

SW
HW
77

1/8/1 250001 A

Demonstratieproject Energiearme Kas
DENARKAS B.V.

Demonstratieproject RESTWARMTE
(Technisch rapport no. 1)

Ing.K.R.Nawrocki
Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen

IMAG, Wageningen
november 1985

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS



0000 0935 5864

Inhoud

Samenvatting

1.	Inleiding	Biz	1
2.	Doel van het project	"	1
3.	Uitgangspunten	"	2
3.1.	De verwarmingsinstallatie	"	2
3.2.	Warmtetechnische gegevens	"	3
3.2.1.	Warmteberekening	"	5
3.3.	Omschrijving verrichte werkzaamheden	"	6
3.3.1.	Bestaande verwarmingsinstallatie	"	6
3.3.2.	Alcoa net	"	7
3.3.3.	Grondverwarming	"	7
3.3.4.	Simulatie installatie restwarmte	"	7
3.3.5.	CO2-voorziening	"	8
4.	Regelschema L.W.kas	"	8
4.1.	Regelprincipe	"	8
4.2.	Toelichting figuur 2	"	8
4.2.1.	Het Alcoa net	"	8
4.2.2.	Het grondverwarmingsnet	"	9
4.2.3.	Het bestaande net	"	10
4.2.4.	De simulatie ketel	"	10
5.	Ervaringen na een seizoen	"	11
5.1.	Algemeen	"	11
5.2.	Invloedsfactoren energieverbruiksmeting	"	11
5.2.1.	Bepaling gasverbruik	"	11
5.2.2.	Heersende temperaturen in de kas	"	12
5.2.3.	Vergelijking proefkassen	"	12
5.2.4.	Eigenschappen restwarmte-installatie	"	13
5.2.5.	Verhouding restwarmte en ketelwarmte	"	13
6.	Aandachtspunten in komend meetseizoen	"	15
6.1.	Meting energieverbruik	"	15
6.2.	Het gedrag van de regelklep	"	15
6.3.	Optimalisering aandeel restwarmte	"	15
7.	Conclusies	"	16

Samenvatting

De middelste van de drie bij DENARKAS B.V. staande kassen is in de zomer van 1984 geschikt gemaakt voor de benutting van restwarmte. Samen met de twee andere kassen blijft deze kas deel uitmaken van het demonstratie- en praktijkproject energiebesparing op DENAR. Het teeltgebeuren in de zo genoemde Laagwaardige Warmte (L.W.) kas blijft daarmee gericht op de hoofd-doelstelling van het DENARKAS project, t.w. het leren telen onder energiebesparende omstandigheden.

Dit betekent dat alle teeltmaatregelen (het teeltregiem) in de L.W.kas gericht blijven op het bereiken van een optimale produktie, zowel kwantitatief als kwalitatief, en dat ook de restwarmtebenutting geheel op die doelstelling wordt afgestemd. Er wordt als het ware voor restwarmtebenutting niets gedaan of nagelaten wat ten koste zou kunnen gaan van de optimale produktie. Deze aanpak houdt verder in, dat de teelt in de L.W.kas in alle opzichten vergelijkbaar blijft met de teelten in de andere twee kassen op DENAR.

In feite betekent het bovenstaande, dat de technische mogelijkheden van restwarmtebenutting worden nagegaan onder de omstandigheden zoals zich die ook bij "echte" restwarmtebenutting in de praktijk van de tuinbouw zullen voordoen.

Indien men in de toekomst tuinbouwkassen wil verwarmen met rest- en afvalwarmte van elektriciteitscentrales en/of industriegebieden, dan heeft een dergelijke manier van verwarmen consequenties voor de opbouw, bediening en regeling van de verwarmingsinstallaties.

Als demonstratie is in de L.W.kas een voor restwarmte aangepast verwarmingssysteem geïnstalleerd. Het project is bedoeld om kinderziekten te kunnen elimineren en om de glastuinbouwwereld de tijd te geven om zich technisch en psychologisch voor te bereiden op deze manier van verwarmen.

Bij de DENARKAS is een container geplaatst met daarin een ketel en warmtewisselaar voor nabootsing van de levering van restwarmte.

De warmtewisselaar scheidt het primaire watercircuit van buiten van het secundaire of verwarmingscircuit op het bedrijf. Het primaire retourwater wordt door de industrie gebruikt als koelwater, met de eis dat dit niet warmer mag zijn dan 45 graden Celcius, bij voorkeur kouder.

De bestaande verwarming in de twee compartimenten van de L.W.kas bestond uit:

- 9 pijpen (diam. 51 mm) per kap van 9,60 m en op ketelwater 90/70 graden°C.
- 9 polyethenslangen (diam. 25 mm) per kap van 9,60 m voor grond- respectievelijk steenwolverwarming op de rookgascondensator.

Dit systeem is voor restwarmte aangevuld met een bijzonderlijk net van aluminium pijpen geplaatst op steunen circa 15 cm boven de bloembedden. Dit net en in serie daarmee de grondverwarming worden gevoed door restwarmte.

De secundaire temperaturen aan de warmtewisselaar kan 80°C en 40°C bedragen om ontwerp-technische redenen en om het primaire koelwater onder de 45°C te houden zijn het extra net en de grondverwarming ontworpen op 55/35°C, waarmee het eerste proefjaar ook is gewerkt. Bij warmtevraag behoren de op restwarmte geplaatste verwarmingsnetten eerst in bedrijf te komen, gevolgd door het reeds bestaande ketelnet.

Uit haalbaarheidstudies is gebleken dat bij een aansluitwaarde van 30 % van de benodigde 180 W/m² grond aan capaciteit voor een moderne kas (54 W/m²), men 70 % van de totale warmtebehoefte kan dekken.

Bij het eerste meetseizoen van het DENAR-project is dit percentage niet gehaald. Als mogelijke oorzaken kunnen de inregelperiode, installatiefouten, constructieverschillen van de kas, de slechte werking van de regelklep en geen optimale afstemming van de verwarmingsnetten worden genoemd. Ook andere, niet genoemde, oorzaken kunnen een rol spelen.

In het nieuwe meetseizoen zal meer onderzoek naar de energiemeting, de ventilatieverschillen tussen de kassen onderling, de CO₂-dosering en het optimaliseren van de regeling van verwarmingsnetten verricht moeten worden.

Tot slot kan gezegd worden dat het verwarmen met restwarmte geen noemenswaardige problemen voor de teelt heeft gegeven, hoewel kleine temperatuurverschillen wel tot produktieverschillen leiden.

1 Inleiding

Als o.a. voorloper van het "Maasdijkproject", is bij DENARKAS B.V. te Rijswijk een verwarmingssysteem met simulatie van restwarmte geïnstalleerd.

Het plan "Maasdijkproject" houdt in, dat vanuit het Botlekgebied een warmwaterleiding naar een deel van het Westland wordt gelegd waarmee de kassen daar ten dele met rest- en/of afvalwarmte verwarmd kunnen worden.

Bij afstandsverwarming van kassen worden de volgende spelregels gehanteerd:

- lagere aanvoer- en retourtemperatuur dan gebruikelijk, omdat hierbij de warmtekosten lager zijn en in mindere mate afhankelijk van de fossiele energieprijzen;
- groter verschil tussen aanvoer- en retourtemperatuur om de kosten van de transport- en distributieleidingen en energie voor het watertransport te drukken;
- ook is het water een koelmedium waarvan de temperatuur zo laag mogelijk moet zijn;
- een aansluitwaarde van 30% van de kasverwarmingscapaciteit, eveneens om de leidingkosten zo laag mogelijk te houden. Dit vereist de aanwezigheid van eigen ketels of warmeluchtkanonnen op het bedrijf om het tekort aan capaciteit te suppleren;
- met een aansluitwaarde van 30% van de verwarmingscapaciteit (basislast) kan 70 % van het jaarlijks brandstofverbruik van 35 m³/m² gas worden gedekt, te verminderen met de invloed van CO₂-dosering daarop;
- de verwarmingsinstallatie in de kas reageert trager door een groter temperatuurverschil tussen aanvoer en retour, met daardoor langere looptijden.

