

ANDRZEJ REINHARD\*

## Ermittlung der Matrixpotentialverteilung des Bodens hervorgerufen durch die Wirkung der Dräne und der Niederschläge

### 1. Einleitung

Die Beschreibung der mit der Grundwasserbewegung verbundenen Erscheinungen und die richtige Erfassung in diesen Beschreibungen der Bewässerungs- und Entwässerungsanlagen, die diese Bewegungen beeinflussen, wurden letzters zum Gegenstand intensiver wissenschaftlicher Untersuchungen (Belmans et al. 1983; Feddes, Zaradny 1978; Hills et al. 1989; Zaradny, Feddes 1979). Es werden auch genaue Bestimmungen der Randbedingungen der untersuchten Gebiete, die Niederschläge und die Verdunstung berücksichtigt. In der Literatur findet man verschiedene Modelle, die Dränwirkung auf die Gestaltung der Luft-Wasserverhältnisse beschreiben oder Modelle, mit deren Hilfe man den Dränabfluß ermitteln kann. Es wird aber der Mangel an ausreichender Verifikation der vorgestellten Modelle festgestellt, was ihre Wahl und Anwendung in bestimmten Bedingungen erschwert.

In der vorliegenden Arbeit wird das Modell der Matrixpotentialverteilung vorgestellt, die durch die Dränwirkung nach den Niederschlägen und der Verdunstung hervorgerufen wurde. Die vom mathematischen Modell erhaltenen Ergebnisse wurden dann mit den Messergebnissen im Gelände verglichen.

### Bezeichnungen

$A, B$       – Koeffizienten der Gleichung (8)

\*Dr. inż. A. REINHARD, Instytut Melioracji Rolnych i Leśnych Akademii Rolniczej we Wrocławiu, pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław.

$d$	- Drändurchmesser [cm]
$H = y + p$	- Druckhöhe über dem Bezugsniveau [ $H_2O$ ]
$K^S$	- Filtrationsbeiwert in der Saturationszone [cm/d]
$K$	- hydraulische Durchlässigkeit in der Aerationzone [cm/d]
$L$	- Dränabstand [m]
$l$	- Dränkante [cm]
$m$	- Anzahl der Knotenpunkte nach der $Y$ -Achse
$n$	- Anzahl der Knotenpunkte nach der $X$ -Achse
$N$	- Niederschläge [mm/h]
$O(\Delta x^n)$	- Approximationsgenauigkeit $n$ -ter Ordnung
$p$	- Matrixpotential [ $H_2O$ ]
$t$	- Zeit [d]
$w$	- Wert der ersten Ableitung der das Durchsickern des Wassers ins Bodenprofil bestimmt
$X$	- horizontale Koordinate [cm]
$Y$	- vertikale Koordinate [cm]
$z$	- vertikale Dränkoordinate
$\alpha, \gamma$	- Zahlenwerte
$\Delta t$	- Zeitschritt [d]
$\Delta x$	- Raumschritt nach der $X$ -Achse [cm]
$\Delta y$	- Raumschritt nach der $Y$ -Achse [cm]
$\Theta$	- Bodenwassergehalt [cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ]
$\Theta^S$	- Wassergehalt bei völliger Sättigung (Saturation) [cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ]

## 2. Ziel und Umfang der Arbeit

Das bearbeitete Modell ermöglicht die Ermittlung der Matrixpotential – und der Grundwasserverteilung zwischen den arbeitenden Dränen. In diesem Modell werden die Niederschläge, Verdunstung und die Möglichkeit der Teilung des untersuchten Bereichs in kleinere Teile berücksichtigt, um verschiedene Bodenarten einführen zu können. Für den Modellbau wurde die Richards – und Laplacs-Gleichung angewandt, indem man die Voraussetzungen, die für die Anwendung gelten, berücksichtigte (Reinhard 1984). Nachher wurden sie in der Differenzgestalt verfaßt. Das Ziel der Arbeit ist die Ermittlung der Matrixpotentialverteilung nach den Niederschlägen und dadurch die Bestimmung des Einflusses von technischen Parametern (Dränabstand, Drändurchmesser, Dräntiefe usw.) auf die Entwässerungswirksamkeit der untersuchten Geländes. Weiterhin wurden die Simulationsergebnisse mit den Vermessungswerten von den Tensiometern im Gelände verglichen.

### 3. Das mathematische Modell

Das betrachtete Modell wurde auf der Abb. 1 dargestellt.

