HET BEREKENEN VAN DE WATERBALANS VAN DE SCHROEWEGPOLDER OP WALCHEREN

WITH A SUMMARY
CALCULATION OF THE WATERBALANCE OF
THE SCHROEWEGPOLDER IN WALCHEREN

KUN RESUMO
KALKULADO DE LA AKVOBILANCO DE
LA SCHROEWEGPOLDERO EN WALCHEREN, NEDERLANDO

G. F. MAKKINK EN H. D. J. VAN HEEMST

Instituut voor Biologisch en Scheikundig Onderzoek van Landbouwgewassen, Wageningen

pudoc

CENTRUM VOOR LANDBOUWPUBLIKATIES EN LANDBOUWDOCUMENTATIE

INHOUD

1 INLEIDING

Kan men uit maalcijfers van een polder de grootte van de verdamping en de veranderingen van de vochtvoorraad in de grond afleiden? We hebben geprobeerd deze vraag te beantwoorden aan de hand van afvoergegevens van de Schroewegpolder op Walcheren[1]. De werkwijze berust op het voeren van een doorlopende waterboekhouding, waarbij voor elk tijdsinterval van vijf dagen een volledige waterbalansvergelijking wordt opgelost. Het ontworpen rekenmodel is algemeen van opzet en zou wellicht ook voor andere polders toegepast kunnen worden; de numerieke waarden erin worden door de omstandigheden van plaats en tijd bepaald.

Deze waarden berusten voor een deel op metingen (bijv. van de neerslag) of worden berekend uit meteorologische metingen, zoals de potentiële verdamping. Voor het overige berusten ze op schattingen die men moet baseren op kennis van de gewassen en hun ontwikkeling. Verder zijn er bodemkundige gegevens die men uit voorlopige berekeningen van de waterbalans moet putten aan de hand van de cijfers van een of twee jaren. Ze kunnen iteratief verbeterd worden.

Hoewel de hele berekening een aantal onzekere elementen bevat, blijkt uit de correlatie tussen de berekende en waargenomen afvoercijfers, dat een redelijke benadering kan worden verkregen.

[1] Ir W. C. VISSER van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding te Wageningen danken we voor het beschikbaarstellen van de maandtotalen.

2 DE AFLEIDING VAN HET REKENMODEL

2.1 De doorlopende waterboekhouding

Het rekenmodel is ontstaan als gevolg van onderzoekingen met de lysimeterinstallatie te Wageningen (Makkink, 1962) en van berekeningen over de waterbalans van de Rottegatspolder (Makkink, 1957-'59). Het is ten dele empirisch en ten dele gebaseerd op de theorie van de verdamping van gewassen. Als uitgangspunt wordt de waterbalansvergelijking genomen:

$$N + I = D + E + \Delta V. \qquad 1$$

Hierin is: N neerslag, I inzijging van beneden af, D drainage of afvoer, E verdamping, V de watervoorraad van de grond, Δ V de verandering daarvan in de balansperiode.

Gewoonlijk heeft de balansvergelijking betrekking op een onveranderlijk volume grond, waarin zich alle vochthoeveelheidsveranderingen afspelen. De grootte van dit volume komt dus in (1) niet voor. Het volume waarop het rekenmodel betrekking heeft verandert daarentegen wel n.l door veranderingen in de beworteling. De grootte hiervan drukken we evenals de andere termen in mm water uit. Om verwarring met het echte volume van de grond te vermijden en om uit te drukken dat deze grootheid aangeeft hoeveel water op zeker tijdstip in een grond op veldcapaciteit binnen het bereik van het verdampend vermogen van de atmosfeer ligt, noemen we deze grootheid het bereik (B). Het is een capaciteit.

In (1) wordt dus de term ΔB toegevoegd, de verandering van het bereik. Daardoor is het mogelijk een waterboekhouding te voeren voor een laag grond van onbekende dikte, waarin de hoeveelheid verdampbaar water in de loop van het jaar verandert als gevolg van het groeien en afsterven van de wortels van het gewas.

Toch staat het niet bij voorbaat vast dat de grond die bij uitbreiding van het bereik aan de wateronttrekking wordt bloot gesteld, altijd op veldcapaciteit is. Het blijkt nl. voor te komen dat er zich op zekere diepte een droge laag grond bevindt die na de uitdroging in de voorafgaande zomer nog niet weer op veldcapaciteit is gekomen. Het is daarom juister aan vergelijking (1) niet ΔB toe te voegen maar ΔW, waarbij ΔW dan de werkelijke hoeveelheid water aangeeft die door wortelgroei binnen het bereik van de verdamping komt:

$$N + I + \Delta W = D + E + \Delta V. \qquad 2$$

Aan de meeste gronden die onbegroeid zijn kan de atmosfeer slechts een kleine hoeveelheid water onttrekken, doordat de weerstand van de uitgedroogde laag spoedig te groot wordt voor de vochtgeleiding. Het bereik is dan gering. Deze kleine capaciteit kan gemakkelijk uitgeput raken of overschreden worden. Hierdoor zouden gemakkelijk verschillen kunnen ontstaan tussen de werkelijke waarden in het veld, en de uitkomsten der boekhouding, nl. wanneer over vrij lange perioden met het verschil tussen neerslag en verdamping wordt gerekend. Om die fouten te verkleinen worden de balansperioden kort genomen. Uit praktische overwegingen wordt de pentade gekozen. Om maandtotalen te kunnen berekenen worden zes pentaden samengevat. Nu is bij een aantal maanden het aantal dagen geen veelvoud van vijf. Daarom worden ook perioden van afwijkende duur genomen. Dit is ook om een andere reden gewenst. Ons bereik valt nl. niet samen met de grondlaag boven het grondwater, evenmin met het grondpakket tussen maaiveld en sloot. Er verloopt dus enige tijd voordat water, dat uit ons bereik treedt, in het grondwater of in de sloot is gekomen. Werkt men met maandsommen, dan kunnen fouten ontstaan door water dat juist voor de maandgrens uit ons bereik treedt, maar pas na de maandgrens wordt uitgemalen. Om deze fout te isoleren en eventueel te corrigeren, is het nuttig de laatste periode voor de maandgrens zeer kort te nemen, bijv. slechts twee dagen.

