

INSTITUUT VOOR TUINBOUWTECHNIEK — WAGENINGEN

TEMPERATUURMETINGEN IN EEN WARENHUIS MET WATERMATKOELING

door: J.M. Vente



intern verslag 93

1875

28c

INSTITUUT VOOR TUINBOUWTECHNIEK
Wageningen - (Holland)

TEMPERATUURMETINGEN IN EEN WARENHUIS MET WATERMATKOELING

Verslag van de temperatuurmetingen in een warenhuis, uitgerust met watermatten en ventilatoren in het dek, in de periode juni - oktober 1973

door: J.M. Vente

april 1974

Intern Verslag 93
Overname van de inhoud is verboden

22844945

Inhoud

	blz.
1. Probleemstelling	3
2. Doel van het onderzoek	3
3. Samenvatting meetresultaten	3
4. Principe installatie	4
5. Metingen apparatuur	5
6. Ventilatorsnelheid	7
7. Regelpaneel	7
8. Lucht en bodemtemperatuur	8
9. Luchtbeweging	10
10. Conclusie	12

1. Probleemstelling

In het kader van het onderzoek waar praktisch bruikbare installaties voor kassen en warenhuizen is het van belang een indruk te krijgen van de uitvoering en de werking van het "pad-and-fan"-systeem.

Bij de fa. Penning, freesiateler in Honselersdijk (Gem. Naaldwijk) is aan een bestaand warenhuis, type Venlobouw, een "pad-and-fan" systeem in het dek aangebracht (fig. 1)

Zowel de kweker als het Proefstation Naaldwijk hadden er behoefte aan, de teeltervaringen aan te vullen met metingen van de luchttoestand in dit warenhuis.

2. Doel van het onderzoek

Het doel van de metingen is een algemene indruk te verkrijgen van de werking van de installatie en van de reactie van de plant in het ontstane klimaat.

3. Samenvatting meetresultaten

1. De verplaatste hoeveelheid lucht bedraagt maximaal 140.000 m^3 per uur.

2. De luchtsnelheden in de ruimte, op een hoogte van anderhalve meter boven de grond, variërend van 0,1 tot 0,6 meter per seconde.

3. De temperatuurverschillen van de lucht, op verschillende hoogten in het horizontale vlak gemeten, bedroegen 's nachts 1°C en overdag 3°C (grafiek III).

Deze verschillen in luchttemperatuur lagen bij alleen ventileren (dus zonder matbevochtiging en krijtbedekking) in het najaar hoger en bedroegen 5°C . Het toerental van de schroefventilatoren bedroeg echter op dat moment 50% van het maximale toerental (grafiek V).

4. De verschillen van de grondtemperatuur op 50 mm diepte gemeten, bedroegen overdag 1 tot $1,5^{\circ}\text{C}$. In hoeverre hier sprake is van een

meetfout is niet na te gaan. Het bleek namelijk dat één thermokoppel van de vijf een lagere temperatuurwaarde aangaf dan de overige vier. Gedurende de dag bedroeg dit verschil $1,5^{\circ}\text{C}$.

De afwijking in temperatuur van de overige vier koppels bedroeg overdag slechts $0,4^{\circ}\text{C}$ (grafiek II).

5. De relatieve luchtvochtigheid in de kas kon voldoende gehandhaafd blijven, waarbij de r.v. steeds boven de 60% lag.

4. Principe van de installatie

De kas, waarop het systeem is aangebracht, is van het type Venlo-warenhuis met de volgende afmetingen:

lengte	: 44,00 m
breedte	: 33,55 m
hoogte staander	: 2,30 m
aantal kappen	: 11
glashelling	: 30°
grondoppervlakte	: $\sim 1476 \text{ m}^2$
kasinhoud	: $\sim 4430 \text{ m}^3$
breedtegraad	: $52^{\circ}01'10'' \text{ N}$
lengte graad	: $4^{\circ}12'30'' \text{ O}$
nokrichting	: O-W

De toevoer van de buitenlucht vindt bij dit systeem plaats door zes toevoeropeningen van 230 mm hoogte, gefixeerd tussen een scharnierende doorlopende halve kap en de goot, met een lengte van 44 meter. Deze toevoeropeningen bevinden zich aan de zuidkant en zijn voorzien van een cocosmat met een dikte van 20 mm. Per m^2 matoppervlakte is ongeveer 1,1 kg cocosvezel nodig.

De totale toevoer- of ventilatieopening is ongeveer 61 m^2 , hetgeen overeenkomt met 4% van de kasoppervlakte.

Aan de buitenkant van de mat bevindt zich langs de gehele kaplengte een waterverdeelleiding, voorzien van spuitdopjes op een onderlinge afstand van 750 mm, die voor de bevochtiging van de mat zorg dragen.

Deze sproeileiding is aan de buitenkant van de mat gemonteerd op een afstand van 200 mm vanaf de mat. De opbrengst van de spuitdopjes is 1,8 liter per m^2 per minuut. Het overtollige water, dat van de mat afdruipt, wordt in de goot van de kas opgevangen en naar de zijkant afgevoerd. De laatste en voorlaatste kap, vervolgens twee kappen verspringend gerekend naar de ventilatoren toe, zijn voorzien van een koelmat (fig. 1).

