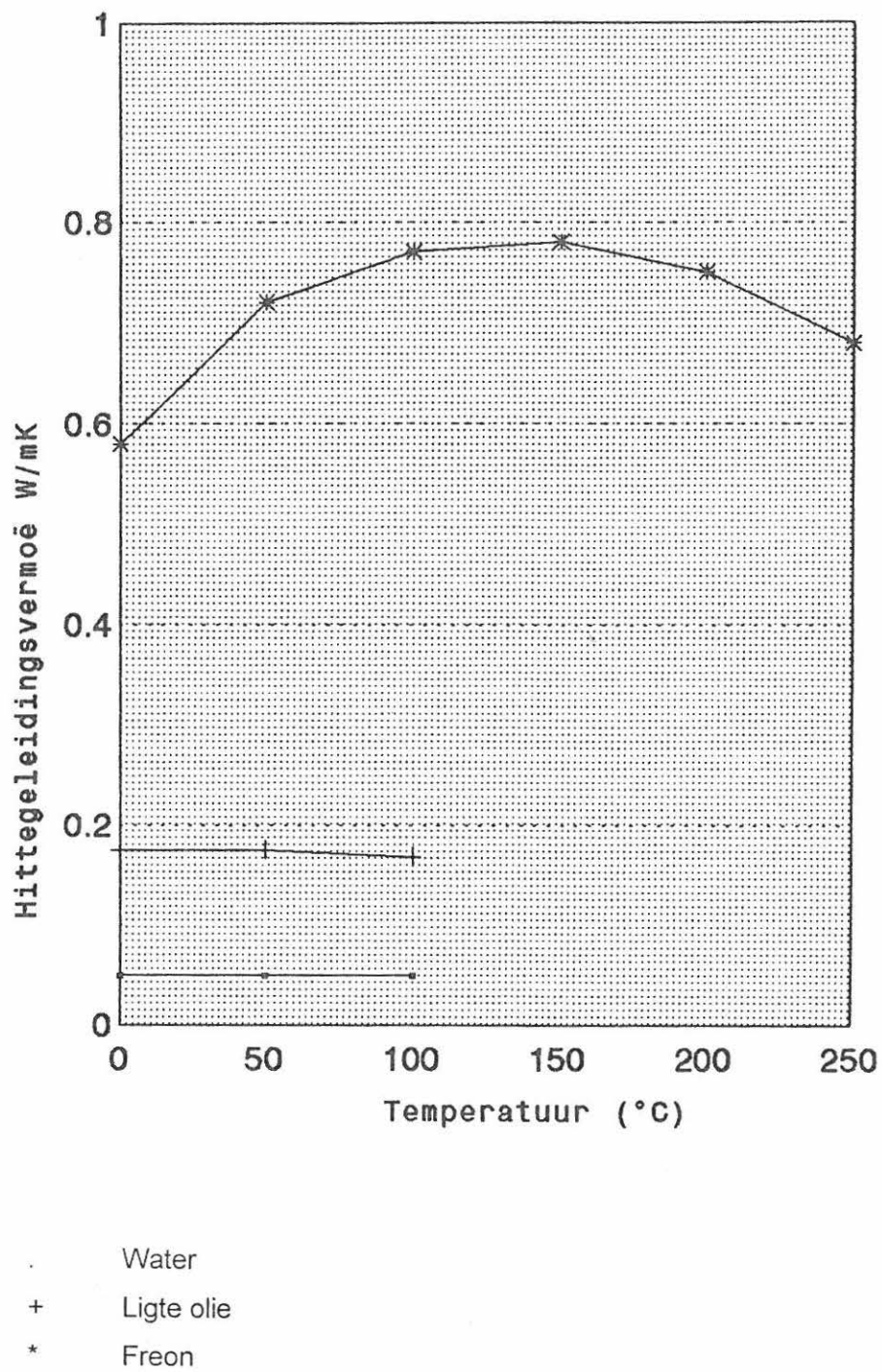


Fig. 5: Geleidingsvermoë van sekere vloeistowwe.

3.3.3 Uitstraling

Alle materie het een of ander vorm van elektromagnetiese uitstraling behalwe as die temperatuur absoluut zero is. Daar is gevind dat hoe hoër die temperatuur van 'n medium is, hoe meer energie straal dit uit. Indien twee massas met verskillende temperature naby mekaar geplaas word, sal die een wat kouer is meer energie opneem as wat dit afgee en die ander massa sal weer meer energie afgee as wat dit opneem. Die vorm van energie-oordraging word uitstraling genoem. Hitte-oordraging deur uitstraling kom die algemeenste voor tussen soliede liggame maar dit is ook moontlik deur gasse. Sekere gasse absorbeer en straal uit teen spesifieke golflengtes terwyl soliede liggame oor 'n wye reeks van golflengtes hitte uitstraal. Uitstraling het nie 'n medium nodig vir die voortplanting van energie nie, byvoorbeeld die uitstraling van die son. Daar is in die ruimte geen materie wat die uitstraling kan oordra nie en slegs die strale wat deur die atmosfeer op die aarde straal kan benut word [2]. Figuur 6 toon die spektrum van elektromagnetiese golflengtes aan.

In 1800 het die wetenskaplike W. Herdel eksperimente uitgevoer waar hy ontdek het dat verskillende kombinasies van gekleurde glas sekere grade van hitte uitstraal. Die hoogste intensiteit van hitte is verkry by die rooi gedeelte van die prisma [4].

'n Elektriese lamp is later ontwikkel wat die uitstraling van die son namaak en so kan dit gereguleer word vir die verkryging van die infrarooi lig [15]. Tabel 2 toon die verskillende grade van hitte-intensiteit aan in die infrarooi streek van 'n prisma [15].

Tabel 2: Infrarooi uitstraling

Infrarooi streek	Golflengte μm	Totale uitstraling % eenheid
Naby	0 - 3	0,1
Middel	3 - 30	83
Ver	30 - 300	17
Sub Mill.	300 - 1000	0,02

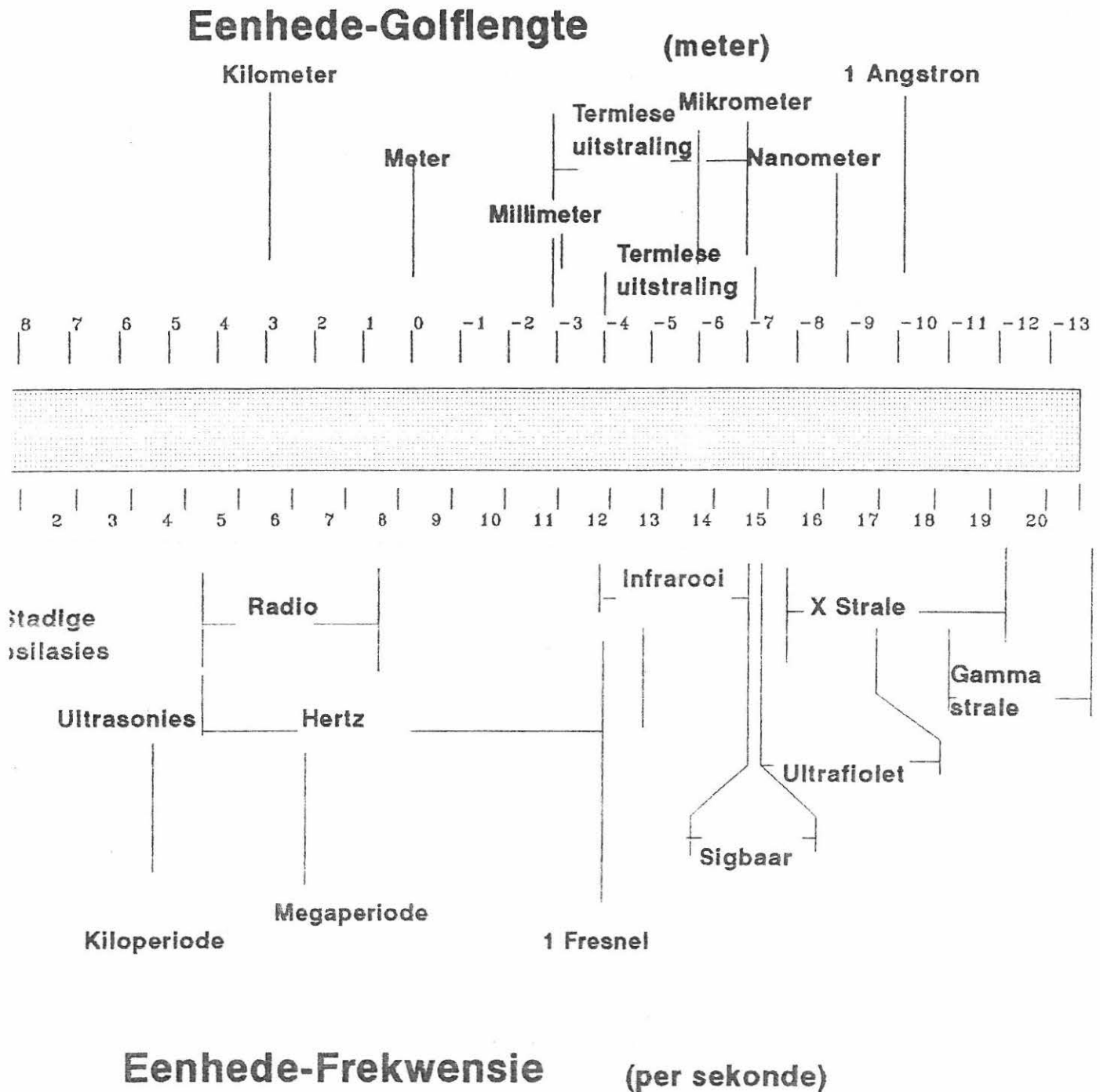


Fig. 6: Elektromagnetiese golfspektrum

Die son se uitstraling in terme van infrarooi lê tussen 5-30 mikrometer. Die hoeveelheid uitstraling wat beskikbaar is, hang af van die hoeveelheid stofdeeltjies in die lug. Die son se straling bestaan dus uit ongeveer 60 % infrarooi. Water is een van die stowwe wat die meeste infrarooi opneem en daarom word dit as 'n hitte uitruilmedium gebruik in sonpanele.

Ultravioletstrale kom voor in die omgewing tussen 10 en 350 nanometers en word opgedeel in drie verdere sones nl. uiterste-ultraviolet (10-90 nm), ver-ultraviolet (90-200) en naby-ultra violet (200-350 nm) [14].

Die vereiste temperatuur hoef dus nie noodwendig verkry te word nie, want die ultravioletstraal vernietig die bakterieë teen 'n laer temperatuur. Daar is wetenskaplikes wat reeds navorsing doen om melk op die wyse te pasteuriseer [14].

Straling, konveksie en geleiding is 'n vorm van elektromagnetiese energie en dit word in die vorm van hitte gemeet. As 'n vaste stof verhit word, dan begin die molekules aktief raak deur middel van vibrasie, rotasie of ladings. Die veranderinge kan ook in terme van golflengtes uitgedruk word en is by sommige stowwe moeilik meetbaar [14].

Om die berekeninge te doen is 'n formule saamgestel:

$$\dot{Q} = z \times v = \frac{c_0}{n}$$

Waar: $\dot{Q}$	=	Stralings hitte-oordraging
z	=	Golflengte (m)
v	=	Frekwensie
c_0	=	Spoed van lig in 'n vakuum
n	=	Indeks van ligbreking.

3.4 SONBESTRALING

Die strale wat daagliks deur die son uitgestraal word, word in twee groepe geklassifiseer, nl. direkte sonstrale en indirekte sonstrale. Die direkte sonenergie is die direkte strale van die son wat op die aarde skyn. Die indirekte sonenergie is die strale wat nie direk op die aarde skyn nie maar wat deur weerkaatsing of breking op die aarde skyn. Die toepassing van uitstraling van die son is in die begin van ontwikkeling en daarom is dit nog baie onderbenut en oneffektief [14].

3.5 DIE EERSTE WET VAN TERMODINAMIKA

Die eerste wet van termodinamika word ook die behoud van energie genoem, m.a.w. energie kan nie geskep of vernietig word nie, maar kan omskep word van een vorm na 'n ander. Hitte opgeneem of afgegee is die som van verandering in interne energie en arbeid verrig vir 'n nie-vloeiproses:

$$Q = U + W_d$$

Waar Q = Hitte opgeneem of afgegee (kJ)

U = Verandering in interne energie(kJ)

W_d = Arbeid verrig (kJ)

Die hitte word verkry deur $Q = m \times c (T_2 - T_1)$

Om die drywing (hittevloeiempo) te verkry moet die formule aangepas word en tydseenheid moet bygevoeg word:

$$Q = \frac{m \times c \times (T_2 - T_1)}{t}$$

Waar m = massa (kg)

c = Spesifieke warmtekapasiteit van die stof (kJ/kg K)

T_2 = Temperatuur (eind) (C)

T_1 = Temperatuur (begin) (C)

Q = Hittevloeiempo (kW)

t = Tyd (sekondes)

3.6 DIE TWEDE WET VAN TERMODINAMIKA

Hitte sal vloei van 'n warm liggaam na 'n koue liggaam, maar nie van 'n koue liggaam na 'n warm liggaam sonder die invloed van eksterne energie nie, soos byvoorbeeld 'n yskas, benodig energie om hitte te verwyder van 'n koue gedeelte en dit af te gee aan 'n hoër temperatuur. Volgens die tweede wet moet meer hitte verskaf word as wat nodig is, want verliese ontstaan a.g.v. straling [6].

3.7 FOURIER SE WET VAN GELEIDING

Fourier se wet van geleiding bepaal dat die vloei van hitte van een stof direk eweredig is aan die area loodreg op die stof in die rigting van hittevloei en ook aan die verandering in temperatuur, afhanklik van die dikte van die stof. In figuur 7 word die wet uiteengesit d.m.v. 'n dun soliede liggaam met 'n dikte dx , 'n area A en 'n temperatuur T aan die een kant en met 'n temperatuur $(T + dT)$ aan die anderkant. Met Fourier se wet kom die hitte vloei voor in die rigting x :

$$\text{Tempo van hittevloei } \dot{Q} \propto \frac{AdT}{dx}$$

$$\text{of } Q = -\lambda \frac{dT}{dx}$$

waar	Q	=	Tempo van hittevloei (W)
	A	=	Verhittingsoppervlakte (m^2)
	λ	=	Termiese geleidingsvermoë (W/mK)
	T	=	Temperatuur (K)
	dx	=	Dikte van die stof (m)

Die tempo van hittevloei in die rigting van x word as positief aanvaar. Die term λ word genoem die termiese geleidingsvermoë van 'n materiaal en kan gedefiniëer word as die hittevloei per eenheidsarea per eenheidtyd as die temperatuur verlaag met een graad Celsius per eenheidafstand. Die eenheid λ word uitgedruk in W/mK. Beskou die hittevloei deur die materiaal soos getoon in figuur 7 by snit X-X.

