



Diszperzív talajok azonosítása és kezelése

Készítette:

Illés Zsombor

Konzulensek:

Dr. Nagy László
egyetemi docens

Nagy Gábor
doktori hallgató

Tartalomjegyzék

1. Bevezető	4
2. A talaj diszperzitása.....	6
2.1. Csapadék okozta erózió	7
3. Diszperzív talajok összetétele és viselkedése.....	9
3.1. Diszperzív talajok morfológiai megjelenése.....	9
3.2. Mechanikai megközelítés	10
4. Diszperzív talajok világszerte	12
5. Diszperzív talajok azonosítása	15
5.1. Helyszíni vizsgálatok.....	15
5.2. Laboratóriumi Vizsgálatok	16
5.2.1. Morzsa kísérlet (Emerson Crumb test)	16
5.2.2. Kettős hidrometrálás (SCS laboratory dispersion test).....	17
5.2.3. Az oldott sók mérése (Chemical test)	18
5.2.4. Tűszúrás kísérlet (Pinhole test).....	19
5.3. Mértékadó hézagtenyező meghatározása	25
6. Rendelkezésre álló adatok statisztikai elemzése	28
6.1. Hézagtenyező és a diszperzitás foka közötti korreláció	28
6.2. Talajok színe és diszperzív tulajdonságuk közötti összefüggés	32
6.3. Atterberg határok és diszperzitás foka közötti összefüggés	35
7. Vizsgálati program I. fázis: Karcag I. mintacsoport	37
7.1. Karcag I. jelű mintán végzett kísérleteim	38
7.2. Tűszúrás kísérletek elvégzése	41
7.2.1. Eredeti talajok vizsgálata.....	42
7.2.2. Mésszel kevert minta (2,5%)	43
7.2.3. Mésszel kevert minta (4,0%)	44
8. Vizsgálati program II. Fázis: Karcag II. mintacsoport	45
8.1. Tűszúrás kísérletek elvégzése	45
8.1.1. Eredeti talaj vizsgálata	45
8.1.2. Mésszel kevert minta (1,0%)	46
8.1.3. Mésszel kevert minta (1,5%)	46
8.1.4. Mésszel kevert minta (2,0%)	46
8.1.5. Mésszel kevert minta (2,5%)	46
8.1.6. Kísérleti eredményeket összefoglalása	47

9. Diszperzív talajok plaszticitási indexe és annak változása mésszel történő keverés hatásár.....	48
9.1. Karcag I. mintacsoport plaszticitási indexének változása	48
9.2. Karcag II. mintacsoport plaszticitási indexének változása	50
9.3. A két mintacsoport eredményeinek összegzése	51
9.4. A mérések és a statisztikai adatok összevetése	52
10. Ellenállásmérés.....	56
10.1. Vertikális elektromos szondázás (VESZ)	56
10.2. Műszerek.....	58
10.3. Minták előkészítése	58
10.4. Várt eredmények	58
10.5. Karcag II. jelű mintacsoport eredményei	69
10.6. Karcag I. jelű mintacsoport eredményei	60
10.7. Az eredmények összegzése	62
10.8. További kutatási lehetőségek	63
11. Összefoglalás.....	64

1. Bevezető

A diszperzív talajok járatos erózióra hajlamosak. Hirtelen eróziójuk legtöbbször vízzel kapcsolatba kerülő vonalas létesítmények, jellemzően árvízvédelmi gátak töltéseiben okoz problémát. A hirtelen lezúduló csapadék, vagy pedig a rohamosan emelkedő vízszint kimossa a talaj szemcséket, ha a víz okozta nyírási igénybevétel nagyobb, mint a szemcsék közötti kohézió.

Diszperzív talajok azonosítására rengeteg kísérletet dolgoztak ki a kutatók a huszadik század során. Ezen kísérletek közül, az amerikai J. L. Sherard által kifejlesztett tűszúrás kísérlet (pinhole test) általánosan elterjedt és legmegbízhatóbb. (Dispersive clays, related piping, and erosion in geotechnical projects 1976) Emellett számos más azonosítási módszert is kidolgoztak, úgy, mint a kettős hidrometrálás (SCS dispersion test), morzsa teszt, (crumb test), kémiai vizsgálat (chemical test). Általánosan elfogadott vélemény, hogy ezek a vizsgálatok külön-külön nem képesek megbízható eredményt adni a talajok diszperzitásáról.

Magyarországon, többek között Dr. Szepessy József a VITUKI tudományos főmunkatársa foglalkozott a diszperzív talajok vizsgálatával. Szepessy több cikke is megjelent a Vízügyi közlemények című folyóiratban.

A vízügyi igazgatóságok több folyó töltésének a szelvényeiből is vettek mintát, mint például a Kettős-Kőrös, Sebes-Kőrös, Zagyva és a Tisza. A minták adatait, elemzés céljából a rendelkezésemre bocsátották. A következő szempontok szerint elemeztem a mintákat: hézagtnyező és a diszperzitás összefüggése, talajok kötöttsége, plaszticitási index és a diszperzitás foka közötti összefüggés, illetve, hogy a talajminták színe mutat-e összefüggést a talaj diszperzív tulajdonságaival.

Alföldi vízfolyás mellől származó mintákon elvégeztem a Sherard-féle tűszúrás kísérletet. Miután a minták diszperzitását megállapítottam, a szakirodalomban említett módon a diszperzív talajt stabilizáltam. Az eredeti és a stabilizált mintákon előre meghatározott sorrendben kísérleteket végeztem. Először a hézagtnyezőt állapítottam meg, ebből esetenként már lehetett következtetni a tűszúrás vizsgálat kimenetelére. Végül pedig a plaszticitási indexet és a talajok ellenállását határoztam meg.

A talajok ellenállásának meghatározása egy általánosan elterjedt eljárás. A vonalas létesítményeket hossz tengelyük mentén vertikális elektromos szondázásnak (VESZ) vetik alá. Hasonló elv szerint az eredeti és a kezelt mintáimat horizontális elektromos szondázásnak vettem alá. A talaj diszperzív tulajdonsága és az ellenállás változása között kerestem összefüggéseket.

A vizsgálatok eredményeit hasonlítottam össze a statisztikai elemzések, illetve a szakirodalomban fellelhető eredményekkel. Ezek alapján egy átfogóbb képet sikerült kapnom a diszperzív talajok főbb talajfizikai tulajdonságairól.

Hosszú időn át az építőmérnöki gyakorlatban úgy tartották, hogy a víz okozta erózióval szemben az agyag talajok ellenállóak.

A huszadik század során ez a szemlélet egy sor gátszakadás kapcsán megdőlni látszott. A gátak egymástól függetlenül különböző kontinenseken mutatták ugyanazokat a tönkremeneteli módokat. Az összefüggések keresésével kezdetét vette a diszperzív talajok kutatása.

A diszperz talajok jelenségére lassan több mint 100 éve a mezőgazdasági szakemberek figyeltek fel. Ennek megfelelően kezdetben az agrármérnökök foglalkoztak a kutatásával. A felszíni erózió látható jelei alapján azonosították a diszperzív talajokat.

A második világháború után az újabb gazdasági fellendülés magával hozta az életszínvonal javulását, melyhez elengedhetetlen volt a vezetékes ivóvíz kiépítése és folyamatos biztosítása, illetve az elektromos áram szolgáltatása. Ezért víztározók gátjai épültek világszerte, illetve duzzasztó művek, hogy biztosítsák a vízellátást a vízerőművek számára.

2. A talaj diszperzítése

A diszperzió a belső erózió egy fajtája, a belső erózió ugyanis több módon is kialakulhat (1. táblázat). Az eltérő jelenség eltérő talajnál következik be.

Jelenség	Ok	Talaj
diszperzív	a talaj kémiai összetétele	kötött talajok
szuffúzió ¹	a talaj szerkezete nem stabil	hiányos szemeloszlású talajok
buzgár	semleges feszültség növekszik	finomszemcsés, kohézió mentes

1. Táblázat Belső erózió fajtái [17]

„A diszperzív talaj esetén a hagyományos állékonysági számítások nem alkalmazhatók, olyan jelenség játszódik le, melynél biztonsági tényező nem határozható meg. Ezért a hagyományos biztonsági értékelés nem használható. Tekintettel arra, hogy a biztonság illetően történő elemzése nem megoldott, ezért a biztonsági elemzésnek nincs helye (nem tudjuk megmondani, hogy elég-e a biztonsági tényező vagy nem), vagyis az összes ilyen helyen azonnali beavatkozással a biztonságot helyre kell állítani.” [17]

A talaj diszperzítése egy rendkívül összetett jelenség. A diszperzív talajok tiszta víz jelenlétében kimosódnak kolloid oldatot képeznek, diszpergálnak. Egy talaj diszperzív tulajdonsága alapvetően három dologtól függ: [6]

- 1.) A talaj szemcsék ásványi és kémiai összetétele
- 2.) A pórusvíz sótartalma
- 3.) A talajjal kapcsolatba kerülő, eróziót okozó víz összetétele

„A diszperzív talajok lassú vízmozgás hatására is látványos eróziót mutatnak, még a finom homokhoz és az agyaghoz képest is.” [6]

Az egyik tényező, ami a diszperzív erózióra való fogékonyságot befolyásolja az abszorbeált nátrium kationok mennyisége a talaj szemcsék felületén, más kationokhoz képest (kalcium, magnézium és kálium).

¹ A szuffúzió egy olyan folyamat, amikor egy rétegből a finom szemcsék átmosódnak egy másik réteg durva szemcséi közé.

A második jelentős faktor, ami a diszperzív eróziós hajlamot befolyásolja az oldott só tartalma a víztározónak; ha alacsonyabb az oldott só tartalom, akkor nagyobb a gyanú, hogy a pórusvizükben nátriumot tartalmazó talajok diszperzíven fognak viselkedni és oldatba kényszerülnek. Ha a víz meszes (CaCO_3 -t vagy valamilyen más formában kalciumot tartalmaz) akkor sokkal kisebb az esélye annak, hogy az amúgy diszperzív tulajdonságokkal rendelkező talaj úgy is viselkedjen.

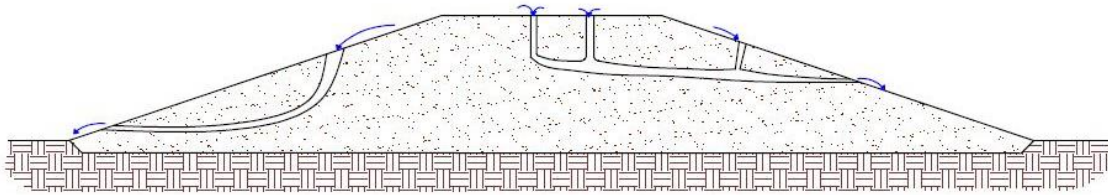
A talaj erózióját kiváltó víz megváltozásának egy lehetséges változata az, amikor a gát mögött hosszú ideig magas oldott ásványi anyag tartalommal rendelkező víz van és valamilyen ok miatt a vízben oldott sótartalom lecsökken, például máshonnan vezetik a vizet a tározóba.

Ausztráliában egy szikes területen épült egyszerű földgát mögött eredetileg kútvizet tároltak, amelynek relatíve nagy volt az oldott anyag koncentrációja (26 meq/l). A földmű éveken át szivárgott, de stabilan állt. Amikor egy 20 mérföldnyire lévő folyó vizét vezették mögé, melynek alacsony volt az oldott ion tartalma (1,2 meq/l) a gát 3 nap alatt átszakadt. [6]

A tanulmányok azt mutatják, hogy szinte valamennyi esetben a gátak az első feltöltéskor szenvedtek károsodásokat. Ez magába foglalja azokat az eseteket is amikor egy alacsonyabb vízszint volt a gát mögött és csak később emelték a vízszintet a tervezettre. A már említett repedések jelentették az eróziós tevékenység kezdőpontját. A másik elengedhetetlen tényező az erózió lejátszódásához a megfelelő mennyiségű és méretű szemcse, amit a víz ki tud mosni, hogy utána a járatot elkezdhesse bővíteni.

2.1. Csapadék okozta erózió

A hirtelen lezúduló csapadék a diszperzív talajok felületét komolyan erodálhatják. Ezért a gátak rézsűjét és koronáját nem tanácsos ilyen talajokkal borítani. A védtelen gátfelszínen a diszperzív talajokra jellemző mély barázdált, bevágásos erózió jelentkezett. A nem megfelelően kezelt gát felszínek a száradás következtében megrepedeztek, teret engedve az erózióknak. A függőleges eróziós üregeknek jellegzetes alakjuk van. *Dr. Szepessy József* ezeket egyszerűen lemélyült, tágult járatoknak nevezi. [18] Az angol szakirodalom [6] az egész kialakulási folyamatot „juggling”-nak hívja. A képződött üregeket pedig jugnak, azaz kancsónak vagy talán még szemléletesebben fordítva kupának.



2.1.1. ábra Gát belső eróziója. [11]

Az ilyen eseteket elkerülendő óvintézkedéseket kell tenni, füvesíteni a gátat, a gát felső részeit érdemes mésszel, gipszel vagy pedig alumínium-szulfáttal átkeverni. A TDK-ban én is foglalkoztam a diszperzív talajok mésszel történő keverésével. A mésszel való stabilizálásról és az eredményeimről későbbi fejezetekben írok részletesen. A gátak koronáját érdemes kavics terítéssel védeni. Megfelelő szűrő vagy pedig geotextília alkalmazása is tanácsos ilyen esetekben. Végso soron a gát korona aszfalttal történő burkolása is lehetséges.



2.1.2. ábra Burkolt gátkorona bicikli úttal Mezőkövesd környékén.

3. Diszperzív talajok összetétele és viselkedése

A diszperzív talajok geológiai származásukat tekintve nagyon eltérőek lehetnek.

Elmondható róluk, hogy nagy részük alluviális, lerakódott talaj. [6] Tavak fenekén lerakódott talajok, folyók hordalékai, tengeri üledékek. A képződésüket áttekintve érthető, hogy miért jellemzőek az Alföldön és miért kell kiemelt figyelmet fordítani rájuk Magyarországon.

A diszperzív talajok számottevő része tengeri üledékes kőzetekből képződött. Ezzel szemben Dél-Afrikában (Zimbabbwe, Swaziföld és Dél-Afrika) pedig sokszor magmás kőzetekhez kapcsolódik a diszperzív talajok kialakulása. Gránit és granodiorit illetve homokkő eróziójából képződnek. [6]

3.1. Diszperzív talajok morfológiai megjelenése

A meredek hegyoldalakon a diszperzív talajok eróziója nagyon jól megfigyelhető. Mély bevágásokat és csatornákat hoznak létre. Erre az egyik legjobb példa a már említett Badlands.



3.1.1. Badlands Arizona államban [20]

A sík vidékeken a diszperzív talajok jelenlétének nagyon sokszor nincs látható jele, mivel iszap, homok vagy pedig szerves talaj található felettük. Ezért lehetséges az, hogy egy gát, amely olyan területen épült, ami nem mutatja a diszperzív talajokra jellemző felszíni eróziót

mégis ilyen jelenségeket produkáljon. A felszíni védőréteg lekerül a diszperzív talajról így azt az eső víz szabadon éri és erodálja.

3.2. Mechanikai megközelítés

A diszperzív talajokat a talaj és a víz kölcsönhatásakor fellépő feszültségek alapján is lehet vizsgálni.

A talajok vízben való diszpergálásából arra lehet következtetni, hogy minimális elektro-kémiai összetartó erő van a talajszemcsék között. Diszperzív talajok eróziója nem a talaj szemcsék közötti szivárgás következménye, mint a kohézió nélküli talajok esetében. Hanem a szivárgás egy meglévő „csövecskén” indul meg. Ez legtöbbször száradás vagy egyenlőtlen süllyedés következtében képződött repedéseket jelent. Ezt a keskeny utat a víz folyamatosan bővíti a teljes hosszán. A talaj szemcsék kimosódnak, a gyenge kohézió nem tudja őket a talaj testben tartani és kolloid oldatot képeznek a vízzel. A repedések megjelenése szempontjából különösen veszélyes helyek az átereszek és a zsilipek. A talajban fellépő feszültségek és süllyedések elősegítik a repedések megjelenését. A műtárgyak körüli elégtelen föld tömörítés is hozzá járul a hézagok kialakításához melyek lehetőséget biztosítanak a víz szivárgásának megindulásához. [6]

Amikor egy repedés megjelenik, egy gáton nagyjából két lehetséges kimenetel van. Ha az átfolyó víz sebessége egy küszöb érték alatt van, akkor a lyukat körülvevő agyag megdagad és lassan elzárja víz útját, természetesen ezt szeretnénk elérni minden gát esetében. A kedvezőtlenebb kimenetel pedig az, hogy a kezdeti sebesség meghaladja a küszöb értéket és a vízfolyás megbontja a talajt. A diszperzív szemcséket magával viszi és a járatot folyamatosan bővíti. Ebben az esetben a víz okozta nyíró igénybevétel nagyobb, mint a talajkohézió által létrejövő nyírószilárdság. [6]

$$T_{\text{víz}} > T_{\text{talaj}}$$

Nyírószilárdság alapján nem vizsgáltam a talajokat. A TDK-mban a talajmintákat tűszúrás kísérlettel vizsgáltam (részletes leírását az 5.fejezet tartalmazza) amely hidraulikai alapon vizsgálja a mintákat. Azért tűszúrás vizsgálatot végeztem mivel nemzetközileg és itthon is ez a legelterjedtebb és a legelfogadottabb.

4. Diszperzív talajok világszerte

A következő néhány esettanulmány mutatja be a probléma összetettségét.

