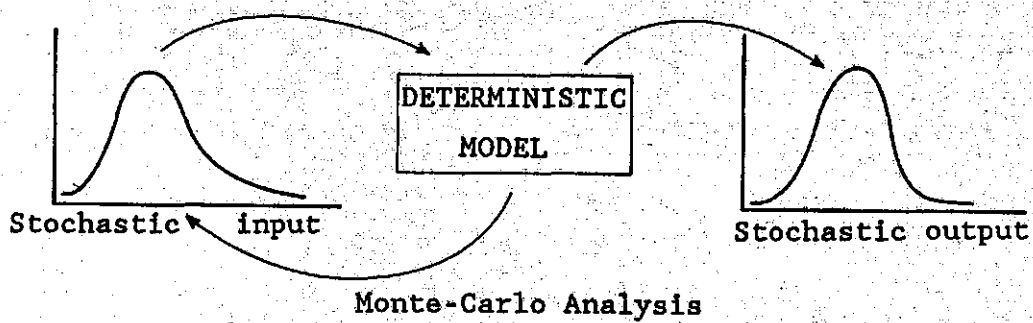


APPLICATION AND EVALUATION OF TECHNIQUES WHICH DESCRIBE THE SPATIAL VARIATION OF SOIL-PHYSICAL AND HYDROLOGICAL VARIABLES: A FINAL REPORT



PUBLICATION 80

HYDRAULICA EN
AFVOERHYDROLOGIE

Landbouwniversiteit

Wageningen

262523

APPLICATION AND EVALUATION OF TECHNIQUES WHICH DESCRIBE THE SPATIAL
VARIATION OF SOIL-PHYSICAL AND HYDROLOGICAL VARIABLES: A FINAL REPORT

(TOEPASSING EN EVALUATIE VAN TECHNIEKEN, WELKE DE RUIMTELIJKE VARIATIE VAN
BODEMFYSISCHE EN HYDROLOGISCHE VARIABELEN BESCHRIJVEN: EINDVERSLAG)

J.W. Hopmans and J.N.M. Stricker

Department of Hydraulics and
Catchment Hydrology
Agricultural University Wageningen, 1987

ACKNOWLEDGEMENT

APPLICATION AND EVALUATION OF TECHNIQUES WHICH DESCRIBE THE
SPATIAL VARIATION OF SOIL-PHYSICAL AND HYDROLOGICAL VARIABLES

Wageningen, October 1987

This study was supported by the Netherlands Foundation for
Earth Science Research (AWON) with funds from the Dutch
Organization for the Advancement of Pure Research (ZWO).

We like to thank the following members of the Advisory Committee,

Prof. Dr. Ir. J. Bouma
Dr. P.A. Burrough
Prof. Dr. Ir. L.C.A. Corsten
Dr. C. Dirksen
Dr. Ir. R.W.R. Koopmans
Dr. Ir. P.A.C. Raats
Ir. J.H.M. Wösten

J.W. Hopmans
J.N.M. Stricker

APPLICATION AND EVALUATION OF TECHNIQUES WHICH DESCRIBE THE SPATIAL VARIATION OF SOIL-PHYSICAL AND HYDROLOGICAL VARIABLES¹

J.W. Hopmans and J.N.M. Stricker²

INTRODUCTION

In hydrology values of parameters and variables are usually inferred from measurements at a small number of points. The question then arises how well the limited number of observations will represent the property to be investigated, taking into account that soil properties may have a large natural variability. It is therefore that techniques have to be found that describe the spatial variability of soil properties (Hopmans, 1986a). Since the study of unsaturated soil-water transport requires knowledge of soil hydraulic properties, the objectives of this investigation were (i) to describe the variability of soil physical properties and (ii) to study the influence of this variability on plant transpiration and other water balance components. Also, before conclusions can be drawn with respect to the transport of solutes through the soil, it is of immediate concern that the transport of water through the unsaturated zone is characterized first. Evaluation of simulation results (transpiration and water balance) is done by comparison with values of transpiration and other water balance components, measured at the experimental hydrological study-area "Hupselse Beek" near Eibergen (Gld). Precipitation, discharge and groundwaterlevels are measured in this watershed for 20 years. The measurement campaign was intensified since 1976 for studies of transpiration and soil moisture.

