

S P R E N G E R I N S T I T U U T,
Haagsteeg 6, Wageningen.
Tel.: 08370-5351.

RAPPORT NO. : 1649.

ONDERWERP : Een eenvoudige methode voor het meten van de
ademhaling van geogste tuinbouwprodukten.

UITGEBRACHT AAN : De Directeur van het Sprenger Instituut.

SAMENGESTELD DOOR : M.P. Karelse.

Project no. 545.

Datum: 10-3-1969.

Een eenvoudige methode voor het meten van de ademhaling van geoogste
tuinbouwprodukten.

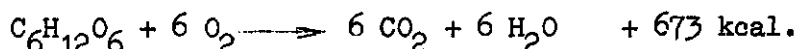
Inhoud.

1. Inleiding.
2. Apparatuur en toepassing.
3. Meetmethoden.
4. Berekeningen.
5. Resultaten.
6. Samenvatting en conclusie.
7. Literatuur.

Een eenvoudige methode voor het meten van de ademhaling van geogste tuinbouwprodukten.

1. Inleiding.

Onder ademhaling verstaat men de verbranding van de in de vrucht opgekoopte reservestoffen - voornamelijk suikers - tot koolzuurgas en water waarbij warmte vrijkomt. In de chemische vergelijking wordt van dit zeer ingewikkelde stofwisselingsproces alleen de begin- en eindtoestand weergegeven:



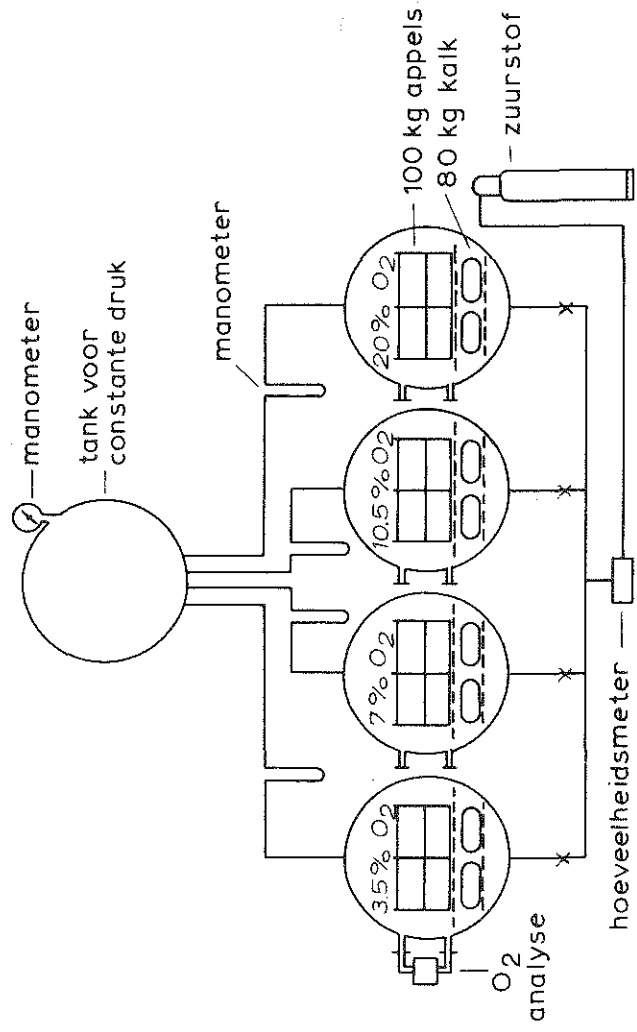
De ademhaling speelt bij het bewaren van fruit en groenten een zeer belangrijke rol. Het is zelfs zo dat de ademhalingsnelheid als maat kan worden gezien voor de houdbaarheid van het produkt. Het afremmen of vertragen van de ademhaling vormt dan ook de basis voor het verlengen van de bewaarduur. Deze remming kan teweeggebracht worden door:

1. verlaging van de temperatuur;
2. verlaging van het zuurstofgehalte;
3. verhoging van het koolzuurgehalte.

Bij opslag in koelhuizen wordt alleen verlaging van de temperatuur toegepast; bij opslag in gecontroleerde atmosfeer (C.A.-bewaring) wordt bovendien de samenstelling van de lucht (door verlaging van het zuurstofgehalte en meestal ook verhoging van het koolzuurgehalte) zodanig gewijzigd dat het ademhalingsproces trager gaat verlopen. De mate van beïnvloeding door de combinatie temperatuur/milieu is door allerlei oorzaken zeer moeilijk te voorspellen. Men heeft tot nu toe getracht door meting van O_2 -consumptie en CO_2 -produktie op de hoogte te geraken van de produkt-eigenschappen afhankelijk van temperatuur en gassamenstelling.

Deze ademhalingsmetingen worden tot op heden alleen in onderzoeklaboratoria aan individuele of kleine hoeveelheden vruchten verricht. De "praktijk" staat nog veraf van de methodiek en het belang van deze metingen. Het Sprenger Instituut tracht de ademhalingsmetingen meer toegankelijk te maken en heeft daartoe een methode ontwikkeld die eenvoudig van opzet is, zonder gespecialiseerde kennis kan worden toegepast en een minimum investering van de hiervoor benodigde apparatuur vereist. Met deze methode kunnen snel representatieve meetresultaten onder bedrijfsomstandigheden worden verkregen; hetgeen van groot belang is voor de ontwikkeling van moderne bewaar technieken. De technische meetmethode bezit belangrijke voordelen boven de reeds bestaande ademhalingsmeetapparatuur. De Warburg apparatuur is alleen geschikt voor micro-bepalingen. De apparatuur van Platenius, Magness en Diehl, Haller en Rose is wel geschikt voor ademhalingsonderzoek aan een aantal vruchten tegelijk, doch minder geschikt voor de metingen op diverse van 21% afwijkende O_2 -niveaus.