A kisebb gátakkal először Ausztráliában (Új-Dél-Walesben) illetve Új Zélandon jelentkeztek problémák. Ezek a gátak kisebb völgyekben épültek keresztben, hogy a csapadékot vagy az esetleges patakok vizét összegyűjtsék, és azt használják ivóvíz ellátásra, illetve öntözésre. Ezek a gátak általában helyi anyagból épültek különösebb talajmechanikai vizsgálat nélkül a gazdaságosság jegyében. 1954-ben a SCS (Soil Conservation Service) felismerte a gátak tönkremeneteléhez vezető járatos eróziót és 1958-ra már azonosítási módszereket is kidolgozott. Ezek egyike SCS kettős hidrometrálás mely kezdetben a legelterjedtebb és legmegbízhatóbb eljárás volt a diszperzív talajok azonosítására. (A kísérlet leírását az 5. fejezet tartalmazza.) [1]

Amerikában is régóta ismert a diszperzív talajok problémája. Külön el is nevezték; Badlands-ként ismeretesek, az Amerikai Egyesült Államokban, melyeknek Dél-nyugati államai különösen érintettek a problémában.

Arizona államban az agrármérnökök számára ismeretes volt, hogy az államban rengeteg talaj diszperzív viselkedésre hajlamos tiszta víz hatására. Ezek, a természetes agyag talajok kimosódnak, oldatot képeznek, diszpergálódnak, amikor tiszta vízbe rakják őket. A talaj kolloid frakciója és a többi talaj szemcse között nem elég erős a kötés, így a kolloid frakció kimosódik, de ha csak állni hagyják, akkor is egy idő után kolloid oldatot képez. Korai kutatások kimutatták, hogy magas a talajok cserélhető nátriumion tartalma, illetve a talajok magas pH értékkel rendelkeznek a nátrium ionoknak köszönhetően. Megfigyelték, hogy nedves állapotban nagyon kicsi az áteresztő képességi együtthatójuk, szinte teljesen vízzárónak mondhatók, viszont amikor kiszáradnak akkor komoly repedések jelentkeznek, rajtuk ahova a víz be tud szivárogni és könnyen erodálja az agyag talajokat. Ahol ezek a talajok a felszín közelében helyezkednek el, a vízzáró tulajdonság következtében kevesebb csapadékvíz tud a talaj mélyebb rétegeibe leszivárogni, ezért ezek a területek sokkal gyengébb termésátlagot produkálnak, mint azok a területek ahol az agyag réteg sokkal mélyebben helyezkedik el. [2]



4.1. ábra Diszperzív talaj egy arizonai út töltésében [21]

Először Volk ismerete fel az összefüggést a szivárgások következtében bekövetkező gátszakadások és a diszperzív talajok viselkedése között. Korábban említett Dél-nyugati államokban volt jellemző a jelenség, a Soil Conservation Service (SCS) és más vállalatok által épített létesítmények esetében. [2]

Ezek a gátak egyszerű bulldózerezéssel készültek, természetes állapotban száraz talajokból. A létesítmények általában az első feltöltés alkalmával átszakadtak. Ez persze több tényező együttes következménye volt. Szinte minden esetben elmondható volt a talajok nem megfelelő tömörítése és nem az optimum víztartalomra történő tömörítés. A gátakon így repedések jelentek meg a száradás és az egyenlőtlen süllyedés következtében. A diszperzív talajt ennek következtében a víz már könnyen erodálta. [2]

Amerikában a Dél-nyugati államok közül nem csak Arizonában, hanem Oklahomában vagy pedig a Mississippi völgyében lévő államokban is problémát okoz a talajok diszperzitása. Missouri államban például az Amerikai Hadsereg laboratóriuma (*The US. Army Engineer Waterways Experiment Station*) végzett átfogó kutatásokat a Meramec folyó völgyében. A kutatások a folyó szabályozását hivatottak előkészíteni, illetve egy sor vízlépcső építését. Az átfogó vizsgálatok végül azt igazolták, hogy a talajok nem viselkednek diszperzen a tervezett létesítmények területén. A projektet mégis leállították közösségi nyomásra, hogy az érintetlen környezetet megőrizték. Ez volt az első alkalom, hogy a Corps' of Engineers által jegyzett projektet felfüggesztettek. [3]



4.2. *Ábra Meramec folyó [22]*

Thaiföldön az 1970-es évek óta rengeteg földgát szenvedett komoly eróziót. Ezek, a már említett gátakhoz hasonló járatos erózió jeleit mutatták. Az eróziót rengetegszer a beszivárgó eső víz okozta, néha még a feltöltés előtt. A gátak nagyobb részénél az első feltöltéskor már komoly vízzárási problémák jelentkeztek, a feltöltést leállították, a talajt pedig kezelték. [4]

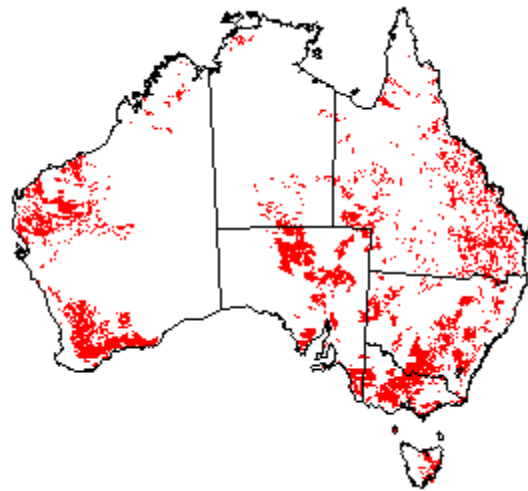
Görögországban is komoly problémákat okozott a talajok diszperzív viselkedése. A mezőgazdasági területeken a talajt magas nátrium tartalom jellemzi. A folyók és a tavak oldott ásványi tartalma is magas volt. Amiért ez az eset tanulmány különösen érdekes az az, hogy felhívja a figyelmet a víztározók gátjainak eltérő viselkedésére annak függvényében, hogy a víznek magas a nátrium tartalma, akár csak a gát talajának vagy attól eltérően magas kalcium tartalommal rendelkezik. [5]

Ausztrália Cardinia Creek, Victoria, a Melbourne and Metropolitan Board of Works épített víztározót ami Melbourn-t szolgálta ki. A vizet egy csővezetékben szállították a víz tározóba távolabbról. Vizsgálatok megállapították, hogy a talaj erősen diszperzív. A granodiorit alap kőzetet szürkés agyag talaj fedte. A problémát az okozta, hogy nem csak a völgyzáró gátat kellett volna kezelni, diszperzítással szemben, hanem a víztározó fenekét és az oldal falait is. A gát és a völgy talajának mésszel történő átkeverése problémát okozott volna a kivitelezőnek,

nem tudta biztosítani, hogy a meszet homogénen el tudja keverni és a tározó nem szorul későbbi javításra. A vízminőség romlásához vezetett volna, ha a gátból esetleges eróziók során szemcsék mosódnak ki. Hosszas mérlegelés után a kivitelező a tervezőkkel egyeztetve úgy döntött, hogy a gát stabilizálása helyett a víz ion tartalmát fogja módosítani. Hosszas vizsgálatok után megállapították, hogy 15-40ppm (part per million) közötti kalciumion koncentráció szükséges a vízben ahhoz, hogy a rézsűknek ne legyen állékonysági problémájuk. Több változatot megfontolva végül amellett döntöttek, hogy gipszet ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) kevernek a tározó vizéhez. Azóta is jól teljesít a szerkezet, nincsenek vízzárósáig problémái. [7]



Erosion of sodic soils. Photo: Tim Overhue



4.3. ábra Nátrium tartalmú talajok eróziója.[23] 4.4. ábra Nátrium tartalmú földek Ausztráliában [24]



4.5 ábra Diszperzív talajok eróziója. [25]



4.6. ábra Diszperzív talajok vizesen [26]

5. Diszperzív talajok azonosítása

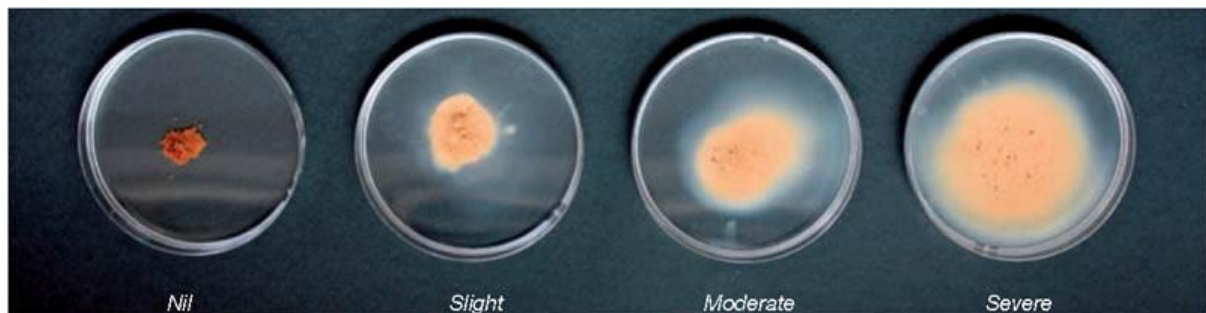
A felszíni erózióból sokszor lehet arra következtetni, hogy a felszín közeli talajrétegek diszperzívek. Erre utalhatnak a szokatlan eróziós képződmények a mély barázdák, víznyelők. (gullies) [15]

Rossz termésátlagú területeken, ahol a növények rosszul nőnek sokszor találunk bázikus talajt, melyek közül nagyon sok diszperzív. Ennek ellenére semleges és savas pH-jú talajok is rendelkezhetnek ezzel a tulajdonsággal, melyek burjánzó növényzetet táplálnak.

5.1. Helyszíni vizsgálatok

Egyszerű és gyors helyszíni vizsgálatok nagyon hasznosak lehetnek abban, hogy előzetes információt gyűjtsünk a talajokról. Viszont fontos megjegyezni, hogy ezeknek a vizsgálatoknak a megbízhatósága nagyon kétséges. A talajok megbízható azonosításához a precízebb és időigényesebb laboratóriumi vizsgálatok elengedhetetlenek.

Morzsa kísérlet (Crumb test) A talaj „morzsát”, darabkát vízbe helyezik a vízben oldódó szemcsék mértékéből következtetünk a talaj diszperzitására.



5.1.1. ábra Morzsa kísérlet

Csepp kísérlet (Drop test) Agyag darabkára vizet csepegtetünk és egy tálkába gyűjtjük össze a víz által kimosott szemcséket.

UV fény azonosítás (UV test) Uranyl Cink acetátot ($\text{ZnUO}_2(\text{CH}_3\text{COO})_4$) kevernek egy kis darab talajhoz. A fluoreszkálás intenzitásából következtetnek a talajban található nátrium mennyiségére. Egyesek szerint az esetek 40%-ban sikeres azonosítást biztosít. [6]

5.2. Laboratóriumi vizsgálatok

A diszperzív talajokat nem lehet azonosítani a megszokott laboratóriumi vizsgálatok alapján, mint például a szemeloszlási görbe vagy pedig az Atterberg határok. Ezért új vizsgálati módszereket fejlesztettek ki a diszperzív talajok azonosítására. Egy gát megvalósíthatósági tanulmánya esetén az agyag talajok diszperzitását vizsgálni kell. [18] A diszperzív talajok laboratóriumi azonosítására szolgáló vizsgálatok eredményei gyakran eltérnek, ez a nem megfelelő precizitással történő végrehajtásból is következhet.

5.2.1. A Morzsa vizsgálat (Emerson Crumb test)

Az egyszerű helyszíni azonosításból fejlesztették tovább. Egy 15 mm él hosszúságú levegőn szárított talaj kockát helyezünk 250 ml desztillált vízbe, illetve NaOH 1mol/m³ oldatba. Bár sokszor inkább természetes víztartalmú mintán végzik a kísérletet.

Ahogy a talajmorzsa hidratálódik, a kolloid méretű szemcsék kifluktuálnak és szuszpenziót képeznek. A víz zavarosságát különböző időközönként megállapítják és besorolják. [18] a

Fokozat	Vizuális észlelés
1.	kolloid rész nem látszik
2.	látszik a morzsa felszínén
3.	felhő látszik a morzsa körül és szétterül a fenekén
4.	a pohár víz alsó része zavarossá válik

5.3.1. táblázat A morzsa vizsgálat lehetséges kimenetelei.

A morzsa kísérlet jól mutatja a talajok erodálhatóságát ennek ellenére egy diszperzív talaj nem biztos, hogy diszperzív reakciót mutat. Amennyiben egy talaj pozitív eredményt produkál a morzsa kísérleten szinte biztos, hogy más kísérletek is pozitív eredménnyel zárulnának.

5.2.2. Kettős hidrometrálás (SCS laboratory dispersion test)

Az egyik első módszer a diszperzív talajok azonosítására. Az amerikai Volk fejlesztette ki 1937-ben. A talaj legkisebb morzsáinak a mennyiségéből következtetnek a szemcsék közötti összetartó erőre, és ebből az erodálhatóságra. A 0,005 mm alatti szemcsék mennyiségét határozzák meg két különböző módon előkészített talajmintán. Egyik esetben az MSZ 14 045/6-nak megfelelő peptizált szemeloszlási vizsgálatot végzik. Másik esetben a mintát az erős igénybevételt adó mechanikus „bemosás” és vegyszerezés helyett 1:5 arányú desztillált vizes elegyben enyhe keverés közben 10 percre vákuumra kapcsolják, majd enyhe keverés közben felhígítják és hidrometrálják.

A diszperzitás mértéke:

$$P\% = \frac{S_{0.005\text{vákumozott-szemeloszlás-szerint}}}{S_{0.005\text{peptizált-szemeloszlás-szerint}}} \cdot 100$$

Ha P kisebb 15%-nál (a kis aggregátum sok), a talaj erózióálló, ha 55-75% közt van, már erősen erózióveszélyes.

A módszer egy-egy helyen jól reprodukálható, de különböző laboratóriumok részben eltérő eredményeket adtak. Számos vidék gátjainak a viselkedését jól jellemezte, de pl. a Mississippi menti talajokra erősen szóró eredményeket adott, melyek a gátak viselkedését már nem jellemezték. Ott jobbnak bizonyult a kémiai módszer.

Hasonló módszereket a humuszos morzsák meghatározására a mezőgazdasági talajtan már évtizedek óta használ. [19]

5.2.3. Az oldott sók mérése (Chemical test)

Közvetett úton jelzi a talaj tulajdonságait. Richards (1954) és Sherard – Decker – Ryker (1972) részletesen vizsgálták a sótartalom mérésének különféle módszereit, ezek összefüggését egymással, és a talaj diszperzitás-fokával.

Az 1960-as években Ausztrál tudósok figyelték meg, hogy a cserélhető nátrium a fő hozzájárulója a talajok diszperzív viselkedésének.

$$ESP = \frac{\text{exchangeable} \cdot \text{sodium}}{CEC(\text{Cation} \cdot \text{Exchange} \cdot \text{Capacity})} \cdot 100$$

A mezőgazdaságban használt teljes kation cserélő kapacitás, S (cation exchange capacity, CEC,) millimol/100g talaj és ezen belül az abszorbeált, Na mennyiség aránya. Talajok melyeknek az ESP értéke 10 vagy a fölötti diszperzívnek kategorizáljuk.

Egy másik általánosan használt paraméter, ami a nátrium szerepét vizsgálja amikor oldott sók találhatók a pórus vízben az SAR (sodium absorption ratio).

A természetes nedvességtartalmú talajt desztillált vízzel kb. folyási határig telítik, majd néhány óras pihentetés után 10-25 ml vizet vonnak ki belőle, laboratóriumi vákuumszűrőn néhány óra alatt, ez a „telítési extraktum”. Meghatározzák az oldat Na, Ca, Mg tartalmát mol/m³-ben ebből a nátrium abszorpciós hányad (sodium absorption ratio, SAR):

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{0.5(Ca + Mg)}}$$

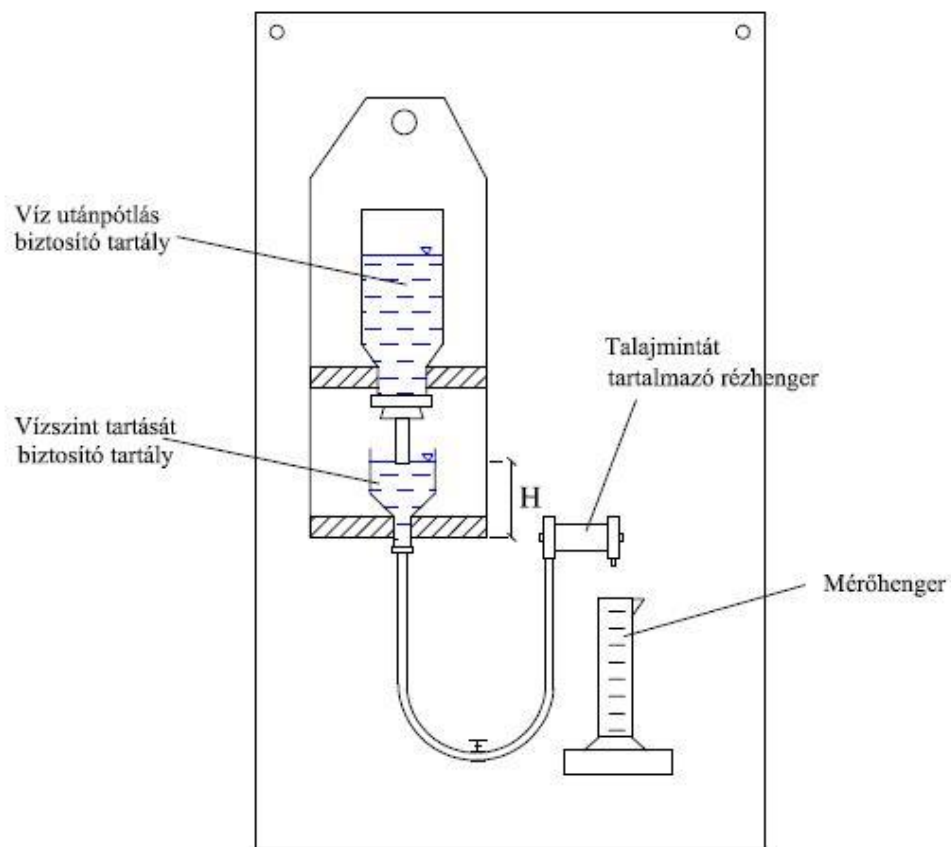
Ausztráliai kutatók bemutatták, hogy az összes talaj diszperzív volt, aminek az SAR értéke több volt, mint kettő. Ez egy ésszerű megállapítás olyan talajokra melyeknek az összes oldott sótartalmuk (total dissolved salts, TDS) 0,5 és 3,0 meq/l között van. Viszont az ezen az intervallumon kívül lévő talajokra nem vonatkozik. [6]

5.2.4. Tűszűrés kísérlet (Pinhole test)

A vizsgálat kötött talajok diszperzitásfokának (járatos erózióra való hajlamának) meghatározására szolgál. A vizsgálatot részletesen bemutatom mivel az általam vizsgált minták mindegyikén elvégeztem. A vizsgálatok eredményeit későbbi fejezetekben ismertetem. [1-13]

1.) A tűszűrésvizsgálat berendezése

A berendezés a berendezés vázlatos összeállítását az 5.2.4.1. ábra, a talajmintatartó rész részletesebb rajzát a 2. ábra tartalmazza.