Als extra voorziening tegen instraling is de kas bedekt met een krijtlaag.

De hoeveelheid kalk, daarbij gebruikt bedroeg ongeveer 50 kg per 1000 m^2 .

Voor het afzuigen van de kaslucht zijn veertien schroefventilatoren toegepast van het type A.S.D. 554, J.E. Stork te Harderwijk.

De veertien ventilatoren zijn op regelmatige afstanden in de eerste kap met een speciale steile hellingshoek gemonteerd.

Bij het buiten bedrijf zijn van de ventilatoren kunnen de doorblaasopeningen van de schroef automatisch geblindeerd worden. Aan de hand van de meetgegevens van het ILR bedraagt de luchtverplaatsing van één ventilator 10340 m^3 per uur. De statische druk is daarbij 3 mm w.k. en de totaal druk 12,18 mm w.k.

Het opgenomen vermogen van de ventilator is 0,686 k.W. of 0,933 p.k. en het geluidsniveau ligt onder de grenscurve N.R. 60.

5. Metingen en apparatuur

De metingen hebben plaats gevonden over de periode van 3 juli tot en met begin september en van 30 oktober tot 8 november 1973.

De plantdatum van het gewas was 15 juni 1973.

Tijdens de meting in de zomer werkten de ventilatoren op maximale capaciteit en was de inschakeling ervan handbediend.

In het najaar was de regelinstallatie gereed en werden de ventilatoren met behulp van een stappenschakelaar automatisch in toeren geregeld.

Er zijn in deze toestand de volgende metingen verricht:

- luchttemperatuur op een hoogte van 200 en 500 mm vanaf de grond;
- luchttemperatuur op een hoogte van 650-750-1000 en 2000 mm;
- grondtemperaturen op 50 mm diepte;
- luchttemperaturen (droge bol) buiten en binnen;
- luchttemperaturen (natte bol) buiten en binnen;
- aanzuigtemperatuur (koelmat);
- afzuigtemperatuur (ventilator);
- oppervlakte-temperatuur glas aan de binnenkant;
- ventilatorsnelheid;
- zoninstraling gemeten in het midden van de kas.

Temperaturen

De lucht en de bodemtemperaturen zijn bepaald met thermokoppels en geregistreerd op een recorder evenals de oppervlakte temperatuur van het glas aan de binnenzijde van het glazen dek.

De luchttemperaturen zijn met compensatie-thermokoppels gemeten en tegen zoninstraling geschermd met een wit tempex kapje.

Luchtvochtigheid

Op twee plaatsen is de luchtvochtigheid bepaald, namelijk buiten en in de kas.

Met de Assman-psychrometer, elektrisch aangedreven en continu werkzaam, werden eveneens de gemeten waarden op een recorder geregistreerd.

Zoninstraling

In het midden van de kas is de solarimeter op twee meter hoogte opgesteld; de gemeten waarden zijn op de recorder vastgelegd.

Meteorologische gegevens

Op het Proefstation Naaldwijk worden in samenwerking met het meteorologisch Instituut in de Bilt de weerkundige gegevens samengesteld. Voor de betreffende meetdag op 14 augustus zijn deze meetgegevens vastgelegd in fig. 4.

6. Ventilatorsnelheid

Omdat in een later stadium van de temperatuurmeting een capaciteitsregelaar voor de ventilatoren is toegepast, waarbij de spanning van de ventilatoren varieerde, werden naast de metingen met nominale spanning ook metingen verricht waarbij de spanning van de motoren werd verlaagd en tevens hun toerental en daarmee de capaciteit van de ventilatoren.

7. Regelpaneel

Het kassencomplex is voorzien van verschillende regelpanelen waarin voor elke kas een lichtafhankelijke klimaatregeling is ingebouwd. Deze klimaatregeling bestaat uit de volgende onderdelen:

- a. een ventilatieregeling gebaseerd op het vochtdeficit en de kastemperatuur, waarbij bij overschrijding van de kastemperatuur deze regeling verder geschiedt op basis van de kastemperatuur.
- b. ingeval van onderschrijding van de kastemperatuur wordt de ventilatie automatisch aangepast dus de ventilatoren in stappen geregeld (aantal stappen 10).
- c. het max. en min. temperatuurregelpunt worden lichtafhankelijk verschoven, terwijl de nachttemperatuur sprongsgewijs naar de min. dagtemperatuur wordt geschakeld.
- d. de schakeling van dag op nacht geschiedt via een lichtopnemer en een tijd klok.
- e. de regeling matbevochtiging gebeurt via een lichtopnemer boven 30.000 lux.

In de zomerperiode was het regelpaneel met de regelaars nog niet geïnstalleerd en werden matbevochtiging en ventilatoren met de hand

ingesteld.

De ventilatoren waren, evenals de matbevochtiging, op zonnige dagen voor honderd procent in bedrijf.

De kas was gedurende de zomerperiode van een krijtlaag voorzien; naarmate het seizoen vorderde is eerst de noordzijde en vervolgens de zuidzijde van het dek gereinigd. Op 16 augustus was 75% van de krijtlaag verdwenen en op 22 augustus was het glasdek weer schoon.

