

BESTIMMUNG DER WASSERDURCHLÄSSIGKEIT DER SCHICHTEN DES PIERIA - BECKENS AUS DER KORNVORTEILUNGSKURVE

Von

GEORG DIMOPOULOS

(Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Thessaloniki)

(Received 5.12.78)

Abstract: *In the loose rocks of Pieria-basin three bore holes were carried out by Y.E.B. of Kavala. From the different layers that were revealed by the bore holes, we collected numerous samples, which after treatment with sieve and decanting-analysis allow us to make the grain size curves. From these grain size curves we were able to determine the permeability (k_t) for each layer, as well as the medium horizontal (k_{m_h}) and medium vertical (k_{m_v}) permeability of the layers' profile according to Darcy's law.*

Zusammenfassung. *In den Lockergesteinen des Pieria-Beckens sind von Y.E.B. Kavalas drei Wasserbohrungen niedergebracht worden. Aus den Schichten, die diese Bohrungen getroffen hatten, haben wir eine Zahl von Proben gesammelt, die nach der Bearbeitung mit Sieb- und Schlämmanalyse die Kornverteilungskurven aufgestellt worden sind. Aus der Kornverteilungskurve konnten wir sowohl die Wasserdurchlässigkeit (k_t) je Schicht, als auch den mittleren horizontal (k_{m_h}) - und den mittlere vertikal (k_{m_v}) - Wert dieser Profilschichten aus dem Gesetz von Darcy ermitteln.*

1. Einleitung

Zwischen den Gebirgen Pangäon - und Symvolon liegt das Pieria - Becken. In dem Flachteil dieses Beckens sind von Y.E.B. Kavalas drei Bohrungen niedergebracht worden, um die Felder dieses Bereichs zu bewässern.

Aus den Schichten, die diese Bohrungen getroffen hatten, haben wir eine Zahl von Proben entnommen, die nach der Bearbeitung mit Sieb- und Schlämmanalyse die Kornverteilungskurven aufgestellt worden sind. Aus diesen Kornverteilungskurven haben wir versucht, die Wasserdurchlässigkeit (k_t) jeder Schicht, wie auch den mittleren horizontalen k_t -(k_{m_h}) und den mittleren k_t -(k_{m_v}) Wert dieser Profilschichten zu ermitteln.

Die Kornverteilungskurve stellt eine grundlegende, zahlenmässig-objektive kennzeichnung des Bodenmaterials dar. Durch viele Vergleichsuntersuchungen konnte festgestellt werden, dass er durchaus möglich ist, die Wasserdurchlässigkeit aus der Kornverteilungskurve mit ausreichender Genauigkeit zu bestimmen (W. Beyer 1964) Voraussetzung dafür ist eine sorgfältige Probenentnahme, eine genügend grosse Probenzahl je Bohrung, eine ordnungsgemässe Bestimmung der Kornanteile und eine Auswertung der Kornverteilungskurve unter Berücksichtigung engstufiger Ungleichförmigkeitsbereiche.

2. Die Abhängigkeit der Wasserdurchlässigkeit vom Kornaufbau

Massgebend für die Wasserdurchlässigkeit eines Bodens sind vornehmlich Grosse und Form der Porenräume, die ihrerseits wieder von der Grosse, Form und gegenseitigen Zuordnung der einzelnen Bodenkörner abhängen. Deshalb besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Wasserdurchlässigkeit (k_f) und der Kornzusammensetzung des Bodenmaterials. Für diese Abhängigkeit ist eine Reihe von Formeln aufgestellt worden, die sich auf gewisse charakteristische Grossen im Kornaufbau eines Bodens stützen. Die meisten Formeln besitzen die Grundform $k_f = C \cdot d_m^2$, bzw. bei Berücksichtigung des Porengehaltes: $k_f = C \cdot f(n) \cdot d_m^2$. Hierin bedeutet d_m den massgebenden Korndurchmesser. Die Angaben über den Factor C, die Porengehaltfunktion $f(n)$ und die Auslegung des Begriffes d_m weisen zum Teil erhebliche Unterschiede auf. Nicht alle haben zur Aufstellung ihrer Formeln eine Vielzahl von Proben untersucht. So sind häufig nur Versuchsergebnisse idealisierter Boden oder Bodenfraktionen verwendet und die dabei gefundenen Gesetzmässigkeiten veralgemeinert worden. Dies gilt sowohl für einzelne Komponenten und Faktoren als auch für die ganze Formel. Ferner ist der in zahlreichen Beziehungen zur rechnerischen Ermittlung des k_f -Wertes enthaltene Ausdruck der massgebenden Korngrösse oft nicht näher erläutert oder nur als «wirksame Korngrösse» bezeichnet. Unter «wirksame Korngrösse» versteht man aber bodenkundlich entweder die Korngrösse $d_r = 6/\sigma$ (cm), wobei σ (cm^2/cm^3) die spez. Oberfläche bedeutet, oder die Korngrösse $d_{10\%}$ (mm), d.h. diejenige Korngrösse, welche die Kornverteilungskurve in 90% Gewichtanteile groberer und 10% Gewichtanteile kleinerer Korngrössen trennt. Wird aber nicht streng zwischen d_w und $d_{10\%}$ unterschieden, erwächst der Eindruck, als wäre $d_w = d_{10\%}$. Dies trifft jedoch keinesfalls zu.

3. Die Kornverteilungskurve

Die Kornverteilungskurve ist die graphische Darstellung der durch Siebung oder Schlämmanalyse zahlenmässig bestimmten Gewichtssanteile von Korngrössengruppen eines Bodenmaterials. In der hydrogeologischen Praxis werden dabei die Ergebnisse als Rückstands- bzw. Durchgangssummenkurve in einfachlogarithmisch geteilten Koordinatensystem dargestellt.

Bei dieser Darstellungsweise werden die Gewichtsanteile der Korngrössengruppen als Rückstands- bzw. Durchgangssummen über den Korn- bzw. Siebgrössen- und Schlämmgrössen aufgetragen (Bild. 1).

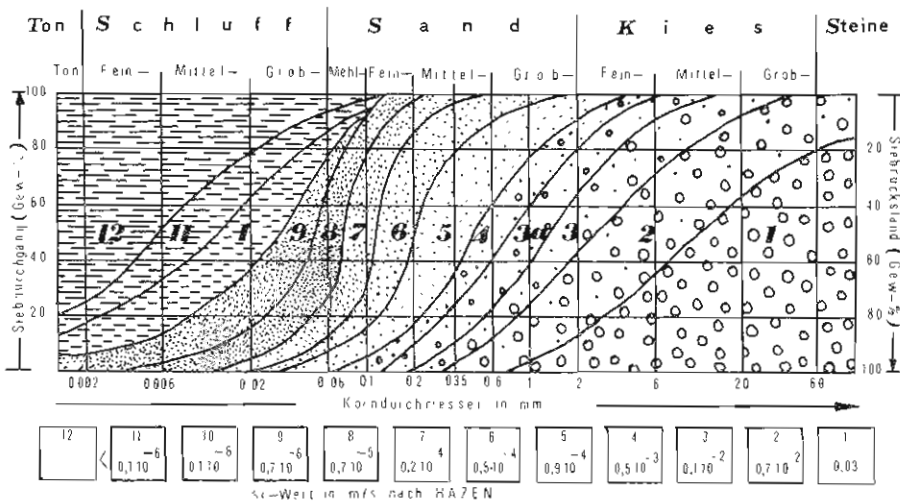


Bild. 1. Kornverteilungskurven in einfach logarithmischen Koordinatensystem (nach BREDDIMN, H.).