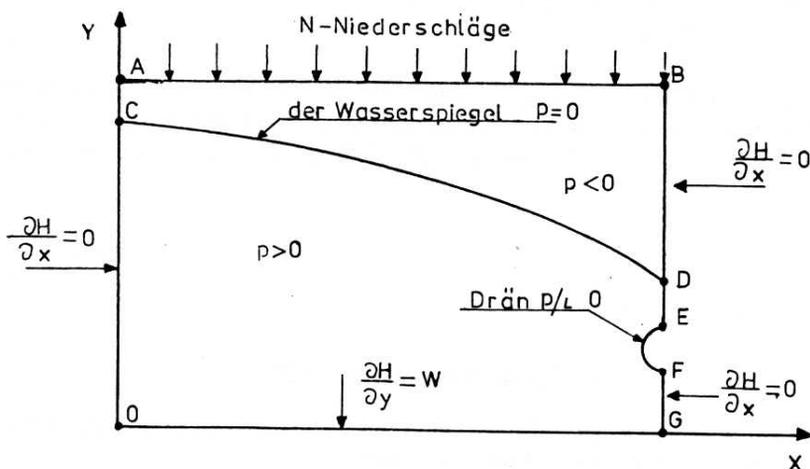


Abb. 1. Der modellierte Bereich

Bei der Annahme, daß die Dräns über einer horizontalen, undurchlässigen Schicht verlegt wurden oder bei deren Fehlen, (Abb. 1) können folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

- längst der OA-, BE- und FG- Geraden erfolgt eine Nullströmung in der Horizontalrichtung,
- die AB Gerade bestimmt die Oberfläche des betrachteten Bereichs und der Buchstabe  $N$  bestimmt die Niederschläge,
- die OG- Gerade bestimmt die undurchlässige Schicht oder das Bezugsniveau,
- die EF Kurve bestimmt die Dränkante.

Für den zweidimensionalen Bereich (Abb. 1) nimmt die Richardsgleichung folgende Form an (Reinhard 1984)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K \frac{\partial H}{\partial y} \right) = C \frac{\partial H}{\partial t} \quad (1)$$

wo  $C = \frac{\partial \theta}{\partial H}$ , und  $K$  die hydraulische Durchlaßfähigkeit ist, die von  $K(p(x, y, t))$  abhängig ist. Indem man die oben erwähnten Abhängigkeiten berücksichtigt, kann man die Gleichung (1) folgend darstellen

$$\frac{\partial K}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial x} \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial K}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial y} \frac{\partial H}{\partial y} + K \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + K \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} = \frac{\partial \theta}{\partial p} \frac{\partial H}{\partial t} \quad (2)$$

Die die  $K$  und  $\Theta$  Koeffizienten approximierenden Formeln haben die Gestalt (Keulen, Wolf 1986)

$$K = K^s e^{\alpha p} \quad \text{für } p_{\min} \leq P < -10 \text{ cm} \quad (3)$$

$$\Theta = \Theta^s e^{-\gamma(\ln|p|)^2} \quad \text{für } p < -1 \text{ cm} \quad (4)$$

In der vorliegenden Arbeit wurde angenommen, daß die, dem Drän zufließende Wassermenge völlig abgeführt wird dh. im Drän herrschender Druck gleich Null ist. Entlang die, mit EF bezeichneten Dränkante wurde die Bedingung 1. Ordnung angenommen, die als

$$p|_l = 0 \quad (5)$$

aufgeschrieben werden kann.

#### 4. Differenzenmodell

Auf das untersuchte Gebiet (Abb. 1) wurde das Rechtecknetz aufgelegt, wobei das Netz in der Nähe des Dräns verdichtet wurde Abb. 2