Voor metingen over langere perioden is deze apparatuur niet geschikt omdat drukschommelingen van buitenaf de hoeveelheid geconsumeerde O_2 beïnvloeden. Ademhalingsmetingen volgens het door Boeke en anderen toegepaste doorstroom-principe vereist naast speciaal geschoold personeel zeer nauwkeurige meet-apparatuur en is arbeidsintensief. De basis van de technische ademhalings-methode wordt gevormd door meting van de zuurstofconsumptie, eventueel koolzuurproduktie tengevolge van de ademhaling van een bepaalde hoeveelheid levend produkt dat in een gasdichte ruimte is opgeslagen. Uit de eerder vermelde ademhalingsvergelijking zou men verwachten dat de hoeveelheden geproduceerde CO_2 en geconsumeerde O_2 gelijk zijn. Dit is echter niet altijd het geval. Afhankelijk onder meer van de aard van het produkt, de rijpheid, de temperatuur en het milieu kan één van beide componenten overheersen. De verhouding tussen de geproduceerde hoeveelheid CO_2 en de geconsumeerde hoeveelheid O_2 noemt men het respiratie-quotiënt (r.q.). Een r.q. groter dan 1 betekent dat er meer CO_2 is geproduceerd dan O_2 geconsumeerd. Dit is gemakkelijk te bepalen door op de gasdichte container een manometer aan te sluiten. Door één van de benen van de manometer te verbinden met een ruimte van constante druk, schakelt men alle invloeden door drukschommelingen van buiten uit en kan men rechtstreeks uit het na verloop van tijd ontstane niveauverschil tussen de beide vloeistofkolommen aflezen of de CO_2 -produktie dan wel de O_2 -consumptie overheerst. Drukverhoging in de container (daling van de waterkolom in dat been van de manometer dat met de container verbonden is) wil zeggen meer CO_2 -produktie dan O_2 -consumptie. Staat het andere been van de manometer niet in verbinding met een "constantedrukvat", maar gewoon met de buitenlucht, dan moet op de aflezing een correctie (afhankelijk van de barometrische verandering t.o.v. de begintoestand) worden toegepast. De grootte van die verandering kan men m.b.v. een in de te meten ruimte opgehangen barometer bepalen. Als één van de beide grootheden (CO_2 -produktie of O_2 -consumptie) kwantitatief bekend is en men van te voren het niveau-verschil als functie van de druk in de container heeft bepaald, kan de r.q. exact in getallen worden weergegeven. Fysiologisch gezien kan het verloop van het respiratie-quotiënt tijdens de bewaring van een produkt een belangrijk gegeven vormen voor het te voorspellen gedrag bij verdergaande opslag. Uit de O_2 -consumptie kan de produkt-warmte, dat is de warmte die bij het ademhalingsproces vrijkomt, bij benadering worden berekend. Dit gegeven dient als grondslag voor de berekening van de warmtebelasting van koelhuizen en gekoelde transportmiddelen en voor temperatuurverdeling in produktstapels. De kwantitatieve bepaling van CO_2 -produktie en/of O_2 -consumptie kan m.b.v. de zgn. technische ademhalingsmeting worden uitgevoerd. Gasanalyse-metingen vormen naast hoeveelheden- en drukmetingen de basis van de te volgen werkwijze.



MANOMETRISCHE ADEMHALINGSMETING VOOR VRUCHTEN

Fig. 1.

2. Apparatuur en toepassing.

Behalve een gasdichte container met gasdichte sluiting vereist de technische ademhalingsmeting een zuurstof- en/of koolzuurmeter, een manometer, een hoeveelheidsmeter en een zuurstofcilinder met reduceerventiel. Voordat met de ademhalingsmeting wordt gestart moet de vrije ruimte in de container bepaald worden. Onder vrije ruimte wordt verstaan de ruimte die door de lucht wordt ingenomen nadat de container met produkt is gevuld. Teneinde bewaaromstandigheden in de praktijk zo getrouw mogelijk te benaderen, wordt bij appels een vulling van 230 kg produkt per m³ ruimte toegepast. Als men vooraf de totale inhoud van de gasdichte container bepaalt en het s.g. van het te meten produkt (bij appels practisch 1) bekend is, is gemakkelijk de vrije ruimte te bepalen.

Omdat de metingen bij een bepaalde constante temperatuur worden verricht, brengt men van te voren alle benodigde materialen en het te onderzoeken produkt in een met die temperatuur geconditioneerde ruimte. Nadat alle componenten geacclimatiseerd zijn, wordt het afgewogen produkt in de container gebracht en de container direct gasdicht gesloten. Op dit tijdstip waarbij het O₂-gehalte in de container nog 21% en het CO₂-gehalte nihil is (0,03%-buitenomstandigheden) begint de meting.