8. Luchttemperaturen

Naast het handhaven van een zo laag mogelijke grondtemperatuur in de zomermaanden (d.w.z. niet hoger dan 17°C) dient ook de luchttemperatuur zich aan te passen. Als meest gewenste luchttemperatuur voor dit knolgewas werd door de kweker 18°C opgegeven. Dit is in de praktijk bij extreem warme dagen niet te bereiken zonder extra maatregelen te treffen zoals naast het krijten van de kas een koelmatten systeem toe te passen. Bij dit systeem zuigen ventilatoren de buitenlucht via matten, die nat gehouden worden, boven 30.000 lux, de kas in.

Tijdens het passeren van de buitenlucht door de mat wordt voelbare warmte van de buitenlucht omgezet in verdampingswarmte. De warmte-inhoud van de lucht blijft hierbij echter constant omdat de toestand-verandering adiabatisch verloopt, terwijl de absolute vochtigheid toeneemt.

In de grafieken III en IV zijn de temperaturen als functie van de tijd uitgezet.

Bij het begin van de meting waren de laagst geplaatste koppels op 200 mm van de grond geplaatst. Deze koppels zijn mede met de groei van de plant opgetrokken tot 500 mm gemeten vanaf de grond.

De luchttemperaturen fluctueerden tussen 24 en 26°C , zowel in het horizontale als in het verticale vlak. De temperatuurgradient zou hierdoor 2°C bedragen. Het blijkt echter dat de beide laagst geplaatste koppels 15 en 16 van grafiek III en IV in het midden van de kas een hogere temperatuur en een labiel verloop van de temperatuur geven.

Onvoldoende luchtbeweging ter plaatse moet de oorzaak zijn van deze temperatuur-onregelmatigheid.

Aan de westkant van de kopgevel bevindt zich open grond en de kopgevel aan de oostzijde is aangesloten aan een corridor waarvan de ramen uit de kap waren verwijderd.

Tijdens de meting is gebleken dat de luchttemperaturen aan de westzijde gemeten, lager waren dan die aan de oostzijde.

In hoeverre wind hierbij invloed heeft gehad was niet na te gaan. Vier schuifdeuren geven vanuit de corridor toegang tot de kasruimte. Deze schuifdeuren waren voorzien van de nodige tochtstrippen.

Het is mogelijk dat door de onderdruk in de kas, welke overeenkomt met de statische druk bij de luchtverplaatsing van de ventilatoren, ook niet-voorgekoelde buitenlucht via kieren van de kas naar binnen stroomt. Enige invloed op de gemeten luchttemperatuur aan de zijde van de corridor zou daarbij mogelijk zijn, hoewel de koppels 15 en 16 in het midden van de kas en het dichtst bij de grond geplaatst een grotere temperatuurgradient registreerden.

De koppels 20, 21, 7 en 8 (zie fig. 1 en grafiek III en IV) welke het dichtst bij de corridor waren aangebracht, registreerden een lagere temperatuur dan in het midden geplaatste koppels.

De ventilatoren, die op basis van temperatuur geregeld werden, regelden in een gebied tussen 0 en 50% van de totale capaciteit in deze periode. Hierdoor ontstond een veel grotere temperatuurgradiënt van de lucht dan in de zomer. Het verschil bedroeg daarbij soms 5°C (grafiek V).

De bodemtemperatuur fluctueerde in de middag ruim 1°C. Ook hier trad het verschijnsel op dat de temperaturen aan de westzijde lager waren dan aan de oostzijde. In hoeverre wind hiervoor aansprakelijk blijft is een vraag die niet zonder nader onderzoek naar windinvloeden op een kas is te beantwoorden.

Tijdens de meting bleek dat de verwarmingsinstallatie niet in bedrijf kwam als de lichtintensiteit beneden de 2000 lux lag. Door toepassing van een overbrugging in het regelsysteem is dit verholpen.

In grafiek II zijn de bodemtemperaturen resp. de oppervlaktetemperaturen van het glas aan de binnenkant van het dek uitgezet.

De koppels, die aan de binnenkant van het glazendek waren aangebracht, gaven onderling een groot verschil in oppervlaktetemperatuur te zien.

De beide koppels, welke met de gekoelde lucht in aanraking kwamen, registreerden een 3°C lagere oppervlakte-temperatuur dan het koppel in het niet gekoelde dek.

9. Luchtbeweging

Voor vrije stralen, die niet isotherm zijn, is in het algemeen geen geldige wet bekend. De niet-isotherm straal buigt zich naar boven of naar beneden af. Als de dichtheid van de straal groter is dan van de omgevende lucht, zal de straal naar beneden afbuigen. Deze afbuiging van de niet-isothermstraal wordt door het "Archimedesgetal" bepaald. Zij is een verhouding van de thermische opwaartse druk en de traagheid volgens $\frac{y}{d} = 0,9 \text{ Ar} \left(\frac{x}{d}\right)^2 \sqrt{m \frac{x}{d}}$ waarin:

$\frac{y}{d}$ = relative verticale afstand (stijgkracht) in delen van de diameter

$\frac{x}{d}$ = relative horizontale afstand in delen van de diameter

m = turbulentegraad van de straal (mengintensiteiten van de luchtmeting)

t_o = als aanvangstemperatuur van de straal en

t_u = als temperatuur van de door de straal omgeven lucht in °C.