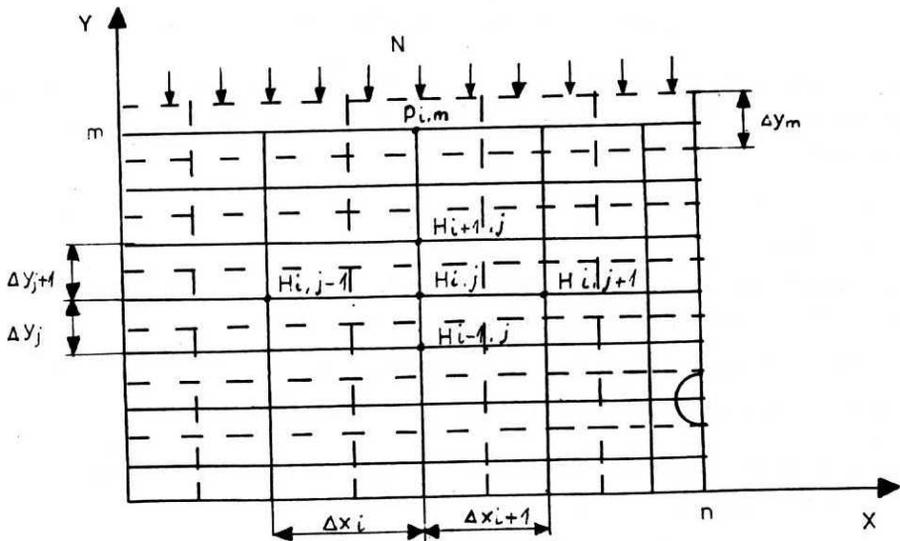


Abb. 2. Das Rechtecknetz auf dem untersuchten Bereich

Um die Differenzgestalt der Gleichung (2) zu finden, wurde die  $H$  Funktion in Taylor'sche Reihe um den  $H_{i,j}$  Knoten entwickelt (Auer 1976)

$$H_{i,j-1} = H_{i,j} - \Delta x_i \left. \frac{\partial H}{\partial x} \right|_{H_{i,j}} + \frac{1}{2} \Delta x_i^2 \left. \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} \right|_{H_{i,j}} + O(\Delta x^3) \quad (6)$$

$$H_{i,j+1} = H_{i,j} + \Delta x_{i+1} \left. \frac{\partial H}{\partial x} \right|_{H_{i,j}} + \frac{1}{2} \Delta x_{i+1}^2 \left. \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} \right|_{H_{i,j}} + O(\Delta x^3) \quad (7)$$

Nach beiderseitiger Multiplikation der Gleichung (6) mit  $A$  und der Gleichung (7) mit  $B$  und der zweiseitigen Addition erhielt man

$$\begin{aligned} A(H_{i,j-1} - H_{i,j}) + B^*(H_{i,j+1} - H_{i,j}) &= (B\Delta x_{i+1} - A\Delta x_i) \left. \frac{\partial H}{\partial x} \right|_{H_{i,j}} + \\ &+ \frac{1}{2} (B\Delta x_{i+1}^2 + A\Delta x_i^2) \left. \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} \right|_{H_{i,j}} + O(\Delta x^3). \end{aligned} \quad (8)$$

Aus der Gleichung (8) wurde der Approximationsausdruck  $\frac{\partial H}{\partial x}$  und  $\frac{\partial^2 H}{\partial x^2}$  ermittelt, voraussetzend das Koeffizientenlöschen, die bei der ersten und zweiten Ableitung standen. Für den Ausdruck  $\frac{\partial H}{\partial x}$  erhielt man

$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial H}{\partial x} \right|_{H_{i,j}} &\cong - \frac{\Delta x_{i+1}}{\Delta x_i^2 + \Delta x_i \Delta x_{i+1}} (H_{i,j-1} - H_{i,j}) + \\ &+ \frac{\Delta x_i}{\Delta x_{i+1}^2 + \Delta x_i \Delta x_{i+1}} (H_{i,j+1} - H_{i,j}) \end{aligned} \quad (9)$$

und für  $\frac{\partial^2 H}{\partial x^2}$  erhielt man

$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} \right|_{H_{i,j}} &\cong \frac{2}{\Delta x_i^2 + \Delta x_i \Delta x_{i+1}} (H_{i,j-1} - H_{i,j}) + \\ &+ \frac{2}{\Delta x_{i+1}^2 + \Delta x_i \Delta x_{i+1}} (H_{i,j+1} - H_{i,j}). \end{aligned} \quad (10)$$

Analogisch verfahren wurden Approximationsausdrücke

$$\frac{\partial H}{\partial y}, \frac{\partial^2 H}{\partial y^2}, \frac{\partial p}{\partial y}, \frac{\partial p}{\partial x} \quad (11)$$

ermittelt.