3. Meetmethoden.

Afhankelijk van het milieu waarin men wenst te meten zijn er in principe vier verschillende meetmethodieken met de technische ademhalingsmeting mogelijk:

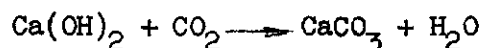
- a. metingen in een milieu waarin het zuurstof- en koolzuurgehalte met de tijd verandert en alleen de temperatuur constant gehouden wordt;
- b. metingen in een milieu waarin het zuurstofgehalte met de tijd verandert (lager wordt) maar het koolzuurgehalte constant zeer laag blijft.
(veranderlijk O₂, constant CO₂ en temperatuurniveau);
- c. metingen in een milieu waarin het koolzuurgehalte constant zeer laag is en het zuurstofgehalte na elke meting op de uitgangswaarde wordt teruggebracht. (semieconstant O₂, constant CO₂ en temperatuurniveau);
- d. metingen in een milieu waarin zowel het zuurstof- als koolzuurgehalte na iedere meting op de uitgangswaarde (hoger dan nul) wordt teruggebracht.
(semiconstant O₂- en CO₂-niveau, constant temperatuurniveau).

ad. a. De metingen volgens a uitgevoerd zijn in het bijzonder geschikt om zeer snel (afhankelijk van temperatuur en produkt enige uren tot 3 dagen) geïnformeerd te raken over de ademhalingsnelheid in casu O_2 -consumptie en/of CO_2 -produktie van onder normale omstandigheden (normaal = buitenlucht) opgeslagen produkt.

Uit de literatuur en eigen ervaring is bekend dat de ademhalingsnelheid van appels bij een daling van het O_2 -gehalte van 21 naar 15% vrijwel constant blijft. Bij de O_2 -consumptie-metingen van appels onder normale omstandigheden moet men er dan ook voor zorgen dat het O_2 -gehalte in de container niet beneden de 15% daalt. (Beneden deze waarde verandert de O_2 -consumptie met dalend O_2 -gehalte). Een oriënterende meting vooraf geeft aanwijzing over de bij een bepaalde temperatuur benodigde tijdsduur (T_n) voor het bereiken van deze neutrale zuurstofgrens. Uit de O_2 -daling en/of CO_2 -verhoging over een bepaalde ($< T_n$) tijd is rechtstreeks de verbruikte hoeveelheid O_2 in cm^3 per kg per uur te berekenen. Uit de literatuur is bekend dat er produkten zijn die of ongevoelig voor O_2 -daling of ongevoelig voor CO_2 -stijging of voor beide ongevoelig zijn. Voor metingen aan andere produkten moet dan ook van te voren de neutrale O_2 -grens worden bepaald.

Als men geen extra voorzieningen treft zal volgens methode a het CO_2 -gehalte tijdens de meetperiode met ongeveer hetzelfde percentage stijgen als het O_2 -gehalte daalt. (De r.q.-waarde schommelt om de 1,0). Deze CO_2 -stijging heeft afhankelijk van het produkt meer of minder invloed op de ademhalingsnelheid, zodat de eigenlijke waarde voor de O_2 -consumptie volgens a meestal wat lager uitvalt dan de berekende. Vooraf informatie over de hoogte van de neutrale koolzuurgrens is dus eveneens noodzakelijk.

ad. b. Wil men de remmende invloed van de CO_2 -stijging op de ademhaling uitschakelen dan kan dat zeer eenvoudig door in de gasdichte container een overmaat van een absorptiemiddel voor CO_2 , b.v. kalk- $Ca(OH)_2$ -te brengen. De kalk moet in papieren zakken los van de bodem in de container worden gebracht, zodat de lucht de kalk aan alle kanten kan omspoelen. De kalk bindt de geproduceerde CO_2 tot calciumcarbonaat volgens:



Uit eigen ervaring is bekend dat een overmaat "verse" kalk het CO_2 -gehalte in de container constant op een zeer lage waarde houdt. De berekende waarde voor de O_2 -consumptie heeft bij werken volgens b wel grote representatieve waarde.

Bij gebruik van kalk moet bij de bepaling van de vrije ruimte in de container het volume dat de kalk inneemt natuurlijk verdisconteerd worden.

Metingen volgens methode a geven behalve gegevens over de O_2 -consumptie en CO_2 -produktie informatie over het respiratie-quotiënt. Metingen volgens b sluiten informatie over het r.q. door afwezigheid van CO_2 -stijging in de container uit. De simpele opzet van de technische ademhalingsmeting volgens a en b vereist slechts één O_2 - en/of CO_2 -analyse, hetgeen voor dergelijke metingen een minimum aan arbeid en investering betekent.

ad. c. De tot nu toe besproken meetmethodes zijn vooral bedoeld om snel (binnen enkele dagen) geïnformeerd te raken. Ademhalingsmetingen die zich over een langere periode uitstrekken b.v. met het doel het stofwisselingspatroon gedurende de totale bewaartijd (bij appels 6-9 mnd.) te bestuderen, vereisen meer voorzieningen. Behalve dat bij dit soort metingen het CO_2 -gehalte constant zeer laag wordt gehouden (door een overmaat kalk) moet na elke meting het O_2 -gehalte weer op het uitgangsniveau worden teruggebracht. Doet men dit niet dan daalt na verloop van tijd het O_2 -gehalte in de container tot beneden de grens waar de ademhaling constant blijft en dientengevolge zal een ^{te} laag gemiddelde worden gemeten. Uit de O_2 -consumptie als functie van de O_2 -concentratie van appels ziet men duidelijk dat de ademhaling tussen 21 en 15% nauwelijks verandert. Uit figuur 2 blijkt duidelijk dat metingen bij lage O_2 -concentraties een veel kleinere marge in de O_2 -daling toelaten, hetgeen grotere eisen aan de nauwkeurigheid van apparatuur en bedienend personeel stelt. Omdat de ademhaling bij lage O_2 -percentages aanzienlijk geremd is, krijgt men toch tijd genoeg om de noodzakelijke metingen te verrichten.