Die Abzisse erhält logarithmische Teilung bei entsprechender Bezeichnung der einzelnen Korngrössengruppen durch die Hauptbodenarten. Die Abzissenaufteilung umfasst üblicherweise den Korngrössenbereich $d=0,002 \dots 60$ mm, d.h. von der Fraktion des Rohtones bis zum Grobkies. Die Ordinate ist linear von 0 bis 100% geteilt. In dieser Auftragung zeigen natürliche, nichtbindige, aber auch bindige Böden einen S-formigen Verlauf. Je nach Ungleichförmigkeit der Kornzusammensetzung ist die Kurve mehr oder weniger stark gestreckt oder aufgerichtet.

4. Ermittlung der Korngrösse $d_{10\%}$

Liegt die Kornverteilungskurve vor, lässt sich die gesuchte Korngrösse $d_{10\%}$ schnell und einfach als Schnittpunkt der Kornverteilungskurve mit der Netzlinie des Koordinatensystems bei 10% Gewichtsanteile ermitteln. Da zwischen dieser Grösse und anderen die Wasserdurchlässigkeit beeinflussenden bodenphysikalischen Kennwerte Gesetzmässigkeiten bestehen, wird der Wert $d_{10\%}$ oft verwendet, um ein Bodenmaterial Korngrössenmässig mit einer Zahl zu kennzeichnen.

5. Beziehung zwischen der wirksamen Korngrösse d_w und $d_{10\%}$

Da die Ermittlung der wirksamen Korngrösse d_w beträchtlichen Arbeitsaufwand verlangt, ist vom Beyer eine gegenseitige gesetzmässige Abhängigkeit zwischen der wirksamen Korngrösse d_w (mm) und $d_{10\%}$ (mm) gefunden worden. Das Vorhandensein einer derartigen Beziehung war zu erwarten, da beide Korngrössen eine gleichsinnige Veränderung erfahren, wenn das Bodenmaterial gröber oder feinkörniger wird.

Nach Bestimmung der Werte d_w und $d_{10\%}$ erfolgte eine Ordnung der verschiedenen Böden in engstufige Ungleichförmigkeitsbereiche, wobei als Ungleichförmigkeit (U) das Verhältnis der Korngrössen $d_{60\%}/d_{10\%}$ verstanden wird.

Es ist ermittelt, dass d_w und $d_{10\%}$ mit der folgenden Beziehung $d_{10\%} = \alpha \cdot d_w$ verbunden sind, wobei α ein Verhältniswert ist, der als Funktion von U ermittelt wird. ($\alpha = f(U)$, BETER 1964, Bild. 2).

Die Auftragung der Werte in einem Koordinatensystem mit der Ordinate $d_{10\%}$ und der Abzisse d_w zeigt dabei eine recht gute gegenseitige Abhängigkeit zwischen d_w und $d_{10\%}$. Als zwäckmässig wird sich folgende Staffelung der Ungleichförmigkeit in Bereiche erwiesen.

$U=1,0 \dots 1,9$	$U=20 > U > 10$
$U=2,0 \dots 2,9$	$U=20$
$U=3,0 \dots 4,9$	$U=100$
$U=5,0 \dots 9,9$	

Das Ergebnis ist aus Bild 3 zu entnehmen, wobei eine Zuordnung der einzelnen Punkte entlang einer Geraden zu erkennen ist.

Ein Vergleich der Steigungsverhältnisse zeigt, dass sämtliche Geraden flächer als 45° verlaufen, d.h. einen bestimmten Wert von $d_{10\%}$

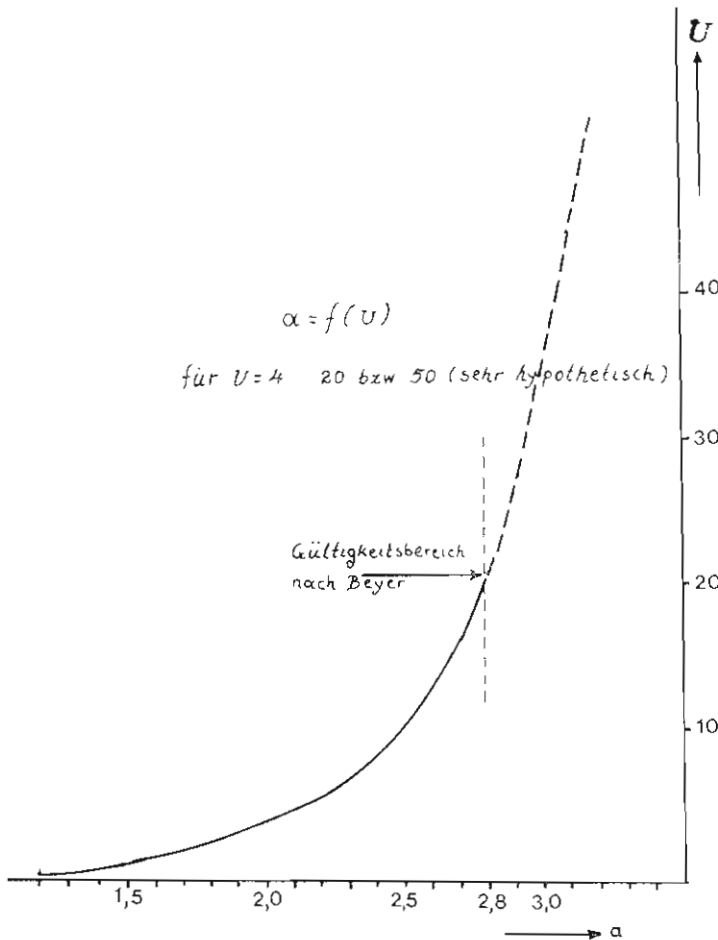


Bild. 2. Grösse des Verhältniswertes α in Abhängigkeit der ungleichförmigkeit U .

ist eine wirksame Korngrösse d_w zugeordnet, deren absoluter Wert grösser ist als derjenige von $d_{10\%}$.

Im Zusammenhang mit den k_r - Wert - Formeln, in denen die «wirksame Korngrösse» enthalten ist, wie z.B. der Formel nach Hazen: $k_1 = 116 \cdot d_w^2$, und die untereinander noch Widersprüche zeigen, je nachdem $d_{10\%}$ oder d_w als «wirksame Korngrösse» betrachtet wurde, Können die verschiedenen Formeln möglicherweise in Einklang gebracht werden.