Um die Differenzgestalt der Gleichung (2) zu ermitteln, wurden entsprechende Approximationsausdrücke (von 9 bis 11) ausgenutzt. Die Differenzgestalt der Gleichung (2) für den in der Aerationzone liegenden  $H_{i,j}$  Knoten kann man folgend aufschreiben

$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial K}{\partial p} \right|_{H_{i,j}} &\times \left[ \frac{\Delta x_i(p_{i,j+1} - p_{i,j})}{\Delta x_{i+1}^2 + \Delta x_i \Delta x_{i+1}} - \frac{\Delta x_{i+1}(p_{i,j-1} - p_{i,j})}{\Delta x_i^2 + \Delta x_i \Delta x_{i+1}} \right] \times \\ &\times \left[ \frac{\Delta x_i(H_{i,j+1}^{\Delta t} - H_{i,j}^{\Delta t})}{\Delta x_{i+1}^2 + \Delta x_i \Delta x_{i+1}} - \frac{\Delta x_{i+1}(H_{i,j-1}^{\Delta t} - H_{i,j}^{\Delta t})}{\Delta x_i^2 + \Delta x_i \Delta x_{i+1}} \right] + \\ &+ \left. \frac{\partial K}{\partial p} \right|_{H_{i,j}} \times \left[ \frac{\Delta y_j(p_{i+1,j} - p_{i,j})}{\Delta y_{j+1}^2 + \Delta y_j \Delta y_{j+1}} - \frac{\Delta y_{j+1}(p_{i-1,j} - p_{i,j})}{\Delta y_j^2 + \Delta y_j \Delta y_{j+1}} \right] \times \\ &\times \left[ \frac{\Delta y_j(H_{i+1,j}^{\Delta t} - H_{i,j}^{\Delta t})}{\Delta y_{j+1}^2 + \Delta y_j \Delta y_{j+1}} - \frac{\Delta y_{j+1}(H_{i-1,j}^{\Delta t} - H_{i,j}^{\Delta t})}{\Delta y_j^2 + \Delta y_j \Delta y_{j+1}} \right] + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + K_{i,j} \frac{2(H_{i,j-1}^{\Delta t} - H_{i,j}^{\Delta t})}{\Delta x_i^2 + \Delta x_i \Delta x_{i+1}} + K_{i,j} \frac{2(H_{i,j+1}^{\Delta t} - H_{i,j}^{\Delta t})}{\Delta x_{i+1}^2 + \Delta x_i \Delta x_{i+1}} + \\
& + K_{i,j} \frac{2(H_{i-1,j}^{\Delta t} - H_{i,j}^{\Delta t})}{\Delta y_j^2 + \Delta y_j \Delta y_{j+1}} + K_{i,j} \frac{2(H_{i+1,j}^{\Delta t} - H_{i,j}^{\Delta t})}{\Delta y_{j+1}^2 + \Delta y_j \Delta y_{j+1}} = \\
& = \left. \frac{\partial \Theta}{\partial p} \right|_{H_{i,j}} \frac{H_{i,j}^{\Delta t} - H_{i,j}}{\Delta t}, \tag{12}
\end{aligned}$$

wo

$$\left. \frac{\partial K}{\partial p} \right|_{H_{i,j}} = K_{i,j}^s \alpha e^{\alpha p_{i,j}} \tag{13}$$

und

$$\left. \frac{\partial \Theta}{\partial p} \right|_{H_{i,j}} = \Theta_{i,j}^s \frac{2\gamma \ln |p_{i,j}|}{|p_{i,j}| e^{\gamma (\ln |p_{i,j}|)^2}}. \tag{14}$$

Im Modell wurde vorausgesetzt, daß die Niederschläge völlig durch die erste Schicht aufgenommen werden, die von den  $p_{i,m}$  Punkten dargestellt werden (Abb. 2). Mit den unterbrochenen Linien werden die Subgebiete markiert, die durch die  $p_{i,m}$  Punkte dargestellt werden. Wenn wir annehmen, daß im Zeitpunkt  $t$  im betrachteten Punkt das Matrixpotential  $p_{i,m}$  beträgt, so beträgt der Wassergehalt im Boden

$$\Theta_{i,m} = \Theta_{i,m}^s e^{-\gamma (\ln |p_{i,m}|)^2}. \tag{15}$$

Nehmen wir weiterhin an, daß im Zeitintervall  $\Delta t$  ein Niederschlag vom Wert  $N$  aufgetreten ist. Die Wassermenge, die auf das Subgebiet, das durch den Punkt  $p_{i,m}$  dargestellt wird, zufällt, beträgt