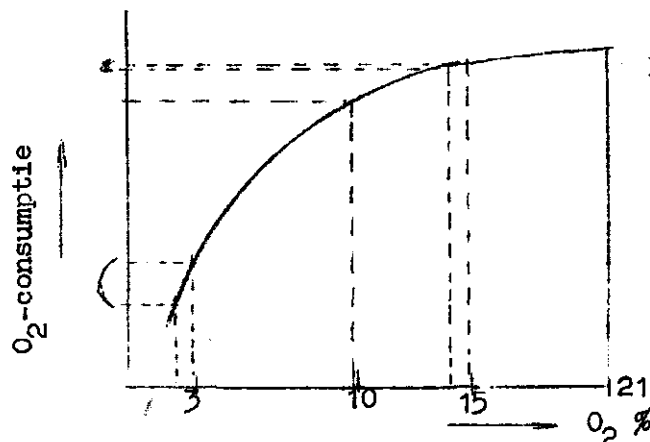


Fig. 2. O_2 -consumptie van appels als functie van het O_2 -gehalte

Een daling bij hogere O_2 -percentages heeft een geringere invloed op de O_2 -consumptie dan een daling bij lagere percentages.

Wil men dezelfde verandering in O_2 -consumptie toestaan, dan ziet men uit de figuur dat een verandering van 15 naar 10% hetzelfde effect kan hebben als een verandering van 3,0 naar 2,8%. Men moet er voor zorgen dat de metingen steeds binnen de toegestane grenzen verlopen, hetgeen metingen bij lage percentages wat moeilijker maakt.

Na elke meting wordt de geconsumeerde hoeveelheid O_2 vanuit een O_2 -cilinder met zuivere zuurstof weer aangevuld. Men spuit net zoveel O_2 in de container tot de (gemerkte) beginstand op de manometer weer is bereikt. Deze hoeveelheid wordt gemeten d.m.v. een gasvolumemeter zodat men direct de totale hoeveelheid geconsumeerde O_2 hierop afleest. De te verrichten handelingen zijn snel door het bedienend personeel te leren, terwijl ook de berekening tot de gebruikelijke maat in $cm^3 O_2$ per kg produkt per uur geen moeilijkheden kan opleveren.

Bij metingen rond 21% O_2 (buitenlucht-omstandigheden) behoeft men in feite volgens methode c geen enkele gas-analyse te verrichten. De begintoestand is dan immers een vaste constante waarde die na elke inspuiting weer wordt gerealiseerd. Metingen op elk ander van de buitenlucht afwijkend niveau vereisen eigenlijk alleen voor de instelling van dit niveau O_2 -analyse-metingen. Het snelst stelt men een gewenst niveau, bijv. 0% CO_2 - 3% O_2 in, door vanuit een stikstof (N_2) cilinder N_2 door de container te leiden. Deze N_2 verlaagt het O_2 -gehalte snel tot de gewenste waarde die men moet controleren door in de uitgaande gasstroom O_2 -metingen te verrichten. (doorstroomprincipe, circuit tijdelijk open). Is eenmaal het gewenste uitgangsniveau bereikt dan sluit men de keten en kan de meting beginnen. Het is aan te bevelen tijdens de N_2 -doorstroming de O_2 -metingen met een direct aanwijzende meter te verrichten. Volumetrische O_2 -bepalingen vergen te veel tijd waardoor men zijn doel gemakkelijk voorbij schiet. Heeft men niet de beschikking over een N_2 -cilinder dan kan het gewenste uitgangsniveau ook door de O_2 -consumptie van het produkt zelf bereikt worden. Het proces verloopt alleen veel langzamer doch voert tot hetzelfde resultaat. Bij alle methodes waarbij de geproduceerde hoeveelheid CO_2 d.m.v. overmaat kalk wordt gebonden, kan men geen r.q. bepalen. De verandering in het druksysteem is dan enkel en alleen toe te schrijven aan de O_2 -consumptie van het produkt.

Wil men zowel de O_2 -consumptie, CO_2 -produktie én r.q. meten dan kan men als volgt te werk gaan. Men plaatst naast de container waarin de O_2 -consumptie-meting wordt verricht en waarbij de geproduceerde hoeveelheid CO_2 direct wordt gebonden door een overmaat kalk een tweede container.

In deze container brengt men dezelfde gewichtshoeveelheid produkt doch nu zonder kalk. De ruimte die door de kalk wordt ingenomen vult men op met andere materialen, zodat de vrije ruimte in de beide containers dezelfde is. Na verloop van tijd bepaalt men het O_2 -verbruik in de container met kalk. Op hetzelfde tijdstip leest men op de manometer van de tweede container de druk af. Na eventuele correctie door veranderingen van de drukverdeling buiten kan nu direct bepaald worden of de r.q. positief dan wel negatief is. Als van te voren de verandering op de manometer in cm waterkolom als functie van de totaal-druk in de container bepaald is, kan de r.q. en de CO_2 -produktie kwantitatief berekend worden.

ad. d. Een mogelijke werkwijze waarbij na elke meting zowel het O_2 - als CO_2 -gehalte op de uitgangswaarde wordt teruggebracht (methode d) is technisch moeilijk uitvoerbaar. Afgezien van het feit of een snel werkend selectief absorptiemiddel voor CO_2 te vinden zou zijn, blijft dan de moeilijkheid van het voortdurend controleren van de CO_2 - en O_2 -niveaus tijdens het herstellen van de juiste uitgangswaarden. Een andere mogelijkheid om het CO_2 -niveau te herstellen is doorspoelen met een mengsel van N_2 en O_2 . Als men net zoveel O_2 in het spoelgas mengt als het niveau waarop men de proeven wenst te nemen snijdt het mes aan twee kanten:

1°. herstellen van het CO_2 -niveau

(net zo lang spoelen tot de CO_2 -meter het gewenste uitgangsniveau aangeeft);

2°. herstellen van het O_2 -niveau.

