

A SZEMCSÉK ALAKJÁNAK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA

KÉZDI ÁRPÁD

AZ MTA RENDES TAGJA

és

KOÓS-HUTÁS ERZSÉBET

[Beérkezett: 1979. július 17-én]

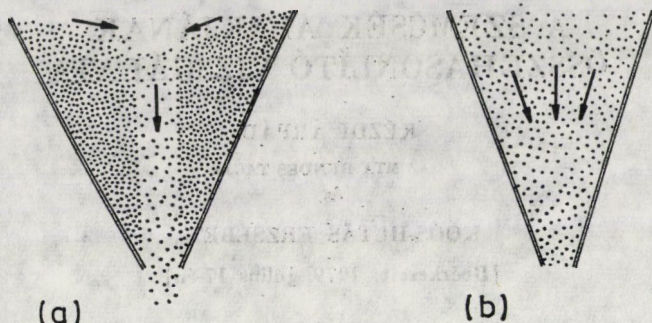
Bevezetés

A szemcsés talajok szemcséinek alakja hatással van azok viselkedésére, elsősorban tömöríthetőségére és nyírószilárdságára. A szemcsealak hatásának közvetlen vizsgálata mai eszközeinkkel igen nehézkes, vagy éppen lehetetlen (KRUMBEIN, 1941; WADELL, 1932; KÉZDI, 1979). Közvetett módszerként kínálkozik az az eljárás, hogy a száraz szemcsés talajt egy tölcser adott nyílásán kibocsátva mérjük a kifolyási sebességet s a kifolyt, lazán felhalmozott talaj tömörségét. Meghatározva a belső súrlódás szögét is, a szemcsealakra és a belső súrlódásra összehasonlításul felhasználható adatokat nyerünk. Egy ilyen vizsgálat eredményeit mutatja be ez a tanulmány, eljárást nyújtva a szemcsés anyagot alkotó szemcsék alakjának relatív jellemzésére s bemutatva a szemcsealak és a belső súrlódási szög összefüggését.

Folyadékok — szemcsés anyagok — kifolyása tölcserből

Folyadékok tölcserből való kifolyása esetén fel szokás tételezni, hogy az átfolyt anyagmennyiség a tölcser bármely vízszintes metszetében azonos s így a kifolyónyíláson az időegység alatt áthaladó anyagmennyiség a nyomási magasság függvénye. Minthogy ez a mennyiség a kifolyás során változik, azért a törvényszerűség egy differenciálegyenlet felírásával és megoldásával adható meg. Minthogy azonban itt nem ideális vagy valódi folyadékról, hanem egy nagy belső súrlódással bíró ún. „makromeritikus” folyadékról van szó, azért ahhoz, hogy ezt a differenciálegyenletet felírhassuk, a tölcserben levő mozgó anyag teljes feszültségállapotát ismernünk kellene, hisz a kifolyás sebessége a folyadék belső súrlódásától, az áramlás jellegétől, a kifolyó nyílás alakjától, a tölcserfal érdességétől és több más tényezőtől is függ. Minthogy azonban célunk a relatív összehasonlítás, e tényezők meghatározásától és a differenciálegyenlet felírásától eltekintünk, és a kísérlet elrendezése során gondoskodunk arról, hogy az eredmények összehasonlíthatóak legyenek.

Fontos viszont a tölcser alakjának a helyes felvétele. Ismeretes (l. JOHANSON, J. R., 1969), hogy szemcsés anyagoknak tölcserből való kifolyása két módon mehet végbe (l. ábra): a) vagy kialakul egy belső függőleges csa-



1. ábra. Az anyag tölcserből való kifolyásának módjai. a) — kürtő képződése; b) — egyenletes lefelé való mozgás

torna, ill. kürtő, melyben a szemcsés anyag mozog s a fal mentén az anyagot az egyik oldalon a jelentős súrlódás, a másik oldalon pedig a kürtőben mozgó szemcsehalmaz támasztja meg, vagy pedig (b) a szemcsehalmaz, az előbb tett feltevésnek megfelelően, teljes tömegében mozog lefelé. A mozgási módot a tölcser hajlásszöge és a belső súrlódás szöge határozza meg, mint azt a 2. ábra határgörbéje bemutatja. A kísérletekben ténylegesen alkalmazott hajlásszög $2\theta = 30^\circ$ volt, ami — szándékainknak megfelelően — (b) típusú szemcsemozgást jelentett, s az előkísérletek szerint itt jelentkezett a legkisebb felszíni deformáció.