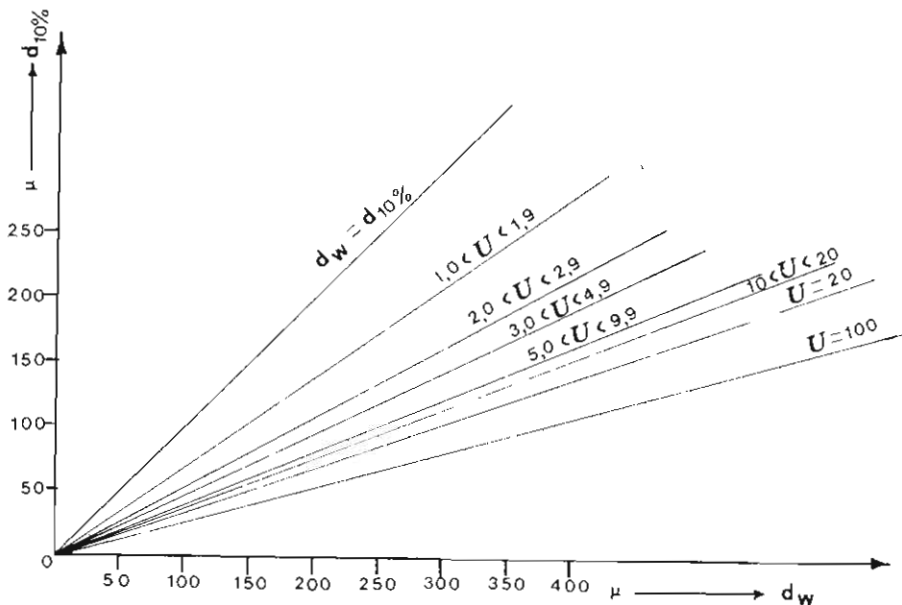


Bild 3. Beziehung zwischen d_w (mm) und $d_{10\%}$ (mm) in Abhängigkeit der Ungleichförmigkeit U_w .

Gleichzeitig gewinnt die Bezugskorngrösse $d_{10\%}$ an Bedeutung, indem mit der neu gefundenen Abhängigkeit der Nachweis erbracht wurde, dass die Korngrösse $d_{10\%}$ in Verbindung mit der Ungleichförmigkeit U der wirksamen Korngrösse d_w nicht nachsteht.

6. Beziehung zwischen $d_{10\%}$ und dem k_f -Wert unter Berücksichtigung engstufiger Ungleichförmigkeit

Die aus der Literatur bekanntgewordenen Formeln der k_f -Wertbestimmung aus der Kornverteilungskurve zeigen oft erhebliche Unterschiede. Die Ursache dafür liegt in vielen Fällen in der rein schematischen Übertragung und unberechtigten Verallgemeinerung einzelner Versuchsergebnisse. Um den Factor C in der Beziehung $k_f = C \cdot d_{10\%}^2$ in Abhängigkeit der Ungleichförmigkeit zutreffend ausdrücken zu können und um gleichzeitig die besonderen morphologische Verhältnisse unseres geographischen Raumes zu erfassen, wurden vom Beyer zahl-

reiche Vergleichsuntersuchungen zu Pumpversuchsergebnissen, labormäßig ermittelten k_f - Werten und k_f - Werten aus der Kornverteilungskurve durchgeführt.

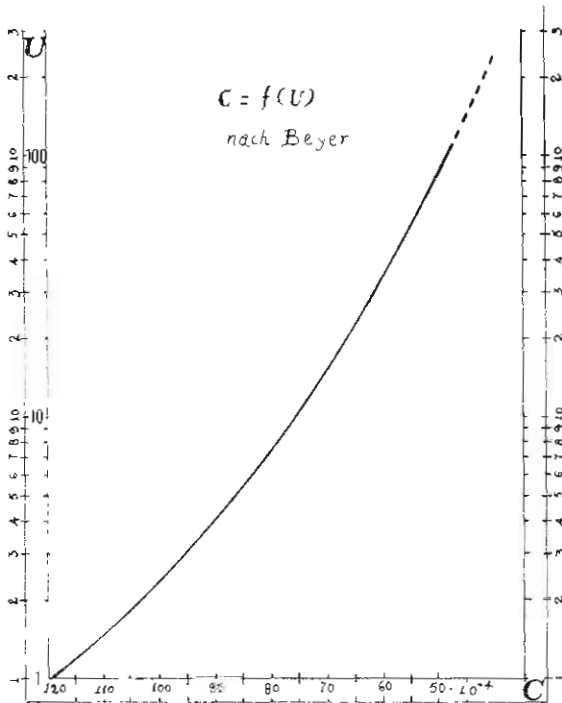


Bild. 4. Grösse des Faktors C in Abhängigkeit der Ungleichförmigkeit U .

Der Faktor C in der Formel $k_f = C \cdot d_{10}^2 / \%$ erhält damit die in Bild 4, wobei $C = f(U)$ ist, angegebenen Werte, wenn für die Wasserdurchlässigkeit als Dimension (m/s) und für die Korngrösse (mm) verwendet wird. Auf Grund der gefundenen Gesetzmässigkeiten wurde die Beziehung $k_f = \alpha_u \cdot C_u \cdot d_{10}^2 / \%$ vom Beyer aufgestellt, um in Abhängigkeit von $d_{10} / \%$ und $d_{60} / \%$ die zugehörigen k_f - Werte unter weitgehender Berücksichtigung der Forderung nach engstufigen Bereichen einfach und schnell entnehmen zu können.

Die k_f - Werte, die aus dem Formel $k_f = \alpha_u \cdot C_u \cdot d_{10}^2 / \%$ entnehmen werden, besitzen Gültigkeit im Bereich $d_{10} / \% = 0,002 \dots 6$ mm und für Ungleichförmigkeiten $U = 1,0 \dots 20,0$, aber nährungsweise mehr als $U = 20,0$.