2 Doel van het project

De toepassing van afstandsverwarming vraagt om een technische wijziging van de kasverwarmingsinstallatie, die ook consequenties heeft voor de bediening en regeling daarvan. Het is beter om enige jaren voor de daadwerkelijke invoering van afstandsverwarming één of meerdere bedrijven reeds hiervoor geschikt te maken om, zij het met simulatie van de warmtebron, kinderziekten te elimineren en de glastuinbouwwereld de tijd te geven zich technisch en psychologisch voor te bereiden op de nieuwe situatie.

Het opnemen van het afnamestation (warmtewisselaar en regelapparatuur) in het demonstratieproject is zinvol om dezelfde redenen en omdat in het verleden de warmtemeting met de daaraan verbonden afrekening van de warmtekosten in andere eenheden (nl. de gigajoule) een teer punt is gebleken. Door de traagheid van de installatie met lange looptijden en de gemiddeld lagere pijptemperaturen kunnen ook teelttechnische veranderingen ontstaan.

3 Uitgangspunten

De middelste van de drie bij DENARKAS B.V. staande kassen is in de zomer van 1984 geschikt gemaakt voor de benutting van restwarmte. Samen met de twee andere kassen blijft deze kas deel uitmaken van het DENAR demonstratie- en praktijkproject energiebesparing. Het teeltgebeuren in de zogenoemde Laagwaardige Warmte (L.W.) kas blijft daarmee gericht op de hoofddoelstelling van het DENARKAS project, t.w. het leren telen onder energiebesparende omstandigheden.

Dit betekent dat alle teeltmaatregelen (het teeltregiem) in de L.W.kas gericht blijven op het bereiken van een optimale produktie, zowel kwantitatief als kwalitatief, en dat ook de restwarmtebenutting geheel op die doelstelling wordt afgestemd. Er wordt als het ware voor restwarmtebenutting niets gedaan of nagelaten wat ten koste zou kunnen gaan van de optimale produktie.

Deze aanpak houdt verder in, dat de teelt in de L.W.kas in alle opzichten vergelijkbaar blijft met de teelten in de andere twee kassen op DENAR.

In feite betekent het bovenstaande, dat de technische mogelijkheden van restwarmtebenutting op DENAR worden nagegaan onder de omstandigheden zoals zich die ook bij "echte" restwarmtebenutting in de praktijk van de tuinbouw zullen voordoen.

Het project DENARKAS is thans toegespitst op de bloemteelt. De keus is gevallen op de teelt van gerbera's en de installatie zal daarom aan de volgende temperatureisen moeten voldoen:

- nachttemperatuur: 15 a 16°C. In de winter kan 12°C worden toegestaan;
- dagtemperatuur: 17 a 18°C;
- grondtemperatuur: 25°C (bij een maximale watertemperatuur van 45 a 55°C).

Het dek van de kas bestaat uit enkel glas met daaronder een beweegbaar energiescherm. Eén afdeling is uitgerust voor de grondteelt van gerbera's en de andere voor de teelt op steenwol. Bij de bouw is rekening gehouden met de mogelijkheid om in de toekomst te telen op een verwarmde betonvloer. Er wordt geschermd tot ca. maart en in de winter zal bij een buitentemperatuur van 9°C of lager het scherm altijd dicht zijn.

3.1 De verwarmingsinstallatie

De L.W.kas is geschikt gemaakt voor het gebruik van rest- of afvalwarmte met primaire temperaturen van 85/45°C. De verwarmingscapaciteit van restwarmte zal ca. 30 % van de totale capaciteit bedragen. De restwarmte wordt gesimuleerd door een bij te plaatsen ketel. Het ketelwater voedt de warmtewisselaar met bijbehorende regelapparatuur, afname-station genoemd.

Het kasverwarmingswater stroomt secundair door de warmtewisselaar. In de kas waren reeds twee verwarmingsgroepen aanwezig, nl. het bovengrondse buizennet en de grondverwarming. Een restwarmtesysteem kan op meerdere manieren worden ontworpen. Boven een primaire aanvoertemperatuur van 60°C is het mogelijk de warmtewisselaar in serie met de bestaande ketel te plaatsen. Alle wijzigingen hebben dan plaats in het ketelhuis en er behoeft niets veranderd te worden aan de kasverwarming. Dit was bij de DENARKAS dan ook mogelijk. Er is echter toch gekozen voor een restwarmtesysteem dat geheel gescheiden is van het bestaande ketelcircuit gevoed door een warmtewisselaar parallel met de bestaande ketel. Het was daarom nodig hiervoor een apart net aan te leggen. Om een zo laag mogelijke eindtemperatuur van het verwarmingswater te bereiken is ook de grondverwarming gekoppeld aan restwarmte. Het is voor een goede layout eenvoudiger om de pijpen van het nieuwe net te plaatsen onder de bestaande pijpen. Aantal en plaats zijn hiermede vastgelegd.

Berekend kan worden hoeveel W/m de nieuwe pijp moet afgeven. In dit geval bleek de aluminium pijp met vinnen van Alcoa het gunstigst.

De bestaande groep (buzennet) blijft op het water van de reeds aanwezige ketel aangesloten. Alle regelingen voor deze kas dienden te worden aangepast. Terwille van de proefnemingen kan de CO₂ niet worden betrokken van de bestaande ketel met CO₂-net; daarom zijn twee CO₂-kanonnen geplaatst, voor elke afdeling een.

3.2 Warmtetechnische gegevens

Voor de warmtetechnische berekening is uitgegaan van een buiten-temperatuur van -9°C en een windsnelheid van 5 m/s. De restwarmte levert een vermogen van 54 W/m² grondoppervlak bij primaire temperaturen van 85°C aanvoer en 40°C retour.

k-waarde L.W.kast:

enkel glas $k = 10,94 \text{ W/m}^2 \text{ grond} \cdot \text{K}$

enkel glas + enkel scherm $k = 8,15 \text{ W/m}^2 \text{ grond} \cdot \text{K}$

Conditie	Capaciteiten (W/m ²)		
	totaal	restwarmte	bestaande ketel
enkel glas	263	54	209
enkel glas + enkel scherm	196	54	142
enkel glas + open scherm bij 2°C buitentemp.	114	54	60

In het algemeen wordt voor restwarmte de toekomstige aansluitwaarde van een goed geïsoleerde kas op 180 W/m² grond aangehouden. Hiervan komt 30 % = 54 W/m² voor rekening van restwarmte. Het verschil moet door de eigen installatie worden geleverd. Het distributienet (primaire zijde) wordt opgegeven met een aanvoertemperatuur van 85 °C en een retourtemperatuur van 45 °C. In dit ontwerp is gepoogd de retourtemperatuur te verlagen. Daartoe is 40 °C aangehouden. Secundair van de warmtewisselaar zijn de temperaturen 80/35 °C.

De kasinstallatie is ontworpen voor een aanvoertemperatuur van 55 °C en een retourtemperatuur van 35 °C; bij een groter temperatuurverschil wordt de looptijd te lang. Het aan te leggen buizen-net moet de geleverde warmte bij deze temperaturen kunnen afgeven.

3.2.1 Warmteberekening

Oppervlakte van een afdeling:	1720	m ²
Oppervlakte van twee afdelingen:	3440	m ²
Beschikbaar vermogen restwarmte:	54	W/m ²
Primaire aanvoertemperatuur:	85 of 60	°C
Primaire retourtemperatuur :	45 of 36	°C
Secundaire aanvoertemperatuur:	80 of 55	°C
Secundaire retourtemperatuur :	40 of 31	°C

Capaciteit ketel (bij 90°C water):		
theoretisch	183,6	kW
praktisch	200	kW

Cap. warmtewisselaar: theoretisch	183,6	kW
praktisch	200	kW
bij voorkeur	220	kW (20% vervuilingsgraad)

Gegevens warmteafgiften van de netten

Om een groot temperatuurverschil tussen aanvoer- en retourtemperatuur te verkrijgen is in de kas een speciaal verwarmingsnet aangelegd van aluminium pijpen (Alcoa) voorzien van vinnen om meer warmte te kunnen afgeven.

Indien het grondverwarmingsnet ca. 10 W/m² opneemt, resteert voor het Alcoa-net 44 W/m².