Ha rögzítjük a nyomásmagasságnak a mérés időtartama alatti átlagos értékét, s a méréseket mindig ilyen nyomásmagasság mellett hajtjuk végre, akkor, ha a Δt idő alatt átfolyt köbtartalmat ΔV -vel jelöljük, a tölcser hozama az időegység alatt

$$q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\Delta m}{\rho \Delta t},$$

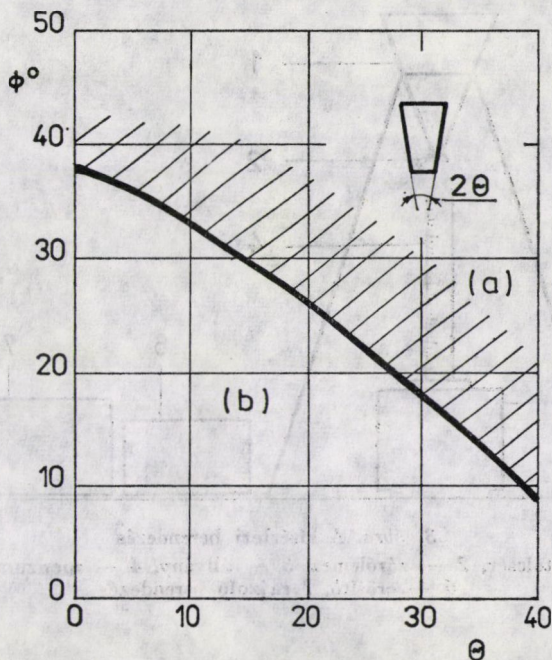
ha m az anyag tömege ρ pedig halomsűrűsége. $\bar{v}$ -vel jelölve a kifolyó anyag sebességét és f -el a kifolyónyílás felületét, akkor

$$q = \bar{v}f = \frac{\Delta m}{\rho \Delta t}$$

és

$$\bar{v} = \frac{\Delta m}{f\rho \Delta t}. \quad (1)$$

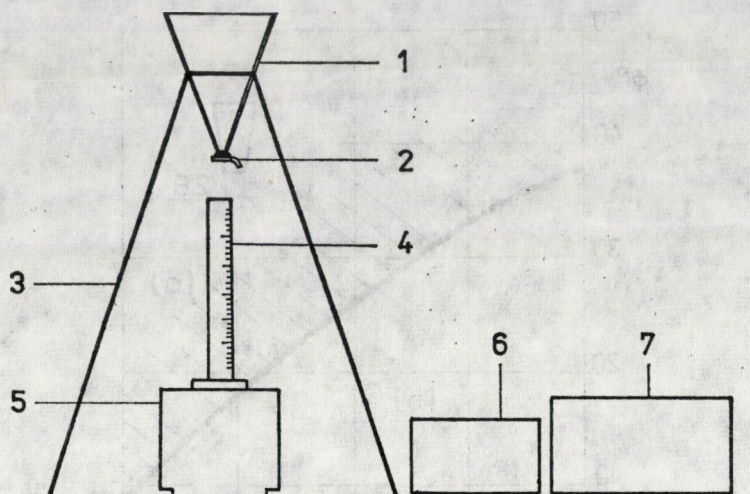
Feltételezésünk szerint a $\bar{v}$ mozgási sebesség a szemcsealak függvénye, ezért mérése alapján arra következtethetünk. Tapasztalataink szerint azonban a különböző vizsgált talajok esetében a ρ értéke elég jelentős változásokat mutatott, ezért nem a sebességet, hanem annak a halomsűrűséggel való szorzatát (a $\bar{v}\rho$ értéket) tekintettük a jellemző mennyiségnek.