$$N(\Delta x_i + \Delta x_{i+1}) \frac{1}{2}$$

Der Wassergehalt beträgt im betrachteten Subgebiet nach der Zeit  $\Delta t$

$$\Theta_{i,m}^{\Delta t} = \Theta_{i,m} + \frac{N(\Delta x_i + \Delta x_{i+1}) \frac{1}{2}}{\Delta y_m(\Delta x_i + \Delta x_{i+1}) \frac{1}{2}} = \Theta_{i,m} + \frac{N}{\Delta y_m}, \tag{16}$$

und das Matrixpotential

$$p_{i,m}^{\Delta t} = e^{\sqrt{\frac{1}{\gamma} \ln \frac{\Theta_{i,m}^s}{\Theta_{i,m}^{\Delta t}}}} \tag{17}$$

In der vorliegenden Arbeit berücksichtigt man die Dränwirkung als die Dirichlet'sche-Bedingung dh. in den EQF Punkten wurde der Druck  $p = 0$  angenommen (Abb. 3).

Bei der Ableitung der Differentialgleichung in den  $H_{z+1,n}$ ,  $H_{z,n-1}$ ,  $H_{z-1,n}$  Knoten wurde der Drändurchmesser berücksichtigt indem die Raumschritte um  $d/2$  in der Nähe der erwähntem Knoten (Abb. 3) verkleinert wurden.

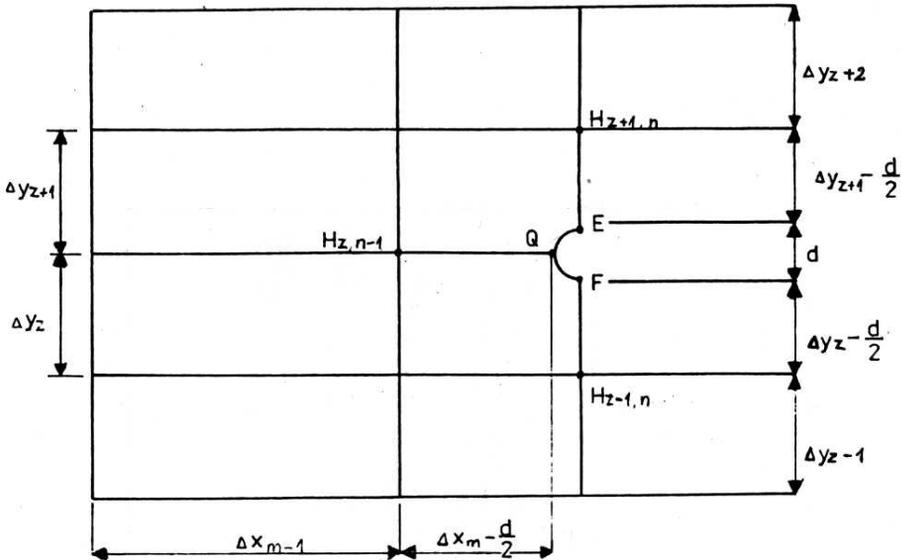


Abb. 3. Die Darstellung des Dräns im Differentialmodell

### 5. Berechnungsalgorithmus

Indem man die Gleichung (12) ausgenutzt, wurde ein Gleichungssystem für alle Netzknotenpunkte aufgestellt. Man berücksichtigte in diesen Gleichungen die Randbedingungen. Für die in der Saturationszone liegenden Punkte ( $p_{i,j} > 0$ )  $K_{i,j}^s = const$ ,  $C_{i,j} = 0$ ,  $\Theta_{i,j} = \Theta_{i,j}^s$  nimmt die Formel (2) die Gestalt der Laplac-Gleichung an, was bedeutend die Differenzgestalt des Ausdruckes (12) vereinfacht. Anschließend wurden für die angegebenen Anfangsbedingungen (gemessene Druckwerte auf dem betrachteten Gebiet) Berechnungen durchgeführt, die auf der mehrmaligen Lösung des Gleichungssystems beruhen, wobei die sich verändernden Randbedingungen berücksichtigt wurden (Niederschläge, Verdunstung). Als Resultat dieser Berechnungen erhielt man die Funktionswerte  $H_{i,j}$  und  $p_{i,j}$  für die nächsten  $\Delta t$  Schritte. Wie es aus der Abhängigkeit (12) hervorgeht, wurden zur Berechnung die impliziten Schemen angewandt, um die Zeitschritte zu verlängern. Der Zeitschritt wurde experimentell so gewählt, daß man die Wiederholbarkeit der Ergebnisse bei weiterer Verkleinerung von  $\Delta t$  erzielen konnte. Die Berechnungen wurden mit Hilfe des Computers IBM PC AT durchgeführt indem man das Programm in der Turbo-Pascal 4-Sprache benutzte.

