2012.

A szemeloszlás, a tömörség és a víztartás összefüggése

/ Relationship of the grading curve, the dry density and the soil water characteristic curve /

Szalkai Réka,

TDK dolgozat

Szie-Ybl Mikós

Építéstudományi kar

Bsc IV. Nappali

Témavezető: Dr. Imre Emőke

kandidátus, PhD

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés 3
2. A kutatás, és ezen belül a TDK témájának bemutatása 4
3.1. Víztartási görbe mérések 8
3.2. Tömörségmérés - a hazai eljárás 8
3.3. Tömörségmérés - a német eljárás 9
4. A keverékek adatai 11
5. A tömörségi eredmények kiszámítása 12
6. Statisztikai vizsgálatok 21
6.1. Statisztikai módszerek 21
6.2. Statisztikai eredmények 22
7. Az eredmények ábrázolása 26
8. Következtetések 30
HIVATKOZÁSOK 32
MELLÉKLETEK (A) 33
MELLÉKLETEK (B) 41

1. Bevezetés

A telítetlen talajokban lejátszódó vízáramlás leírásához kapcsolódó paraméterek megállapítása nem egyszerű feladat. Ennek egyik oka, hogy a többfázisú leírásban egy helyett (hatékony feszültség) két feszültségi változó van (a hatékony feszültség illetve a szívás). Ezen kívül a talajelem teljes térfogata valamint a vízfázis térfogata egymástól függetlenül változhat. A másik ok, hogy a vízáramlási modellek nemlineárisak, a paraméterek konstansok helyett függvények.

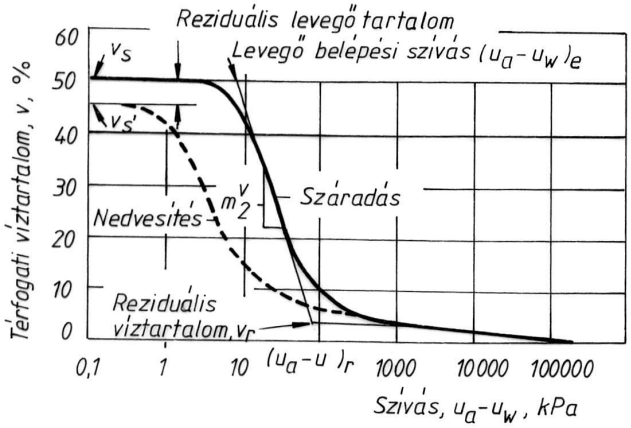
A három legfontosabb függvény a víztartási görbe (a w víztartalom és a szívás összefüggése, 1. ábra) és a k áteresztőképesség függvény (a k tényező és a szívás összefüggés), valamint a kompressziós görbe (a teljes térfogat és a hatékony feszültség kapcsolata). Itt megjegyzendő, hogy a talajtan a víztartási görbét víztartó képesség függvénynek, vagy pF-görbének nevezi. A szívás helyett pedig nedvesség potenciált használ, amely egy meghatározott értékig szívással, majd a felett nyomással állítható be.

A víztartási görbe meghatározása tudományos határterülethez tartozik, mérésével a Talajtan foglalkozik (Várallyay, 1973), a mérőeszközök a hazai talajmechanikai laboratóriumokban nem állnak rendelkezésre, a kísérlet rendkívül hosszú, esetenként néhány hét, akár két hónap is lehet, időigényes. A k tényező függvény még nehezebben mérhető, de ugyanakkor becsülhető a telített k tényező és a víztartási görbe alapján is. Célszerű lenne olyan módszerek kidolgozása, amelyek segítségével a víztartási görbe az egész szemeloszlás alapján, a tömörség figyelembevételével becsülhető (Imre és társai, 2009; 2010).

A víztartási görbe meghatározása tudományos határterülethez tartozik, mérésével a Talajtan foglalkozik, a mérőeszközök a hazai talajmechanikai laboratóriumokban nem állnak rendelkezésre, a kísérlet rendkívül hosszú, időigényes. A k tényező függvény még ennél is nehezebben mérhető, de ugyanakkor becsülhető a telített k tényező és a víztartási görbe alapján is. Célszerű lenne olyan módszerek kidolgozása, amelyek segítségével a víztartási görbe az egész szemeloszlás alapján, a tömörség figyelembevételével becsülhető (Imre és társai, 2009; 2010).

A homok talajok tömörségének vizsgálatának hazánkban nagy hagyománya van, két disszertáció is kapcsolódik hozzá, Kabai Imre és Lőrincz János munkája. Kabai Imre dunai homokból készített mesterséges keverékeket vizsgált e_{max} kíserlettel és Proctor kísérlettel. Lőrincz János a szemeloszlási entrópia fogalmával kötötte össze az e_{max} és a szuffóziós kísérleteket.

A víztartási görbe mérésére az MTA Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézetben van lehetőség, itt többfajta eszköz és módszer áll rendelkezésre.



/1.ábra - Víztartási görbe /

2. A kutatás, és ezen belül a TDK témájának bemutatása

A jelenleg folyó kutatás célja olyan módszer kidolgozása, amellyel a szemcsés talajok talajfizikai jellemzői becsülhetők a könnyen mérhető szemeloszlás alapján, valamint e módszer alkalmazása a homokok tömörségének és víztartási görbéjének (és így k tényező függvényének) becslésére.

E kutatáshoz szükséges előírt homok talajkeverékek minimális és maximális tömörségének megállapítása, és víztartási görbéjének mérése. A TDK a mérések végzéséhez, kiértékeléséhez és az új eredményeknek a korábbi eredmények alapján való értékeléséhez kapcsolódik. A kutatás

egyfajta melléktermékeként következtetés vonható le a tömörség mérési szabványok közötti eltérésről.

A kísérletekhez használt talajok összetételét dr. Imre Emőke tervezte, de a német eszköz hiányában azokat csak a bochumi egyetemen dolgozó társkutatók segítségével (Prof. Tom Schanz, Dr Yvonne Lins) lehetett végrehajtani. A mérések a DIN szerint történtek Tóth Ádám és Tóth Szabina ERASMUS hallgató készítette. Ők nem dolgozták fel az adatokat, csak a méréseket készítették el, így ezt én tettem meg. A mérések után a homok keverékeket becsomagolták, és postai úton a TAKI-ba szállították. E minták víztartási görbe mérését tervezzük a jövőben.

Megkezdtem a minták víztartási görbéinek mérését. Az eredeti kutatási program váratlanul elakadt a TAKI hirtelen kapott megbízásai miatt, jelenleg szünetel, de amint lehet, folytatódik.

Mivel a tömörségi kísérletek lefutottak, és sok mérési eredmény született ezért e dolgozat keretében a minimális és maximális térfogatsűrűség kísérletek eredményének kiértékelését kezdtem meg. Az első eredményeket összevetettük a hazai eljárás szerint korábban végzett eredményekkel, valamint a nemzetközi, laboratóriumi, nagyminta kísérletekhez (calibration chamber tests) használt homokokon végzett kísérletek adataival (ezt a továbbiakban “kádas” kísérletek nevezzük a hazai konyha-terminológiával).

3. Mérések

A víztartási görbe a talaj víztartalma a szívás függvényében. A TAKI kísérleti eljárása során egy félig áteresztő anyagra tesszük a talajokat, és beállítjuk a szívást általában egy állítható magasságú szabad vízfelszínnel. Ha a vízszint a minták középvonalán helyezkedik el, akkor telítjük a mintát. Ha ezt a felszínt egyre mélyebbre állítjuk, különböző terhelési lépcsőkkel, akkor hozzuk létre a szívást. Addig tart egy ilyen terhelési lépcső, amíg a talajminták tömege állandósul (ez akár 2 hónapos időtartam is lehet). Így kapunk egy szívásértékhez, egy egyensúlyban lévő tömeget. Nagyobb szívásokat eltérő eljárással hozunk létre.

A minimális és maximális száraz térfogatsűrűség párhuzamos mérésével hazánkban először Kabai Imre (1968, 1972) foglalkozott a teljesség igényével, ő dolgozta ki az itt bemutatásra kerülő módszert. Külföldön a témának szintén jelentős irodalma van, itt csak a kádas kísérletek adatbázisát vesszük figyelembe (Lunne és társai, 1992). E kutatás folyó elemzései szerint a kádas homokok méréséhez használt eljárások nem térnek el lényegesen a német szabványtól, ahogy ez e munkában is látható.

1. Táblázat

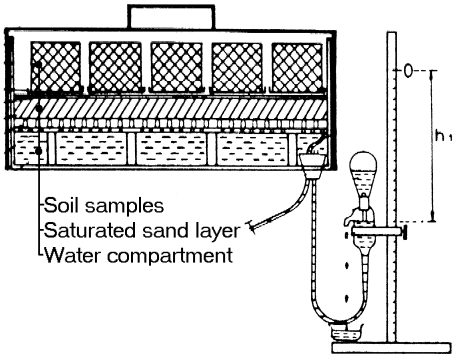
TAKI módszere, alacsony szívási tartománynál

Terhelés (cm)	Félig áteresztő hártya	Szívás alkalmazása
1	homok	gravitációs
2.5	homok	gravitációs
10	finom homok	gravitációs
31.5	finom homok	gravitációs
100	kaolinit	gravitációs
200	kaolinit	gravitációs
501	kaolinit	vákuum

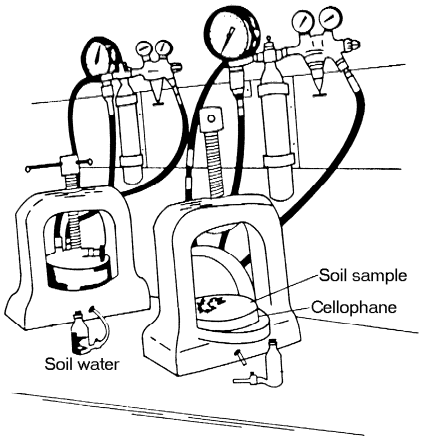
2. Táblázat

TAKI módszere, nagy szívási tartományban

Terhelés (cm)	Szívás alkalmazása
1000	nyomásmembrános készülék
5000	nyomásmembrános készülék
15000	nyomásmembrános készülék



/***2.ábra*** *TAKI módszere, a homoklapos készülék /*



/***3.ábra*** *A TAKI módszere, a nyomásmembrános készülék/*

3. Táblázat

Terhelések

Terhelés (cm)	Félig áteresztő hártya	Szívás alkalmazása
1, 2. 5	Homok	gravitációs
4, 6 ,7, 8, 10, 13, 15, 16, 20, 20, 23, 26, 29, 31.5, 32, 35	finom homok	gravitációs
100, 200, 501	Kaolinit	vákuum

3.1. Víztartási görbe mérések

Az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet víztartási görbe mérési módszerét használjuk (Várallyay, 1974, 2. és 3. ábra, 1. és 2. táblázat), amelyet e kutatás során, mivel homokokat vizsgálunk, újabb terhelési lépcsőkkel bővítettünk (3.táblázat)). A kisebb szívási tartományban, ahol $u_a - u_w \leq 50$ kPa dobozokat („boxokat") használnak, homok a félig-áteresztő réteg, és a szívást víznyomás csökkenéssel hozzák létre. A magasabb szívási tartományban ($u_a - u_w \geq 50$ kPa) finomabb talajt, majd cellofán membránt alkalmaznak, és a szívást kompresszorral majd tengelyeltolási technikával hozzák létre (1. és 2. táblázat). Minden mintából kettőt készítünk be, hogy az esetleges hibák kimutathatók legyenek (B Melléklet).

