S P R E N G E R I N S T I T U U T
Haagsteeg 6, 6708 PM Wageningen
Tel.: 08370-19013

(Publikatie uitsluitend met toestemming van de directeur)

RAPPORT NO. 1793 N

Dipl.Ing. H.F.Th. Meffert

VOORSPELLING VAN TRANSPORTOMSTANDIGHEDEN - TEMPERATUUR EN SAMENSTELLING VAN DE ATMOSFEER - IN CONTAINERS

Uitgebracht aan de directeur van het Sprenger Instituut
Project no. 548

VOORSPELLING VAN TRANSPORTOMSTANDIGHEDEN -TEMPERATUUR EN SAMENSTELLING VAN DE ATMOSFEER- IN CONTAINERS

Inleiding:

Dit rapport bestaat uit twee delen:

I - een analyse van het probleem van de temperatuurverdeling in een container

II - een richtlijn voor de berekening van de temperatuurverdeling en de gemiddelde luchtsamenstelling in een container.

Doel van het eerste deel is de bevordering van het begrip inzake de problemen die het conditioneren van een lading in een container oplevert.

Het tweede deel tracht een richtlijn uit te stippelen voor de praktische berekening gebaseerd op gegevens over produkt, technische uitrusting en omstandigheden.

DEEL I

TRANSPORTCONDITIONERING EN KWALITEITSBEHOUD

H.F.Th. Meffert
Sprenger Instituut
Wageningen.

Samenvatting:

De maatregelen, die kunnen dienen tot kwaliteitsbehoud tijdens transport zijn bekend uit het onderzoek naar optimale opslagomstandigheden. In de door afmetingen en lading beperkte ruimte van een transportmiddel treden echter spreidingen op van de klimaatfactoren, die veel groter zijn dan men in een opslagruimte aantreft. De gevolgen van deze spreidingen zijn minder bekend. Optimale oplossingen voor transportconditionering kunnen worden gevonden, wanneer produktdeskundige en apparatenbouwer overeenstemming kunnen bereiken over de toelaatbare toleranties, ze moeten daarbij doelmatig gebruik maken van alle ter beschikking staande oplossingen en bereid zijn enig ontwikkelingswerk te verrichten. Het het verleden gingen de noodzakelijke compromissen bij gebrek aan kennis ten koste van het produkt. Gebruikers en verzekeraars kunnen nu met grotere nadruk hun stem verheffen om tot doelmatige toerusting te komen. Onderzoek en voorlichting staan klaar om hierbij de nodige steun te verschaffen.

1. Inleiding.

De toenemende concurrentie tussen import en ter plaatse geteeld produkt noodzaakt het exportbedrijf de goede kwaliteit van het overgenomen produkt zo goed mogelijk te beschermen. De middelen, die hiervoor ter beschikking staan zijn in principe reeds lang bekend:

temperatuurverlaging;

gunstige samenstelling van de atmosfeer: luchtvochtigheid, O_2, N_2, CO_2-gehalte.

De optimale opslagomstandigheden zijn voor vele, vooral de eetbare tuinbouwprodukten in tabellen vastgelegd. [1])

In dit verband is transport niets anders dan opslag in een verplaatsbare ruimte.

2. Transportklimaat.

2.1. Opslagcondities.

Bij het vaststellen van opslagcondities heeft het bereiken van een optimaal resultaat (= maximale opslagtijd) op de voorgrond gestaan. Hiervoor zijn maximale voorzieningen nodig. Transporttijden zijn echter doorgaans niet gelijk aan de maximale opslagtijden, zodat de maatregelen ter bescherming van de kwaliteit aangepast kunnen worden aan de te overbruggen tijdspanne. Hier is dus sprake van een duidelijk compromis tussen de mate van transportbescherming en de hiervoor noodzakelijk maatregelen. [2])

Voor vele tuinbouwprodukten is het daarom noodzakelijk om het kwaliteitsverloop in een breed bereik van opslagcondities opnieuw te bepalen.[3)4)] Hierbij dient men zich steeds te realiseren, dat de klimaatomstandigheden in een ruimte niet uniform kunnen zijn:

ruimtelijke variaties treden op doordat warmte en stof getransporteerd moeten worden als gevolg van temperatuur en concentratieverschillen.

Tijdelijke variaties zijn het gevolg van schakelprocessen(koeling, luchtcirculatie) die voor kortstondige schommelingen zorgen of van klimaatveranderingen buiten (dag-nacht) die langdurige veranderingen te weeg brengen.

Spreiding van condities naar ruimte en tijd zijn een kenmerk van elke technische opslaginrichting.

Omdat de kosten voor het handhaven van een conditie nauw verband houden met de toegestane toleranties is het ook van economisch belang om de eisen, die het produkt stelt vast te leggen met de toelaatbare spreiding. Dit is voor transportklimatisering des te belangrijker, omdat voor transportmiddelen uit andere hoofde reeds zwaardere eisen worden gesteld, die sterk kostenverhogend werken t.o.v. stationnaire installaties en daarnaast ruimtegebrek verdere beperkingen oplegt.

In tabel 1 zijn voor een aantal tuinbouwprodukten enkele transportcondities bij wijze van voorbeeld weergegeven.

2.2. Ruimtelijke problemen

Vooral twee invloeden, die in afwijking van de opslagproblematiek een veel grotere rol spelen nopen tot een nadere bezinning op de toelaatbare toleranties van het transportklimaat:

1) de beperkte afmetingen, die bijvoorbeeld voor het wegvervoer wettelijk zijn vastgelegd. Dit heeft via de ontwikkeling van de container zijn stempel gedrukt op het gehele vervoer per "unit load".
Binnen deze wettelijke regelingen zijn met wisselend succes standaard "unit loads" aanbevolen door internationale (OECD) (ISO) en nationale normalisatielichamen met het doel de noodzakelijke uitwisselbaarheid te waarborgen. De koelcontainer dreigt door het vastleggen van de buitenafmetingen voor container én verpakking het kind van de rekening te worden omdat onmiddellijk de ruimte voor de noodzakelijke klimaatbeheersing in het geding komt. Deze kan zowel te groot als te klein zijn voor het verkrijgen van een goede luchtcirculatie.
2,23 m lijkt ons een optimale inwendige breedte voor koelvoertuigen en containers. 5)
2) het gebrek aan ruimte binnen de gegeven afmetingen, doordat bij de doorgaans lage ladingdichtheid van de produkten het toegestane totaalgewicht niet wordt bereikt. Hierdoor wordt een maximale ruimtebenutting nagestreefd, zonder de ruimtebehoefte van de luchtconditionering in acht te nemen.

3. Faktoren, die het transportklimaat bepalen.

Vier faktoren bepalen voornamelijk het klimaat in een transportmiddel (koelvoertuig, koelcontainer) door hun onderlinge wisselwerking:
1) het produkt,
2) de isolatie tegen het buitenklimaat,
3) de klimaatinstallatie,
4) de ventilatie van het produkt in de laadruimte.

Van deze faktoren moet de vervoerder het produkt met al zijn eigenschappen aanvaarden; isolatie en klimaatinstallatie zijn afhankelijk van de technische realisatie van een en ander, meestal is hier een, zij het beperkte, keuze mogelijk; de ventilatie is het meest toegankelijk voor al dan niet doelmatige maatregelen. Door keuze van verpakking en stapeling kan de gebruiker van een gegeven transportmiddel het transportklimaat binnen de gegeven mogelijkheden aan de produkteisen aanpassen. Anderzijds kunnen door verkeerde maatregelen alle constructieve voorzieningen te niet worden gedaan. Alleen een ruime mate van vakmanschap en doelgerichte voorlichting bij de gebruiker kan optimale omstandigheden waarborgen.

3.1. Het produkt.

De fysische eigenschappen van het produkt onder transportomstandigheden zijn bij lange na niet volledig bekend. Gespecialiseerde toerusting en mankracht zijn hoog nodig om een redelijk overzicht van deze eigenschappen te verschaffen zoals: warmte- en vochtafgifte, CO_2-produktie, O_2-consumptie, die als fysiologische eigenschappen wel principieel bekend zijn, maar als fysisch-technische gegevens met te grote zekerheidsfaktoren moeten worden gehanteerd.

De summiere behandeling van de problematiek in het volgende gedeelte moet dan ook meer als een richtlijn voor een mogelijke benadering worden gezien, dan als een voorbeeldberekening.

3.2. Isolatie tegen buitenklimaat.

Hieronder valt de afscherming tegen warmtetoevoer van buiten, maar ook het onderhouden van een bepaalde samenstelling van de atmosfeer.

3.2.1. Temperatuurinvloeden.

De beperkte afmetingen van het transportmiddel betekenen een hoge waarde voor de verhouding oppervlak/volume en daarmede een grote invloed van de buitentemperatuur.