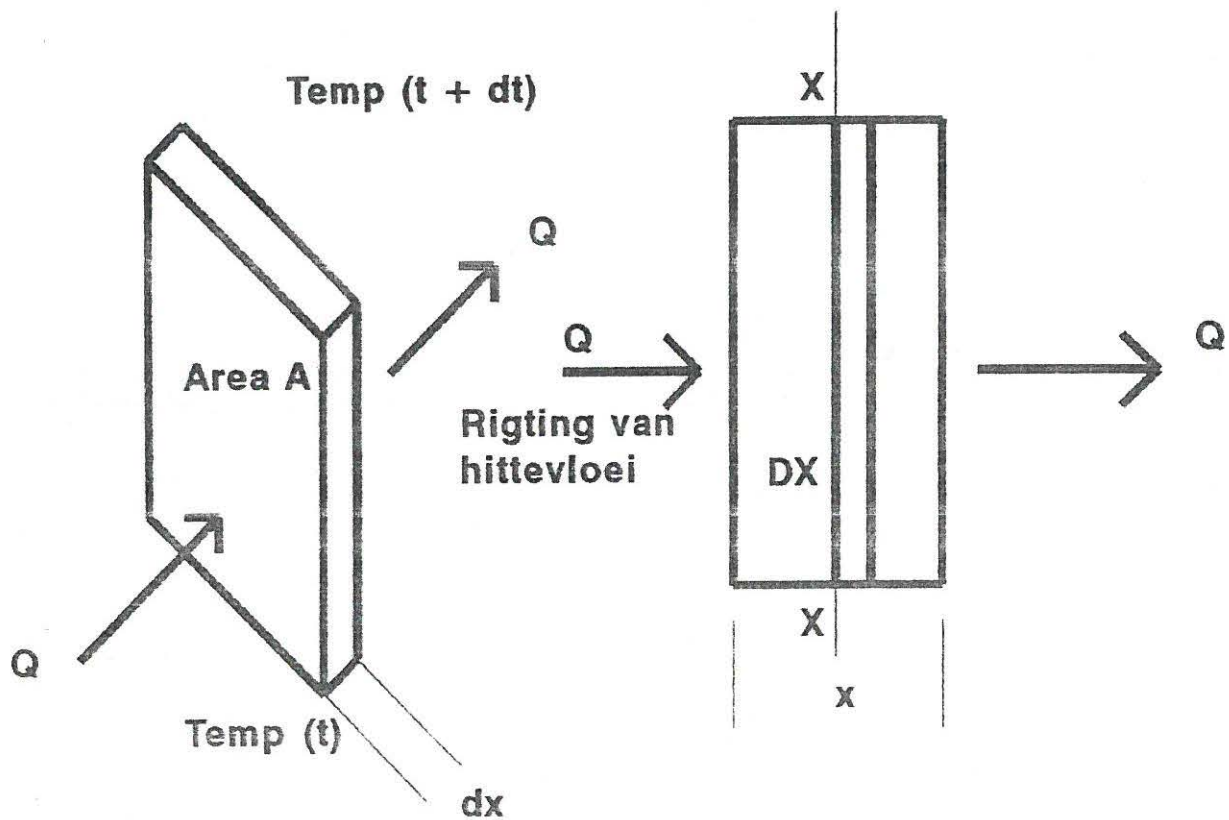
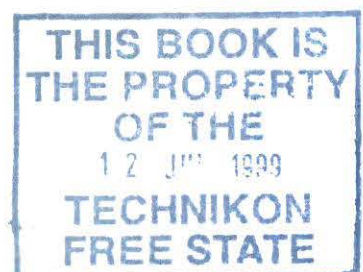


Fig. 7: Voorstelling van hittegeleiding deur 'n dun liggaam.



$$\dot{Q} = -\lambda A \frac{dT}{dx}$$

$$\int_0^d Q dx = \int_{T_1}^{T_2} \lambda A dT$$

of

$$Qd = A \int_{T_1}^{T_2} \lambda dT$$

Die vergelyking kan opgelos word as die termiese geleidingsvermoë en die temperature bekend is.

Vir die meeste soliede materiale is die waarde feitlik konstant oor 'n wye reeks temperature en daarom kan λ as konstant aanvaar word.

$$\dot{Q}d = -A\lambda \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$\text{of } \dot{Q}d = \lambda \frac{A(T_2 - T_1)}{d}$$

$$\dot{Q} = -\lambda \frac{A(T_1 - T_2)}{d}$$

In dié geval is die area in die loodregte rigting van die materiaal en die hittevloei bly dan konstant. Tabel 3 toon die termiese geleidingsvermoë van 'n paar vaste stowwe. Alle materiale wat 'n goeie termiese geleidingsvermoë het, is ook goeie geleiers. Materiale wat dus swak geleidingsvermoë het is dus goeie isolators. Geleiding is ook die beste in suiwer metale en feitlik geen geleiding kom voor in nie-metale nie. Die rede vir die verskynsel is dat hoe minder dig 'n materiaal is, hoe meer lugopeninge is teenwoordig, wat dus die geleiding beperk [2].

Tabel 3: Die geleidingsvermoë van verskeie vastestowwe

Stof	Geleidingsvermoë W/mK
Suiwer koper	386
Suiwer Aluminium	229
Gietyster	52
Sagte staal	48,5
Stene	0,35 – 0,7
Plastiek	0,225
Water	0,58

3.8 NEWTON SE VERKOELINGSWET

Newton se verkoelingswet bepaal dat die hitte oorgedra van 'n vastestof met 'n area A by 'n temperatuur T_w , na 'n vloeistof met 'n temperatuur T , as volg uitgedruk word;

$$\dot{Q} = \alpha (T_w - T)$$

waar $\dot{Q}$ = Tempo van hittevloei (W)

α = Hitte-oordrag koëffisiënt (W/m²K)

A = Area van die vastestof (m²)

T_w = Temperatuur van die vastestof(°C)

T = Temperatuur van die vloeistof (°C)

Die hitte-oordragkoëffisiënt α se waarde word bepaal deur die geleidingsvermoë van die vloeistof en sy snelheid. Die formule sluit nie die hitteverliese as gevolg van uitstraling in nie [2].

In die geval waar koue melk in 'n warm stoortenk geplaas word, vind uitruiling plaas tussen die twee vloeistowwe met 'n vastestof wat die twee vloeistowwe skei. Plastiek, met 'n dikte van ongeveer 0,2 mm, het 'n termiese weerstand wat die hittevloei tussen die twee vloeistowwe beperk.

Die termiese geleidingsvermoë van plastiek is ongeveer 0,15 W/mK. In figuur 8 word die hitte-uitruiling voorgestel om te sien hoe die temperatuur verskil oor die soliede area. Hoe nader aan die medium beweeg word, hoe vinniger daal die temperatuur in 'n paraboliese verhouding. Deur die medium is die daling in temperatuur konstant en aan die anderkant van die medium is daar weer 'n hiperboliese daling in temperatuur soos die vloeistof verder van die medium af beweeg. Dit is ook uiters belangrik om 'n spesifieke medium te kry om die hitte-uitruilingsproses effektief te laat plaasvind.

Die hitte-uitruiling tussen die twee vloeistowwe word deur middel van geleiding oorgedra en dus word die formule van Fourier gebruik. Die hittegeleidingstempo tussen die vloeistof en die vastestof word verkry deur die formule:

$$\dot{Q} = \frac{\lambda a A (T_a - T_1)}{\delta a} \quad (1)$$

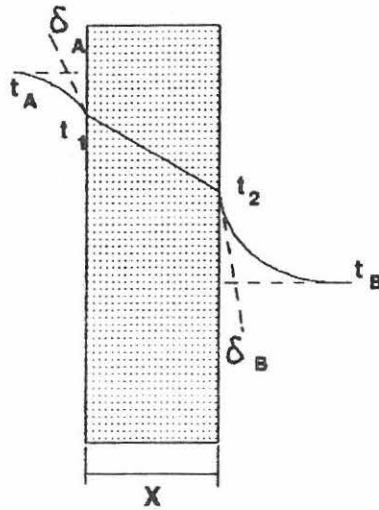


Fig. 8: Die vloei van hitte deur 'n skeidingsmedium

en tussen die vastestof en die vloeistof

$$\dot{Q} = \frac{\lambda \cdot b \cdot A (T_2 - T_b)}{\delta b} \quad (2)$$

waar:

$\dot{Q}$	=	Tempo van hittevloei (W/m^2)
λ	=	Termiese geleidingsvermoë (W/mK)
A	=	Area (m^2)
T_a	=	Warm vloeistoftemperatuur ($^{\circ}C$)
T_b	=	Koue vloeistoftemperatuur ($^{\circ}C$)
$\delta a, \delta b$	=	Dikte waar hitte-uitruiling plaasvind (m)

Om dus die algehele hittegeleidingstempo van konveksie te bepaal, word Newton se verkoelingswet gebruik.

$$\dot{Q} = \alpha a \times (T_a - T_1) \times A \quad (3)$$

en
$$\dot{Q} = \alpha b \times (T_2 - T_b) \times A \quad (4)$$

$\dot{Q}$	=	Tempo van hittevloei (W/m^2)
$\alpha a, \alpha b$	=	Konveksie hittegeleidingskoëffisiënt
T_1	=	Temperatuur by die vastestof ($^{\circ}C$)
T_2	=	Temperatuur by die vastestof ($^{\circ}C$)
T_a	=	Temperatuur van vloeistof ($^{\circ}C$)
T_b	=	Temperatuur van vloeistof ($^{\circ}C$)

Indien vergelykings een en drie en vergelykings twee en vier saamgevoeg word, word die volgende verkry:

$$\alpha a = \frac{\lambda}{\delta a}$$

$$\alpha b = \frac{\lambda}{\delta b}$$

$$\text{Laat } = \frac{\dot{Q}}{A} \text{ die hitte-oordrag per eenheidsarea wees.}$$

Vir konstante hitte-oordraging sal die hitte van vloeistof A na die vastestof gelyk wees aan die hittevloei deur die vastestof, wat ook gelyk is aan die vloei van hitte van die vastestof na die vloeistof B. Indien dit nie so is nie, sal die temperature T_a , T_1 , T_2 en T_b nie konstant bly nie en sal dus verander met die verloop van tyd:

$$\dot{q} = \alpha a (T_a - T_1)$$

$$\dot{q} = \frac{\lambda (T_1 - T_2)}{x}$$

$$\dot{q} = \alpha b (T_2 - T_b)$$

Indien die formule herskryf word in terme van temperatuur, word die volgende verkry nl.

$$(T_a - T_1) = \frac{\dot{q}}{\alpha a}$$

$$(T_1 - T_2) = \frac{\dot{q} x}{\lambda} \quad (\text{waar } x \text{ dikte van vastestof})$$

$$(T_2 - T_b) = \frac{\dot{q}}{\alpha b}$$

Indien die drie vergelykings saamgetel word weens kontinuïteit van die temperatuur word die volgende verkry nl.

$$T_a - T_b = \frac{\dot{q}}{\alpha a} + \frac{\dot{q} x}{\lambda} + \frac{\dot{q}}{\alpha b}$$

Dus:

$$T_a - T_b = \dot{q} \left(\frac{1}{\alpha a} + \frac{x}{\lambda} + \frac{1}{\alpha b} \right)$$

Omskryf die vergelyking in terme van $\dot{Q}$:

$$\dot{Q} = \frac{A(T_a - T_b)}{\left(\frac{1}{\alpha a} + \frac{x}{\lambda} + \frac{1}{\alpha b}\right)}$$

Definieer nou $\frac{1}{U} = \left(\frac{1}{\alpha a} + \frac{x}{\lambda} + \frac{1}{\alpha b}\right)$

sodat $\dot{Q} = U \times A \times (T_a - T_b)$

U word die algehele hitte-uitruilingskoëffisiënt genoem en het dieselfde eenhede as α , nl. W/m²K [2]. Volgens berekeninge het plastiek feitlik geen invloed op die hitte-oordragingsproses nie. (Sien aanhangsel 2).

3.9 SWART LIGGAAM UITSTRALING

Uitstraling bestaan uit elektromagnetiese golwe wat uitgestuur word om 'n stof se molekules in beweging te bring. Die golwe is soortgelyk aan die van lig en beweeg in 'n reguit rigting en het dus geen medium nodig om te versprei nie. Die uitstraling van die golwe kan of gereflekteer, geabsorbeer, of die golwe kan oorgedra word deur die medium. Die golwe wat gereflekteer, geabsorbeer of wat oorgedra word, word absorpsie (met absorpsie koëffisiënt α), weerkaatsing (met reflektiwiteit y), en oordraagbaarheid (met transmissie koëffisiënt), onderskeidelik genoem. Die formule kan as volg uitgedruk word:

$$\alpha + y + t = 1$$

Eksperimenteel is bepaal dat die uitstralingsvermoë van 'n liggaam toeneem soos die temperatuur van die liggaam toeneem.

In figuur 9 word geïllustreer hoe die uitstralingsvermoë van 'n swart liggaam per metereenheid gemeet word teenoor die golflengte (mikrometer). Uit die figuur kan gesien word dat die uitstralingsvermoë van 'n liggaam groter word soos die temperatuur styg. Die waarde van die golflengte vir maksimum uitstralingsvermoë word gegee deur Wien se wet nl.:

$$\delta = \frac{R}{T}$$

Waar δ = Golflengte (mikrometers)

T = Uitstralingstemperatuur (Kelvin)

R = 2900 (Uitstralingsfaktor)

Die limiete van die sigbare gedeelte van die spektrum lê tussen $\lambda = 0,4$ mikrometer (dit word verkry by die blou gedeelte van die spektrum,) en $\lambda = 0,8$ mikrometer (by die rooi gedeelte van die spektrum). As die son 'n temperatuur het van ongeveer 6500 Kelvin, is die maksimum golflengte:

$$\lambda = \frac{2900}{6500}$$

$$= 0,446 \text{ mikrometer}$$

Met die formule kan dus bepaal word dat die son se maksimum uitstraling wel sigbaar is volgens die spektrum in figuur 6.

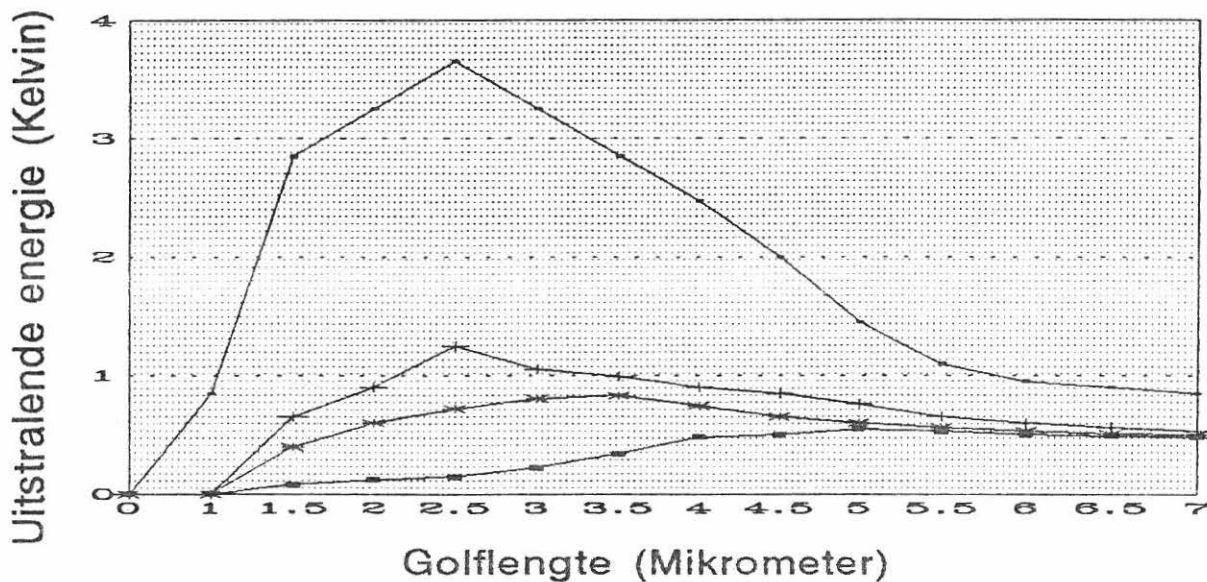


Fig. 9: Uitstralingsenergie van 'n swart liggaam by verskillende temperature.

3.10 STEFAN-BOLTZMANN SE WET

Stefan-Boltzmann het ook eksperimenteel bepaal dat die uitstralingsvermoë van 'n swartliggaam direk eweredig is aan die vierde mag van die absolute temperatuur.

$$\dot{E} = \alpha T^4 E$$

en die waarde van α is $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ (W/m}^2\text{)(K)}e^4$.

Die tempo van die energie-uitstraling van 'n nie-swartliggaam word gegee deur:

$$\dot{E} = e \alpha T^4$$

waar e = uitstraling ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)

α = hitte oordragingskoëffisiënt.

Water het een van die mees effektiewe hitte- geleidingsdoeltreffendheidsfaktore wat in sonpaneel gebruik kan word. Figuur 10 toon hoe water hitte opneem soos die hitte-intensiteit van die son deur die dag varieer en die hitte verskil oor 'n 24 uur siklus [1].

Water het 'n voordeel bo ander mediums nl. dat dit vrylik beskikbaar en nie toksies is nie. Die grootste voordeel is egter die hittegeleidings effektiwiteitsfaktor. Figuur 11 toon die effektiwiteit van 'n paar vloeistowwe wat vir dieselfde doel, gebruik is, aan. [13].