2. ábra. A kifolyási módot meghatározó tényezők

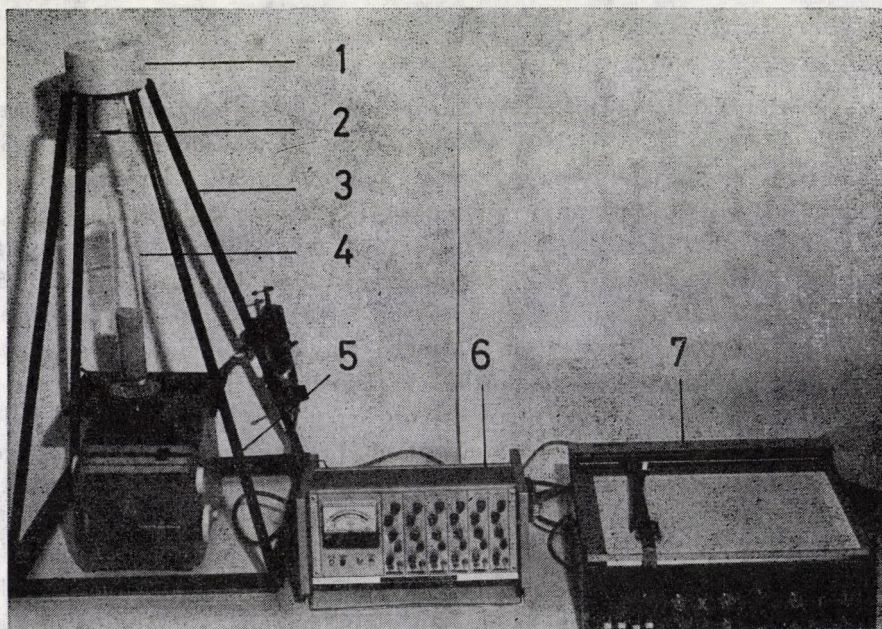
Kísérleti berendezés

A kísérletekhez a 3. ábrán bemutatott berendezést használtuk fel; ennek fényképe a 4. ábrán látható. A tölcsér anyaga metamid, csúcsszöge $2\theta = 30^\circ$, térfogata pedig akkora, hogy a betöltött anyag tömege 500 g legyen. A tölcsér alatt egy Sartorius gyártmányú mérleg volt. A kifolyónyílás alá egy vaslemez erősítettünk, amellyel a tölcsér, egy mágnes működtetése útján egyszerűen nyitható és zárható volt. A tölcséren átfolyt anyag egy menzúrába hull, a menzúra a növekvő tömeg hatására lefelé elmozdul. Az elmozdulás miatt egy rúgólapra ragasztott nyúlásmérő bélyeg ellenállása megváltozik, ez pedig egy erősítő berendezés közbeiktatásával regisztrálható. Az átfolyt tömeget így az idő függvényében egy rajzolóberendezés ábrázolta. Egy jellegzetes kísérleti eredményt az 5. ábra mutat be. Feltevésünk a kifolyás jellegére és a hozam alakulására tehát helyesnek bizonyult; kitűnt az is, hogy az alkalmazott méretek és anyagok mellett a nyomási magasság hatása csekély. A kísérletek során igazolódott, hogy a leírt összeállítás a szubjektív hibákat a minimálisra csökkenti. A vizsgált szemcsés anyagot a lehető leglazább állapotban, légszárazon helyeztük be vízszintes felszínnel; így a teljes térfogat kezdeti értéke azonos volt.

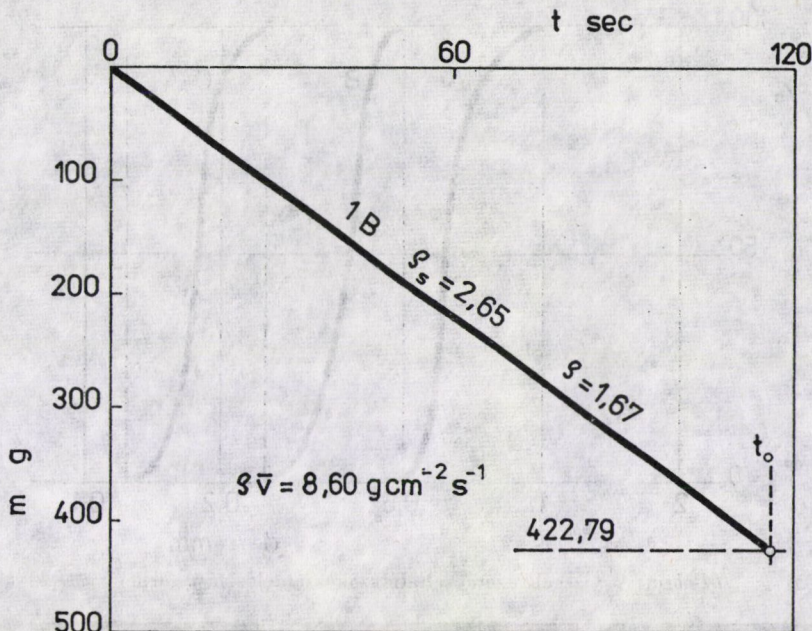


3. ábra. A kísérleti berendezés

1 — metamid tölcser, 2 — zárólemez, 3 — állvány, 4 — menzura, 5 — mérleg,
6 — erősítő, 7 rajzoló berendezés