In het normale geval moet de door de wanden toegevoerde warmte binnen de gekoelde ruimte worden verwijderd. Het aangewezen transportmedium hiervoor is de circulerende koellucht, die de binnen gekomen warmte binnen een bepaald temperatuurverschil kan afvoeren naar het koellichaam.

3.2.2. Invloeden op gassamenstelling.

Voor het op peil houden van een bepaalde gassamenstelling is het noodzakelijk om de uitwisseling tussen binnen- en buitenatmosfeer te beheersen, d.w.z. te beperken of te regelen. Hiervoor is behalve een goede gasdichtheid een instelbare luchtverversing een noodzakelijk vereiste. Deze luchtverversing dient binnen wijde grenzen gevarieerd te kunnen worden en zo effectief mogelijk te gebeuren. De plaatsing van toevoer- en afvoeropening is daarom niet onbelangrijk. Een geforceerde toevoer verdient verre de voorkeur boven vrije uitwisseling.

3.3. De klimaatinstallatie.

3.3.1. Temperatuur en luchtvochtigheid.

Het handhaven van een vastgestelde temperatuur in een ruimte is een bekende techniek. Koel- en verwarmingsinstallaties zijn in vele uitvoeringen beschikbaar. Toch worden de uitvoeringsvormen wezenlijk beperkt wanneer een groot temperatuurgebied wordt vereist - om wille van de universele toepassing van het voertuig - en daarbij ook nog eisen aan de luchtvochtigheid worden gesteld. Dan is een klimatiseringsinstallatie nodig met de bijbehorende regelapparatuur.

De regeling van de luchtcondities over een groot bereik stelt ook zware eisen bij de aanpassing van het te leveren koelvermogen aan de gevraagde capaciteit. Dit speelt in het bijzonder wanneer men de luchttemperaturen en de werkperioden van de installaties aan banden wil houden. Deze mogen namelijk niet te kort worden i.v.m. de hoge belastingen bij het inschakelen.

3.3.2. Gassamenstelling.

Het beïnvloeden van de gassamenstelling in transportmiddelen heeft momenteel veel aandacht.
Men verwacht langs deze weg een aantal moeilijkheden te omzeilen zonder voldoende aandacht te besteden aan het feit dat "gecontroleerde atmosfeer"(CA) geen vervanging kan zijn voor koeling, doch slechts een aanvullende en meer gespecialiseerde maatregel.

Afgezien van het feit dat deze additionele maatregelen kostenverhogend werken, kan alleen een zeer dichte constructie een redelijke beheersing van de gassamenstelling in een container waarborgen. De gasdichtheid moet in de ordegrootte van $< 1\ mm^2/m^3$ zijn; een eis die voor stationaire installaties al buitengewoon zwaar is.

De nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de meet- en regelapparatuur is reeds een punt van voortdurende zorg voor stationaire installaties, die alleen nog maar verzwaard worden door de bijkomende problemen bij transport. Gevoeligheid voor storingen en de noodzaak van zeer deskundig onderhoud zijn problemen, die voor een universele toepassing grote moeilijkheden opleveren.

Reële kansen liggen dus minder op het terrein van aanvullende apparatuur ter beheersing van het klimaat dan op het terrein van verpakkingstechnieken met toepassing van absorberende stoffen voor ongewenste stofwisselingsprodukten, zoals bijv. ethyleen en CO_2 die op de plaats van ontstaan, nl. bij het produkt kunnen worden gebonden. Hiervoor zijn geen additionele technische voorzieningen vereist, die door hun beperkt gebruik te duur zijn voor een universele toepassing.

3.4. Ventilatie van het produkt: verpakking en stapeling

Het klimaat rond het produkt (microklimaat) moet het ideale klimaat zo dicht mogelijk benaderen. Hiervoor is het nodig de geklimatiseerde lucht in aanraking te brengen met het produkt. Verpakking en stapeling treden hierbij op als hinderpalen. Beiden zijn ontworpen met het oog op een mechanische bescherming en indeling van de lading in hanteerbare eenheden met toereikende stabiliteit.[6] Deze mechanische eisen komen gemaakelijk in conflict met de eisen van warmte- en stoftransport, vooral wanneer men van het klassieke materiaal hout overgaat op papier en kunststoffen. Voor deze moderne verpakkingsmaterialen moet het gehele concept opnieuw worden overwogen. Oude ervaringen blijken in vele gevallen niet meer van toepassing, in sommige gevallen zijn zij ook zonder meer aan de kant gezet, omdat men het belang ervan onvoldoende onderkende. De kleine maten "Amerikaanse krat" voor bloembollen, iris- en gladiolekist bijvoorbeeld, had door zijn smalle bouw en ventilatiemogelijkheden duidelijke voordelen t.o.v. de moderne kubische verpakking.

Een doelmatige ventilatie van de verpakkingen met het doel van een uniform microklimaat is mogelijk, maar vereist het opvolgen van een aantal voorschriften voor verpakking en stapeling, die bij de tot nu toe gebruikelijke werkwijze gemakkelijk te niet kunnen worden gedaan door de verlader. De andere mogelijkheid, door verandering in de construktie van de verpakking een waarborg voor goed gebruik in te bouwen, is tot nu toe gestuit op het argument van ruimteverlies. Gemakkelijksheidshalve bestempelt men dan ook noodzakelijke luchtcirculatieruimte als ruimteverlies. Zolang de noodzaak van dit ruimteverlies niet wordt geaccepteerd, kan de ontwikkeling moeilijk verder gaan.

Men dient zich echter ook te realiseren, dat het beheersen van het microklimaat een zwaardere taak oplegt aan de klimatiseringsapparatuur voor het macroklimaat (in het voertuig), omdat met het reduceren van de bufferende functie

van de verpakking het microklimaat directer door de apparatuur wordt beïnvloed. Aan de gelijkmatigheid van het macroklimaat worden dus hogere eisen gesteld. Omdat het echter om dezelfde componenten gaat, zijn geen wezenlijke extra kosten anders dan ontwikkelingskosten vereist voor de realisatie.

4. Samenwerking van de verschillende factoren bij het totstandkomen van de temperatuurverdeling in een koelcontainer.

In het vervolg zal worden getracht om aan de hand van reeds bekende gegevens de stationaire temperatuurspreiding in een koelcontainer met verschillende lading kwantitatief d.m.v. een rekenmodel te benaderen. De resultaten moeten worden gezien als een poging om geconstateerde verschijnselen[7] te verklaren, en tegelijkertijd een stap te zetten naar de beheersing van het transportklimaat.

4.1 Produkt en verpakking

Met betrekking tot het klimaat is het produkt gecharakteriseerd door broneigenschappen: warmte-, CO_2-, ethyleen produktie, O_2 consumptie waterdampafgifte en transporteigenschappen: warmtegeleiding en diffusie van gassen en waterdamp. In dit verband interesseren alleen de thermische eigenschappen: warmteproduktie en warmtegeleiding, terwijl de waterdampafgifte als belangrijke invloed op de warmtehuishouding niet geheel verwaarloosd mag worden. In de gekozen omstandigheden is deze invloed echter gering.

In tabel 2 zijn deze eigenschappen aangegeven. De grote spreiding van de broneingenschappen valt direct op. Dit introduceert een grote onzekerheid in elke berekening. Het is van groot belang om de eventuele oorzaken van deze spreiding op te sporen en hierdoor tot een nauwkeurigere fysische charakterisering van onze tuinbouwprodukten te komen.

De transportcoëfficiënten voor warmte en waterdamp hangen nauw samen met de ruimte die het produkt in de verpakking inneemt: de ladingdichtheid, daarom is deze eveneens vermeldt.

4.2 Verpakking en stapeling

Tussen produkt en containerklimaat staat de verpakking, samengevoegd in een bepaald geometrisch patroon om de laadruimte zo gunstig mogelijk te vullen.

In de berekening is gekozen voor een eenvoudig stapelpatroon: de rij of wand, anderen goals blok of kolom kunnen gecompliceerde wiskundige problemen opleveren. Een wand is thermisch door de halve dikte gecharakteriseerd.

Warmtegeleiding en dikte van het verpakkingsmateriaal spelen een rol tezamen met de warmteoverdracht aan de circulerende lucht.

In tabel 3 zijn deze waarden samengevat. Een halve stapelbreedte van o,2 m sluit aan bij de gestandaardiseerde maat van 0,4 m.
De in tabel 2 en 3 vermelde eigenschappen bepalen samen het verschil tussen microklimaat in de verpakking en het macroklimaat (zie fig. 1)

De berekeningen zijn uitgevoerd voor geventileerde verpakkingen, ondanks ventilatie-openingen het meest voorkomende geval. Hierbij treden in de verpakkingen maximale luchtvochtigheden op, waardoor de warmteproduktie ten volle tot uiting komt.