### 6. Berechnungsbeispiel

Im berechnungsbeispiel wurden die Ergebnisse der Gerländeuntersuchungen der Mitarbeiter des Instituts für Wasserwirtschaft und Landschaftsökologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel ausgenutzt (Widmoser 1988). Diese Untersuchungen betreffen die Messung und das Aufzeichnen des Matrixpotentials und Grundwasserspiegels,

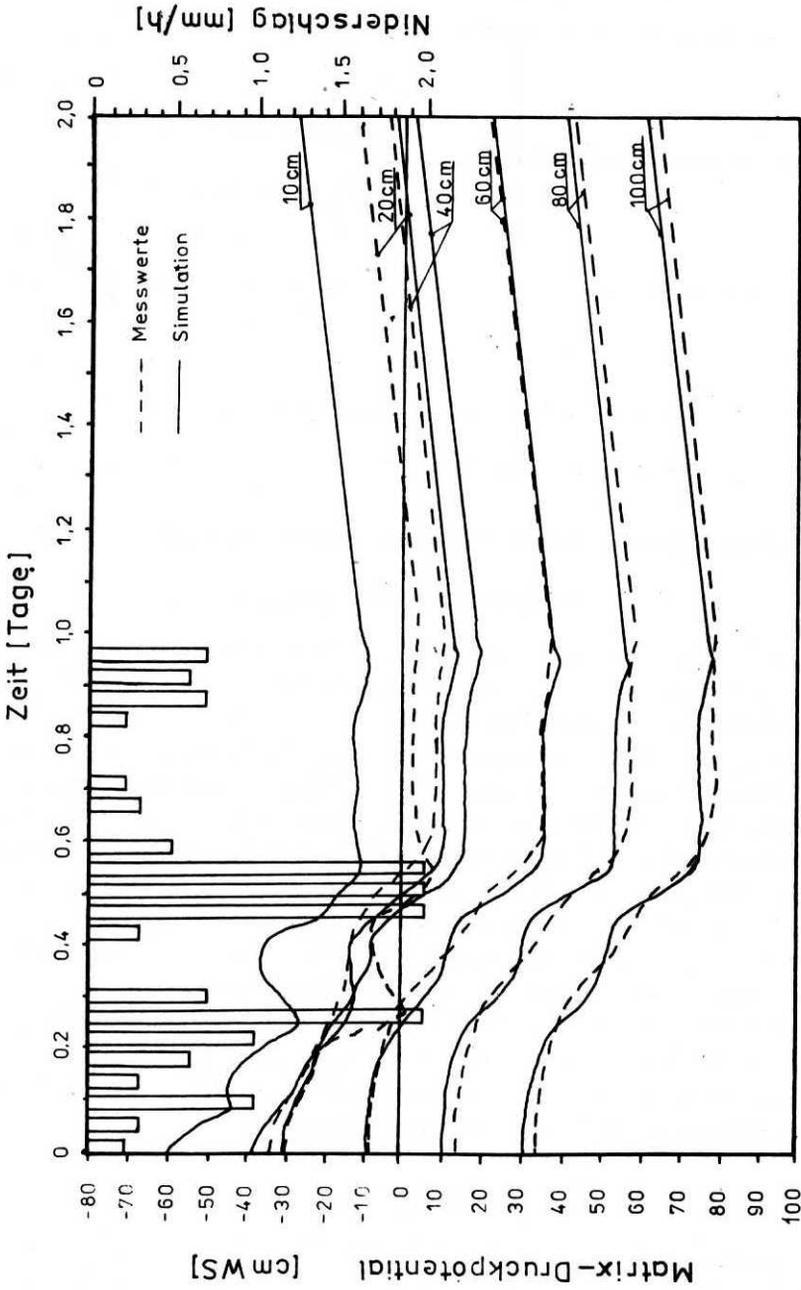


Abb. 4. Matrix-Druckpotentialverlauf im Boden

die durch die Wirkung der Dräns und der Wetterbedingungen hervorgerufen wurden. Die Tensiometer wurden in drei Querschnitten 30, 250 und 500 cm vom Drän verlegt. Für jeden Querschnitt wurden die Tensiometer in folgenden Tiefen 20, 40, 60, 80 und 100 cm von der Flur verlegt. Die Messungen wurden mit Hilfe von Computertechnik ausgeführt. Üblicherweise versagen die Tensiometer im gesättigten Bereich des Bodens. Man verwendet Piezometer, um die Grundwasserdruckhöhe an einem bestimmten Punkt zu messen. Durch die spezielle Konstruktion und Veränderung von Druckaufnehmertensiometern nach Merkel und Grimmeisen ist es gelungen das Potential im ungesättigten Bereich (Matrixpotential) sowie im gesättigten Bereich (Druckpotential) mit einem Sensor zu erfassen. Zur Verwendung kommen Drucksensoren (Typ PC 135 G1, Fa Honeywell) mit einem Meßbereich von 0 bis 345 cm WS, bzw von 0 bis 1045 cm WS. Die Genauigkeit dieser Produkte wird vom Hersteller mit  $\pm 1,5\%$  des Totalausschlages angegeben. Die Signale der Messfühler wurden mit dem Kabel zu der Datenerfassungsanlage zugeführt, in dem das Gerät über einem 13 Bit Analog-Digitalwandler verfügt. Die meteorologischen Daten (Niederschläge, Verdunstung) wurden durch die automatische Wetterstation gemessen, die sich in der Nähe des untersuchten Objekts befand. Abb. 4 stellt die Niederschläggröße und den Verlauf des matrixpotentialwertes des Bodens in fünf Punkten dar, die 20, 40, 60, 80 und 100 cm vom Flur verlegt wurden und die sich in der Mitte Dränabstandes (Dränabstand  $L = 10$  cm) befanden.