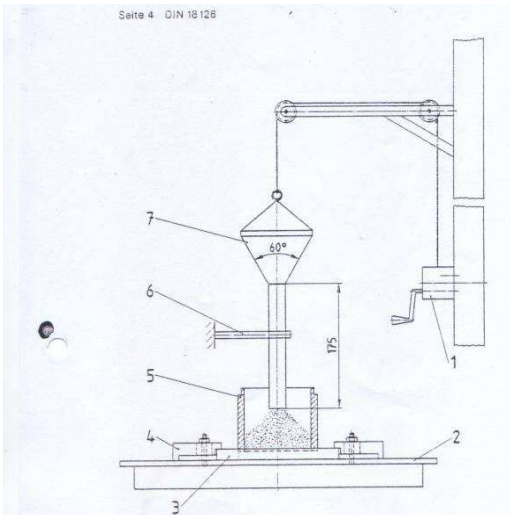
3.2. Tömörségmérés - a hazai eljárás

Az emax kísérlet Proctor hengerrel készül. A minimális száraz térfogat-sűrűséget úgy határozzuk itt meg, hogy a száraz homokot egy tölcséren keresztül egy Proctor hengerbe öntjük, úgy hogy a tölcsér alja érinti a talaj felszínét. Az e_{min} kísérlet azonos a Proctor kísérlettel.

/4.***ábra.*** *Proctor edény/*

3.3. Tömörségmérés - a német eljárás

A minimális és maximális tömörség meghatározása a DIN 18 126-os német szabvány alapján részben hasonlóan, de más edénymérettel, részben egészen eltérően történik. A homokot a formába öntjük lassan egy tölcsér segítségével, ami emelhető kézzel, vagy szerszámmal. A tölcsért a felszínén tartva, így kerül bele a leglazább keverék. Vigyázni kell, hogy legyen túltöltött, az anyagot a tetejéig kell önteni. A forma felületét óvatosan meg kell tisztítani kefével. Majd ezután kezdődhet a mérés. Az igazi adatokat akkor kapjuk, amikor a mért adatokat az edény súlyával redukáljuk. Ez adja meg a $\rho_{d,\,min}$ [g/cm3] értékét. Ezt a kísérletet az előforduló hiba miatt ötször végezzük el. Az edény adatai a következők: átmérő: 71 mm, magassága 112 mm, a keverék súlya 800-1000 g lehet, az edény súlya 946,29 g, a térfogata 443 cm^3.
A maximális térfogatsűrűség mérést elárasztással és dinamikus (kocogtatásos) tömörítéssel végzik.



/5***ábra.*** *A német módszer szerinti vizsgálat/*

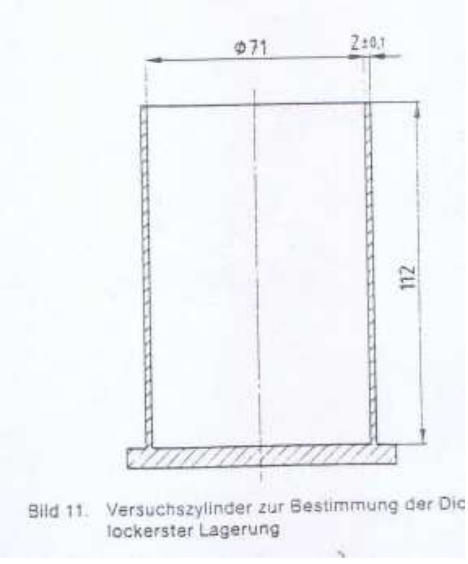
A minimális tömörség meghatározása

A keveréket öt egyenlő részre kell osztani és egy másik edényt rétegesen fel kell vele tölteni. A kellően összekevert minta egy tölcséren keresztül a formába kerül. A tölcsér emelését úgy végezzük, hogy annak szája ne távolodjon el az anyag felületétől. A formát túltöltjük (egészen addig, amíg a szemcsék le nem hullnak róla), majd eltávolítjuk róla a felesleget és a formát is megtisztítjuk. A teli edényt lemérjük, majd a kísérletet ötször megismételjük. Az edény mérete d=7,10 cm és h=11,2 cm.

Maximum hézagtényező vizsgálat

A mintát öt körülbelül egyenlő részre osztjuk szét, majd ezeket rétegenként a formába töltjük. Méretei d=7,10 cm; h=11,2 cm (ha a fedőt behelyezzük a formába).

Minden réteget vízzel telítünk és egy fém pálca segítségével, ütéssel tömörítünk. A víz leengedése után a forma tetejét ráhelyezzük a mintára egy kisebb ütést sújtunk rá a fém pálca nyelével majd néhány újabb tömörítő ütés után fém pálca segítségével lemérjük annak térfogatát.



/6.ábra. *A német minimális tömörség vizsgálat edénye/*

4. A keverékek adatai

A használt frakciótartományok:

0,063-0,125 mm

0,125-0,25 mm

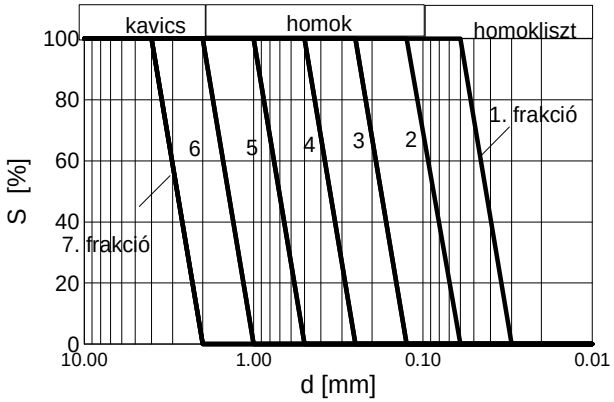
0,25-0,5 mm

0,5-1 mm

1-2 mm

2-4 mm

4-8 mm



/7.ábra *A frakciók /*

A bochumi kvarc keverékek összetételét a mellékletben található táblázatok tartalmazzák. (A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7, A-8, A-9, A-10, A-11, A-12 Táblázatok)

Kabai Imre 33 homok-iszap keveréket mért, ahol a d_{min}=0,063mm. Kabai Imre munkájában az e_{max} kísérletek nem-optimális, de folytonos szemeloszlási görbéken készültek, hat különböző sorozaton (A0, B0, B1, B2, B3, B0), melyet U, d_{max}, d10 függvényében definiált, N=1 és 9 között, d_{min}=0,063 mm és d_{max}=20 mm esetén. (4. táblázat Kabai I. csoport)

A kádas kísérletek 25 a világ különböző tájain mért homokot használtak, ezek főbb adatai a táblázatban láthatók. (5. táblázat Kádas II. csoport)

5. A tömörségi eredmények kiszámítása

A változók:

$$s = \frac{V_s}{V}$$

$$e = \frac{1 - s}{s}$$

$$\rho_d = \frac{m_d}{V} = s \cdot \rho_s \left[{}^{g}\!/_{cm^3} \right]$$

A német kísérletekből, Kabai kísérleteiből valamint a kádas kísérletekből $\rho_{d,\,min}$ és a $\rho_{d,\,max}$ adatok keletkeztek. Ebből számolható a talajra vonatkozó szilárd térfogati százalék (s) és hézagtényező (e) minimális és maximális értéke , majd ezek arányai. Ezeket a számításokat mutatja be az alábbi 4-6. táblázat.

Kabai eredménye szerint az általa vizsgált dunai homokok minimális és maximális térfogatsűrűségének aránya állandó. Ezt kívántuk igazolni más homokokra is, mivel ekkor összehasonlíthatók a különböző kísérleti eljárások is.