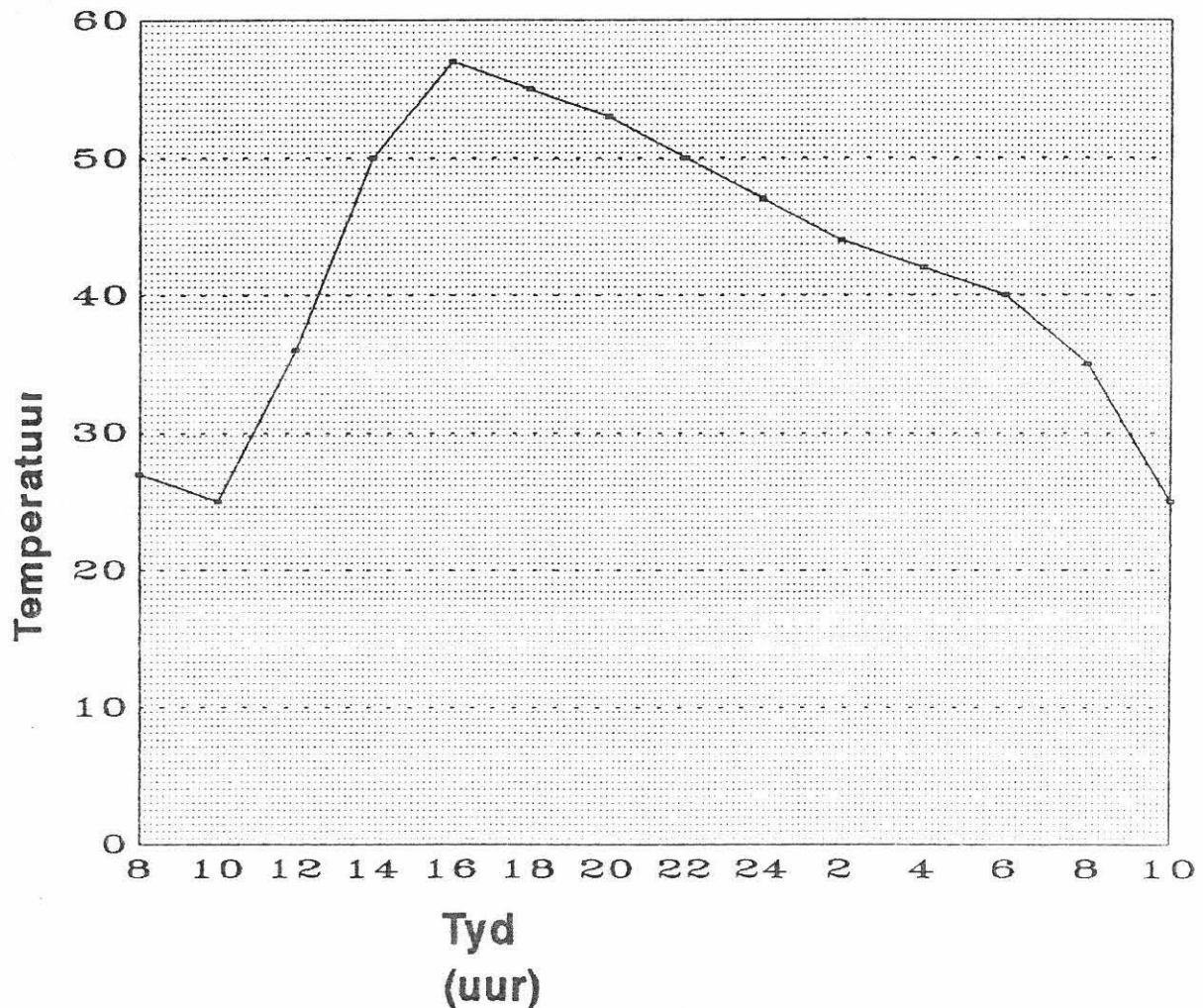


Fig. 10: Styging van water oor 'n periode van 24 uur in 'n kommersiële warmwater sonpaneel

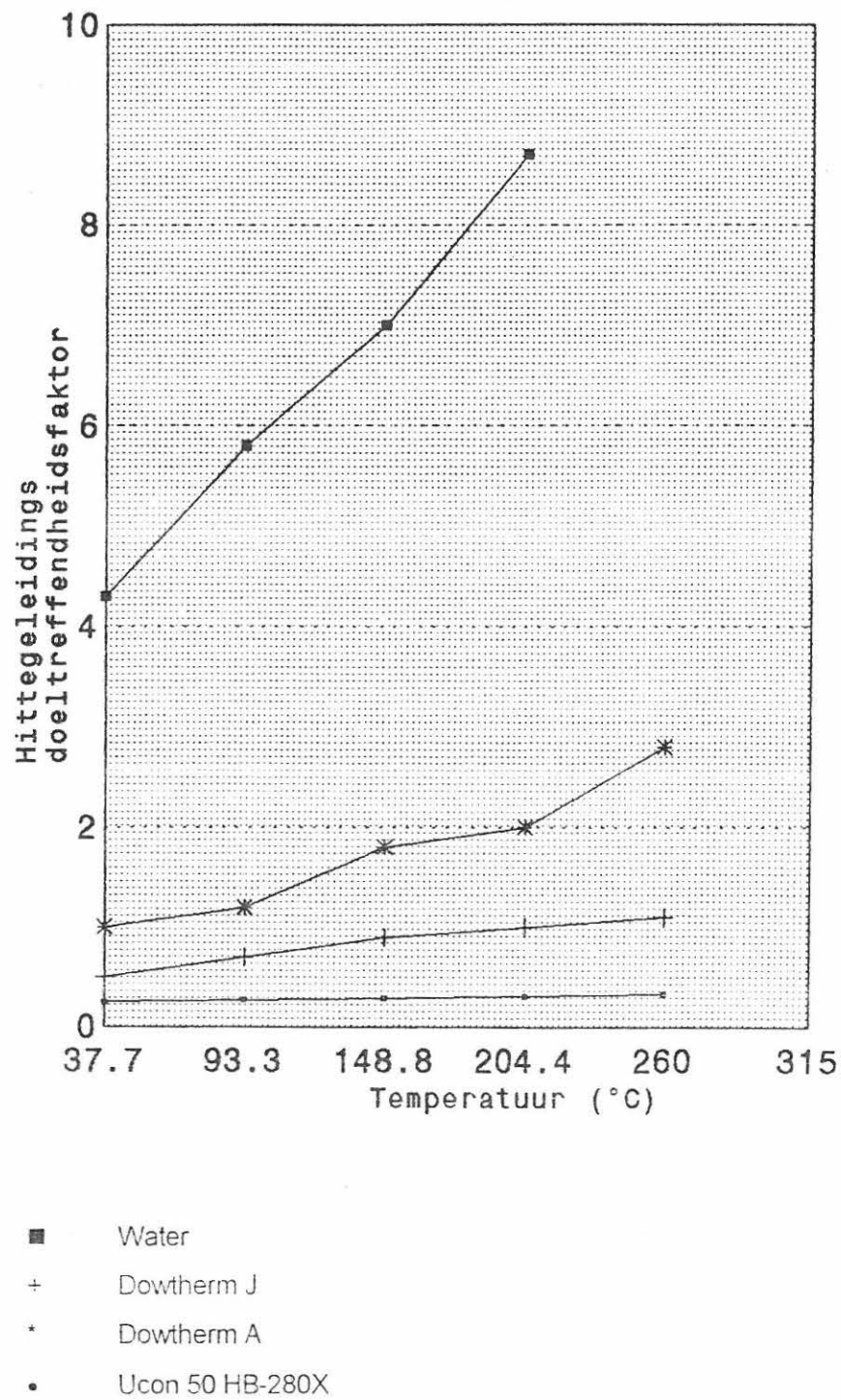


Fig. 11: Die hittegeleidingsdoeltreffendheidsfaktor van 'n paar vloeistowwe [5].

Daar is ook ander mediums wat nie toksies is nie, maar die hitte-geleidingsfaktore is nie so effektief soos die van water nie. Die mediums is ook nie vrylik beskikbaar indien dit vervang moet word nie.

Indien water met nog ander vloeistowwe vergelyk word wat vrylik beskikbaar is kan gesien word dat water in feitlik alle gevalle die beste eienskappe het vir die gebruik in sonpanele. Tabel 4 toon die eienskappe van 'n paar vloeistowwe wat ook moontlik gebruik kan word in sonpanele [13].

Tabel 4: Hittekapasiteit van kommersieel beskikbare vloeistowwe [13]

Medium	Digtheid kg/m ³	Hitte kap. J/kgK	Vriespunt °C	Kookpunt °C	Toksies
Water	1000	4.186	0	100	Nee
Ethelene	1050	3.74	-36	110	Ja
Propalene	1022	3.641	-31	110	Nee
Paraffien	821	2.130	-7	190	Ja
Olies	970	1.506	-85	260	Nee

3.12 OPSOMMING

Dit is belangrik om die teoretiese beginsels as agtergrond te gebruik vir die ontwikkeling van 'n sonpaneel. Sonenergie is 'n direkte energiebron wat gebruik kan word om die proses van hitte-oordrag moontlik te maak deur middel van die teoretiese agtergrond van oordraging en uitruiling van hitte deur verskillende mediums.

In die volgende hoofstuk gaan eksperimente uitgevoer word om die hitte-oordraging van water na melk te toets. Die teoretiese beginsels gaan gebruik word om toetse uit te voer en om 'n melkpasteuriseerder te ontwikkel wat kommersieel gebruik kan word.



HOOFSTUK 4

EKSPERIMENTELE WERK

4.1 INLEIDING

Uit die vorige hoofstuk is dit duidelik dat daar sekere beginsels is wat nagekom moet word indien die son gebruik wil word vir die pasteurisering van melk.

In hierdie hoofstuk gaan die resultate gegee word van verskeie eksperimente wat uitgevoer is, om die effektiwiteit van sonverhitting te bepaal vir die pasteurisering van melk. Daar is tans verskillende sonpanele beskikbaar, maar kan nie die vereiste temperature behaal en handhaaf om die melk teen 65°C vir 'n periode van ten minste 30 minute te pasteuriseer nie. Dit is dus belangrik dat daar 'n verhouding van die oppervlakte, die volume melk en die volume verhitte water moet wees om die melk te pasteuriseer.

4.2 EKSPERIMENTELE OPSTELLING

Verskeie sonverhitters is vervaardig om die effektiwiteit van verhitting vas te stel. Die eerste model wat vervaardig is, het bestaan uit 'n paraboliese weerkaatser wat son op 'n bank koperpype reflekteer om die water te verhit. Die stelsel was totaal oneffektief aangesien die verhouding van die oppervlakte en die volume water verkeerd was. Die pypafstande was te ver uitmekaar en te veel energie het verlore gegaan om die water tot by die vereiste temperatuur te kry. Figuur 12 toon 'n diagramatiese uitleg van so 'n sonverhitter.

Die konstruksie van enige model moet so eenvoudig moontlik gemaak word dat dit nie 'n spesialis benodig vir die vervaardiging nie. Die materiaal wat gebruik word, moet ook so geselekteer word dat dit vrylik in die handel beskikbaar is en teen alle weersomstandighede bestand is. Die paneel moet so vervaardig word dat dit kompak en mobiel is, en dat dit verskuif kan word om die sonstrale so effektief moontlik op te vang, te berg of te vervoer. Met bogenoemde in gedagte, is 'n tweede model sonverhitter vervaardig. Hierdie sonpaneel bestaan uit 'n plat spieël en koperpype. Figuur 13 toon 'n plat sonpaneel wat uit koperpype bestaan met 'n spieël aan die onderkant en sykant om die sonstrale terug te weerkaats.

Omdat koper se geleidingsvermoë hoog is, is dit gebruik in die vervaardiging van die pype waardeur die water vloei vir konveksie. Die pype het nog ander eienskappe wat uitstekend is vir die doel, nl. dat dit roesbestand is en die leeftyd van die paneel verleng. Waar die pype aan mekaar gekoppel word, word van die aansweistipe koppelstukke gebruik gemaak. Al die pypwerk kan dus in posisie geplaas word totdat die afstand tussen die pype so is dat dit die maksimum strale kan opvang. Met die voorbereiding vir die aanmeekaarsweis van die pype, moet al die plekke waar koppelstukke oormekaar skuif eers met 'n spesiale smeltmiddel gesmeer word. Die totale lengte koperpype wat gebruik is in die sonpaneel was 16m. Die volume water wat die pype bevat, is ongeveer 3 liter. Daar is twee banke pype langs mekaar geplaas om die oppervlakte van die sonpaneel te verhoog. Die sweislasse verhoed dat die pype nader aanmekaar gespasieer kan word en daarom is 'n tweede bank pype tussenin geplaas. Die twee banke pype is 5 mm van mekaar af om weereens die sonstrale effektief op albei banke te laat skyn. Figuur 14 toon die weerkaatsing van die spieël terug na die onderkant van die koperpype uit verskillende hoeke. Die pype is ook verskillende afstande van mekaar gespasieer om die maksimum sonstrale van die onderkant van die pype te kry. Die pype is teen 'n helling van 40 % na bo geplaas om te verseker dat natuurlike konveksie plaasvind. Water moet geen obstruksie hê en die pype mag nie 'n buig na onder maak nie, want dan sal die warmwater nie vloei nie. Die warmwater styg op deur middel van natuurlike konveksie en bly dus altyd beweeg na die hoogste punt. Die punt is dus in die tenk en moet op die hoogste punt uitmond. Nadat die pype in posisie geplaas is, word dit met 'n mat swart verf geverf om die maksimum sonstrale te absorbeer.

4.2.2 Omhulsel

Die omhulsel van die sonpaneel is van gegalvaniseerde plaat vervaardig met 'n laag hout van 16 mm aan die binnekant. Dit is 'n uitstekende isolasie van buite indien die buitetemperatuur laag is. Onder die pype is isolasiemateriaal, "Thermoguard", wat aan die onderkant isoleer. Tabel 5 toon die persentasie besparing in hitte verlies van die isolasiemateriaal. Die geleiding van die hitte word direk op die pyp gekonsentreer wat verhoed dat daar verliese is. Aan die buitekant van die omhulsel is 'n spieël wat dieselfde oppervlakte het as die sonpaneel, om die oppervlakte te verhoog.

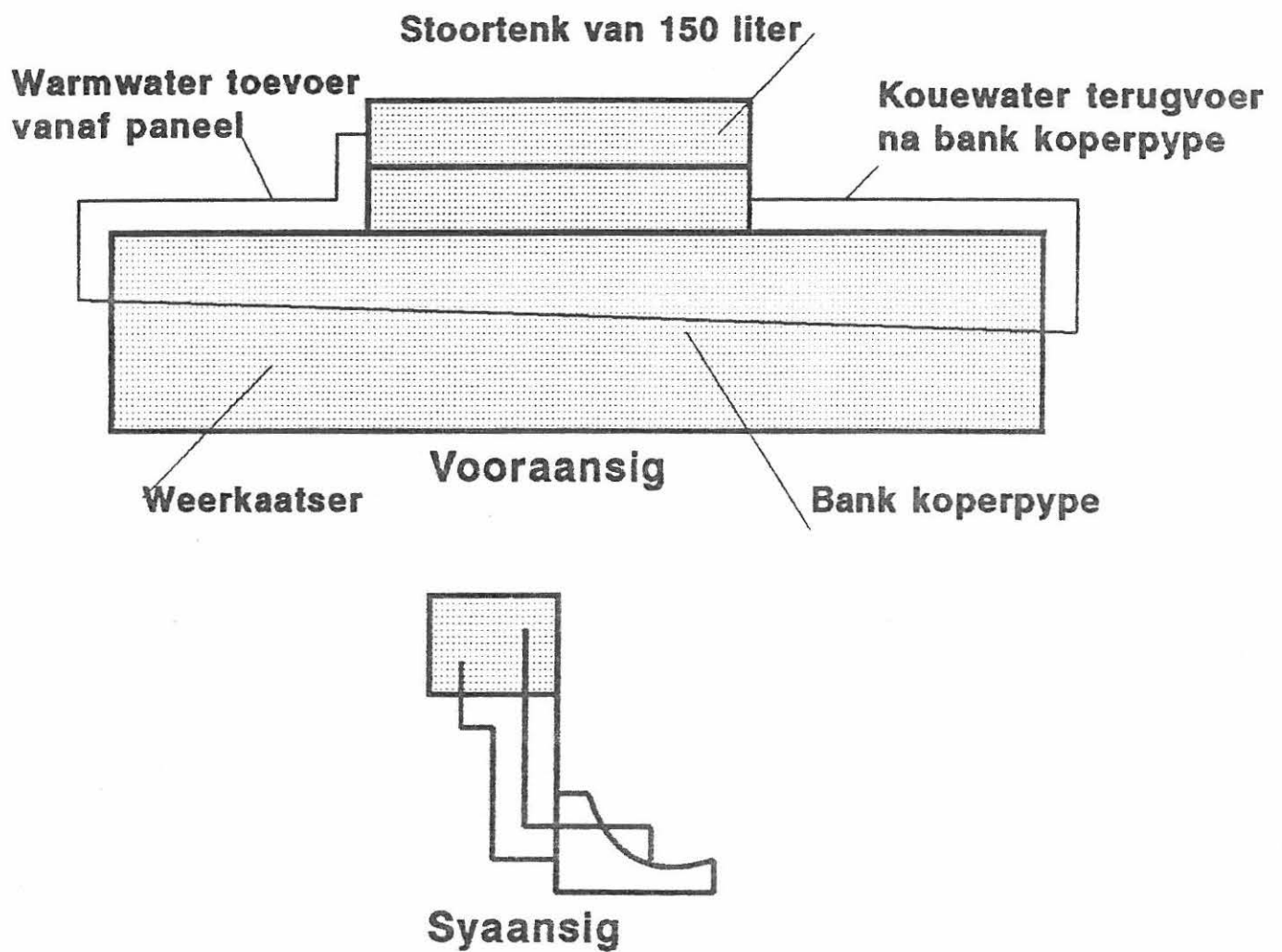


Fig. 12: Vooraansig en syaansig van 'n paraboliese sonverhitter met spieël wat die sonstrale konsentreer op die bank koperpype.