TABELLE 1. Ermittlung des kf-Wertes von Schichten der Bohrung Domatia

Proben Nummer	d ₆₀ (mm)	d ₁₀ (mm)	d ₁₀ ²	$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$	d ₃₀ (mm)	d ₃₀ ²	Abstufungsgrad $C = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}}$	h (m)	α _u	C _u	nach w, Beyer $k_f = \alpha_u \cdot C_u \cdot d_{10}^2$
1	0,85	0,02	4,0·10 ⁻⁴	42,50	0,37	1,3·10 ⁻¹	7,64	1,5	3,10	57,10 ⁻⁴	7,068·10 ⁻⁶
2	1,00	0,01	1,0·10 ⁻⁴	100,00	0,20	4,0·10 ⁻²	4,00	4,5	3,50	47,5·10 ⁻⁴	1,662·10 ⁻³
3	0,82	0,25	6,25·10 ⁻²	3,28	0,50	2,5·10 ⁻¹	1,22	2,0	1,88	91,5·10 ⁻⁴	1,075·10 ⁻³
4	1,50	1,00	1,00	1,50	1,40	1,96	1,30	3,0	1,42	110,0·10 ⁻⁴	1,56·10 ⁻²
5	1,00	0,41	1,681·10 ⁻¹	2,43	0,82	6,7·10 ⁻¹	1,63	2,4	1,72	99,5·10 ⁻⁴	2,87·10 ⁻³
6	5,50	0,38	1,444·10 ⁻¹	14,50	2,60	6,76	3,23	3,4	2,55	72,0·10 ⁻⁴	2,65·10 ⁻³
7	0,40	0,0055	3,0·10 ⁻³	72,70	0,019	3,0·10 ⁻⁴	0,13	3,2	3,40	51,0·10 ⁻⁴	5,20·10 ⁻⁷
8	2,70	0,070	4,9·10 ⁻³	38,57	0,55	3,0·10 ⁻¹	1,58	3,2	3,06	57,5·10 ⁻⁴	8,62·10 ⁻⁵
9	0,048	0,0028	7,0·10 ⁻⁶	17,14	0,0095	9,0·10 ⁻⁵	0,67	6,4	2,73	67,5·10 ⁻⁴	2,29·10 ⁻⁷
10	3,20	0,035	1,22·10 ⁻³	91,4	0,55	3,0·10 ⁻¹	2,67	6,4	3,50	48,5·10 ⁻⁴	1,29·10 ⁻⁵
11	0,65	0,0065	4,20·10 ⁻⁴	100,0	0,011	1,2·10 ⁻⁴	0,03	5,0	3,50	47,5·10 ⁻⁴	6,98·10 ⁻⁷
12	2,80	0,018	3,24·10 ⁻⁴	155,5	0,080	6,4·10 ⁻³	0,12	4,4	3,50	43,5·10 ⁻⁴	4,93·10 ⁻⁶
13	0,15	0,0028	7,0·10 ⁻⁶	53,6	0,009	8,0·10 ⁻⁵	0,19	3,2	3,18	54,5·10 ⁻⁴	1,21·10 ⁻⁷
14	0,95	0,009	8,1·10 ⁻⁵	105,5	0,027	7,3·10 ⁻⁴	0,08	3,4	3,50	47,0·10 ⁻⁴	1,33·10 ⁻⁶
15	0,85	0,008	6,4·10 ⁻⁵	106,25	0,014	1,9·10 ⁻⁴	0,03	3,2	3,50	46,9·10 ⁻⁴	1,05·10 ⁻⁶
16	1,60	0,120	1,44·10 ⁻²	13,33	0,60	3,6·10 ⁻¹	1,87	2,0	2,62	71,0·10 ⁻⁴	2,67·10 ⁻⁴
17	1,70	0,055	3,02·10 ⁻³	30,90	0,53	2,8·10 ⁻¹	2,99	4,4	2,96	60,9·10 ⁻⁴	5,44·10 ⁻⁷
18	0,30	0,006	3,60·10 ⁻⁵	50,00	0,04	1,6·10 ⁻³	0,88	9,0	3,17	55,5·10 ⁻⁴	6,33·10 ⁻⁷
19	1,20	0,008	6,40·10 ⁻⁵	150,00	0,025	6,0·10 ⁻⁴	0,06	3,4	3,50	44,0·10 ⁻⁴	9,85·10 ⁻⁷
20	0,58	0,06	3,60·10 ⁻³	96,60	0,018	3,0·10 ⁻⁴	0,08	6,6	3,50	48,0·10 ⁻⁴	6,04·10 ⁻⁵
21	0,95	0,06	3,6·10 ⁻³	15,80	0,45	2,0·10 ⁻¹	3,50	6,4	2,70	69,0·10 ⁻⁴	6,70·10 ⁻⁵
22	0,78	0,01	1,0·10 ⁻³	78,00	0,02	4,0·10 ⁻⁴	0,05	3,2	3,50	50,5·10 ⁻⁴	1,76·10 ⁻⁵
23	0,39	0,006	3,6·10 ⁻⁵	65,60	0,016	2,5·10 ⁻⁴	0,10	3,2	3,50	55,0·10 ⁻⁴	6,93·10 ⁻⁷
24	0,85	0,011	1,2·10 ⁻⁴	77,20	0,022	4,8·10 ⁻⁴	0,05	4,6	3,50	50,4·10 ⁻⁴	2,11·10 ⁻⁶
25	0,96	0,070	4,9·10 ⁻³	13,70	0,40	1,6·10 ⁻¹	2,38	15,0	2,63	71,0·10 ⁻⁴	9,15·10 ⁻⁵

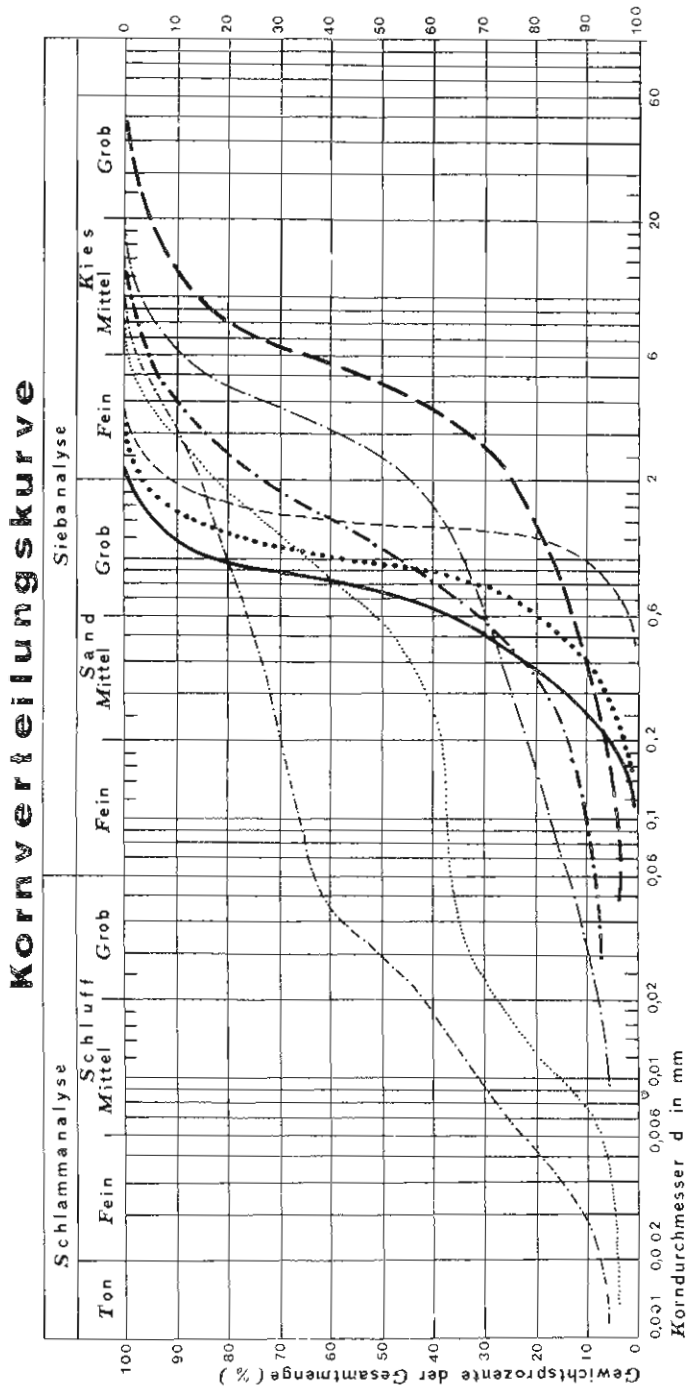


Bild 5. Kornverteilungskurven einigen Schichten von der Domaitia - Bohrung.