4. Táblázat

Kabai talajai vagy I. csoport

Minta	d_{10} [mm]	d_{max} [mm]	C_U [-]	r_{min} [t/m^3]	s_{min}[-]	s_{max} [-]	s ratio [-]	e_{max} [-]	e_{min} [-]
B0	0.145	0,29	1,3	1,49	0,562	0,619	0,908	0,779	0,615
		0,58	2	1,55	0,585	0,638	0,917	0,71	0,568
		1,24	3	1,61	0,608	0,658	0,923	0,646	0,519
		1,27	5	1,72	0,649	0,716	0,907	0,541	0,397
		9,42	10	1,84	0,694	0,766	0,906	0,44	0,305
		15,4	15	1,91	0,721	0,792	0,91	0,387	0,263
		20	30	1,97	0,743	0,812	0,916	0,345	0,232
B1	0.29	0,58	1,3	1,5	0,566	0,626	0,904	0,767	0,597
		1,24	2	1,58	0,596	0,649	0,918	0,677	0,54
		2,27	3	1,64	0,619	0,682	0,907	0,616	0,466
		4,74	5	1,74	0,657	0,725	0,906	0,523	0,38
B2	0.58	1,24	1,3	1,5	0,566	0,611	0,927	0,767	0,638
		2,27	2	1,59	0,6	0,636	0,943	0,667	0,572
		4,74	3	1,66	0,626	0,691	0,907	0,596	0,448
		15,4	5	1,78	0,672	0,74	0,908	0,489	0,352
B3	40932,00	2,27	1,3	1,64	0,619	0,684	0,905	0,616	0,462
		4,74	2	1,67	0,63	0,686	0,919	0,587	0,458
		9,42	3	1,82	0,687	0,756	0,908	0,456	0,322
C0	4.74	2,79	1,3	1,58	0,596	0,648	0,92	0,636	0,507
		1,28	2	1,62	0,611	0,664	0,921	0,568	0,424
		0,36	4	1,69	0,638	0,702	0,908	0,506	0,375
		0,17	6	1,76	0,664	0,727	0,913	0,472	0,344
		0,115	8	1,8	0,679	0,744	0,913	0,606	0,479
C1	4.74	1,5	2,3	1,65	0,623	0,676	0,921	0,568	0,44
		1,05	3,2	1,69	0,638	0,695	0,918	0,532	0,399
		0,75	4,2	1,73	0,653	0,715	0,913	0,48	0,353
		0,47	6,1	1,79	0,675	0,739	0,914	0,402	0,27
		0,22	11,4	1,89	0,713	0,787	0,906	0,636	0,489

Minta	d_{10} [mm]	d_{max} [mm]	C_U [-]	r_{min} [t/m^3]	s_{min}[-]	s_{max} [-]	*s* ratio [-]	e_{max} [-]	e_{min} [-]
C2	41048,00	6,5	2,4	1,62	0,611	0,672	0,91	0,606	0,45
		4,3	3,3	1,65	0,623	0,69	0,903	0,55	0,416
		2,6	5	1,71	0,645	0,706	0,914	0,497	0,404
		1,95	6,5	1,77	0,668	0,712	0,938	0,44	0,361
		1	10,5	1,84	0,694	0,735	0,945	0,636	0,507

5. Táblázat

Kádas vagy II. csoport

Minta	e_{max} [-]	e_{min} [-]		s_{min} [-]	s_{max} [-]	*s* ratio [-]	*e* ratio [-]
Erksak	0.963	0.525	subrounded	0.509	0.656	0.777	0.545
Hilton Mines	40913,0	0.62	angular	0.488	0.617	0.790	0.590
Edgar	0.919	0.543	subangular	0.521	0.648	0.804	0.591
S, Oakleigh	0.754	0.412	subangular	0.570	0.708	0.805	0.546
Hokksund	0.906	0.539	angular	0.525	0.650	0.807	0.595
Toyoura	0.977	0.605	subangular	0.506	0.623	0.812	0.619
Toyoura	0.977	0.605	subangular	0.506	0.623	0.812	0.619
S, Oakleigh Fine	0.932	0.57	subangular	0.518	0.637	0.813	0.612
Earlston	0.727	0.404	subrounded	0.579	0.712	0.813	0.556
Frankston	0.792	0.462	subangular to rounded	0.558	0.684	0.816	0.583
Hokksund	0.878	0.535	subangular to angular	0.532	0.651	0.817	0.609
Medium Ticino	0.915	0.568	subrounded to angular	0.522	0.638	0.819	0.621
Leighton Buzzard	0.815	0.489	subrounded	0.551	0.672	0.820	0.600
Lone Star 60	0.908	0.566	subround, to subangular	0.524	0.639	0.821	0.623

Minta	e_{max} [-]	e_{min} [-]		s_{min} [-]	s_{max} [-]	*s* ratio [-]	*e* ratio [-]
Hostun fine	1,0	0.65	subangular	0.500	0.606	0.825	0.650
Ottawa	0.868	0.545	well-rounded	0.535	0.647	0.827	0.628
Oostershelde	0.887	0.562	rounded	0.530	0.640	0.828	0.634
Reid-Bedford	0.871	0.549	subangular	0.534	0.646	0.828	0.630
Ottawa 90	0.789	0.486	rounded	0.559	0.673	0.831	0.616
Leighton Buzzard	0.79	0.49	subrounded	0.559	0.671	0.832	0.620
Lone Star 2	0.766	0.482	subround, to subangular	0.566	0.675	0.839	0.629
Lone Star 30	0.824	0.537	subround, to subangular	0.548	0.651	0.843	0.652
Monterey 0	0.82	0.54	subrounded	0.549	0.649	0.846	0.659
Lanchester	0.818	0.563	subangular	0.550	0.640	0.860	0.688
Monterey 0/30	0.803	0.563	subround, to subangular	0.555	0.640	0.867	0.701

6. Táblázat

Bochumi kvarc homok keverékek vagy III. csoport

	Keverék	ρ_{max} [t/m^3]	ρ_{min} [t/m^3]	s_{max} [-]	s_{min}[-]	*s* ratio [-]	e_{max} [-]	e_{min} [-]	*e* ratio [-]	d_{max} [mm]
1.Tábla	1	1,595	1,380	0,60	0,52	0,87	0,66	0,92	1,39	4
	2	1,599	1,384	0,60	0,52	0,87	0,66	0,91	1,39	2
	3	1,616	1,395	0,61	0,53	0,86	0,64	0,90	1,41	1
	4	1,635	1,398	0,62	0,53	0,86	0,62	0,90	1,44	0,5
	5	1,614	1,358	0,61	0,51	0,84	0,64	0,95	1,48	0,25
	6	1,602	1,332	0,60	0,50	0,83	0,65	0,99	1,51	0,125
	7	1,528	1,252	0,58	0,47	0,82	0,73	1,12	1,52	0,063

	Keverék	ρ_{max} [t/m³]	ρ_{min} [t/m³]	s_{max} [-]	s_{min}[-]	s ratio [-]	e_{max} [-]	e_{min} [-]	e ratio [-]	d_{max} [mm]
3a.Tábla	1	2,045	1,427	0,77	0,54	0,70	0,30	0,86	2,90	4
	2	1,907	1,418	0,72	0,54	0,74	0,39	0,87	2,23	4
	3	1,690	1,430	0,64	0,54	0,85	0,57	0,85	1,50	4
	4	1,651	1,398	0,62	0,53	0,85	0,61	0,90	1,48	4
	5	1,976	1,626	0,75	0,61	0,82	0,34	0,63	1,85	4
	6	1,984	1,407	0,75	0,53	0,71	0,34	0,88	2,63	2
	7	1,915	1,573	0,72	0,59	0,82	0,38	0,68	1,78	1
	8	1,818	1,487	0,69	0,56	0,82	0,46	0,78	1,71	0,5
	9	1,736	1,411	0,66	0,53	0,81	0,53	0,88	1,67	0,25
	10	1,960	1,440	0,74	0,54	0,73	0,35	0,84	2,39	0,125
	11	1,976	1,651	0,75	0,62	0,84	0,34	0,61	1,77	0,125
	12	1,883	1,554	0,71	0,59	0,83	0,41	0,71	1,73	0,125
	13	1,786	1,467	0,67	0,55	0,82	0,48	0,81	1,67	0,125
	14	1,922	1,628	0,73	0,61	0,85	0,38	0,63	1,66	0,25
	15	1,894	1,607	0,71	0,61	0,85	0,40	0,65	1,63	2
	16	1,772	1,469	0,67	0,55	0,83	0,50	0,80	1,62	1
	17	1,846	1,607	0,70	0,61	0,87	0,44	0,65	1,49	4
	18	1,820	1,547	0,69	0,58	0,85	0,46	0,71	1,56	2
	19	1,755	1,522	0,66	0,57	0,87	0,51	0,74	1,45	4
6.Tábla	1	1,797	1,480	0,68	0,56	0,82	0,47	0,79	1,67	0,5
	2	1,679	1,394	0,63	0,53	0,83	0,58	0,90	1,56	0,5
	3	1,689	1,398	0,64	0,53	0,83	0,57	0,90	1,57	0,5
	4	1,817	1,481	0,69	0,56	0,82	0,46	0,79	1,72	0,5
	5	1,707	1,408	0,64	0,53	0,82	0,55	0,88	1,60	0,5
	6	1,805	1,475	0,68	0,56	0,82	0,47	0,80	1,70	0,5
	7	1,729	1,413	0,65	0,53	0,82	0,53	0,88	1,64	0,5
	8	1,820	1,470	0,69	0,55	0,81	0,46	0,80	1,76	0,5
	9	1,818	1,464	0,69	0,55	0,81	0,46	0,81	1,77	0,5
	10	1,764	1,428	0,67	0,54	0,81	0,50	0,86	1,70	0,5
	11	1,815	1,458	0,68	0,55	0,80	0,46	0,82	1,78	0,5
	12	1,777	1,431	0,67	0,54	0,81	0,49	0,85	1,73	0,5
	13	1,813	1,456	0,68	0,55	0,80	0,46	0,82	1,78	0,5
	14	1,791	1,445	0,68	0,55	0,81	0,48	0,83	1,74	0,5