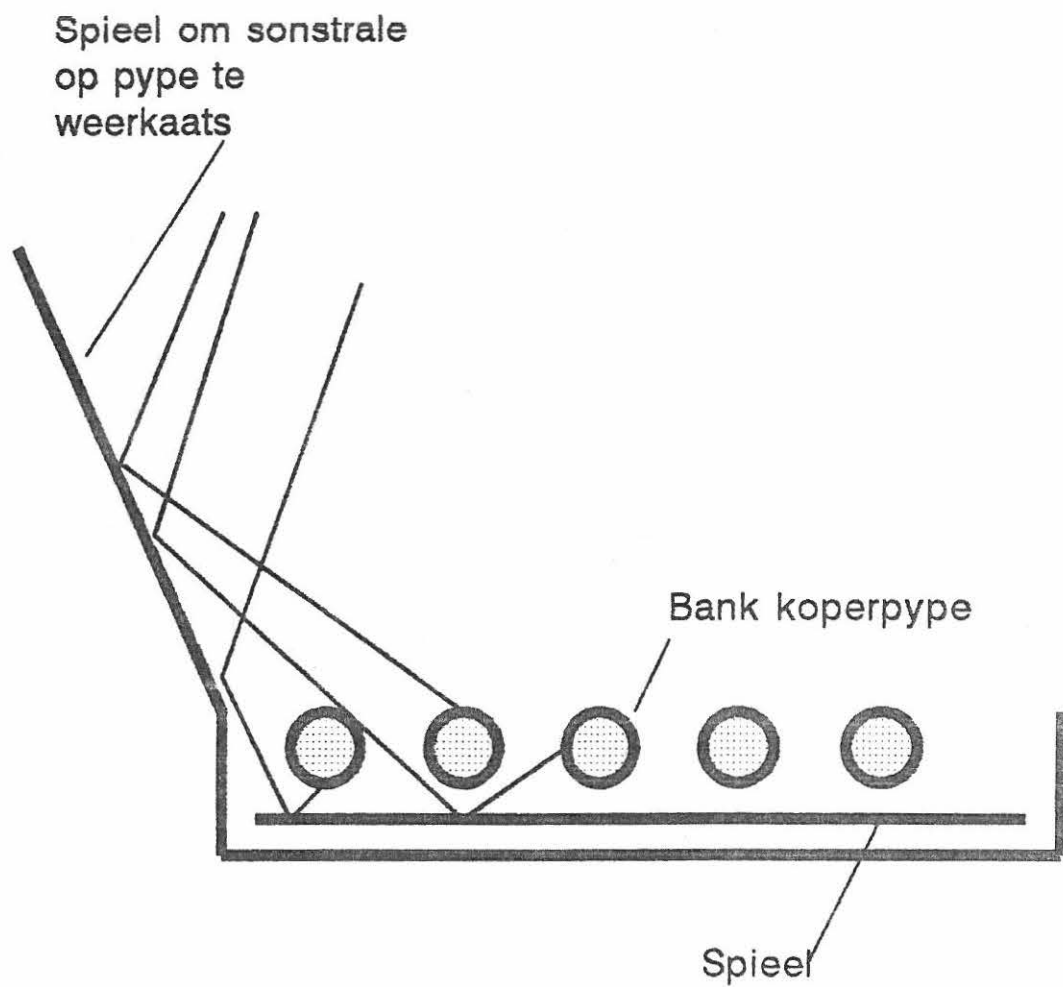


Fig. 13: 'n Plat sonpaneel met 'n spieël aan die onderkant en sykant van die bank koperpype.

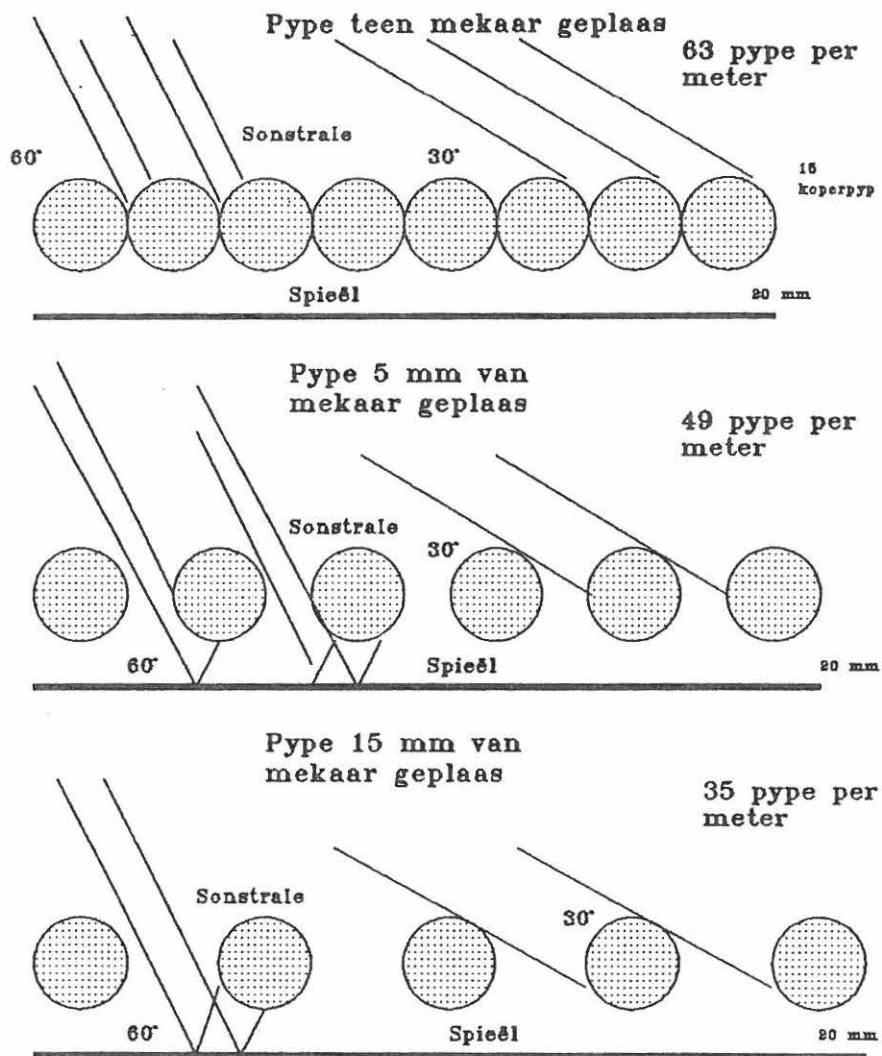


Fig. 14: Weerkaatsing van die sonstrale op die spieël na die pype wat verskillende afstande uitmekaar gespaseer is.

Tabel 5: Die persentasie besparing in hitteverlies van die isolasie materiaal "Thermoguard"

Termiese weerstand		
Dikte van isolasie	% Besparing van geleiding, Somer	% Besparing van geleiding, Winter
40 mm	68	73
50 mm	72	77
75 mm	79	84
100 mm	86	89

Die spieël is met skarniere aan die omhulsel vas wat so gekantel kan word dat dit die sonstrale kan weerkaats op die koperpype soos die son skuif. Die pype wat so geplaas is kan nie verander word nie en om sodoende die meeste sonstrale te kry, is die hoek van die sonstrale 70° op die sonpaneel. Die spieël verhoog dus die oppervlakte van die sonpaneel en die pype word feitlik in alle rigtings verhit met strale. Onder die twee banke pype is ook 'n spieël geplaas wat weer die sonstrale, wat nie op die pype val nie, terug te weerkaats en die pype aan die onderkant te verhit. Indien al die oppervlakte van die spieëls bymekaar getel word, word 87 % van die strale benut. Figuur 15 toon die invalshoeke van die sonstrale met 'n spieël aan die een sy.

4.2.3 Tenk

Die stoortenk waar die melk gepasteuriseer word het 'n volume van 20 liter. Die tenk is vervaardig van plastiek. Isolasie is om die plastiektenk geplaas om die verlies van hitte-energie tot die minimum te beperk. Die pype van die sonpaneel kom direk in die tenk in en is oop om die sirkulasie van die water in die tenk te versnel sodat die water regdeur dieselfde temperatuur kan handhaaf. Die pype wat vanaf die bank kom, laat bo in die tenk ongeveer tweederdes van die bodem af uit. Die kouewaterpyp wat na die bank pype teruggaan is so na aan die bodem as moontlik geplaas want die koue water is onder in die tenk, omdat koue water digter is as warmwater en die terugvloei verseker. Indien die koue melk in die tenk geplaas word, kom dit dus met die warmste water in aanraking wat die proses van hitte-uitruiling versnel. 'n Diagramatiese voorstelling van die pype word gegee in figuur 16 waar die pype in die tenk inmond en uitgaan.

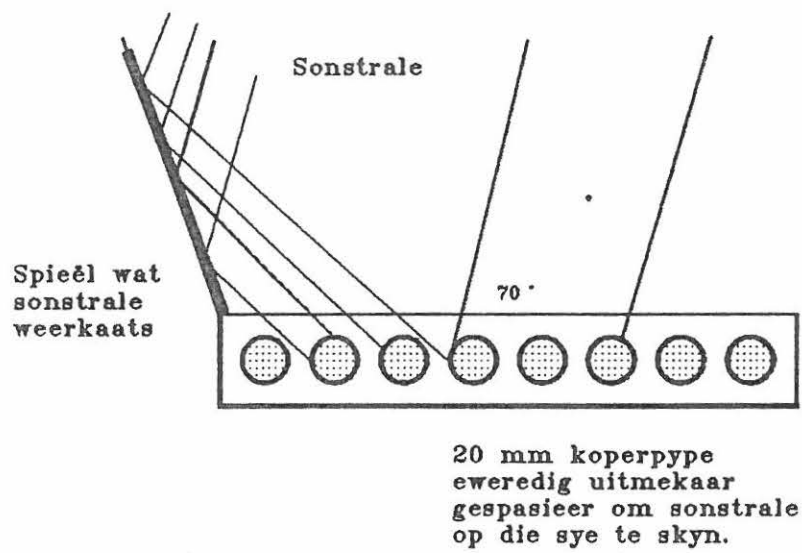


Fig. 15: Invalshoeke van die sonstrale met 'n spieël aan die een sykant.

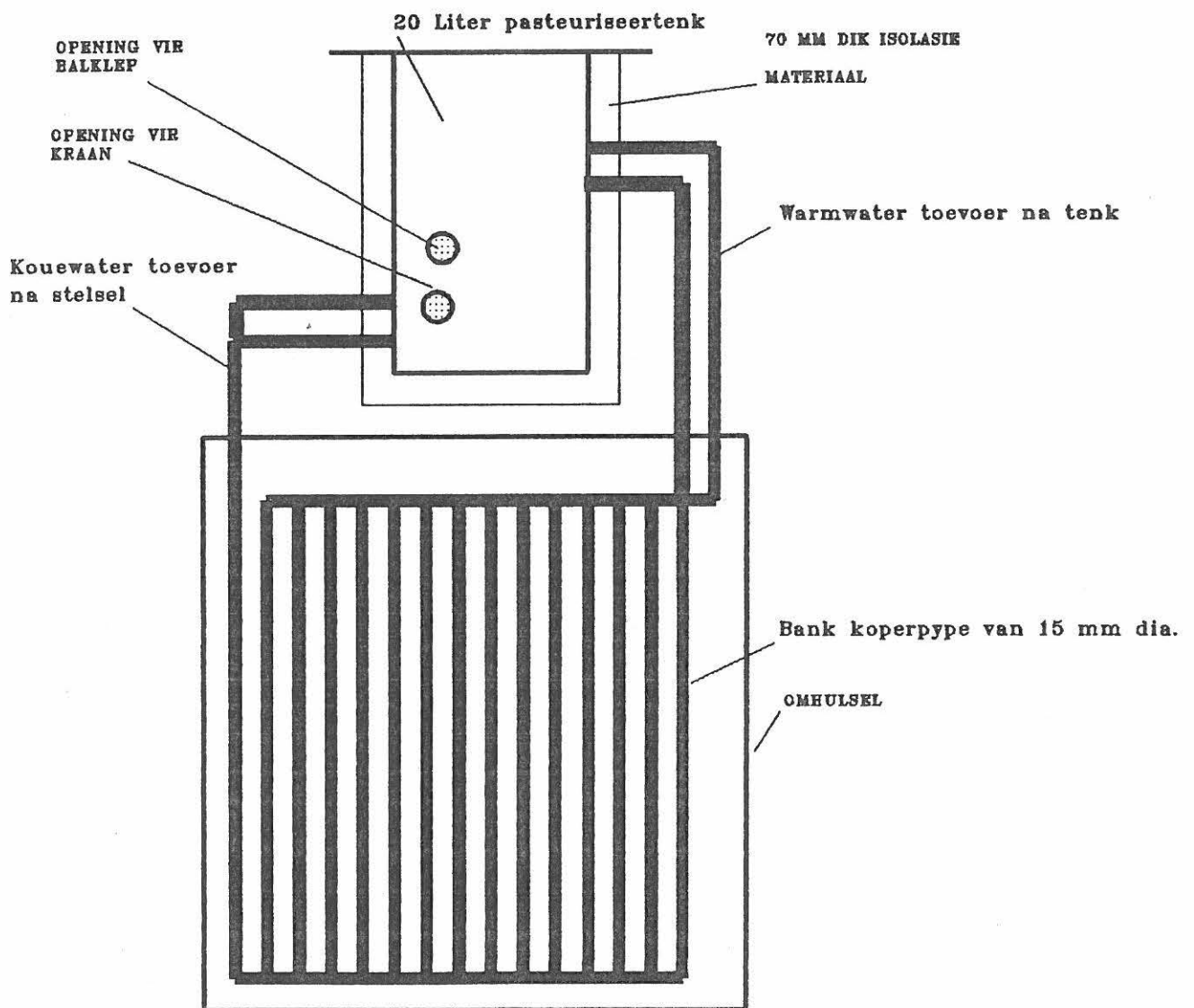


Fig. 16 Posisie van die warmwatertoevoer en die kouewater terugvoer van die stoortenk.

4.2.4 Melkhouers

Die melk moet in plastiekhouders geplaas word wat kan toeskroef of deur middel van 'n plastiek deksel opgesmelt kan word. Die plastiekdoppe kan met 'n warm yster verhit word wat op 'n oop vlam verhit is. Daar is nog ander metodes wat wel goedkoper is maar daar is nie elektrisiteit beskikbaar om die metodes te gebruik nie. Volgens berekeninge (sien aanhangsel 2) is die verliese van hitteoordraging van die melk na die water weglaatbaar klein.