Alcoapijpen: diameter 20 mm, vlerkhoogte 70 mm
 36 lengten, elk 41,80 m lang
 1505 m lengte voor een afdeling
 3010 m lengte voor twee afdelingen

Benodigd vermogen Alcoa-net: totaal	149,6	kW
grond-net: ,,	34	kW

$$\text{Warmteafgifte Alcoa-net: } \frac{149600}{1505 \times 2} = 49,7 \text{ W/m}$$

Volgens de grafiek van Alcoa is bij een $\Delta t = 24^\circ\text{C}$ en een kastemperatuur van 17°C de gemiddelde watertemperatuur 41°C . Er is een gemiddelde pijptemperatuur van 45°C voor het geval dat de grafiek te optimistisch te zou zijn. Over het Alcoa-net is een $\Delta t = 20^\circ\text{C}$ aangehouden in verband met de looptijd in het net.

De looptijden van het net zijn:

Per afdeling: 18 haarspelden, lengte 43,6 m

$$\text{per speld } \frac{3,3}{18} = 0,183 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{watersnelheid } \frac{0,183}{\frac{\pi}{4} \times 1,9^2 \times 3,6} = 17,9 \text{ cm/s}$$

Bij een inwendige diam. van 19 mm is de looptijd 2430 s = 40,5 min
 Bij een inwendige diam. van 20 mm is de looptijd 2700 s = 45 min

Indien deze lange looptijd bezwaarlijk is, dan dient de circulatie opgevoerd te worden tot de looptijd 1800 s = 30 min is. Om deze reden is de circulatie instelbaar gehouden tussen de 3 en 5 m³/h.

Warmteafgiften buizenet (figuur 1) voor de teelt van gerbera's.

1 Grondverwarming (grotendeels bestaand)

Per 3,20 m 3 PE slangen, diam. 25 mm in/op de grond op een eigen menggroep met warmtemeter.

Capaciteit: 12 W/m²

2 Alcoa-net

Per 3,20 m 3 pijpen, diam. 20 mm, vierkhoogte 70 mm; tussen het gewas op een eigen menggroep met warmtemeter.

Capaciteit: 50 W/m²

Totale capaciteit restwarmte: 62 W/m²

Het restwarmtenet kan dus meer afgeven dan er aan capaciteit geboden wordt. Deze netten zijn gekoppeld en aangesloten volgens de schema's in figuur 2.

3 De nog aanwezige installatie (aanvulling capaciteit)

Per 3,20 m 3 pijpen, diam. 46,5/51 mm; op een eigen menggroep met warmtemeter

Capaciteit: bij 90/70°C 135 W/m²
 bij 110/90°C 191 W/m²

3.3 Omschrijving verrichte werkzaamheden

3.3.1 Bestaande verwarmingsinstallatie (46,5/51 mm pijp)

De installatie bestond uit 8 pijpen van 46,5/51 mm per 9,60 m, en is aangevuld met 3 pijpen per 3,20 m in verband met de warmteverdeling in de kas. De extra buizen zijn op dezelfde hijsinstallatie aangebracht en met aansluitslangen gekoppeld aan de aanwezige verdeelleiding.

3.3.2 Alcoa-net

Per afdeling is een nieuw net aangelegd met eigen transport- en verdeelleidingen voor:

per 3,20 m³ Alcoa-pijpen (diam. 20mm), vlerkhoogte 70 mm. Deze pijpen zijn op steunen tussen het gewas geplaatst. De hoogte van de pijpen is niet instelbaar. Het pijpennet heeft een eigen menggroep, gestuurd door de computer, waarvoor de software aangepast diende te worden. Voor dimensionering van pomp, mengklep en leidingen gelden de hier volgende richtlijnen:

- benodigd vermogen 54 W/m², aanvoertemp. 55°C, retourtemp. 35°C;
- maximale watersnelheid transportleidingen 1,2 m/s;
- maximale watersnelheid verdeelleidingen 0,8 m/s.

3.3.3 Grondverwarming

Per 3,20 m³ PE slangen (diam. 25 mm). De aanwezige installatie had een menggroep voor twee afdelingen. Om een goede vergelijking te krijgen van de energieverbruiken zijn twee groepen nodig. De installatie is aangepast, de verdeelleidingen en slangen waren weer te gebruiken. Bij de teelt op substraat liggen de slangen naast de steenwolmatten, bij de grondteelt in de grond. Hierdoor zijn twee warmtemeters nodig. De grondverwarming gebruikt het retourwater van het Alcoa-net om dit retourwater verder te koelen. Mocht het grondnet nog meer warmte vragen dan wordt gesuppleerd via een aparte regelklep.

Een en ander zal gestuurd worden door de klimaatcomputer. Voor dimensionering van pomp, mengklep en leidingen gelden de hiervolgende richtlijnen:

- benodigd vermogen 12 W/m², aanvoertemp. 40°C, retourtemp. 30°C;
- maximale watersnelheid transportleidingen 1,2 m/s;
- maximale watersnelheid verdeelleidingen 0,8 m/s;
- menggroep toerusten met een shuntleiding om volumestromen aan te passen.

3.3.4 Simulatie installatie restwarmte

Om restwarmte te simuleren is een warmtewisselaar geplaatst, gekoppeld aan een aparte ketel, met de nodige regel- en beveiligings-apparatuur. Deze eenheid verzorgt een primaire aanvoertemperatuur van 85°C en een retourtemperatuur van 45°C. Een aparte regeling bestuurt de regelklep naar gelang de vraag naar warmte. De warmtewisselaar regelt de warmtevraag door de volumestromen aan te passen. De installatie is voorzien van restrictieafsluiters om vooraf de maximum volumestromen aan te passen aan de vereiste condities (figuur 3).

3.3.5 CO₂-voorziening

Er wordt CO₂ ter bevordering van de assimilatie gedoseerd met een capaciteit van 2,5 m³ gas per 1000 m² grondoppervlakte.

De capaciteit per afdeling:

$$\frac{4 \times 9,60 \text{ m} \times 44,80 \text{ m}}{1000} \times 2,5 = 4,3 \text{ m}^3 \text{ gas/h}$$

Afgerond wordt 4,5 m³ gas/uur verstoekt in de teeltruimte door middel van CO₂-kanonnen. De kanonnen worden door de klimaat-computer aan- of uitgeschakeld, afhankelijk van de CO₂-concentratie in de kas. Het ligt in de bedoeling CO₂ te doseren zolang er licht is. Het verbruik wordt als volgt gemeten: Er is een gemeenschappelijke gasmeter en elk kanon is voorzien van een bedrijfsurenteller. Uit deze gegevens is het verbruik per afdeling te berekenen.

4 Regelschema L.W.kas

4.1 Regelprincipe

Het doel is zoveel mogelijk gebruik te maken van rest- of afvalwarmte, die wordt afgegeven in het Alcoa- en grondverwarmingsnet. Indien deze netten op volle capaciteit werken en de vereiste ruimtetemperatuur niet bereikt wordt, mag het bestaande net van 46,5/51 mm pijpen op de ketel pas in bedrijf komen.

Er is op twee manieren een vertraging ingebouwd:

- op basis van tijd; als bijvoorbeeld de ruimte langer dan een kwartier onder de ingestelde waarde is gebleven (instelbaar);
- op basis van de temperatuur; als bijvoorbeeld de temperatuur een aantal graden onder de ingestelde waarde komt.

Op deze wijze wordt bereikt dat de eigen ketel niet te veel warmte gaat leveren en de restwarmte ook werkelijk voorrang krijgt. Bij het opstoken van de nachttemperatuur naar de dagtemperatuur kan dit nl. gebeuren.

De bestaande ketel mag niet onnodig gebruikt worden.

4.2 Toelichting bij figuur 2

4.2.1 Het Alcoa-net

Dit net dient als primair verwarmingsnet te worden gezien, regelend op de gangbare tuinbouwinstellingen. Dit net zal de temperatuur van de kas op peil houden zolang de capaciteit van restwarmte toereikend is.