7. Bestimmung des k_f -Wertes den Schichten des Pieria-Beckens aus den Proben von drei Bohrungen

1. Bohrung Domatia

Im Bereich von Domatia und zu einer Höhe 98 m üNN ist eine Wasserbohrung in den Lockergesteinen niedergebracht worden, die zur eine Tiefe von 113 m erreicht wurde.

Bei der Eröffnung der Bohrung haben wir Proben aus allen Schichten bis zur eine Tiefe 113 m genommen. Diese Proben haben wir im Labor mit Sieb- und Schlämmanalyse bearbeiten und für jede Probe die Kornverteilungskurve aufgestellt. Aus der Kornverteilungskurve wurde $d_{10}\%$, $d_{60}\%$ und von denen die Ungleichförmigkeit U bestimmt. Auf Grund der gefundenen Werten, war es möglich, die Faktoren α_u , d_w , C_u aus den Bilden 2, 3, 4 ermitteln zu können. Auf Grund der obigen Bestimmungen und den Formel von Beyer $k_f = \alpha_u \cdot C_u \cdot d_{10}^2\%$ haben wir den Wasserdurchlässigkeitsbeiwert (k_f) je Schicht ermitteln. Die Ergebnisse sind aus Tabelle 1 und Bild 5 zu entnehmen.

Wollen wir die mittlere horizontale (k_{mh}) und die mittlere vertikale (k_{mv}) Wasserdurchlässigkeit der gesamten Schichten, die die Bohrung begegnet hat, dann arbeiten wir wie folgt:

Erstens zeichnen wir ein Profil von Schichten, in dem jede Schicht sich mit ihre Mächtigkeit (h) und Wasserdurchlässigkeit bezieht. (Tabelle 1).

Die Ermittlung des k_{mh} und k_{mv} - Wertes nach dem Gesetz von Darcy besitzt den folgende Verlauf:

Zuerst betrachten wir den Fall zwei Schichten (Bild 6).

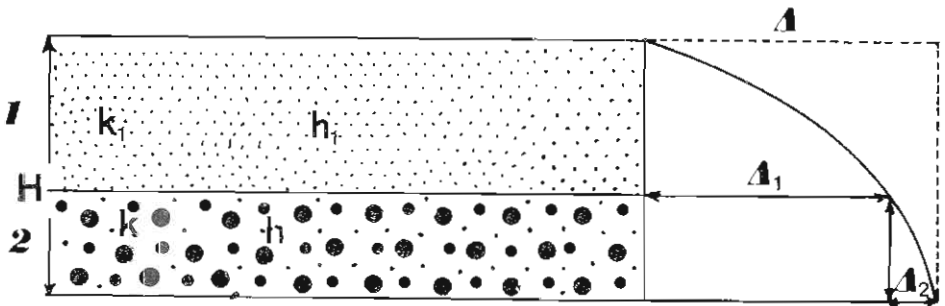


Bild 6. Schematische Darstellung zwei Schichten mit ihrer Mächtigkeiten und Wasserdurchlässigkeiten.

wobei h_1, h_2 , die Mächtigkeiten der Schichten 1 und 2 sind

$$H = h_1 + h_2$$

und Δ_1, Δ_2 die Grandiente der Schichten 1 und 2 auch sind

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$$

Aus dem Gesetz von Darcy haben dann,

$$v = k \cdot i \quad (1)$$

wobei k = Wasserdurchlässigkeit (Permeabilität) und

$$i = \text{Grandient} = \Delta/H$$

$$\text{dann } Q = k \cdot i \cdot F \quad (2)$$

wobei Q = der Wasserabfluss durch die Fläche F und

$$i_1 = \Delta_1/h_1, \quad i_2 = \Delta_2/h_2, \quad i = i_1 + i_2, \quad \Delta = \Delta_1 + \Delta_2$$

Da $v = k_{mv} \cdot i$ (3) dann

$$v = k_{mv} \cdot \left(\frac{\Delta_1}{h_1} + \frac{\Delta_2}{h_2} \right) \quad \text{und} \quad k_{mv} = \frac{v}{\left(\frac{\Delta_1}{h_1} + \frac{\Delta_2}{h_2} \right)} \quad (4)$$

Da aber $v = k_1 \cdot \Delta_1 / h_1$ wäre also $\Delta_1 = v \cdot h_1 / k_1$

$v = k_2 \cdot \Delta_2 / h_2$ $\Delta_2 = v \cdot h_2 / k_2$

Wenn wir jetzt Werte von Δ_1 und Δ_2 auf der Beziehung (4) übertragen, dann haben wir

$$k_{mv} = \frac{v}{\frac{v \cdot h_1}{k_1} + \frac{v \cdot h_2}{k_2}} \quad (5)$$

Zur Gleichung (3), wenn wir den Wert von (i) mit dem gleichen $(\Delta_1 + \Delta_2 / h_1 + h_2)$ Wert ersetzen, dann gilt,

$$v = k_{mv} \cdot \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{h_1 + h_2} \right) \quad \text{und} \quad k_{mv} = \frac{v(h_1 + h_2)}{\Delta_1 + \Delta_2} = \frac{v(h_1 + h_2)}{v \left(\frac{h_1}{k_1} + \frac{h_2}{k_2} \right)}$$

.

also

$$k_{mv} = \frac{h_1 + h_2}{\frac{h_1}{k_1} + \frac{h_2}{k_2}} \tag{6}$$

Wenn wir jetzt die Gleichung (6) für viele Schichten verallgemeinern, dann erfolgt der allgemeine Formel

$$k_{mv} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{k_i}} \tag{7}$$

Die mittlere horizontale Wasserdurchlässigkeit (k_{mh}) ermittelt sich wie folgt: Wir betrachten auch den Fall zwei Schichten (Bild 7).

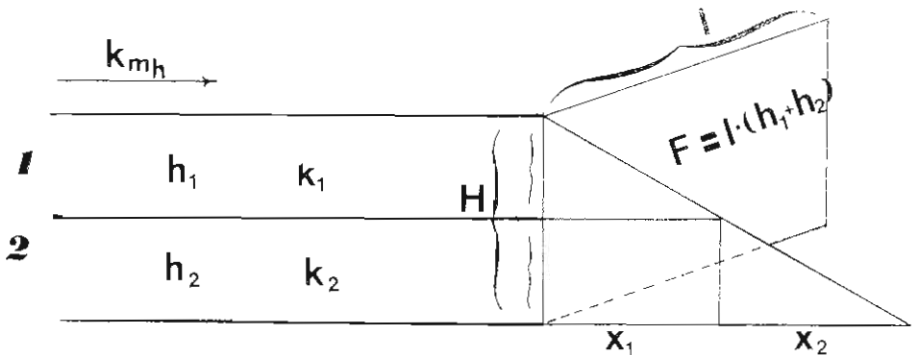


Bild 7. Profilschnitt zwei Schichten mit h_1 , k_1 und h_2 , k_2 .