¹ Final report ZWO-Project nr. 18.27.01

² Department of Hydraulics and Catchment Hydrology. Wageningen Agricultural University. Nieuwe Kanaal 11, Wageningen, the Netherlands.

METHODS

A soil map of the catchment area (650 ha) was made by STIBOKA (Wösten et al., 1983). Forty profile characteristics were described at 2 borings per ha; a sampling density based on a study by Burrough et al. (1983). Consequently, approximately 1300 locations were sampled. The soil data make, together with the sampling location coordinates, a soil morphological database.

Soil physical properties (soil-water characteristic curve and unsaturated hydraulic conductivity curve) were measured according to 3 scenarios or sampling schemes; each scheme being different by the area of the sampled region. In the first sampling scheme, 7 profiles across the 650 ha study area were examined. These 7 sites were chosen in such a way that they included most of the characteristic soil profiles and horizons in the watershed. The results of the soil physical measurements were reported by Wösten et al. (1983). The second sampling scheme comprised an area of 0.5 ha and was chosen such that the 7 sampled sites within this area were all from the same and most important soil map unit. Duplicate samples were taken in the A and B horizon (Brom, 1983). An analysis of the measured variation was carried out by de Graaf (1984). Finally, the highest sampling density was achieved in the third sampling scheme, where six sites were sampled in triplicate within 2 m², and in the A, B, and C horizon (Booltink, 1985). This sampled area was located within the second scheme.

Before analyzing the soil physical data, the soil water characteristic and hydraulic conductivity curves were both fitted to an analytical model. All soil physical data for each soil sample were thereby characterized by only 5 parameters (Hopmans and Overmars, 1986).

The variation in soil hydraulic properties was determined by a normalization or scaling procedure, by which a number of soil-water characteristic or hydraulic conductivity curves is described by a reference curve and a set of scale factor values (Hopmans, 1986b; Hopmans, 1987a). After measurement of soil hydraulic properties at 20 locations (sampling scheme 1, 2 and 3) and at different depths, and after statistical analysis of the scale factor

values, it was concluded that a representative soil profile in the watershed consists of a A-horizon with fixed thickness and a BC and D-horizon with variable thickness (Hopmans and Stricker, 1987). Such a reduction in the number of horizons which are distinct from the soil physical point of view was also found by Wösten et al. (1985).

The transport of water was partly simulated with an existing deterministic computer model (SWATRE). Assuming variability in soil hydraulic properties, this model was modified such that soil hydraulic properties were generated from the frequency distribution, the mean and standard deviation of the set of scale factor values for each distinct horizon (Hopmans, 1987b). A stochastic-deterministic 1-dimensional model is proposed that simulates soil-water flow with both variable soil hydraulic properties and a variable lower boundary condition. Since groundwater levels were measured at approximately 85 locations within the watershed it was also possible to normalize the discharge (q)-groundwater level (h) relationships and to calculate the corresponding set of scale factor values with its frequency distribution, mean and standard deviation (Hopmans, 1987c). From the statistical properties of the sets of scale factor values for the soil hydraulic properties of the various horizons and the lower boundary condition, one realization of output variables is obtained with the deterministic model. Through Monte-Carlo simulations, by which a series of realizations are simulated, a frequency distribution of output variables (transpiration, discharge and groundwater levels) is obtained. With the statistical properties of the soil physical characteristics from the second sampling scheme as input, Cislerova (1987) compared the results of such a Monte-Carlo analysis with the 7 deterministic simulations using the measured values of soil hydraulic properties of the second sampling scheme. The statistical properties of output variables of both types of simulations agreed fairly well.

RESULTS

The influence of different, measured soil hydraulic properties on plant transpiration was studied by van Immerzeel (1985) and Hopmans and van Immerzeel (1986). Simulations with the deterministic model and with the measured soil hydraulic properties of the 7 locations from the second sampling scheme yielded a variation in plant transpiration, which could be explained by differences in hydraulic conductivity of the subsoil.