Alvorens het schema te verklaren is een toelichting noodzakelijk betreffende de gebruikte onderdelen volgens onderstaande nummering:

Nummering onderdelen van het schema:

- 1: Circulatiepomp, die de stroming onderhoudt over de warmtewisselaar en de shuntleiding.
- 2: Restrictieafsluiter om de volumestroom van de warmtewisselaar in te regelen.
- 3: Filter om de installatie te beschermen tegen grof vuil.
- 4: Regelafsluiter om de volumestroom naar de warmtewisselaar in te regelen op maximale warmtevraag.
- 5: Warmtemeter om het warmteverbruik van de warmtewisselaar te meten.
- 6: Restrictieafsluiter om de volumestroom te regelen waardoor de retourtemperatuur naar de ketel niet te laag kan worden; hierdoor wordt de ketel beschermd tegen corrosie.
- 7: Circulatiepomp om de stroming over het verdeelstuk van de netten te handhaven. Deze pomp stopt als er geen warmtevraag is.
- 8: Terugslagklep.
- 9: Restrictieafsluiter om volumestroom na de warmtewisselaar in te regelen.
- 10: Vierweg-mengklep om het retourwater van het Alcoa-net langs of door het PE-net te kunnen voeren. De netten worden dan wel of niet in serie geschakeld.
- 11: Afsluiter om het aanvoer- en retourverdeelstuk kort te sluiten.
- 12: Regelklep om het te kort aan warmte van het PE-net aan te kunnen vullen.

De secundaire aanvoertemperatuur van de warmtewisselaar is gesteld op 55°C. Indien deze door de warmtevraag van het Alcoa-net gaat dalen, door de vraag via de mengklep van dit net, dan zal de regelklep 4 open gaan om de warmtevraag aan te vullen. Dit gaat door totdat de volle capaciteit van restwarmte wordt afgegeven.

4.2.2 Het grondverwarmingsnet

Het retourwater van het Alcoa-net is het aanvoerwater van het grondverwarmingsnet.

In plaats van een driewegmengklep is hier gebruik gemaakt van een vierwegklep om ook de waterstroom langs het grondverwarmingsnet te leiden. Het kan voorkomen dat het Alcoa-net wel in bedrijf is, terwijl de grond geen warmte nodig heeft. In dit geval gaat het water terug naar de verdeler. Ook kan het voorkomen dat beide netten in bedrijf zijn en er voor de grond te weinig warmte is. Er kan nu extra warmte, buiten het Alcoa-net om, worden toegevoerd via de regelklep no. 12. Ook dit is nog restwarmte.

4.2.3 Het bestaande net

Dit net ontvangt water van 90/70°C vanuit de bestaande ketel, aangevoerd via de reeds aanwezige transportleidingen. Het mag pas in bedrijf komen wanneer de temperatuur van de kas enige tijd en/of een aantal graden beneden de ingestelde waarde is gebleven. Dit mag alleen als het restwarmtenet al op volle capaciteit draait. Restwarmte dient als eerste volledig benut te worden.

4.2.4 De simulatie-ketel

Deze ketel dient het primaire restwarmtenet te voeden. Als regel wordt restwarmte geleverd met een vaste aanvoertemperatuur van 85°C en een retourtemperatuur van 45°C, naar boven begrensd. Het retourwater mag met een lagere temperatuur teruggeleverd worden, hoe lager hoe beter. Voor deze begrenzingen is een regeling geïnstalleerd met deze instelmogelijkheden. Regelklep no. 4 zorgt voor de juiste waarden. De regelklep verkleint het waterdebiet als de warmtevraag kleiner wordt.

5 Ervaringen na één seizoen

5.1 Algemeen

De eerste metingen zijn begonnen in november 1984. Als gevolg van deze metingen kon een aantal fouten uit de installatie worden gehaald. De meetcijfers uit deze periode zijn betrouwbaar te noemen. Omdat het eerste teeltseizoen is afgesloten kan deze meetperiode als afgesloten worden beschouwd.

5.2 Invloedsfactoren energieverbruiksmeting

De vraag is namelijk of het gemeten meerverbruik van 7 % door toelaatbare meetfouten is ontstaan. Om toch in het volgend meetseizoen enkele factoren in te schatten en zo mogelijk uit te sluiten, is een inventarisatie van mogelijke oorzaken gehouden. Hierbij is in beschouwing genomen de wijze waarop het verbruik vastgesteld wordt, de temperaturen die in de kas heersten, de vergelijkbaarheid van de beide kassen en de eigenschappen van de respectievelijke verwarmingssystemen.

5.2.1 Bepaling gasverbruik

Het te gebruiken aardgas komt binnen via drie gasmeters. Eén gasmeter registreert het verbruik van de grote ketel, één het verbruik van de restwarmte-simulatieketel en één het verbruik voor CO₂-dosering van de restwarmteafdelingen. Bij gebruik van restwarmte blijft CO₂-dosering van belang. De grote ketel zal een hoeveelheid warmte leveren om CO₂ te kunnen doseren. Om de grootte van de hoeveelheid gas, benodigd voor CO₂ doseren bij restwarmte te meten, is een aparte gasmeter geplaatst en wordt CO₂ gegeven door middel van gasgestookte CO₂-kanonnen.

De gasmeterstanden worden afgelezen en gepubliceerd. De veronderstelling dat de gasmeterstanden tevens een maat zijn voor het aandeel restwarmte is niet geheel juist. De grote ketel heeft een rookgascondensator en uit aantekeningen bleek het rendement 94 % van de bovenste verbrandingswaarde te bedragen. De simulatieketel heeft geen rookgascondensator en hierdoor zal het rendement lager komen te liggen.

Om de grootte van de fout die door dit rendementsverschil ontstaat vast te stellen, is het rendement van de ketel gemeten. Voor vaststelling hiervan zijn twee methoden, gebaseerd op rookgasanalyse, gebruikt. Eén methode bepaalt het CO₂-gehalte van de rookgassen, de andere het O₂-gehalte. Beide metingen gaven een rendement van 90 % van de bovenste verbrandingswaarde, met een onderling verschil kleiner dan 0,5 % als uitkomst, voor de situatie bij DENAR. Stilstandsverliezen zullen bij gebruik van restwarmte in de praktijk het rendement van de ketel verlagen.

Om het aandeel restwarmte te bepalen die in de kas gebruikt is, dient het gasverbruik met 80 % van de bovenste verbrandingswaarde van het aardgas vermenigvuldigd te worden. Om de besparing op aardgas te berekenen dient dit getal door 0,94 gedeeld te worden. Dit is het inbouwen van de rendementsverschillen omdat de ene installatie wel en de andere geen rookgascondensor heeft. De som van deze uitkomst en het aandeel van de grote ketel (aanvullende warmte) geeft een waarde die vergelijkbaar is met het energieverbruik van de Venlokas.

De gecorrigeerde waarden van de gasverbruiken zijn in tabel 1 gegeven. Uit de correcties blijkt dat het energieverbruik in de L.W.kas ruim 2 % lager is dan in de Venlokas. Het aandeel energie dat door middel van restwarmte is geleverd bedraagt 60 %, het aandeel aanvullende warmte 40 %.

Het uitgangspunt: de verhouding 70 % warmte dekking bij een capaciteit van 30 % van de aansluitwaarde, is nog niet bereikt. Als oorzaak kunnen de inregelperiode, installatiefouten, constructieverschillen van de kas, de slechte werking van de regelklep en geen optimale afstemming van de verwarmingsnetten worden genoemd.

5.2.2 Heersende temperaturen in de kas

De klimaatcomputer registreert de luchttemperaturen van de afdelingen. Per dag wordt een grafiek samengesteld en afgedrukt. Van een zestal grafieken zijn de gemiddelde dag- en nachttemperaturen per afdeling berekend.

datum	L.W.kas				Venlokas			
	afd 3		afd 4		afd 5		afd 7	
	dag	nacht	dag	nacht	dag	nacht	dag	nacht
080185	11,0	10,1	12,0	11,2	11,7	10,8	12,0	12,0
140185	12,6	11,7	14,2	13,3	11,4	10,5	11,1	10,1
030285	20,2	15,0	20,3	14,9	18,6	14,7	18,7	14,8
060285	19,8	14,9	19,3	15,0	18,9	15,0	18,6	15,0
150285	20,4	15,0	20,1	14,6	18,3	13,5	18,1	13,6
180385	19,7	15,0	19,2	14,6	19,1	14,7	18,8	14,5
gem.	17,3	13,6	17,5	13,9	16,4	13,2	16,2	13,3
per afd.	15,9		15,7		14,8		14,8	

Gemiddeld is de temperatuur in de restwarmteafdelingen 1°C hoger geweest dan in de Venlokas. Dit komt waarschijnlijk door een fout in de klimaatregeling, waardoor in afdeling 3 en 4 minder geventileerd is dan in de Venlokas.