Het getal van Archimedes kan berekend worden met de vergelijking $\text{Ar} = \frac{g \cdot d \cdot (t_o - t_u)}{w_o^2 T_u}$ waarin:

Ar = Archimedesgetal

g = zwaartekrachtversnelling in m² per seconde

- d = diameter van de opening (m)
 w_o = beginsnelheid van de straal in m per seconde
 t_u = temperatuur van de door de straal omgeven lucht in $^{\circ}\text{C}$
 T_u = absolute snelheid van de omgevende lucht, waarin de straal zich uitbreidt.

Uit deze berekeningen is een der componenten van de luchtbeweging bij instroming in de kas te bepalen. Bij berekening van deze afbuiging, is gebleken dat deze luchtstroom negatief is d.w.z. dat de afbuiging naar beneden gericht is.

De instroomsnelheid van de lucht door de koelmat is horizontaal gericht en bedraagt ongeveer één meter per seconde.

Door beide stromingsrichtingen samen te stellen vindt men de resulterende luchtsnelheidsrichting. Uit deze voorbeschouwing zou kunnen blijken dat de ingezogen en gekoelde lucht zich niet loodrecht naar de grond richt maar onder een bepaalde hoek naar de hoofdstroom van de luchtbeweging toe beweegt en daarin wordt geïnjecteerd zoals met rookproeven is geconstateerd.

Op verschillende dagen in de meetperiode zijn er rookproeven genomen om de luchtbeweging in de kas te kunnen nagaan (fig. 2 en 3). De buitenlucht, welke ter hoogte van de goot naar binnen werd gezogen op zes plaatsen in de kas, had voor een deel de neiging langs het hellende glas van het dek te stromen waarin een koelmat was geplaatst. Vervolgens boog deze luchtstroom onder de goot door en vermengde zich in de volgende kap met de hoofdstroom in de richting van de ventilatoren, om vervolgens naar buiten afgevoerd te worden. De lucht onder het glasdek, dat niet voorzien was van een koelmat, had geen deel aan enige luchtbeweging.

Op zonnige dagen was de oppervlaktetemperatuur van het glas aan de binnenkant van dit glasdek hoger dan aan het met een mat voorziene dek (grafiek II).

Het waarnemen van de beweging van de luchtstroom is zowel bij 50% als bij 100% ventilatie uitgevoerd, waarbij de sproeiinstallatie

bij 50% ventilatie buiten bedrijf was in verband met de te geringe lichtintensiteit.

Met behulp van Dräger rookbuisjes is gepoogd de stroming van de lucht na te gaan en dit luchtstromingspatroon in tekening te brengen (fig. 2 en 3).

Dit warmte-uitwisselings-luchtstromingsproces kenmerkt zich door een sterke luchtstroming in horizontale richting naar de ventilatoren toe bewegend op ongeveer 1,50 m hoogte.

De lucht, welke van buitenaf door de natte matten naar binnen stroomt, wordt in hoofdzaak in deze sterke horizontale luchtstroom opgenomen. De van de grond opstijgende warme lucht buigt zich in dezelfde bewegingsrichting van de horizontale luchtstroom af en wordt eveneens door deze luchtstroom medegenomen.

Naarmate deze zich in horizontale richting bewegende hoofdluchtstroom de ventilatoren dichterbij nadert, neemt de luchtsnelheid ervan toe, zoals globale metingen hebben aangetoond.

De gestippelde lijnen in de figuren 2 en 3 geven de vertraagde luchtstroming aan. Hoewel daarbij ook de luchtsnelheden van de hoofdluchtstroom zijn aangegeven dient daaraan geen exacte waarde te worden toegekend.

10. Conclusie

Het systeem geeft nog niet voldoende dieptewerking. De aangezogen buitenlucht verdringt de opgewarmde kaslucht daardoor onvoldoende, waardoor de grondtemperaturen boven de waarde blijven die wenselijk geacht wordt. Een betere vormgeving van de matconstructie, zodat geen horizontale maar een meer gerichte instroming onder een hoek met de vertikaal ontstaat, zou kunnen leiden tot een betere dieptewerking en daardoor tot een lagere grondtemperatuur.

Het voordeel van dit systeem t.o.v. het "pad and fan"-systeem met horizontale instroming van de lucht is, dat de horizontale en verticale temperatuurgradient kleiner zijn.

Bij dit systeem wordt vermeden dat de eerste plantenrijen worden omgeven met een voortdurend lagere luchttemperatuur en een hogere luchtvochtigheid dan in de middelste en laatste plantenrijen. Dit treedt wel op bij een "pad and fan"-systeem met eenzijdig horizontale inzuig van de buitenlucht.

Ten aanzien van de luchtsnelheden in de kas voldoet het systeem, hoewel gebleken is dat er tussen de kappen onderling enig verschil in luchtsnelheid aanwezig is. Het mattenkoelsysteem, zoals hier toegepast, leent zich in het bijzonder voor bestaande hoge kassen van het Venlo-type.