	Keverék	ρ_{max} [t/m^3]	ρ_{min} [t/m^3]	s_{max} [-]	s_{min}[-]	*s* ratio [-]	e_{max} [-]	e_{min} [-]	*e* ratio [-]	d_{max} [mm]
7.Tábla	1	1,739	1,426	0,66	0,54	0,82	0,52	0,86	1,64	0,5
	2	1,723	1,396	0,65	0,53	0,81	0,54	0,90	1,67	0,25
	3	1,722	1,399	0,65	0,53	0,81	0,54	0,89	1,66	0,5
	4	1,728	1,422	0,65	0,54	0,82	0,53	0,86	1,62	0,5
	5	1,713	1,398	0,65	0,53	0,82	0,55	0,90	1,64	0,5
	6	1,733	1,417	0,65	0,53	0,82	0,53	0,87	1,64	0,5
	7	1,725	1,402	0,65	0,53	0,81	0,54	0,89	1,66	0,5
	8	1,718	1,416	0,65	0,53	0,82	0,54	0,87	1,61	0,5
	9	1,729	1,413	0,65	0,53	0,82	0,53	0,88	1,64	0,5
	10	1,719	1,406	0,65	0,53	0,82	0,54	0,88	1,63	0,5
	11	1,731	1,413	0,65	0,53	0,82	0,53	0,88	1,65	0,5
	12	1,725	1,406	0,65	0,53	0,82	0,54	0,88	1,65	0,5
	13	1,730	1,408	0,65	0,53	0,81	0,53	0,88	1,66	0,5
	14	1,730	1,403	0,65	0,53	0,81	0,53	0,89	1,67	0,5
	15	1,704	1,393	0,64	0,53	0,82	0,56	0,90	1,63	0,25
8.Tábla	1	1,773	1,468	0,67	0,55	0,83	0,49	0,81	1,63	1
	2	1,775	1,449	0,67	0,55	0,82	0,49	0,83	1,68	1
	3	1,762	1,446	0,66	0,55	0,82	0,50	0,83	1,65	1
	4	1,763	1,446	0,67	0,55	0,82	0,50	0,83	1,65	1
	5	1,750	1,462	0,66	0,55	0,84	0,51	0,81	1,58	1
	6	1,762	1,441	0,66	0,54	0,82	0,50	0,84	1,66	1
	7	1,765	1,441	0,67	0,54	0,82	0,50	0,84	1,67	1
	8	1,771	1,454	0,67	0,55	0,82	0,50	0,82	1,66	1
	9	1,738	1,443	0,66	0,54	0,83	0,52	0,84	1,59	1
	10	1,818	1,435	0,69	0,54	0,79	0,46	0,85	1,85	1
	11	1,722	1,438	0,65	0,54	0,84	0,54	0,84	1,56	1
	12	1,710	1,436	0,65	0,54	0,84	0,55	0,85	1,54	1
	13	1,716	1,429	0,65	0,54	0,83	0,54	0,85	1,57	1
	14	1,720	1,428	0,65	0,54	0,83	0,54	0,86	1,58	1
	15	1,700	1,422	0,64	0,54	0,84	0,56	0,86	1,55	1
	16	1,697	1,420	0,64	0,54	0,84	0,56	0,87	1,54	1
	17	1,675	1,420	0,63	0,54	0,85	0,58	0,87	1,49	1
	18	1,683	1,683	0,64	0,64	1,00	0,57	0,57	1,00	1
	19	1,664	1,407	0,63	0,53	0,85	0,59	0,88	1,49	1
	20	1,672	1,412	0,63	0,53	0,84	0,58	0,88	1,50	1
	21	1,646	1,399	0,62	0,53	0,85	0,61	0,89	1,47	1

	Keverék	ρ_{max} [t/m^3]	ρ_{min} [t/m^3]	s_{max} [-]	s_{min}[-]	*s* ratio [-]	e_{max} [-]	e_{min} [-]	*e* ratio [-]	d_{max} [mm]
9.tábla	1	1,789	1,489	0,68	0,56	0,83	0,48	0,78	1,62	1
	2	1,820	1,449	0,69	0,55	0,80	0,46	0,83	1,82	1
	3	1,839	1,505	0,69	0,57	0,82	0,44	0,76	1,73	1
	4	1,829	1,502	0,69	0,57	0,82	0,45	0,76	1,70	1
	5	1,814	1,505	0,68	0,57	0,83	0,46	0,76	1,65	1
	6	1,799	1,490	0,68	0,56	0,83	0,47	0,78	1,65	1
	7	1,806	1,490	0,68	0,56	0,83	0,47	0,78	1,67	1
	8	1,786	1,478	0,67	0,56	0,83	0,48	0,79	1,64	1
	9	1,876	1,455	0,71	0,55	0,78	0,41	0,82	1,99	1
	10	1,741	1,457	0,66	0,55	0,84	0,52	0,82	1,57	1
	11	1,738	1,447	0,66	0,55	0,83	0,52	0,83	1,58	1
	12	1,748	1,450	0,66	0,55	0,83	0,52	0,83	1,60	1
	13	1,745	1,447	0,66	0,55	0,83	0,52	0,83	1,60	1
	14	1,754	1,449	0,66	0,55	0,83	0,51	0,83	1,62	1
	15	1,803	1,478	0,68	0,56	0,82	0,47	0,79	1,69	1
	16	1,890	1,480	0,71	0,56	0,78	0,40	0,79	1,97	1
12.Tábla	1	1,746	1,435	0,66	0,54	0,82	0,52	0,85	1,64	0,5
	2	1,746	1,432	0,66	0,54	0,82	0,52	0,85	1,64	0,5
	3	1,734	1,436	0,65	0,54	0,83	0,53	0,85	1,60	0,5
	4	1,718	1,432	0,65	0,54	0,83	0,54	0,85	1,57	0,5
	5	1,714	1,426	0,65	0,54	0,83	0,55	0,86	1,57	0,5
	6	1,707	1,424	0,64	0,54	0,83	0,55	0,86	1,56	0,5
13.Tábla	1	1,678	1,394	0,63	0,53	0,83	0,58	0,90	1,56	0,5
	2	1,684	1,394	0,64	0,53	0,83	0,57	0,90	1,57	0,5
	3	1,674	1,391	0,63	0,52	0,83	0,58	0,91	1,55	0,5
	4	1,684	1,395	0,64	0,53	0,83	0,57	0,90	1,57	0,5
	5	1,685	1,392	0,64	0,53	0,83	0,57	0,90	1,58	0,5
	6	1,689	1,389	0,64	0,52	0,82	0,57	0,91	1,60	0,5
	7	1,685	1,387	0,64	0,52	0,82	0,57	0,91	1,59	0,5
	8	1,685	1,382	0,64	0,52	0,82	0,57	0,92	1,60	0,5

	Keverék	ρ_{max} [t/m^3]	ρ_{min} [t/m^3]	s_{max} [-]	s_{min}[-]	*s* ratio [-]	e_{max} [-]	e_{min} [-]	*e* ratio [-]	d_{max} [mm]
21.Tábla	1	1,850	1,621	0,70	0,61	0,88	0,43	0,63	1,47	2
	2	1,831	1,608	0,69	0,61	0,88	0,45	0,65	1,45	2
	3	1,827	1,574	0,69	0,59	0,86	0,45	0,68	1,52	2
	4	1,823	1,563	0,69	0,59	0,86	0,45	0,70	1,53	2
	5	1,819	1,549	0,69	0,58	0,85	0,46	0,71	1,56	2
	6	1,805	1,545	0,68	0,58	0,86	0,47	0,72	1,53	2
	7	1,806	1,533	0,68	0,58	0,85	0,47	0,73	1,56	2
	8	1,793	1,517	0,68	0,57	0,85	0,48	0,75	1,56	2
	9	1,762	1,481	0,66	0,56	0,84	0,50	0,79	1,57	2
	10	1,755	1,478	0,66	0,56	0,84	0,51	0,79	1,55	2
	11	1,754	1,480	0,66	0,56	0,84	0,51	0,79	1,55	2
	12	1,753	1,479	0,66	0,56	0,84	0,51	0,79	1,55	2
	13	1,753	1,487	0,66	0,56	0,85	0,51	0,78	1,53	2
	14	1,753	1,498	0,66	0,57	0,85	0,51	0,77	1,50	2
	15	1,795	1,525	0,68	0,58	0,85	0,48	0,74	1,55	2
	16	1,532	1,589	0,58	0,60	1,04	0,73	0,67	0,91	2
	17	1,822	1,579	0,69	0,60	0,87	0,45	0,68	1,49	2
	18	1,831	1,585	0,69	0,60	0,87	0,45	0,67	1,50	2
	19	1,831	1,587	0,69	0,60	0,87	0,45	0,67	1,50	2
	20	1,821	1,572	0,69	0,59	0,86	0,46	0,69	1,51	2
	21	1,821	1,563	0,69	0,59	0,86	0,46	0,70	1,53	2
	22	1,812	1,558	0,68	0,59	0,86	0,46	0,70	1,52	2
	23	1,803	1,548	0,68	0,58	0,86	0,47	0,71	1,52	2
	24	1,796	1,541	0,68	0,58	0,86	0,48	0,72	1,51	2
	25	1,754	1,490	0,66	0,56	0,85	0,51	0,78	1,52	2
	26	1,749	1,480	0,66	0,56	0,85	0,52	0,79	1,53	2
	27	1,754	1,476	0,66	0,56	0,84	0,51	0,80	1,56	2
	28	1,753	1,478	0,66	0,56	0,84	0,51	0,79	1,55	2
	29	1,754	1,480	0,66	0,56	0,84	0,51	0,79	1,55	2
	30	1,770	1,483	0,67	0,56	0,84	0,50	0,79	1,58	2
	31	1,770	1,495	0,67	0,56	0,84	0,50	0,77	1,55	2
	32	1,841	1,591	0,69	0,60	0,86	0,44	0,67	1,51	2