Onze waterbalansvergelijking wordt nu voor een willekeurige korte periode i, dus:

$$N_i + I_i + \Delta W_i = E_i + D_i + \Delta V_i. \qquad 3$$

Het voeren van een doorlopende boekhouding wordt nu mogelijk door ΔV te vervangen door het verschil van V_i (de voorraad op het eind van de balansperiode i) en V_{i-1} (de voorraad aan het begin, dat is dus op het eind van de vorige balansperiode $i - 1 = h$). Dus:

$$\Delta V_i = V_i - V_{i-1} \qquad 4$$

en

$$V_i = V_{j-1} \text{ en } V_{i-1} = V_h. \qquad 5$$

We willen nu steeds V_i als onbekende beschouwen. We gaan uit van een bekende of geschatte waarde voor de voorraad aan het begin van de gehele boekhouding (V_0). Op het eind van een natte herfst en winter is de grond op veldcapaciteit. Dan is

$$V_0 = B_0. \qquad 6$$

We berekenen V_1 uit de vergelijking van de 1e balansperiode, daarna V_2 uit de vergelijking van de 2e periode en zo verder. Als vergelijking gebruiken we (3) en (4), gecombineerd:

$$V_i = V_{i-1} + N_i + I_i + \Delta W_i - E_i - D_i \qquad 7$$

Alle andere termen in het rechter lid van de balansvergelijking moeten dus bekend zijn of redelijk juist kunnen worden geschat. We zullen ze achtereenvolgens bespreken.

2.2 De termen van de waterbalans

De term V_{i-1} uit vergelijking (7) is bekend: het is de uitkomst van de vergelijking uit de vorige periode (zie (5)).

Bij de neerslag (N) moet men om twee dingen denken. Het bedrag moet op de balansperiode betrekking hebben (de afleesdatum valt 1 dag na de regendatum). Verder behoeft de neerslaghoeveelheid van regenmeters op 40 cm in open terrein een correctie, omdat niet alle neerslag wordt opgevangen als gevolg van de wind.

De inzijging (I) is het binnentreden van water van onderen in ons bereik door capillair transport. Dit is een functie van het spanningsverval, de diepte van het grondwater en het vochtgeleidingsvermogen van de grond. Uit berekeningen voor de

Rottegatspolder bleek dat de inzijging per etmaal kan worden voorgesteld door de volgende functie

$$I_i/n = f_4(L_{i-1}) \qquad 8$$

waarin n het aantal etmalen in de periode i aangeeft terwijl L_{i-1} aangeeft hoeveel water op het tijdstip $i - 1$ aan een grond die op veldcapaciteit was, is onttrokken, dat is dus de ontstane leegte (L) uitgedrukt in mm water. Deze functie is gebaseerd op de onderstelling dat er een sterke correlatie bestaat tussen enerzijds L_{i-1} en anderzijds de diepte van het grondwater, de vochtspanningsgradiënt en het capillair geleidingsvermogen. De functie kan uit een berekening voor een droog jaar worden gevonden.

Wanneer in een polder kwel optreedt kan deze worden opgevat als een constante waterstroom die in de winter het grondwater doet stijgen en in de zomer de daling van het grondwater verzwakt.

In de Schroewegpolder was kwel. Deze komt in (7) als I_i voor. We hebben de kwel op een constante waarde geschat. Of deze in de zomer wel constant mag worden genomen, kan niet met zekerheid worden gezegd. Men zou zich nl. kunnen voorstellen dat ons bereik kan worden aangevuld met een hoeveelheid water die naar het midden van de zomer toeneemt doordat dan het potentiaalverval gewoonlijk groter wordt en de wortels het grondwater meer naderen. Gemakshalve is echter de inzijging I_i constant aangenomen.

Nu volgt in vergelijking (7) ΔW_i. Wanneer wortels grond binnendringen die op veldcapaciteit is, is $\Delta W_i = \Delta B_i$. Dit is het geval wanneer op het eind van de voorafgaande periode $i - 1$ de vochtvoorraad (V_{i-1}) en de hoeveelheid onttrokken water (L_{i-1}) samen juist aan de hoeveelheid B_{i-1} gelijk zijn. We schrijven dus

$$\Delta W_i = \Delta B_i \text{ als } V_{i-1} + L_{i-1} = B_{i-1}. \qquad 9$$

De samenhang tussen B_{i-1} en ΔB_i wordt gegeven door

$$\Delta B_i = B_i - B_{i-1}. \qquad 10$$

De grootte van B is afhankelijk van de tijd. Bij een onbegroeide bodem noemen we het bereik B_b en nemen er een geschatte constante waarde voor aan. Bij een gewas breiden na de kieming de wortels zich uit en vergroten met de tijd het bereik. Voor zover het de wortels betreft noemen we het B_w.

Er is pas een toename van B wanneer B_w groter wordt dan B_b. Geleidelijk bereikt B_w een maximum. Gaan de wortels afsterven dan zullen ze waarschijnlijk nog enige tijd water kunnen transporteren, maar vroeger of later neemt B_w geleidelijk af tot $B_w = B_b$. Wordt een land geploegd voordat dit het geval is, dan zal vermoedelijk B_w plotseling terugvallen tot B_b.

In het algemeen is dus

$$B = f_1(t). \qquad 11$$

Wanneer er in het voorjaar nog oude geleegde ruimte in de grond is, kan het voorkomen dat de wortels deze vroeg of laat bereiken. Treden de wortels binnen in geheel geleegde grond dan is $\Delta W_i = 0$. Dit is het geval wanneer $V_{i-1} + L_{i-1}$ gelijk of groter is dan het bereik op het eind van de periode i (B_i). Negatief kan ΔW_i niet worden. Wel is een tussengeval mogelijk, nl. dat ΔW_i een waarde heeft tussen 0 en ΔB_i in. Dit is het geval wanneer $V_{i-1} + L_{i-1}$ een waarde heeft tussen B_{i-1} en B_i. Dit alles wordt weergegeven door de vergelijking

$$\Delta W_i = B_i - (V_{i-1} + L_{i-1}) \text{ met de beperking dat } \Delta W_i \geq 0. \quad 12$$

Men ziet dat de voorraad (V) en de onttrokken hoeveelheid water (L) onafhankelijk van elkaar zijn gedefinieerd. V_i valt steeds binnen het bereik B_i en staat dus bloot aan verdamping. L_i echter kan groter zijn dan B_i en alleen in het geval dat buiten het bereik alle grond op veldcapaciteit is, is $V_i + L_i = B_i$. Het drainageproces (en ook de capillaire opstijging) worden niet rechtstreeks door de verdamping beïnvloed, maar wel door de leegte. Daarom zijn deze processen uitsluitend afhankelijk gesteld van L en niet van V.