4. ábra. A kísérleti berendezés fényképe



5. ábra. Jellegzetes kísérleti eredmény

A kísérletekhez felhasznált anyagok

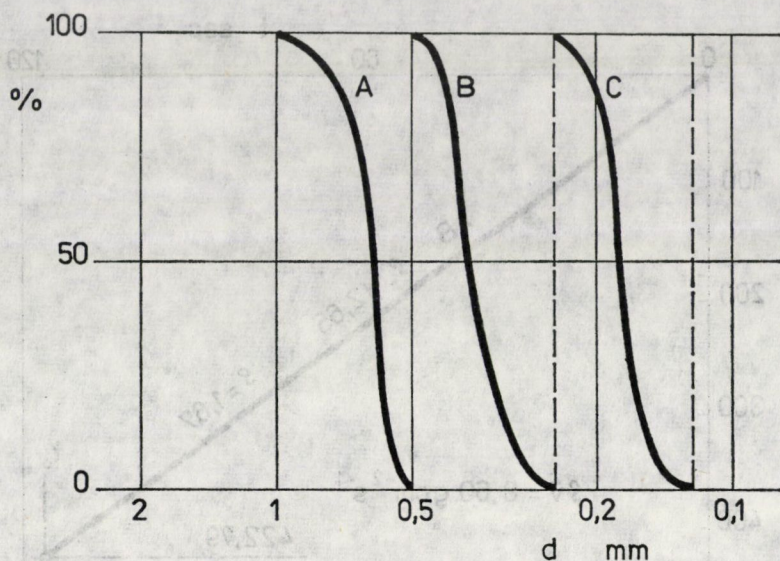
A vizsgálatokat nem a természetes talajokkal, hanem közel azonos szemcseeloszlással bíró szétosztott szemcsefrakciókkal hajtottuk végre, annak érdekében, hogy az eredményekben elsősorban a szemcsealak hatása tükröződjék és a szemcsék nagysága és eloszlása elhanyagolható szerepet játsszék. A frakciók szemcsehatárai: $0,5 \div 1,0$ mm; $0,25 \div 0,5$ mm és $0,125 \div 0,25$ mm, mint azt a 6. ábra feltünteti.

Három szemcsés anyag említett frakcióit vizsgáljuk, ezek:

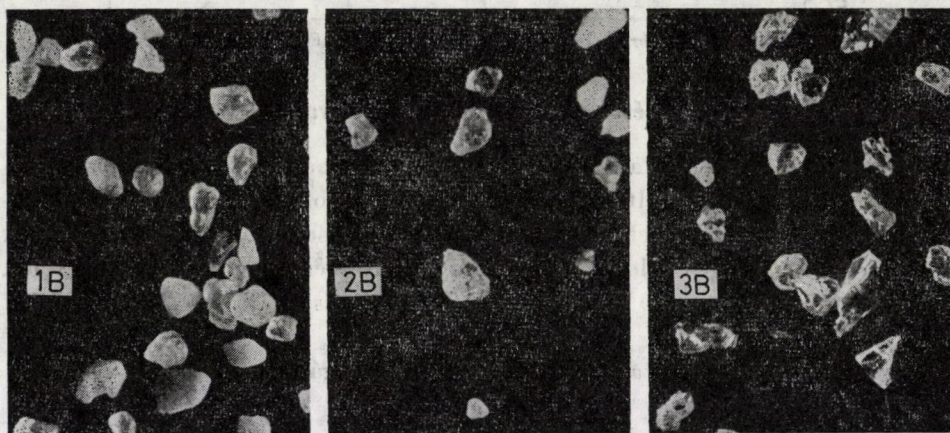
1. hatvani homok,
2. laboratóriumi homok,
3. műkorund.

A jelölésben pl. 2C tehát a laboratóriumi homok $0,125 \div 0,25$ mm frakcióját jelenti. A B jelű frakciók szemcséinek alakját 15-szörös nagyításban a 7. ábra mutatja.

Itt kell megemlíteni, hogy a vizsgálatok kezdetén úgy véltük, hogy jó összehasonlításra ad majd alkalmat, ha a kiválasztott frakcióknak megfelelő szemcseátmérőjű szabályos üveggömböket is ugyanúgy vizsgálat alá veszünk. Ez azonban nem bizonyult igaznak, az üveggömbök, egy-két kivétellel, élesen eltérő kísérleti eredményeket szolgáltatottak, vagyis szemcsealak szempontjából nem tekinthetők határesetnek. Ezért a vonatkozó kísérleti eredményeket nem tüntettük fel.



6. ábra. A vizsgált szemcsehalmazok szemeloszlási görbéi



7. ábra. A B jelű frakciók szemcséinek alakja

Kísérleti eredmények

Először bemutatjuk az 1. táblázatot, mely megadja egyrészt az alapanyagok fajsúlyát, a tölesérbe bekészített anyag halmazsúlyát és az átfolytatás után a menzúrában kialakult hézagtenyező és halmazsúly értékeit.

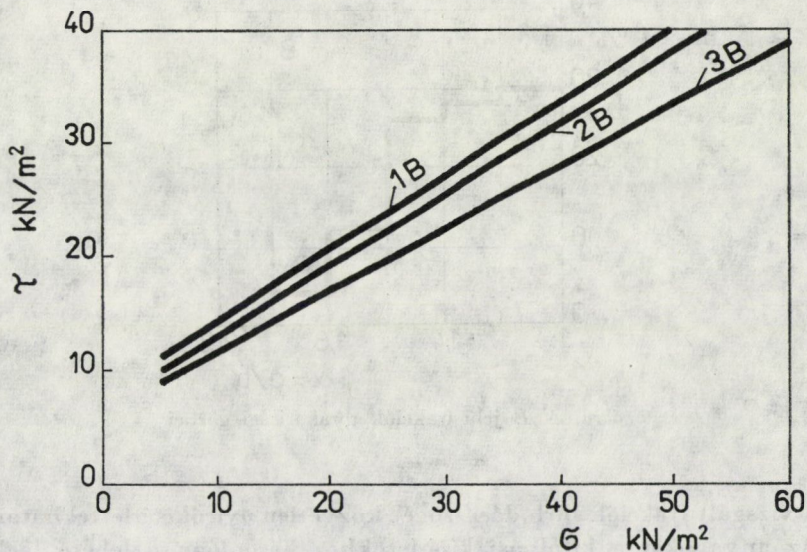
Említettük már, hogy az eredmények feldolgozása során kitűnt, a sebesség értéke helyett célszerűbb volt annak a halomsűrűséggel szorzott értékét venni figyelembe; ezt nevezik az áramlástanban „konvektív impulzusáram-sűrűségnek”. Ezt a ρv értéket a táblázat utolsó oszlopa adja meg.