	Keverék	ρ_{max} [t/m³]	ρ_{min} [t/m³]	s_{max} [-]	s_{min}[-]	*s* ratio [-]	e_{max} [-]	e_{min} [-]	*e* ratio [-]	d_{max} [mm]
G1.Tábla	1	2,045	1,427	0,77	0,54	0,70	0,30	0,86	2,90	4
	2	2,029	1,417	0,77	0,53	0,70	0,31	0,87	2,84	4
	3	1,907	1,418	0,72	0,54	0,74	0,39	0,87	2,23	4
	4	1,790	1,418	0,68	0,54	0,79	0,48	0,87	1,81	4
	5	1,690	1,430	0,64	0,54	0,85	0,57	0,85	1,50	4
	6	1,677	1,420	0,63	0,54	0,85	0,58	0,87	1,49	4
	7	1,651	1,398	0,62	0,53	0,85	0,61	0,90	1,48	4
G2.tábla	1	1,960	1,440	0,74	0,54	0,73	0,35	0,84	2,39	4
	2	1,984	1,470	0,75	0,55	0,74	0,34	0,80	2,39	2
	3	1,922	1,628	0,73	0,61	0,85	0,38	0,63	1,66	4
	4	1,976	1,651	0,75	0,62	0,84	0,34	0,61	1,77	2
	5	1,915	1,573	0,72	0,59	0,82	0,38	0,68	1,78	1
	6	1,846	1,607	0,70	0,61	0,87	0,44	0,65	1,49	4
	7	1,894	1,607	0,71	0,61	0,85	0,40	0,65	1,63	2
	8	1,883	1,554	0,71	0,59	0,83	0,41	0,71	1,73	1
	9	1,818	1,487	0,69	0,56	0,82	0,46	0,78	1,71	0,5
	10	1,755	1,522	0,66	0,57	0,87	0,51	0,74	1,45	4
	11	1,820	1,547	0,69	0,58	0,85	0,46	0,71	1,56	2
	12	1,772	1,469	0,67	0,55	0,83	0,50	0,80	1,62	2
	13	1,786	1,467	0,67	0,55	0,82	0,48	0,81	1,67	0,5
	14	1,736	1,411	0,66	0,53	0,81	0,53	0,88	1,67	0,25
	15	1,617	1,402	0,61	0,53	0,87	0,64	0,89	1,39	4
	16	1,716	1,472	0,65	0,56	0,86	0,54	0,80	1,47	2
	17	1,719	1,447	0,65	0,55	0,84	0,54	0,83	1,54	1
	18	1,679	1,408	0,63	0,53	0,84	0,58	0,88	1,53	0,5
	19	1,709	1,396	0,64	0,53	0,82	0,55	0,90	1,63	0,25
	20	1,596	1,309	0,60	0,49	0,82	0,66	1,02	1,55	0,125
G3.tábla	1	1,629	1,343	0,61	0,51	0,82	0,63	0,97	1,55	4
	2	1,725	1,442	0,65	0,54	0,84	0,54	0,84	1,56	4
	3	1,790	1,524	0,68	0,58	0,85	0,48	0,74	1,54	4
	4	1,885	1,616	0,71	0,61	0,86	0,41	0,64	1,58	4
	5	1,979	1,679	0,75	0,63	0,85	0,34	0,58	1,71	4
	6	1,952	1,696	0,74	0,64	0,87	0,36	0,56	1,57	4
	7	1,918	1,636	0,72	0,62	0,85	0,38	0,62	1,62	4
	8	1,900	1,610	0,72	0,61	0,85	0,39	0,65	1,64	4
	9	1,843	1,563	0,70	0,59	0,85	0,44	0,70	1,59	4
	10	1,753	1,486	0,66	0,56	0,85	0,51	0,78	1,53	4

6. Statisztikai vizsgálatok

6.1. Statisztikai módszerek

Az átlagok (x) összehasonlítása a szórások (σ) egyenlősége vagy eltérése esetén más és más módszerrel történik (Rétháti, 1985).

Az *F*-próba dönti el a szórások egyenlőségét.

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}, \sigma_1 > \sigma_2$$

A Welch próba ($n_1 \neq n_2$ $\sigma_1 \neq \sigma_2$):

$$t_f = \frac{x_1 - x_1}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{n_1 - 1} \frac{\frac{\sigma_1^2}{n_1}}{\left[\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}\right]^2} + \frac{1}{n_2 - 1} \frac{\frac{\sigma_2^2}{n_1}}{\left[\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}\right]^2}$$

A *t'* próba ($n_1 \neq n_2$ $\sigma_1 = \sigma_2$):

$$t' = \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \frac{x_1 - x_1}{\sqrt{n_1 \sigma_1^2 + n_2 \sigma_2^2}}$$

6.2. Statisztikai eredmények

7. Táblázat

Kabai adatai 33 db I. csoport

	s_{min} [-]	s_{max} [-]	s ratio [-]	e_{max} [-]	e_{min} [-]	e ratio [-]
Átlag	0.640	0.700	0.915	0.569	0.436	0.760
σ [-]	0.045	0.050	0.011	0.109	0.102	0.045
CV [-]	0.070	0.072	0.012	0.192	0.234	0.060

8. Táblázat

Kádas adatok 25 db II. csoport

	s_{min} [-]	s_{max} [-]	s ratio [-]	e_{max} [-]	e_{min} [-]	e ratio [-]
Átlag	0.536	0.652	0.822	0.870	0.536	0.617
σ [-]	0.024	0.026	0.020	0.084	0.059	0.038
CV [-]	0.045	0.039	0.024	0.097	0.110	0.061

9. Táblázat

Bochumi adatok 182 db III. csoport

	s_{max} [-]	s_{min} [-]	s ratio [-]	e_{min} [-]	e_{max} [-]	e ratio [-]
Átlag	0,671	0,557	0,831	0,495	0,801	0,619
σ [-]	0,036	0,030	0,037	0,080	0,095	0,077
CV [-]	0,054	0,054	0,044	0,161	0,119	0,125

10. Táblázat

I-II csoport: a szórás és az átlag egyenlőségének vizsgálata

		T'	T_f	*F*
s_{min} [-]	statisztika	**11.30**	**10.44**	**3.52**
	szabadságfok	51	56	32,24
s_{max} [-]	statisztika	**4.70**	**4.33**	**3.70**
	szabadságfok	49	56	32,22
s_{min}/s_{max} [-]	statisztika	**21.40**	**23.11**	**3.31**
	szabadságfok	36	56	24,32

Ez a két csoport nem azonos, nagyon eltér s_{min}-ben és az arányban, kicsit s_{max}-ban, mert a statisztika értéke nagyon nagy, illetve nem túl nagy.

11. Táblázat

I-III csoport: a szórás és az átlag egyenlőségének vizsgálata

		T'	T_f	*F (5%)*
s_{min} [-]	statisztika	**13,29**	**10,19**	**1,56**
	szabadságfok	215	441	32,181
s_{max} [-]	statisztika	**3,96**	3,19	2,78
	szabadságfok	215	350	32,181
s_{min}/s_{max} [-]	statisztika	**12,97**	**25,24**	**3,34**
	szabadságfok	215	1263	181,32

Ez a két csoport biztos nem azonos sem az s_{min}-ben (azaz e_{max}-ban) sem az arányban, nagyon eltér, mert a statisztika értéke nagy.

12. Táblázat

II-III csoport: a szórás és az átlag egyenlőségének vizsgálata

		T'	T_f	*F (5%)*
s_{min} [-]	statisztika	**3,31**	**3,95**	**2,25**
	szabadságfok	207	1256	181,32
s_{max} [-]	statisztika	2,51	**3,23**	1,33
	szabadságfok	207	997	181,32
s_{min}/s_{max} [-]	statisztika	1,18	1,83	**1.83**
	szabadságfok	207	1289	181,32

Ez a két csoport kb azonos, ahol eltér, ott kicsit tér el, mert a statisztika értéke nem túl nagy.

13. Táblázat

Folytonos adatok 142 db.

	s_{min} [-]	s_{max} [-]	*s* ratio [-]	e_{max} [-]	e_{min} [-]	*e* ratio [-]
Átlag	0,547	0,654	0,825	0,506	0,799	0,626
σ [-]	0,067	0,079	0,098	0,083	0,124	0,089
CV [-]	0,122	0,121	0,119	0,164	0,155	0,142

14. Táblázat

Szemcsehiányos adatok 40 db.

	s_{min} [-]	s_{max} [-]	s ratio [-]	e_{max} [-]	e_{min} [-]	e ratio [-]
Átlag	0,566	0,700	0,811	0,434	0,771	0,567
σ [-]	0,032	0,042	0,052	0,087	0,097	0,102
CV [-]	0,056	0,060	0,064	0,200	0,126	0,180

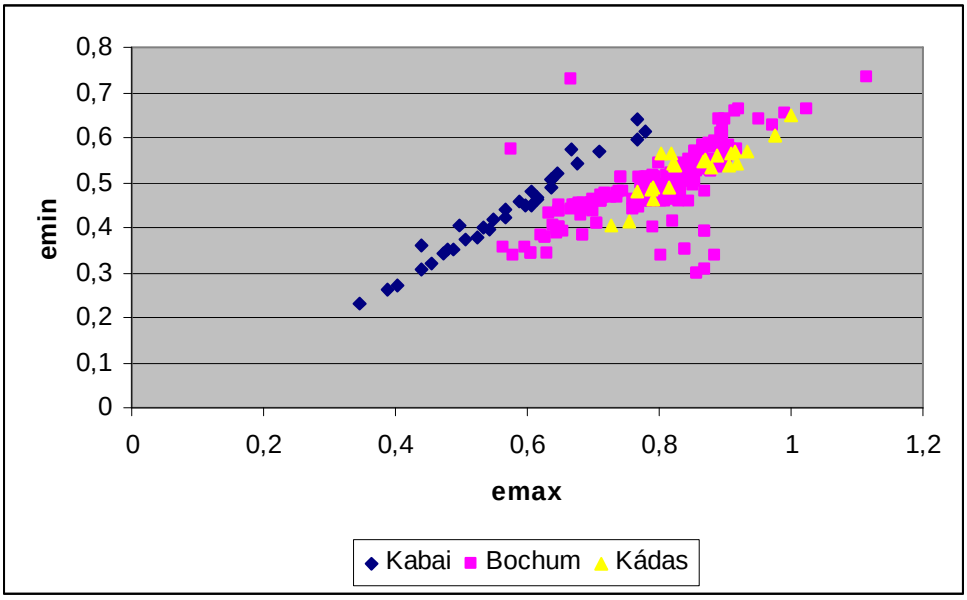
15. Táblázat

Szemcsehiányos és folytonos bochumi keverékeken végzett mérések összevetése: a szórás és az átlag egyenlőségének vizsgálata

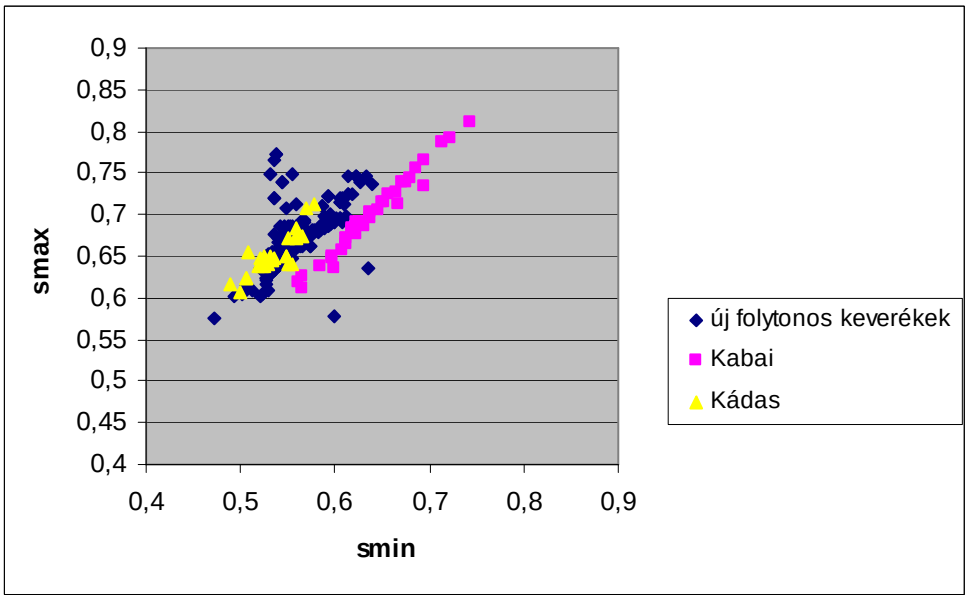
		T'	T_f	F (5%)
s_{min} [-]	Statisztika	1,95	1,9	**1,12**
	Szabadságfok	180	696	40-142
s_{max} [-]	Statisztika	**6,23**	**5,25**	**1,99**
	Szabadságfok	180	459	40,142

Ez a két csoport nem azonos az s_{max}-ban (azaz e_{min}-ben).

