

21 JUNI 1966

KONINKLIJK NEDERLANDS  
METEOROLOGISCH INSTITUUT

Verslagen V-186  
(R III-301-1966)

Verslag van een bezoek aan enkele (agro-)meteorologische  
instellingen in Engeland van 25 t/m 29 november 1965

door

Drs. J.Q. Keijman

De Bilt, 1966

Kon. Ned. Meteor. Inst.  
De Bilt

Verslag van een bezoek aan enkele (agro-)meteorologische  
instellingen in Engeland van 25 t/m 29 november 1965

Het doel van de reis was enkele instituten te bezoeken waar onderzoek op het gebied van de energiehuishouding van het aardoppervlak en van de verdamping wordt verricht. Te dien einde werd op 25 november in de ochtend een bezoek gebracht aan het Meteorological Office te Bracknell en in de middag aan het Observatorium te Kew. Op 26 november werd Rothemstead Experimental Station in Harpenden bezocht. Als afsluiting van de reis werd op 29 november een bezoek gebracht aan de Meteorological Office Research Unit te Cambridge.

Bij het bezoek aan het Meteorological Office werd gesproken met Dr. Pasquill. Dr. P. vertelde eerst iets over de geschiedenis van het turbulentieonderzoek van het Met. Office. Vóór de oorlog was dit onderzoek vooral gericht op militaire belangen zoals de verspreiding van rook en gassen. Deze experimenten werden te Porton verricht. Na de oorlog kwamen de belangen van landbouw en watervoorziening naar voren. Men zocht een betrouwbare methode om de verdamping te bepalen en aldus b.v. de aanvulling van het grondwater (neerslag - verdamping) te bepalen. Dr. P. zelf hield zich aanvankelijk bezig met de problemen van het turbulente transport van warmte en waterdamp in de onderste meters van de atmosfeer zoals dit uit de profielen van gemiddelde windsnelheid, temperatuur en dampspanning afgeleid kan worden. Later hield hij zich bezig met de statistische beschrijving van turbulentie en met diffusieproblemen in de atmosferische grenslaag. Recent onderzoek heeft betrekking op de vraag naar het verband tussen de Eulerse en Lagrangeaanse eigenschappen van de turbulentie. Daartoe werden de windcomponenten gelijktijdig gemeten op een vast punt i.c. aan een kabelballon en met behulp van "tetroons" die met radar gevolgd werden. Dit onderzoek werd gedaan op het vliegveld van Cardington. Gelijktijdig werden door Dr. Blackwell aan het aardoppervlak relevante grootheden zoals wrijvingssnelheid en warmteflux in de lucht gemeten (zie hiervoor het verslag van het bezoek aan Cambridge).

Op het programma staan nu metingen van de warmteflux  $w'T$  tot 600 m hoogte met een kabelballon en een toren van ca 40 m. Gevraagd naar zijn mening over het probleem van de verhouding van de turbulente transportcoëfficiënten zei Dr. P. dat vermoedelijk onder de meeste omstandigheden de coëfficiënt voor warmte-transport  $K_h$  gelijk is aan die voor waterdamptransport  $K_v$  maar dat de coëfficiënt voor impulsoverdracht  $K_m$  niet aan  $K_h$  gelijk is.