1. táblázat

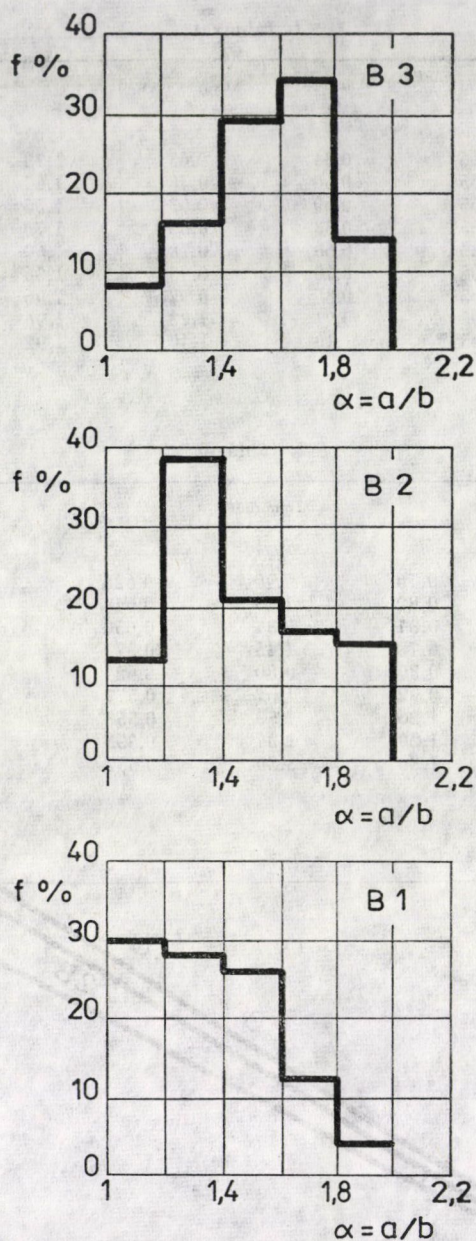
Anyag	ρ_s gcm ⁻³	Bekészítéskor e_0	Átfolyás után e	ρ gcm ⁻³	ρ^v gcm ^{-2s-1}
1A	2,65	0,54	0,63	1,73	7,30
1B	2,65	0,60	0,78	1,67	8,65
1C	2,65	0,69	0,93	1,55	8,60
2A	2,65	0,53	0,63	1,73	8,20
2B	2,65	0,60	0,78	1,69	8,70
2C	2,65	0,70	0,93	1,56	8,50
3A	4,05	0,85	0,92	1,96	9,05
3B	4,05	0,94	1,23	1,96	9,60
3C	4,05	1,10	1,40	1,92	9,91

2. táblázat

Anyag	e_0	Tömörödés %	$\tan \phi$	ϕ°
1A	0,76	0,90	0,625	32
1B	0,82	1,45	0,648	33
1C	0,87	0,84	0,650	33
2A	0,78	1,45	0,577	30
2B	0,80	0,80	0,624	32
2C	0,92	1,02	0,577	30
3A	1,26	1,50	0,553	29
3B	1,20	1,37	0,553	29
3C	1,30	3,30	0,552	29