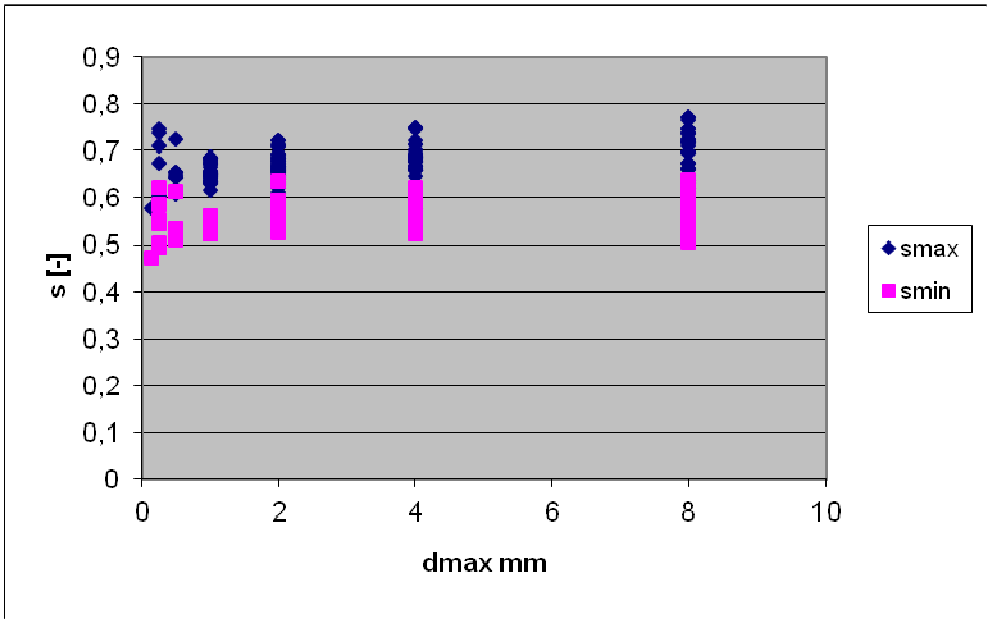
7. Az eredmények ábrázolása



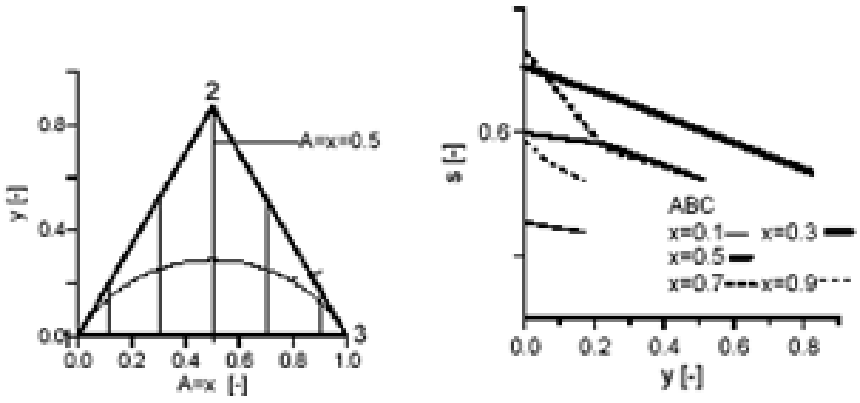
/8.ábra *e_{max}, e_{min} kapcsolata/*



/ 9.ábra *s_{max},s_{min} kapcsolata/*



*/ **10.ábra** d_{max}, s kapcsolata/*



*/ **11.ábra** smin változása a háromszög diagramban egy A= állandó egyenes mentén, Lőrincz korábbi mérései alapján, még nem publikált eredmény A=relatív alapenrópia, lásd Lőrincz és társai, 2006/*

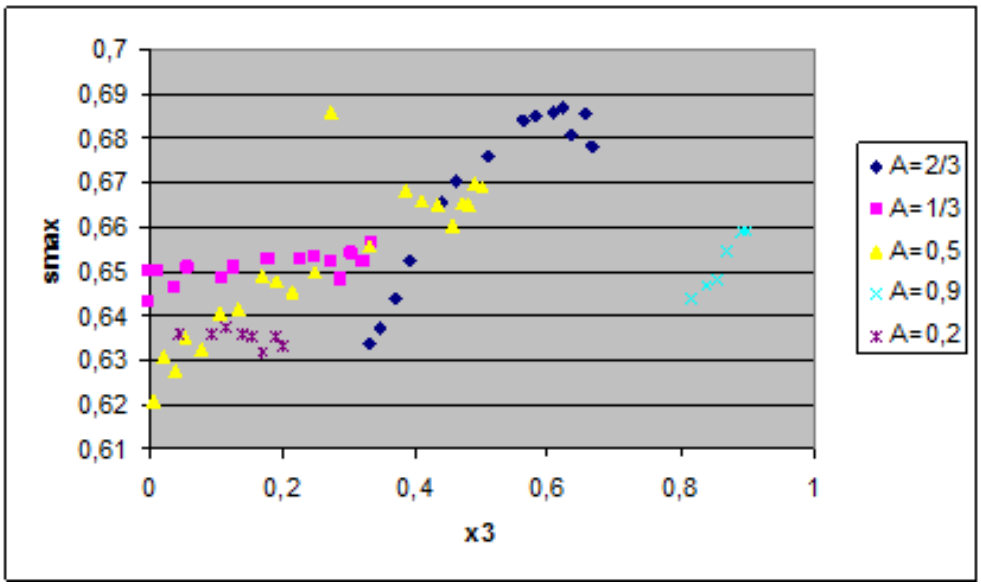
Ha megnézzük az eredményeket, az arány közel állandó, de a német, illetve a hazai módszernél más és más. A statisztikai vizsgálatok szerint csak az e_{max} kísérlet tér el lényegesen egymástól, azaz ebben van valahol a hibalehetőség. A hiba oka feltehetően a német és magyar eljárásban használt eltérő edényméretben rejlik (15. ábra).

A d_{max} függvényében ha ábrázoljuk a tömörséget, láthatjuk hogy a d_{max} növekedésével nő a tömörség. Ennek okát Lőrincz korábban feltárta, mivel a frakcióhatárok duplázódnak, a d nagyobb értékéhez szélesebb a frakció terjedelme, több szemcseméretből áll, ezért jobban kitöltődik a szemcseváz (Lőrincz, 1990). Ugyanakkor a bochumi mérések szerint ez a tendencia a frakciók esetén csak a minimális tömörségben látható, feltehetően az s_{max} kísérleti eljárás hibája miatt.

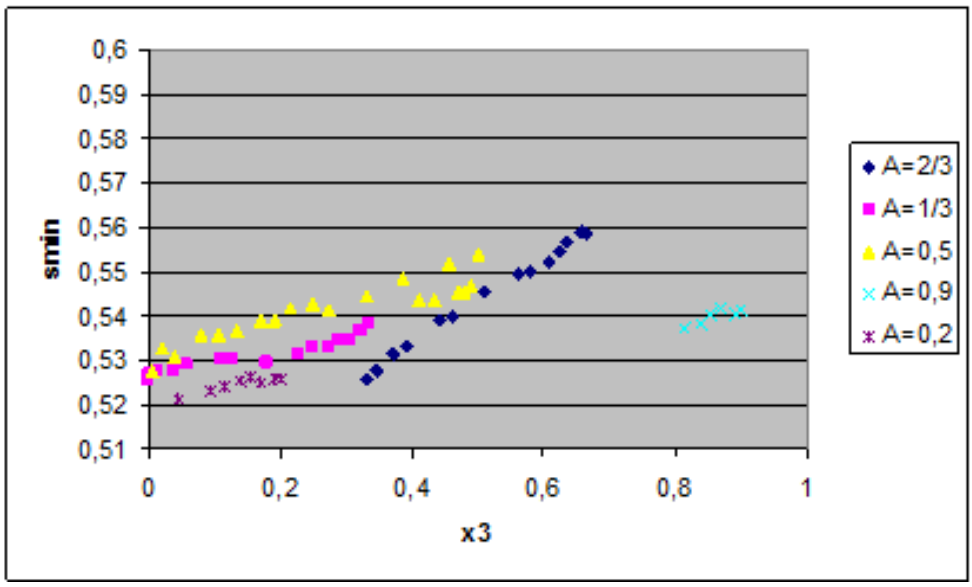
Ha a szemeloszlási görbék terében tekintünk egy folytonos vonalat, akkor az ahhoz tartozó tömörség függvény is folytonos lesz. Speciálisan, ha függőleges egyeneseket tekintünk a háromszög diagramban akkor – Lőrincz korábbi méréseinek feldolgozása alapján - a 11. ábra szerinti eredményeket kapjuk. Az x_3 koordináta értékével nő s_{min} értéke, azaz a legtömörebbek a szemcsehiányos keverékek.

A bochumi mérések eredménye - a 12-13 ábrán láthatóan – hasonló, az s_{min} nő, de az s_{max} ábrán - különösen szemcsehiányos keverékek esetén - van egy kis visszafordulás. A folytonos és szemcsehiányos keverékek s_{max} értéke statisztikailag és grafikusan ábrázolva is eltér (14.ábra, 15. táblázat).