Hoge investeringskosten kunnen bij het toepassen van voornoemd systeem vermeden worden.

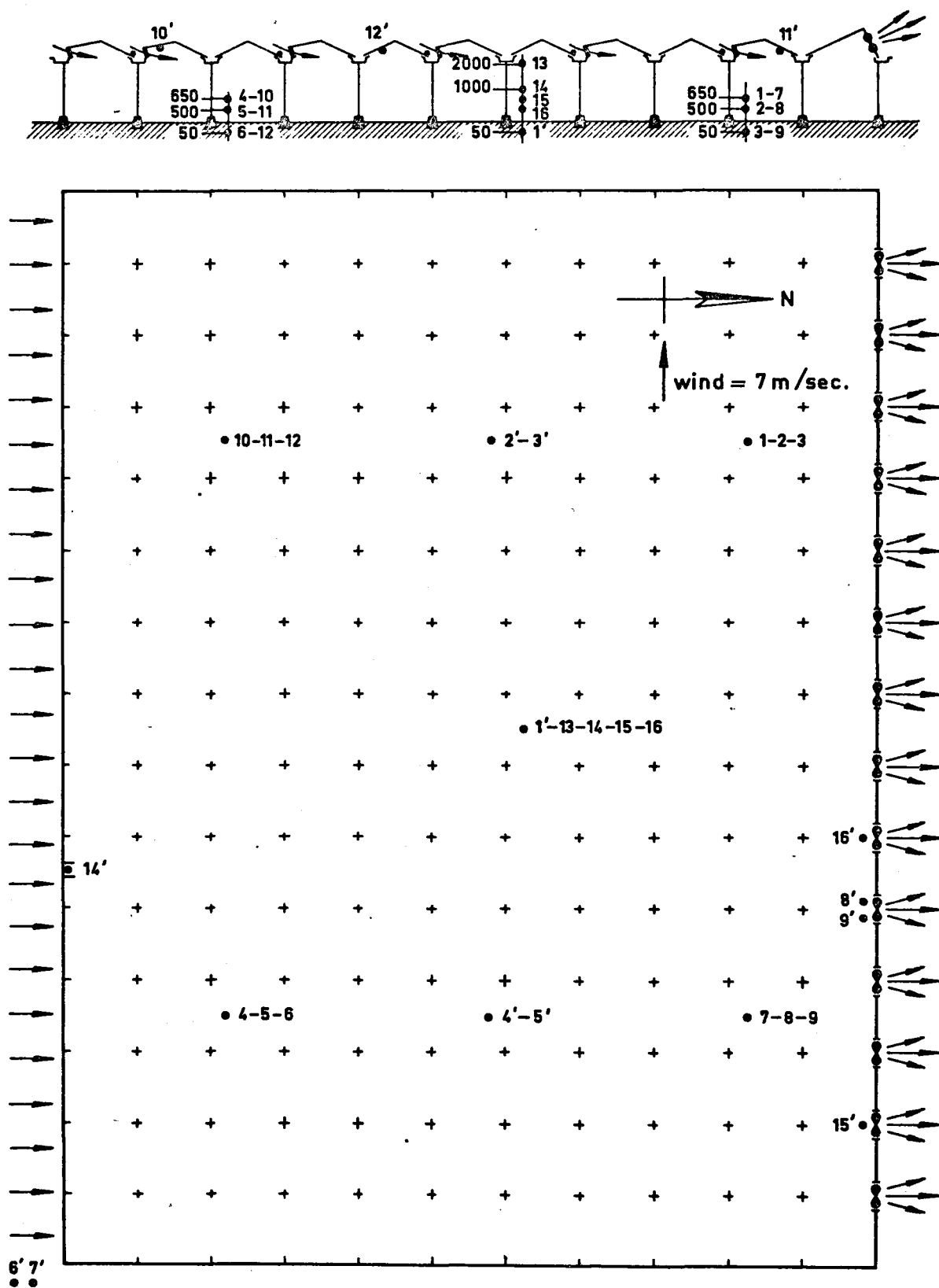


Fig. 1

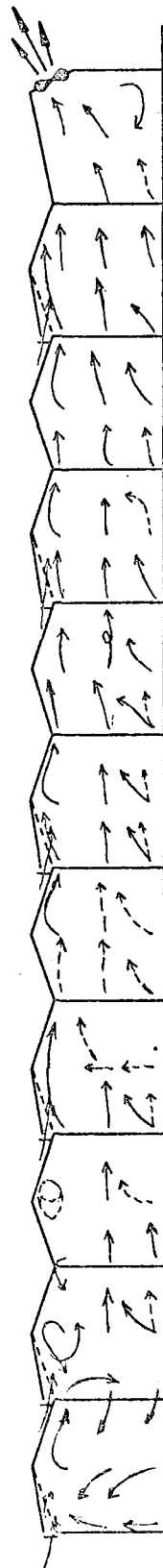
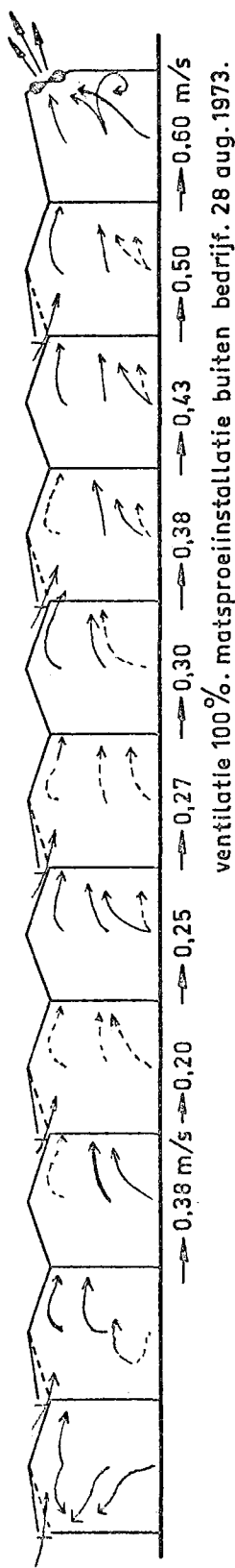
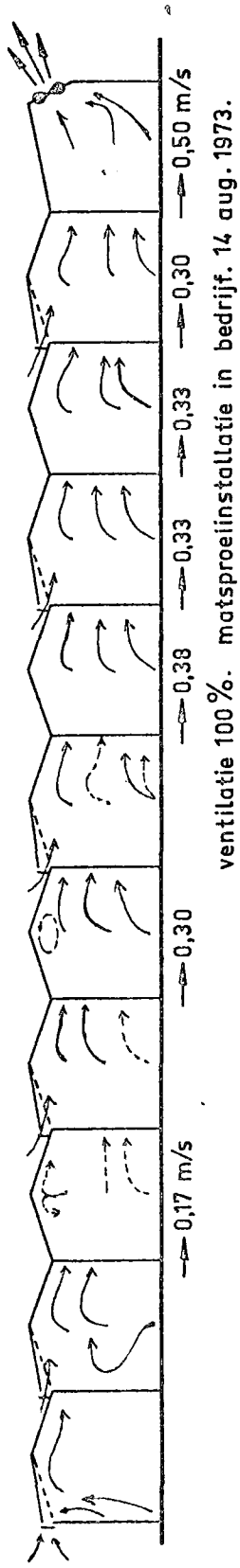


Fig. 2

73.233.

SCHAAL		73.233.	
INSTITUUT VOOR TUINBOUWTECHNIEK WAGENINGEN		GETEKEND GECONTR. GEZEN	A 3