Mit den ausgezogenen Linien wurden die Matrixpotentialwerte bezeichnet, die mit Hilfe des vorgestellten Modells bestimmt wurden, dagegen mit unterbrochenen Linien wurden die Matrixpotentialwerte bestimmt, die im Gelände gemessen wurden. Die Niederschläge werden auf der Abb. 4 durch die einzelnen Balken dargestellt, ihre Höhe entspricht den stündlichen Werten. Für den ersten Tag (Abb. 4) nach dem Niederschlag steigt das Matrixpotential schnell in den untersuchten Objekten und im Laufe des nächsten Tages sinkt es allmählig, was mit Dränwirkung zusammenhängt. In diesem Beispiel verzichtete man auf die Verdunstung, weil festgestellt wurde, daß es in der untersuchten Zeit sehr klein war. Das untersuchte Bodenprofil kann man als homogen annehmen und zur Berechnung wurden folgende Koeffizienten  $K^s = 16$  cm/d,  $\Theta^s = 0.52$  cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>,  $\gamma = 0.004$  cm<sup>-2</sup>,  $\alpha = 0.049$  cm<sup>-1</sup> verwendet. Ähnliche Ergebnisse erhielt man für die von Drän 30 und 250 cm entfernten Querschnitte.

## 7. Schlußfolgerungen

1. Das vorgestellte Modell erlaubt den Matrixpotentialverlauf im Boden zu ermitteln, der durch die Niederschläge und die Dränwirkung hervorgerufen wird.
2. Das Modell wurde gebaut, indem man die Richards-Gleichung anwandte. Die Gleichung wurde für alle Netzknotenpunkte verfaßt. In diesen Gleichungen berücksichtigte man die Auftretsmöglichkeit verschiedener Bodenarten in dem untersuchten Gebiet und die verändernden Randbedingungen (Niederschläge, Verdunstung).
3. Die Verifikation des vorgestellten Modells wurde auf einem Meliorationsobjekt durchgeführt und die erhaltenen Ergebnisse (Abb. 4) bestätigen die Korrektheit

- seiner Konstruktion. Wenn man die erhaltenen Berechnungsergebnisse mit den im Gelände durchgeführten Messungsergebnissen vergleicht, so muß man betonen, daß eine bessere Genauigkeit in der Saturationzone erhalten wurde. Größere Unterschiede entstanden zwischen den gemessenen und den berechneten Ergebnissen in der Aerationzone. Diese Unterschiede sollte man durch die Ungenauigkeit der die Bodenart bestimmenden Koeffizienten erläutern.
4. Um die Berechnungsgenauigkeit zu verbessern kann man Computer von größerer Berechnungskapazität anwenden, was eine doch größere Netzverdichtung, besonders rund um das Drän ermöglicht. Man soll den Einfluß der am Dräneingang und im Drän entstehenden Widerstände auf die Berechnungsgenauigkeit analysieren.
  5. Um den Anwendbarkeitsbereich des in dieser Arbeit vorgestellten Modells prüfen zu können, soll man seine Verifikation an anderen Meliorationsobjekten, bei Berücksichtigung verschiedener Bodenarten und verschiedener Wetterbedingungen durchführen.