Der Abfluss (Q) nach dem Gesetz von Darcy ist:

$$Q = k \cdot i \cdot F \quad \text{oder}$$

$$Q = q_1 + q_2 = k_1 \cdot i \cdot h_1 + k_2 \cdot i \cdot h_2 = i \cdot (k_1 \cdot h_1 + k_2 \cdot h_2) \tag{8}$$

Die Grandiente bleibt immer gleich,

$$\text{aber } Q = k_{mh} \cdot i \cdot H \cdot l \quad (9)$$

demnach $k_{mh} \cdot i \cdot H \cdot l = i \cdot l \cdot (k_1 h_1 + k_2 h_2)$ und

$$k_{mh} = \frac{k_1 \cdot h_1 + k_2 \cdot h_2}{H} \quad (10)$$

und der allgemeine Formel ist

$$k_{mh} = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (11)$$

Aus den Formeln (7) und (11) ist es uns möglich, die Beziehung zwischen den beiden Wasserdurchlässigkeiten k_{mv} (k_v) und k_{mh} (k_h) ausdrücken zu können also:

$$\frac{k_h}{k_v} = \frac{\frac{k_1 \cdot h_1 + k_2 \cdot h_2}{h_1 + h_2}}{\frac{h_1}{k_1} + \frac{h_2}{k_2}} \quad \text{und} \quad \frac{k_h}{k_v} = \frac{1 + h_1 \cdot h_2 \cdot \left(\frac{k_1}{k_2} + \frac{k_2}{k_1} - 2 \right)}{(h_1 + h_2)} \quad (12)$$

Aus der Beziehung (12) ergibt sich, dass die mittlere horizontale Wasserdurchlässigkeit grösser als diejenige vertikale und im Bezug auf die effektive Permeabilität (k_{ef}) gilt:

$$k_h > k_{ef} \gg k_v \quad (13)$$

es gilt auch näherungsweise

$$k_v = k_{min} \cdot \frac{H}{h_{kmin}} \quad (14)$$

$$k_h = k_{max} \cdot \frac{h_{kmax}}{H} \quad (15)$$

TABELLE 2. Ermittlung des k_f - Wertes von Schichten der Bohrung Podochorion

Proben- Nummer	d_{60} (mm)	d_{10} (mm)	d_{10}^2	$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$	d_{30} (mm)	d_{30}^2	Abstufungsgrad $C = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}}$	h (m)	α_u	C_u	nach w. Beyer $k_f = \alpha_u \cdot C_u \cdot d_{10}^2$
1	1,10	0,16	$2,56 \cdot 10^{-2}$	6,87	0,90	0,810	4,60	10	2,31	$81,0 \cdot 10^{-4}$	$4,79 \cdot 10^{-4}$
2	1,70	0,07	$4,90 \cdot 10^{-3}$	24,28	0,85	0,722	6,06	4	2,88	$63,6 \cdot 10^{-4}$	$8,97 \cdot 10^{-5}$
3	3,40	0,87	$7,57 \cdot 10^{-1}$	3,90	1,60	2,560	0,86	6	2,0	$90,5 \cdot 10^{-4}$	$1,37 \cdot 10^{-2}$
4	0,78	0,10	$1,00 \cdot 10^{-2}$	7,80	0,18	0,032	0,41	15	2,37	$79,0 \cdot 10^{-4}$	$1,87 \cdot 10^{-4}$
5	1,10	0,12	$1,44 \cdot 10^{-2}$	9,16	0,83	0,689	5,22	16	2,45	$76,5 \cdot 10^{-4}$	$2,69 \cdot 10^{-4}$
6	1,75	0,065	$4,22 \cdot 10^{-3}$	26,92	0,19	0,036	0,32	6	2,90	$62,5 \cdot 10^{-4}$	$7,64 \cdot 10^{-5}$
7	1,60	0,14	$1,96 \cdot 10^{-2}$	11,42	0,90	0,810	3,61	8	2,55	$73,5 \cdot 10^{-4}$	$3,67 \cdot 10^{-4}$
8	0,93	0,069	$4,76 \cdot 10^{-3}$	13,47	0,12	0,014	0,22	5	2,62	$71,0 \cdot 10^{-4}$	$8,85 \cdot 10^{-5}$
9	1,10	0,11	$1,21 \cdot 10^{-2}$	10,00	0,95	0,902	7,45	25	2,49	$75,5 \cdot 10^{-4}$	$2,27 \cdot 10^{-4}$
10	0,90	0,080	$6,40 \cdot 10^{-3}$	11,25	0,60	0,360	5,00	5	2,53	$73,5 \cdot 10^{-4}$	$1,19 \cdot 10^{-4}$
11	0,90	0,065	$4,22 \cdot 10^{-3}$	13,84	0,35	0,122	2,08	11	2,64	$70,8 \cdot 10^{-4}$	$7,88 \cdot 10^{-5}$
12	0,80	0,058	$3,36 \cdot 10^{-3}$	13,79	0,082	0,006	0,13	6	2,63	$70,9 \cdot 10^{-4}$	$6,26 \cdot 10^{-5}$
13	0,75	0,058	$3,36 \cdot 10^{-3}$	12,93	0,095	0,009	0,20	28	2,60	$71,5 \cdot 10^{-4}$	$6,25 \cdot 10^{-5}$

Nach den obigen erwanten Ermittlungen sind die k_{mv} und k_{mh} - Werte der Schichten von Bohrung Domatia bestimmt worden. Sie fanden sich

$$k_{mv}=8,443 \cdot 10^{-7} \quad (\text{m/s}) \quad \text{und}$$

$$k_{mh}=6,014 \cdot 10^{-4} \quad (\text{m/s})$$

Bohrung Podochorion

Sie ist auf einer Hole 78 m üNN niedergebracht und zu einer Tiefe 145 m erreicht worden. Die aus dieser Bohrung entnemenden Broden wurden mit Sieb - und Schlammanalysen bearbeiten. Die Ergebnisse der Korngrossenanalyse sind im Bild 8 dargestellt und die k_f -Ermittlungen auf Tabelle 2 aufgestellt.