4.3 BESKIKBARE ENERGIE

Die sonpaneel wat gebruik is, se totale oppervlakte is 0,664 m². Volgens die weerkantoor in Pretoria is die gemiddelde uitstraling van die son ongeveer 0,866 kW/m² vir 'n 10 uur periode in die winter.

Die totale vermoë van die sonpaneel word bereken deur:

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= \text{area} \times \text{uitstraling} \\ \dot{Q} &= 0,664 \times 0,866 \\ &= 0,531 \text{ kW}\end{aligned}$$

Die spieël beperk egter die effektiewe stralingsoppervlakte van die paneel. Indien die son na een uur verskuif, is daar 0,357 m² in plaas van 0,664 m² wat bestraal word. Die spieël moet dus na elke uur verskuif word om die sonstrale effektief op die sonpaneel te hou. Die drywing beskikbaar deur die son is dan:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{min.}} &= 0,357 \times 0,866 \\ &= 0,285 \text{ kW}\end{aligned}$$

Gemiddelde drywing van die sonpaneel:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{gemid}} &= \frac{\dot{Q}_{\text{maks}} + \dot{Q}_{\text{min}}}{2} \\ &= \frac{0,531 + 0,285}{2} \\ &= 0,408 \text{ kW}\end{aligned}$$

Die totale volume water wat gebruik is in die stelsel is 11 liter. Indien die water verhit moet word vanaf 15°C na 65°C met 'n gemiddelde drywing van 0,41 kW sal die water volgens berekening verhit word in 94 minute indien geen verliese voorkom nie.

$$\text{Uit } \dot{Q} = \frac{m c (T_2 - T_1)}{t}, \text{ is}$$

$$t = \frac{m c (T_2 - T_1)}{\dot{Q}}$$

$$t = \frac{11\,4861(65 - 15)}{0,41}$$

$$t = 5615 \text{ sekondes}$$

$$= 94 \text{ minute}$$

Dit is dus moontlik om melk te pasteuriseer op een dag met 'n totale volume van 11 liter water.

4.4 EKSPERIMENT 1

4.4.1 Doel

Die doel van die eksperiment is om te bepaal wat die tempo van verhitting sal wees asook effektiwiteit van die sonpaneel indien verskillende volumes kouewater in die sonpaneel geplaas word as aluminium as hitte-oordragmedium gebruik word in die sonpaneel.

4.4.2 Prosedure

Die sonpaneel waarmee hierdie eksperiment uitgevoer is het 'n oppervlakte van 0,43 m² met 'n spieël aan die een kant van die paneel om die sonstrale te reflekteer op die pype. Die spieël het 'n oppervlakte van 0,4 m². Die totale sonoppervlakte van die paneel word dan vergroot na 0,83 m². In die paneel is 4 koperpype van 15 mm diameter aan mekaar gesoldeer en elke pyp is met aluminiumplaat van 2 mm dik aan die onderste helfte ingebed soos die kommersiële sonpanele, om die oppervlakte van hitte-uitruiling te vergroot. Die totale volume water wat in die sonpaneel gebruik is, is 14 liter, 10 liter, 5 liter en 2.5 liter water. Die water is daaglik verminder om die resultate te kry. Tydens die week se toetse was die uitstraling van die son gemiddeld 0,79 kW/m².

Die sonpaneel is 0,83 m² en die drywing beskikbaar is dus:

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= 0,83 \times 0,8 \\ &= 0,664 \text{ kW}\end{aligned}$$

Uit vorige berekeninge wat gemaak is, is bepaal dat, indien die oppervlakte van die paneel vergroot word met spieëls, die effektiwiteit van die paneel met 23,2 % verminder omdat die son gedurigdeur verskuif. Die werklike vermoë van die paneel is dus:

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= 0,768 \times 0,664 \\ &= 0,509 \text{ kW}\end{aligned}$$

Die tyd wat dit dus behoort te neem om die water te verhit van die sonpaneel vir 14 liter water is dus:

$$\begin{aligned}t &= \frac{m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)}{Q} \\ &= \frac{14 \times 4,186 \cdot (65 - 20)}{0,509} \\ &= 5181 \text{ sekondes} \\ &= 86,35 \text{ minute}\end{aligned}$$

Vir 10 liter water:

$$\begin{aligned}t &= \frac{10 \times 4,186 \cdot (65 - 20)}{0,509} \\ &= 3700 \text{ sekondes}\end{aligned}$$

Vir 5 liter water:

$$= 61,67 \text{ minute}$$

$$\begin{aligned}t &= \frac{5 \times 4,186 \cdot (65 - 20)}{0,509} \\ &= 1850 \text{ sekondes}\end{aligned}$$

vir 2,5 liter water:

$$= 30,83 \text{ minute}$$

Vir 2,5 liter water:

$$\begin{aligned}t &= \frac{2,5 \times 4,186 \cdot (65 - 20)}{0,509} \\ &= 925 \text{ sekondes} \\ &= 15,41 \text{ minute}\end{aligned}$$

Die werklike gemete waardes van die sonpaneel word uiteengesit in figuur 17. Die gemete tye toon duidelik uit die eksperiment dat die sonpaneel oneffektief is as aluminium gebruik word om die sonstrale te absorbeer.

Aangesien slegs die 2,5 liter water en die 5 liter die vereiste temperature kon behaal is die werklike gemiddelde drywing beskikbaar vir die paneel as volg:

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= \frac{(2,5 + 5)/2 \times 4,186 (65 - 20)}{(80 + 50)/2 \times 60} \\ &= 0,181 \text{ kW}\end{aligned}$$

Die totale effektiwiteit van die paneel is dus:

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{0,138}{0,664} \\ &= 21 \%\end{aligned}$$

4.4.4 Gevolgtrekking

Met die eksperiment is waargeneem dat die oordraging van hitte vanaf die aluminium na die koperpype en daarna na die water baie energie laat verlore gaan wat dus die effektiwiteit van die tipe sonpaneel verlaag.

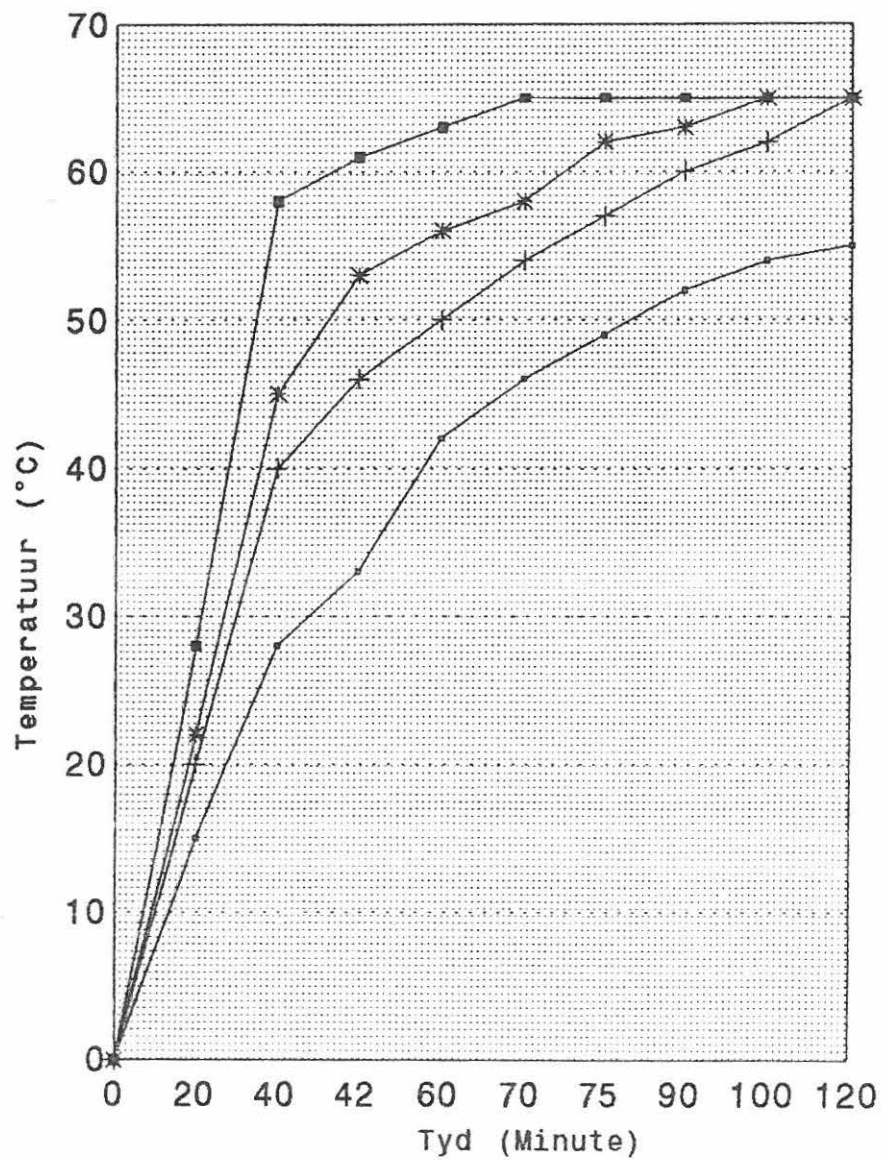


Fig. 17 Die werklike temperatuurstyging van water indien verskillende volumes water met dieselfde oppervlakte van die sonpaneel verhit word.

4.5 EKSPERIMENT 2

4.5.1 Doel

Die doel van die eksperiment is om te bepaal wat die effektiwiteit van 'n enkel koperpyp, wat aan geen verliese blootgestel is nie, te meet.

4.5.2 Prosedure

Die enkelkopperpyp is gebruik om die straling van son effektief te absorbeer. Koper is een van die metale van die hoogste geleidingsvermoë wat ongeveer 386 W/mK is. Die pyp met 'n lengte van 1,0 m en 15 mm diameter is swart geverf om die energie van die sonstrale meer effektief te absorbeer. Die pyp het 'n kapasiteit van ongeveer 176 ml. Die pyp is in 'n glaskas gemonteer om verliese tot die minimum te beperk.

4.5.3 Resultate

Die water het in die pyp stilgestaan en is in die son geplaas om te verhit. Tabel 6 toon die verhitting van die water in die pyp wat nie blootgestel is aan verliese nie.

Tabel 6: Styging van die temperatuur van 176 ml water in 'n enkelkopperpyp indien dit in ideale omstandighede verhit word met die son.

Tyd	Dag 1	Dag 2	Dag 3	Dag 4
Temperatuur °C				
9:00	8,6	9,6	10,7	6,5
11:00	68,4	66,6	70,7	61,9
13:00	89,3	86,2	92,1	92,6
15:00	89	83,7	88	90,8

Die gemiddelde waarde van die temperatuur van die water na 2 uur was 66,9 °C.

Werklike hittevloeiempo na die water in die koperpyp is:

$$\begin{aligned}
 \dot{Q} &= \frac{m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)}{t} \\
 &= \frac{0,176 \times 4,186 \cdot (66,9 - 8,9)}{120 \times 60} \\
 &= 5,96 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Die absorbeeroppervlakte van die pyp is $0,015 \text{ m}^2$. Indien 'n sonpaneel met koperpype vervaardig word sal die kapasiteit van die sonpaneel verhoog:

$$\begin{aligned}\dot{q} &= \frac{\text{kW}}{\text{Area}} \\ &= \frac{0,00596}{0,015} \\ \dot{q} &= 0,397 \text{ kW/m}^2\end{aligned}$$

Die berekende effektiwiteit behoort te wees waar die sonuitstraling $0,79 \text{ kW/m}^2$ is:

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{0,397}{0,79} \\ &= 50 \%\end{aligned}$$

4.5.4 Gevolgtrekking

Die koperpyp wat in die eksperiment gebruik is het getoon dat hitte baie effektief oorgedra word in die omstandighede. Uit die vorige eksperiment, waar koperpype in die aluminium geplaas is om die oppervlakte te vergroot, is dit beter om slegs van koperpype gebruik te maak met die vervaardiging van 'n sonpaneel want die effektiwiteit van die vorige sonpaneel met die aluminium plaat en die paneel met slegs koperpype is onderskeidelik 21 % en 50 %.

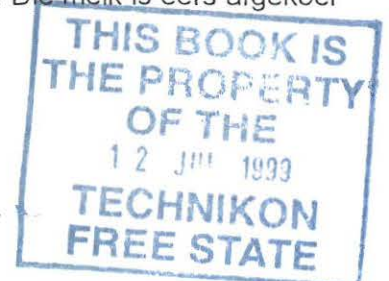
4.6 EKSPERIMENT 3

4.6.1 Doel

Die doel van die eksperiment is om die hittevloeiempo te bepaal tussen warmwater en klein hoeveelhede koue melk indien warmwater teen 'n konstante temperatuur gehou word.

4.6.2 Prosedure

'n Waterbad met 'n volume van 125 liter is gebruik om die melk in te dompel. 4 kW elemente is gebruik om die water te verhit vanaf 6°C na 70°C . Die melk is in sakkies geplaas met hoeveelhede van 1 liter en 500 ml, Termometers is in die sakkies geplaas om die temperatuur binne die sakkies te meet. Die sakkie het albei dieselfde oppervlakte. Die melk is eers afgekoel na 6°C .



4.6.3 Resultate

Die water in die bad het 2 uur 20 minute geneem om tot die vereiste temperatuur te kom. Die 1 liter melk het ongeveer 7 minute geneem om tot by die vereiste temperatuur te kom en die 500 ml het in ongeveer 4 minute die temperatuur bereik. Indien dit teoreties bepaal word is die volgende verkry.

Tyd nodig om 125 liter water te verhit

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)}{\dot{Q}} \\
 &= \frac{125 \times 4,186 \cdot (70 - 6)}{4} \\
 &= 8372 \text{ sekondes} \\
 &= 2 \text{ uur } 19 \text{ min.}
 \end{aligned}$$

Dit stem goed ooreen met die eksperimentele resultate.

Die drywing benodig vir 1 liter melk in 7 minute:

$$\begin{aligned}
 \dot{Q}_1 &= \frac{m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)}{t} \\
 &= \frac{1 \times 4,186 \cdot (70 - 6)}{7 \cdot 60} \\
 &= 0,637 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Die drywing benodig vir 500 ml melk in 4 minute:

$$\begin{aligned}
 \dot{Q}_{0,5} &= \frac{0,5 \times 4,186 \cdot (70 - 6)}{4 \cdot 60} \\
 &= 0,558 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

4.6.4 Gevolgtrekking

Uit bogenoemde gegewens is dit meer effektief om groter hoeveelhede melk te verhit as klein hoeveelhede as die verhitte oppervlakte dieselfde bly want 500 ml het 4 minute geneem en 1000 ml het 7 minute geneem om tot by die vereiste temperatuur te kom.

4.7 EKSPERIMENT 4

4.7.1 Doel

Die doel van die eksperiment is om te bepaal wat die hitteverlies sal wees van die water in 'n opgaartenk as klein hoeveelhede koue melk daarin geplaas word.

4.7.2 Prosedure

Die stoortenk het 'n kapasiteit van 10 liter water en die sonpaneel het 'n area van $0,65 \text{ m}^2$. Die water het binne ongeveer 4 ure die vereiste temperatuur van 65°C bereik. Vier verskillende grootte melksakkies is gebruik, met verskillende volumes, om te bepaal wat die uitwerking sal wees van die water in die stoortenk en die klein volumes melk. Die sakkies se volumes is onderskeidelik 60 ml, 125 ml, 250 ml, en 500 ml. Die sakkies is afsonderlik in die water geplaas en die temperature is in tussenposes van 5 minute geneem om waar te neem hoe vinnig die ewewigstemperatuur bereik is.

4.7.3 Resultate

Die toetse het begin om 12h45 omdat die stralingsenergie van die son die tyd van die dag op sy hoogste is. Die sakkies wat gebruik is het 'n dikte van 0,1 mm en die grootte van die sakkies was $150 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$. Figuur 18 toon die daling van die temperatuur van die water soos die verskillende volumes melk in die tenk geplaas is.