4.3. Container.

In fig. 2 is een schematische voorstelling gegeven van een geavanceerde koelcontainer.
Te onderscheiden zijn:
(1) De laadruimte gevuld met produkt, voorzien van
(2) warmte-isolatie,
(3) en van een luchtgeleidingssysteem.
(4) Hierop aangesloten een Koelaggregaat met luchtkoeler,
(5) een ventilator voor luchtcirculatie,
tot de verdere uitrusting behoort een regelthermostaat bij T_3 voor het commanderen van de luchtkoeler en bij T_o een veiligheidsthermostaat ter voorkoming van te lage luchttemperaturen.

In thermisch opzicht is een geïsoleerd voertuig en dus ook een container gegeven door de warmtedoorgangscoefficiënt of K-waarde van de wandconstruktie alsmede door oppervlak en volume. (tabel 4). Deze waarden moeten voor grensoverschrijdend vervoer onder EEG-bepalingen in een certifikaat zijn vastgelegd.

Belangrijk is ook de luchtlekkage omdat hierdoor eveneens een warmtebelasting optreedt. Voor levende tuinbouwprodukten is echter ventilatie met buitenlucht nodig; om deze reden is een doseerbare luchtverversing noodzakelijk om enerzijds de benodigde hoeveelheid verse lucht voor zuurstoftoevoer en afvoer van CO_2 en ethyleen te verzorgen en anderzijds de koelinstallatie niet nodeloos te belasten.

Om deze reden blijft het gewenst om valse luchttoevoer zoveel mogelijk uit te schakelen en geforceerd, instelbaar te ventileren.

De warmtebelasting van de container bestaat dus uit:

1) **warmtetoevoer van buiten, incl.**
2) ventilatielucht,
3) warmteproduktie van de lading en
4) dissipatie van het vermogen voor de luchtcirculatie.

De warmtestromen door de wanden en die vanuit de lading moeten binnen gelijke temperatuurverschillen van de circulerendelucht worden afgevoerd, wil men een optimale temperatuurverdeling bewerkstelligen. Dit vereist een luchtverdeling tussen mantel en laadruimte in verhouding tot de warmtestromen van binnen en buiten, instelbaar tussen 0 en 100%, zolang men een parallelcirculatie (lucht stroomt tegelijkertijd langs wand en door lading) vasthoudt. Hierbij spelen vrije doorlaat, luchtsnelheden en stromingsweerstanden een doorslaggevende rol. Door seriecirculatie (lucht stroomt na elkaar langs wand en door lading) kan men dit probleem ontlopen, misschien ten koste van een iets hoger energieverbruik voor de luchtcirculatie.[9)10)]

4.4. <u>Koelinstallatie</u>.

De koelinstallatie moet voor het thermische en vochtgedeelte van het macroklimaat zorgen.

Koelcapaciteit en luchtcirculatie zijn vanouds bekende parameters en betrekkelijk eenvoudig vast te leggen[11)] (tabel 5). **Toch heeft het lang geduurd voordat hun betekenis en vooral die van de luchtcirculatie in transportmiddelen werd onderkend.** De koelcapaciteit is sterk afhankelijk van de temperatuurniveaus waartussen de installatie moet werken. Bij kleinere temperatuurverschillen neemt de koelcapaciteit toe. Hierdoor wordt bij gelijkblijvende luchtcirculatie een grotere afkoeling van de circulatielucht bewerkstelligd. Reden, waarom men van capaciteitsregeling gebruik moet maken, wil men met constante luchtcondities bij intrede in de laadruimte werken.

De beheersing van de luchtvochtigheden door de luchtkoeler staat echter nog in de kinderschoenen. Het gevolg hiervan is dat de luchtvochtgehalten maximale waarden bereiken bij uittrede uit de koeler. Warmte- en vochtbelasting bepalen de toestandsverandering tijdens circulatie.

5. Resultaten en discussie.

In tabel 6 zijn de belangrijkste resultaten van de berekening weergegeven. Deze gelden na het bereiken van de evenwichtstoestand ca. 3 à 4 dagen na het laden met produkt, wat van te voren op transporttemperatuur is gebracht.

Vergelijken wij de gewenste transporttemperatuur T, waarvan de laagste grens als maatgevend wordt beschouwd, dan geeft T. de laagste luchttemperatuur weer, waaraan het produkt mag worden blootgesteld T_1. Uit de isolerende werking van de verpakking zou kunnen worden afgeleid dat de luchttemperatuur verder verlaagd mag worden. Een hachelijke zaak, waarvan slechts in zeer uitzonderlijke gevallen gebruik kan worden gemaakt.

T_2 geeft de onder de gekozen omstandigheden te verwachten maximale produkttemperatuur weer. De totale spreiding van de produkttemperaturen is dus $T_2 - T_{min}$ zonder temperatuur-begrenzing bij T_o.
Met temperatuurbegrenzing : $T_2 - T_o$

T_3 geeft maximale luchttemperatuur weer onder ideale omstandigheden, namelijk luchtverdeling proportioneel tot de warmtebronnen. Dit is de temperatuur die op de regelthermostaat in positie T_3 moet worden ingesteld wanneer men de minimum-temperatuurgrens als verbintelijk beschouwt. Neemt men de maximum temperatuur als grens, dan moet T_3 om $T_2 - T_{max}$ lager worden ingesteld. Bij een slechte luchtcirculatie, treden uiteraard zeer grote afwijkingen op van deze regel. Men kan op deze basis een rendement definieren:

$$= \frac{T_2 - T_o \text{ berekend}}{T_2 - T_o \text{ gemeten}}$$

dat bij optimale omstandigheden 100% kan worden.

T_4 is de temperatuur voor de koeler. Als gevolg van koelcapaciteit en warmtecapaciteit van de circulerende lucht vinden wij na warmtecapaciteitsregeling een temperatuur van $T_{o\ min}$ terwijl T_o de gemiddelde temperatuur voor een aan-uit regeling weergeeft of de gelijkmatige luchttemperatuur bij capaciteitsregeling proportioneel tot de optredende belasting. In dit geval wordt dan op de temperatuur T_o geregeld.

Een waakthermostaat met een temperatuurinstelling van T_o of T_{min} beveiligt de lading wel voor de funeste gevolgen

van een aan-uit regeling maar geeft aanleiding tot het gevreesde "pendelen": frekwent in- en uitschakelen van de installatie, waardoor een snelle slijtage in de hand wordt gewerkt.

T_5, de temperatuur van het koeloppervlak hangt ten nauwste samen met de werking van koeler en luchtcirculatie. Bij de gebruikelijke uitvoeringen van transportkoelinstallatie liggen deze temperaturen dicht bij de luchtuittredetemperatuur, hetgeen betekent dat de koellucht met een hoge R.V. in de laadruimte komt. Dit is bij sommige produkten ongewenst. Bij dergelijke ladingen zou een droging vereist zijn, dus een volledige klimatisering.

6. Conclusies.

Temperatuurspreidingen tijdens transport vallen in vele gevallen groter uit dan uit hoofde van een goed kwaliteitsbehoud toelaatbaar is. Mogelijkheden deze te verkleinen liggen vooral op het gebied van verpakking en stapeling. Als tegenwerkende faktoren treden op: de eis van maximale ruimtebenutting en de mechanische stabiliteit.

Gevaarlijke temperatuurschommelingen kunnen worden vermeden door toepassen van de continue capaciteitsregeling of andere maatregelen die een constante luchttemperatuur bij intrede in de laadruimte waarborgen. De voor de hand liggende plaatsing van een waakthermostaat ter bescherming van het produkt is niet gewenst om zijn nadelige gevolgen voor de schakelelementen, motoren en energieverbruik.

De ontwikkeling van doelmatige verpakkingen en stapelingen enerzijds, en van optimaal werkende klimaatinstallaties voor transport anderzijds kan niet anders dan op grond van compromissen betreff. verdeling van klimaatfactoren en energieverbruik en andere kostenfactoren (b.v. regeling)

De verpakking als warmte- en vochtbarrière is ongunstig voor een uniform microklimaat, maar beschermt het produkt ten minste tegen enkele gevolgen van de verre van optimale werking van de conventionele transportkoelinstallaties.

De moderne ontwikkeling streeft naar een zo uniform mogelijk klimaat en stelt daardoor hoge eisen aan verpakking en stapeling m.b.t. ventilatie en maakt een zeer nauwkeurige werking van de klimaatinstallatie noodzakelijk.