Volgens Dr. P. is het niet uitgesloten dat de "patchiness" van het terrein een complicerende faktor is. Onder "patchiness" moet worden verstaan een afwisseling van nattere en drogere plekken en van warmere en koudere plekken. Indien de warmere en nattere plekken samenvallen kan men andere uitkomsten verwachten dan wanneer de warmere en de drogere plekken samenvallen. Verder deelde Dr. P. nog iets mee over zijn onderzoek naar de mogelijkheden om de coëfficiënt  $K_m$  uit metingen van de turbulente energie te bepalen. Het blijkt mogelijk te zijn om  $K_m$  uit de hoogfrequente, uit de laagfrequente en uit de totale turbulente energie te bepalen. Er is momenteel nog niet voldoende waarnemingsmateriaal beschikbaar om deze drie methoden op hun verdiensten en tekortkomingen te kunnen beoordelen maar zekere perspectieven zijn wel aanwezig. Tenslotte toonde Dr. P. mij nog een exemplaar van de "yawmeter". Hiermee kunnen de richtingsfluctuaties van de wind gemeten worden. s'Middags werd een bezoek gebracht aan het observatorium te Kew. Mijn speciale belangstelling had de geventileerde nettostralingsmeter van het type McDowall. Het apparaat lijkt veel op het type van Suomen Fransilla. In het meetelement zit een T.N.O.-warmtestroommeter van 5 cm diameter. Deze is ingegoten in araldiet dat omgeven is door een rand van tufnol. Het oppervlak bestaat uit koperen plaatjes die met Parson's black bedekt zijn. Het oppervlak vertoont derhalve geen ribbels zoals bij het type S-F het geval is. De gevoeligheid is ongeveer 3 x zo groot als bij het type S-F. In de windtunnel is onderzocht hoeveel dwarswind en tegenwind er nodig is om de ijkfactor merkbaar te beïnvloeden. Dit blijkt op te treden bij 15 knopen dwarswind en 20 knopen tegenwind. Er is een fraaie laboratorium-ijkmethode bedacht. Men ijkt met een wolframlamp van 200 W die op zijn beurt is geijkt met de compensatiepyrheliometer van Ångström. Het apparaat wordt continu gebruikt. Er wordt op ponsband geregistreerd.

Bij het bezoek aan Rothamstead Experimental Station in Harpenden toonde Dr. Monteith mij het meetterrein en de daar opgestelde apparatuur. Er zijn twee identieke lysimeters ieder op een terrein van  $100 \times 100 \text{ m}^2$ . Het oppervlak van de lysimeters is  $2 \text{ m}^2$ , de diepte ongeveer 90 cm. De gewichtsveranderingen worden zo nauwkeurig gemeten dat men uurtotalen van de verdamping met redelijke nauwkeurigheid kan bepalen. Het werken met lysimeters is moeilijker dan men oppervlakkig zou denken. Het vochtpercentage van de grond moet in de bak gelijk zijn aan dat van het omringende veld. Het gewas op de bak moet goed aansluiten bij het omringende gewas om randeffecten te vermijden. Ook verschillen in bodemstructuur en beworteling kunnen belangrijk zijn. Het is daarom noodzakelijk van tijd tot tijd te controleren of de verdamping van de bak en het terrein gelijk zijn. Men gebruikt daarvoor de aerodynamische methode. De aanname is dat deze methode onder adiabatische omstandigheden betrouwbaar is. Weet men eenmaal dat de verdamping van de lysimeter representatief is voor het gehele terrein, dan is het werken met een lysimeter bijzonder eenvoudig vergeleken met andere methoden.