5.2.3 Vergelijking proefkassen

De gevolgen van het toepassen van restwarmte voor de productie en het energieverbruik worden afgemeten aan de resultaten in een standaard Venlokas. De restwarmte-installatie is aangebracht in de L.W.kas. Voor de restwarmteproef is het dek, dat gedeeltelijk was voorzien van acrylplaten, vervangen door een dek van enkel glas met beweegbaar energiescherm. Dit is gedaan om de resultaten meer in overeenstemming te doen zijn met de praktijk.

De warmteverbruiken van beide kastypen zijn voor dezelfde condities berekend. Naar voren kwam dat de L.W.kas 4 % minder energie verbruikt dan de Venlokas (warmteverliezen door de bodem zijn buiten beschouwing gelaten). Of het verschil in raamopening daar invloed op heeft is niet te achterhalen. De lengte van de raamopening van de Venlokas is per afdeling aan één zijde 188 meter. Voor de L.W.kas is dit 326 meter. Wanneer de lengte van de raamopening groter is moet de raamstand kleiner zijn. Bij het opmeten van de raamopening en het doornemen van de instellingen bleken geen verschillen te bestaan die het verschil in raamopening compenseren. De invloed van de ventilatie op het energieverbruik is niet eenvoudig vast te stellen en moet over een langere periode geobserveerd worden. Wel is bekend dat door overmatig ventileren meer energie wordt verbruikt.

5.2.4 Eigenschappen restwarmte-installatie

Een heersende opvatting is dat de restwarmte-installatie per definitie meer energie verbruikt dan een conventionele installatie. De omlooptijd, de tijd waarin het water één keer rond stroomt, is circa 40 minuten, ten opzichte van 15 minuten bij het normale systeem. Door deze grote omlooptijd zou het systeem traag reageren. Dat wil zeggen, bij vergroting van de warmtevraag, duurt het langer voordat de installatie op de nieuwe situatie is ingespeeld. Er zou dus onnodig meer warmte in de kas gebracht worden dan bij het conventionele systeem. Het onnodige energieverbruik hangt echter niet af van de omlooptijd, maar van het volume (waterinhoud) van het systeem.

Op het moment dat de temperatuur de bovengrens passeert, sluit de computer de mengklep, waardoor geen warmte meer wordt toegevoerd. Het op dat moment aanwezige warmwater in het leidingnet blijft circuleren om af te koelen, of dit nu snel of langzaam stroomt. Bij de DENARKAS is het volume van het restwarmtenet 60 % van dat van het bestaande net. Op het moment van stopzetten bevindt zich 40 % minder, niet meer te gebruiken warmte in het net.

5.2.5 Verhouding restwarmte en ketelwarmte

Een belangrijk aspect van dit project is de verhouding tussen gebruikte restwarmte en aanvullende ketelwarmte.

De prijs van restwarmte is gekoppeld aan de aardgasprijs en is circa 10 % lager. Door berekening is komen vast te staan dat 30 % van de aansluitwaarde van de kas 70 % van de energiebehoefte kan dekken. Voor de energiebehoefte van een moderne kas wordt 180 W/m² aangehouden. Het aansluitvermogen, 30 % van 180 W/m², is 54 W/m² bodemoppervlak.

Het gasverbruik per 100 m² per week wordt dan 93 m³ aardgas bij een ketelrendement van 100 %. Bij de DENARKAS is dit 87,5 m³ gas per 100 m² per week bij een rendement van 94 % .

De verwachting was dat in de koude perioden de vermogensbehoefte niet onder de 54 W/m^2 zou dalen. Bij een optimaal stookpatroon zou dan de restwarmte-verbruikslijn moeten samenvallen met de 30 % lijn (grafieken 1 en 2).

Het is voor de hand liggend dat in de warmere perioden, per week genomen, het restwarmte verbruik lager ligt. In de koudepieken 's morgens, zal de ketelinstallatie bijverwarmen, terwijl in de warme uren van de dag geen 54 W/m^2 gevraagd wordt.

De getallen in tabel 1 vertellen dat het aandeel restwarmte 60 % van het totale energieverbruik is. Het optimale stookpatroon is tijdens deze meetperiode niet bereikt, omdat de restwarmte-installatie weggedrukt wordt door het bestaande net op de eigen ketel, hetgeen als een onvermijdelijk gevolg van de in de praktijk gangbare teeltmethode moet worden beschouwd.

6 Aandachtspunten in komend meetseizoen

Uit de beschouwing van de resultaten van het eerste seizoen komen een aantal aanwijzingen voor het komend meetseizoen naar voren.

De punten die de nodige aandacht verdienen zijn de navolgende:

- de verbruiksmeting
- het gedrag van de regelklep
- het optimaliseren van het restwarmteaandeel

In de onderstaande paragrafen zijn deze punten nader uitgewerkt.

6.1 Meting energieverbruik

De L.W.kas is niet zonder meer vergelijkbaar met de Venlokas. De ventilatie van de L.W.kas lijkt bij een eerste beschouwing royaler dan die van de Venlokas. Hoe groot het effect is op het energieverbruik is niet eenvoudig vast te stellen. Door een nauwkeurige observatie van het ventilatiegedrag kan de grootte van deze factor ingeschat worden. Door het afwijkend model zal wellicht de L.W.kas minder energie nodig hebben dan de Venlokas. Het vergelijken van de energieverbruiken kan tot op zekere hoogte, maar niet voor de volle 100 % .

De gebruikte methode om het specifieke energieverbruik te meten en het aandeel dat door de restwarmte geleverd wordt vast te stellen, zal vergeleken moeten worden met de meetcijfers van de warmtemeters die geplaatst zijn. Door het gebruik van de warmtemeters is de onzekere en niet constante factor van de ketel uitgeschakeld. Meting van een ketelrendement is een goede indicatie maar geeft geen informatie over stilstand- en transportverliezen. Daarnaast zal de nauwkeurigheid van de warmtemeting die van de gasmeter tenminste moeten benaderen.

6.2 Het gedrag van de regelklep

De werking van de regelklep was voldoende voor simulatie van restwarmte. Regeltechnisch gezien was het een storende factor. Doordat de klep nooit een evenwichtssituatie bereikte ontstond een golvend temperatuurverloop dat in het gehele systeem terug te vinden was. De slechte regeling beïnvloedde de werking van de simulatieketel. De ketel heeft een aan/uit-regeling en werkt onder andere ook op de retourtemperatuur. De regelaar is aangepast doch de werking ervan is nog niet nagegaan.

6.3 Optimalisering aandeel restwarmte

Het aandeel restwarmte ten opzichte van het totaalverbruik bedroeg 60 % . Deze waarde is nog betrekkelijk omdat de verbruiken in de maanden mei, juni en juli niet meegerekend konden worden. Wel is duidelijk dat het aandeel restwarmte hoger kan zijn. Gedurende de koude weken 2, 3 en 7 had het percentage restwarmte tegen de 30 % aansluitwaarde aan moeten liggen.

7 Conclusies

Na één meetseizoen zijn de navolgende conclusies te trekken:

- Toepassing van restwarmte of andere warmtebronnen met lagere aanvoertemperaturen dan gebruikelijk zijn goed mogelijk en geven geen noemenswaardige problemen voor een gerberateelt.
- Het samenwerken van het laagtemperatuurnet met de bestaande installatie vraagt de nodige aandacht bij het instellen van de klimaatcomputer.
- Het laagtemperatuurnet mag niet door het ketelverwarmingsnet worden beïnvloed. Het ketelnet mag pas in werking komen als het laagtemperatuurnet niet aan de warmtevraag kan voldoen.
- De verwarmingspijpen zullen al "koud" moeten zijn als het energiescherm gesloten wordt. Door het sluiten van het scherm wordt de warmtevraag verlaagd.
- De energieverbruiken van de L.W.kas en de Venlokas zijn niet helemaal gelijk en zijn van invloed bij de vergelijking.
- De metingen moeten worden voortgezet met modernere meetapparatuur.

Tabel 1 Overzicht gasverbruiken DENARKAS, periode 84/85 in m³/100m²/week.