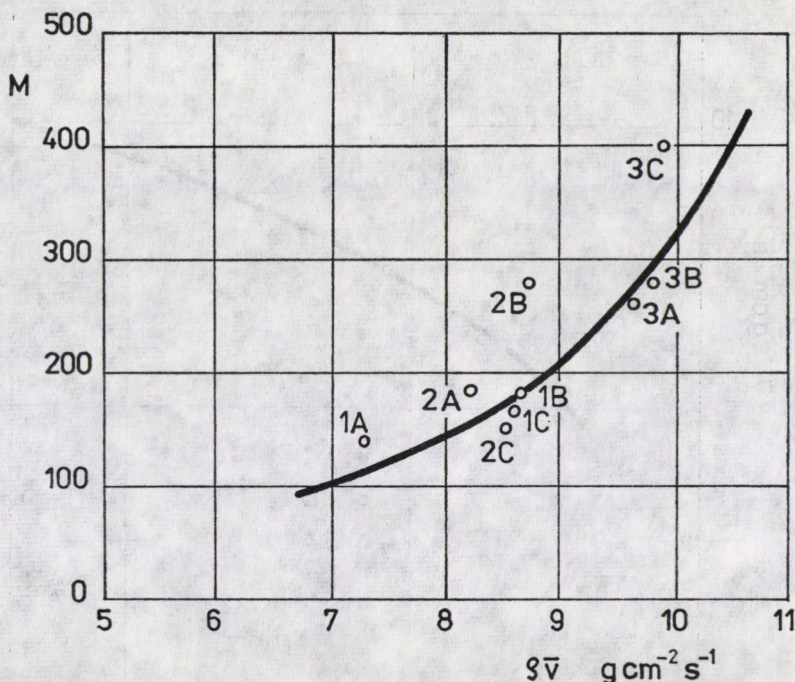


8. ábra. A B jelű frakciók nyírási egyenesei



9. ábra. A B jelű frakciók gyakorisági görbéi

A vizsgált frakciók sűrűlódási szögét közvetlen nyírókísérlettel határoztuk meg. Az anyagokat a kifolyási kísérletekhez hasonlóan a lehető leglazább állapotban készítettük be, s a mintát 0,9 mm/perc sebességgel elnyírtuk.

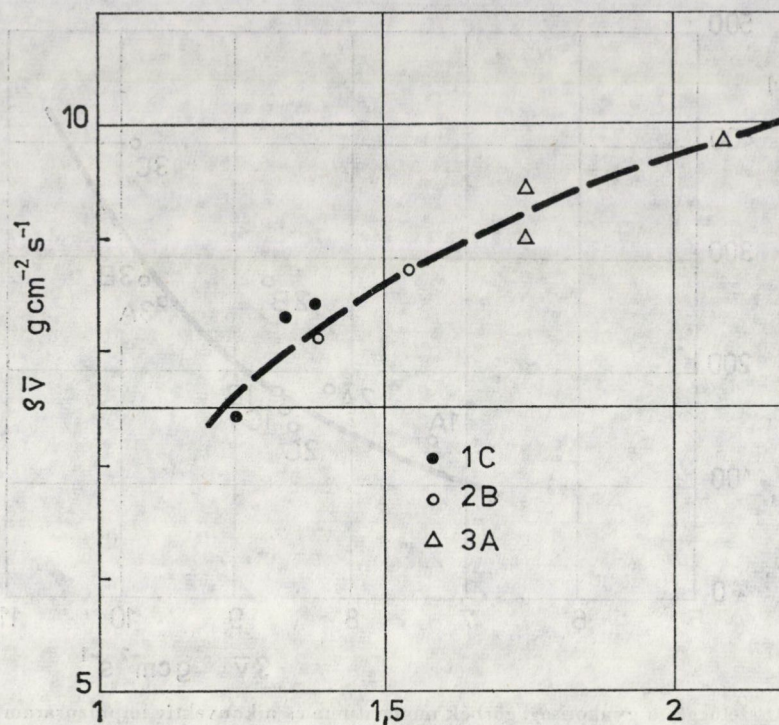


10. ábra. Összefüggés a gyakorisági görbék momentuma és a konvektív impulzusáram sűrűsége között

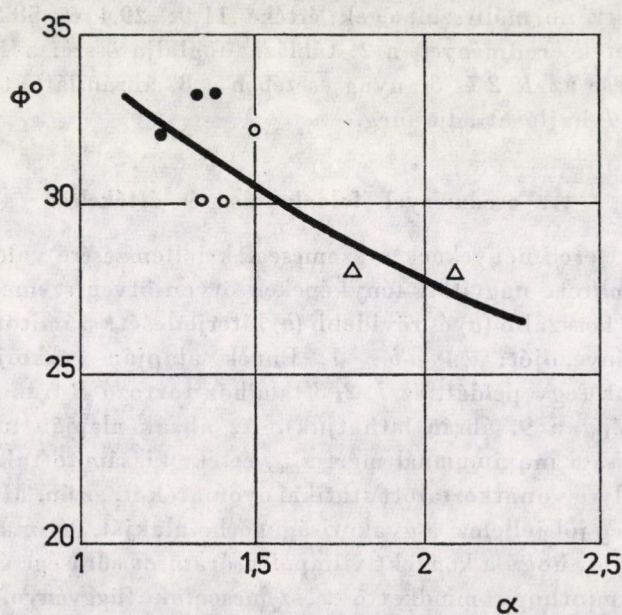
Az alkalmazott normálfeszültségek értéke 11,9; 29,4 és 58,8 kN/m² volt. A nyírókísérletek eredményeit a 2. táblázat foglalja össze; a *B* jelű frakciók nyírási egyenese az 1, 2 és 3 anyag esetében a 8. ábrán láthatók. A táblázat az egyenesek Φ hajlását adja meg.