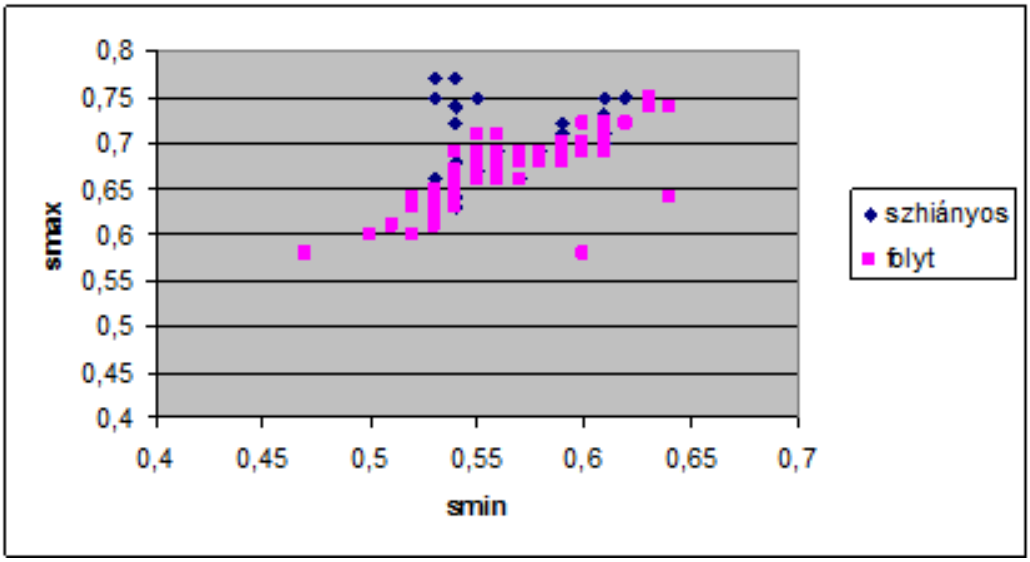
Az eredmény tehát alátámasztja azt a feltételezést és korábbi eredményt, hogy a legtömörebbek a szemcsehiányos keverékek. Feltételezhető azonban az s_{max} kísérleti eljárás kisebb pontossága – feltehetően szintén az edényméretthez kötődően - különösen szemcsehiányos keverékek esetén.



/ 12.ábra *s_{max} változása a háromszög diagramban egy A= állandó egyenes mentén, A=relatív alapenrópia, lásd Lőrincz és társai, 2006/*



/ 13.ábra *s_{min} változása a háromszög diagramban egy A= állandó egyenes mentén , A=relatív alapenrópia, lásd Lőrincz és társai, 2006/*



/ ***14.ábra*** *A folytonos és szemcsehiányos keverékek eltérése* /

8. Következtetések

A bochumi egyetemen a mintákon a kísérleteket Tóth Ádám és Tóth Szabina készítette. Az ő általuk kapott eredmények kerültek értékelésre, valamint elkezdődött a keverékek víztartási görbe mérése az MTA Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézetében. A több hónapon át tartó mérési sorozat megkezdődött, de elakadt, így a tömörségi mérések kerültek értékelésre.

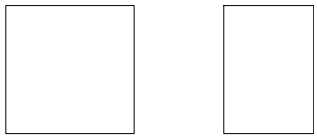
A munka során igazolni lehetett, hogy Kabai Imre eredménye – az általa vizsgált dunai homokok minimális és maximális térfogatsűrűségének aránya állandó – más homokokra is érvényes azzal az eltéréssel, hogy az arány értéke függ a kísérleti eljárástól.

Ehhez három talajcsoport került vizsgálatra, a kádas kísérletekhez használt, külföldi homokok adatbázisa, a bochumi adatok (német szabvánnyal, kvarc homokon végzett mérések) és Kabai adatai, amelyet a hazai eljárással mért.

A statisztikai vizsgálatok eredménye szerint a német szabványban használt edény esetén - feltehetően a szélességi és magassági méretének aránya miatt fellépő átboltozódás következtében - állandó hiba jelentkezik a minimális tömörség értékében (15. ábra),

Külön is vizsgáltuk a szemcsehiányos és a folytonos keverékeket. Az eredmények alátámasztják azt a korábbi eredményt, hogy tömörebbek a szemcsehiányos mint a folytonos keverékek. A különböző ábrázolások esetén az eredmények láthatóan jobban szórtak az s_{max} kísérlet esetén, mint az s_{min} esetén. A eredmények statisztikailag is lényegesen eltértek az s_{max} kísérlet esetén, ez az s_{max} kísérleti eljárás kisebb pontosságra utal – feltehetően szintén a nem megfelelő edényméret miatt - különösen szemcsehiányos keverékek esetén.

További kutatás szükséges e témában, az szemeloszlás, az s_{min} kísérlet eredménye, az s_{max} kísérlet eredménye és az edényméret közötti összefüggések feltárására.



.

(a) (b)

/ ***15.ábra*** *Kabai (a) és a DIN (b) edény/*

HIVATKOZÁSOK

Kabai, I. (1968). The compactibility of sands and sandy gravels. Acta Technica Acad. Sci. Hung., 113-124.

Kabai, I. (1972). A tömöríthetőség és a szemeloszlás kapcsolata. Doktori értekezés. BME, kézirat.

Lőrincz, J. (1990). Relationship between grading entropy and dry bulk density of granular soils. Periodica Politechnica 34:3:255-265.

Lőrincz, J; Imre, E; Trang, Q.P. (2006) A szemeloszlási entrópia. Hidrológiai Közlöny 4: 15-18.

Lőrincz, J; Imre, E; Trang, Q.P; Pusztai, J; Telekes, G; Rajkai, K. Fityus, S. Schanz, T. (2008) A general density law for sands. Proc. of the 12th Int IACMAG 1-6 October, 2008 Goa, India, 2003-2011.

Imre, E; Lőrincz, J; Trang, Q.P; Fityus, S. Pusztai, J; Telekes, G; Schanz, T. (2009) Some dry density transfer function for sands. Invited paper. KSCE Journal of Civil Engineering 13(4):257-272. DOI 10.1007/s12205-009-0257-7.

Imre, E., Rajkai, K., Genovese, E; Jommi, K. (2010) A SWCC transfer functions of sands. Proc. of 5th Int. Conf. on Unsaturated Soils, Barcelona. 6-8 Sept. 2010. 453-459. Unsaturated Soils, Barcelona. 6-8 Sept. 2010. 453-459.

Lunne, T; Robertson, P.K.; Powell, J.J.M. (1992). Cone Penetration testing. Blackie Academic & Professional.

Várallyay, Gy. (1973) A talajok nedvességpotenciálja és új berendezés annak meghatározására az alacsony (atmoszféra alatti) tenziótartományban. Agrokémia és Talajtan, 22, 1-22.

Várallyay, Gy.(1974): Háromfázisú talajrétegben végbemenő vízmozgás tanulmányozása. Agrokémia és Talajtan 23. 261-269

MELLÉKLETEK (A)

A-1. táblázat 1.tábla keverékek összetétele (frakciók)

minta	Alsó frakció-határ (mm)	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
1				1						
2					1					
3						1				
4							1			
5								1		
6									1	
7										1

A-2. táblázat 3. Tábla keverékek összetétele (N=21, A=2/3)

minta	Alsó frakció-határ (mm)	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
1				0,666	0,333					
2					0,666	0,333				
3						0,666	0,333			
4							0,666	0,333		
5								0,666	0,333	
6									0,666	0,333
7				0,514	0,305	0,181				
8					0,514	0,305	0,181			
9						0,514	0,305	0,181		
10							0,514	0,305	0,181	
11								0,514	0,305	0,181
12				0,421	0,277	0,182	0,120			
13					0,421	0,277	0,182	0,120		
14						0,421	0,277	0,182	0,120	
15							0,421	0,277	0,182	0,120
16				0,365	0,257	0,181	0,127	0,09		
17					0,365	0,257	0,181	0,127	0,09	
18						0,365	0,257	0,181	0,127	0,09
19				0,311	0,230	0,170	0,126	0,093	0,069	
20					0,311	0,230	0,170	0,126	0,093	0,069
21				0,275	0,211	0,162	0,124	0,095	0,073	0,056

A-3. táblázat 6. Tábla keverékek összetétele (N=3, A=2/3)

minta	Alsó frakció-határ (mm)	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
1							0,666667	0	0,333333	
2							0,331667	0,67	0	
3							0,346667	0,64	0,013333	
4							0,656667	0,02	0,323333	
5							0,371667	0,59	0,038333	
6							0,636667	0,06	0,303333	
7							0,391667	0,55	0,058333	
8							0,621667	0,09	0,288333	
9							0,606667	0,12	0,273333	
10							0,441667	0,45	0,108333	
11							0,581667	0,17	0,248333	
12							0,461667	0,41	0,128333	
13							0,561667	0,21	0,228333	
14							0,511667	0,31	0,178333	

A-4. táblázat 7. Tábla keverékek összetétele (N=3, A=1/3)

minta	Alsó frakció-hatás (mm)	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
1							0,333333	0	0,666667	
2							0	0,67	0,331667	
3							0,013333	0,64	0,346667	
4							0,323333	0,02	0,656667	
5							0,038333	0,59	0,371667	
6							0,303333	0,06	0,636667	
7							0,058333	0,55	0,391667	
8							0,288333	0,09	0,621667	
9							0,273333	0,12	0,606667	
10							0,108333	0,45	0,441667	
11							0,248333	0,17	0,581667	
12							0,128333	0,41	0,461667	
13							0,228333	0,21	0,561667	
14							0,178333	0,31	0,511667	
15							0	0,67	0,33	

A-5. táblázat 13. Tábla keverékek összetétele (N=3, A=0.2)

minta	Alsó frakció-határ (mm)	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
1							0,2	0	0,8	
2							0,19	0,02	0,79	
3							0,17	0,06	0,77	
4							0,15	0,09	0,75	
5							0,14	0,12	0,74	
6							0,11	0,17	0,71	
7							0,09	0,21	0,69	
8							0,04	0,31	0,64	