Week nr.	Rest-waarde	LW*0,8	Lw*0,8 /0,94	Aanvulling	Totaal	Totaal 1e corr.	Totaal 2e corr.	Venlo kas	Ver-schil
42	177.00	141.60	150.64	***.**	177.00	141.60	150.64	258.50	104.86
43	34.00	27.20	28.94	***.**	34.00	27.20	28.94	49.50	20.56
44	25.00	20.00	21.28	***.**	25.00	20.00	21.28	37.50	16.22
45	76.00	60.80	64.68	14.00	90.00	74.80	78.68	76.00	-2.68
46	79.00	63.20	67.23	6.00	85.00	69.20	73.23	77.00	3.77
47	72.00	57.60	61.28	41.00	113.00	98.60	102.28	94.00	-8.28
48	83.00	66.40	70.64	21.00	104.00	87.40	91.64	88.50	-3.14
49	76.00	60.80	64.68	35.00	111.00	95.80	99.68	97.50	-2.18
50	81.00	64.80	68.94	36.00	117.00	100.80	104.94	96.50	-8.44
51	45.00	36.00	38.30	46.00	91.00	82.00	84.30	94.00	9.70
52	88.00	70.40	74.89	55.00	143.00	125.40	129.89	116.00	-13.89
1	65.00	52.00	55.32	65.00	130.00	117.00	120.32	118.00	-2.32
2	50.00	40.00	42.55	129.00	179.00	169.00	171.55	175.00	3.45
3	81.00	64.80	68.94	113.00	194.00	177.80	181.94	164.00	-17.94
4	102.00	81.60	86.81	74.00	176.00	155.60	160.81	162.50	1.69
5	80.00	64.00	68.09	58.00	138.00	122.00	126.09	128.00	1.91
6	76.00	60.80	64.68	50.00	126.00	110.80	114.68	106.50	-8.18
7	101.00	80.80	85.96	105.00	206.00	185.80	190.96	181.00	-9.96
8	93.00	74.40	79.15	62.00	155.00	136.40	141.15	147.00	5.85
9	75.00	60.00	63.83	42.00	117.00	102.00	105.83	117.00	11.17
10	74.00	59.20	62.98	36.00	110.00	95.20	98.98	103.00	4.02
11	76.00	60.80	64.68	34.00	110.00	94.80	98.68	98.00	-0.68
12	84.00	67.20	71.49	51.00	135.00	118.20	122.49	106.00	-16.49
13	77.00	61.60	65.53	41.00	118.00	102.60	106.53	95.00	-11.53
14	68.00	54.40	57.87	26.00	94.00	80.40	83.87	63.00	-20.87
15	72.00	57.60	61.28	17.00	89.00	74.60	78.28	78.50	0.22
16	67.00	53.60	57.02	10.00	77.00	63.60	67.02	75.50	8.48
17	42.00	33.60	35.74	30.00	72.00	63.60	65.74	71.00	5.26
18	75.00	60.00	63.83	25.00	100.00	85.00	88.83	93.50	4.67
2194.00		1755.20	1867.23	1222.00	3416.00	2977.20	3089.23	3164.50	75.27

Meerverbruik Venlokas t.o.v. L.W.kas : 2.38 %

Lijst van meetpunten.

Simulatie-installatie

Mtpnt	Kan.	Funktie
T 1	3	Aanvoertemperatuur ketel
T 2	4	Primaire aanvoertemperatuur warmtewisselaar
T 3	5	Primaire retourtemperatuur warmtewisselaar
T 4	6	Retourtemperatuur ketel
T 5	7	Secundaire aanvoertemperatuur warmtewisselaar
T 6	8	Secundaire retourtemperatuur warmtewisselaar
T 7	9	Temperatuur aanvoerverdeler
T 8	10	Temperatuur retourverdeler
T 9	11	Buitentemperatuur

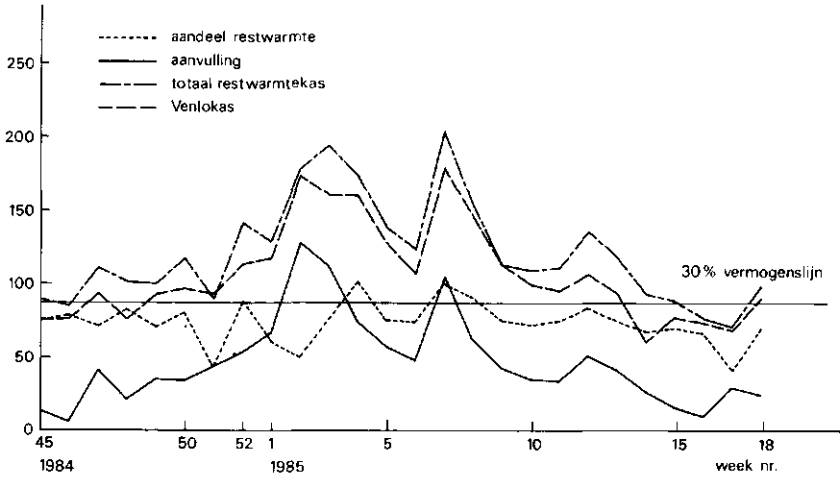
Afdeling 4 ! Afdeling 3

Mtpnt	Kan.	!	Mtpnt	Kan.	Funktie
T 10	12	!	T 22	26	Aanvoertemperatuur mengklep Alcoa-net
T 11	13	!	T 23	27	Aanvoertemperatuur Alcoa-net
T 12	14	!	T 24	28	Retourtemperatuur Alcoa-net
T 13	15	!	T 25	29	Aanvoertemperatuur vierwegklep P.E.-net
T 14	16	!	T 26	30	Aanvoertemperatuur P.E.-net
T 15	19	!	T 27	31	Retourtemperatuur P.E.-net
T 16	20	!	T 28	32	Retourtemperatuur vierwegklep P.E.-net
T 17	21	!	T 29	35	Luchttemperatuur bij meetbox
T 18	22	!	T 30	36	Schermttemperatuur
T 19	23	!	T 31	37	Luchttemperatuur op 10 cm hoogte
T 20	24	!	T 32	38	Luchttemperatuur op 150 cm hoogte
T 21	25	!	T 33	39	Retourtemperatuur bestaand net

* Mtpnt= Meetpuntnummer in het Plaatsingsschema van de Meetpunten.

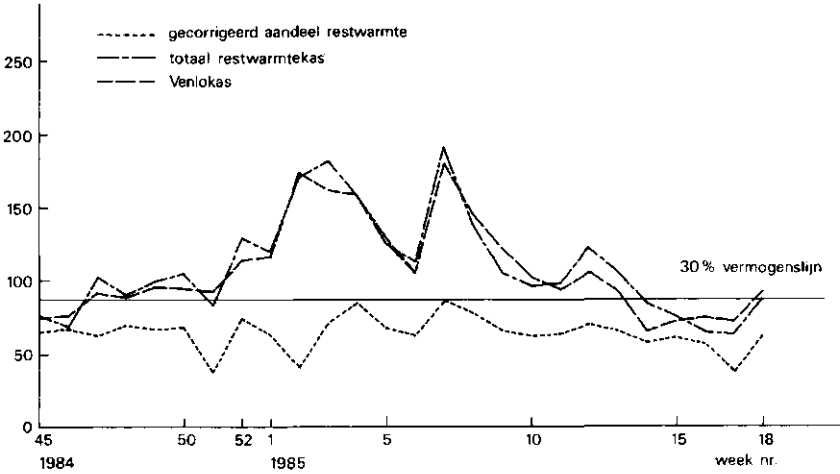
* Kan.= Kanaalnummer van de Datalogger.

gasverbruik in $m^3/100m^2/week$



Grafiek 1 Vergelijking brandstofverbruiken (niet gecorrigeerd).

gasverbruik in $m^3/100m^2/week$



Grafiek 2 Vergelijking brandstofverbruiken (gecorrigeerd).