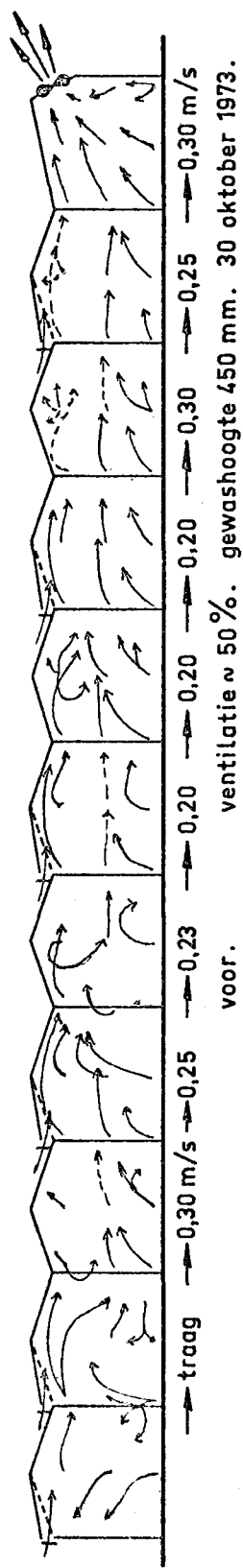
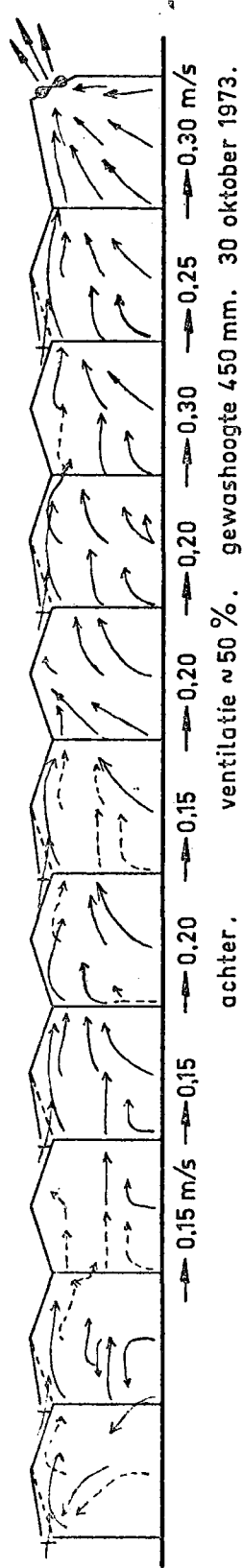
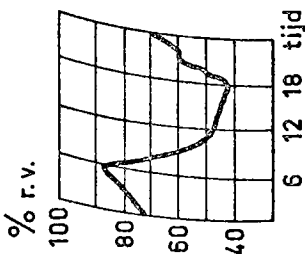
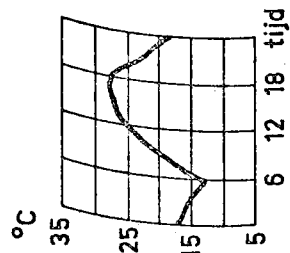


Fig. 3

SCHAAL			
		WETKEND GECONTRE	A 3
INSTITUUT VOOR TUINBOUWTECHNIEK WAGENINGEN		GEZIEN	
		73.234.	



wind- richting	wind- snelheid
7 uur: oost	4,5 m/sec.
13 uur: oost	7,0 m/sec.
19 uur: oost	5,0 m/sec.

datum: 14-8-1973.