Adriaanse (1986) and Adriaanse and Hopmans (1987) studied the influence of variable horizon thickness and groundwater level on simulated transpiration. The representative soil hydraulic properties of the soil profile with a fixed A and variable B and D-horizon were determined from measurements of the first sampling scheme, while the average and standard deviation in groundwater levels during the growing season were determined from groundwater levels measured in the whole watershed. Simulations with the deterministic model resulted in too low transpiration values, if compared with measured values. It was concluded that the soil hydraulic properties of the first sampling scheme were not representing the actual variability of the whole watershed.

Application of the stochastic-deterministic model (Monte-Carlo analysis) with a stochastic input of soil hydraulic properties and lower boundary condition, determined from all available soil physical and groundwater level data, will be closer to reality (Hopmans, 1987d). It should be noted, however, that the analytical model in combination with the normalizing procedure will yield soil hydraulic properties that may deviate somewhat from the original measured values.

A Monte-Carlo analysis was carried out for 5 characteristic profiles, each profile being representative for a specific starting depth to clay (D-horizon). After statistical analysis of the measured groundwater levels, it was found that also the $q(h)$ -relationship was dependent on starting depth to clay. Therefore, two normalized $q(h)$ -relations were defined, based upon whether starting depth to clay was above or below the 1.2 m soil depth. The simulation model was validated by comparing measured and simulated

transpiration values and groundwater level depths. There was close agreement in transpiration values for the growing season of 1982, however, the simulation results for 1976 were significantly larger than measured. This difference may be caused by the calibration procedure of the sink-term. The sink-term, which simulates the water uptake by plant roots, was calibrated in another study for only one typical soil profile. A correct calibration should take into account the measured variability in soil horizon thickness and soil physical properties. Further validation included the comparison of the statistical properties of groundwater levels at the end of the growing season. The mean simulated and measured groundwater levels were very close, but the simulated variation was only 40-60% of the measured variation. Most likely, most of the smaller than actual variation was caused by assumptions regarding the variability of input variables. From calculation of the statistical properties of each set of output variables, it was then possible to characterize the Hupselse Beek watershed by 3 soil profile classes. This classification was based on distinct values for simulated transpiration values during the growing seasons of 1976 and 1982 for each class.

CONCLUSION

Through scaling it is possible to describe the spatial variability of soil physical or hydrological variables. Using the statistical properties of sets of scale factor values, the variation in soil-water transport can be simulated with a one-dimensional soil-water transport model. Monte-Carlo simulations resulted in a frequency distribution of plant transpiration for various soil profile classes within the watershed.

Differences between measured and simulated values for the mean and variation in output variables may be minimized by a recalibration of the sink-term and by making variation of input variables as potential transpiration (different landuses), precipitation or rooting depth possible.

Future research will make it possible to compare the 1-dimensional results with a 2-dimensional soil-water system. For the latter problem, it will be necessary to take into account the spatial structure in soil hydraulic properties in the horizontal direction. Another study will investigate whether it is possible to estimate soil physical characteristics from soil morfological information. A technique to be used for that purpose is co-kriging.

TOEPASSING EN EVALUATIE VAN TECHNIEKEN, WELKE DE RUIMTELIJKE VARIATIE VAN BODEMFYSISCHE EN HYDROLOGISCHE VARIABELEN BESCHRIJVEN¹

J.W. Hopmans en J.N.M. Stricker²

INLEIDING

In de hydrologie worden de waarden van parameters en variabelen in modellen veelal afgeleid uit waarnemingen op een klein aantal punten. De vraag die daarbij gesteld kan worden is in hoeverre het beperkt aantal waarnemingen de representativiteit waarborgen, mede op basis van het feit dat bodemeigenschappen een grote natuurlijke variabiliteit kunnen bezitten. In het kader van deze vraagstelling zal daardoor gezocht moeten worden naar technieken welke de ruimtelijke variabiliteit van de te verzamelen puntgegevens beschrijven (Hopmans, 1986a). Aangezien in de bodemvochtstroming kennis van de bodemfysische eigenschappen onontbeerlijk is, is met name onderzoek verricht naar de beschrijving van de variabiliteit van bodemfysische parameters alsmede de invloed van deze variabiliteit op de verdamping en waterbalans. Zo zal ook, voordat conclusies worden getrokken ten aanzien van het transport van opgeloste stoffen door de bodem, het transport van het water door de onverzadigde zone gekarakteriseerd moeten worden. Toetsing en evaluatie van de resultaten (gewasverdamping en waterbalans) vindt plaats op basis van gemeten verdamping en andere waterbalanscomponenten uit het experimentele hydrologisch stroomgebied "Hupselse Beek" te Eibergen (Gld). Reeds gedurende 20 jaar wordt in dit stroomgebied intensief neerslag, afvoer en grondwaterstandsverloop gemeten. Vanaf 1976 werd dit meetprogramma sterk uitgebreid ten behoeve van verdampingsonderzoek en bodemvochtmetingen.