A-6. táblázat 21. Tábla keverékek összetétele (N=4, A=0.5,B=1.2)

minta	Alsó frakció-határ (mm)	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
1					0,415679	0,08	0,092962	0,411359		
2					0,408609	0,1	0,074174	0,417217		
3					0,357529	0,2	0,027413	0,415058		
4					0,294827	0,3	0,015518	0,389654		
5					0,261331	0,35	0,016006	0,372663		
6					0,226149	0,4	0,021552	0,352299		
7					0,18888	0,45	0,033361	0,32776		
8					0,147492	0,5	0,057523	0,294985		
9					0,065451	0,5	0,303647	0,130902		
10					0,075522	0,45	0,373434	0,101044		
11					0,090997	0,4	0,427009	0,081994		
12					0,110347	0,35	0,468958	0,070695		
13					0,132611	0,3	0,502166	0,065223		
14					0,1854	0,2	0,5438	0,0708		
15					0,254247	0,1	0,53726	0,108494		
16					0,415619	0,08	0,093142	0,411239		
17					0,411359	0,092962	0,08	0,415679		
18					0,417217	0,074174	0,1	0,408609		
19					0,415058	0,027413	0,2	0,357529		
20					0,389654	0,015518	0,3	0,294827		
21					0,372663	0,016006	0,35	0,261331		
22					0,352299	0,021552	0,4	0,226149		
23					0,32776	0,033361	0,45	0,18888		
24					0,294985	0,057523	0,5	0,147492		
25					0,130902	0,303647	0,5	0,065451		
26					0,101044	0,373434	0,45	0,075522		
27					0,081994	0,427009	0,4	0,090997		
28					0,070695	0,468958	0,35	0,110347		
29					0,065223	0,502166	0,3	0,132611		
30					0,0708	0,5438	0,2	0,1854		
31					0,108494	0,53726	0,1	0,254247		
32					0,411239	0,093142	0,08	0,415619		

A-7. táblázat 12. Tábla keverékek összetétele (N=3, A=0.9)

minta	Alsó frakció-határ (mm)	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
1							0,9	0	0,1	
2							0,89	0,02	0,09	
3							0,87	0,06	0,07	
4							0,855	0,09	0,055	
5							0,84	0,12	0,04	
6							0,815	0,17	0,015	

A-8. táblázat 8. Tábla keverékek összetétele (N=3, A=0.5)

minta	Alsófrakció-határ (mm)	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
1						0,5	0	0,5		
2						0,49	0,02	0,49		
3						0,48	0,04	0,48		
4						0,47	0,06	0,47		
5						0,455	0,09	0,455		
6						0,435	0,13	0,435		
7						0,41	0,18	0,41		
8						0,385	0,23	0,385		
9						0,33	0,34	0,33		
10						0,275	0,45	0,275		
11						0,25	0,5	0,25		
12						0,215	0,57	0,215		
13						0,19	0,62	0,19		
14						0,17	0,66	0,17		
15						0,135	0,73	0,135		
16						0,105	0,79	0,105		
17						0,08	0,84	0,08		
18						0,055	0,89	0,055		
19						0,04	0,92	0,04		
20						0,02	0,96	0,02		
21						0,005	0,99	0,005		

A-9. táblázat 9. Tábla keverékek összetétele (N=3, A=0.5)

minta	Alsó frakció-határ (mm)	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,1
1						0,552	0,08	0,1839	0,184059837	
2						0,5553	0,1	0,1341	0,21059845	
3						0,5167	0,2	0,05	0,233333333	
4						0,4567	0,3	0,03	0,213333333	
5						0,4238	0,35	0,0287	0,197534865	
6						0,3892	0,4	0,0325	0,178324133	
7						0,3513	0,45	0,046	0,152676859	
8						0,3077	0,5	0,0769	0,115422627	
9						0,2736	0,5	0,1793	0,047104914	
10						0,2879	0,45	0,2364	0,025723413	
11						0,3084	0,4	0,2748	0,016787857	
12						0,3317	0,35	0,305	0,013310292	
13						0,3567	0,3	0,33	0,013333333	
14						0,4133	0,2	0,36	0,026666667	
15						0,4933	0,1	0,32	0,086666667	
16						0,52	0,08	0,28	0,12	

A-10. táblázat G1. Tábla keverékek összetétele

minta	Alsó frakció-határ (mm)	16	13	10	8	6,3	5	4	2	1	0,5	0,25	0,1	0,1
1								0,8						0,2
2								0,7						0,3
3								0,6						0,4
4								0,5						0,5
5								0,4						0,6
6								0,3						0,7
7								0,2						0,8

A-11. táblázat G2. Tábla keverékek összetétele

minta	Alsó frakció-határ (mm)	4	2	1	1	0	0,1	0,06
1		0,666					0,333	
2			0,666					0,333
3		0,666				0,333		
4			0,666				0,333	
5				0,666				0,333
6		0,666			0,333			
7			0,666			0,333		
8				0,666			0,333	
9					0,666			0,333
10		0,666		0,333				
11			0,666		0,333			
12				0,666			0,333	
13					0,666			0,333
14		0,666	0,333					
15			0,666	0,333				
16				0,666	0,333			
17					0,666	0,333		
18						0,666	0,333	
19							0,666	0,333
20								

A-12. táblázat G3. Tábla keverékek összetétele

minta	Alsó frakció-határ (mm)	0,063	0	0	0,5	1	2	4
1		0,623	0,235	0,089	0,034	0,013	0,005	0,002
2		0,421	0,248	0,146	0,086	0,051	0,030	0,018
3		0,310	0,224	0,161	0,117	0,084	0,061	0,044
4		0,213	0,184	0,159	0,137	0,118	0,102	0,088
5		0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143
6		0,088	0,102	0,118	0,137	0,159	0,184	0,213
7		0,039	0,056	0,079	0,113	0,160	0,228	0,325
8		0,026	0,041	0,064	0,099	0,155	0,241	0,374
9		0,012	0,022	0,040	0,074	0,136	0,252	0,464
10		0,002	0,005	0,013	0,034	0,089	0,235	0,623

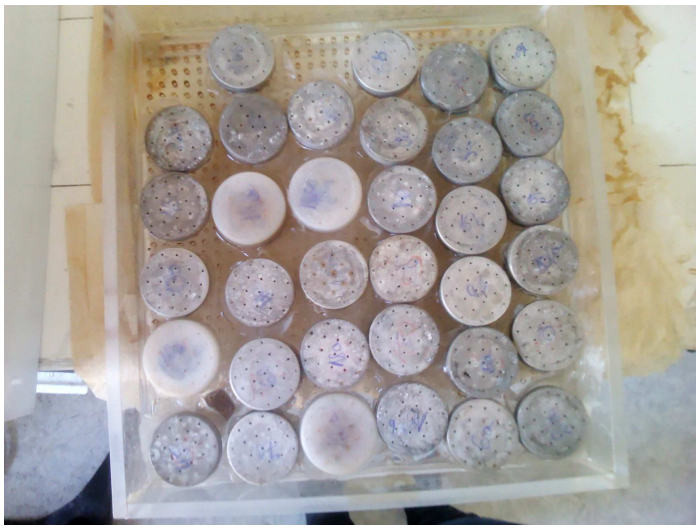
A-13. táblázat 3a. Tábla keverékek összetétele (A=2/3)

minta	Alsó frakció-határ (mm)	4	2	1	0,5	0	0	0,1
1		0,8						0,2
2		0,6						0,4
3		0,4						0,6
4		0,2						0,8
5		0,666						0,333
6			0,666					0,333
7				0,666				0,333
8					0,666			0,333
9						0,666		0,333
10		0,666					0,333	
11			0,666				0,333	
12				0,666			0,333	

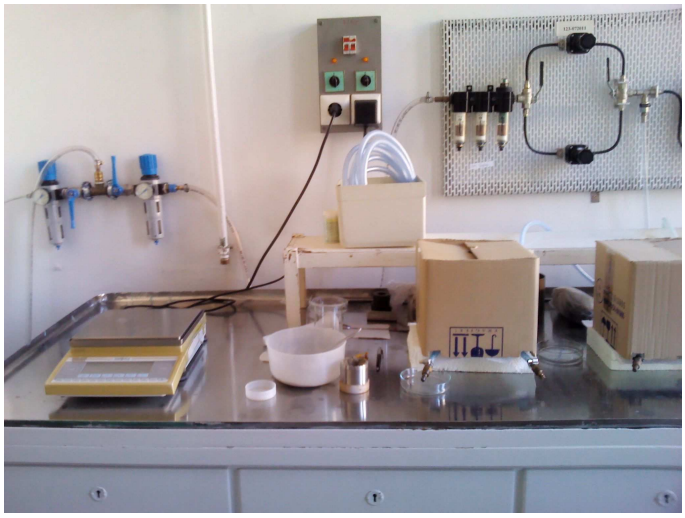
13				0,666		0,333
14	0,666				0,333	
15		0,666			0,333	
16			0,666		0,333	
17	0,666			0,333		
18		0,666		0,333		
19	0,666		0,333			

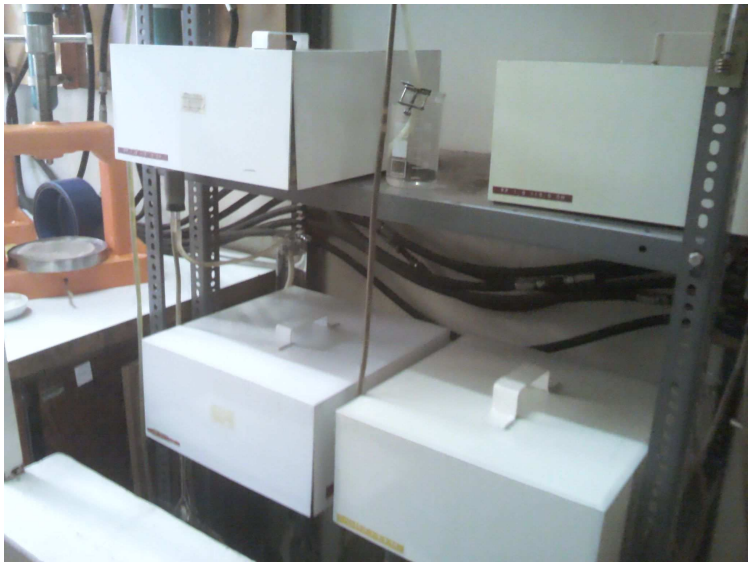
MELLÉKLETEK (B)

Minták bekészítve



Eszközök



Eijkelkamp

Várallyai