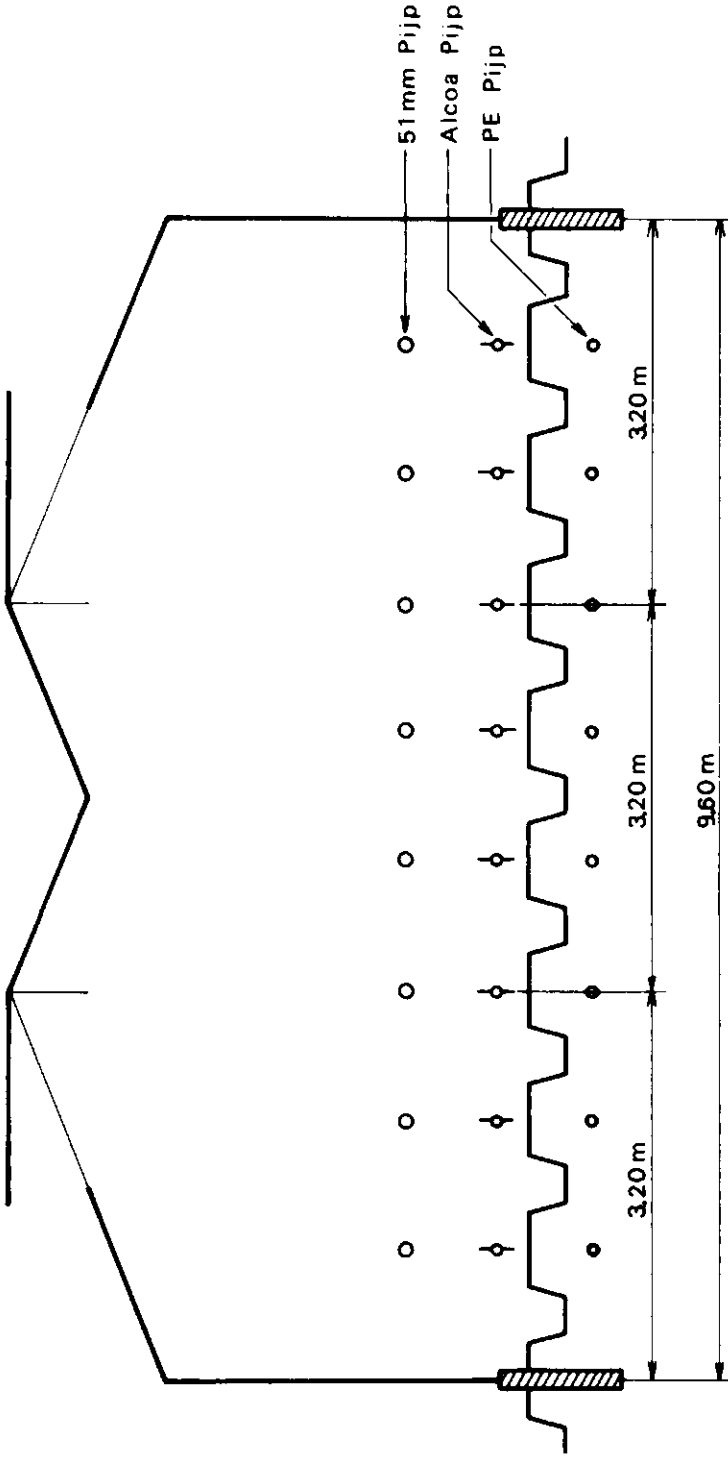


Fig. 1 Doorsnede L.W.kas Afd. 3.

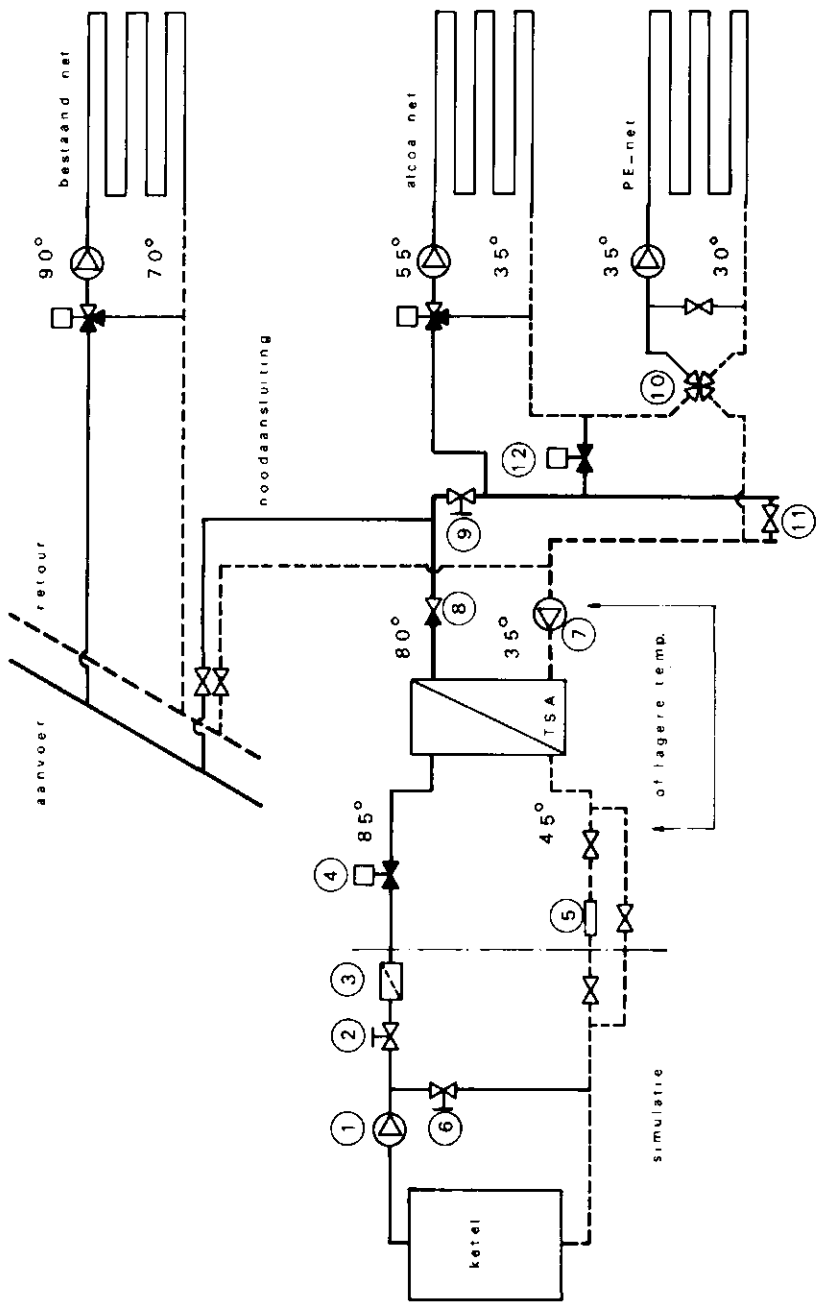


Fig. 2 Regelschema L.W.kas.