¹ Eindverslag ZWO-project nr. 18.27.01

² Vakgroep Hydraulica en afvoerhydrologie, Landbouwniversiteit Wageningen. Nieuwe Kanaal 11, Wageningen.

METHODIEK

Allereerst is door STIBOKA (Wösten et al., 1983) een bodemkaart van het Hupselse Beek stroomgebied (650 ha) vervaardigd. Bij deze kartering, waarbij in totaal 40 profieleigenschappen beschreven zijn, is gestreefd naar 2 boorpunten per ha zodat ongeveer 1300 locaties in het stroomgebied bemonsterd zijn. Deze bodemkundige gegevens zijn opgenomen in een zgn. "bodemkundig bestand", waarin ook de plaatscoördinaten van alle gekarteerde lokaties vermeld zijn. De karteringsdichtheid van 2 boorpunten per ha is o.a. gebaseerd op een voorstudie door Burrough et al. (1983).

Na de kartering zijn bodemfysische eigenschappen (bodemvochtkarakteristiek en doorlatendheidscurve) gemeten volgens 3 scenario's of bemonsteringsschema's, waarbij elk bemonsteringsschema gekenmerkt wordt door de grootte van het bemonsterde oppervlak. Het eerste bemonsteringsschema werd uitgevoerd door STIBOKA (Wösten et al., 1983). Bodemfysische eigenschappen van de uit de bodemkartering verkregen horizonten werden gemeten op 7 lokaties, waarbij elke lokatie representatief geacht werd voor een gekarteerde bodemeenheid. De 7 lokaties waren verspreid over het gehele stroomgebied. In het tweede bemonsteringsschema werden ten behoeve van de bodemfysische metingen 7 lokaties bemonsterd binnen een oppervlak van 0.5 ha; een gebied, representatief voor de meest voorkomende bodemeenheid. In dit schema werden monsters in duplo genomen uit 2 horizonten (Brom, 1983). Een analyse van de gemeten variabiliteit werd verricht door De Graaf (1984). Binnen een oppervlak van slechts 2 m², gelegen in het tweede schema van 0.5 ha, werd gemeten in het derde bemonsteringsschema (Booltink, 1985). Bodemfysische eigenschappen werden bepaald voor 6 lokaties en uit 3 horizonten. Op alle lokaties werd voor elke bodemfysische bepaling 3 monsters genomen uit elk van de 3 horizonten.

De bruikbaarheid van de bodemfysische eigenschappen werd vergroot door zowel de bodemvochtkarakteristiek als de doorlatendheidscurve weer te geven met een analytisch model. Het geheel van bodemfysische gegevens per bodemmonster wordt daarbij gekarakteriseerd door een 5-tal parameters (Hopmans en Overmars, 1986).

De variatie in bodemfysische eigenschappen werd bepaald door een normalisatie procedure (schalering), waarbij een aantal bodemvochtkarakteristieken of doorlatendheidscurven weergegeven worden door een gemiddelde of referentie curve en een set van schaalfactoren (Hopmans, 1986b en Hopmans, 1987a). Na bepaling van de bodemfysische eigenschappen op 20 lokaties (bemonsterings-schemas 1, 2 en 3) en op verschillende diepten en na een statistische analyse van de schaalfactoren van de bodemvochtkarakteristieken werd geconcludeerd dat een representatief bodemprofiel in het stroomgebied opgebouwd was uit een A-horizont met constante dikte en een BC en D-horizont met uiteenlopende diktes (Hopmans en Stricker, 1987). Een dergelijke reductie in het aantal bodemfysisch te onderscheiden horizonten uit de 9 gekarteerde bodemeenheden was ook verkregen door Wösten et al. (1985).