Dit soort proeven vereisen meer vakmanschap doch met enige ervaring zijn ze beslist wel uitvoerbaar.

De moeilijkheid ligt eigenlijk nog meer op het vlak van de CO_2 -metingen. Een CO_2 -meting volgens het katharometer-principe (verandering van de thermische geleidbaarheid van een weerstand door verandering van het CO_2 -gehalte van de omringende lucht) is minder geschikt. De aanwijzing is hierbij niet snel genoeg en zeker niet in staat kleine veranderingen direct aan te geven. Eigenlijk is tot nu toe alleen een CO_2 -infrarood-meter geschikt. Het principe is verschil in warmte-absorptie door lucht met verschillend CO_2 -gehalte. Deze meting is snel en nauwkeurig.

Een nadeel is de vrij hoge investering en de tijdrovende ijkprocedure. Momenteel is echter reeds een combinatiekast van O_2 - en CO_2 -apparatuur in de handel die werkt volgens het principe van para-magnetische eigenschappen voor de O_2 -meting en infrarood-meting voor de CO_2 -meting.

De meter is nog niet in de praktijk getest, doch biedt zeker grote mogelijkheden.

4. Berekeningen.

Methode a

Inhoud gasdichte container 30 l.
vulling 230 kg produkt per m³ inhoud

$$\text{geeft } \frac{30}{1000} \times 230 = 6,9 \text{ kg}$$

Produkt s.g. = 0,98

$$\text{vrije ruimte: } 30 - \frac{6,9}{0,98} = 22,95 \text{ l.}$$

Stel O₂-daling in 10,5 uur van 21 naar 17,5 = 3,5%

$$3,5\% = 3,5 \times 2229,5 \text{ cm}^3 = 803,25 \text{ cm}^3 \text{ O}_2$$

Per 6,9 kg produkt is in 10,5 uur dus 803,25 cm³ O₂ geconsumeerd
hetgeen neerkomt op

$$\frac{803,25}{6,9 \times 10,5} = 11,09 \text{ cm}^3 \text{ O}_2/\text{kg uur.}$$

Methode b

Inhoud gasdichte container 30 l.

volume kalk 9 l.

vulling 230 kg per m³

$$\text{geeft } \frac{21}{1000} \times 230 = 4,83 \text{ kg}$$

Produkt s.g. = 0,98

$$\text{vrije ruimte: } 21 - \frac{4,83}{0,98} = 16,07 \text{ l.}$$

Stel O₂-daling in 9,25 uur van 21 naar 18,2 = 2,8%

$$2,8\% = 2,8 \times 160,7 \text{ cm}^3 = 450 \text{ cm}^3 \text{ O}_2$$

Per 4,83 kg produkt is in 9,25 uur dus 450 cm³ O₂ geconsumeerd
hetgeen neerkomt op

$$\frac{450}{4,83 \times 9,25} = 10,07 \text{ cm}^3 \text{ O}_2/\text{kg uur.}$$

Methode c

Inhoud gasdichte container 30 l.

volume kalk 9 l.

vulling 230 kg per m³

$$\text{geeft } \frac{21}{1000} \times 230 = 4,83 \text{ kg}$$

Produkt s.g. = 0,98

$$\text{vrije ruimte: } 21 - \frac{4,83}{0,98} = 16,07 \text{ l.}$$

Stel na 4 uur drukdaling op watermanometer 12,5 cm.

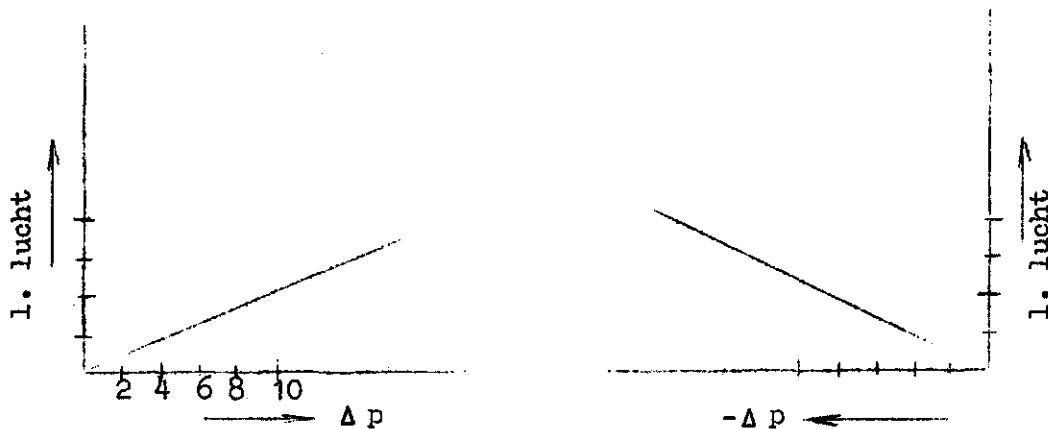
Voor nivellering van deze drukdaling nodig 1,3 l. O₂

Per 4,83 kg produkt is in 4 uur dus 1300 cm³ O₂ geconsumeerd
hetgeen neerkomt op

$$\frac{1300}{4,83 \times 4} = 67,28 \text{ cm}^3 \text{ O}_2/\text{kg uur}$$

Stel parallel opgesteld een 2e container met dezelfde vrije ruimte en hetzelfde produktgewicht doch nu zonder kalk. Stel op aangesloten watermanometer een drukstijging van 3,7 cm.