5.2.4.1. ábra Sherard által kidolgozott tűszűrés kísérlet vázlatos rajza

A teljes berendezés a laboratórium falára szerelhető fel. Az alaplapon a magastartály felfüggesztését négy különböző magasságban kell lehetővé tenni, pl.: a lapból kiálló végű csavarokkal. A magastartály tartórésze egy kisebb alaplap 3 db vízszintesen felszerelt tartógyűrűvel, közülük a legalsóba egy nagyobb laboratóriumi tölcser illeszthető, a két felső egy elfordított végű palackot tart, mely kiemelhető.

Az 1 l-es plalack kifűrt dugójába egy ferdén levágott kb. 5mm belső átmérőjű csődarab illeszkedik. A cső hosszának igazításával lehet a vízszintet pontosan beállítani. A vízszint a tölcsér pereme alatt 2-3 cm-re legyen. Az alaplapon egy kis tartón (polcon) helyezhető el a talajmintát tartó henger, rugós leszorító szerkezettel olyan magasságban, hogy alatta egy vödör, és afölött egy mérőhenger elférjen. A tölcsért a talajmintával 8 mm belső átmérőjű átlátszó műanyag csővel kell összekötni, amelynek hossza lehetővé teszi a magastartály állítását. A csövön egy laboratóriumi (Hoffman) szorítót kell elhelyezni. A beállított készülékben a tölcsér vízszintje a talajmintába szűrt furat fölött (H) 5, 18, 38 vagy 102 cm magasra állítható be.



5.2.4.2.ábra A tűszűrés kísérlet elvégzésére szolgáló eszköz a Geohidro Kft laboratóriumában.

A talajhenger a tulajdonképpeni hengerből, két vágólapból és az őket összefogó csavarokból áll.

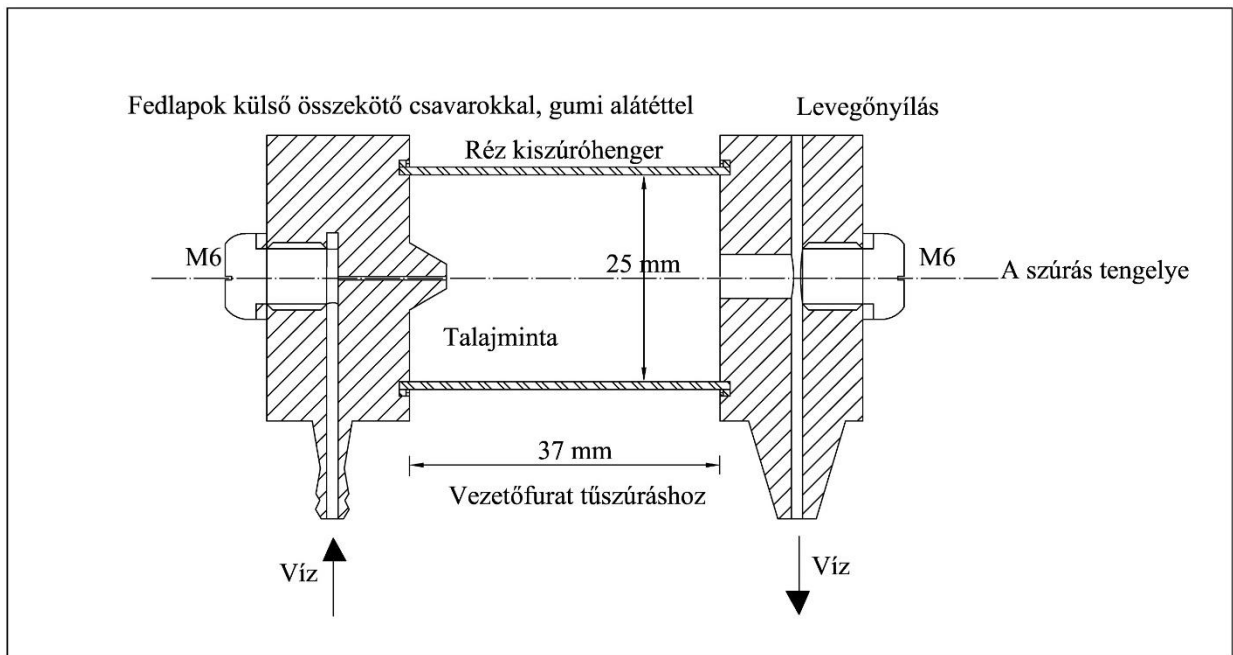
A henger 37 mm hosszú, 25 mm átmérőjű, sárgaréz kiszűrőhenger (a készülékhez 20 db tartozik).

Az ábrán a jobb oldali véglap belsejében egy függőleges furat van. Ez egyrészt a leeresztő nyílás, másrészt a talajmintába szűrt lyuk végénél biztosítja a légköri nyomást. A furat alsó végéhez egy csőcsonk csatlakozik.

A bal oldali véglap függőleges furata csak alul vezet ki, ide illeszkedik a vízbevezető gumicső csatlakozásához való csutora. A véglap oldalából kiálló másik csutora a piezométer csatlakozását teszi lehetővé; ez, ha a magastartály beállítása után nem használják, lezárható egy rövid Hoffman szorítóval elzárt gumicsődarabbal.

Mindkét véglap tengelyébe egy M6 menetes furat teszi lehetővé a talajminta átszúrását. A furat széles, hengeres fejű, tömítőalátéttel ellátott csavarokkal zárható el. Mindkét véglap belsejében horonyba süllyesztett, abból 1 mm-re kiálló, lágy gumiból készült tömítőkarika biztosítja a henger illeszkedését.

A berendezéshez kétféle kiszűrőtű tartozik, mindkettő 1 mm-es átmérőjű. Az egyik fajta normál injekcióstű, legalább 60 mm hosszú. A másik fajta pedig az egyik végén tompa, másik végén hegyes, 90 mm hosszú tű (pl. rugóacélból készült tű, leköszörült fokú varrótű).



5.2.4.3.ábra A minta elhelyezésére szolgáló rész

2.) Felszerelés:

- 1 db Proctor tömörítő berendezés,
- 2 db stopperóra, egyik a teljes mérés idejének a mérésére, a másik a vízhozam közbözéséhez
- 1-1 db mérőhenger, 10, 25, 100 cm³-es,
- 1 db osztású lépték (pl. celluloid vonalzó),
- A Casagrande készülék kihúzókése,
- Spatulyák

3.) A minta előkészítése

Minden egyes mintához 1000 g talajt használtam.

Mielőtt a talajmintákat a megfelelő víztartalomra beállítottam volna a talajrögöket mozsárban megőröltem és 4 mm átmérőjű szitán átszitáltam.

A talajmintákat 15%-os víztartalomra állítottam be. Nagyon sok helyen azt írja, hogy külön előírás hiányában a minta plastikus határa tekinthető kísérlethez használandó víztartalomnak, illetve annak $\pm 1\%$ -os eltérése. [9]

Proctor készülékben, tömörítettem be a mintákat, 25 ütéssel, 2,5 kg-os verőfejjel.

A bedöngölt mintákat légmentesen csomagolva (pl. fóliában) pihentettem. A pihentetés ideje 48 óra volt.

4.) A minta beépítése

A tömörített talajmintából a 25 mm átmérőjű kiszúróhengerrel két mintát kell kiszűrni és a végeket laposan levágni, esetleg elsimítani. A bemeneti oldalon lévő kúpos vezetőrész számára kis mélyedést kell kikaparni a Casagrande készülék kihúzókéssel. A mélyedés a kúpos vezetőrész méreteinél kisebb legyen.

A kiszúróhengerre rá kell helyezni a véglapokat, amelyeket a csavarokkal össze kell szorítani. A kifolyási oldalon előzőleg 1 mm lyukbőségű, a mintahenger belső méreténél kisebb átmérőjű szitaszövet korongot kell a talajminta felszínére helyezni.

A véglapokon lévő csavarokat kivéve, a mintát a kúpos vezetőrészen keresztül, 1 mm-es tűvel át kell szűrni. Nem tapadós agyag esetén a legegyszerűbb injekciós tűvel átszűrni, és a tűt visszahúzni. Tapadós agyagot 1 mm-es rugóacél tűvel kell átszűrni, amely a henger másik végén húzható ki a mintából. A talajmorzsákat levegőátfújással el kell távolítani. A szúráshoz csak egyenes tű használható.

A furat állapotát ellenőrizni kell a mintán keresztülnézve vagy levegőt fújva át. Ha a furat eltömődött, akkor a szúrást meg kell ismételni, ha ez sikerült, akkor új mintát kell készíteni.

A készüléket az állványra kell helyezni, a gumicsöveket be kell kötni és a magastartályt az első 5 cm-es lépcsőn kell elhelyezni.

5.) A mérés végrehajtása, értékelése

A mérést 5 perces szakaszokban kell végezni, a (2.) táblázat szerint adatokkal. Az egyes szakaszok végén a mérés eredményét értékelni kell, és a táblázat utolsó rovatában adott utasítás szerint vagy be kell állítani a következő mérés adatait vagy meg kell ismételni a mérést vagy be kell fejezni a mérést és minősíteni a talajt D1, D2, (ND4), (ND3), ND2, ND1 fokozatok valamelyikével.

Egy mérési szakasz elvégzése a következő.

Meg kell nyitni a víz útját és meg kell indítani az 1. időmérőt (ha a mintában a víz útja eldugult volna, szét kell szedni a készüléket és a mintát újra át kell szűrni, ha ez nem segít, új mintát kell beépíteni),

Az 5 percen belül 4–5 alkalommal kell köbözéssel mérni a minta vízhozamát, mindenkor a vízhozamnak megfelelő méretű, a mérés során legalább 1/3 részig megtelő mérőhengerrel. Egy-egy mérés ideje 15-40 s.

Szemrevételezéssel meg kell határozni és fel kell jegyezni a kifolyt víz fedettségét (színét). Az első percben kifolyt vizet, amely még a minta átszűrésakor keletkezett törmeléket stb.-t sodorja ki, nem kell figyelembe venni. A fedettség fokozatai a következők:

- sötét vagy sűrűn fedett: nem átlátszó,
- mérsékelten fedett: a víz a mérőhenger átmérőjétől függő mértékben már gyengén átlátszik (pl. a henger falához tett újság betűi kivehetők),
- átlátszóan fedett: a víz már csak nyomokban kolloidális, de tiszta víztől eltérő,
- oldalról nézve tiszta: a henger a mellé tett, tiszta vízzel töltött hengerrel azonosnak látszó,
- felülről nézve tiszta: a henger magasságának megfelelő vízrétegvastagság tisztán látszó

Az adatokat a jegyzőkönyvbe (5.2.4.4.ábra) be kell írni. A vízhozamokat az ötperces szakasz végén ki kell számolni. Az utolsó mérés vízhozamát, és az utolsó egy-két minta fedettségét együtt kell figyelembe venni és a szakaszt értékelni, majd döntení kell a következő lépésről (befejezés, ismétlés, a vízszint emelése). Ha a víz legfeljebb átlátszóan fedett és a vízhozam nem növekszik erősen (a furat nem bővül), akkor a következő, magasabb vízszintfokozattal kell a mérést folytatni, ellenkező esetben be kell fejezni a mérést (lásd a hozzá tartozó táblázatot).

Egy-egy mérési szakasz elején meg kell győződni, van-e elegendő víz a magastartály palackjában. Ha a víz mérési szakasz közben mégis kifogyott volna, ezt a jegyzőkönyv „Megjegyzés” rovatába be kell írni.

A mérés befejezése után a mintát a hengerből ki kell tolni, el kell törni (nem szabad elvágni) és a furat átmérőjét 0,5 mm-es pontossággal fel kell jegyezni.

Egy talajmintából két egymástól független mérést kell elvégezni, ezek eredménye legfeljebb 1 fokozattal térhet el egymástól. A kettő közül a diszperzivebb minősítés a mérvadó. [9]

Mérések sorrendje, minősítése						
Jel	H [cm]	Q [ml/s]	Észlelés	Furat [mm]	Folytatás	Minősítés
A	5	1.5	sötét	-	B	-
		0,6-1,5	sötét- mérsékelt- átlátszó	-	C	-
		0,3-0,6	tiszta	-	D	-
B	5	1.5	sötét, nem tisztul	3	vége	D1
C	5	1	mérsékelt	2	vége	D2*
		0.8	átlátszó	1.5	vége	ND4*
D	18	2.5	mérsékelt, átlátszó	2	vége	ND3
		1.8	tiszta	-	E	-
E	38	3.5	mérsékelt, átlátszó	2	vége	ND3
		2.5	tiszta	-	F	-
F	102	5	átlátszó, oldalról tisztul	2	vége	ND2
		4	felülről is tisztul	1	vége	ND1

* ND4 és D2 esetén a vizsgálatot meg kell ismételni A-tól

Egy-egy mérés időtartama 5 perc, közben 3-5-ször kell vízhozamot mérni.

A táblázat Q oszlopában az utolsó mérés szerepel.

5.2.4.4. táblázat A tüzúrás kísérlet során használt értékelő lap

5.2.4.5.

5.3. Mértékadó hézagtenyező meghatározása

Ez a vizsgálatot nem kifejezetten a diszperzív talajok vizsgálatára fejlesztették ki, mégis nagyon jó előzetes mérése annak, hogy a talaj vajon diszperzíven fog-e viselkedni.

A talaj és a víz kölcsönhatásának meghatározási módszere, kötött talajok minősítésére.

1.) A szükséges felszerelés

- 25 cm³ –es mérőhenger,
- 100cm³-es mérőhenger,
- labormérleg,
- 0,1 mm-es szita,
- tálak

2.) A talajminta előkészítése

Külön előírás hiányában (külön előírás a 2.2.2. és 2.23. szakasz szerint), a természetes víztartalommal beszállított (MSZ 4488 előírása szerint részben zavart) mintát kézzel kell elmorzsolni legfeljebb 5 mm-es morzsákra. A kavicsot és más idegen anyagot el kell távolítani.

A részben zavart talajmintát szétmorzsolás után légszárazra kell szárítani, kézzel elporlasztani és a további vizsgálathoz a 0,1 mm-es szitán átesett részt kell felhasználni. Gyengén kötött talajoknál végezhető csak el ez az előkészítési munka.

A 2.2.1. szakasz szerint elmorzsolts talajból minden 10 g száraz tömegre átszámított mennyiségű talajhoz 30 cm³ vizet felhasználva, a talajt 0,1 mm-es szitán kell mosni. A szitán átjutott részt kell vizsgálni.

3.) A felhasznált víz

Külön előírás hiányában desztillált vizet kell felhasználni. Külön előírás például a földműre ható vízhez hasonló összetételű víz alkalmazásának előírása. Esővíznek, olvadó hólének a desztillált víz felel meg. Folyóvíznek megfelel a parti szűrészű kutakból nyert vízvezetéki víz, pl. dunavíznek a budapesti csapvíz. Egyéb esetekben olyan vizet kell alkalmazni, amelynek a keménységi foka (Ca, Mg), és kémhatása (Na-karbonáttal vagy sósavval beállítható pH értéke) azonos a beépített földműre ható víz keménységi fokával és kémhatásával.

4.) A mérés végrehajtása

A 2.2.1. szakasz szerint előkészített minta w víztartalmát az MSZ 14043/6 előírása szerint meg kell határozni és ki kell számítani 5 g száraz talajnak megfelelő nedves talaj tömegét. Az így kiszámított tömegű talajt be kell mérni a mérőhengerbe. A 2.2.3. szakasz szerint előkészített minta esetén a tömeget utólag kell meghatározni. A mintát vízzel fel kell önteni 20 cm³-re és rázogatóssal talajszuszpenziót kell előállítani. A mérőhengerben 48 óráig kell a talajt ismételt rázogatóssal áztatni. Az utolsó felrázás után 24 órával le kell olvasni az üledék térfogatát. Ha ekkora még a szétkevert anyag nem ülepedett le annyira, hogy fölötte a víz átlátszó legyen, akkor a térfogat „sok”, nem értelmezhető.