Het transport van water werd deels gesimuleerd met een bestaand deterministisch computer model (SWATRE). Bij de veronderstelling van variabele bodemfysische eigenschappen werd dit model zodanig veranderd dat bodemfysische eigenschappen gegenereerd werden uit de kansverdeling, het gemiddelde en de standaardafwijking van de schaalfactoren van de onderscheiden horizonten (Hopmans, 1987b). Bij een dergelijke stochastische analyse van het bodemvocht transport is ook gekozen voor een variabele beneden randvoorwaarde. Daar grondwaterstanden worden gemeten op ca. 85 lokaties binnen het stroomgebied, was het mogelijk ook de afvoer (q)-grondwaterstand (h) relatie te normaliseren en de bijbehorende schaalfactoren te berekenen (Hopmans, 1987c). Uit het type kansverdeling, het gemiddelde en de standaardafwijking van deze schaalfactoren werd een q(h)-relatie gegenereerd, die tezamen met de gegenereerde schaalfactoren voor de bodemfysische eigenschappen voor de horizonten, één realisatie van outputvariabelen leverden via simulatie met het deterministisch computermodel. Gebruikmakend van zgn. 'Monte-Carlo' simulaties, waarbij een aantal realisaties achter elkaar gesimuleerd worden, werd zodoende een kansverdeling van outputvariabelen verkregen (bv. van afvoer, verdamping en grondwaterstand). Uitgaande van de bodemfysische eigenschappen van het tweede bemonsteringsschema heeft Cislerova (1987) de resultaten van een dergelijke MC-analyse vergeleken met een aantal deterministische simulaties waarbij de gemeten bodemfysische eigenschappen gebruikt werden. Daarbij werd een redelijk goede overeenstemming gevonden.

RESULTATEN

De invloed van de verschillende gemeten bodemfysische eigenschappen binnen een bodemeenheid op de gewasverdamping was bestudeerd door Van Immerzeel (1985) en Hopmans en Van Immerzeel (1986). Simulaties met het deterministisch model en met de gemeten bodemfysische eigenschappen van de 7 lokaties uit het tweede bemonsteringsschema leverden een variatie in verdamping, die verklaard kon worden uit verschillen in hydraulische doorlatendheid van de ondergrond.

Adriaanse (1986) en Adriaanse en Hopmans (1987) bestudeerden de invloed van variatie in horizontdikten van een bodemprofiel met representatieve bodemfysische eigenschappen en de variatie in de gemiddelde gebiedsgrondwaterstand op de gesimuleerde gewasverdamping. De representatieve bodemfysische eigenschappen werden daartoe verkregen uit de metingen van het eerste bemonsteringsschema. Simulaties met het deterministisch model resulteerden in te lage verdampingscijfers, indien ze werden vergeleken met gemeten verdamping. Geconcludeerd werd dat de bodemfysische eigenschappen van het eerste bemonsteringsschema tezamen niet een representatief beeld geven van de variabiliteit binnen het gehele stroomgebied.

Toepassing van het stochastisch-deterministisch model (Monte-Carlo analyse), waarbij de stochastische input van bodemfysische eigenschappen en beneden randvoorwaarde verkregen was uit alle beschikbare bodemfysische gegevens en grondwaterstanden, geven een realistischer weergave (Hopmans, 1987d). Wel moet daarbij bedacht worden dat het analytisch model voor de weergave van bodemvocht- en doorlatendheidskarakteristieken, tezamen met de normalisatie van de bodemfysische eigenschappen een afwijking van de oorspronkelijke gemeten waarden van de bodemfysische eigenschappen kunnen veroorzaken (Cislerova, 1987).