Die mittlere horizontale (k_{mh}) und die mittlere vertikale (k_{mv}) Wasserdurchlassigkeit sind gleicherweise wie in der Bohrung von Domatia ermittelt worden also:

$$k_{mh}=7,417 \cdot 10^{-4} \quad (\text{m/s}) \quad \text{und}$$

$$k_{mv}=1,245 \cdot 10^{-4} \quad (\text{m/s})$$

Bohrung Platanotopos

Sie ist auch in Lockergesteinen des Pieria - Beckens auf einer Hohe 90 m üNN niedergebracht und zu einer Tiefe 147 m erreicht worden. Die Proben aus dieser Bohrung wurden auch mit Sieb - und Schlammanalyse bearbeiten und die Ergebnisse der Korngrossenanalyse im Bild 9 dargestellt. Die Ermittlung der k_f - Werten sind auf Tabelle 3 aufgestellt.

Die mittlere horizontale (k_{mh}) und die mittlere vertikale (k_{mv}) Wasserdurchlassigkeit wurden ermitteln, zu:

$$k_{mh}=1,64 \cdot 10^{-3} \quad (\text{m/s}) \quad \text{und}$$

$$k_{mv}=3,18 \cdot 10^{-4} \quad (\text{m/s})$$

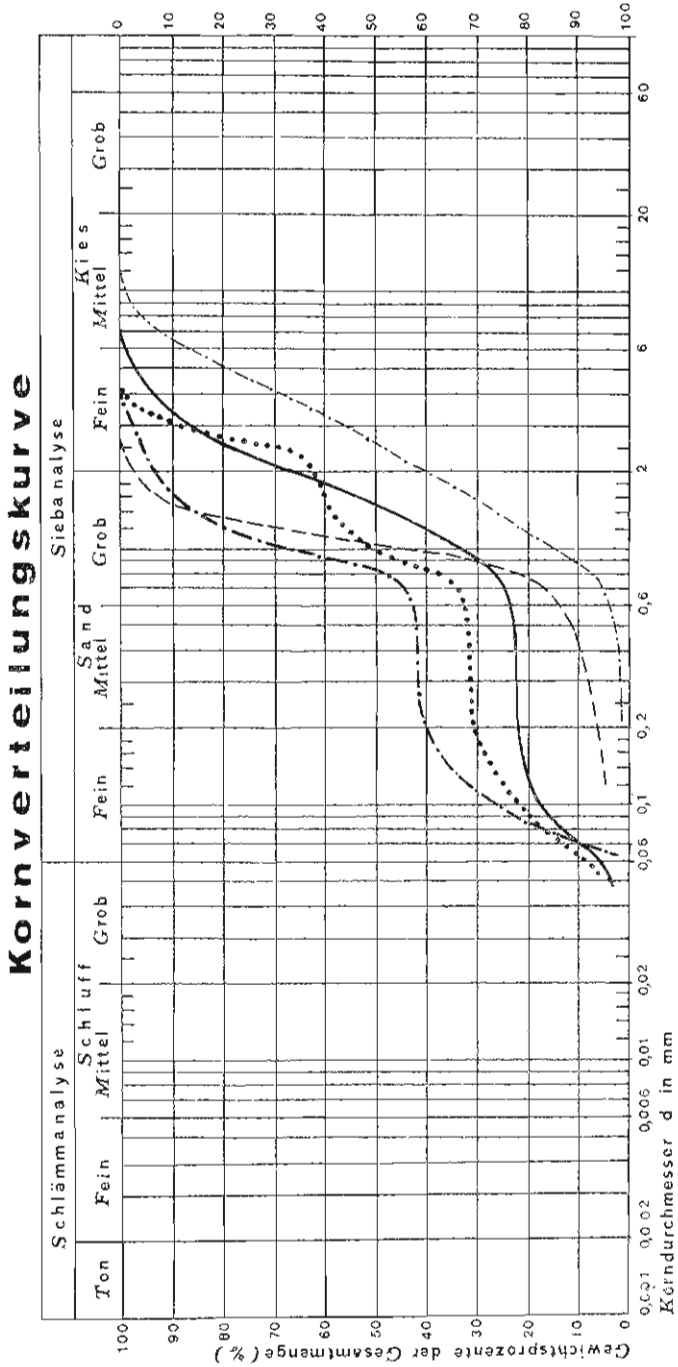


Bild 8. Kornverteilungskurven einigen Schichten von der Podochorion - Bohrung.

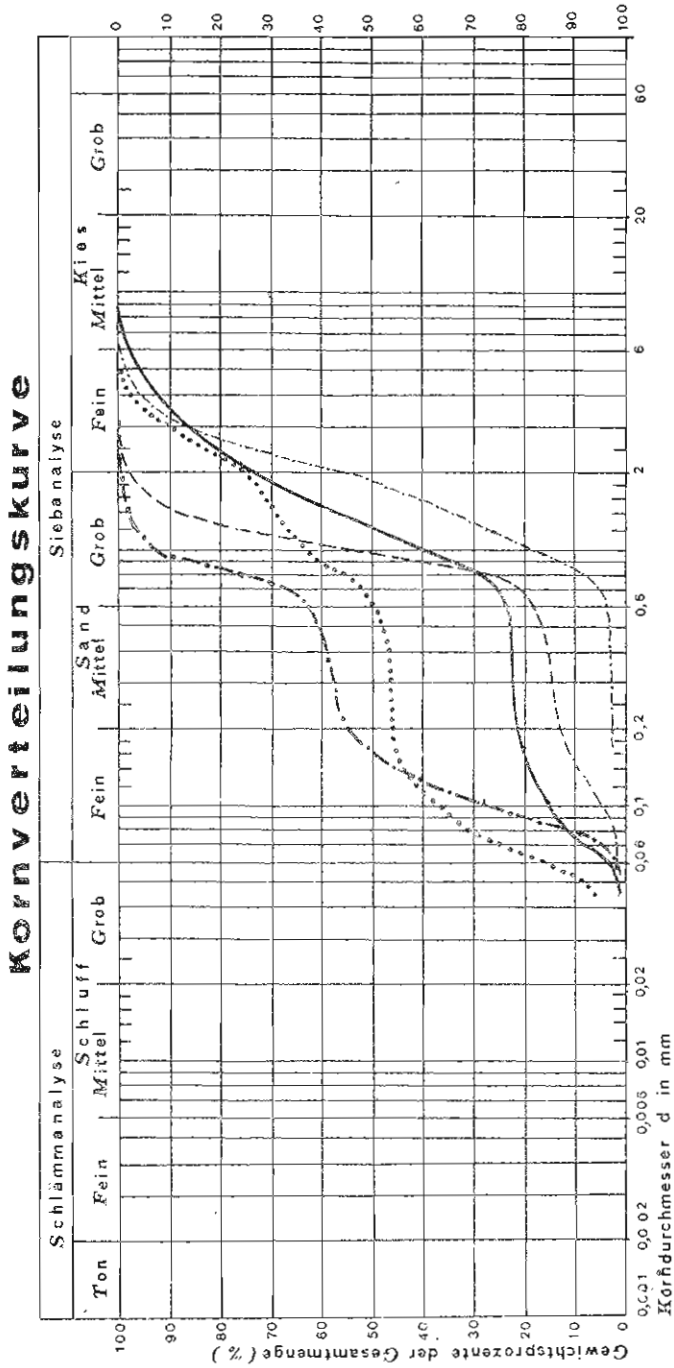


Bild 9. Kornverteilungskurven einigen Schichten von der Platanotopos - Bohrung.