Een kwantitatieve benadering van het transportklimaat lijkt nu al mogelijk op basis van globale gegevens Verfijnde produktkennis, wiskundige en experimentele methoden zullen het mogelijk maken het resultaat van een transport kwantitatief te voorspellen.

Gezien de stand van kennis is het niet meer nodig dat de ontwikkeling van gekoelde transportmiddelen ten koste van het produkt gaat. Een doelgericht experimenteel programma is noodzakelijk om de ontwikkeling van verpakking en stapelingen alsmede van de apparatuur voor transportconditionering in de gewenste banen te leiden voor een goed kwaliteitsbehoud.

Eisen aan een container voor tuinbouwprodukten.

Aanvullen op de meer algemene eisen, die tot nu toe geformuleerd zijn voor een universeel bruikbaar transportmiddel (=container), voor bederfelijke produkten, ten aanzien van:

1. isolatie;
2. koeling;
3. luchtcirculatie;
4. hygiëne.

Komen uit deze oriëntatie voor tuinbouwprodukten nog een aantal additionele eisen naar voren:

5. temperatuurbeheersing binnen nauwe grenzen voor de gehele container;
6. beheersen van de luchtvochtigheid;
7. beheerste ventilatie;
8. luchtverdeling na verhouding van de warmte belasting
9. stabiliteit van de lading t.o.v. beschadiging en luchtpassages.
10. afmetingen aangepast op internationaal gestandaardiseerde verpakkingen. (OECD, ISO)
11. constante luchtcondities bij intrede in laadruim.

De punten 5 t/m 9 [12]) betreffen slechts ten dele de toerusting van het transportmiddel, het andere gedeelte weerspiegelt duidelijk een invloed vanuit het te vervoeren produkt via verpakking en stapeling. Samen met de via eerstgenoemde punten moet deze maatregelen vanuit de verschillende sectoren van de Transportwereld.

Wageningen, 1971
HM/JK/hl

8. Literatuur

1. Int. Inst. Refrig., Recommended conditions for cold storage of perishable produce, 2 nd.ed., Paris, 1967

2. Int. Inst. Refrig., Recommended conditions for land transport of perishable foodstuffs, 2 nd.ed., Paris, 1963

3. USDA, The commercial storage of fruits, vegetable- and nursery stocks, Agriculture Handbook 66, rev.ed., 1968

4. Tomkins, R.G., Choice of conditions for storage of fruits and vegetable. Ann. Rep. of the East Malling Res. Stat. 1965 (1966). part III

5. v. Vliet, P., Ruimtelijke problemen bij toepassing van "unitloads" voor tuinbouwprodukten Sprenger-Instituut, Rapport nr. 1679, 1969

6. v. Hiele, T., and Meffert, H.F.Th., Packages for fruit and vegetables with regard to the application of refrigeration Annexe 1966-6, Bull. de l'IIF, 127-138

7. Anthony, J.P., Exploratory cooling test with 40' refrigerated trailer and container vans, USDA, ARS 52-48, 1970

8. ECE, Agreement on the international carriage of per perishable Foodstuffs and on the special equipment to be used for such carriage (ATP), Geneve, 1962

9. Meffert, H.F.Th., Temperature control of a heat generating load, Annexe 1969-3 au Bull. de l'IIF, 11-26

10. Meffert, H.F.Th., Design and performance of a jacket container
Annex 1969-3 au Bull. de l'IIF, 75-88

Int. Inst. Refrig., Recommendations for an International
Testing Code for Refrigerating machinery,
Paris, 1958

DIN 8958, Prüfbedingungen für Kältemaschinen,
zum Einbau oder Anbau an isolierte
Kühlmaschinenwagen und Behälter, 1960

ISO Recommendation R 916, Testing of
refrigerated systems,
Geneva, 1971

ARI Standard 1110 for mechanical transport
Refrigeration units, 1969

12. Hinds, R.H., Ways to improve transportation of perishables,
CTR-news, Aug. 1970, 18

Tabel 1: Transportcondities en fysische eigenschappen van enige tuinbouwprodukten

Produkt	Transportcondities					Fysische eigenschappen	
	tijd dagen	temp. °C	R.V. %	CO_2 %	Ethyleen p.p.m.	Warmteprod. $\frac{kcal}{ton\ 24h}$	Ladingsdichth. $\frac{kg}{m^3}$
Groenten:							
sla	2-3	0-6	>95	<1	0	650-1050	100
	5-6	0-4					
tomaat							
doorgesl.	2-3	8-15		<1		650-1800	400
	5-6	10-15				1000-1800	
rijp	2-3	4-8		<1		400- 850	400
komkommer	2-3	5-10	>95	<1	0	500-1250	500
	5-6	7-10				700-1250	
Bloemen:							
Narcis	5-10	0-5	90-95		0	750-1250	200
Heesters:							
rozen	5-10	0	95		0	550- 850	200
Bloembollen:							
tulp	5-10	17-23	60-80	<1	<0,1	1300-3700	670

Tabel 2: Fysische eigenschappen van enkele tuinbouwprodukten, van invloed op het transportklimaat.

eigenschap		narcis	tomaat	tulpebol
warmteproduktie	Q' $\frac{kcal}{m^3h}$	20-13	24-42	35-100
vochtafgifte	E' $\frac{1}{h}$	-	7-30	10-50
warmtegeleidingscoefficiënt	λ' $\frac{kcal}{mh\ K}$	0,1	0,35	0,3
waterdampdiffusie	D' $\frac{m^2}{h}$	0,045	0,021	0,015
ladingsdichtheid	ϱ' $\frac{kg}{m^3}$	200	400	670
CO_2-produktie	$\frac{dm^3}{m^3h}$	4	8	16

Tabel 3: Fysische eigenschappen van verpakking en stapeling, van invloed op transportklimaat

eigenschap		**narcis**	**tomaat**	**tulpebol**
Stapel				
characteristieke afmeting v/d stapel	X m	0,2	0,2	0,2
Verpakkings materiaal		karton	schuimplastic	golfcarton
dikte	m	2 x 0,003	0,01	0,005
warmtegeleiding	$\frac{kcal}{m\,h\,K}$	0,1	0,03	0,04

Tabel 4: Eigenschappen van een geïsoleerde container (20')

K-waarde	$\frac{kcal}{m^2hK}$	0,35
oppervlak	m^2	70
volume	m^3	25
lekopening	$mm^2/_{m^3}$	< 1

Tabel 5: Eigenschappen van een container koelinstallatie

		verdampings-/condensatie temp.		
		-30/50°C	-25/50°C	10/50°C
koelcapaciteit	$\frac{kcal}{h}$			
bruto		3200	4500	5000
netto		1700	3060	3600
luchtcirculatie	$\frac{m^3}{h}$	1600		
Stat. drukverlies	mm wk	40		

Tabel 6: Berekende temperatuurniveaus en- verschillen in een container met tuinbouwprodukten. (zie fig. 4)

Temperatuurniveaus	°C	narcis	tomaat	tulpebol
buitentemp.	T_a	20	20	20
transporttemp.	T	0-5	10-15	17-23
luchttemp. bij intrede ctr. toelaatbaar minimum	T_o	0	10	17
produkttemp., max. bij luchtintrede	T_1	5	14	24
produkttemp., max bij luchtuittrede	T_2	7	18	28
luchttemperatuur uittrede ctr.	T_3	2	14	21
luchttemperatuur voor koeler	T_4	3	15	22
luchttemperatuur na koeler	T_o min	-6	5	12
temperatuur verschillen	K			
in verpakking	T_1-T_o T_2-T_3	5	4	7
in circ.lucht binnen ctr.	T_3-T_o	2	4	4
totale spreiding	T_2-T_o	7 (7-0)	8 (18-10)	11 (28-17)

MEI 1971

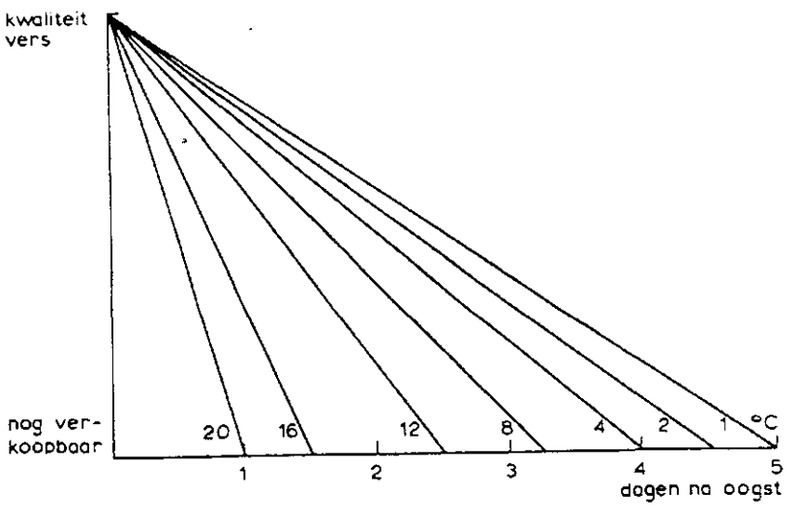


fig. 1: Tijd - temperatuur - tolerantie (TTT) grafiek in algemene termen voor agrarische produkten.