De twee velden met hun lysimeters zullen het komende jaar gebruikt worden om de invloed van het bodemvocht op de verdamping na te gaan. Eén veld zal geïrrigeerd worden, het andere krijgt slechts de natuurlijke neerslag. Dr. Monteith toonde zijn "gasanalyser" waarmee de gradiënt van de concentratie van  $\text{CO}_2$  boven het gewas gemeten kan worden. Daar de turbulente uitwisselingscoëfficiënt uit het windprofiel berekend kan worden, kan Dr. M. zo de flux van  $\text{CO}_2$  boven het gewas bepalen. Langs deze weg is de droge - stofproductie van het gewas te berekenen. Dr. Monteith vertelde iets over zijn recente onderzoek van de verdamping van geïsoleerde bladen en van bladerdekken. Bij een geïsoleerd blad heeft men een uitwendige diffusieweerstand  $r_a$  die van vorm een grootte van het blad en van de windsnelheid afhangt, en een inwendige weerstand  $r_e$  die in hoofdzaak door grootte en aantal van de stomata wordt bepaald. Bij bladeren van landbouwgewassen is bij geopende stomata  $r_a$  ongeveer  $0,05 - 0,10 \text{ sec cm}^{-1}$  en  $r_e$   $1 - 2 \text{ sec cm}^{-1}$ . De verdamping wordt dus hoofdzakelijk bepaald door de inwendige weerstand (opening der stomata) en niet door de uitwendige omstandigheden. Bij een bladerdek voert Dr. M. een oppervlakteweerstand  $r_s$  in naar analogie van de inwendige weerstand van een afzonderlijk blad. Hij vindt voor  $r_a$   $0,2 - 0,5 \text{ sec cm}^{-1}$  bij windsnelheden van  $1 - 5 \text{ m/s}$  en voor  $r_s$   $0,3 - 0,5 \text{ sec cm}^{-1}$ . Beide weerstanden zijn nu belangrijk. Men kan nu de verhouding  $E/E_0$  beschouwen waarin  $E$  de verdamping door de stomata is en  $E_0$  de verdamping van het natte gewas.  $E/E_0$  hangt alleen van  $r_a/r_s$  af. Voor gras is  $E/E_0$  ongeveer  $1,0$  bij  $r_s/r_a = 0,2$ , voor een pijnbomenbos is  $E/E_0$  ongeveer  $0,2$  bij  $r_s/r_a = 15$ . Het blijkt verder dat de fractie van de netto-straling  $H$  die voor de verdamping  $LE$  wordt gebruikt, nauw gecorreleerd is met  $r_s$ . De afname van het zichtbare licht in het gewas van boven naar beneden is de belangrijkste microklimatologische factor die de totale transpiratie bepaalt. De transpiratie neemt toe met het bladoppervlak tot een zeker maximum. Bij verdere toename van het bladoppervlak bereikt zo weinig licht de onderste bladen dat deze hun stomata gesloten houden. Dr. M. heeft  $LE/H$  berekend voor een aantal gewassen en klimaattypen. De uitkomsten varieerden van  $0,7$  tot  $1,2$ . Op de instrumentele afdeling toonde Long enige door hem ontworpen instrumenten voor micrometeorologisch onderzoek. Voor het meten van temperatuur en vochtigheid worden ongeventileerde psychrometers met nikkelweerstand gebruikt. De psychrometerconstante is voor snelheden kleiner dan  $1 \text{ m/s}$  afhankelijk van de windsnelheid. Er moet dus bij een dergelijke psychrometer een anemometer voor kleine snelheden opgesteld worden. Long gebruikt hiervoor "hot bulb" anemometers. Met een nomogram kan, gegeven de twee psychrometertemperaturen en de windsnelheid, gemakkelijk de dampspanning bepalen. Volgens Long moet men in een gewas wel ongeventileerde psychrometers gebruiken omdat de ventilatiestroom de natuurlijke toestand te veel verstoort. Aardig was de turbulentieindicator. Dit is een rek, ongeveer  $2 \text{ m}$  lang en  $1 \text{ m}$  hoog waar een groot aantal vaantjes aan bevestigd is.

Het rek wordt in de windrichting geplaatst, de vaantjes geven de inclinatie van de windrichting. De bewegingen van de vaantjes zijn gefilmd.

Verder toonde Long nog een neutronenvochtmetr die veel compacter is gebouwd dan het type dat in Nederland in gebruik is. Dr. Penman vertelde van een onderzoek van de verdamping van vrij water dat gedaan is door C.F.Lapworth bij een reservoir ten westen van London met een oppervlakte van 16 hectare en een diepte van 4 à 5 m. Gedurende 7 jaren is de maandelijkse verdamping bepaald met de waterbalans en zijn de uitkomsten vergeleken met de verdamping van twee typen verdampingsbakken en met de  $E_o$  van Penman. Men vindt zeer redelijke correlaties indien men voor de veranderingen van de warmteinhoud van het reservoir corrigeert. Bij de bakken is de evenredigheidsfactor niet 1. De factor is afhankelijk van het type en de wijze van opstellen van de bak. Met de methode van Penman vindt men een evenredigheidsfactor die niet veel van 1 afwijkt. De nauwkeurigheid is bij alle methoden niet erg groot: bij de hogere verdampingscijfers van het zomerhalfjaar is de standaardfout 8 à 10 mm in de maandsommen. Hierbij moet opgemerkt worden dat de meteorologische gegevens niet ter plaatse zijn bepaald maar in Kew.