Az eredmények feldolgozása és értékelése

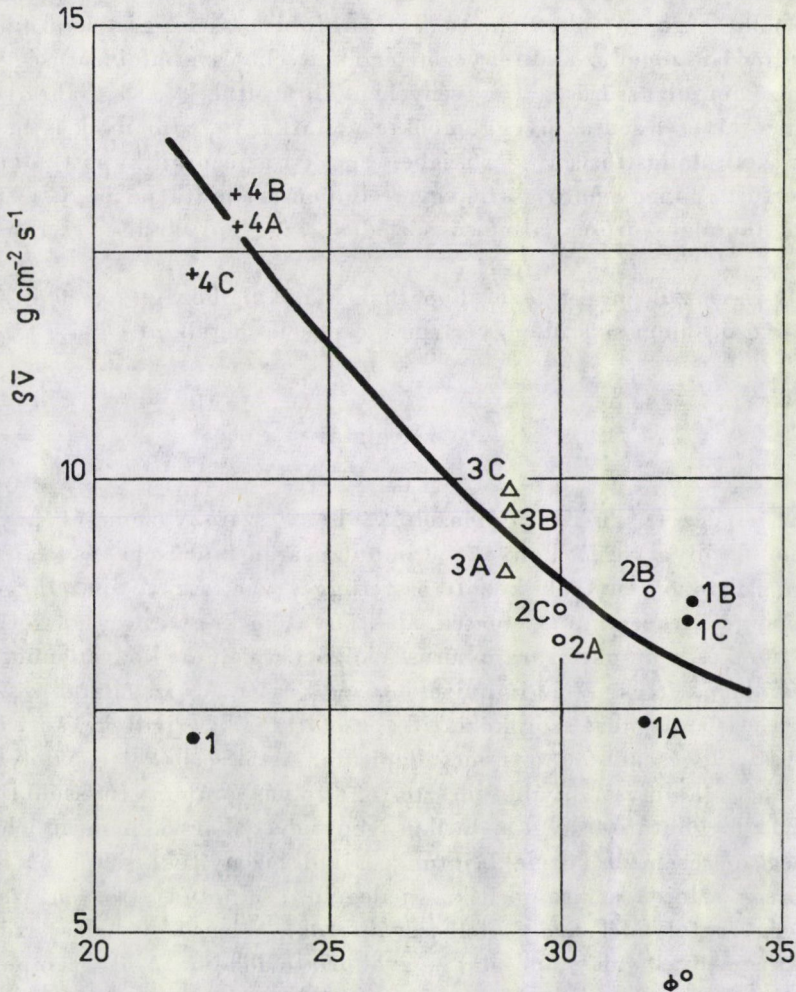
A kapott eredményeknek a szemcsealak jellemzésére való felhasználása céljából az említett nagyított fényképeken ötven-ötven szemcse vetületének mértük meg a hosszabb (*a*) és rövidebb (*b*) kiterjedését, számítottuk ki a szemcsék alakí tényezőjét: $\alpha = a/b \geq 1$. Ennek alapján gyakorisági görbéket szerkesztettünk (egy példát, az 1, 2, 3 talajhoz tartozó *B* frakció három gyakorisági görbéjét a 9. ábrán láthatjuk). Az ábrák alapján meghatározható volt a gyakorisági maximumnál mért $\alpha_{\max}$ érték; kiszámítottuk a relatív gyakorisági tengelyre vonatkoztatott statikai nyomatékot, az ún. *M* momentumot. Ez a mennyiség jól jellemzi a gyakorisági görbe alakját, így magát a szemcsealakat is. Kitűnt, hogy a konvektív impulzusáram $\bar{q}v$ sűrűsége és a *M* momentum között, minthogy mindkettő a szemcsealak függvénye, kapcsolat áll fenn; ezt az összefüggést a 10. ábra tünteti fel. Ez a kapcsolat egyben arra is



11. ábra. Összefüggés az alaki tényező és impulzussűrűség között



12. ábra. A belső súrlódás szöge az alaktényező függvényében



13. ábra. A belső súrlódás szöge az impulzussűrűség függvényében

rámutat, hogy a tölcseárból való kifolyás sebessége, pontosabban a $\bar{q}v$ érték valóban a szemcsealak függvénye, és így annak jellemzésére felhasználható, hisz az M mennyiséget kizárólag a szemcsék alak szerinti eloszlása határozza meg. E kapcsolat további igazolását nyújtja annak a vizsgálatnak az eredménye, melyben összefüggést kerestünk közvetlenül az alak tényező és az impulzussűrűség között: ezt a 11. ábra mutatja be.