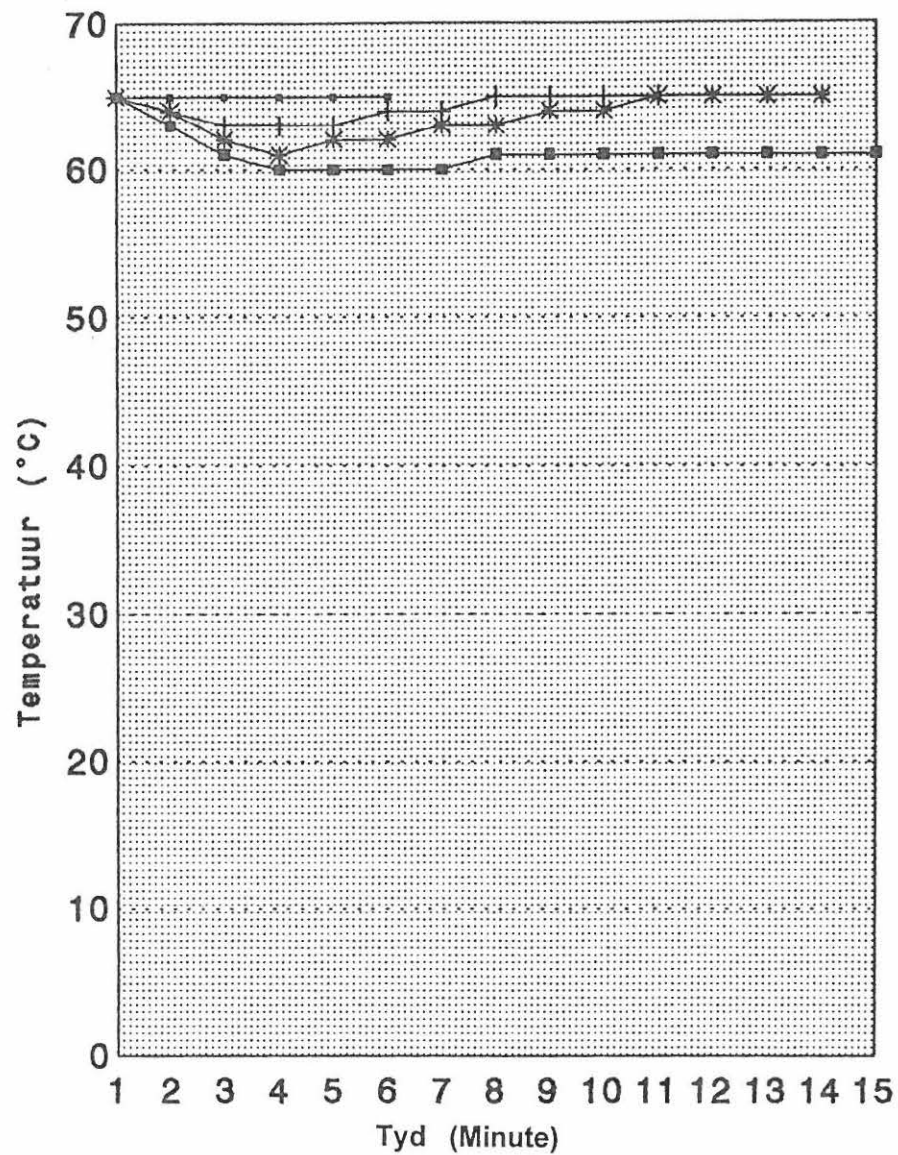
Figuur 19 toon die styging van temperatuur van verskillende volumes melk wat in die tenk geplaas is. Hoe groter die volume is wat gepasteuriseer word, hoe meer energie was nodig om die proses suksesvol te laat geskied. Die tyd wat dit vir die groter volumes geneem het om tot die vereiste temperatuur te kom, het ook langer geneem omdat die volumes vergroot het. Die volume water wat gebruik is, was ook beperk want die sonpaneel kon nie die 500 ml melk effektief verhit nie. In tabel 7 kan gesien word hoe die verskillende volumes melk styg teenoor die verhittingstyd van die sonpaneel.

Tabel 7: Die temperatuurstyging in °C van die verskillende volumes melk en die verhitting van water.

Temperatuur °C								
Tyd	101	50 ml	101	125 ml	101	250 ml	101	500 ml
0	65	18	65	18	65	18	65	18
2	65	58	63	56	62	52	61	48
4	65	63	63	62	63	58	62	52
6	65	65	64	63	64	62	62	56
8			65	65	64	63	62	58
10					65	63	62	59
12					65	64	62	60
14					65	65	62	61
16							62	62
18							62	62

4.7.4 Gevolgtrekking

Die kleinste sakkie het die vereiste temperatuur bereik binne 5 minute, sonder dat die stoorwater temperatuur gedaal het. Die 125 ml melk en die 250 ml melk het die stoorwater temperatuur wel laat daal, maar dit het weer binne 8 minute en 16 minute onderskeidelik die vereise temperatuur bereik. Die sonpaneel kon nie die 500 ml melk verhit tot die vereiste temperatuur nie aangesien die volume water van die sonpaneel nie die vereiste hitte kon oordra nie. Dit is dus moontlik om klein hoeveelhede melk te pasteuriseer indien die oppervlakte van die sonpaneel, die hoeveelheid stoorwater en die volume melk in die regte verhouding is. As dit nie in die regte verhouding is nie, sal die vereiste temperatuur nie verkry word nie en ook die tyd wat die melk verhit moet bly nie aan die vereistes van die Wet soos voorgeskryf voldoen nie.



- 60 ml melk
- + 125 ml melk
- * 250 ml melk
- 500 ml melk

Fig. 18 Temperatuurdaling van stoorwater indien verskillende volumes koue melk bygevoeg word.

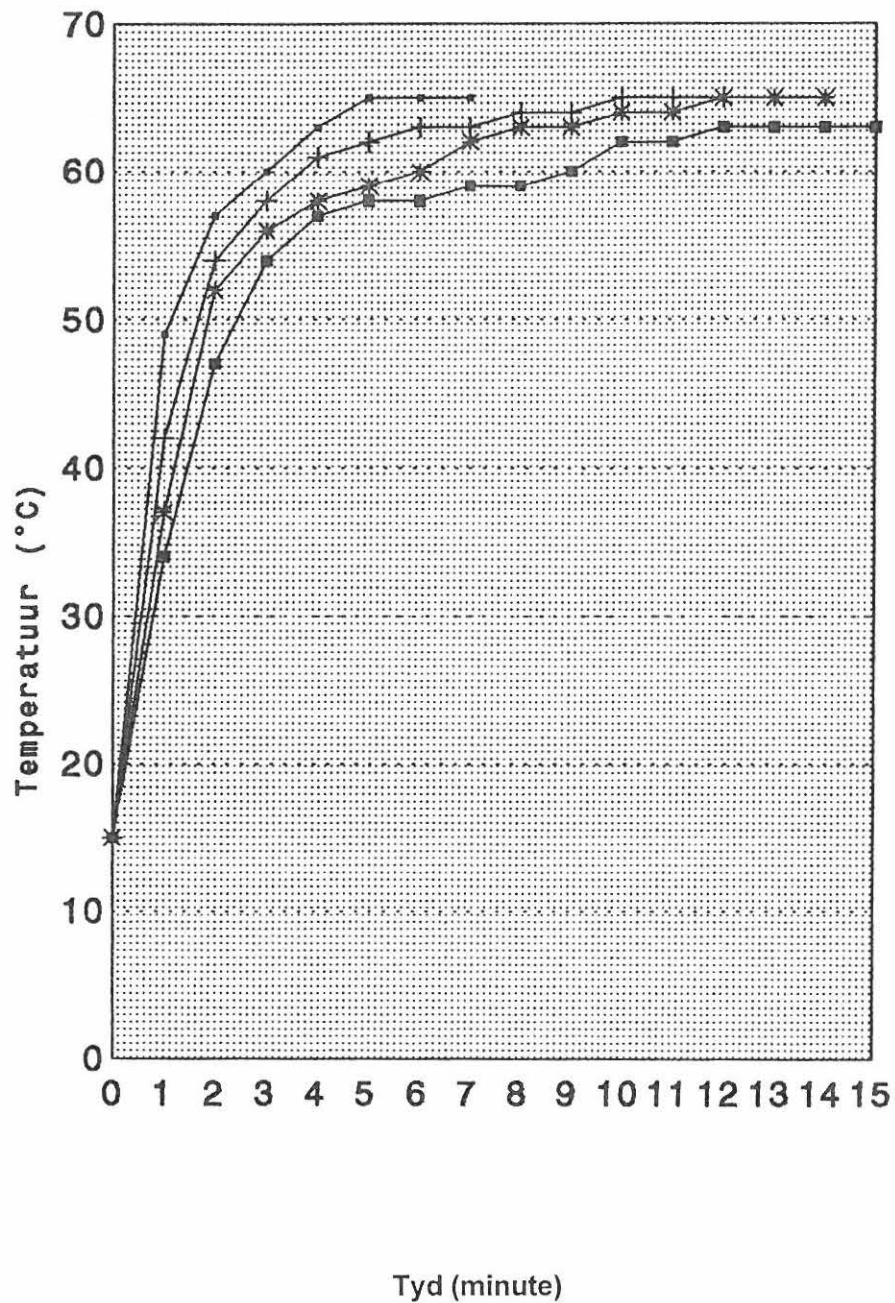


Fig. 19: Die temperatuurstyging van die verskillende volumes koue melk wat in die stoorwater gevoeg is.

4.8 OPSOMMING

In dié hoofstuk is die resultate gegee van verskeie eksperimente wat uitgevoer is om die uitwerking van sonenergie te bepaal indien dit as 'n bron gebruik word om water daagliks te verhit en 'n melk pasteuriseerder te ontwikkel wat melk effektief pasteuriseer.

In die volgende hoofstuk word die resultate gebruik om 'n pasteuriseerder te ontwerp wat die melk effektief pasteuriseer. Die eksperimente toon dat dit moontlik is om 'n praktiese toepassing van die teorie daar te stel sodat melk gepasteuriseer kan word deur middel van sonenergie.



HOOFTUK 5

PROTOTYPE MODEL

5.1 INLEIDING

In die vorige hoofstuk is die resultate gegee van verskeie eksperimente wat uitgevoer is om te bepaal of die son geskik sal wees om melk te pasteuriseer deur middel van sonenergie. Uit die gegewens so verkry gaan 'n pasteuriseerder ontwikkel word om die melk te pasteuriseer.

5.2 ALGEMEEN

In die vervaardigingsektor is konvensionele sonpanele wat vas gemonteer word om water te verhit. Die panele werk met 'n effektiwiteit van ongeveer 55 % vir die spesifieke verhouding tussen die volume water en die oppervlakte van die sonpanele. Die panele gebruik 'n aluminium oppervlakte waar koperpype in gebed is, om die hitte oor te dra na die koperpype en dan weer na die water. Hitte-uitruiling vind wel plaas, maar is nie effektief genoeg om die water so te verhit dat dit vir pasteurisering gebruik kan word nie.

5.3 PASTEURISEERDER

Die pasteuriseerder wat ontwikkel word, moet ongeveer 1 liter melk pasteuriseer vir 'n periode van dertig minute. Die omhulsel van die waterbad waarin die melksakkies geplaas word, is vervaardig uit 'n gegalvaniseerde plaat van 0,9 mm. Die waterbad is dubbelwandig met die isolasiemateriaal wat 50 mm dik is tussen die wande. Die isolasie verseker dat die hitteverlies in die stoortenk tot die minimum beperk word.

5.3.1 Sonpaneelkas

Uit die vorige gegewens van eksperiment 1 blyk dit dat die sonpaneel van aluminiumplaat nie effektief is nie en daarom word 'n ander model ontwikkel wat meer effektief moet wees. Berekeninge toon dat die mees effektiewe wyse om die oppervlakte te vergroot is om die koperpype plat te maak sodat die hitte-oordraging meer effektief is na die middel van die koperpyp waar die water vloei.

Die paneelkas is 100 mm diep sodat die son uit 'n hoek van ongeveer 15 grade op die pype begin skyn vir die verhittingsproses. Op die bodem van die paneelkas is 'n spieël geplaas om die sonstrale wat verby die pype skyn terug te weerkaats. Die spieël is 10 mm van die pype af geplaas om die sonstrale effektief op die agterkant van die pype te laat weerkaats. Die paneelkas is uit hout vervaardig met 'n laag gegalvaniseerde plaat om die hout te beskerm teen alle weersomstandighede. Die sonpaneel is met 6 mm veiligheidsglas geïsoleer bo-op die pype om die wind af te skerm en om die pype en spieël te beskerm.

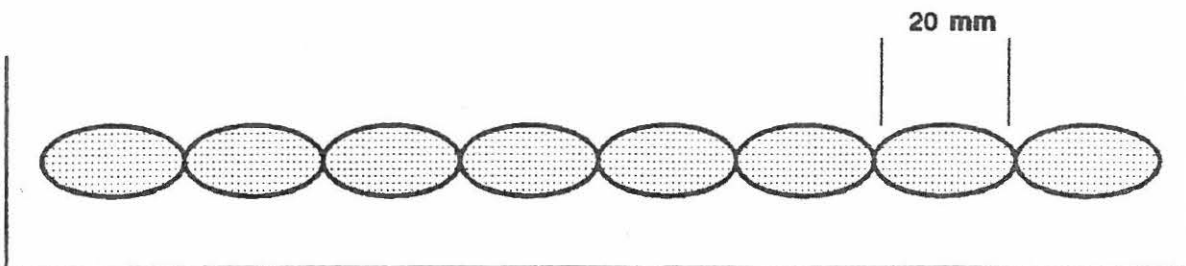
5.3.2 Tenk

Die tenk van die pasteuriseerder is vervaardig uit gegalvaniseerde plaat van 0,9 mm dik. Die tenk kan 'n kapasiteit van 15 liter water hanteer. Dit het 'n dubbel wand vir isolasie. Een tipe isolasie is die behandelde papierisolasie wat "Thermoguard" genoem word. Dit is waterbestand en is omgewingsvriendelik, want die materiaal word vervaardig uit afvalpapier wat behandel is teen brand.

Die warmwater toevoer van die paneel is bo in die tenk geplaas en die kouewater terugvoer is onder vir natuurlike konveksie. Ongeveer een derde van onder is 'n kraan geplaas om die water te gebruik indien dit benodig word vir wasdoeleindes. Die tenk het 'n opklapdeksel om die hitte in die tenk te hou vir die pasteuriseerproses. Die aangehegte ingenieurstekening aan die einde van die hoofstuk toon hoe die melkpasteuriseerder lyk.

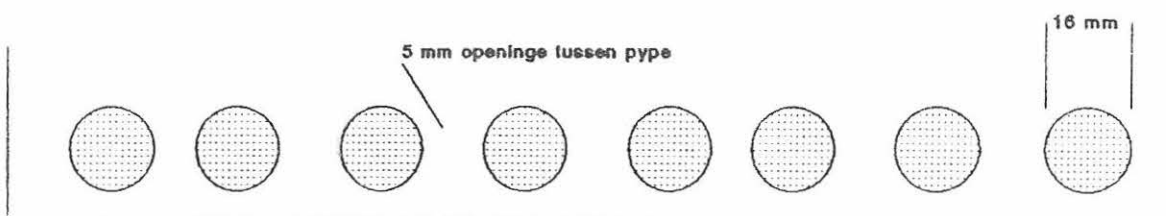
5.3.3 Koperpype

Die sonpaneel stelsel bestaan uit koperpype van 15 mm wat deur middel van aansweiskoppelstukke aan mekaar gesweis is. Daar is twee banke pype wat afsonderlik funksioneer om die vloei van die warmwater te verhoog. Die pype wat plat gepers is, verhoog ook die absorbeeroppervlakte van die sonpaneel. Die oorspronklike breedte van die pype is 15 mm en dit word vergroot na 20 mm. Figuur 20 toon die vergroting in oppervlakte indien dieselfde hoeveelheid pype gebruik word. Die pype verhoog dus die oppervlakte om die sonstrale te absorbeer. Tabel 8 toon die koste-effektiwiteit van die paneel aan indien dit vergroot word as meer melk gepasteuriseer wil word.