De verdamping (E) wordt als volgt berekend. In het algemeen kan men stellen dat E twee soorten waarden kan hebben: E kan potentieel zijn (E_P) of subpotentieel (E_S). Potentieel is de verdamping van het gewas en de grond of van de grond alleen, wanneer maximaal water wordt afgegeven volgens meteorologische gradiënten. In dit geval kan E_P uit weerkundige formules worden berekend. $E = E_P$ wanneer er genoeg water voorhanden is, d.w.z. als

$$V_{i-1} + N_i + I_i + \Delta W_i \geq E_{P,i}.$$

De cijfers wijzen uit of aan deze voorwaarde wordt voldaan.

Is echter

$$V_{i-1} + N_i + I_i + \Delta W_i < E_{P,i}$$

dan is E subpotentieel (E_S) en wordt uit (7) berekend, waarbij wordt aangenomen dat $D_i = 0$ en $V_i = 0$. Dit betekent dat wordt aangenomen dat er geen drainage is en dat al het beschikbare water wordt verbruikt. We vatten een en ander samen in de volgende vergelijkingen:

$$E_i = E_{P,i} \text{ als } V_{i-1} + N_i + I_i + \Delta W_i \geq E_{P,i} \quad 13$$
$$E_i = E_{S,i} \text{ als } V_{i-1} + N_i + I_i + \Delta W_i < E_{P,i}. \quad 14$$

De aanname dat bij subpotentieel verbruik al het voorhanden water wordt verbruikt is in overeenstemming met de opvatting van VEIHMEYER en HENDRICKSON, die menen dat het onttrekbare water in de grond voor de plant steeds even gemakkelijk onttrekbaar is tot het op is. Deze opvatting is weliswaar niet in overeenstemming met de uitkomsten van proeven van andere onderzoekers, maar hij maakt de berekening eenvoudig. Trouwens, in onze aanname wordt slechts ondersteld dat al het onttrekbare water *binnen het bereik* van de wortels geheel kan worden verbruikt, wat nog niet hetzelfde is als al het water *in de bewortelde grondlaag*. Bovendien mogen de componenten neerslag en nieuw bereikt water als gemakkelijk onttrekbaar worden opgevat. Zou ons uitgangspunt toch niet geheel juist zijn, dan kan hierdoor in elk geval geen grote fout ontstaan, omdat een eventuele rest water toch in een der volgende pentaden voor het grootste deel zal worden verbruikt. Voor een reeks van enige pentaden (een maand b.v.) zou dit op de uitkomst nauwelijks invloed hebben. Dus

$$E_{S,i} = V_{i-1} + N_i + I_i + \Delta W_i. \quad 15$$

De berekening van $E_{P,i}$ gebeurt met

$$E_{P,i} = g_i\, E_{\pi L,i}. \quad 16$$

Hierin is g_i de gewasfactor in de betreffende pentade en $E_{\pi L,i}$[2] de verdamping van een zeer korte gesloten grasvegetatie die optimaal van water wordt voorzien, berekend voor de plaats L van het object.

$E_{\pi L,i}$ wordt berekend uitgaande van de aanname dat het deel van de totale maandverdamping dat in een korte periode valt goed benaderd wordt door de maandverdamping ($E_{\pi L,m}$) te vermenigvuldigen met de fractie die de globale kortgolvige straling in die korte periode (R_i) uitmaakt van de globale kortgolvige straling in de maand (R_m). De stralingsgegevens worden bij gebrek aan die van plaats L van Wageningen genomen.

$$E_{\pi L,i} = R_i . R_m^{-1} . E_{\pi L,m}. \quad 17$$

De maandwaarde van $E_{\pi L}$ wordt afgeleid van de maandwaarde van E_{π} te Wageningen, kortweg $E_{\pi,m}$ genoemd. Dit gebeurt door gebruik te maken van de verhouding van de verdampingen van vrij water resp. voor plaats L en voor Wageningen. Deze waarden worden afgelezen van een isoëvaporetenkaartje van Nederland voor de betreffende maand. Dit wordt getekend met behulp van de waarden van de verdamping van vrij water volgens de volledige formule van Penman die door het K.N.M.I. voor 12 plaatsen in Nederland worden berekend. Dus

$$E_{\pi L,m} = E_{0L,m} . E_{0W,m}^{-1} . E_{\pi,m}. \quad 18$$

Uit (17) en (18) volgt

$$E_{\pi L,i} = E_{\pi,m} . R_i\, R_m^{-1} . E_{0L,m}\, E_{0W,m}^{-1}. \quad 19$$

Voor de berekening van $E_{\pi,m}$ wordt gebruik gemaakt van de volgende formule, empirisch voor Wageningen vastgesteld:

$$E_{\pi,m} = 0{,}0103\, R_m\, \delta(\delta + \gamma)^{-1} - 3{,}7 \text{ mm maand}^{-1}. \quad 20$$

De straling R_m is uitgedrukt in cal cm^{-2} maand^{-1}. Hierbij geeft δ aan de maximale waterdampdruk bij een bepaalde temperatuur in mm kwikdruk per °C en γ stelt de psychrometerconstante voor.

De factor g geeft aan hoe vaak E_P van een gewas als gevolg van zijn dichtheid, hoogte, buigzaamheid, structuur en kleur meer verdampt dan E_{π}. Voor kale grond die aan de oppervlakte steeds vochtig is, geldt (MAKKINK. 1957):

$$E_P = 1{,}55\, E_{\pi} = E_0. \quad 21$$

Dit geldt ook voor een volwassen, nog groen graangewas (MAKKINK, 1957-'59). Voor

[2] Vroeger (MAKKINK, 1957; MAKKINK, 1957-'59) werd in plaats van π de index p (kleine p) geschreven, waardoor E_p gemakkelijk kon worden verward met E_P.

een bepaald perceel varieert g dus met de tijd als gevolg van de landbouwkundige toestand van het veld zodat

$$g = f_2(t). \qquad 22$$

Deze kromme kan men aan de hand van gegevens over de bebouwing en de gewasontwikkeling schattenderwijs tekenen.