A 2.2.3. szakasz szerint végrehajtott mérés esetén az üledéket be kell szárítani, és tömegét ezután kell megmérni.

5.) A eredmények számítása

$$ek = \rho_s \frac{V}{md} - 1$$

Ahol

e_k	mértékadó hézag tényező,
ρ_s	a szilárd, hézag nélküli anyag sűrűsége, g/cm ³ (egyéb adat híján 2,8)
V	a kiülepedett anyag térfogata, cm ³
md	az ülepített talajminta száraz tömege, g.

6.) Az eredmények értékelése

Értékelés Galli László szerint.

A előkészített talajjal, a helyszíni összetételnek megfelelő vízzel elvégzett. vizsgálati eredmények minősítése:

Értékelés	
szétfolyó	$6,0 < e_k < \text{vagy } V = \text{„sok”}$
fellazuló	$3,5 < e_k < 6,0$
vízálló	$2,0 < e_k < 3,5$
rögösödő	$0 < e_k < 2$

5.3.4. ábra Mértékadó hézagtenyező meghatározásának kiértékelése

A felhasznált víz fajtáját az eredmény mellett mindig meg kell nevezni, pl.: budapesti csapvízzel (a vizsgálat eredményét a víz kémhatásának (pH-nak) változása módosítja.) Ezek a meghatározások és határértékek közelítő jellegűek, tervezéshez közvetlenül nem használhatók.

Értékelés helyi kiegészítő vizsgálatokkal

Kisebb földrajzi egység, egy-egy nagyobb beruházás területe genetikailag egységes talajnak e_k értéke, valamint a talaj és víz kölcsönhatását jellemző más vizsgálatok (pl. a túsűrűs vizsgálat) eredménye között korrelatív kapcsolat létesíthető. Ebből a célból a 2.2.1. szakasz szerint előkészített talajból desztillált vízzel kell a vizsgálatot elvégezni. Az így nyert értékre is érvényes lehet durva közelítéssel a 2.6.1. szakasz szerinti minősítés, de korrelatív kapcsolat birtokában, megnevezés nélkül magával a számértékkel kell minősíteni. Az e_k értékek szerint a talajok csoportosíthatók a további részletes vizsgálatok előtt, ezután egy-egy csoportból már csak néhány mintán kell részletesebb vizsgálatot elvégezni. [9]

6. Rendelkezésre álló adatok statisztikai elemzése

A diszperzív talajok kutatása közel 100 éves múltra tekint vissza. Ez alatt az idő alatt a szakemberek számos mintát vettek. Magyarországon is rengeteg adat gyűlt össze az évek során, különböző töltések talajának vizsgálatából. Hogy a problémáról átfogóbb képet kapjunk célszerűnek tűnt első lépésként az adatok áttekintése, összefüggések keresése. A töltések diszperzivitás vizsgálatát hazánkban a vízügyi hatóságok végezték, így ők rendelkeznek az adatokkal is. Dr. Nagy László tanár úr a Vízügyi Hatóságok által készített talajvizsgálatok adatainak, a TDK témám számára érdekes részét a rendelkezésemre bocsátotta. Ezeket az adatokat a kísérletek megkezdése előtt több szempont szerint vizsgáltam, hogy a kísérleteimet minél logikusabban tudjam felépíteni.

A rendelkezésemre álló adatokat az alábbi szempontok szerint vizsgáltam:

1.) A hézagtenyező és a diszperzitás foka közötti összefüggés

A kettő közötti korrelációra a MSZ is utal. A hézagtenyező meghatározását sokszor előzetes vizsgálatként szokták alkalmazni a tűszúrás kísérlet elvégzése előtt.

2.) Talajok színe és diszperzív tulajdonságuk közötti összefüggés

Ha, létezne ilyen összefüggés akkor ez lényegesen leegyszerűsítene a talajok azonosítását. A problémát viszont az erősen szubjektív szín meghatározás okozza.

3.) Atterberg határok és diszperzitás foka közötti összefüggés

A kutatókat régóta foglalkoztatja ez a probléma, mindeddig nem sikerült komoly összefüggést felfedezni.

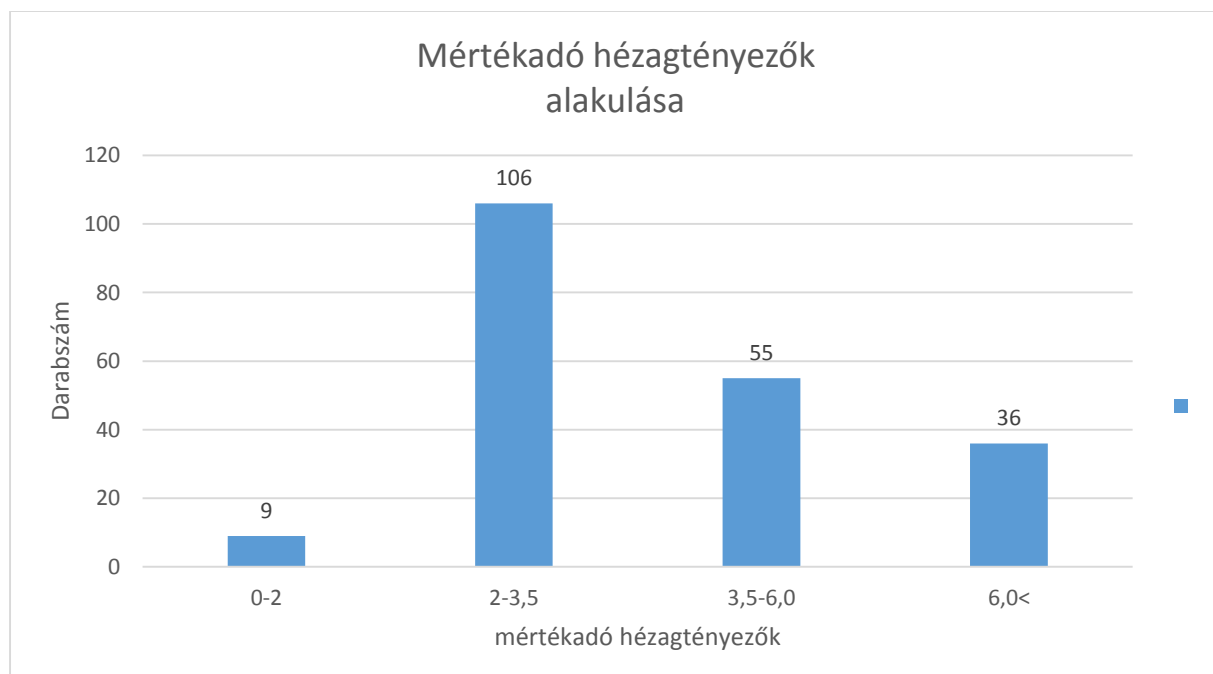
6.1. Hézagtényező és a diszperzitás foka közötti korreláció

Galli László a következő csoportokba sorolja a talajokat a mértékadó hézagtényezőjük alapján:

Értékelés	
szétfolyó	$6,0 < e_k < \text{vagy } V = \text{„sok”}$
fellazuló	$3,5 < e_k < 6,0$
vízálló	$2,0 < e_k < 3,5$
rögösödő	$0 < e_k < 2$

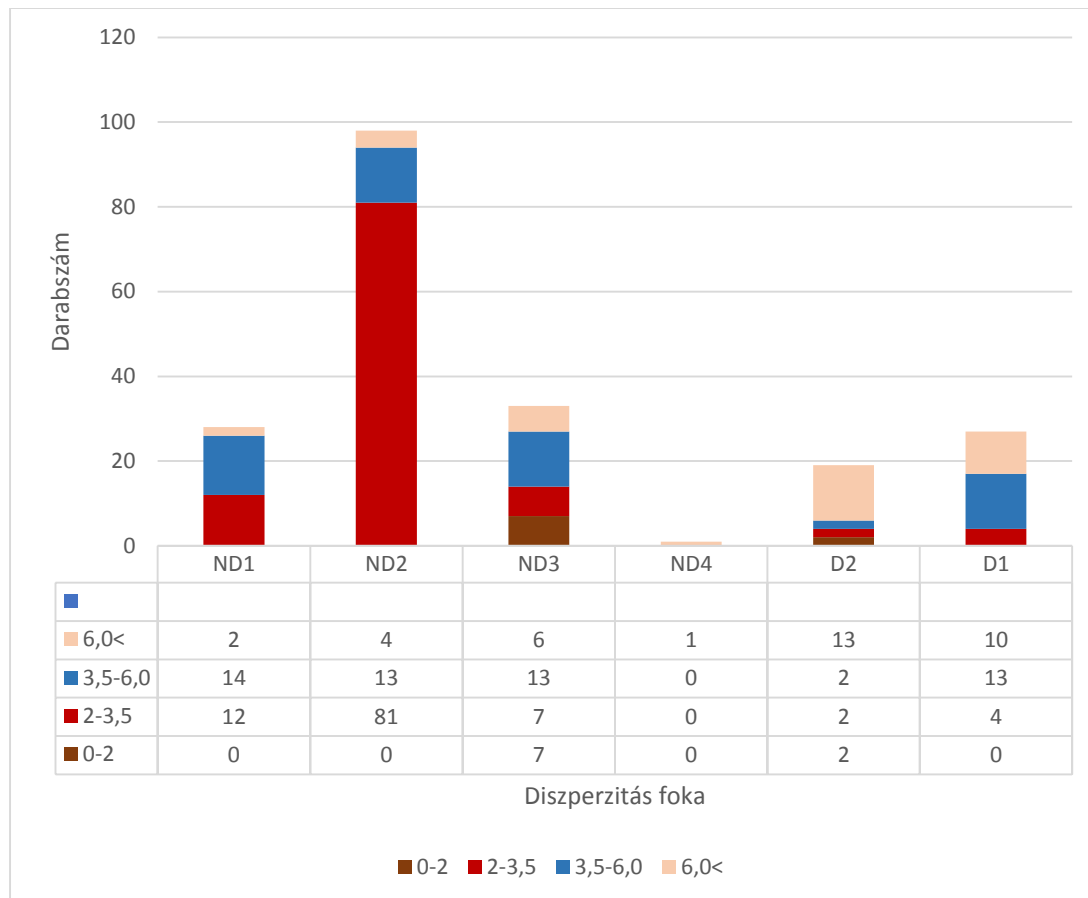
6.1.1. táblázat Mértékadó hézagtényező meghatározásának kiértékelése

Összesen 206 db minta összetartozó mértékadó hézagtényezőjéből és diszperzitási fokából próbáltam következtetéseket levonni. Galli László által meghatározott kategóriák alapján a mintáim a következő eloszlást mutatják.



6.1.2. ábra Mértékadó hézagtényező alakulása Galli László szerinti csoportosítás alapján.

A diszperzitási fok alapján pedig a következő képen kategorizálhatók a minták. Mindegyik diszperzitási fok kategórián belül látszanak a mértékadó hézagtenyezők csoportjainak az aránya.



6.1.3. ábra A diszperzív kategóriákon belüli hézagtenyezők alakulásak.

Az ND4-es tartományba mindösszesen 1 db minta került. Ezt a Sherard féle túsúrák kísérlet kiértékelésének módszerével magyaráznám. A vízhozam és a szubjektív szempontok úgy vannak meghatározva, hogy egy elég szűk tartomány tartozik az ND4-es diszperzitási fokhoz. A kísérletek során személyesen tapasztaltam, hogy a minták sokkal előbb kerülnek a D2-es vagy az ND3-as kategóriába, mint az ND4-be.

Előzetesen azt várnánk, hogy az ND1 és ND2 (nem diszperzív viselkedésű talajok) rögzösödő vagy pedig vízálló besorolást kapnak, míg a D1 és D2 (erősen diszperzív viselkedésű talajok) fellazuló vagy pedig szétfolyó minősítéssel illethetők.

Az általam feldolgozott minták több folyó töltéseiből származnak. A körösök vidékéről, Kettős-Körös, Sebes-Körös, főleg ND1-től ND4-ig terjedő mintákat kaptam. Míg a Zagyva és

a Tisza árvízvédelmi létesítményeiből származó mintáim D1-től ND3-ig terjedőnek mondhatóak.

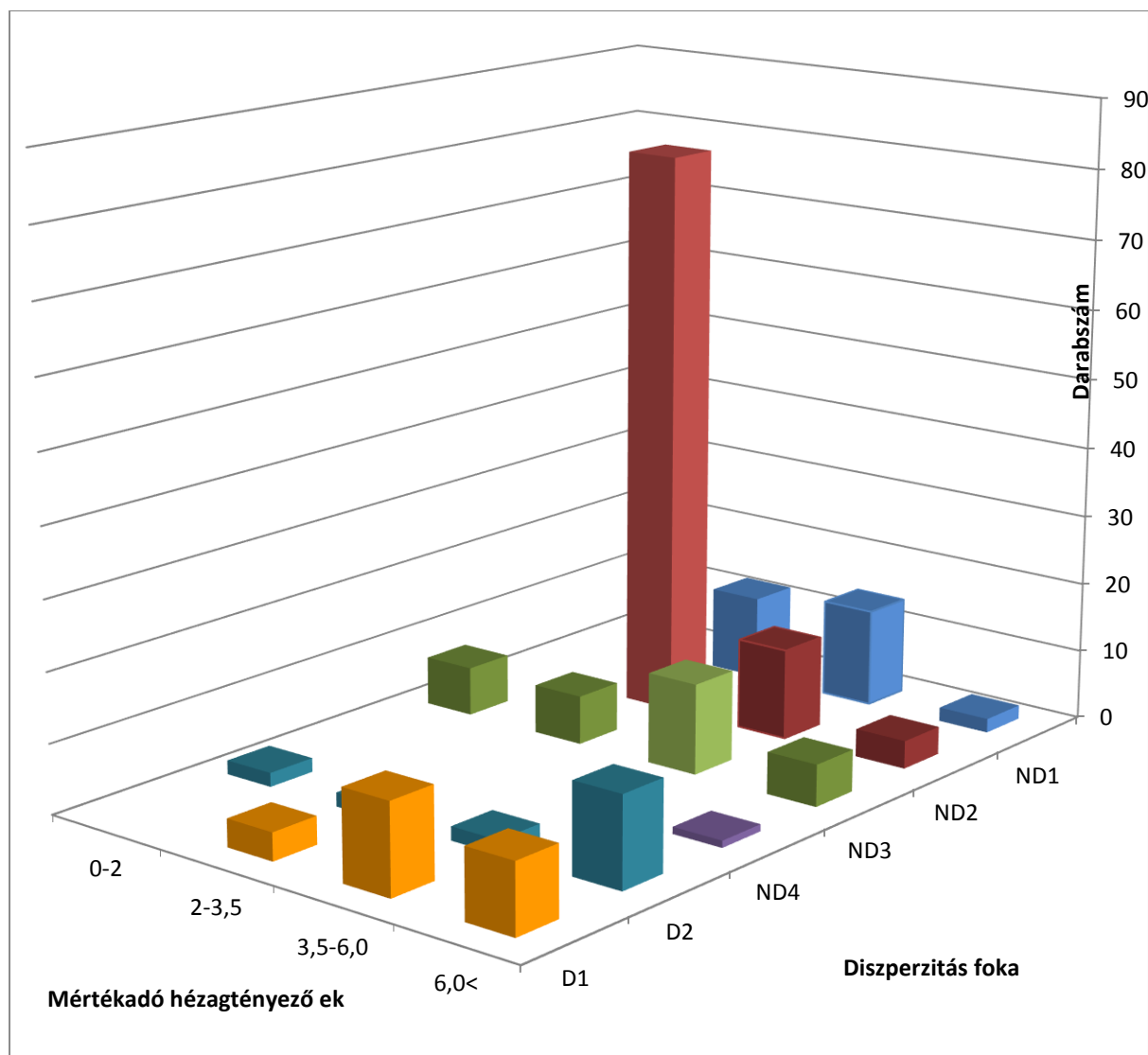
Az eredményeket egy háromtengelyű diagramon ábrázoltam, hogy a három fő változót (hézagtenyező (ek), diszperzitás foka, darabszám) el tudjam különíteni.

Elsőre szembetűnő, hogy az ND2-es minták legnagyobb része vízálló besorolást kapott, ami a túsűrűs kísérletek eredményével egybevág, hiszen ami vízzáró talaj Galli alapján az várhatóan erózióálló is a túsűrűs kísérlet besorolása szerint. A fellazuló besorolásban is találhatók minták, ezek hézagtenyezője $3,5 < ek < 6,0$ között tartózkodik. Sajnos szétfolyó besorolás is található az ND1 és ND2 sorában azonban ez az 1-2 darab mérés betudható mérési hibának. A több mint száz minta alapján készült diagram jól mutatja, hogy az ND1 és ND2 (nem diszperzív talajokra) a vízálló besorolás érvényes az esetek több mint 80%-ban.

A másik jól elkülönülő mintacsoport a D1 D2 fellazuló és szétfolyó osztályba tartozó mintái. Az elemzett talajok közül egyetlen D1-es minta se volt rögzösödő besorolású és vízálló is csak elvétve fordult elő. A D2-es minták esetében a rögzösödő és a vízálló osztályba is 2-2 minta került, ami nem számottevő. Így kijelenthetjük, hogy a diszperzív talajok mértékadó hézagtenyezőjük (ek) alapján fellazulónak és szétfolyónak kategorizálhatók. Az előzetes várakozásokkal és a talajok tapasztalt viselkedésével összhangban.