Indien die koperpype in 'n ovaal vorm gedruk word, verhoog die oppervlakte van die paneel

Die hittegeleiding van die koper na die middel van die water word verkort vir minder verliese.



Die oppervlakte van die rondpypstelsel is aansienlik minder as die ovaalpypstelsel

Fig. 20 Verskil in oppervlakte van 'n ronde pypstelsel en 'n ovaalpypstelsel.

Tabel 8: Die koste verhouding indie  suriseerder vergroot moet word.

Hoek van son	30°	60°	90°	Kamers	
Aantal pype per m ²	m ²	m ²	m ²	Totale area	Kostes per m ²
35	0,819	1,232	0,820	2,87	R223
49	0,56	1,295	1,148	3,19	R311
63	0,735	1,106	1,477	3,31	R400

5.4 TOETSING

5.4.1 Prosedure

Die paneel wat gebou is, het 'n oppervlakte van 0,305 m² en aan die een kant van die paneel is 'n spieël geplaas met 'n oppervlakte van 0,305 m² om die oppervlakte te vergroot na 0,61 m². Die spieël word gebruik om die hitte te reguleer indien die water in die stoortenk te hoog is, want die melk moet teen die vereiste temperatuur gepasteuriseer word. Die sonpaneel se totale volume water is 13 liter. Die 500 ml sakkie en 'n 1 liter sakkie is gebruik vir die pasteuriseringsproses en om die effektiwiteit van die paneel te meet.

5.4.2 Resultate

Vir 'n oppervlakte van 0,61 m² en die uitstralingsvermoë van die son van 0,866 kW/m², met 'n verlies van 23,2 % vir die spieël as gevolg van die drywing beskikbaar vir die sonpaneel:

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= 0,61 \times 0,866 \times 0,768 \\ &= 0,405 \text{ kW}\end{aligned}$$

Die teoretiese tyd benodig om die water te verhit:

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= \frac{m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)}{t} \\ t &= \frac{13 \times 4,186 \cdot (65 - 16)}{0,405} \\ &= 6583 \text{ sekondes} \\ &= 109,7 \text{ minute}\end{aligned}$$

Die gemiddelde hitte-oordragingtyd gemeet vir 13 liter water om tot 65°C te bereik het in 3 ure geskied en is dus:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{werklik}} &= \frac{m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)}{t} \\ &= \frac{13 \times 4,186 \cdot (65 - 16)}{180 \cdot 60} \\ &= 0,246 \text{ kW}\end{aligned}$$

Die effektiwiteit van die sonpaneel is dus:

$$\mu = \frac{0,246}{0,405}$$

$$= 60,7 \%$$

In die onderstaande tabelle is die gemete waardes van die 500 ml en 1000 ml melk saamgevat.

Tabel 9: Die tabel toon die tyd wat dit vir die 500 ml en die 1000 ml melk geneem het om die vereiste temperature te verkry oor 'n paar dae.

Tyd	Dag 1		Dag 2		Dag 3		Dag 4	
Min	500 ml	1 ℓ	500 ml	1 ℓ	500 ml	1 ℓ	500 ml	1 ℓ
5	43°C	39°C	45°C	41°C	41°C	37°C	43°C	39°C
18	63°C	61°C	63°C	63°C	61°C	59°C	63°C	61°C
40	65°C	63°C	64°C	64°C	64°C	62°C	65°C	63°C
46	65°C	65°C	65°C	65°C	65°C	65°C	65°C	65°C

Tabel 10: Die gemiddelde temperature van die melk soos gemeet in tabel 9.

min	500 ml	1 ℓ
5	43°C	39°C
18	63°C	61°C
40	65°C	63°C
46	65°C	65°C

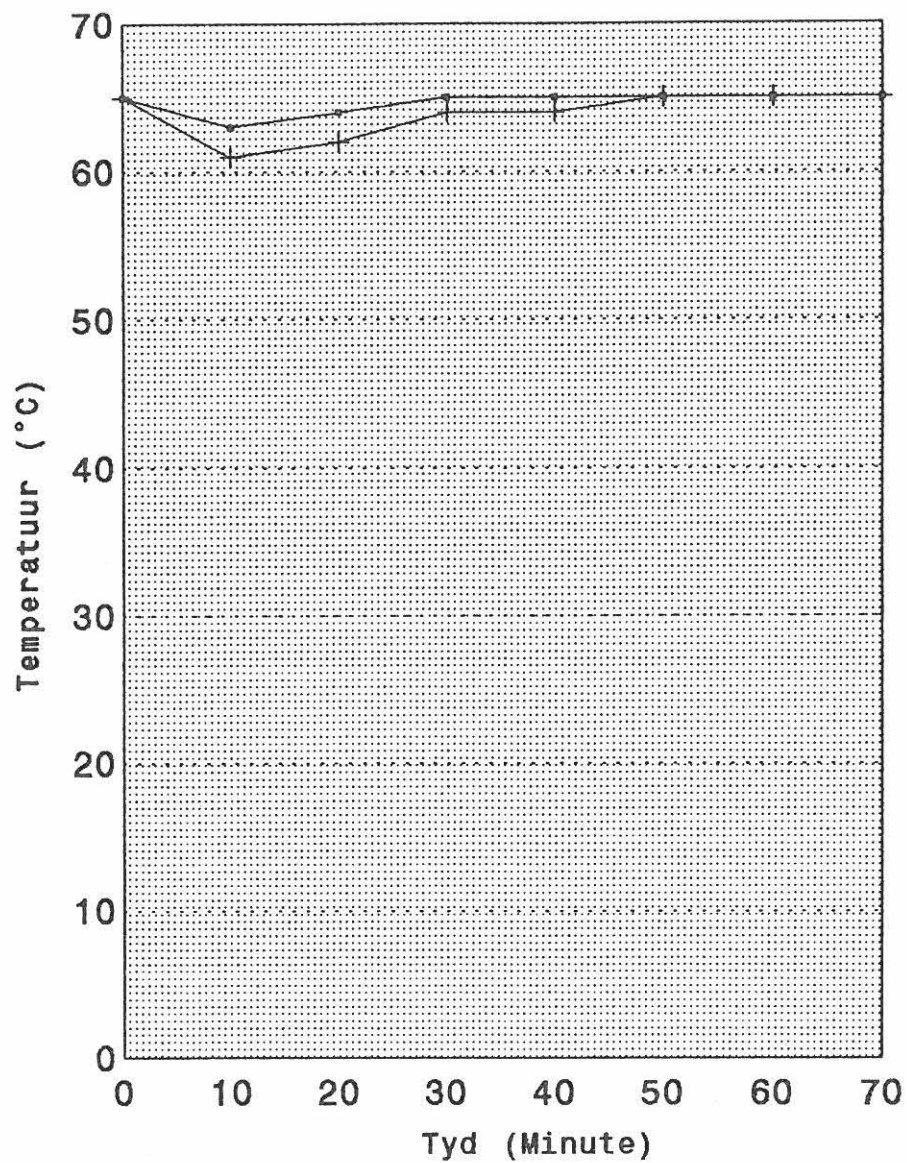
Indien die 1 liter koue melk van 16°C in die waterbad geplaas word, is daar 'n afname in temperatuur van die water van 65°C na 61,5 °C. Die water het 41 minute geneem om weer tot 65°C te styg. Die water het dus met 3,5°C gedaal in 8 minute en na nog 33 minute het die water weer die vereiste temperatuur bereik. Die 1 liter melk het egter feitlik 46 minute geneem om die vereiste 65°C te bereik. Om dus 1 liter melk te pasteuriseer met die sonpaneel met 'n oppervlakte van 0,61 m² en 13 liter water neem 76 minute want die melk moet vir 30 minute teen 'n temperatuur van 65°C gehou word. Figuur 21 toon die daling van die stoorwater met die byvoeging van die 500 ml en 1000 ml melksakkies. Figuur 22 toon die styging van die temperature van die 500 ml en die 1000 ml melk in die stoortenk. Indien die 500 ml koue melk van 16 °C in die waterbad geplaas word, is daar 'n afname in temperatuur van die water van 65°C na 63,1°C. Die water het 28 minute geneem om weer tot 65°C te styg. Die water het met 1,9°C gedaal in 6 minute en na nog 22 minute het die water weer sy oorspronklike temperatuur van 65°C bereik. Die 500 ml melk het egter 40 minute geneem om die 65°C te bereik. Om die 500 ml melk te pasteuriseer neem dus 70 minute want die melk moet vir 30 minute teen die vereiste temperatuur gehou word.

Tabel 11 toon die resultate van die gepasteuriseerde melk wat getoets is by die Universiteit van die Oranje-Vrystaat.

Tabel 11: Resultate van gepasteuriseerde en ongepasteuriseerde melk

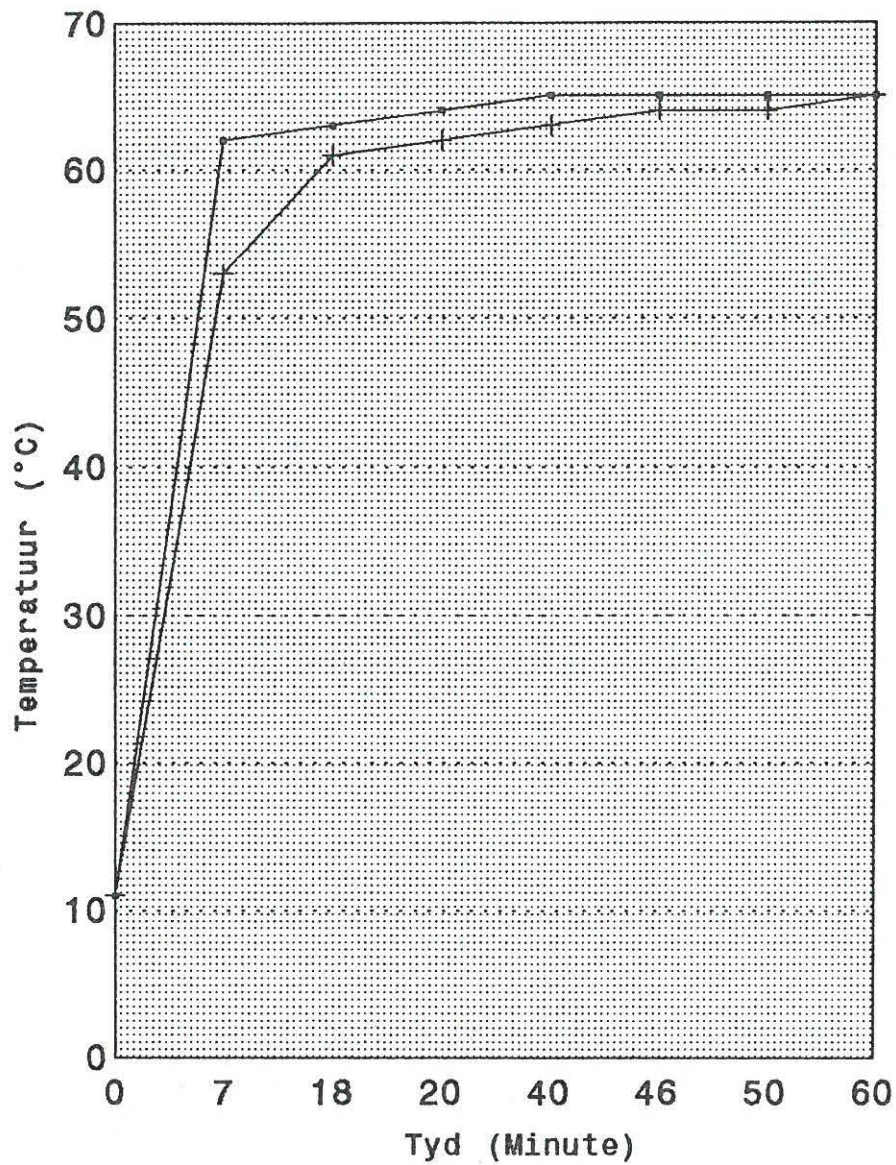
Monster	Standaard Plaattelling	Koli	Fosfatase
Rou melk	750	30	40
Gepasteuriseerde melk	100	0	0

Die rou melk se telling van bakterieë was 750 en die van die gepasteuriseerde melk was 100. Die fosfatase ensiem-telling van die rou melk was 40 mikrogram/l en die van die gepasteuriseerde melk was 0. Die totale bakterie-telling het ook gedaal van 30 na 0. Die melk is vir 'n periode van 30 minute in die prototipe pasteuriseerder gepasteuriseer soos vereis deur die Wet.



• 500 ml melk
+ 1000 ml melk

Fig. 21 Daling van stoorwater indien 500 ml en 1000 ml melk in 13 liter stoorwater gevoeg word



• 500 ml Melk
+ 1000 ml melk

Fig. 22: Styging van 500 ml en 1000 ml melk in pasteuriseertenk met temperatuur van 65 °C.



5.4.3 Gevolgtrekking

Die hoeveelheid energie wat die melk nodig om die proses te voltooi is voldoende vir die pasteuriseerder. Die pasteuriseerder het 0,246 kW beskikbaar vir die proses en 1 liter melk het slegs 0,079 kW nodig om gepasteuriseer te word. Uit die resultate wat verkry is, kom dit duidelik na vore dat melk gepasteuriseer kan word deur middel van sonenergie. Om die melk te pasteuriseer met die paneel, kan die proses eers om 12h30 begin, want dan is die temperatuur van die water soos voorgeskryf deur die Wet. Omdat die tydperk van bestraling beperk is, kan daar dus ook net tot 16h00 gepasteuriseer word. Met die grootte paneel kan daar dus ongeveer 3 liter melk op een dag gepasteuriseer word indien die 1 liter sakkie gebruik word, want dit neem ongeveer 228 minute (3,6 uur) om die 3 liter te pasteuriseer. Indien 500 ml sakkies gebruik word kan daar ongeveer 1,5 liter melk op een dag gepasteuriseer word, want dit neem ongeveer 70 minute vir die 500 ml. Om dus 1,5 liter melk te pasteuriseer in 500 ml sakkies neem dan ongeveer 210 minute (3,5 uur).

5.5 OPSOMMING

In dié hoofstuk is 'n pasteuriseerder ontwikkel om melk te pasteuriseer sodat dit kommersieel in die mark versprei kan word. Die melk is gepasteuriseer en deur die Universiteit van die Oranje-Vrystaat getoets. Dit het aan al die standaarde voldoen soos deur die Wet voorgeskryf.

Die eksperimentele werk het dit moontlik gemaak om 'n proto-tipe melkpasteuriseerder te bou, want daar is sekere vereistes waaraan voldoen moet word voordat so 'n pasteuriseerder gebou kon word. Aangeheg is 'n tekening van hoe die melkpasteuriseerder vervaardig moet word. Figuur 23 toon die proto-tipe melkpasteuriseerder wat vervaardig is vir die pasteurisering van melk.

In die volgende hoofstuk gaan die verslag saamgevat word en na sekere aspekte soos die praktiese toepassing en die kommersiële toepassing gekyk word indien die pasteuriseerder verkoop en gebruik wil word in die afgeleë gebiede.



Fig. 23: Die proto-tipe melkpasteuriseerder

HOOFSTUK 6

6.1 OPSOMMING VAN RESULTATE

Tydens die studie is eksperimente uitgevoer om die verhouding tussen die volume water en die hoeveelheid sonenergie te bepaal om melk suksesvol te pasteuriseer. Die uitstraling van die son word as konstant aanvaar omdat die hoeveelheid uitstraling in die somer en die winter nie 'n groot verskil het nie.

- (a) Die tyd van verhitting is duidelik een van die grootste probleme omdat die uitstraling van die son net teen 'n sekere tempo kan plaasvind en in 'n beperkte tyd. Tydens die eksperimente waar die aluminiumplate gebruik is om die oppervlakte van die absorbeerder te vergroot was die effektiwiteit van die pasteuriseerder nie so groot as waar net van koperpype gebruik gemaak is nie. Die verskil was ongeveer 36 % beter waar die koperpype en die spieël gebruik is. Dit is een van die redes vir die lae effektiwiteit van die bestaande sonpanele wat beskikbaar is in die handel.
- (b) Indien met pasteurisering begin word moet daar eers 'n redelike tyd verloop voordat die temperatuur van die water hoog genoeg is. Die tyd kan wel verkort word maar dan verhoog die kostes vir die toerusting.
- (c) Deel van die navorsing is om die kostes van die toerusting so laag as moontlik te hou sodat die kleinboer daarvan gebruik kan maak en melk beskikbaar kan stel in die handel.
- (d) Die bestaande toerusting wat gebruik word vir pasteurisering is wel duur maar dit is 'n vinnige proses en daarom kan daar op grootmaat gepasteuriseer word. Die kleinste snelpasteuriseerder wat ontwikkel is, kan 500 liter per uur pasteuriseer en die kostes vir die aankoop van die toerusting beloop ongeveer R150 000,00.