## Literatur

- Auer A. (1976), *Modelowanie analogowe procesów o stałych rozłożonych*, PWN, Warszawa.
- Belmans C., Wesseling J.G. and Feddes R.A. (1983), *Simulation model of the water balance of a cropped soil*, SWATRE, Journal of Hydrology, 63, Amsterdam, 271-286.
- Feddes R.A. and Zaradny H. (1978), *Numerical model for transient water flow in non-homogeneous soil-root systems with groundwater influence*, Proc. I.F.I.P. Modeling, Identification and Control in Environmental Systems, Vansteenkiste, ed., Holland, 291-308.
- Hills R.G., Porro J., Hudson D.B. and Wierenga P.J. (1989), *Modeling one-dimensional infiltration into very dry soils. 1. Model development and evaluation*, Water Resources Research, Vol. 25, No 6, 1259-1269.
- Keulen H. van and Wolf J. (1986), *Modelling of agricultural production: weather, soils and crops*, Pudoc Wageningen.
- Reinhard A. (1984), *Ruch wody w strefach aeracji i saturacji dla przypadku odwodnienia drenami*, Archiwum Hydrotechniki t. XXXI, z. 1-2, Gdańsk, 93-103.
- Widmoser P. (1988), *Hundertmark, Zwischenbericht DFG-Projekt 671/4-1 "Dränmodelle"*, Institut für Wasserwirtschaft und Landschaftsökologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Maschinschrift, Kiel.
- Zaradny H. and Feddes R.A. (1979), *Calculation of non-steady flow towards a drain in saturated-unsaturated soil by finite elements*, Agricultural Water Management, 2, Amsterdam.

## Summary

The descriptions of the phenomena associated with the movements of ground and soil water as well as adequate modelling of irrigation and drainage systems affecting such movements have been thoroughly discussed in recent studies. The data in literature present a variety of models describing the effects of drainage systems on moisture conditions in the soil or such models which are helpful in determining the drained run off. However, verification of the models presented in the studies seems to be insufficient, and this in turn complicates the choice of a model and its application under specific conditions. The present paper describes a model which enables the determination of matric potential distribution in the soil and ground water between the working drains. This model has been worked out with respect to precipitation, evaporation and possibility of dividing the tested area into smaller units for the purpose of using it also on a non-uniform ground. The construction of the model was based on the Richards and Laplace equations, next presented as differential equations.

The results obtained from simulation on a computer were compared with those obtained using a tensiometric gauge installed in a field.

## Streszczenie

Opisy zjawisk związanych z ruchem wody gruntowej i glebowej oraz właściwe ujęcie w tych opisach urządzeń nawadniających, czy odwadniających wpływających na ten ruch są ostatnio przedmiotem intensywnych badań. W literaturze znaleźć można różne modele opisujące wpływ działania drenów na kształtowanie się stosunków powietrzno-wilgotnościowych, czy modele, za pomocą których wyznaczyć można odpływ drenarski. Odczuwa się jednak brak dostatecznej weryfikacji przedstawionych modeli, co utrudnia ich wybór i zastosowanie w określonych warunkach. W niniejszej pracy przedstawiono model, który umożliwia wyznaczenie rozkładów ciśnień ssących wody glebowej oraz wód gruntowych pomiędzy pracującymi drenami. W modelu tym uwzględnia się opady atmosferyczne, parowanie i możliwość podzielenia badanego obszaru na mniejsze części w celu wprowadzenia ewentualnej niejednorodności gruntu. Do budowy modelu wykorzystano równanie Richardsa i Laplace'a, a następnie zapisano je w postaci różnicowej. Otrzymane wyniki z symulacji na komputerze porównano z wartościami pomiarów pochodzących z czujników tensjometrycznych zainstalowanych w terenie.