Az összefüggés kimutatása szempontjából a problémás részt az ND3-ND4-es az úgynevezett átmeneti tartomány jelentette. A diagramon jól látható, hogy az ND3 sorában a fellazuló mintákból van a legtöbb, de a minták eloszlása egyenletesnek nevezhető.

Összefoglalásként kijelenthetem, hogy az ND1 és ND2 diszperzitás fokú talajok alapvetően vízállónak mondhatók, míg a D1 és D2 (erősen diszperzív) talajok fellazuló és szétfolyó tulajdonsággal rendelkeznek. Az ND3 és ND4 diszperzitási fokkal rendelkező talajok esetében a mértékadó hézagtenyező (ek) is az átmenetiséget tükrözi. Mind a négy kategóriában közel azonos darabszámú minta található.



6.1.4 ábra Térbeli ábrázolás.

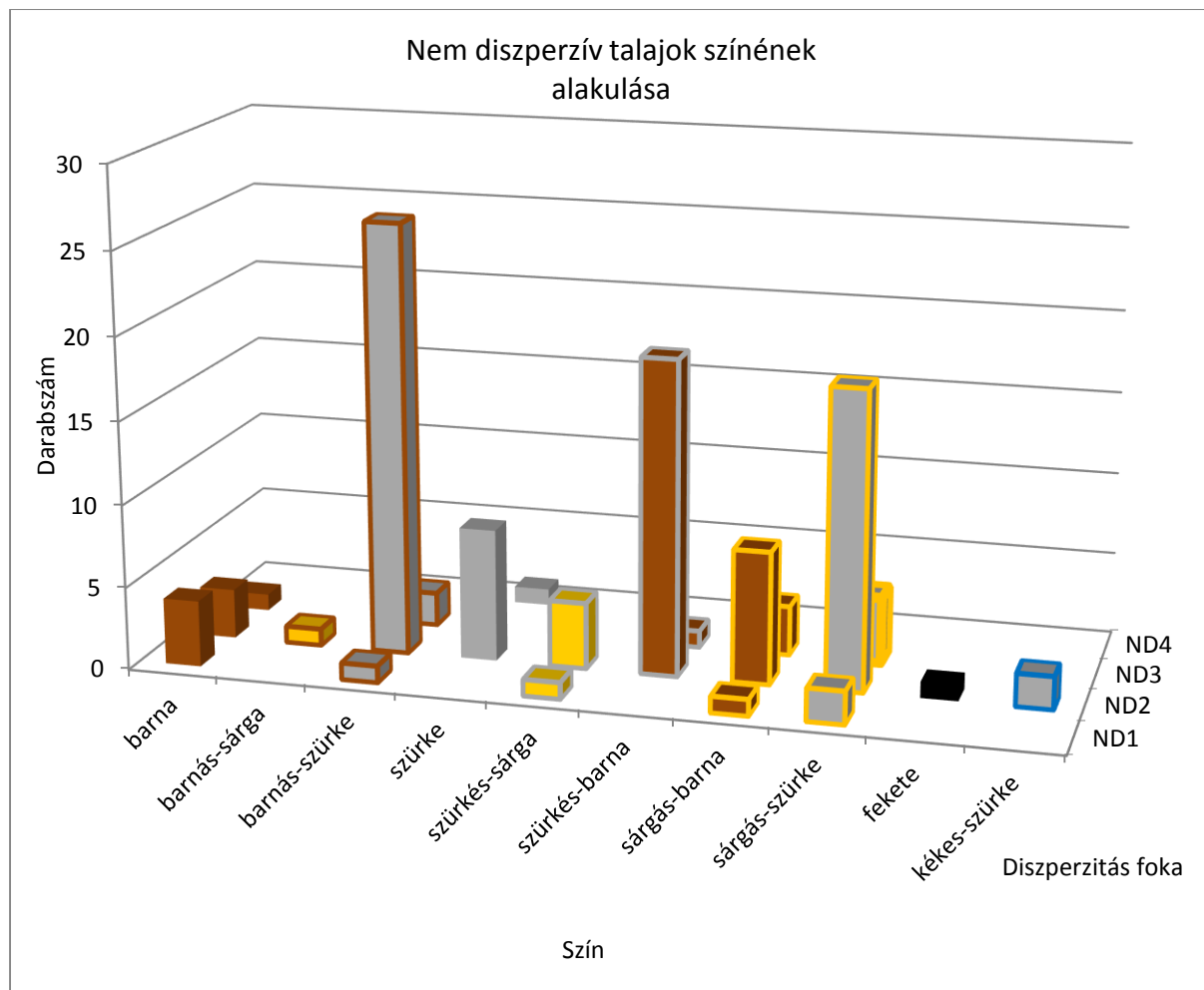
6.2. Talajok színe és diszperzív tulajdonságuk közötti összefüggés

A második szempont a szín és a diszperzitás foka közötti összefüggés volt. A diszperz talajok színe nagyon változatos; vörös, barna, szürke és sárga vagy ezek keveréke is előfordul. [6] Sajnos nem tudjuk teljes biztonsággal szín alapján azonosítani őket. Viszont vannak olyan területek a földön ahol, esetleg csak a világos agyag talajok rendelkeznek diszperzív tulajdonságokkal máshol csak a sötétebbek.

Algériában egy szürke agyagból készült gáton repedések jelentek meg. Mivel a környék vörös agyag talaján nem jelentkeztek erózió jelei ezért úgy gondolták, hogy a vörös homokos agyagot fogják használni a gát kijavításához. A laboratóriumi kísérletek kimutatták, hogy mindkét talajnak magas a nátrium tartalma. Ennek ellenére a szürke agyag talaj egyáltalán nem viselkedik diszperzíven (ND1-es besorolást kapott a tűszűrés kísérlet alapján). A vörös agyag talaj természetes víztartalom mellett nem mutatkozott diszperzívnek, viszont száradás és nedvesítés után diszperzív tulajdonságokat mutatott. Feltételezhetően a kationok a vízvesztés következtében erősebben hozzá tapadtak a talajszemcsékhez így változtatva meg azok tulajdonságait. [8]

Összesen 111 db mintához tartozott szín meghatározás. Az alapvető probléma ezekkel az adatokkal az volt, hogy a TDK-m témája a diszperzív talajok azonosítása, ezek az adatok pedig csak a nem diszperzív (ND1, ND2) és átmeneti diszperzitású (ND3, ND4) talajok színét tartalmazták. Így jobb esetben is csak a nem diszperzív talajok színére vonhattam volna le következtetéseket. A minták nagyrészt a Kettős-Körös és a Sebes-Körös töltéseiből származtak.

Sajnos a készített diagramon az látszik, hogy nincs egyértelmű összefüggés a szín és a diszperzitás foka között, egy viszonylag kis területen. (Minden minta a Körösök partjáról van.) Így nem tartom elképzelhetőnek, hogy esetleg egymástól távol elhelyezkedő talajok a színe és a diszperzitás foka között esetleg összefüggés legyen.



6.2.1 ábra A minták színe és diszperzitási foka alapján történő csoportosítása

A talajminták színének meghatározását fontos lenne egységesíteni. A minták színe a víztartalommal változhat. Egy sötét szürkés-barna agyag, amikor kiszárad akkor szürkés-sárgának látszik. Így egységes víztartalom mellett lenne célszerű a minták színét meghatározni. A tapasztalt szakemberek ránézésre állapítják meg egy-egy minta színét ez viszont egy elég szubjektív módszer. A vizsgálatok összemérhetősége érdekében a minta tulajdonságainak meghatározásánál minél jobban ki kel küszöbölni a szubjektív besorolásokat, így egységesítve azok meghatározását.

Geotechnikai színskála használata lenne érdemes. Ezzel gyorsítani és pontosítani lehetne a besorolást. Sokkal precízebb eljárás lenne a spektroszkóppal történő szín meghatározás. Ez bonyolult, időigényes, de cserébe nagyon pontos eljárás lenne.

Összefoglalva, akár csak az olvasott szakirodalmak íróinak [8], nekem se sikerült összefüggést felfedeznem a talaj diszperzitása és a színe között

A szín meghatározási módok fejlődésével remélhetően majd precízebben tudjuk meghatározni a minták színét, de nem valószínű, hogy ez esetleg lényegi áttörést jelente a diszperzitás foka és minta színe közötti korreláció meghatározásában.

6.3. Atterberg határok és diszperzitás foka közötti összefüggés

A harmadik kategória, amit vizsgáltam az az Atterberg határok és diszperzitás foka közötti összefüggés. Pontosabban a talajok plaszticitási indexe és a diszperzitás foka közötti koreláció. Azért lenne fontos a kettő között összefüggést találni mivel a talajazonosítás alapját az Atterberg határok jelentik. Így a bevett vizsgálatokkal lehetne azonosítani a diszperzív talajokat. Ha az Atterberg határok alapján való azonosítás működne a bonyolultabb vizsgálatok elvégzése szükségtelenné válna. A plaszticitási index alapján a kötött talajokat következő képen csoportosítjuk:

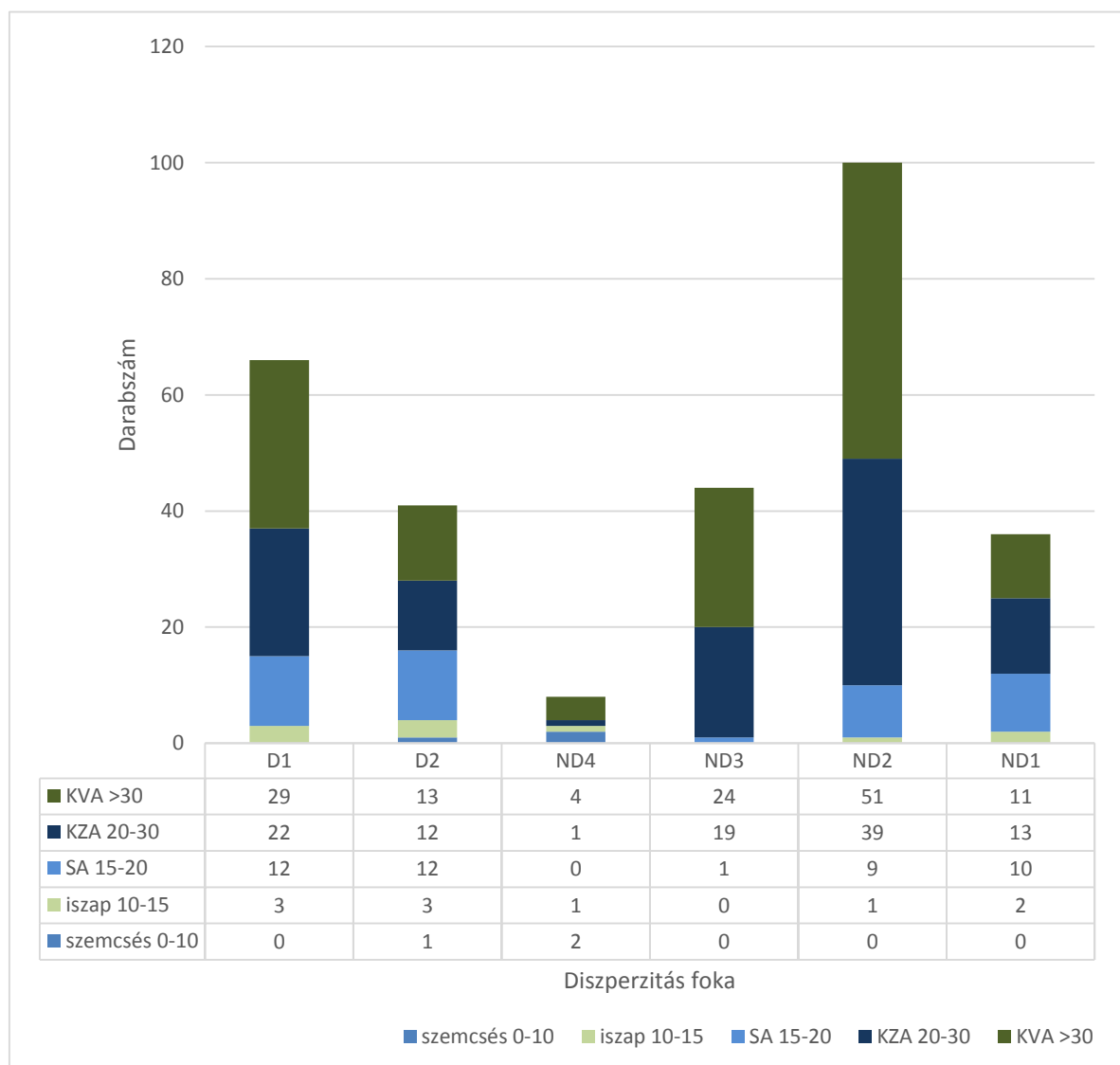
Rövidítés	Név	Ip [%]
KVA	kövér agyag	>30
KZA	közepes agyag	20-30
SA	sovány agyag	15-20
Iszap	Iszap	10-15
szemcsés	szemcsés	10<

6.3.1 táblázat Kötött talajok csoportosítása

A diszperzív viselkedés kötött talajokra jellemző. Ennek ellenére a 295 db adatból amit a plaszticitási index és a diszperzitási fok összefüggésére vizsgáltam 3 db minta mégis szemcsés volt. Ez nem számot tevő vélhetően mérési hibából származik.

Az ND3-as diszperzitás fokú oszlop közül az összes tartalmaz iszapot, de csak 1-2 darabot. (Az ND2-es oszlop 100 mintája közül mindösszesen 1 iszap.) Látszik, hogy az iszapok előfordulása is nagyon ritka. 13 mintát leszámítva az összes többi agyag. Ebből az látszik, hogy a diszperzív talajok problémája az agyagokra koncentrálódna. Érdekességként megjegyezném, hogy az angolszász területeken a szakirodalom a „dispersive clay” kifejezést használja. Ezzel egyértelművé teszik, hogy ez a probléma kizárólag agyagokat érinti.

„Sherard cikkében [10] megemlíti, hogy ausztráliai kutatások szerint a diszperzitás a kis-és közepes mértékben kötött agyagokhoz kapcsolódik, míg hazai viszonyok között ez inkább a közepesen- és erősen kötött talajoknál tűnik igaznak. Ennek oka a különböző területeken különböző körülmények között kialakuló talajviszonyokban, illetve az adott térségben jellemző vizek összetételében (kémhatás, oldott ionok) kereshető. A külföldi és a hazai viszonyok között is eltérő a plaszticitási index és a diszperzitási fok kapcsolata betudható annak a ténynek, hogy területenként más-más talajkeletkezési és átalakulási módok, mechanizmusok jellemzőek, így a kialakult agyagok, iszapok tulajdonságai is eltérőek lehetnek, az őket felépítő ásványok és a velük kapcsolatba lépő víz tulajdonságai alapján.”[11]



6.3.2. ábra A diszperzitási fok és a plaszticitási index összefüggése

7. Vizsgálati program I. fázis: Karcag I. mintacsoport

A TDK-m során végzett kísérleteimhez 2 különböző mintacsoportot használtam. Ezek a minták egy Karcag mellett található öntözőcsatorna egyszerű földtöltéséből származnak. A mintáimat Karcag I.-nek (Kar. I.) illetve Karcag II.-nek (Kar. II.)-nek neveztem el.

A Karcag I. nevű minta légszáraz állapotban szürkés-sárga volt, míg a Karcag II. sötétebb, szürkés-barna színű.



7.1. ábra Karcag I.



7.2. ábra Karcag II.



7.3. ábra Karcag I. és Karcag II. minta összehasonlítása

7.1. Karcag I. jelű mintán végzett kísérleteim

Első lépésként meghatároztam a mértékadó hézagtenyezőket. Az eredmény azonban nem volt mérhető, mert a szemcsék nem ülepedtek le, így a minta térfogatát „soknak” vettem. Amikor a mértékadó hézagtenyezőket kiszámítottam akkor a kolloid oldat magasságával számoltam, hogy kapjak számértéket. A szükséges 2 nap pihentetés után a kémcsőben nem különültek el a talajszemcsék, nem volt egyértelmű a határ, az egész kémcső kolloid oldatot tartalmazott. Ebből már lehetett sejteni, hogy a minta erősen diszperzív lesz a tűszúrás kísérlet alapján.

A mintákat dr. Nagy László és Nagy Gábor doktorandusz vette. A minták vételére szolgáló szelvényeket a felszíni erózió látható jelei alapján választották ki. Remélték, hogy a minták diszperzívnek mutatkoznak és így a minták stabilizálásával is tudok a TDK-m során foglalkozni.

A szakirodalomban rengeteg cikk foglalkozik a diszperzív agyagok kezelésével. Az ilyen talajokból épült gátakat általában két féle képen szokták kezelni:

- 1.) A szerkezeten változtatnak:
 - homok és kavics fedést alkalmaznak (esetleg burkolják a gát koronát) [12]
 - függőleges „kémény” szivárgókat építhetnek be a gáttestbe, amiket a mentett oldalon kivezetnek. Így biztosítva utat a töltéstartestbe szivárgó víz számára. [8]

- 2.) A meglévő töltést kezelik valamilyen anyaggal:

Ez legtöbbször azt jelenti, hogy a töltés felszínétől bizonyos mélységig a talajt átkeverik, gipsszel, oltott mésszel vagy pedig alumínium-szulfáttal. A töltés repedésre érzékenyebb részei körül is érdemes a diszperzív talajt átkeverni, mint például: átereszek, zsilipek és egyéb vízepítési műtárgyak. [13]

Én a töltések kezelését modelleztem a kísérleteimben. A Karcag I. jelű mintát különböző tömegszázalékban oltott mésszel kevertem. A szakirodalom 0,5% és 3% közötti keverésről tesz említést.[12] Az első mintámon a mésszel történő keverés durva közelítését végeztem el, ennek megfelelően 2,5%; 4,0%, 6,0%, 8,0% tömegszázalék mésszel kevertem a talajmintámat.