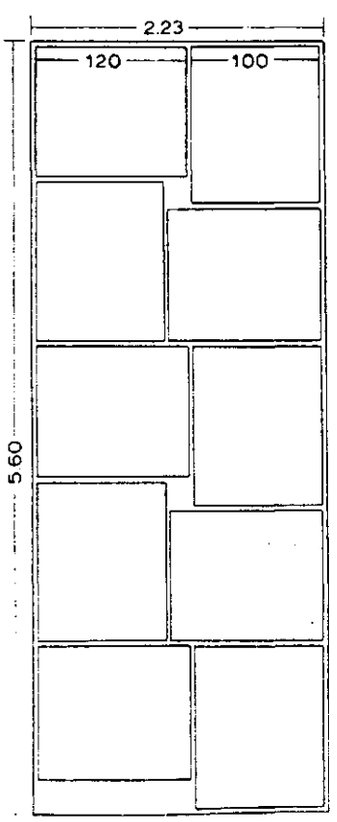
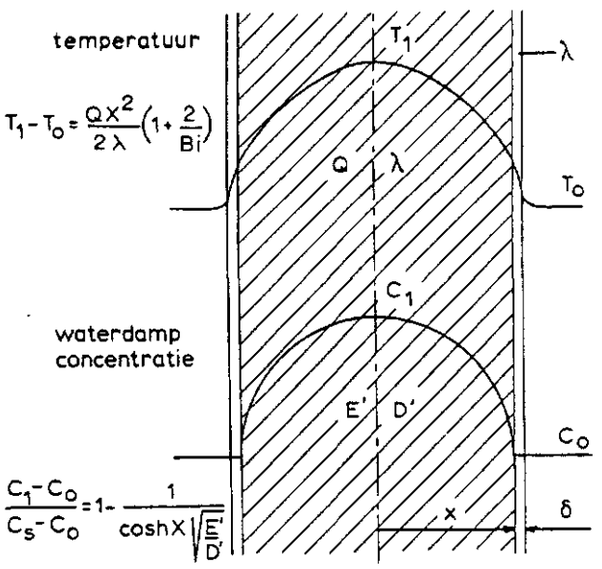


fig. 2: Laadpatroon voor een geisoleerde 20' container met ideale vloerdimensies

fig. 3: Temperatuur en waterdamp concentratie in een stapel.



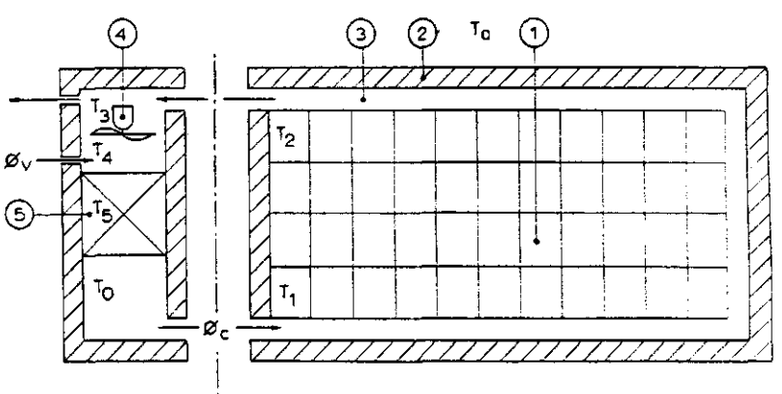


fig. 4: Temperatuurniveaus in een Koelcontainer met warmte producerende lading (zie Tabel 6).

Part II

Calculation of thermal conditions in a container-van

H.F.Th. Meffert and J.E. Rooda
Sprenger Institute
Wageningen - The Netherlands

Summary

A flow sheet was designed for the checking calculation of transport conditions in a container-van. In the hand of supervisory personal such a check should be able to minimise mistakes in the choice of material and conditions.
Examples are given and the results are visually presented.

1. Introduction

The thermal conditions, i.e. the temperature distribution in the cargo and in the circulating air, are the most important dues in the transport and storage of perishable cargo, besides humidity and gasconcentration *). As these conditions are depending on a large number of influences from the hold or vehicle from the air conditioning unit, the product, inside and outside conditions it was thought worth while to draw up a workable procedure for a checking calculation for transport conditions. In the hands of the supervising personal, such a check should be able to minimise mistakes in choice of vehicle, transport conditions and stowing patterns.

The procedure outlined below is valid for cargo, precooled to at about transport temperature, under equilibrium conditions, which are usually reached after 3 to 4 days.

2. Product conditions

The conditions at which the cargo has to be kept during transit are mostly given by the owner. In special cases these should be settled by discussion between both, owner and shipper of the cargo. Mostly only temperature is recommended, sometimes relative humidity. CO_2-concentration should be kept below a certain value, this depends of course on the product. Sometimes special requirements have to be met, i.e. ethylene or other volatiles.

3. Ambient conditions

Date of ambient conditions create some difficulty, especially in long term tranportation though different climate toner. Temperature and humidity values should be taken than as the maximum daily average during the period in question. If the vehicle or store is exposed to sunlight, sol-air temperatures have to be considered **). In critical cases the CO_2-concentration in the surrounding air has to be considered to, as well as ethylene or other hazardous volatiles (exhaust gases). Both are of influence on the ventilation requirements of the cargo space.

*) H.F.Th. Meffert, Climate and quality control.

**) ASHRAE guide and date book, Fund., 1967, page 373, 514.

4. Product properties

The thermal properties of the cargo are very important for the actual conditions during transport. In fact they control the conditions in the stack.

5. Air properties

As air is the medium by which the heat is extracted from the cargo and the hold and transfered to the airconditioning unit, it is important to introduce air with the right properties.

6. Package properties

The package as an intermediate between circulating air and product, can contribute quite a lot to the distribution of cargo temperatures (humidity and gasconcentration, too). Carefully consideration of the relevant properties of the package material is necessary as well as of the characteristic lenght of the stacking pattern.

7. Container properties

Dimensions and K-value as well as leakage data characterize the container with respect to thermal behaviour. Many efforts have been done to design testing methods for the required data (ARI, BSI, DIN, IIF). Test results are usually stated in a certificate issued by an authorized institute, authorized by government, classification bureau or insurance companies. For transport under the ECE Agreement (ATP) such a certificate is enforced by law.

8. Reefer-unit properties

The air conditioning equipment has to create the required transport conditions. Refrigerating power, air circulation and ventilation are most important in relation to the load. Also power dissipation of the air circulation and the total unit is necessary for the check of the transport conditions. Proposed test methods up to now, do not supply enough information (ARI, DIN,IIF, ISO)

9. Stowage

The total mass and volume of the cargo is needed in order to calculate weight and space occupation of the commodities to be transported.

10. Hold

In certain cases vehicles are stowed in a special hold, in which air circulation or ventilation is maintained. In those cases the data of such holds have to be known in order to check the environmental conditions: temperature, humidity, gasconcentration in order to determine the transport condition in the container.

11. Computational procedure

The results are obtained by means of simple flow-sheets.