Een Monte-Carlo analyse werd uitgevoerd voor 5 standaard profielen, waarbij elk profiel representatief geacht werd voor een bepaalde begindiepte van klei (D-horizont). Na analyse van de gemeten grondwaterstanden bleek dat ook de $q(h)$ -relaties verschillend waren in afhankelijkheid van de begindiepte van klei. Daarom werden 2 genormaliseerde $q(h)$ -relaties beschouwd, die zich

onderscheiden op basis van de begindiepte van klei. De resultaten van het simulatie model werden vergeleken met gemeten actuele verdamping en grondwaterstanden. De gesimuleerde gewasverdamping was ongeveer gelijk aan de gemeten gewasverdamping in 1982. Betrekkelijk grote verschillen werden gevonden voor het extreem droge groeiseizoen in 1976. Als reden daarvan werd gegeven dat de 'sink'-term die de wateropname door de wortels simuleert in eerder stadium slechts gecalibreerd was voor één specifiek profiel in het gebied en niet voor een verzameling van bodemtypen, die zich onderscheiden op basis van horizontdikte en bodemfysische eigenschappen en die tezamen representatief geacht kunnen worden voor het gehele stroomgebied. Ofschoon gemiddelden van de gesimuleerde en gemeten grondwaterstand aan het eind van het groeiseizoen bijna gelijk waren, was de gesimuleerde variatie in grondwaterstanden beduidend kleiner dan gemeten. Deze geringe variatie in grondwaterstand, vergeleken met de gemeten variatie is waarschijnlijk het gevolg van de aannamen met betrekking tot de variabiliteit van de invoergegevens. Na berekening van de statistische eigenschappen van elke set van output variabelen was het mogelijk het Hupselse Beek stroomgebied te onderscheiden in een aantal profielklassen. De klasse indeling in profielen was gebaseerd op verschillen in gesimuleerde actuele gewasverdamping gedurende de groeiseizoenen in 1976 en 1982.

CONCLUSIE

De schaleringstechniek maakt het mogelijk de ruimtelijke variabiliteit van bodemfysische of hydrologische variabelen te beschrijven. Gebruikmakend van de statistische eigenschappen van schaalfactoren kan de variatie in het bodemvochttransport gesimuleerd worden met een één-dimensionaal stromingsmodel. De Monte-Carlo simulaties resulteerden in een kansverdeling van de verdamping voor verschillende profielklassen binnen het stroomgebied.

Verschillen tussen gemeten en gesimuleerde waarden voor het gemiddelde en de variatie in outputvariabelen kunnen geminimaliseerd worden door een hernieuwde calibratie van de sink-term en door variatie van input variabelen, zoals neerslag, potentiële verdamping voor verschillend landgebruik en wortelingsdiepte, mogelijk te maken.

Toekomstig onderzoek zal een vergelijking mogelijk maken met het tweedimensionaal stromingsprobleem. Daarbij zal rekening gehouden moeten worden met de ruimtelijke structuur in bodemfysische eigenschappen in de horizontale richting. Tenslotte zal ook een studie gemaakt worden naar de mogelijkheid om bodemfysische kenmerken te schatten uit bodemkundige informatie. Een techniek die daarbij gebruikt kan worden is co-kriging.

LITERATUUR

- 01 Adriaanse, P.I. 1986. De invloed van grondwaterstand en bodemprofiel op de gewasverdamping, berekend met SWATRE. Doctoraal verslag van 3-maands onderzoek.
- 02 Adriaanse, P.I., en J.W. Hopmans. 1987 De invloed van variatie in grondwaterstand en bodemprofiel op gesimuleerde gewasverdamping. Manuscript voor Cultuurtechnisch Tijdschrift.
- 03 Booltink, H. 1985. Bodemfysische eigenschappen op zeer korte afstand Hupsel. Concept Rapport. Vakgroep Hydraulica en afvoerhydrologie, Landbouwniversiteit Wageningen, Nieuwe Kanaal 11, Wageningen.
- 04 Brom, A. 1983. Bodemfysisch-, hydrologisch veldonderzoek op een 7-tal lokaties in Hupsel in 1982. Rapport no. 2, Studiegroep Hupselse Beek. Vakgroep Hydraulica en afvoerhydrologie, Landbouwniversiteit Wageningen, Nieuwe Kanaal 11, Wageningen.
- 05 Burrough, P.A., G. Oerlemans, G. Stoffelsen, and J.V. Witter. 1983. Reconnaissance soil studies to determine optimum survey scales and mapping legend for soil moisture research in the Hupselse Beek hydrological catchment; Oost Gelderland. Report no. 1 of study group "Soil Variability Hupselse Beek". Vakgroep Hydraulica en afvoerhydrologie, Landbouwniversiteit Wageningen.
- 06 Cislerova, M. 1987. Comparison of simulated water balance for ordinary and scaled soil hydraulic characteristics. Concept Rapport, vakgroep Hydraulica en afvoerhydrologie, Landbouwniversiteit Wageningen.
- 07 Graaf, M. de. 1984. Verschillen in bodemkarakteristieken binnen een bodemkundige eenheid in het Hupselse Beek gebied. Doctoraal verslag 3-maands onderzoek. Vakgroep Hydraulica en afvoerhydrologie, Landbouwniversiteit Wageningen.
- 08 Hopmans, J.W., en J.N.M. Stricker. 1987. Soil hydraulic properties in the study area Hupselse Beek as obtained from three different scales of observation: An overview. Report Dept. of Hydraulics and Catchment Hydrology, Agricultural University Wageningen.
- 09 Hopmans, J.W., and B. Overmars. 1986. Presentation and application of an analytical model to describe soil hydraulic properties. J. of Hydrology 87: 135-143.
- 10 Hopmans, J.W., and C.H. van Immerzeel. 1986. Variation in evapotranspiration and capillary rise with changing soil profile characteristics. Accepted for publication in Agric. Water Management.
- 11 Hopmans, J.W. 1986a. Application and evaluation of techniques which describe the spatial variability of soil physical and hydrological variables. Publication 75. Dept. of Hydraulics and Catchment Hydrology. Agricultural University Wageningen.