A minták ki voltak száradva, hatalmas rögök formájában voltak a zacskókban

- Kalapáccsal összetörtem a rögöket, majd pedig mozsárban megőröltem őket
- 4mm-es lyukbőségű szitán átszítáltam a mintákat
- 15% tömegszázalékos víztartalomra állítottam be az 1000g-os mintákat (Ezzel szeretnék volna modellezni a „föld nedves” állapotot.)
- A mintákhoz hozzá kevertem a megfelelő tömegű oltott meszet. (Az oltott meszet petricsészékben mértem ki és spatulával kevertem a talajhoz.)
- Mindegyik mintából 10-10 g-ot szárítószekrénybe helyeztem és 105 fokon tömeg állandóságig szárítottam.
- 5-5g-ot finomra őröltem és elvégeztem a mértékadó hézagtenyező meghatározásához szükséges kísérletet.



7.1.1. ábra Talajrögök eredeti állapotukban, illetve a feldolgozás kezdetén.



7.1.2. ábra A mozsárban az őrölés előtt. A feldolgozás folyamata.

A kísérlettel az volt a célom, hogy meghatározzam, hogy az adott minta diszperzitási foka, hogyan változik a mésszel történő kezelés hatására. Van-e hatása vízállósági szempontból annak, ha sokkal több meszet adok a mintához, mint a mennyit a szakirodalom előírányoz.

Természetesen a mésszel kezelt mintákon is elvégeztem a mértékadó hézagtényező meghatározásához szükséges kísérletet. Még mielőtt a kísérletet kiértékeltem volna a mintákon látszott a mésszel történő kezelés egyértelmű hatása. Ahogy növeltem a mész tartalmat úgy csökken kolloid oldat rész.



7.1.3. ábra Karcag I. jelű mintacsoport

Balról jobbra haladva: 0,0% mésztartalom (kezeletlen minta), 2,5%, 4,0%, 6,0%, 8,0%.

Miután a leülepedett talaj magasságát lemért, kiszámoltam a mértékadó hézagtényezőket és azokat Galli László által megalkotott csoportokba besoroltam. A besorolást a 7.1.4.-es táblázat tartalmazza.

Mésztartalom	h [cm]	ek [-]	Csoport
0.0%	10	7.50	szétfolyó
2.5%	6.2	4.27	fellazuló
4.0%	5.3	3.50	vízálló
6.0%	4.8	3.08	vízálló
8.0%	4.5	2.82	vízálló

7.1.4. táblázat (mésztartalom, mértékadó hézagtenyező, besorolás Galli szerint)

A szétfolyó tulajdonságú talaj mésszel történő kezelés hatására vízálló besorolás felé kezdett elmozdulni, kellő mennyiségű mész hatására ezt el is érte a 4,0% tömegszázalékkal kezelt talajminta.

A tűszúrás kísérlet elvégzése előtt szinte biztosra lehetett tudni, hogy kellő mésztartalom esetén a minta nem diszperzív besorolású (ND1, ND2) lesz. A 6. fejezetben található statisztikai elemzéseknél látható, hogy az ND1, ND2-es mintákra vízálló besorolás jellemző, ezért várhatóan a 4% mésztartalommal kezelt minta már nem fog diszperzív tulajdonságokat mutatni, mivel ez az első olyan minta ami vízálló besorolást kapott a hézagtenyezője alapján.

7.2. Tűszúrás kísérletek elvégzése

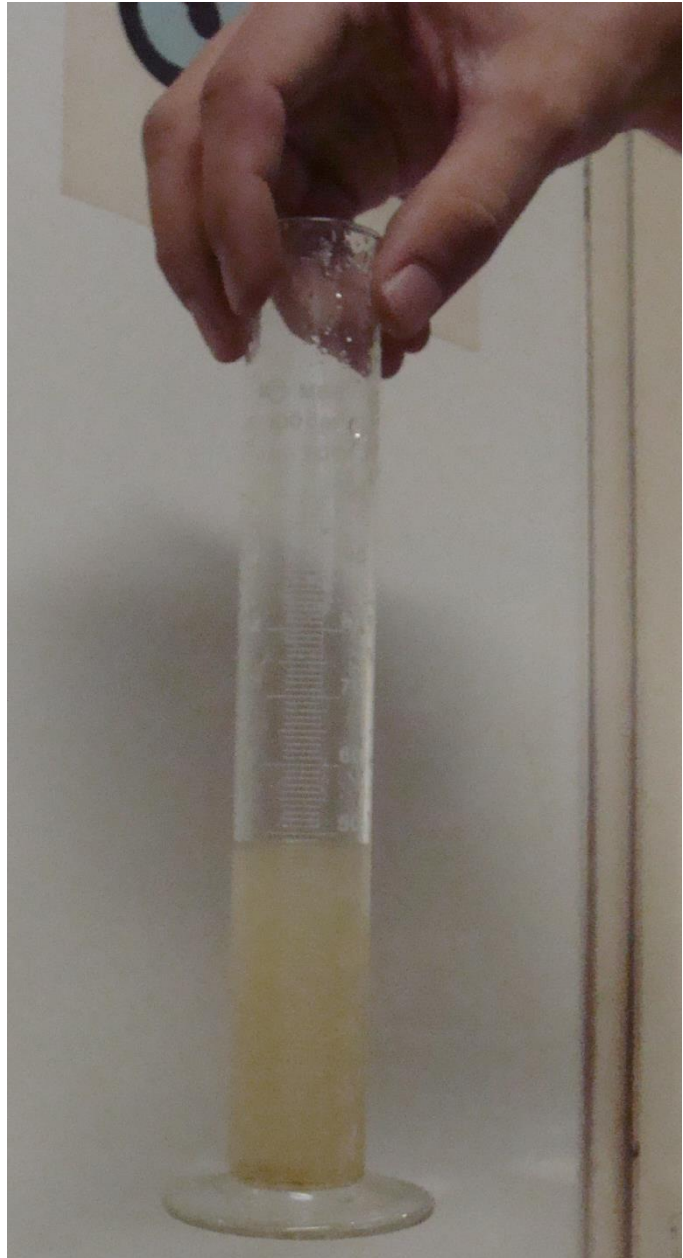


7.2.1. ábra Tűszúrás kísérlet elvégzéséhez szükséges eszközök. Balra desztillált vizes ballon jobbra a talajminta a tartóban.

A Karcag I. jelű mintacsoporton a tűszúrás kísérleteket a GeoHidro Rákospalotai laboratóriumában végeztem, mivel ők rendelkeztek a kísérletek elvégzéséhez szükséges eszközökkel.

7.2.1. Eredeti talajok vizsgálata

Kezdetben az előre kialakított járaton nagyobb szemcsék is kimosódtak, illetve a kisebb kolloid frakció is. A tú átszűrésével képződött járat körül fellazított szemcsék lehettek ezek. Az első pár alkalommal mért vízhozam esetén voltak jelen a szabad szemmel elkülöníthető méretű szemcsék. A későbbi mérések alkalmával a nagyobb szemcsék kimosódása megszűnt, viszont az átfolyó víz átlátszósága továbbra is mérsékelt maradt. A mintán hatszor mértem vízhozamot 5cm szintkülönbséget alkalmazva. A vízhozam, a mérések során nem csökkent, ebből arra következtethetünk, hogy a lyuk nem zárult és valószínűleg nem is bővül gyors ütemben. Viszont hozzá kell tenni, hogy ez mindössze 5 cm magasság különbség esetén. (Nem volt szükséges a magasság különbséget emelni, ez alapján is be lehet sorolni.) Ha a magasság különbséget emelném, akkor a minta gyors eróziója lenne megfigyelhető. Ne felejtsük el, hogy egy árvízvédelmi töltés esetén több méter szintkülönbség is előfordulhat a mentett oldal és a folyó vízszintje között abban az esetben a hasonló diszperzitású talaj 1-2 óra alatt átszakadhatnak. [14]



7.2.1. ábra Zavaros átfolyó víz a mérőhengerben.

7.2.2. Mésszel kevert minta (2,5%)

Akár csak az előző mintánál most is a mérés kezdetén volt a legintenzívebb a szemcse kimosódás ezt tükrözi az is, hogy az átlátszóság az első három mérés során mérsékelt volt. A vízhozam 0.333 ml/s körül ingadozott, a kísérlet kiírásának megfelelően a szintkülönbséget emelni kellett. 18 cm-en ismételve a kísérletet az átfolyt víz már átlátszónak mondható, 38 cm-ről már tisztának, 102 cm-en pedig már felülről is tiszta. A kicsi vízhozam és a csekély szemcse kimosódás eredményezte az ND1-es besorolást, a tűszűrés kísérlet értékelő lapja alapján. Az előzetes hézagtenyező vizsgálatokból, nem feltétlenül vártuk, hogy már 2,5% mésszel való kezelés hatására a minta diszperzitási foka ND1-re csökkenjen. Viszont a szakirodalomban maximum 3,0% tömegszázaléknyi mésszel kezelik a talajokat. [12] A gyakorlati alkalmazás nyilván a gazdaságossági szempontokat is hangsúlyosan figyelembe veszi. Nem ritka az 1,0% 2,0% tömegszázaléknyi mésszel történő átkeverés sem. A tűszűrés kísérlet alapján megállapíthatjuk, hogy 2,5% mésztartalom elégséges a Karcag I. jelű minta biztonságos stabilizálásához kis méretben. Egy folyó töltésénél elképzelhető, hogy nagyobb arányban kell meszet keverni a talajhoz, hogy a szükséges mésztartalmat mindenhol biztosítsuk.



7.2.2. ábra A hidraulikus gradiens emelése következtében, a víz jobban megbontja a mintát és kitágítja a lukat.



7.2.3. ábra 7.2.2 fotón látható minták
henger száma.

7.2.3 Mésszel kevert minta (4,0%)

A 2,5% mésszel kevert minta viselkedése alapján a 4,0% mésszel kevert minta tulajdonságait előre tudtuk jelezni. A vízhozam tovább csökkent. 5 cm magasság különbség esetén akár a fele is lehet (0.1667ml/s) az előző mintánál tapasztalthoz képest. Az átfolyó víz kezdetben mérsékelten átlátszó, rövid időn belül pedig teljesen kitisztul.

A 6,0% illetve 8,0% kevert mintákon nem végeztük el a tűszúrás kísérleteket mivel a mésztartalom növelésével csökken a talajok diszperzitása, így azok a minták is ND1-es besorolásba kerültek volna, hiszen annál már nem létezik kevésbé diszperzív kategória a tűszúrás kísérlet kiértékelésénél.



7.2.4. ábra A hidraulikus gradiens emelése következtében, a víz jobban megbontja a mintát és
kitágítja a lukat.

8. Vizsgálati program II. Fázis: Karcag II. mintacsoport

A Karcag II. névre hallgató mintacsoport kísérleteinek a megtervezését a Karcag I. mintacsoport eredményeinek függvényében végeztem el.

A Karcag II. minta csoportnál a mésszel való keverés finomhangolását szerettem volna elvégezni. Mennyi az a minimálisan szüksége mésztartalom, ami esetén a minta már nem diszperzív? Ennek megfelelően a mésztartalmat 0,0% és 2,5% között sűrítettem be. Nagy Gábor doktorandusszal megegyezve a mintákhoz 1,0%, 1,5%, 2,0% és 2,5% mésztartalommal kezeltem. A 0,5% mésztartalmat túlságosan kicsinek tartottuk ahhoz, hogy a talaj diszperzív tulajdonságait befolyásolja.

Akárcsak a Karcag I. jelű mintacsoport esetében, most is elkészíttettem a talajok mértékadó hézagtenyezőjét. Az előző mintacsoportnál bemutatott eljárást követtem most is. A kezeletlen minta kolloid frakciója most sem ülepedett le. A kezelt minták viszont nem mutattak szemmel látható eltérést. Ez betudható annak, hogy a félszázalék mésztartalom nagyon kicsi. A legprecízebb keverés mellett se tudjuk biztosítani a mész homogén elkeveredését így, előfordulhatott, hogy a hézagtenyezőhöz használt 5 g örölt talajba kicsit kevesebb vagy kicsit több mész került. Így a Karcag I-nél tapasztalt csökkenő (h) ülepedési magasság itt nem minden esetben érvényesül. A mértékadó hézagtenyező adatait így ennél a kísérlet sorozatnál nem közlöm.

8.1. Tűszúrás kísérletek elvégzése

A tűszúrás kísérleteket most is a Geohidro laboratóriumában végeztem.

8.1.1. Eredeti talaj vizsgálata

A minta most is akár csak az előző esetben diszperzívnek mutatkozott. A kísérlet menete és a kísérlet során észlelt vízhozamok, és az átfolyó víz átlátszósága az előző mintacsoport kezeletlen mintájához nagyon hasonló volt azzal az apró különbséggel, hogy a kimosódó nagyobb szemcsék folyamatosan jelen voltak.

8.1.2. Mésszel kevert minta (1,0%)

Mindegyik mintán két tűszúrás kísérletet kell elvégezni. Ez volt az egyetlen eset, amikor a két mérés eredménye lényegesen eltért. Az egyik esetben ND1-es a másik esetben ND4-es besorolást kaptunk. Ilyen esetben a kísérlet ismétlése szükséges, de ettől most az idő rövideje és a lehetőségeink miatt eltekintettünk. Az ND4-es besorolást tekintettük mértékadónak. Az ND1-es minta esetében az átfolyó víz átlátszósága mérsékelt volt akár csak az ND4-es minta esetében, a vízhozama viszont jóval kisebb. A vízhozam csökkenéshez vezethetett nagyobb szemcsék által történt elzárás vagy pedig az esetleges elkeverési egyenlőtlenségekből keletkező nagyobb méisztartalom.

8.1.3. Mésszel kevert minta (1,5%)

Ebben az esetben mindkét kísérletből ND3-as besorolást kaptunk. Megfigyelhető a méisztartalom növelése és a diszperzitási fok csökkenése között összefüggés.

8.1.4. Mésszel kevert minta (2,0%)

A 2,0% mésszel kevert minták esetében az átfolyó víz átlátszósága nagyon hamar átlátszóról tisztára váltott. A vízhozam is alacsony volt. Az egyik minta esetében a vízhozam nem feltétlenül indokolta volna a kísérlet folytatását, viszont az átfolyó víz tisztasága miatt a kísérlet folytatása mellett döntöttünk. A tűszúrás kísérlet értékelése megengedi, hogy egy bizonyos vízhozam intervallum esetén, a víztisztaság alapján döntsünk a kísérlet folytatása vagy abbahagyása mellett. Ez egy szubjektív értékelést is beépít a kísérletbe, amely nagyban támaszkodik a kísérletet végzők tapasztalatására. Mivel a másik minta is ND1-es besorolású lett így, helyes volt a döntésünk.

8.1.5. Mésszel kevert minta (2,5%)

A minta vízhozama nagy magasság különbség mellett is viszonylag alacsony volt. (0,333 ml/s) Az átfolyó víz átlátszósága a kísérlet megkezdésétől kezdve tiszta volt szemcséket pedig nem tartalmazott.

8.1.6. Kísérleti eredményeket összefoglalása

A kísérletek eredményeit összefoglalva megállapítható, hogy már 0,5% mésztartalom növekedés is észlelhető diszperzitási fok csökkenéshez vezethet. A szakirodalomban 0,5% és 3,0% közötti mésztartalom használatát javasolja. [12] Ez persze függ a talaj diszperzív tulajdonságaitól, eredeti mésztartalmától is. Az vizsgált D2-es diszperzitású minták esetében minimum 2,0% tömegszázalék mész volt szükséges ahhoz, hogy azokat stabilizálni lehessen. A mintákat kis méretben kevertem be, a töltések esetében az egyenletes elkeverés nem biztos, hogy hasonlóan megvalósítható. Bevett szokás, hogy a töltések érzékenyebb részeit, vízzáró maga alja, vízépitési műtárgyak melletti töltéseket az alkalmazott mésztartalomnál 0,5%-al többel keverik át. [13]

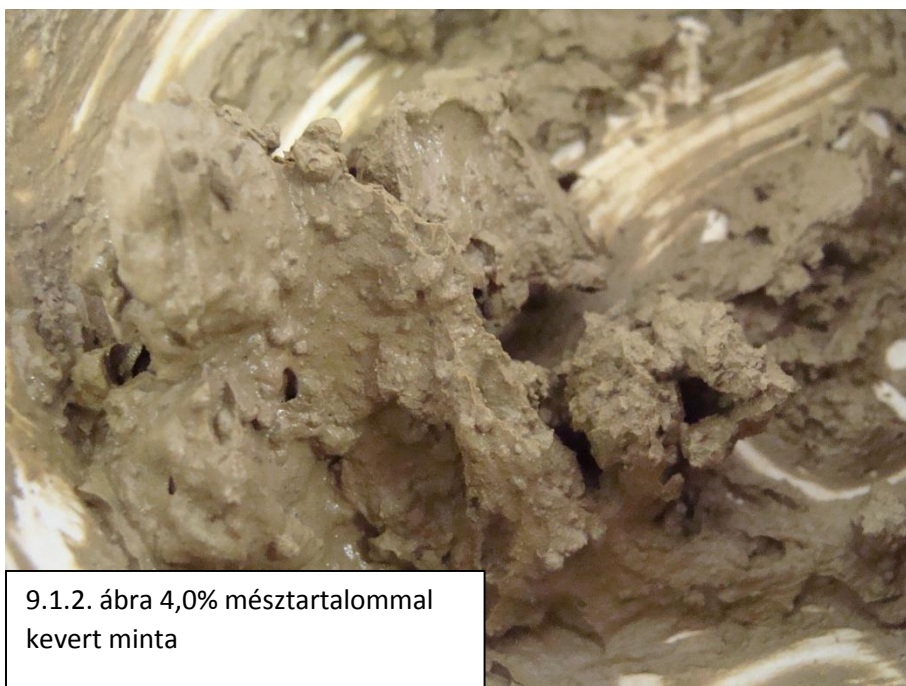
9. Diszperzív talajok plaszticitási indexe és annak változása mésszel történő keverés hatására

9.1. Karcag I. mintacsoport plaszticitási indexének változása

Miután a tűszúrás kísérlettel megállapítottam a Karcag I. nevű mintacsoport mintáinak diszperzitási fokát, a plaszticitási indexet is meghatároztam kísérletekkel. A plaszticitási index és a diszperzitási fok változása között kerestem az összefüggéseket. Előzetesen azt feltételeztük, hogy a mésszel történő kezelés hatására egy ideig növekszik, a plaszticitási index majd pedig elkezd, csökkenni, amíg a talaj kötött tulajdonsága meg nem szűnik.