Hoe berekent men de drainage (D)? D kan 0 zijn of positief. $D = 0$ als de leegte in de grond gelijk blijft of groter wordt, dat wil zeggen als er geen water voor drainage in aanmerking komt. Dus

$$D = 0 \text{ als } N_i + I_i - E_i \leq 0. \qquad 23$$

Is echter $N_i + I_i - E_i > 0$ dan kan er blijkens berekeningen al drainwater uittreden nog voordat de grond op veldcapaciteit is, dus voordat $L_i = 0$. Het bleek verder dat zelfs bij een geringe voorraad en een gering neerslagoverschot drainage kan optreden.

Nu kan men twee verschillende onderstellingen maken: de grond houdt een deel van het zakwater vast naar gelang er plaats voor is; het overschot draineert. Men kan dit weergeven met

$$D_i = (N_i + I_i - E_i) - f\overline{L}_i, \qquad 24$$

waarin f een factor is tussen 0 en 1 en L_i de gemiddelde leegte in periode i voorstelt.

De andere onderstelling is dat het drainerende water een fractie is van wat voor draineren in aanmerking komt en dat de grootte van deze fractie een functie is van de leegte. Dit wordt voorgesteld door

$$D_i = d\,(N_i + I_i - E_i) \qquad 25$$

en

$$d = f_3(\overline{L}_i). \qquad 26$$

Bij $\overline{L}_i = 0$ wordt in (24) $D_i = N_i + I_i - E_i$ en in (26) moet d dan gelijk aan 1 gekozen zijn. In (24) wordt $D_i = 0$ wanneer $f\overline{L}_i = N_i + I_i - E_i$. In (25) moet daartoe d bij een bepaalde waarde van $\overline{L}_i$ op 0 gesteld zijn.

Het verschil tussen de beide benaderingen is, dat bij de eerste het opnemen van het water door de lege grond als een snel proces wordt aangenomen in vergelijking tot het afzakken van het water; de gehele fractie van het water die door de grond kan worden opgenomen, wordt dan inderdaad geabsorbeerd, het overtollige water treedt uit.

Bij de tweede benadering (25) (26) wordt het draineren als een snel verlopend proces gezien vergeleken met de absorbtie; een deel van het water is al door de grond heengelopen voor deze tijd heeft gehad het te absorberen. Hoe meer geleegde ruimte, hoe kleiner de waterfractie die aan de absorbtie ontsnapt; hoe meer water voor afzakken beschikbaar is, hoe meer er uittreedt.

Nu is gebleken dat de afvoercijfers van het jaar 1952 met de uitkomsten van de berekening volgens de tweede benadering overeenkomen. Dit betekent dat het percoleren in vergelijking tot het absorberen snel gaat. We maken daarom gebruik van (25) en (26).

Of het vullen van geleegde ruimte berust op capillaire absorbtie of op hydratie wordt hier in het midden gelaten. De formules voor de drainage in onverzadigde grond (25) en (26) wijzen erop dat het proces niet alleen van capillaire aard is.

De gemiddelde leegte in een periode i ($\overline{L}_i$) stellen we gelijk aan de leegte op het einde van de vorige periode verminderd met de helft van het water dat in periode i de geleegde ruimte gaat vullen, $\frac{1}{2}(N_i + I_i — E_i)$. Hierbij wordt het drainwater gemakshalve buiten beschouwing gelaten, omdat deze hoeveelheid nog niet bekend is op het moment van de berekening van $\overline{L}_i$. Hiermee wordt een iteratieve berekening vermeden.

$$\overline{L}_i = L_{i-1} — \tfrac{1}{2}(N_i + I_i — E_i) \text{ met de beperking dat } \overline{L}_i \geq 0. \qquad 27$$

Nu ziet men uit figuur 3 dat als $\overline{L}_i = 0$, $d = 1$ wordt en dus het gehele bedrag $(N_i + I_i — E_i)$ uittreedt. Dit is volgens (27) het geval wanneer $L_{i-1} = \frac{1}{2}(N_i + I_i — E_i)$, dus wanneer aan het begin van de periode de grond nog niet vol is. Dit betekent dat als al het in aanmerking komende water uittreedt, de grond niet vol kan worden, dus wanneer toevallig $\overline{L}_i = 0$. Hieraan is b.v. tegemoet te komen door in dit geval D_i op een andere manier te berekenen, zodat de grond wel vol kan worden. Dit gebeurt b.v. met de vergelijking

$$D_i = (N_i + I_i — E_i) — L_{i-1} \text{ als } (N_i + I_i — E_i) > 0 \text{ en } \overline{L}_i = 0. \qquad 28$$

We moeten nu ook (25) van voorwaarden voorzien en schrijven

$$D_i = d(N_i + I_i — E_i) \text{ als } (N_i + I_i — E_i) > 0 \text{ en } \overline{L}_i > 0. \qquad 29$$

Hoe wordt nu L gevonden, nodig voor de berekening van $\overline{L}$ uit (27)? Onafhankelijk van V en B geldt onder alle omstandigheden dat de leegte gelijk is aan die van de vorige periode min de hoeveelheid water die erin komt plus wat uittreedt:

$$L_i = L_{i-1} — (N_i + I_i — E_i) + D_i. \qquad 30$$

Deze vergelijking voert via alle voorafgaande perioden terug tot de waarde van L_0, aan het begin van de hele waterboekhouding. Het is het beste deze te beginnen op een tijdstip dat men er zeker van kan zijn dat $L_0 = 0$, dus na een regenrijke herfst en winter, die de gehele grond weer op veldcapaciteit hebben gebracht.

Een gegeven dat men bij de berekening niet nodig heeft, maar dat wel praktische waarde heeft, is het watertekort T. Het is gemakkelijk te berekenen als het verschil van de hoeveelheid water die het gewas onder optimale omstandigheden verbruikt, en die het in werkelijkheid verbruikt. Dus het verschil tussen behoefte en verbruik.