Klimaat buiten.

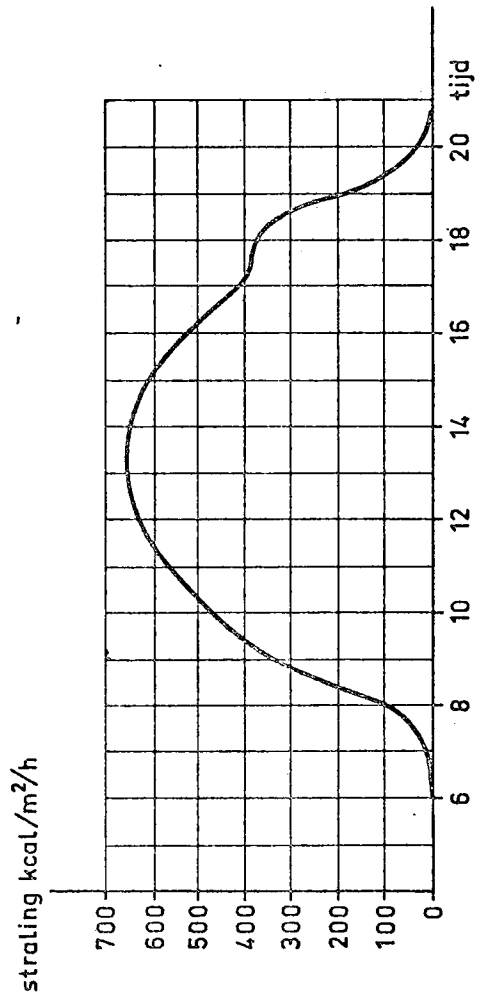
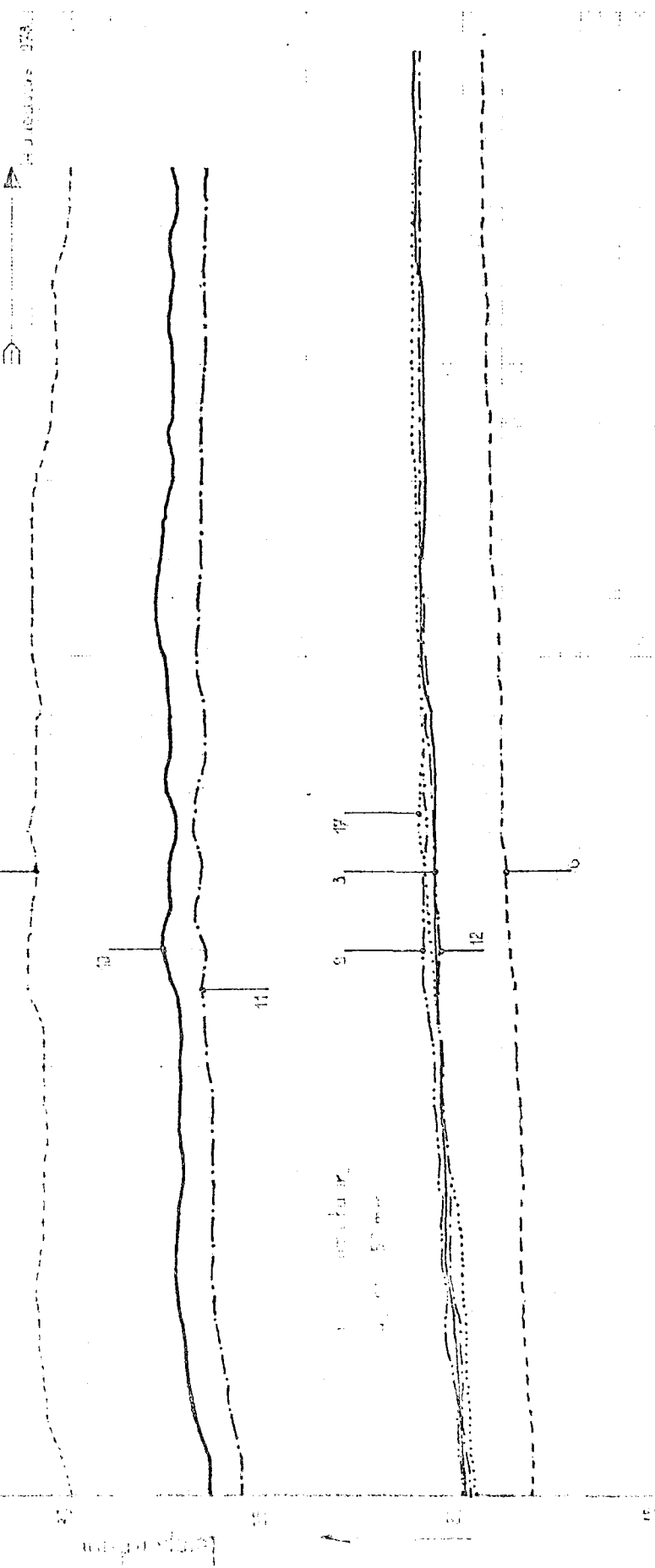
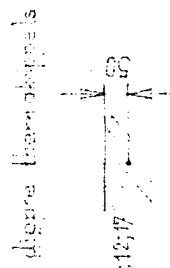
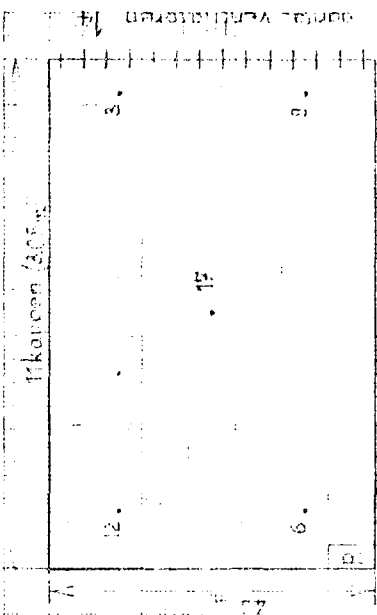