The sheets consist of the following parts:

11.1. Calculation of Temperature levels in a container

11.1.1. Required data

11.1.2. Temperature levels in a container

11.2. Calculation of volatile concentration in CTR ventilation systems (CO_2) and temperature

11.2.1. Required data

11.2.2. Calculations

11.1. Calculation of Temperature levels in a container

11.1.1 Required data

Commodity :

Date :

Transport conditions, recommended

Air temperature :	t_o	$[°C]$	202
Relative humidity :	φ_o	$[\%]$	204
CO_2 - concentration :	C_{co}	$\left[\frac{g}{m^3}\right]$	206
Ethylene - concentration	C_{EO}	$\left[\frac{g}{m^3}\right]$	208

Ambient conditions

Air temperature :	t_a	$[°C]$	302
Relative humidity :	φ_a	$[\%]$	304
CO_2 - concentration :	C_{ca}	$\left[\frac{g}{m^3}\right]$	306
Ethylene concentration :	C_{Ea}	$\left[\frac{g}{m^3}\right]$	306
Sol-air temperature*) :	t_{sa}	$[°C]$	302

*) ASHRAE Data book, Fund., 1967, p. 574

Product properties

Heat generation : $Q_{pr}\ \left[\frac{kcal}{m^3 h}\right]$

Evaporation

CO_2 - production : $\frac{402}{2,3}\ I_C\ \left[\frac{g}{m^3 h}\right]$

Ethylene - production $I_E\ \left[\frac{g}{m^3 h}\right]$

Thermal conductivity $\lambda\ \left[\frac{kcal}{m\,h\,K}\right]$

Diffusivity, H_2O

Diffusivity, CO_2

Diffusivity, Ethylene

402 404 406 408 410 412 414 416 418

Air properties

Density at t_0 : $\rho_0\ \left[\frac{kg}{m^3}\right]$

$$1,29\ \frac{273}{273 + 202} =$$

Specific heat : $c_p\ \left[\frac{kcal}{kg\,K}\right]$

$c_p \rho_0\ \left[\frac{kcal}{m^3 K}\right]$

502 504 506

Air leakage rate : $L \left[\frac{m^3}{h}\right]$

Leakage area : $a \left[m^2\right]$

at Pressure diff. $\Delta P_L \left[\frac{kg}{m^2}\right]$

Package properties

Wall thickness : $s \left[m\right]$ 602

Thermal conductivity : $\lambda_p \left[\frac{kcal}{m\,h\,K}\right]$ 604

Characteristic length : $X \left[m\right]$ 606

Container properties

Type :

Surface : $A_{CT} \left[m^2\right]$ 702

K-value : $K_{CT} \left[\frac{kcal}{m^2\,h\,K}\right]$ 704

$(KA)_{CT} \left[\frac{kcal}{h\,K}\right]$ 705

Volume : $V_{CT} \left[m^3\right]$ 706

Reefer unit, properties

Type : [ ]

Surface air cooler:	A_c [m^2]	802
Heat transfer coefficient:	α_c [$\frac{kcal}{m^2 h K}$]	804
Air circulation rate:	ϕ_c [$\frac{m^3}{h}$]	806
Pressure difference, static:	ΔP_{fan} [$\frac{kg_f}{m^2}$]	808
Power consumption, fan:	H_f [$\frac{kcal}{h}$]	810
Power consumption, unit:	N_R [$\frac{kcal}{h}$]	812
Cooling capacity: net	H_{CN} [$\frac{kcal}{h}$]	814
gos	H_{Cg} ["]	815
Ventilation rate:	ϕ_V [$\frac{m^3}{h}$]	816

Stowage

Total mass of cargo:	M_p [kg]	902
Total volume of cargo:	V_p [m^3]	904

Reefer hold

Total volume:	V_H [m^3]	1002
Ventilation rate:	ϕ_H [$\frac{m^3}{h}$]	1004
number of reefers:	N [-]	1006

Temperature levels in package

δ/λ_p ratio : [602] / [604] = [02]

k_p-value : $\frac{1}{\frac{1}{\alpha_L} + \frac{\delta}{\lambda_p}} = \frac{1}{\frac{1}{10} + [02]} =$ [04]

Bi - number: $\frac{k_p \cdot X}{\lambda_p} = \frac{[04] \cdot [606]}{[402]} =$ [06]

Dummy variable : $\frac{2}{Bi} = \frac{2}{[06]} =$ [08]

Temperatures:

Dummy variable : $\frac{Q_{pr} X^2}{2 \lambda_{pr}} = \frac{[402] \cdot [606]}{2 \cdot [402]} =$ [10]

Difference between thermal centre of slack and passing air [K]

$\Delta t_{pa} = \frac{Q_{pr} X^2}{2 \lambda_{pr}} \left(1 + \frac{2}{Bi}\right) =$ [10] $\cdot \left(1 +$ [08] $\right) =$ [12]

Difference over package wall:

$$\Delta t_w = \frac{Q_{pr} \cdot X^2}{2 \lambda_{pr}} \cdot \frac{2}{Bi} = \boxed{10} \cdot \boxed{08} = \boxed{14}$$

Temperature levels in container

Maximum temperature difference over container insulation:

$$\Delta t_{ci} = t_{sa} - t_o = \boxed{308} - \boxed{202} = \boxed{18}$$

Maximum heat flux through container insulation:

$$H_i = (KA)_{CT} \cdot \Delta t_{ci} = \boxed{705} \cdot \boxed{18} = \boxed{20}$$

Heat generation of cargo:

$$H_p = Q_{pr} \cdot V_{pr} = \boxed{402} \cdot \boxed{904} = \boxed{22}$$

Heat dissipation of circulating air in cargo space

$$H_d = \frac{\Delta P_{cs} \cdot \Phi_c}{\text{mech. heat equiv.}} = \frac{\square \; \overset{806}{\square}}{427} = \overset{24}{\square}$$

Heat balance of ventilation air

Required ventilation CO_2

$$\Phi_{vc} = \frac{I_c \cdot V_p}{C_{co} - C_{ca}} = \frac{\overset{406}{\square} \cdot \overset{904}{\square}}{\underset{206}{\square} - \underset{306}{\square}} = \overset{26}{\square}$$

Required ventilation ethylene

$$\Phi_{VE} = \frac{I_E \cdot V_p}{C_{EO} - C_{Ea}} = \frac{\overset{408}{\square} \cdot \overset{904}{\square}}{\underset{208}{\square} - \underset{308}{\square}} = \overset{28}{\square}$$

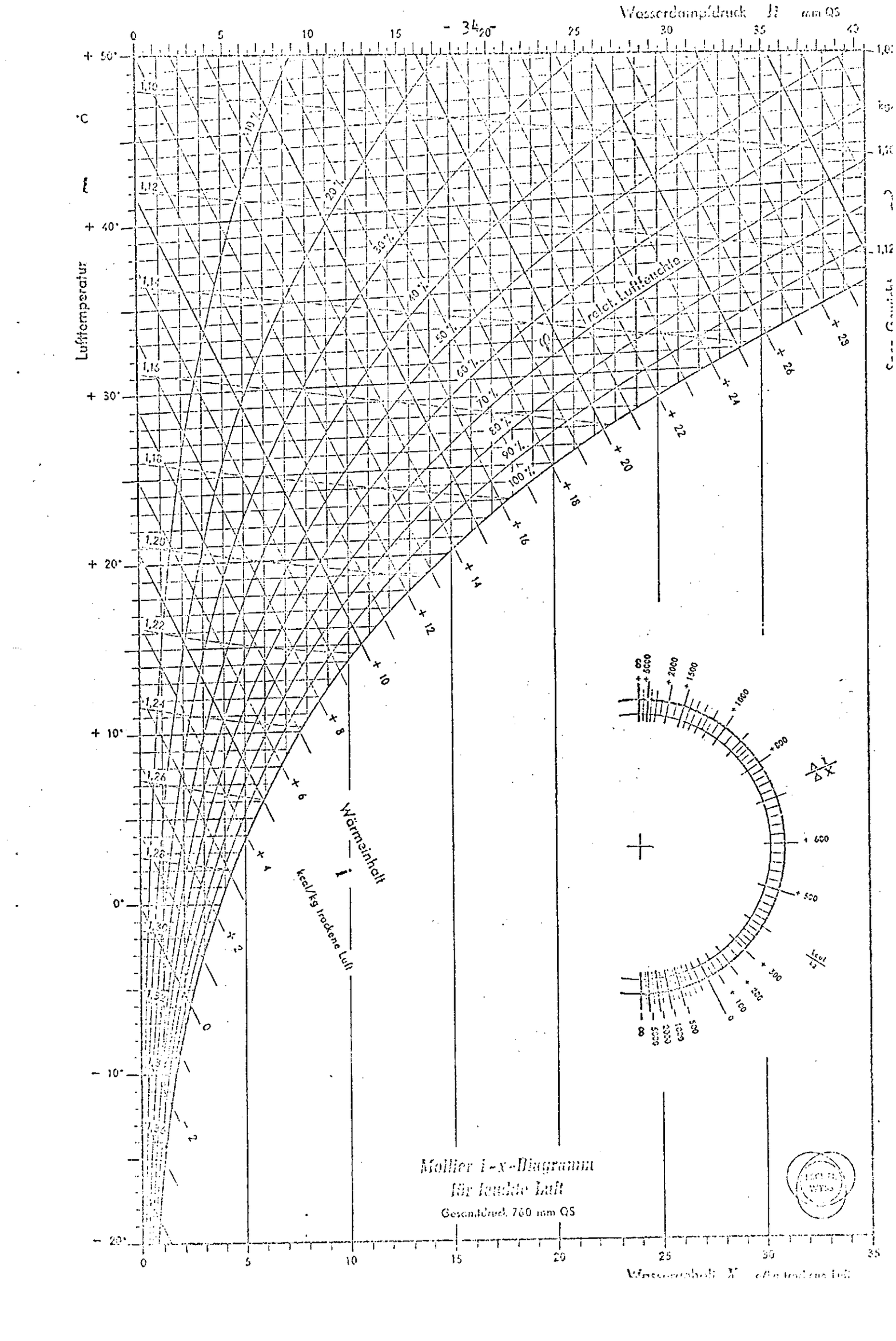
Required ventilation:

$$\Phi_v \quad \text{max}\left(\overset{26}{\square}, \overset{28}{\square}\right) = \overset{30}{\square}$$

$$H_v = (i_a - i_o) \cdot \rho_o \cdot \Phi_v$$

Mollier-chart:

$$i_a \left(\underset{302}{\square}; \underset{304}{\square}\right) = \overset{31}{\underset{305}{\square}}$$