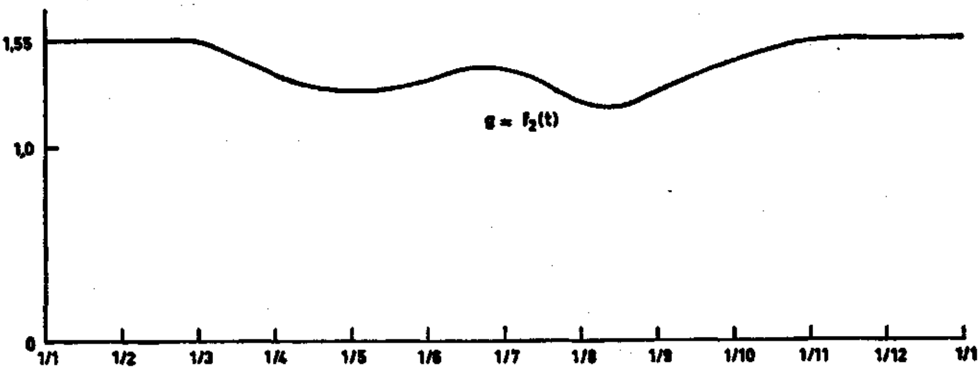
$$T_i = E_{P,i} — E_{S,i}. \qquad 31$$

2.3 De numerieke waarden en functies

De regenval werd ontleend aan het station Middelburg. In verband met de vrij sterke wind werd een vermenigvuldigingsfactor 1,08 toegepast (Makkink, 1962).

De kwel is op 1 mm per pentade geschat. Een bevredigende berekening van de

FIG. 1. Tijdkromme van de gewasfactor g. In de wintermaanden heeft de kromme alleen op kale grond en grasland betrekking.

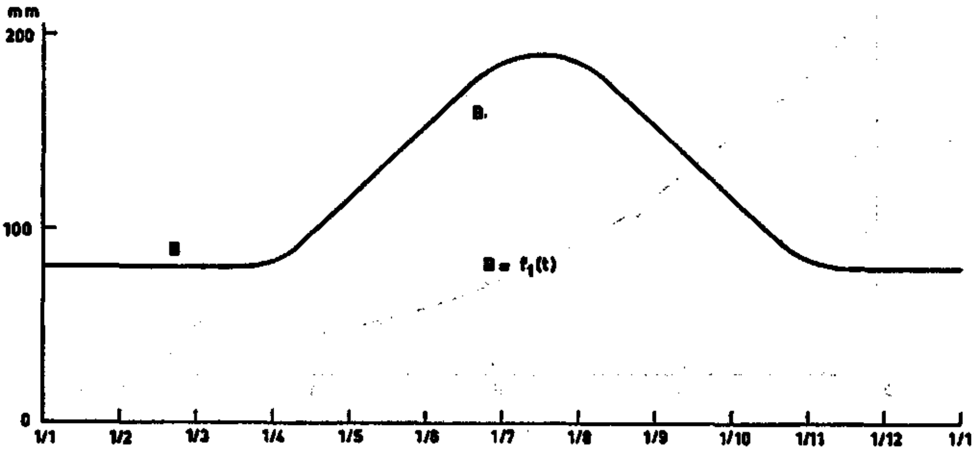


Time-curve of the crop-factor g. In winter months the curve concerns bare soil and grassland only.
Tempolinio de la plantara faktoro g. En la vintraj monatoj la linio koncernas nur nudan teron kaj greskampojn.

kwel kon niet worden verkregen. Misschien was een waarde van 2 mm per pentade juister geweest.

De functies f_1 en f_2 (vergelijkingen (11) en (22)) werden vastgesteld aan de hand van de mededeling van ir. J. A. VAN 'T LEVEN[3] dat ongeveer 1/3 van de polder met gras bedekt was. Verder werd aangenomen dat ook 1/3 met hakvruchten en 1/3 met

FIG. 2. Tijdkromme van het bereik B. In de wintermaanden heeft de kromme alleen op kale grond en grasland betrekking.



Time-curve of the root-factor B (reach capacity). In winter months the curve concerns bare soil and grassland only.
Tempolinio de la atingo B. En la vintraj monatoj la linio koncernas nur nudan teron kaj greskampojn.

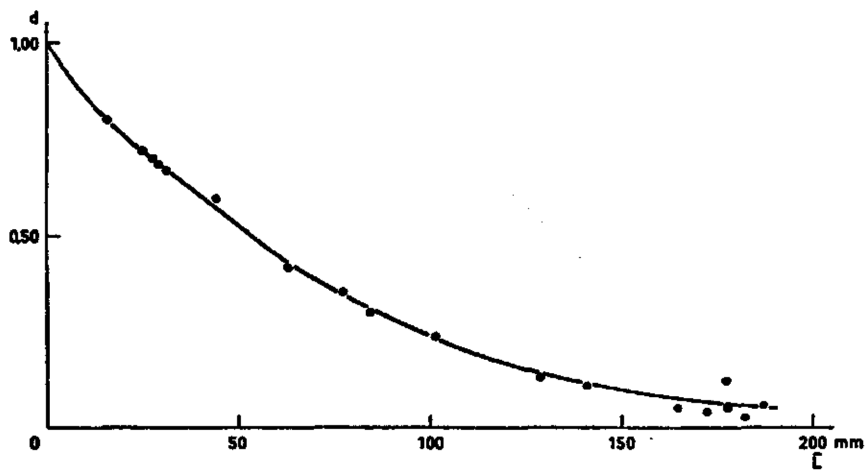
[3] Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding te Wageningen.

granen werd bebouwd. Voor elke belangrijke gewassoort werd een tijdkromme voor g ontworpen. Ze werden gemiddeld volgens hun geschatte areaal (fig. 2). Hetzelfde werd voor B gedaan. Nu werd voor een nat jaar (1952) en een droog jaar (1959) een berekening uitgevoerd. Deze leidden ertoe dat de kromme voor B moest worden gewijzigd tot die van figuur 1.

Begin 1961 werd van de fiets af een inventarisatie van de gewassen gemaakt, waarbij de oppervlakten van kavelonderdelen werden geschat. Het bleek dat er 24 % grasland was, 13 % erwten en uien, 31,5 % aardappels en bieten en 31,5 % granen en koolzaad. Hoe de gewasbezetting in andere jaren is geweest, is niet bekend. De onderstelde verdeling van grasland, hakvruchten en granen in de verhouding 1 : 1 : 1 kan vermoedelijk wel als een redelijke benadering worden beschouwd.