Az alak tényező természetesen ki kell, hogy hasson a belső súrlódási szög értékére is. Ennek az összefüggésnek a vizsgálatához először az egyes anyagok három frakciójához tartozó alaktényező számértékének függvényében ábráztuk a belső súrlódási szög értékét; ezt tünteti fel a 12. ábra. Az össze-

függés, mint várható volt, nem túl szoros. Jobb összefüggést kaptunk, ha a belső súrlódási szöget az alaktényezőre érzékenyebb és a halomsűrűség hatását is tükröző impulzussűrűség függvényében ábrázoltuk. (L. 13. ábra.) Ebben az esetben kivételesen az üveggömbökre vonatkozó eredmények is beleilleszkednek az általános törvényszerűségbe, ezért itt az azokra kapott adatokat is feltüntettük. A kiegyenlítő görbe egyértelműen azt mutatja, hogy a kifolyást jellemző impulzussűrűség a belső súrlódási szög növekedésével rohamosan csökken.

Itt jegyezzük meg, a laza állapotban kialakuló hézagképző és az alaktényező között nem sikerült egyértelmű kapcsolatot találni.

Összefoglalás

Az elvégzett kísérletek igazolták, hogy száraz szemcsés anyagokat tölcserből kifolyatva, a konvektív impulzusáram sűrűsége és a szemcsék alakjára jellemző tényezők között összefüggés van. Ez az összefüggés egyértelműen jelentkezett a szemcsék alaktényezőinek gyakorisági görbéjének momentuma és az impulzusáram-sűrűség között, valamint közvetlenül az alaktényező átlagos értéke és az impulzussűrűség között. A vizsgálatok a szemcsealak és a belső súrlódási szög közötti kapcsolatra is kiterjedtek, és itt is határozott összefüggéseket lehetett megállapítani. A tölcserből való kifolyás vizsgálata tehát alkalmas a továbbfejlesztésre: a folyás során érvényesülő törvényszerűségek meghatározásával a statikus igénybevételkor végbemenő jelenségek jobb megismeréséhez is közelebb jutunk. Újabb bizonyítékot kaptunk továbbá a szemcsés talajok makromeritikus jellegéhez: a folyás törvényszerűségei nagyszemcsés folyadékokra is felhasználhatók. A belső súrlódási szöggel és az alaktényezővel való kapcsolat a gyakorlati alkalmazások szempontjából is sokatígérő.

IRODALOM

1. JOHANSON, J. R.: Feeding. *Chemical Engineering* (1969)
2. KÉZDI, Á.: Soil Physics. Selected Topics. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1979.
3. KRUMBEIN, W. C.: Measurement and Geological Significance of the Shape and Roundness of Sedimentary Particles. *Jour. Sed. Pert.* 11 (1941), 64.
4. SUTHERLAND, H. B., NEALE, D. F.: Determination of the Shape Factor of Sands. *Proc. 3rd Budapest Conf. Soil Mech. Found. Engg.* Akadémiai Kiadó, Budapest 1968, 288—304
5. WADELL, H.: Volume, Shape and Roundness of Rock Particles. *Jour. Geol.* 40 (1932), 443.

Comparative Investigation of the Shape of Soil Grains. — The shapes of the particles of the granular soils affect their behaviour, chiefly with respect to their compactibility and shear strength. The effect of the shape of the soil particles may rather difficultly be measured, therefore, the authors applied an indirect investigation method. By making the dry

granular soil to flow out through a funnel the outflow velocity and the density of the outflow material have been measured. Determination of the angle of internal friction resulted in data which could be used to the comparative investigation. In such a way, a method could be established to the characterization of the shapes of soil grains and the relationship between the grain shapes and angle of internal friction, by recognizing that between the aspect ratios of the particles and the numericla value of the impulses definite relationship exists. The investigation furnished new evidence to the macromeritic character of the non-cohesive soils.

Vergleichsuntersuchung der Kornformen. -- Die Kornformen der rolligen Erdstoffe beeinflussen das Verhalten der körnigen Böden, in erster Linie mit Hinsicht auf die Verdichtbarkeit und Schubfestigkeit des Bodens. Der Einfluss der Form der Körner kann unmittelbar kaum gemessen werden, deshalb haben die Verfasser eine indirekte Methode angewendet. Sie liessen das trockene körnige Bodenmaterial durch einen Trichter fließen, nachdem wurden die Ausflussgeschwindigkeit und die Dichte des Auslaufmaterials gemessen. Die Ermittlung des Winkels der inneren Reibung ergab Werte die zum Vergleichverfahren benutzt werden konnten. Auf diese Weise konnte ein Zusammenhang zwischen der Kennzeichnung der Formen der Bodenkörner und dem Winkel der inneren Reibung, durch die Erkennung einer eindeutigen Abhängigkeit zwischen dem Gestaltparameter der Bodenkörner und der Impulszahlenmässigkeit hergestellt werden. Die Untersuchungen ergaben einen neuen Nachweis für die makromeritische Charakteristik der körnigen Böden.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100