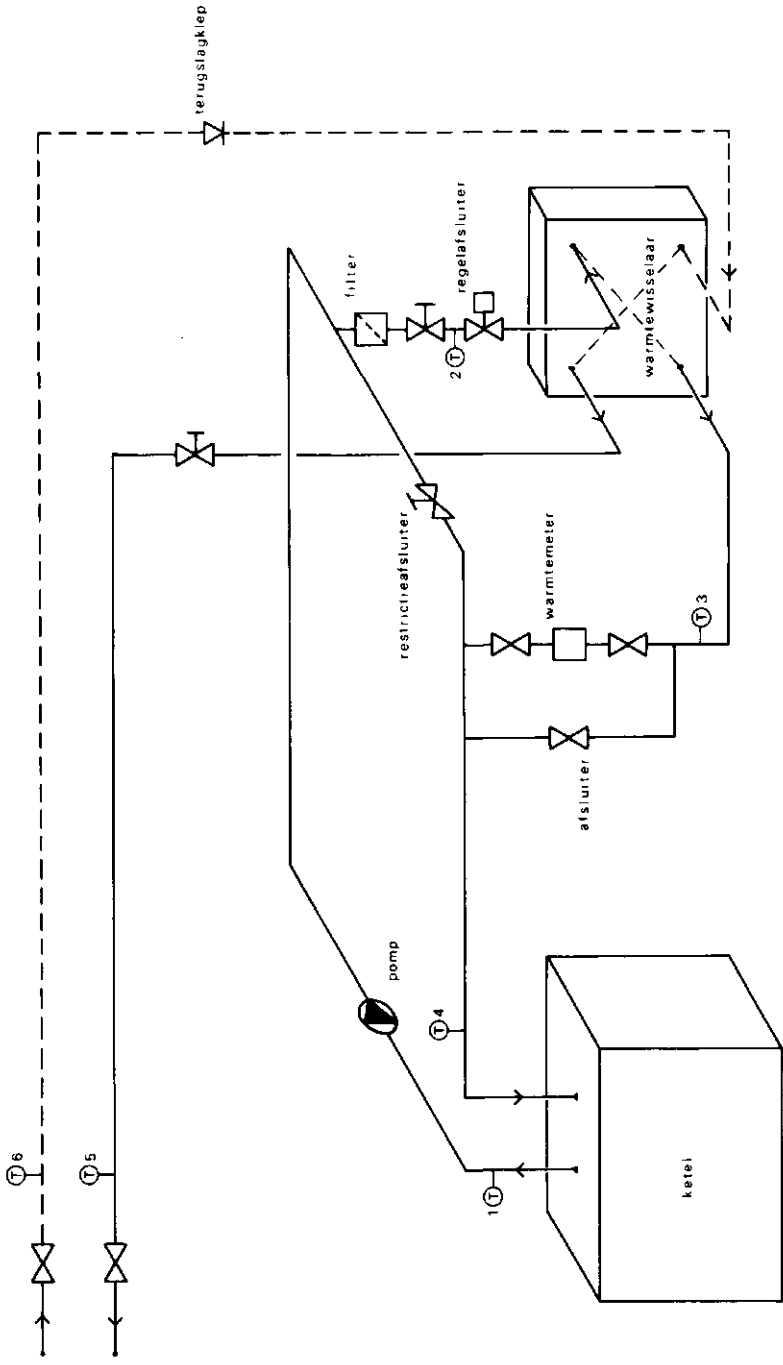


Fig. 3 Simulatie-installatie.

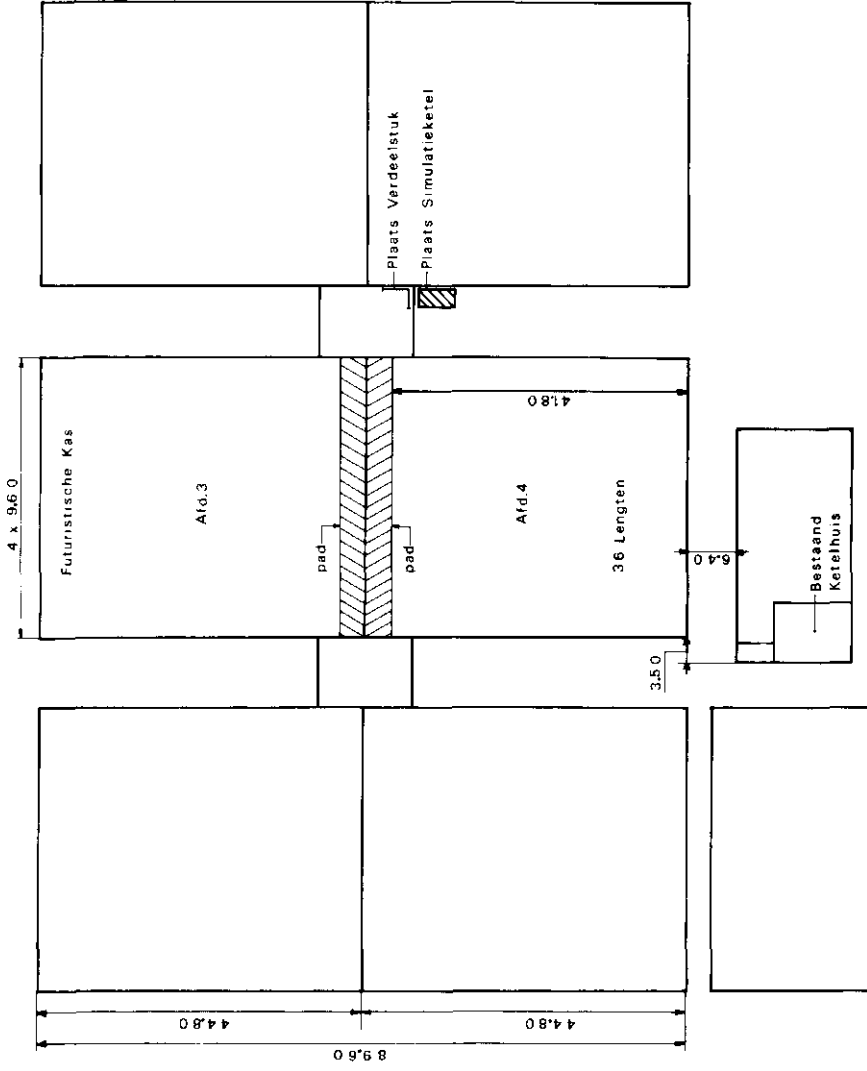


Fig. 4 Plattegrond DENARKAS.

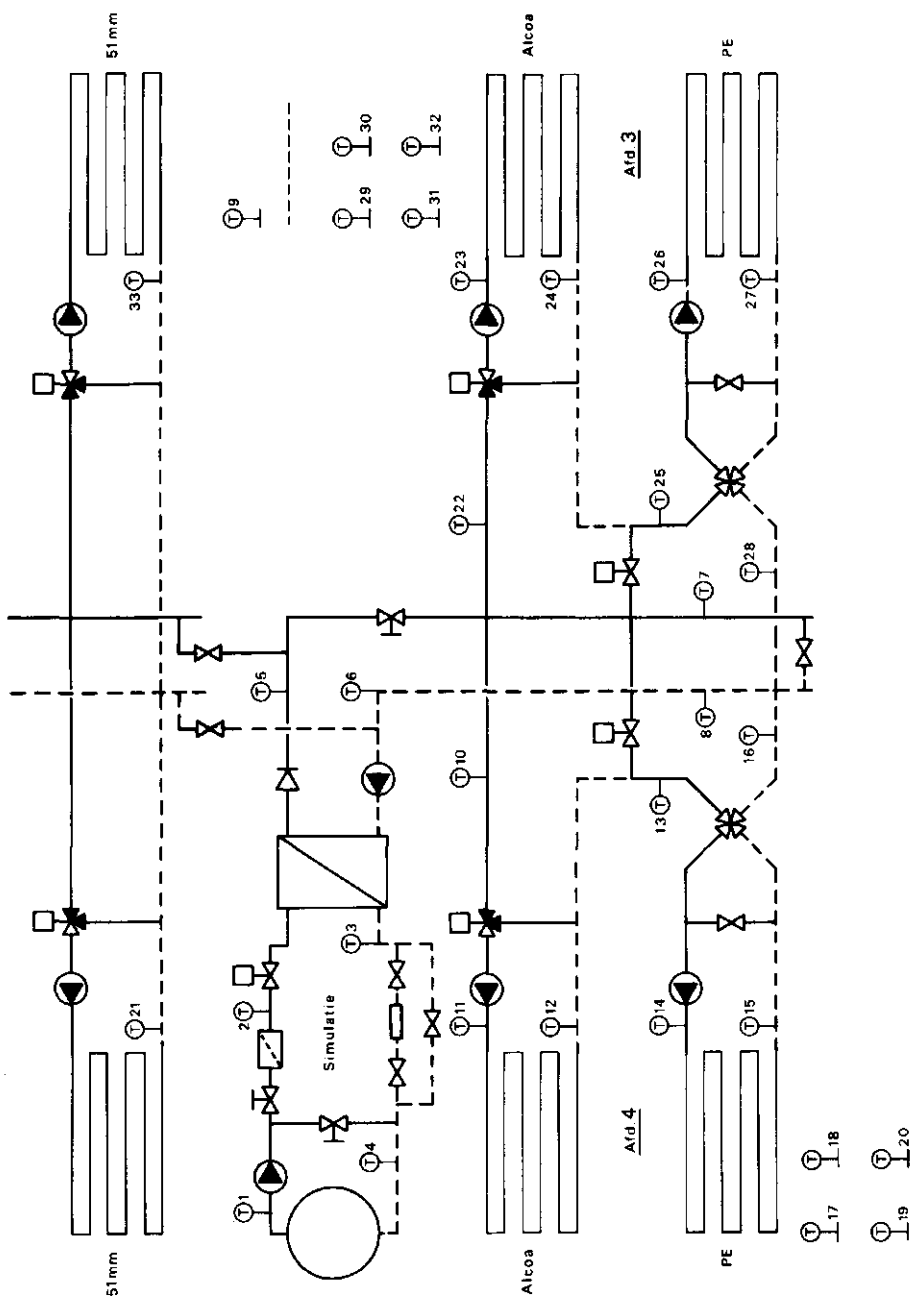


Fig. 5 Plaatsingschema van de meetpunten.