De functie voor de drainage in onverzadigde grond (vergelijking (26)) werd afgeleid aan de hand van een voorlopige berekening van 1952. In de maanden dat afvoer werd waargenomen, werd deze verdeeld over de pentaden waarin volgens de berekening drainage waarschijnlijk was. De verdeling vond plaats naar rato van de voor drainage in aanmerking komende hoeveelheid water $N_i + I_i - E_i$. De zo verkregen pentadecijfers werden uitgedrukt als een fractie van deze hoeveelheid water $N_i + I_i - E_i$. Deze fracties werden uitgezet tegen de gemiddelde geleegde ruimte die volgens de voorlopige berekening aanwezig moest zijn. Door een iteratie werd de verkregen kromme verbeterd tot die van fig. 3.

FIG. 3. Kromme die aangeeft hoe de drainfractie d afhangt van de gemiddelde lege ruimte $\bar{L}$ in de grond. De punten werden gevonden bij een voorlopige berekening over 1952.



Curve showing how the drainage fraction depends on the average moisture deficit $\bar{L}$ in the soil. The dots have been found by a provisional calculation for 1952.

Linio montranta kiel la drenfrakcio d dependas de la mezuma malplena spaco $\bar{L}$ en la tero. La punktoj estas trovitaj el provizora kalkulo pri 1952.

3 DE UITVOERING VAN DE BEREKENING

Er wordt achtereenvolgens gebruik gemaakt van de volgende formules en figuren: (7), (12), (11) en fig. 1,(13), (14), (16), (19), (20), (22) en fig. 2, (15), (23), (27), (25), (26) en fig. 3, (29), (30) en (31).

In tabel 1 zijn getallenvoorbeelden gegeven van de bewerking voor verschillende gevallen. De waarden van de grootheden die voor de vergelijking van de gevallen niet van belang zijn, zijn gelijk gehouden of slechts gewijzigd voor zover voor de demonstratie nodig was (n, E_{π}, g, N, I, B en ΔW).

Geval 1 betreft een winterperiode met condensatie (negatieve verdamping), een constant blijvend bereik en een leegte buiten het bereik. Deze leegte neemt door het neerslagoverschot af.

Geval 2 gaat over een bereik dat toeneemt en vol genoeg is om potentiële verdamping mogelijk te maken. Er is geen leegte buiten het bereik.

In geval 3 valt er minder regen, waardoor drainage achterwege blijft, maar de verdamping nog niet beperkt wordt.

Bij geval 4 is een kleine voorraad water voorhanden. Er valt echter genoeg regen om potentiële verdamping mogelijk te maken. Zelfs treedt er drainage op in de niet verzadigde grond.

Geval 5 wijkt hiervan af, doordat de regenval gering is, zodat de verdamping subpotentieel wordt en er een tekort optreedt. De grond wordt geheel geleegd en er treedt geen drainage op.

Geval 6 komt in hoofdzaak met geval 2 overeen, maar vertoont een afnemend bereik. Er is genoeg vocht in de grond om potentieel verbruik mogelijk te maken. Er is drainage, hoewel de grond niet op veldcapaciteit is, noch binnen, noch buiten het bereik.

Geval 7 verschilt hiervan doordat er weinig neerslag valt, zodat er geen drainwater uittreedt en de leegte toeneemt. Dit geval lijkt op geval 3.

Geval 8 komt met geval 4 overeen, maar het bereik neemt af.

Geval 9 komt op dezelfde manier overeen met geval 5.

In geval 10 is er nog een kleine leegte buiten het bereik, die door het neerslagoverschot wordt opgevuld.

Geval 11 laat zien dat bij geringe neerslag deze leegte niet kan worden aangevuld en er zelfs een tekort optreedt.

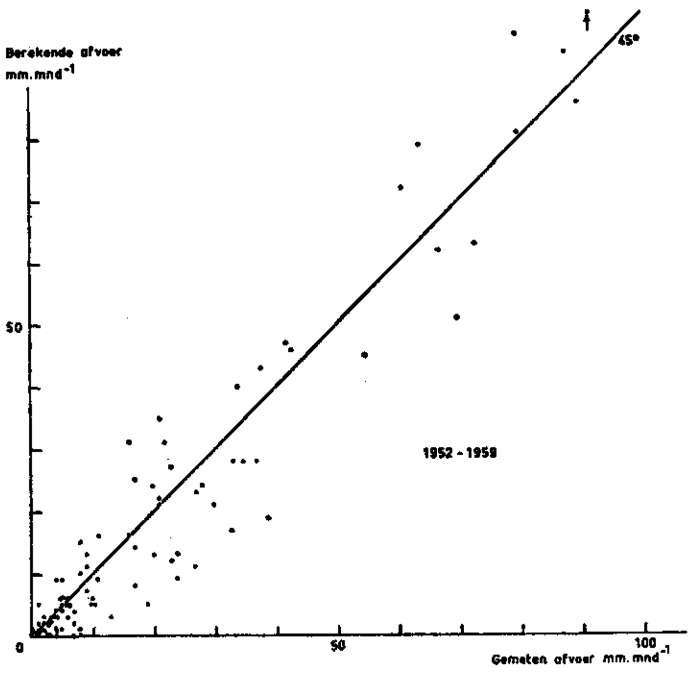
In geval 12 is de voorraad groot, er is geen lege ruimte buiten het bereik en de grond wordt geheel door het neerslagoverschot aangevuld. Bovendien treedt er nog drainage op.

4 DE UITKOMSTEN

De berekening voor alle 8 jaren leverde bevredigende uitkomsten. Er waren echter enige opvallende afwijkingen. Een sterk afwijkend punt betrof februari 1953, dat veel te laag berekend was. Vermoed werd dat toen bij de stormramp extra water in de polder was gekomen, langs andere weg dan de kwel. Dit bleek het geval geweest te zijn. Bij fort Rammekens kwam zeewater binnen, dat het polderpeil 1,35 m deed stijgen boven het normale. Bij navraag ter plaatse vernam ik dat enige delen van de Schroewegpolder onder water kwamen te staan en het water hier en daar over de weg stroomde.

Ook de regenmeting kan afwijkingen hebben veroorzaakt, doordat de regenval in de polder afweek van die op het station Middelburg. Inderdaad valt de regen op Walcheren niet steeds homogeen. Hoewel er gewoonlijk te Vlissingen evenveel regen per decade wordt gemeten als te Middelburg kwamen in 1955 en 1956 afwijkingen voor ten gunste van Vlissingen tot een bedrag van 16 mm per decade.