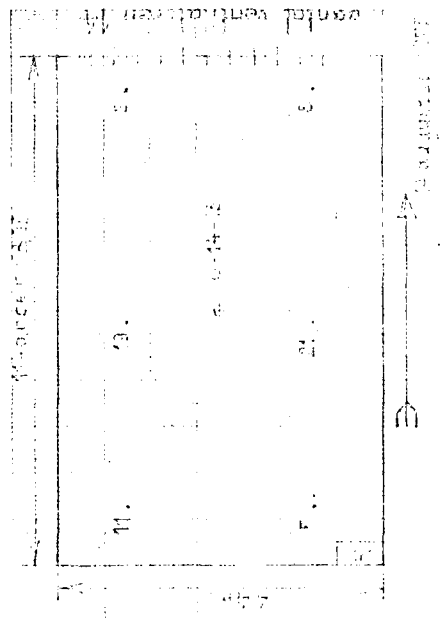
Fig.4

SCHAAL	
INSTITUUT VOOR TUINBOUWTECHNIEK WAGeningen	GETEKEND W. Franssen.
	GECONTROLEERD A 3
	GEZEEN
73.245.	

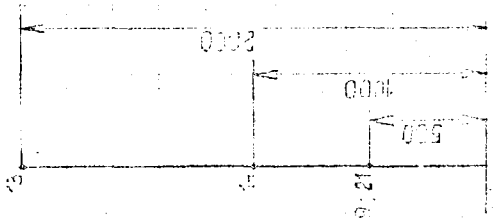
heldere hemel - zonnig weer
matige wind uit noordelijke richting
gemeten windsnelheid 50 m/sec
stork-ventilator ASD-554 - voltage 220/
vermogen 740 watt / 300
toesental 1400 omw/min
ventilatieopening 250 mm aantal 6
doorlopende nokluchting



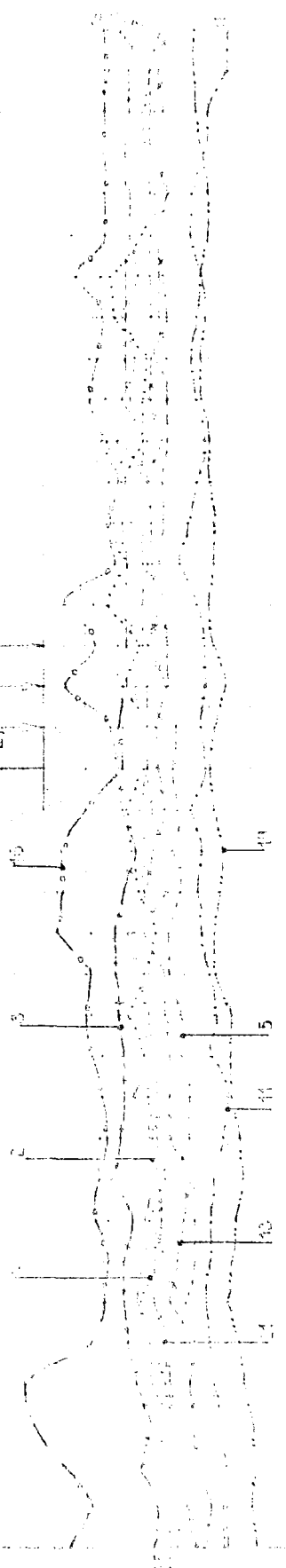




högsta höjden



2, 5, 8, 11, 16, 19, 21



högsta höjden

gravel III

14/14

13/13

högskola

12:20

1:4; 7; 10; 15

659

V V

20

15

7

1

10

4

18

tijd

16 h

14 h

15 h

grafiek IV