Az eredményeket diagramon ábrázoltam. (9.1. ábra)

Jól látszik, hogy a sodrási határ víztartalma (W_p) folyamatosan nő. A mész a talajszemcsék felületén megtapad azok összetapadását megakadályozza, így egyre több víz szükséges a talajszemcsék közötti kohézió kialakulásához. 6,0% és 8,0% mésztartalom esetén a talajszemcsékre nagy mennyiségben rakódik ki a mész, ezért a között talajokra jellemző viselkedésüket kezdték elveszíteni. Egyre vastagabb hengerek szakadtak szét sodrás következtében, nem lehetett a kialakult rögméret alá menni a sodorhatóságban. Ezek a morzsák annak ellenére alakultak ki, hogy az előzetesen proctor készülékkel tömörített talajt 2 mm átmérőjű reszelőn lereszeltem. A rögzösödési folyamattal magyarázható a sodrási határ víztartalmának növekedése. Ez a növekedés feltehetően addig folytatódik, amíg a talaj a mésszel való keverés hatására nem veszti el kötött tulajdonságait és nem kezd szemcsésen viselkedni.



9.1.2. ábra 4,0% mésztartalommal kevert minta

A folyási határt Casagrande-csészével vizsgáltam. A folyási határ maximuma 2,5% mésztartalomnál van. A mésszel való kezelés hatására minta több vizet tud felvenni. 2,5% után viszont a folyás

határ víztartalma elkezdi csökkenni. A minta itt már a szemcsés talajokra jellemző tulajdonságokat is mutat.

A képen jól látszik a talaj rögzödése. Az árkoló késsel készített vágatba az ütégetés hatására a talajrögök sokkal könnyebben belecsúsznak mivel a minta már nem homogén.

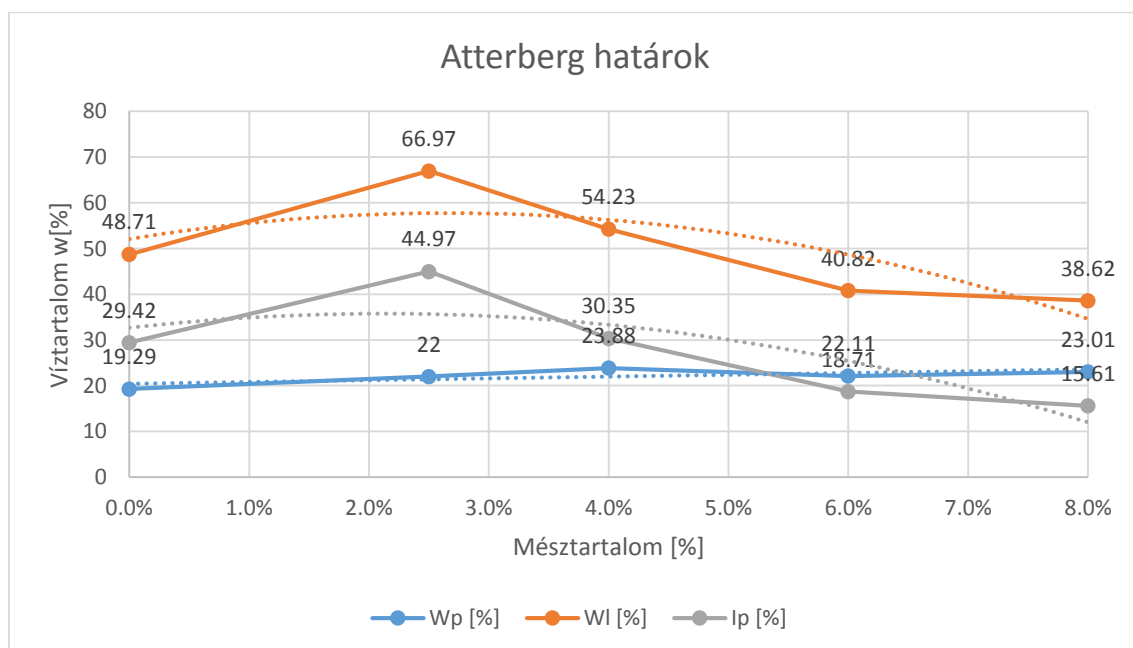


9.3. ábra 6,0%-os minta a Casagrande-csészében



9.4. ábra 8,0%-os minta a keverő tálban

Mivel a minta elkezdi szemcsésedni, ezért nem a Casagrande-csésze teljes felületével érintkezik, hanem csak a szemcséken. Következésképpen kevesebb víz elég, hogy a minta két oldala összecússzon, a súrlódó felületek kisebbek.



9.1. ábra Atterberg határok alakulása a Karcag I. jelű mintacsopornál

9.2. Karcag II. mintacsoport plaszticitási indexének változása

A Karcag II. jelű mintáról túsúrással kísérlettel megállapítottam, hogy diszperzív. D2-es diszperzitási osztályba sorolható. Ezek után stabilizálás céljából oltott mésszel kevertem. A Karcag I. jelű mintacsoportéhoz képest, sokkal finomabb mésztartalom növekedést alkalmaztam; 1,0%; 1,5%; 2,0%; 2,5%-os mésztartalmú talajokat állítottam elő. Az így összekevert talajok diszperzitási foka a méasztartalom növelésével csökken.

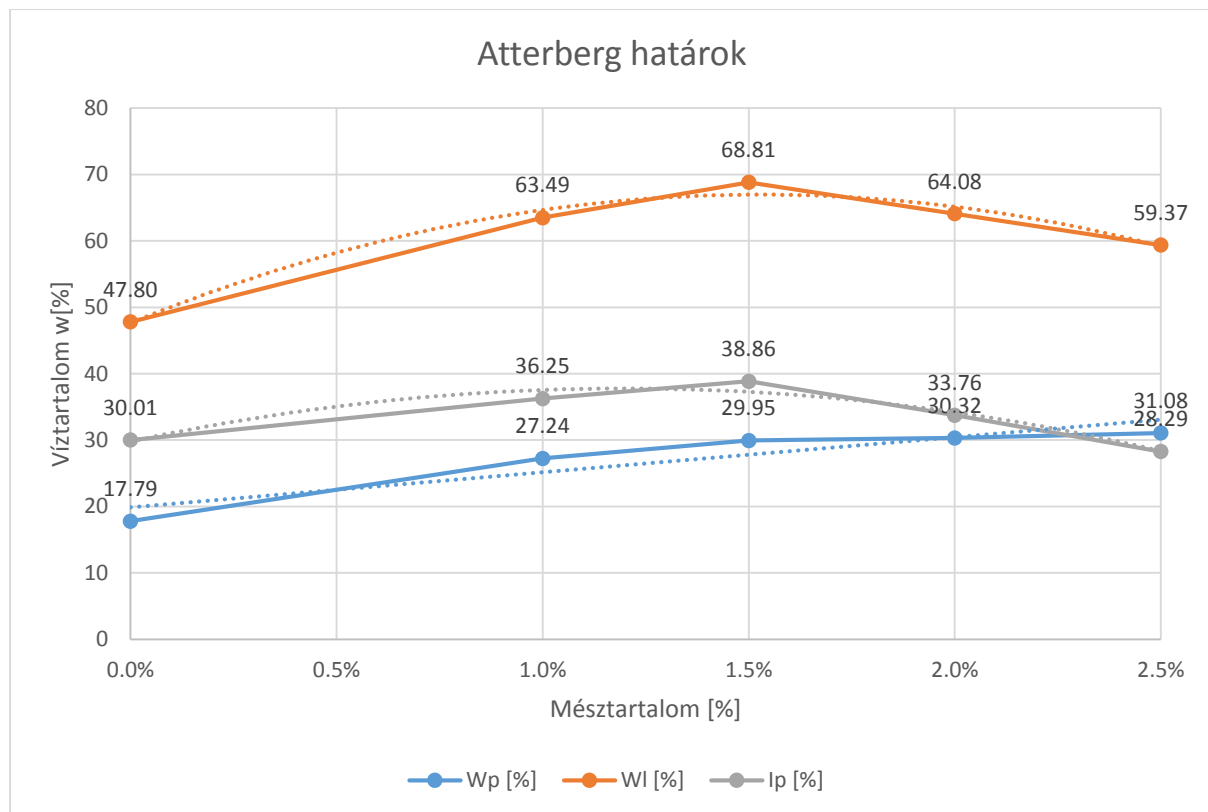
Az összes mintának előállítottam a sodrási határát (W_p) folyási határát (W_l) és ebből kiszámoltam a plaszticitási indexet. ($I_p = W_l - W_p$)

Minta neve	mésztart. [%]	W_p [%]	W_l [%]	I_p [%]
Kar. II	0,0%	17.79	47.80	30.01
Kar. II	1,0%	27.24	63.49	36.25
Kar. II	1,5%	29.95	68.81	38.86
Kar. II	2,0%	30.32	64.08	33.76
Kar. II	2,5%	31.08	59.37	28.29

9.2.1. táblázat Karcag II. jelű mintacsoport Atterberg határainak alakulása

A sodrási határ eléréséhez szükséges víztartalom a méasztartalom növelésével szigorúan nő.

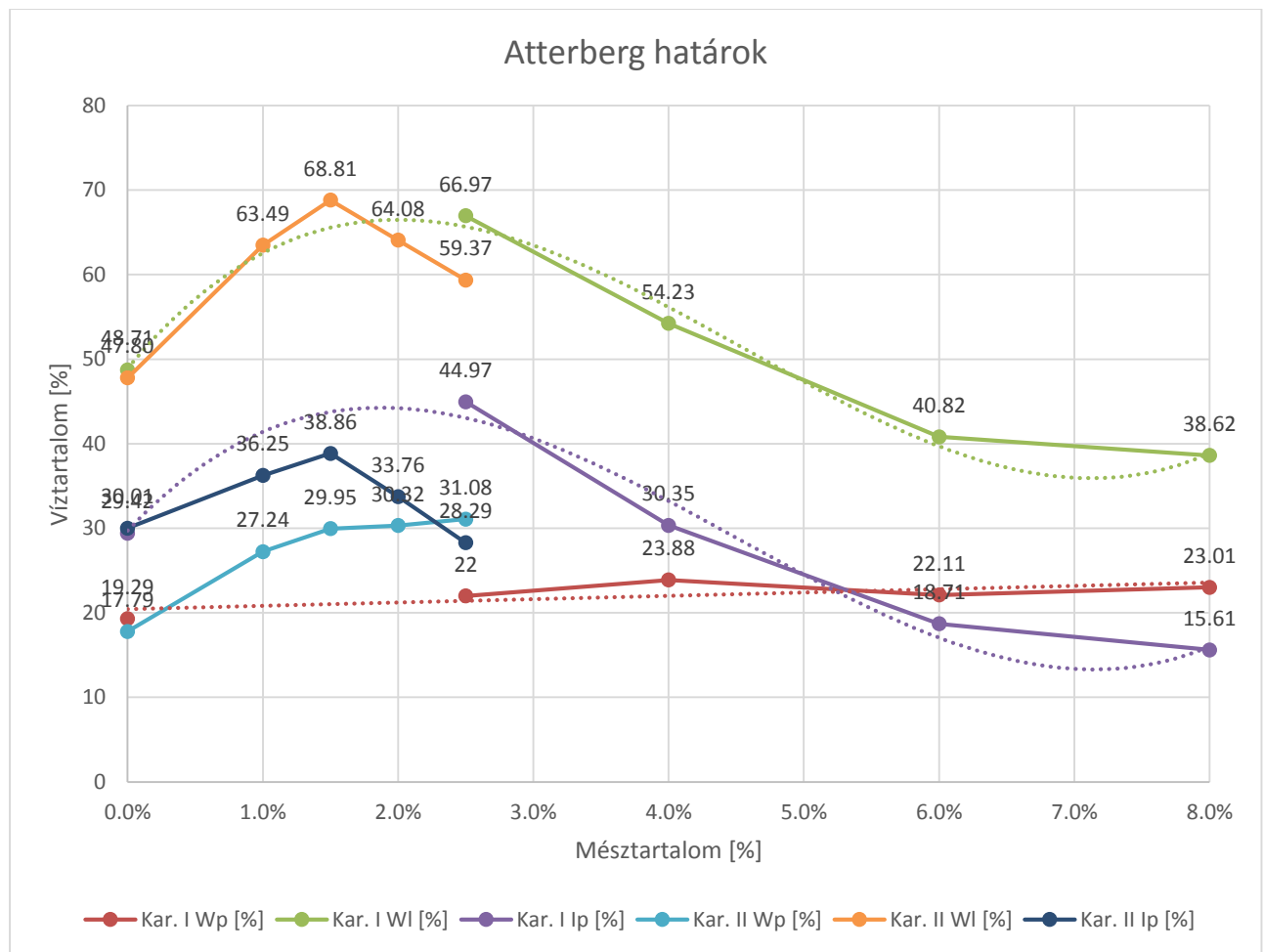
A minta előkészítésénél a kiszáradt agyagrögöket kalapáccsal nagyjából összetörtem, majd pedig mozsárral finomra morzsoltam. 4-mm-es lyukbőségű szitán átszitáltam. 15%-os nedvességtartalom mellett kevertem hozzá a megfelelő tömegű oltott meszet. Az oltott meszet keverőkanállal kevertem el. A kis földmorzsák felületén legnagyobb igyekezetem ellenére is megragadt a mész, így magyarázható az, hogy a sodrási határ szigorúan nő. A talajmorzsák felületét bevonó mész megakadályozta, hogy azok rendesen összetapadjanak. Minél több meszet kevertem a talajmintához annál jobban kellett nedvesíteni ahhoz, hogy még sodorható maradjon.



9.2.2. ábra Atterberg határok alakulása a Karcag II. jelű mintacsoportnál

9.3. A két mintacsoport eredményeinek összegzése

A Karcag II. jelű mintacsoportnál úgy határoztuk meg a mésztartalmakat, hogy 0,0% és 2,5% között helyezkedjenek el így a Karcag I jelű mintacsoportnál hiányzó intervallumhoz tudunk adatokat nyerni. Ha megrajzoljuk a görbéket, akkor azok nem találkoznak, nem szabad elfelejtenünk, hogy két különböző mintacsoportunk van. Az adatok sűrítésével a görbék jellegét szeretnénk volna meghatározni. A Karcag II. jelű minta plaszticitási indexe 1,5% mésztartalomig nő és utána csökkenni kezd ez a csökkenő tendencia jellemzi a Karcag I. jelű mintacsoport elemeit is. A Karcag I. jelű mintacsoport hiányzó mésztartalomhoz tartozó értékeit látható tendencia alapján becsültük. A görbe precíz megrajzolásához a megfelelő mésztartalmakra be kellett volna keverni a mintákat és a plaszticitási indexeket meghatározni. Mivel ez lényegesen nem befolyásolja, esetleg a plaszticitási index maximumához tartozó mésztartalomban lehetne eltérés, az eredményeket ezért ezeket a kísérleteket nem végeztem el.