FIG. 4. De berekende afvoer (drainage) vergeleken met de gemeten afvoer, uitgedrukt in mm per maand. De lijn met helling 1 is ingetekend.



Calculated drainage quantities compared with measured ones, expressed in mm per month. The line of unity slope has been drawn.

La kalkulita elfluo (drenakvo) kompare kun la mezurita elfluo, esprimita en mm po monato. La linio de dekliveco 1 estas endesegnita.

Verder kwamen er 4 gevallen voor dat in een maand een te hoog afvoerbedrag werd berekend, terwijl in de opvolgende maand het bedrag ongeveer evenveel te laag berekend was. Het bleek dat hiervoor regen aansprakelijk kon worden gesteld die op de laatste 1 of 2 dagen voor de maandgrens viel. Daarom werd de berekende drainage op de laatste 2 dagen van alle maanden naar de volgende maand overgebracht. De drainage van de laatste 2 dagen der maand werd berekend door de drainage van de laatste pentade te vermenigvuldigen met de verhouding tussen de vermindering van L in de laatste 2 dagen en die in de pentade. Voor deze verhouding wordt maximaal 1 toegelaten. De over te brengen drainage bedraagt nu

$$D_t = (L_{p-t} - L_p)(L_{p-1} - L_p)^{-1} D_p. \qquad 32$$

Hierin is D_t de drainage in de laatste dagen van de maand, D_p in de laatste periode (pentade), L_p de lege ruimte op het eind van de maand, L_{p-1} aan het begin van de laatste periode van de maand, en L_{p-t} aan het begin van de laatste dagen van de maand. Maakt men de laatste periode van elke maand b.v. slechts 2 dagen lang dan wordt D_t onmiddellijk verkregen.

Door deze correctie werden de meeste afwijkingen opgeheven of verkleind, een klein getal werd echter groter.

Vergelijkt men alle berekende met de gemeten maandwaarden, dan blijkt een tamelijk grote overeenstemming (fig. 4). Omdat de spreiding met de grootte der waarden toeneemt, is de correlatie-coëfficiënt berekend uit de logaritmen van de getallen + 1 (de 1 is toegevoegd om de 0-waarden niet ongebruikt te moeten laten). De aldus berekende correlatiecoëfficiënt bedraagt 0,91, terwijl voor een betrouwbaarheidsgebied van 95 % r 0,87 — 0,95 is. Dit betekent dat 82 % van de waarnemingen door de berekening wordt verklaard.

De berekening is voor handbewerking tijdrovend. Het rekenmodel komt voor programmering voor een elektronische rekenmachine in aanmerking. Hierdoor wordt ook de mogelijkheid geopend de invloed na te gaan, die een gewijzigde vorm van de gebruikte functies (krommen) op het resultaat (de correlatiecoëfficiënt) heeft.

SUMMARY

In this article a model of a continuous water book-keeping has been given to be able to calculate for a cropped area all magnitudes of the water balance equation for short periods, when data are available on precipitation, potential evapotranspiration of a standard grass vegetation (or the evaporation of free water), the crops present and their development in time. In addition 4 functions have to be estimated from other sources or from provisional partial calculations: 2 time functions, one of a crop factor concerning top development and one of a root factor, and 2 functions with regard to soil moisture, namely of drainage in unsaturated soil and of capillary rise. A correlation coefficient of 0.91 between calculated and observed monthly discharge data of 8 years has been found for a Dutch polder.

The authors are willing to send a complete translation in Esperanto to any institute requiring for it.

RESUMO

Modelo estas kunmetita por kalkuli la diversajn terminojn de la akvobilanca ekvacio de kultivataj areoj laŭ kontinua librotenado pri akvo dum sinsekvaj mallongaj periodoj. Ĉiuj grandoj estas esprimataj en mm. La akvostokon atingeblan por la vaporiga forto de la atmosfero je la fino de la mallonga periodo i, (V_i), oni kalkulas el ekvacio (7) (V_{i-1} akvostoko je la fino de la antaŭa mallonga periodo, N falaĵo, I ensuĉo de malsupre, (ΔW kvanto de kroma akvo atingata sekve de kresko de la radikaro, E vaporiĝo, D eliĝanta drenakvo). En la traktita kazo de la poldero „Schroeweg'' I estis tenata konstanta je taksita valoro pro ĉeesto de fontakvo. (En kazo de kapilara leviĝo de akvo oni uzu (8) (n nombro da tagoj en la mallonga periodo, f_4 ia funkcio determinota el provizora kalkulo, L kvanto de akvo elĉerpita el la tero ek de la kampkapacito, tio estas la malplenigita spaco esprimita en mm)). ΔW estas kalkulata per (9) (ΔB estas la kroma akvokvanto atingata en tero je kampkapacito sekve de la kresko de la radikaro. ΔB estas trovebla el (10)). B oni legas el tempolinio (11) (figuro 1), kiun oni devas taksi surbaze de donitaĵoj pri la kultivataj plantoj. Se ankoraŭ restas malplenigita tavolo en la tero el antaŭa sezono oni uzas anstataŭ (9) ekvacion (12). La vaporiĝo estas potentiala (E_P) aŭ subpotenciala (E_S), depende de la akvokvanto disponebla ((13) kaj (14)). Estas supozite ke en kazo de subpotenciala vaporiĝado, ĉiom da disponebla akvo estas vaporiĝanta. E_P estas kalkulata per (16) (g vegetacia faktoro el (22), taksenda surbaze de la disvolviĝo de la vegetacio (fig. 2); $E_{\pi L}$ potenciala vaporiĝo de fermita tre malalta gresvegetacio optimume provizata de akvo en la sama geografia loko). $E_{\pi L}$ estas kalkulata per (17) en kiu monatvaloro (indekso m) estas reduktita surbaze de la totala mallongonda radiaĵo (R). Oni trovas la lokan $E_{\pi L,m}$ per (18) el $E_{\pi,m}$ en Wageningen, aplikante la proporcion inter la vaporiĝo de libera akvo (E_0) en la sama geografia loko kaj en Wageningen. Por $E_{\pi,m}$ validas (20) (δ la deklivtangento de la linio de la maksimuma

vaporpremo kontraŭ la temperaturo en °C, γ la psikrometra konstanto, same kiel δ esprimita en mm Hg po °C. R estas esprimita en kalorioj po cm² po monato).