Die melk wat gepasteuriseer is, is getoets en voldoen aan die standarde soos in die wet uiteengesit. Dit is dus moontlik om melk te pasteuriseer met sonenergie mits die oppervlakte van die sonpaneel, die volume water en die volume melk in die regte verhouding is. Die hoek waarteen die sonstrale die sonpaneel tref, soos in die verslag uiteengesit is, moet ook in aanmerking geneem word indien die pasteuriseerder gebou word.

nog baie ander eksterne faktore wat die proses beperk.

- (a) Indien dit die dag bewolk is kan die pasteuriseerder nie werk nie omdat dit afhanklik is van die direkte sonstrale.
- (b) Die absorberingsperiode van die sonstrale is beperk en maak dat die toerusting lomp en groot om die vereiste temperatuur te verkry.
- (c) Die proses is ook 'n langdurige proses want die water neem ongeveer 180 minute om tot op die temperatuur te kom voordat die pasteuriseerproses kan begin. Die melk word dan vir 'n verdere 70 minute of 76 minute in die tenk gehou voordat die pasteuriseerproses voltooi is.
- (d) Die son verskuif deurlopend en indien die pasteuriseerder nie gereeld verskuif word nie, kom die pype in mekaar se skaduwee en die spieëls reflekteer nie die sonstrale effektief op die pype nie.

6.2 BESTAANDE INLIGTING

Tydens die navorsingsprojek het dit duidelik na vore gekom dat beperkte inligting beskikbaar is vir die pasteurisering van melk deur middel van sonenergie.

Daar is wel beperkte inligting beskikbaar oor die sonpanele. Die meeste van die sonpanele wat beskikbaar is in die handel kan net tot ongeveer 62°C water verhit. Dit is voldoende vir die huishouding want in die normale huishouding word nie warmer water as 55°C benodig nie.

Daar is instansies in Suid-Afrika wat melk pasteuriseer deur middel van die lotproses maar hulle maak nog van elektrisiteit gebruik. Die proses van lotpasteurisering is dus goedgekeur deur die Wet.

6.3 PRAKTIESE TOEPASSING

Van ongeveer 9 uur in die môre moet die pasteuriseerder in posisie geplaas word om die sonstrale op te vang. Soos die son verskuif moet die spieël verander word om seker te maak dat die hele oppervlakte van die strale op die koperpype weerkaats. Na ongeveer 3 ure, wanneer die vereiste temperatuur van 65°C bereik is, word die melksakkie in die pasteuriseertenk geplaas. Die 1 liter melksakkie moet dan in die water gehou word vir 76 minute om die pasteuriseringsproses te voltooi. Nadat die sakkie verwyder is moet dit in koue water geplaas word om weer af te koel.

Die pasteurisering van melk in afgeleë gebiede was tot nou toe nog nie moontlik nie, maar met die navorsing het dit wel moontlik geword vir die kleinboer om melk te pasteuriseer en te verkoop.

- (a) Die stelsel is goedkoop en kan maklik hanteer word.
- (b) Die pasteuriseerder kan ook vir die opwekking van warmwater gebruik word. Aangesien daar nie verkoelingsgeriewe is nie, kan die gepasteuriseerde melk in koue water geplaas word om af te koel.
- (d) Water kan benut word vir ander doeleindes indien die pasteuriseerproses voltooi is, want die water het dan 'n temperatuur van 65°C.
- (e) Gemeenskappe kan minder hout verbrand wat omgewingsbewaring aanhelp.
- (f) Die stelsel is nie ingewikkeld nie en het geen onderhoud nodig nie.
- (g) Die water in die pasteuriseertenk moet wel van tyd tot tyd opgevolg word aangesien die water verdamp as dit die temperatuur bereik wat vereis word.
- (h) Die houe waar die melk gepasteuriseer word kan vrylik in die handel aangekoop word, waar die melk eenvoudig in die houer gegooi en in die pasteuriseerder geplaas word vir die proses.
- (i) Met die prototipe pasteuriseerder neem dit ongeveer 76 minute om een liter melk te pasteuriseer met 'n volume van ongeveer 13 liter warmwater. Die oppervlakte van die absorbeerder moet ten minste 0,61m² wees. Indien groter volumes gepasteuriseer wil word, moet dit in verhouding aangepas word. Die pasteuriseerder wat ontwikkel is, kan 3 liter melk op een dag pasteuriseer mits daar geen wolkebedekking voorkom nie en as die lug nie te veel stofdeeltjies in het nie.

6.4 KOMMERSIËLE TOEPASSING

As 'n kleinboer wil begin met pasteurisering, is die kapitale uitleg van die stelsel ekonomies. Die toerusting is goedkoop om te vervaardig en geen gespesialiseerde kennis is nodig om die stelsel in stand te hou nie. Die melkhoue is ook vrylik beskikbaar en is eenvoudig om te seel.

Die kostes vir die vervaardiging van die finale prototipe het as volg beloop:

Materiaal aankope	R 650,00
Arbeid	R 280,00
Diverse uitgawes (elektrisiteit vervoer)	<u>R 40,00</u>
Totaal	<u>R 970,00</u>

Die koste van die melkhouers is ongeveer R0,38/houer (met die prop ingesluit). Indien die kleinboer die grootte stelsel aankoop kan hy 3 liter per dag pasteuriseer in ideale omstandighede. In een maand kan hy dus 90 liter pasteuriseer. Met die huidige kostes van die gepasteuriseerde melk teen ongeveer R1,40/liter is die totale inkomste vir die maand R126,00.

6.5 OPSOMMING

Met die navorsing het dit moontlik geword om die afgeleë kleinboer te help om melk te pasteuriseer en so die verspreiding van die siektes te beperk. Die kleinboer kan ook deel word van die ekonomie sonder dat groot hoeveelhede kapitaal uitgelê word. As daar in geheel na die navorsing gekyk word is die benutting van sonenergie nog in die begin stadium wat meebring dat so 'n stelsel effektief is indien die sonstrale nie beperk word nie, maar dat daar nie op 'n gereelde basis van die energie gebruik gemaak kan word nie. Die melk wat beskikbaar is moet daagliks verwerk word, want beeste moet daagliks gemelk word. Die melk kan ook nie gestoor word vir onbepaalde tydperke nie.

1. Chinnery, DNW. CSIR research report 248. Solar waterheating in South Africa. National Building Research Institute, Bulletin 44. Pretoria: 1971.
2. Eastop, T.D. and McConkey, A. Applied Thermodynamics for Engineering Technologists. 5th ed. New York: Longman Scientific Technical, 1993.
3. Enslin, J.H.R. Hibriede energie-topologieë vir die verskaffing van elektriese energie aan gedesentraliseerde energieverbruikers. Transactions of the Institute of Electrical engineers, Sep. 1989, pp 68-76.
4. The Encyclopedia. Infrared lamp. Encyclopedia of science and technology. 7th ed. New York: Vol. 9, 1992, p. 165.
5. Keller, J.J. Holzapfel, W.H. ,Steinmann, M.A. Mikrobiologiese populasieverskille tussen gepasteuriseerde melk en bederfde gepasteuriseerde melk. South African Journal of Dairy Science. Vol. 19, no. 3. 1978, pp. 85-89
6. Kleynhans, E.L. en Van Zyl, J.M.R. Toegepaste Termodinamika T2. Viljoensdrift: 1985.
7. Kreider, J.F., Hoogendoorn, C.J., Kreight, F. Solar design. Components, systems, economics. New York: Hemisphere Publishing Corp, 1989.
8. Kreigh, F. en Kreider, J.F. Engineering principals of solar engineering. New York: Hemisphere Publishing Corp, 1978.
9. Milk-Pro Technologies. Milk-Pro Melk en pasteurisering sisteem. Johannesburg, 1991.
10. Nell, H. Artesol-solar cooking unit. Gordons Bay, 1996.
11. Nell, H. Sonstoof werk selfs in betrokke weer. Landbouweekblad, 12 Januarie 1996, p. 34
12. Pasteuriseereenheid vir die kleinboer. Landbouweekblad, 11 September 1992, p. 54
13. Solar Energy Research Institute. Engineering principals and concepts for active solar systems. New York: Hemisphere Publishing Corp, 1989.

14. The Encyclopedia. Ultraviolet lamp. Encyclopedia of science and technology. 7th ed. New York: McGraw-Hill. Vol. 19, 1992, p.19
15. Weerkantoor. Statistieke Pretoria: Die Weerkantoor. 1996.
16. Die Staatskoerant. Wet op Voedingsmiddels, Skoonheidsmiddels en Ontsmettingsmiddels.- 1972 (Wet 54 van 1972). 8 Februarie 1985. pp. 14-29.
17. Willy's Energy Savers. Ladybrand. 1996.
18. Thermoguard. 1996.

A	Area, m^2
λ	Termiese geleidingsvermoë, W/mK
α	Hitte-oordragingskoeffisiënt, W/m^2K
c	Hittekapasiteit, kJ/kgK
ζ	Konveksie hitte-oordraging
co	Spoed van lig in 'n vakuum, m/s
d	Dikte, m
dd	Integraaldikte van 'n liggaam, m
dT	Integraaltemperatuur van 'n liggaam, $^{\circ}C$
$\hat{i}$	Uitstraling, W/m^2K
m	Massa, kg
n	Indeks van lugbreking, μm
$\dot{Q}$	Drywing of hittevloeiempo, kW
Q	Energie opgeneem of afgegee, kJ
$\dot{Q}_1$	Hittevloeiempo van 1 liter water, kW
$\dot{Q}_{0,5}$	Hittevloeiempo van 500 ml water, kW
$\dot{Q}_m$	Hittevloeiempo van melk, kW
$\dot{Q}_w$	Hittevloeiempo van water, kW
T	Temperatuur, $^{\circ}C$
U	Verandering in interne energie, kJ
v	Frekwensie, μm
t	Tyd, sekondes
y	Weerkaatsing
μ	Rendement
$\ddot{e}$	Dikte waar hitte-uitruiling plaasvind
τ	Absolute koeffisiënt

FIGURE

- Figuur 1** Hoë Temperatuur snel pasteuriseerder.
- Figuur 2** Elektriese lotpasteuriseerder met rakke om 48 liter melk te pasteuriseer.
- Figuur 3** Sonstoof met 'n paraboliese spieël om klein hoeveelhede voedsel te verhit.
- Figuur 4** Kommersiële warmwater sonpaneel met 'n kapasiteit van 150 liter water.
- Figuur 5** Geleidingsvermoë van sekere vloeistowwe.
- Figuur 6** Elektromagnetiese golfspektrum.
- Figuur 7** Voorstelling van hittegeleiding deur 'n dun liggaam.
- Figuur 8** Die vloeï van hitte deur 'n skeidings-medium.
- Figuur 9** Uitstralingsenergie van 'n swart liggaam by verskillende temperature.
- Figuur 10** Die styging van water temperatuur oor 'n periode van 24 uur in 'n kommersiële warmwater sonpaneel.
- Figuur 11** Die hittegeleidingsdoeltreffendheids-faktor van 'n paar vloeistowwe.
- Figuur 12** Vooraansig en syaansig van 'n paraboliese sonverhitter met 'n spieël wat die sonstrale konsentreer op 'n bank koperpype.
- Figuur 13** 'n Plat sonpaneel met 'n spieël aan die onderkant en sykant van die bank koperpype.
- Figuur 14** Weerkaatsing van die sonstrale op 'n spieël na die koperpype wat verskillende afstande uitmekaar gespasieer is.
- Figuur 15** Invalshoeke van die sonstrale met 'n spieël aan die een sykant.
- Figuur 16** Posisie van die warmwatertoevoer en die kouewater terugvoer van die stoortenk.
- Figuur 17** Die werklike styging van water indien verskillende volumes water met dieselfde oppervlakte verhit word.
- Figuur 18** Temperatuurdaling van stoorwater indien verskillende volumes koue melk bygevoeg word.
- Figuur 19** Die temperatuurstyging van die verskillende volumes koue melk wat in die stoortenk gevoeg is.
- Figuur 20** Verskil in oppervlakte van 'n rondepypstelsel en 'n ovaalpypstelsel.
- Figuur 21** Daling van stoorwater indien 500 ml en 1000 ml melk in stoorwater gevoeg word.
- Figuur 22** Styging van 500 ml en 1000 ml melk in pasteuriseertenk met 'n temperatuur van 65 °C.
- Figuur 23** Die proto-tipe melkpasteuriseerder.

TABELLE

Tabel 1	Gemete waardes van 'n kommersiële sonpaneel.
Tabel 2	Infrarooi uitstraling.
Tabel 3	Die geleidingsvermoë van verskeie vastestowwe.
Tabel 4	Hittekapasiteit van kommersiële vloeistowwe.
Tabel 5	Persentasiebesparing in hitteverlies van die isolasie materiaal "Thermoguard".
Tabel 6	Styging van die temperatuur van 176 ml water in 'n enkel koperpyp in ideale omstandighede.
Tabel 7	Die temperatuurstyging in °C van verskillende volumes melk en die verhitting van die water.
Tabel 8	Die kosteverhouding indien die pasteuriseerder vergroot moet word.
Tabel 9	Die tyd van verhitting van 500 ml en 1000 ml melk oor 'n paar dae.
Tabel 10	Die gemiddelde temperatuur van melk soos gemeet in Tabel 9.
Tabel 11	Resultate van gepasteuriseerde en ongepasteuriseerde melk.

AANHANGSEL 1

Tyd benodig om 1 kg water met 1 m² sonstoof te verhit.

$$\dot{Q} = \frac{m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)}{t} \text{ kW}$$

$$\dot{Q} = \text{Drywing (hittevloeiempo) (kW)}$$

$$m = \text{Massa vloeistof (kg)}$$

$$c = \text{Hittekapasiteit van water (kJ/kg.K)}$$

$$T_2 = \text{Eindtemperatuur (Celcius)}$$

$$T_1 = \text{Begintemperatuur (Celcius)}$$

$$t = \text{Tyd (sekondes)}$$

Die verlangde tyd is dus:

$$\begin{aligned} t &= \frac{m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)}{\dot{Q}} \\ &= \frac{1 \times 4,186 \cdot (96 - 25)}{1000} \\ &= 297 \text{ sekondes} \\ &= 4 \text{ minute en } 57 \text{ sekondes} \end{aligned}$$

AANHANGSEL 2

Oordrag van hitte deur plastiek

Beskou die plastieksak.

Aanvaar $\alpha_1 = \alpha_2$

$$U = \frac{1}{\alpha a + \frac{\lambda}{x} + \alpha b}$$

U = Algehele hitte-uitruilkoëffisiënt (W/m²K)

$\alpha a, \alpha b$ = Gemiddelde konveksie hitte-uitruilkoëffisiënt van water en melk.
(W/m²K)

λ = Termiese geleidingsvermoë van plastiek.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{1300} + \frac{0,1}{1000 \cdot 0,225} + \frac{1}{1300}$$

$$\frac{1}{U} = 0,00198$$

$$U = 504,31 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\begin{aligned} \dot{q} &= U (T_2 - T_1) \\ &= 504,31 (72 - 4) \\ &= 34,34 \text{ kW/m}^2 \end{aligned}$$

Plastiek kan dus 34,34 kW/m² hitte oordra.

Die plastieksakkies wat gebruik word het 'n oppervlakte van 0,0375 m² en die energie wat oorgedra kan word is:

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \dot{q} A \\ &= 34,34 \times 0,0375 \\ &= 1,28 \text{ kW} \end{aligned}$$

Die verlies deur die plastieksak is dus weglaatbaar klein aangesien die hitte wat met die oppervlakte oorgedra kan word 1,28 kW is en die pasteuriseerder het slegs tussen 0,4 en 0,5 kW se energie beskikbaar vir die pasteuriseerproses.