TABELLE 3. Ermittlung des kf - Wertes von Schichten der Bohrung Platanotopos

Proben- Nummer	d _{60%} (mm)	d _{10%} (mm)	d _{10%} ²	$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$	$\frac{d_{30\%}}{d_{10}}$ (mm)	d _{30%} ²	Abstufungsgrad $C = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}}$	h (m)	α _u	C _u	nach w.Beyer $k_f = \alpha_u \cdot C_u \cdot d_{10}^2$
1	1,05	0,150	2,25 · 10 ⁻²	7,00	0,800	0,640	4,06	3	2,32	81,0 · 10 ⁻⁴	4,23 · 10 ⁻⁴
2	0,95	0,090	8,10 · 10 ⁻³	10,55	0,078	0,006	0,07	4	2,51	74,5 · 10 ⁻⁴	1,51 · 10 ⁻⁴
3	1,50	0,075	5,60 · 10 ⁻³	20,00	0,850	0,722	6,41	6	2,79	66,0 · 10 ⁻⁴	1,03 · 10 ⁻⁴
4	2,20	0,850	7,20 · 10 ⁻¹	2,58	1,30	1,690	0,90	12	1,75	98,5 · 10 ⁻⁴	1,24 · 10 ⁻²
5	1,00	0,120	1,44 · 10 ⁻²	8,33	0,78	0,608	5,06	5	2,41	78,5 · 10 ⁻⁴	2,72 · 10 ⁻⁴
6	1,80	0,500	2,50 · 10 ⁻¹	3,60	1,00	1,000	1,11	7	1,94	92,0 · 10 ⁻⁴	4,46 · 10 ⁻³
7	0,95	0,110	1,21 · 10 ⁻²	8,63	0,68	0,462	4,42	6	2,42	77,5 · 10 ⁻⁴	2,27 · 10 ⁻⁴
8	1,10	0,500	2,50 · 10 ⁻¹	2,20	0,90	0,810	1,47	8	1,65	101,5 · 10 ⁻⁴	4,19 · 10 ⁻³
9	0,95	0,065	4,22 · 10 ⁻³	14,61	0,15	0,022	0,35	10	2,66	70,0 · 10 ⁻⁴	7,85 · 10 ⁻⁵
10	0,45	0,078	6,08 · 10 ⁻³	5,76	0,11	0,012	0,34	16	2,22	84,0 · 10 ⁻⁴	1,13 · 10 ⁻⁴
11	1,10	0,550	3,02 · 10 ⁻²	2,00	0,90	0,810	1,33	10	1,60	103,5 · 10 ⁻⁴	5,00 · 10 ⁻⁴
12	1,05	0,100	1,00 · 10 ⁻²	10,50	0,55	0,302	2,87	5	2,51	74,5 · 10 ⁻⁴	1,86 · 10 ⁻⁴
13	1,30	0,550	3,02 · 10 ⁻²	2,36	0,95	0,902	1,26	15	1,70	100,0 · 10 ⁻⁴	5,13 · 10 ⁻⁴
14	0,75	0,085	7,22 · 10 ⁻³	8,82	0,13	0,016	0,25	15	2,43	77,5 · 10 ⁻⁴	1,36 · 10 ⁻⁴
15	0,87	0,100	1,00 · 10 ⁻²	8,70	0,45	0,202	2,32	25	2,42	77,5 · 10 ⁻⁴	1,87 · 10 ⁻⁴

LITERATUR

- BENTZ, A. & MARTINI, H. J. (1969): Lehrbuch der angewandten Geologie.-Bd. 2, T. 2, (Enke), Stuttgart.
- BEYER, W. (1964): Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden aus der Kornverteilungskurve. - WWT, 14 Jg, H. 6, Berlin.
- DIMOPOULOS, G. (1978): Über die Bildung der Grundwasseraquifern des Beckens zwischen den Gebirgen Pangäon und Symvolon (Pieria Becken). - Dissertation Universität Thessaloniki (unveröffentlicht).
- GARLING, F. (1975): Zur Genauigkeit der visuellen Bestimmung von Lockergesteinsproben. - Z. für ang. Geologie, B. 21, H. 6, Berlin.
- PESCHEL, G. & LANGBEIN, R. (1975): Zur Objektivierung des synoptischen Vergleichs der Korngrößenverteilung von Sedimenten. - Z. für ang. Geologie, B. 21, H. 6, Berlin.
- SCHNEIDER, H. (1973): Die Wassererschliessung. - 2. Neub. und erw. Aufl., (Vulkan), Essen.
- SEILER, K. P. (1973): Durchlässigkeit, Porosität und Kornverteilungskurve quaritärer Kies - Sand - Ablagerungen des Bayerischen Alpenvorlandes. - gwf - Wasser/Abwasser, 114 Jg., H. 8, München.
- SIEDEK, P. - VOSS, R. - FLOSS, R. (1974): Die Bodenprüfverfahren bei Strassenbauten. - Werner - Verlag Gmb H, Düsseldorf.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΥΔΑΤΟΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΠΙΕΡΙΑΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΟΚΚΟ- ΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ

Υπό

ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΥ

(*Εργαστήριο Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας*)

Στά χαλαρά πετρώματα τῆς «Πιερίας - λεκάνης» ἀνοίχτηκαν ἀπὸ τὴν Ὑπηρεσία Ἑγγείων Βελτιώσεων (Υ.Ε.Β.) Καβάλας τρεῖς γεωτρήσεις μὲ σκοπὸ τὴν ἄρδευση τῆς περιοχῆς. Ἀπὸ τὰ στρώματα ποὺ συνάντησαν αὐτὲς-οὶ γεωτρήσεις πήραμε ἕνα πλῆθος ἀπὸ δείγματα πετρωμάτων, τὰ ὁποῖα ἔπεξεργαστήκαμε στὸ Ἐργαστήριο μὲ τὴ μέθοδο τῶν κοσκίνων καὶ τὴ μέθοδο τοῦ ὑδρομέτρου. Τὰ ἀποτελέσματα αὐτῶν τῶν ἀναλύσεων τὰ τοποθετήσαμε πάνω σὲ ἡμιλογαριθμικὸ χαρτὶ καὶ κατασκευάσαμε τὴν κοκκομετρικὴ καμπύλη. Ἀπὸ τὴν κοκκομετρικὴ αὐτὴ καμπύλη προσδιορίσαμε τὴν ὑδατοδιαπερατότητα k_f καθενὸς στρώματος χωριστὰ μὲ τὴ βοήθεια τοῦ Τύπου τοῦ Beyer, ὅπως ἐπίσης τὴ μέση ὀριζόντια (k_{mh}) καὶ τὴ μέση κατακόρυφη (k_{mv}) ὑδατοδιαπερατότητα ὅλων τῶν στρωμάτων ποὺ συνάντησαν οἱ τρεῖς γεωτρήσεις, στριζόμενοι στὸ νόμο τοῦ Darcy.