La kvanto de drenakvo povas esti 0 (23) aŭ pli. En la lasta kazo (28) aŭ (29) estas uzita, depende de la kondiĉoj. Tiuj ekvacioj estas necesaj, ĉar okazas jam drenado se la tero ne jam estas je kampkapacito. d estas funkcio (26) trovita el provizora kalkulo pri seka somero (fig. 3). La grando $\bar{L}$ estas enkondukita por kalkuli d. Ĝi estas proksimumige kalkulata per (27). L_i oni kalkulas per (30).

Fine oni ankaŭ povas trovi la akvomankon (T) per (31). En tabelo 1 diversaj fikciaj ekzemploj estas donitaj por montri la kalkulprocedon.

La monataj valoroj de 8 jaroj estas kalkulitaj. Inter ili kaj la observitaj estas korelacia koeficiento de 0,91 (je fidindeco de 95% 0,87 ĝis 0,95) (fig. 4).

La aŭtoroj bonvolas sendi kompletan tradukon en Esperanto al iu instituto kiu bezonas ĝin.

LITERATUUR

1. Makkink, G. F.	1957	Ekzameno de la formulo de Penman. *Netherl. J. Agr. Sc. 5* (1957): 290–305.
2. ——	1957-'59	Berekening van de evapotranspiratie van het drainagelysimeterveld en de Rottegatspolder. *Werkcommissie voor verdampingsonderzoek, Verslagen* 11 (1957): 31–40, 12 (1958): 59–80 en 13 (1959): 58–67.
3. ——	1962	Vijf jaren lysimeteronderzoek, *Versl. Landbouwk. Onderz.* 68,1 (1962).
4. Penman, H. L.	1948	Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc. A. 193* (1948): 120–145.
5. ——	1956	Evaporation: an introductory survey. *Netherl. J. Agric. Sci. 4* (1956): 9–29.

TABEL 1 De rekenprocedure gedemonstreerd aan 12 fictieve gevallen. In de kop hebben cijfers zonder haken

		1	2	3	4	5	6	7	8
geval *case* *kazo*	periode *period* *periodo*	n	$E_{\pi L}$	g	E_P	N	I	B	ΔW
			(19)(20)	(22)	(16)			(11)	(12)
				fig. 2	2 x 3			fig. 1	7 — (V_{i-1} + L_{i-1}) min. 0
1	i-1							80	
	i	5	-0,6	1,50	-0,9	24,0	1	80	0
2	i-1							124	
	i	5	10,7	1,50	16,0	24,0	1	129	5,0
3	i-1							124	
	i	5	10,7	1,50	16,0	5,0	1	129	5,0
4	i-1							124	
	i	5	10,7	1,50	16,0	24,0	1	129	5,0
5	i-1							124	
	i	5	10,7	1,50	16,0	5,0	1	129	5,0
6	i-1							132	
	i	5	10,7	1,50	16,0	24,0	1	127	0
7	i-1							132	
	i	5	10,7	1,50	16,0	5,0	1	127	0
8	i-1							132	
	i	5	10,7	1,50	16,0	24,0	1	127	0
9	i-1							132	
	i	5	10,7	1,50	16,0	5,0	1	127	0
10	i-1							124	
	i	5	10,7	1,50	16,0	24,0	1	129	4,5
11	i-1							124	
	i	5	10,7	1,50	16,0	5,0	1	129	0
12	i-1							124	
	i	5	10,7	1,50	16,0	24,0	1	129	5,0

TABLE 1 *Calculation procedure, demonstrated for 12 fictive cases. Figures without brackets in the caption indicate the columns,*

TABELO 1 *La kalkulprocedo, demonstrita per 12 fikciaj kazoj. En la supro numeroj sen krampoj indikas la kolonojn, numeroj* betrekking op de kolommen, cijfers tussen haken verwijzen naar de formules in de tekst.

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
verdampbaar *evaporatable* *vaporighiva*	E	over *remainder* *restajho*	toe- of afname *increase or decrease* *pliigho aŭ malpliigho*	$\overline{L}$	d	D	V	L	T
	(13)(14)			(27)	(26)	(25)(23)	(7)	(28)	(31)
$5 + 6 + 8 + V_{i-1}$	4 als $9—4 \geqslant 0$ 9 als $9—4 < 0$	9–10	$5 + 6 — 10$	L_{i-1} $\frac{1}{2}$ 12 min. 0	13 en fig. 3	12×14 als $13 > 0$ min. 0 $12—L_{i-1}$ als $13 = 0$ min. 0	$11 — 15$ max. 7 min. 0	$L_{i-1} — 12 + 15$ min. 0	$4 — 10$ min. 0
105,0	–0,9	105,9	25,9	31,2	0,67	17,4	80,0 80,0	44,2 35,7	0
117,3	16,0	101,3	9,0	31,2	0,67	6,0	87,3 95,3	36,7 33,7	0
98,3	16,0	82,3	–10,0	41,7	0,58	0	87,3 82,3	36,7 46,7	0
32,3	16,0	16,3	9,0	117,2	0,17	1,5	2,3 14,8	121,7 114,2	0
13,3	13,3	0	–7,3	125,4	0,15	0	2,3 0	121,7 129,0	2,7
112,3	16,0	96,3	9,0	98,2	0,25	2,3	87,3 94,0	102,7 96,0	0
93,3	16,0	77,3	–10,0	107,7	0,20	0	87,3 77,3	102,7 112,7	0
27,3	16,0	11,3	9,0	183,2	0,06	0,5	2,3 10,8	187,7 179,2	0
8,3	8,3	0	–2,3	188,9	0,05	0	2,3 0	187,7 190,0	7,7
31,8	16,0	15,8	9,0	117,7	0,17	1,5	2,3 14,3	122,2 114,7	0
12,3	12,3	0	–6,3	126,2	0,15	0	6,3 0	123,0 129,3	3,7
153,8	16,0	137,8	9,0	0	1,00	8,8	123,8 129,0	0,2 0	0

figures between brackets indicate the formulae mentioned in the text. (Col. 10 en 15: als = *if, col. 14:* en = *and).*

inter krampoj indikas la formulojn en la teksto. (Kol. 10 kaj 15: als = *se, kol. 14:* en = *kaj).*