Op 29 november werd een bezoek gebracht aan de Meteorological Office Research Unit te Cambridge waar Dr. Blackwell van zijn werk vertelde. Dr. Blackwell heeft de verdamping bepaald met de aerodynamische methode ( $E_n$ ) en met een weegbare lysimeter ( $E$ ). Bij ongeveer adiabatische omstandigheden geldt

$$(1) \quad E_n = \frac{\rho k^2 (u_2 - u_1)(q_1 - q_2)}{\left\{ \ln \frac{z_2 - d}{z_1 - d} \right\}^2}$$

waarin  $\rho$  de dichtheid van de lucht,  $k$  de constante van Karman,  $d$  de nulvlakverplaatsing,  $u_2 - u_1$ , en  $q_1 - q_2$  de verschillen in windsnelheid en specifieke vochtigheid tussen de hoogten  $z_1$  en  $z_2$  voorstellen. Men kan nu  $E/E_n$  uitzetten tegen het getal van Richardson. Men vindt dan

$$(2) \quad \frac{E}{E_n} = 1 - 10 Ri + 25 Ri^2$$

voor  $|Ri| \leq 0,1$ . Uit literatuurgegevens is door mij een  $f(Ri)$  bepaald.

Vergelijking met de resultaten van Dr. B. geeft

$Ri$	$E/E_n$	$f(Ri)$
-0,10	2,25	2,26
-0,05	1,56	1,62
0,00	1,00	1,00
+0,05	0,56	0,70
+0,10	0,25	0,50

Voor onstabiele toestanden is de overeenstemming zeer fraai, voor stabiele toestanden slecht. Voor de berekening van de verdamping zijn de stabiele toestanden echter veruit de belangrijkste. Voor de flux van voelbare warmte kan men naar analogie van (1) opschrijven

(3)

$$Q_n = \int c_p k^2 \frac{(u_2 - u_1)(t_1 - t_2)}{\left\{ \ln \frac{z_2 - d}{z_1 - d} \right\}^2}$$

waarin  $c_p$  de soortelijke warmte bij constante druk en  $t_1 - t_2$  het temperatuurverschil tussen de hoogten  $z_1$  en  $z_2$  is. Dankzij de weegbare lysimeter kan de flux van voelbare warmte ook bepaald worden zonder turbulentietheorie te gebruiken. Men heeft immers

(4)

$$R + S + LE + Q = 0$$

waarin  $R$  de nettostraling,  $S$  de warmtestroom in de bodem,  $LE$  de flux van latente warmte en  $Q$  die van voelbare warmte is. Daar  $R$ ,  $S$  en  $LE$  direct gemeten worden, is  $Q$  bekend. Men kan weer  $Q/Q_n$  uitzetten tegen  $R_i$ . Men vindt een goede aansluiting bij  $E/E_n$  van (3). Dit betekent

(5)

$$\frac{Q/Q_n}{E/E_n} = 1 \quad \text{of}$$

$$\frac{Q}{LE} = \frac{c_p}{L} \frac{t_1 - t_2}{q_1 - q_2}$$

Dit is de Bowenformule die dus in ieder geval voor  $R_i \leq 0,1$  juist zou zijn. Verder toonde Dr. B. het prototype van een eenvoudige, kleine solarimeter met diffusor. Het instrument is in de eerste plaats bestemd voor biologische doeleinden. Daarbij moet men vaak met filters werken. De diffusor maakt het mogelijk vlakke filters te gebruiken, die veel goedkoper zijn dan bolvormige. s'Middags werd een bezoek gebracht aan het vliegveld te Cardington waar Dr. B. zijn weegbare lysimeter heeft. In de lysimeter zijn warmtestroommeters aangebracht evenals tensiometers en gipsblokjes. Deze instrumenten zijn ook buiten de lysimeter in de grond aangebracht. Het is noodzakelijk om steeds te controleren of de warmte - en waterhuishouding in de lysimeter gelijk is aan die er buiten. Dr. B. beschikt over een caravan met agregaat waarin de registratie-apparatuur is opgesteld.

Conclusies: Uit dit verslag komen de volgende belangrijke punten naar voren:

- a) Er zijn mogelijkheden om de coëfficiënt van turbulente uitwisseling uit de turbulente energie te bepalen.
- b) De functie van  $R_i$  in de verdampingsformule van de aerodynamische methode is bevestigd.
- c) De Bowenformule is bevestigd.
- d) De methode van Penman om de verdamping te bepalen kan uitgebreid worden tot gewassen.