Wasserdampfdruck
mm QS
Lufttemperatur
°C
rel. Luftfeuchte
Wärmeinhalt
i
kcal/kg trockene Luft
Mollier i-x-Diagramm
für feuchte Luft
Gesamtdruck 760 mm QS

φ_o (202 ; 204) = 31A 205

H_V = { 31 305 − 31A 205 } 502 · 30 = 32

Total heat load of reefer unit

$H = H_i + H_p + H_v + H_f$ 2)

20 + 22 + 32 + 810 = 33

Load factor:

τ = 33 / 815 = 34

approximation can be checked by relative running time, if unit operated "on-off" 34A

Total heat load of cargo space:

$H_t = H_i + H_p + H_d \cdot \tau$ 1) 2)

20 + 22 + 24 · 34(A) = 35

1) 34(A) to be introduced only in case of "on-off" air circulation

2) in case of "cooling/heating" operation of unit the additional heatload has to be considered

Thermal capacity circulating air

$$c_p \cdot \rho_o \cdot \Phi_c = \boxed{\;} \cdot \boxed{\;} = \boxed{\;}$$

(806) (806) (36)

With "on-off" operation of refrigeration and air circulation:

Average thermal capacity of circulating air:

$$\tau \cdot c_p \cdot \rho_o \cdot \Phi_c = \boxed{\;} \cdot \boxed{\;} = \boxed{\;}$$

($\bar{34}$) (36) (36A)

If unit works in a heating/cooling cycle and continuous air circulation

or in "on-off" operation and continuous air circulation

appropriate changes have to be made in [33] and [35] by introduction of the additional heat load.

Air temperature difference *)

cargo space:

$$\Delta t_{CT} = \frac{H_t}{c_p \rho_0 \varphi_c} = \frac{\boxed{35}}{\boxed{36(A)}} = \boxed{38}$$

Maximum air circulation temperature

cargo space:

$$t_3 = t_0 + \Delta t_{CT} = \boxed{202} + \boxed{38} = \boxed{40}$$

Maximum product temperature

$$t_2 = t_3 + \Delta t_{pa} = \boxed{40} + \boxed{12} = \boxed{42}$$

Temperature increase by fan

$$\Delta t_f = \frac{H_f}{c_p \rho_0 \varphi_c} = \frac{\boxed{810}}{\boxed{36}} = \boxed{44}$$

Temperature difference across air cooler

$$\Delta t_c = \frac{H_{cg}}{c_p \rho_0 \varphi_c} = \frac{\boxed{815}}{\boxed{36}} = \boxed{46}$$

---

*) With on-off operation

36 A has to be considered.

Minimum air temperature at cooler outlet: during operation

$$t_{co} = t_3 + \Delta t_f - \Delta t_c$$

$$40 + 44 + 46 = 48$$

average air temperature at cooler outlet 1)

$$\overline{t_{co}} = t_3 + \Delta t_f - \tau \cdot \Delta t_c$$

$$40 + 44 - 34 \cdot 46 = 49$$

---

1) check: has to equal ctr-inlet temperature (202)

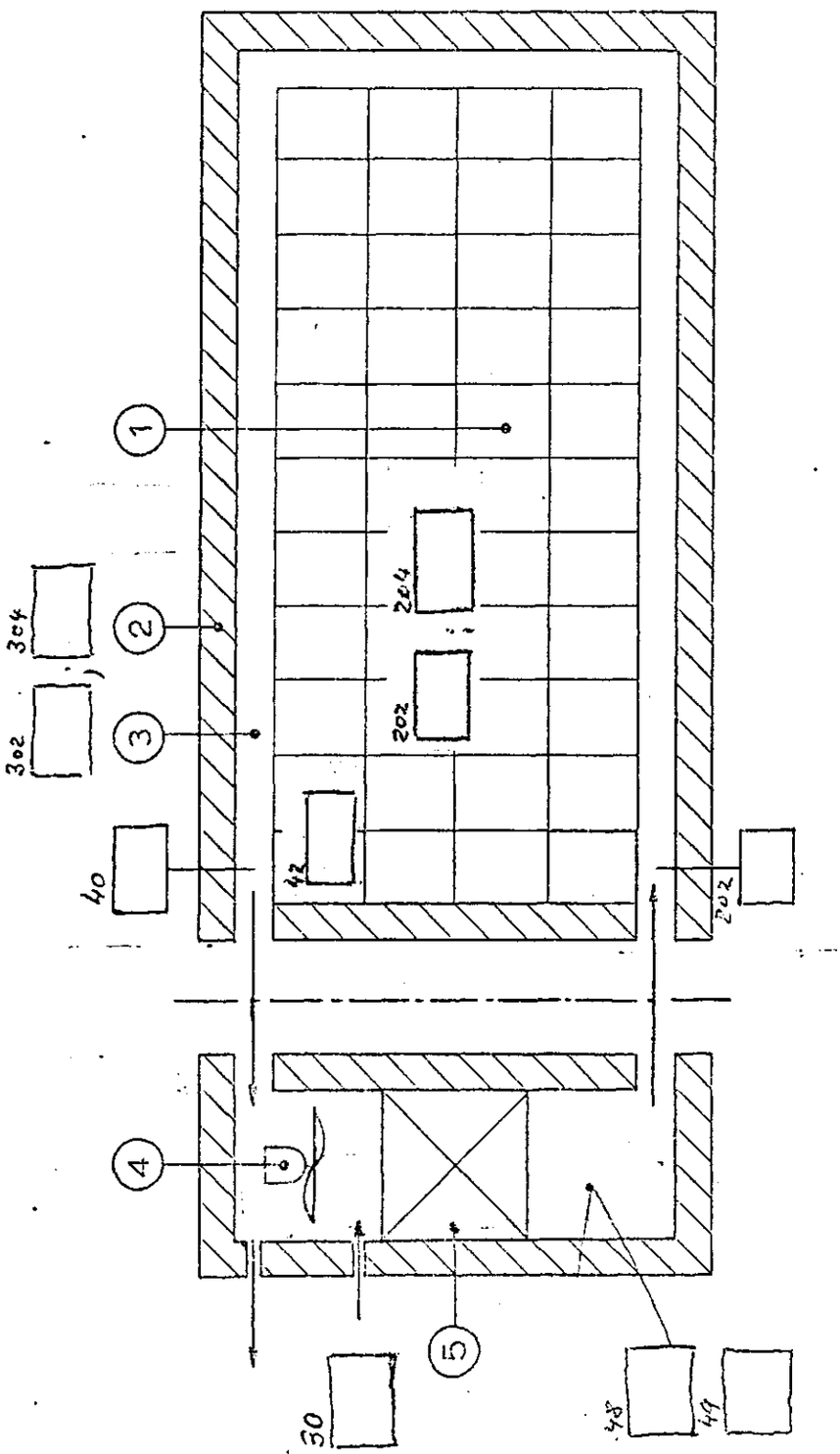
Relative performance number π

calc.
max. range of product temperature:

$$\Delta t_{CTR} + \Delta t_{pa} = \boxed{38} + \boxed{12} = \boxed{50}$$

exp.
max. range of product temperature = $\boxed{52}$

$$\text{rel. perf. no. } \pi = \frac{\boxed{50}}{\boxed{52}} = \boxed{54}$$


1
2
3
4
5
304
302
40
204
202
42
202
30
48
49

11.2. Calculation of Temperature and Concentration (CO_2; ethylene) in a container ventilation system.

11.2.1 Data

Commodity : [ ]

date : [ ]

Transport conditions, recommended

Air temperature : t_o [°C] — 202 [ ]

Rel. humidity : φ_o [%] — 204 [ ]

CO_2 concentration : C_{co} $\left[\frac{g}{m^3}\right]$ — 206 [ ]

Ethylene concentration : C_{CE} $\left[\frac{g}{m^3}\right]$ — 208 [ ]

Ambient conditions

Air temperature : t_a [°C] — 302 [ ]

Rel. humidity : φ_a [%] — 304 [ ]