Stel van te voren is de toe- of afname van het drukverschil als functie van de toe- of afgevoerde hoeveelheid lucht bepaald (zie grafiekjes).



Uit de grafiek vindt men de hoeveelheid lucht nodig om een drukstijging van 3,7 cm W.K. te verwezenlijken, nl. 0,4 l.

Er is dus 0,4 l CO₂ meer geproduceerd dan O₂ geconsumeerd (totaal 1,7 l.).

Per 4,83 kg produkt is in 4 uur dus 1700 cm³ geproduceerd
hetgeen neerkomt op

$$\frac{1700}{4,83 \times 4} = 87,99 \text{ cm}^3 \text{ CO}_2/\text{kg uur}$$

$$\text{Het r.q. is dan } \frac{1700}{1300} = 1,31.$$

Methode d

Inhoud gasdichte container 30 l.

vulling 230 kg per m³

$$\text{geeft } \frac{30}{1000} \times 230 = 6,9 \text{ kg}$$

Produkt s.g. = 0,98

$$\text{vrije ruimte: } 30 - \frac{6,9}{0,98} = 22,950 \text{ l}$$

Stel O₂-daling in 4,4 uur van 21 naar 18,7 = 2,3%

Stel CO₂-stijging in 4,4 uur van 0 naar 2,5 = 2,5%

$$2,3\% = 2,3 \times 229,5 \text{ cm}^3 = 527,85 \text{ cm}^3 \text{ O}_2$$

$$2,5\% = 2,5 \times 229,5 \text{ cm}^3 = 573,75 \text{ cm}^3 \text{ CO}_2$$

Per 6,9 kg produkt is in 4,4 uur respectievelijk 527,85 cm³ O₂ geconsumeerd en 573,75 cm³ CO₂ geproduceerd, hetgeen neerkomt op

$$\frac{527,85}{6,9 \times 4,4} = 17,39 \text{ cm}^3 \text{ O}_2/\text{kg uur en}$$

$$\frac{573,75}{6,9 \times 4,4} = 18,90 \text{ cm}^3 \text{ CO}_2/\text{kg uur.}$$

$$\text{Het r.q. is dan } \frac{573,75}{527,85} = 1,087$$

5. Resultaten.

Gedurende een aantal jaren zijn technische ademhalingsmetingen verricht. Een deel van de resultaten is reeds gepubliceerd, een ander deel doet dienst als interne informatie over produkteigenschappen. Alle tot nu toe gemeten resultaten worden hierna in een verzameltabel weergegeven.

6. Samenvatting en conclusie.

Op het Sprenger Instituut zijn eenvoudige methoden uitgewerkt om de zuurstofconsumptie en koolzuurproductie van geogste produkten volumetrisch te bepalen.

Hierdoor kan op korte termijn een informatie worden verkregen over het stofwisselingsproces van deze produkten. Deze informatie kan een inzicht verschaffen over de houdbaarheid en het gedrag tijdens transport en opslag.

De ontwikkelde methode kan ook buiten het laboratorium (veilingen - consultantschappen - proeftuinen) worden gebruikt. Als snelle informatiebron voor de praktijk is de methode uitermate geschikt en zal hij hopelijk bijdragen tot een ruimer inzicht in het voor bewaarproblemen zo belangrijke stofwisselingsproces.

7. Literatuur.

1. J.E. Boeke Evaluation of post-harvest trends of respiration rates and softening of apples and tomatoes. (Proefschrift):

2. M.H. Haller and D.H. Rose Scientific apparatus and laboratory methods. Science vol. 75, 1932, p. 439.

3. Y. Honda and O. Ishiguro Studies on the storage of fruits and vegetables. I. The effect of the composition of atmospheric gases on the respiration of fruits and vegetables during the storage (part 1).

4. M.P. Karelse De invloed van verschillende zuurstofconcentraties op de ademhalings-intensiteit en de levensduur van het appelras "Schone van Boskoop". Intern Rapport Sprenger Instituut, no. 1511.

5. J.R. Magness and H.C. Diehl Physiological studies on apples in storage. Journal of Agricultural Research, vol. 27, no. 1, 1924.

6. H.F.Th. Meffert en M.P. Karelse Ademhaling van vruchten onder gasbewaringsomstandigheden. Bulletin no. 64, Sprenger Instituut.

7. H. Platenis Effect of temperature on the respiration rate and the respiratory quotient of some vegetables. Plant physiology 17, 179-181 (1942).

8. S.M. Sykes A modified respirometer for studies on the respiratory quotient of apples. Proceedings of the Linneau Soc. of N.S.-Wales, 69, (1944).

Tabel 1.

| Jaar | soort | ras | temp. | O ₂ | CO ₂ | O ₂ -cons. | sortering | object | berekende warmte-productie | |
|------|--------|---------------|------------------------------|----------------|-----------------|-----------------------|-----------|-------------|-------------------------------|--|
| 1966 | appels | Sch. v. Bosk. | 3°C | 3,5% | - | 1,48 cc/kg.h. | ongesort. | tank 800-l. | 176 kcal/ton.24h. | |
| " | " | " | " | 7,0 | - | 2,00 | " | " | 237 | |
| " | " | " | " | 10,5 | - | 2,44 | " | " | 290 | |
| " | " | " | " | 20,0 | - | 2,50 | " | " | 297 | |
| 1967 | " | Cox. Or. P. | 4-5°C | 3,5 | - | 2,64 | >70 mm. | " | 312 | |
| " | " | " | " | 7,- | - | 4,04 | > | " | 477 | |
| " | " | " | " | 20,- | - | 4,74 | > | " | 560 | |
| " | " | " | " | 3,5 | - | 2,68 | <65 mm | " | 316 | |
| " | " | " | " | 7,- | - | 3,86 | < | " | 456 | |
| " | " | " | " | 20,- | - | 4,54 | < | " | 536 | |
| 1968 | " | Lombarts | 2,9-3,1 | 3,2 | - | 1,36 | ongesort. | " | 161 | |
| " | " | " | " | 6,0 | - | 1,83 | " | " | 217 | |
| " | " | " | " | 20,8 | - | 2,21 | " | " | 262 | |
| " | " | Sch. v. Bosk. | " | 3,0 | - | 1,46 | " | " | 173 | |
| " | " | " | " | 5,7 | - | 1,87 | " | " | 222 | |
| " | " | " | " | 21,2 | - | 2,28 | " | " | 271 | |
| 1969 | " | Golden Del. | wel gepland, niet doorgegaan | | | | | | | |