- 12 Hopmans, J.W. 1986b. A comparison of techniques to scale soil hydraulic properties. Abstracts American Society of Agronomy, New Orleans, Louisiana.
- 13 Hopmans, J.W. 1987a. A comparison of techniques to scale soil hydraulic properties. Manuscript submitted to J. of Hydrology.
- 14 Hopmans, J.W. 1987b. Some major modifications of the simulation model SWATRE. Concept Report. Dept. of Hydraulics and Catchment Hydrology, Agricultural University Wageningen.
- 15 Hopmans, J.W. 1987c. Treatment of the groundwater table in the stochastic approach of unsaturated water flow modelling. Manuscript to be submitted to Agricultural Water Management.
- 16 Hopmans, J.W. 1987d. Stochastic analysis of soil-water regime in a watershed. Manuscript submitted to Water Resour. Res.
- 17 Immerzeel, K. van 1985. Variatie van de verdamping binnen een bodemkundige eenheid. Doctoraal verslag van 6-maands onderzoek.
- 18 Wösten, J.H.M., G.H. Stoffelsen, J.W.M. Teunissen, A.F. Holst, and J. Bouma. 1983. Proefgebied Hupselse Beek; regionaal bodemkundig en bodemfysisch onderzoek. Rapport. no. 1706. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- 19 Wösten, J.H.M., J. Bouma, en G.H. Stoffelsen. 1985. Toepassing van bodemkaarten bij het gebruik van simulatiemodellen voor de waterhuishouding. Cultuurtechn. Tijdschrift sept/okt 2: 69-81.

LEZINGEN

- 01 Overmars, B. 1985 Bodemvariabiliteitsonderzoek in het Hupselse Beekgebied. Wetenschappelijke bijeenkomst te Haren (Gr.).
- 02 Overmars, B. 1985. Gegevensanalyse van de karakteristieken van de onverzadigde zone. Hydrologische Dag Amsterdam.
- 03 Hopmans, J.W. 1986 Variation in evapotranspiration and capillary rise with changing soil profile characteristics. International seminar on Water Management for Agricultural Development. Athene.
- 04 Hopmans, J.W. 1986. A comparison of techniques to scale soil hydraulic properties. American Society of Agronomy. New Orleans.
- 05 Hopmans, J.W. 1986. Ruimtelijke variabiliteit in bodem en water, voorbeelden van toepassingen. Commissie voor hydrologisch onderzoek TNO. Ede.

REIZEN

- 01 Overmars, B. 1984. Studiereis USA.
- 02 Overmars, B. 1984. Bezoek Danish Hydraulic Institute.
- 03 Hopmans, J.W. 1985. Studiereis USA.
- 04 Hopmans, J.W. 1986. International Seminar on Water Management Athene.
- 05 Hopmans, J.W. 1986. American Society of Agronomy, Meeting, New Orleans.