CO_2 concentration : C_{ao} $\left[\frac{g}{m^3}\right]$ — 306 [ ]

Sol-air temperature t_{sa} [°C] — 308 [ ]

Product properties

Heat production : (at max. product temp.) $Q_p \left[\frac{kcal}{m^3 h}\right]$ 402

CO_2 - production : $\dot{I}_c \left[\frac{g}{m^3 h}\right]$ 404

Ethylene production $\dot{I}_e \left[\frac{g}{m^3 h}\right]$ 406

Air properties

Density at t_0 : $\rho_0 \left[\frac{kg}{m^3}\right]$

$$1{,}29 \frac{273}{273 + \square^{202}} =$$ 502

Specific heat : $c_p \left[\frac{kcal}{kg\,K}\right]$ 504

$c_p \rho_0 \left[\frac{kcal}{m^3 K}\right]$ 506

CTR - properties

Type : [ ]

Surface : A_{CTR} $[m^2]$ — 702 [ ]

K-value : K_{CTR} $\left[\frac{kcal}{m^2 h K}\right]$ — 704 [ ]

$(KA)_{CTR}$ $\left[\frac{kcal}{h K}\right]$ — 705 [ ]

Volume : V_{CTR} $[m^3]$ — 706 [ ]

Reefer unit, properties

Type : [ ]

Heat transfer surface : A_R $[m^2]$ — 802 [ ]

Heat transfer coefficient : α $\left[\frac{kcal}{m^2 h K}\right]$ — 804 [ ]

Air circulation rate : ϕ_c $\left[\frac{m^3}{h}\right]$ — 806 [ ]

Pressure difference ΔP_{fan} $\left[\frac{kg}{m^2}\right]$ — 808 [ ]

Power consumption, fan : H_f $\left[\frac{kcal}{h}\right]$ — 810 [ ]

Power consumption, unit : N_R $\left[\frac{kcal}{h}\right]$ — 812 [ ]

Cooling capacity :

net H_{CN} $\left[\frac{kcal}{h}\right]$ — 814 [ ]

gros Hcg $\left[\frac{kcal}{h}\right]$ — 815 [ ]

Ventilation rate : ϕ_v $\left[\frac{m^3}{h}\right]$ — 816 [ ]

Stowage

Total mass of cargo:	M_p [kg]	902
Total volume of cargo:	V_p [m^3]	904

Hold

Total volume:	V_H [m^3]	1002
Ventilation rate:	ϕ_H [$\frac{m^3}{h}$]	1004
number of reefer CTR per hold	N [-]	1006

11.2.2. Calculations

CO_2 concentration in reefer:

$$C_{CTR} = \Delta C_{CTR} + \Delta C_H + C_a$$

$$= \frac{I_c \, V_p}{\Phi_V} + \frac{N \, \bar{I}_c \, V_p}{\Phi_H} + C_a$$

concentration differences

$$\Delta C_{CTR} = \frac{404 \cdot 904}{1004} \left[\frac{g}{m^3}\right] = 60$$

$$\Delta C_H = \frac{1006 \cdot 404 \cdot 904}{816} \left[\frac{g}{m^3}\right] = 62$$

CO_2 - concentration in reefer $\left[\frac{g}{m^3}\right]$

$$60 + 62 + 306 = 64$$

Reefer heat load

Maximum temperature difference across CTR-insulation

Δt_i = [70] − [202] [°C] = [18]

Maximum heat flux through CTR insulation

H_i = [705] · [18] [kcal/h] = [20]

Heat production of cargo

H_p = [402] · [904] [kcal/h] = [22]

Heat dissipation of circ. air:

H_d = [806] · [808] / 427 [kcal/h] = [24]

Heat balance of ventilation air

H_v = {[73] − [205]} [502] · [816] = [32]

Mollier-chart:

i_4 ([72] 1); [804]) = [73] *)

i_0 ([202]; [204]) = [205]

---

1) estimate

*) without evaporation, to be checked

Total heat load $\left[\frac{kcal}{h}\right]$

H_t = [20] + [22] + [24] + [32] = [33]

Load factor: 33

τ = [ ] / [815] = [34]

Total heat generation of reefs:

H_R = [812] · [34] = [68]

Air temperature in hold:

$t_H = t_a + \Delta t_H$

Δt_H = ([1006] · [H 34] · [68]) / ([507] · [504] · [1004]) [K] = [70]

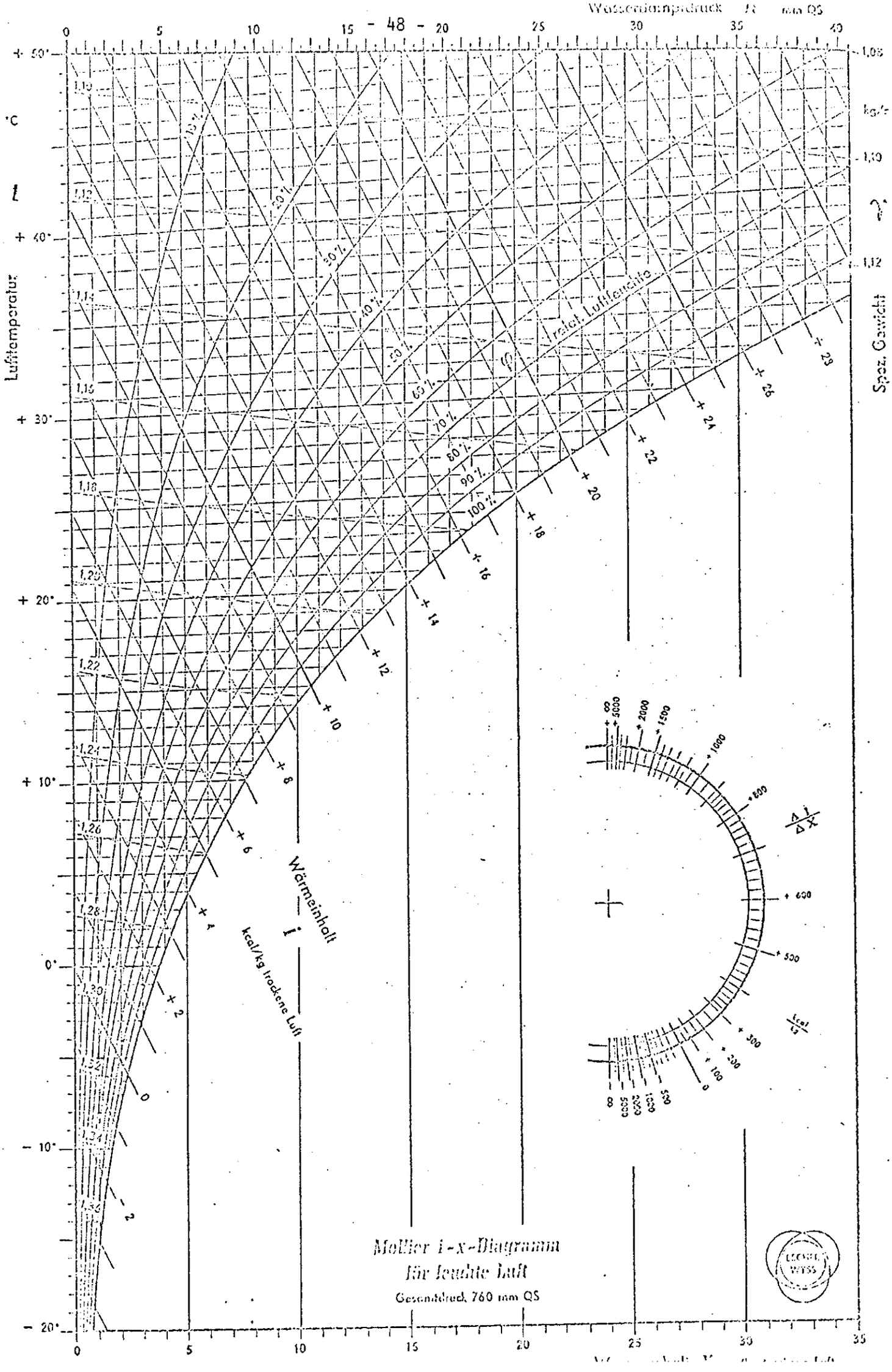
$1{,}29 \cdot \frac{273}{273 + [72]^{*)}} = [507]$

t_H = [302] + [20] [°C] = [72]

---

*) estimate

Wageningen, 5 november 1971


Wasserdampfdruck mm QS
Luftemperatur
°C
t
Spez. Gewicht
kg/m³
relat. Luftfeuchte
φ
Wärmeinhalt
i
kcal/kg trockene Luft
Δx/Δi
g/kg
Mollier i-x-Diagramm
für feuchte Luft
Gesamtdruck 760 mm QS