Tabel 1a.

| jaar | soort | teeltwijze | temp. | O ₂ | CO ₂ | O ₂ -cons. | sortering | datum | object | berekende warmte-productie |
|------|---------|--------------|----------|----------------|-----------------|-----------------------|----------------|-----------|------------|-------------------------------|
| 1967 | sla | kassia | 3,9/4,5 | 20,4 | - | 10,5 cc/kg.h. | 20 kg/100 krop | 24/10-'67 | tank 800-1 | 1241 kcal/ton.h. |
| " | " | " | " | 10,5 | - | 8,1 | " | " | " | 957 |
| " | " | " | " | 7,2 | - | 6,8 | " | " | " | 804 |
| " | " | " | " | 6,- | - | 6,0 | " | " | " | 709 |
| " | " | " | 4,0/4,65 | 20,4 | - | 10,1 | " | 8/11-'67 | " | 1193 |
| " | " | " | " | 10,5 | - | 9,1 | " | " | " | 1075 |
| " | " | " | " | 7,2 | - | 8,4 | " | " | " | 992 |
| " | " | " | " | 6,- | - | 6,8 | " | " | " | 803 |
| " | " | " | 3,9/4,5 | 21,- | - | 6,5 | " | 21/11-'67 | " | 768 |
| " | " | " | " | 10,- | - | 5,4 | " | " | " | 638 |
| " | " | " | " | 4,7 | - | 4,4 | " | " | " | 520 |
| " | " | " | " | 2,3 | - | 3,5 | " | " | " | 414 |
| jaar | soort | kleurstadium | temp. | O ₂ | CO ₂ | O ₂ -cons. | sortering | datum | object | berekende warmte-productie |
| " | tomaten | groen | 11,5 | 21,- | - | 10,- | " | 26/9-'67 | " | 1152 |
| " | " | oranje-rood | 12,0 | 21,- | - | 6,9 | " | 10/10-'67 | " | 793 |
| " | " | " | " | 10,5 | - | 5,9 | " | " | " | 678 |
| " | " | " | " | 7,- | - | 5,3 | " | " | " | 609 |
| " | " | " | " | 3,5 | - | 3,4 | " | " | " | 391 |

Tabel 1b.

| jaar | soort | ras | temp. | O ₂ % | CO ₂ % | O ₂ -cons. | sortering | teeltwijze | object | berekende warmte-productie |
|------|--------|------|-------|------------------|-------------------|-----------------------|-----------|-------------|----------------|-------------------------------|
| 1968 | augurk | Levo | 25°C | 21-15 | 0-5 | 75 cc/kg./h. | B | kas | container 95-1 | 8244 kcal/ton.24h |
| " | " | " | " | 21-15 | 0-5 | 61 | " | volle grond | " | 6705 |
| " | " | " | " | 21-17 | 0-3 | 41 | D | kas | " | 4507 |
| " | " | " | " | 21-16 | 0-5 | 42 | " | volle grond | " | 4617 |
| " | " | " | 12°C | 21-16 | 0-4 | 21 | B | kas | " | 2414 |
| " | " | " | " | 21-12 | 0-8 | 17 | " | volle grond | " | 1954 |
| " | " | " | " | 21-17 | 0-3 | 16 | D | kas | " | 1839 |
| " | " | " | " | 21-14 | 0-4 | 12 | " | volle grond | " | 1380 |
| " | " | " | 1°C | 21-14 | 0-5 | 9 | B | kas | " | 1076 |
| " | " | " | " | 21-15 | 0-5 | 7 | " | volle grond | " | 837 |
| " | " | " | " | 21-16 | 0-4 | 7 | D | kas | " | 837 |
| " | " | " | " | 21-18 | 0-2 | 3 | " | volle grond | " | 359 |

Tabel 1c.

| jaar | soort | ras | temp. | O ₂ % | CO ₂ % | O ₂ -cons. | kleurstadium | berekende warmte-productie |
|------|--------|------------|-------|------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 1968 | tomaat | Moneymaker | 25°C | 21-18 | 0-3 | 13,65 cc/kg.h. | rood | 1500 kcal/ton.24h |
| " | " | " | 12°C | 21-18 | 0-3 | 5,15 " | " | 592 " |
| " | " | " | 1°C | 21-18 | 0-3 | 1,84 " | " | 220 " |
| " | " | " | 25°C | 21-17 | 0-4 | 25,9 " | doorgeslagen | 2847 " |
| " | " | " | 12°C | 21-15 | 0-5 | 12,4 " | " | 1426 " |
| " | " | " | 1°C | 21-18 | 0-3 | 2,58 " | " | 308 " |
| " | " | " | 25°C | 21-18 | 0-4 | 34,0 " | licht doorgeslagen | 3737 " |
| " | " | " | 25°C | 21-18 | 0-4 | 42,0 " | zeer licht doorgeslagen | 4617 " |
| " | " | " | 25°C | 21-19 | 0-2 | 18,73 " | groen | 2059 " |
| " | " | " | 12°C | 21-17 | 0-4 | 6,67 " | " | 767 " |
| " | " | " | 1°C | 21-18 | 0-3 | 2,23 " | " | 267 " |

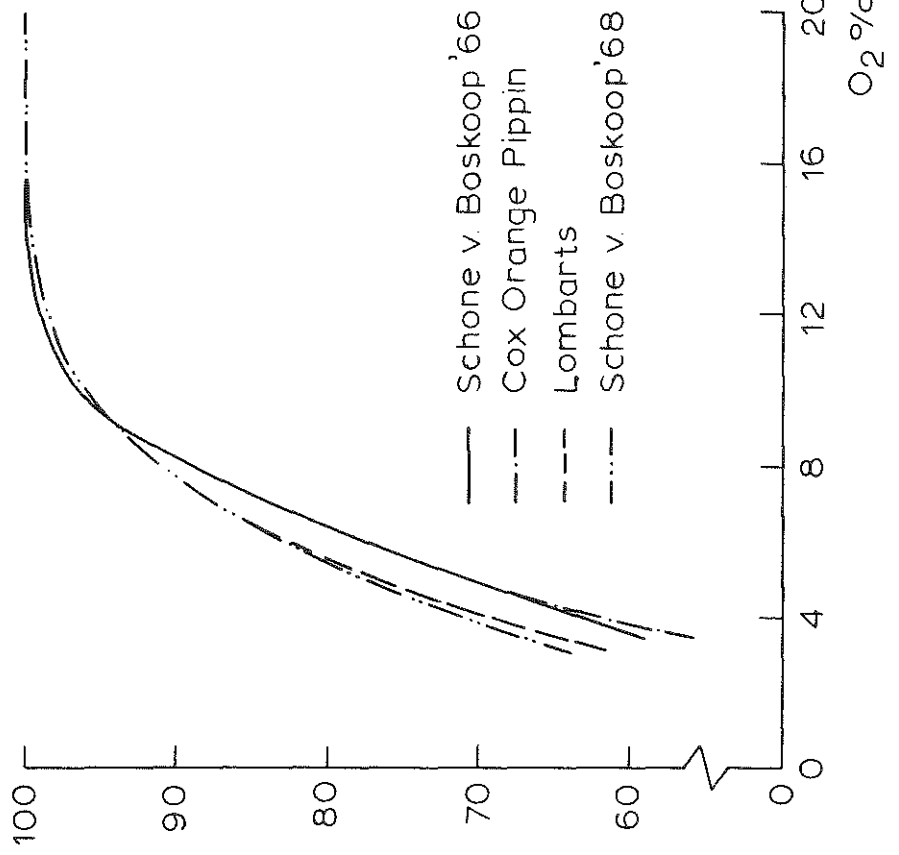
Tabel 1d.

| Jaar | soort | ras | temp. | O ₂ % | CO ₂ % | O ₂ -cons. | datum | object | berekende warmte-productie |
|------|---------------|------------------------|-------|------------------|-------------------|-----------------------|-----------|----------------|-------------------------------|
| 1968 | tulpenbol | gestripte Apeldoorn | 25°C | 21-13 | 0-7 | 12,1 cc/kg.h. | 16-10-'68 | container 95-1 | 1330 kcal/ton.24h. |
| " | " | " | " | 21-15 | 0-5 | 10,4 " | 23-10-'68 | " | 1143 " |
| " | " | " | " | 21-18 | 0-1 | 17,1 " | 24-10-'68 | " | 1880 " |
| " | " | " | " | 21-11 | 0-8 | 17,0 " | 29-10-'68 | " | 1869 " |
| " | " | " | " | 21-17 | 0-2 | 18,1 " | 6-11-'68 | " | 1990 " |
| " | " | " | " | 21-17 | 0-4 | 30,9 " | 12-12-'68 | " | 3397 " |
| " | " | " | 12°C | 21-16 | 0-3 | 6,2 " | 15-10-'68 | " | 713 " |
| " | " | " | " | 21-16 | 0-3 | 8,8 " | 22-10-'68 | " | 1012 " |
| " | " | " | " | 21-15 | 0-3,5 | 10,1 " | 25-10-'68 | " | 1161 " |
| " | " | " | " | 21-15 | 0-4,5 | 12,6 " | 30-10-'68 | " | 1448 " |
| " | " | " | " | 21-15 | 0-4 | 13,9 " | 7-11-'68 | " | 1598 " |
| " | " | " | " | 21-12 | 0-6 | 25,2 " | 11-12-'68 | " | 2897 " |
| " | " | " | 1°C | 21-15 | 0-5 | 5,0 " | 17-10-'68 | " | 598 " |
| " | " | " | " | 21-18 | 0-2,5 | 3,9 " | 24-10-'68 | " | 466 " |
| " | " | " | " | 21-19 | 0-1 | 4,0 " | 25-10-'68 | " | 478 " |
| " | gladiolenknol | - | 19°C | 21-18 | 0-2,5 | 9,6 " | 17-12-'68 | " | 1077 " |
| 1969 | " | - | 23°C | 21-19 | 0-2 | 15,2 " | 14-2-'69 | " | 1682 " |

zuurstofverbruik in %

O₂ consumptie

bij 20 % = 100



zuurstofverbruik in %

O₂ consumptie

bij 20 % = 100