9.31. ábra Atterberg határok ábrázolása a Karcag I. és a Karcag II. jelű mintacsoportnál

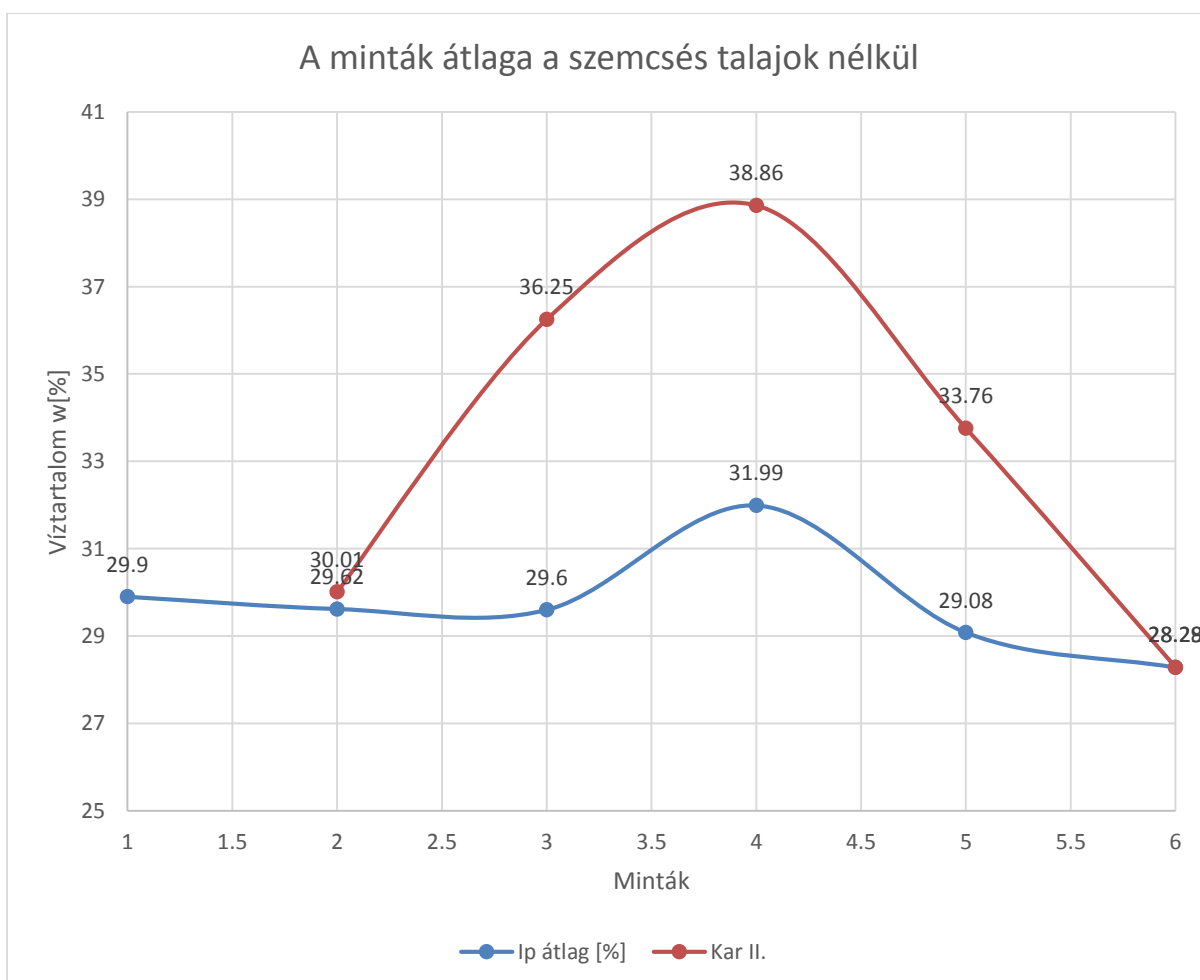
9.4. A mérések és a statisztikai adatok összevetése

Bár az Atterberg határok és diszperzitási fok között nincs összefüggés, mégis amellett döntöttem, hogy a Karcag II. jelű mintacsoport adatait összevetsem a rendelkezésemre álló statisztikai adatokkal. A Karcag II jelű minta meszezésével szinte az összes diszperzitási fokot elő tudtam állítani. A D1-es diszperzitási fok nem volt lehetséges, illetve az ND2-es is hiányzik. A Karcag II. jelű minta diszperzitási fok változását az 9.4.1. táblázat mutatja.

Illés Zsombor BME Építőmérnök	Minta neve	Mész tartalom [%]	Diszperzitási fok
	Karcag II.	0,0%	D2
	Karcag II.	1,0%	ND4
	Karcag II.	1,5%	ND3
	Karcag II.	2,0%	ND1
	Karcag II.	2,5%	ND1

9.4.1. táblázat A mésztartalom és a diszperzitási fok változása

Az egyes diszperzitási fokokhoz tartozó plaszticitási indexek átlagértékét kiszámoltam és ezeket hasonlítottam össze a Karcag II. jelű mintacsoport plaszticitási indexeinek értékével. A kezdeti és a végértékek körülbelüli egyezésén kívül a két görbe nem közelíti egymást.



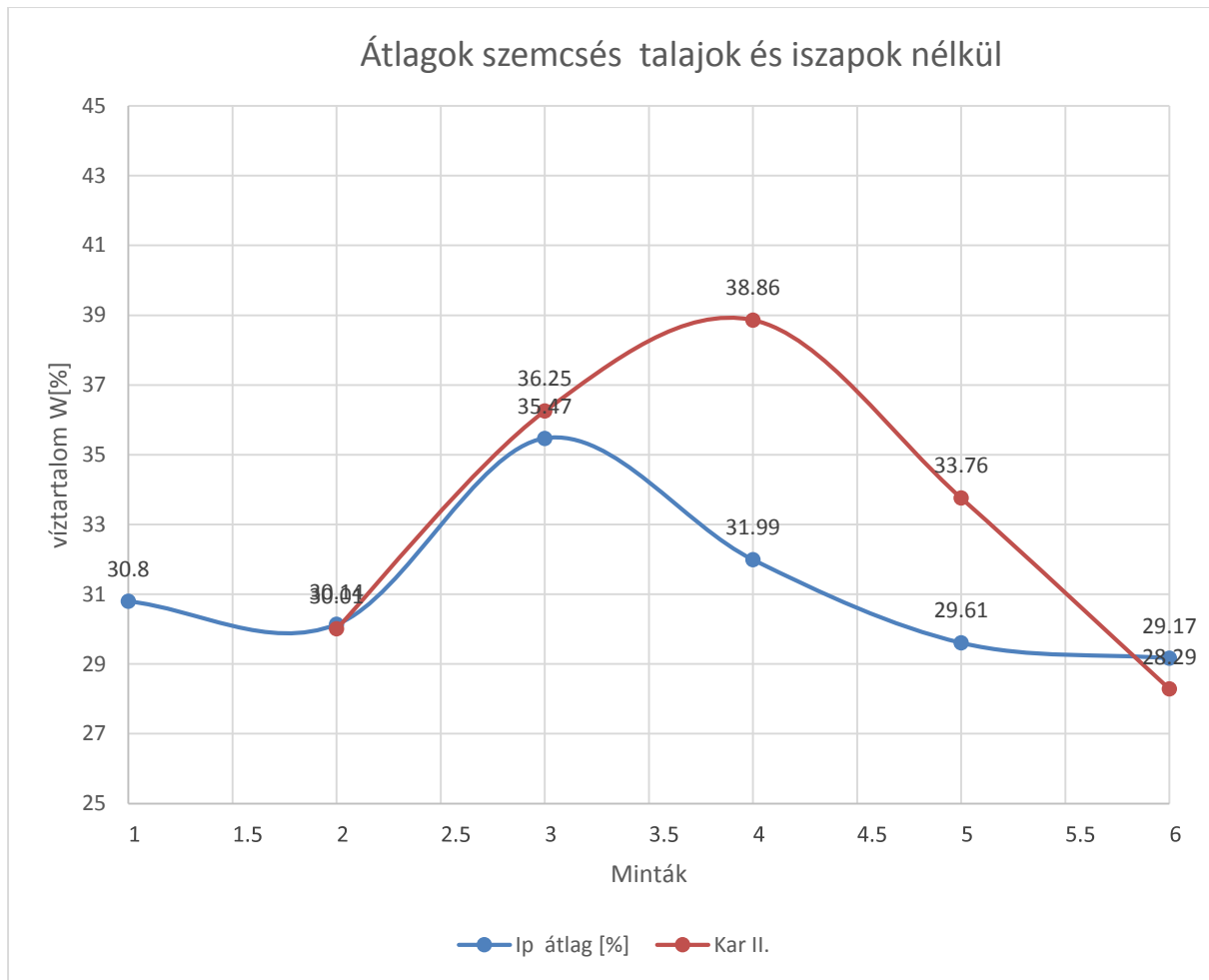
9.4.2. ábra Statisztikai átlag és a Karcag II mintacsoport plaszticitási indexei

A Karcag II. nevű minta egy kövér agyag volt a mésszel történő keverés előtt. Így célszerűnek láttam a statisztikai adatokból az iszapok plaszticitási indexét kihagyni, hogy azok az átlagot ne húzzák lejjebb. Ezzel az apróbb változtatással a két görbe sokkal jobban közelíti egymást.

Alapvetően már csak két pontban tér el lényegesen a két görbe. Az 5-ös abciszájú pontban az összehasonlítás eleve kétséges, mivel a kezelt minta ND1-es besorolású, míg az átlagok az ND2-es minták átlagát tartalmazzák. Ettől eltekintve az Karcag II. jelű mintacsoport a statisztikai adatok plaszticitási indexeinek „útját járta be”.

Diszperzitási fok	Ip átlagok [%] Statisztikai adatok alapján	Karcag II. Plaszticitási indexe	Minták Darabszáma
D1	30,80	-	63
D2	30,14	30,01	34
ND4	35,47	36,25	5
ND3	31,99	38,86	44
ND2	29,61	33,76	96
ND1	29,17	28,29	34
		Összes minta:	276

9.4.3. táblázat Karcag II mintacsoport és a statisztikai átlagok táblázatos összehasonlítása



9.4.4. ábra Statisztikai átlagok (iszapok nélkül) és a Karcag II mintacsoport plaszticitási indexei

10. Ellenállásmérés

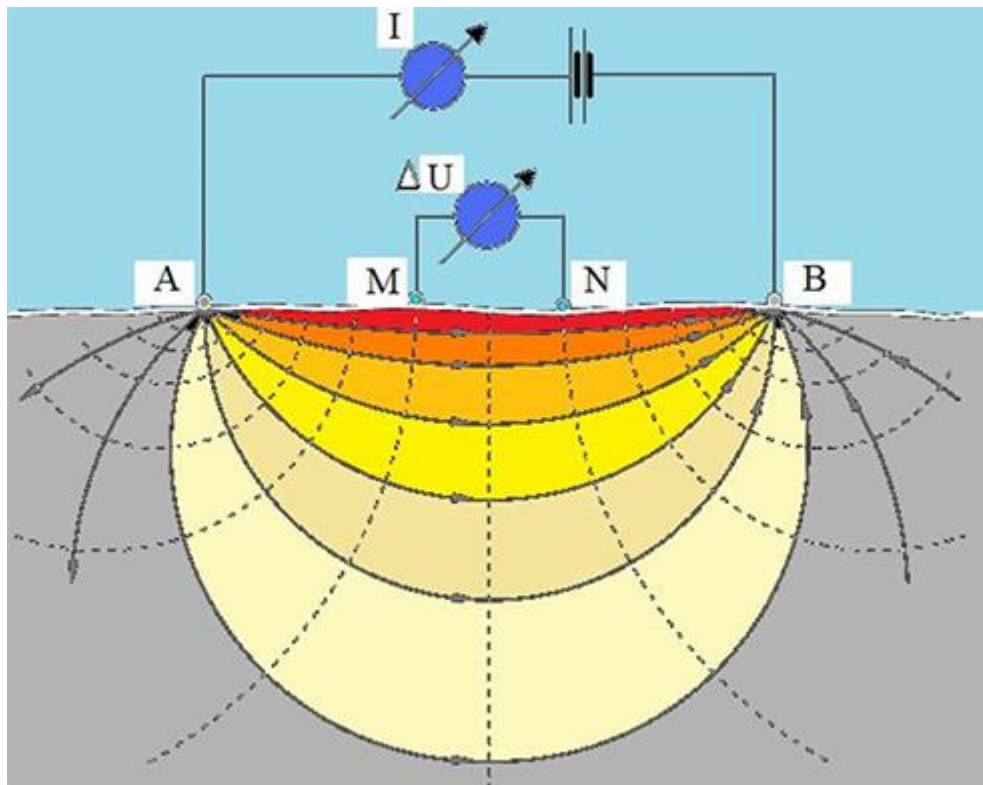
A Diszperzív talajok ellenállásmérés segítségével feltételezésünk szerint, jól azonosíthatók. A diszperzív talajok, kötött agyag talajok, melyek pórusvize oldott kationokat tartalmaz, ennek köszönhetően alacsony az ellenállásuk. Ezzel szemben a homok vagy a lösz ellenállása 80-100 Ω között alakul. Szemcséik alkotója a kvarc, amely szigetelő, pórusvizet nem tartalmaznak, ellenállásuk nagyban függ a hozzáadott víz ásványi anyag tartalmától.

Mivel a diszperzív talajok vélhetően geofizikai mérésekkel jól azonosíthatóak, ezért a két mintacsoportomat, Karcag I.-et és a Karcag II.-et vertikális elektromos szondázás mintájára kísérleteknek vettem alá. A célom az volt, hogy a két diszperzív minta elektromos ellenállását meghatározzam, majd megfigyeljem azt, hogy a mésszel történő keverés hatására, hogyan változik.

A vertikális elektromos szondázást gátak hossz szelvényeinek felderítésére szokták alkalmazni ennek mintájára használtam laboratóriumi elektromos szondázást.

10.1. Vertikális elektromos szondázás (VESZ)

A vertikális elektromos szondázás (továbbiakban VESZ) egy olyan egyenáramú geoelektromos mérési módszer, mely során a földfelszínről, a mérési pont mélységbeli tengelyére vonatkoztatva, a vizsgált közeg geoelektromos tulajdonságai alapján (fajlagos ellenállás, indukált potenciál, spontán potenciál) egymásra épült rétegeket tudunk elkülöníteni. Ezen tulajdonságok alapján következtetéseket vonhatunk le a vizsgált talaj-, ill. közetrétegek anyagi minőségére, mivel a különböző kőzetek, talajrétegek porozitásuk, nedvességtartamuk, ásványi és kémiai összetételük alapján eltérő elektromos tulajdonságokkal bírnak.



10.1. ábra A vertikális elektromos szondázás működési elve. [16]

A VESZ során tápelektrodák (A, B) segítségével egyenáramot juttatunk a talajba. Az így keletkezett potenciálkülönbséget mérőelektrodák (M, N) észlelik. A mérésekhez során az elektrodák távolságának változtatásával kapunk információt az egymás alatt fekvő rétegekről.

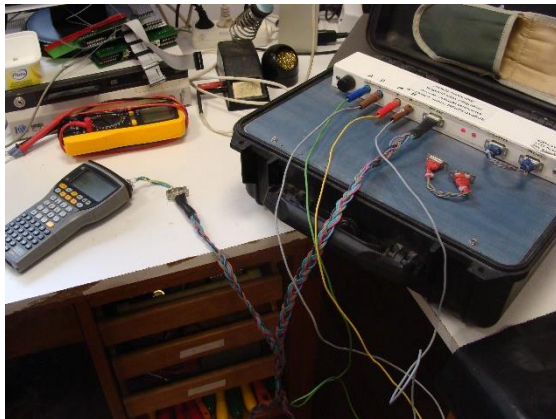
A táp és mérőelektrodák helyének, távolságának meghatározása alapján különböző elektróda elrendezéseket használatosak a mérés céljának megfelelően. Leggyakrabban azonban a Schlumberger-elrendezést alkalmazzuk. Az elrendezés alapján az A és B tápelektrodák távolságát szimmetrikusan növeljük, ezáltal nyerünk adatokat az egyre mélyebben elhelyezkedő közegekről. A mérés lehatolási mélysége akár több kilométer is lehet a tápelektrodák terpesztésével.

Az kapott mérési eredmények a VESZ esetében pontszerűek (egyedi görbék), de több mérés elvégzésével az altalaj geoelektromos tulajdonságai alapján tömbszelvényeket lehet szerkeszteni, amelyeket tetszés szerint horizontális és vertikális szelvényekre lehet felosztani geoinformatikai szoftverek segítségével, ezáltal is nagyobb teret biztosítva a kapott eredmények értelmezésének. [16]

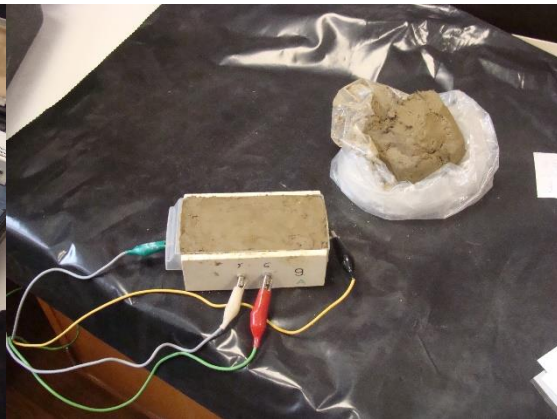
10.2. Műszerek

Az ellenállásméréseket a KGFI Triász nevű vállalatnál végeztem, ők rendelkeztek a horizontális ellenállásméréshez szükséges eszközökkel. A mintákat dobozokba töltöttük melyekre elektródák voltak szerelve, ahol az áramot tudtuk bevezetni illetve az ellenállást mérni. 4 különböző pozícióban 4-4 db értéket mértünk.

A dobozok a KGFI Triász sajátgyártmányú termékei voltak. A Dobozok ellenállásához tartozó k tényezőket NaCl oldattal mérték meg. A k tényező egy korrekciós tényező amely a doboz méreteitől, anyagától függő tényező, amivel a mérési eredményeket korrigálták.



10.2.1. ábra Ohmméter



10.2.2. ábra Karcag II. jelű 0,0% mésztartalmú
(eredeti) minta

10.3. Minták előkészítése

Először a Karcag II. jelű mintacsoporton végeztem el az ellenállásméréseket. A mintákat egységesen 23% víztartalomra állítottam be. A mintákat nem desztillált vízzel kevertem be, mivel azok előzetesen már átestek egy tűszúrás kísérleten, aminek a víztartalom beállításához csapvizet használtam. Mivel az modellezi legjobban a folyó vizet. Így az ellenállás mérések eredménye erősen függött a használt csapvíz oldott ásványi anyag tartalmától.

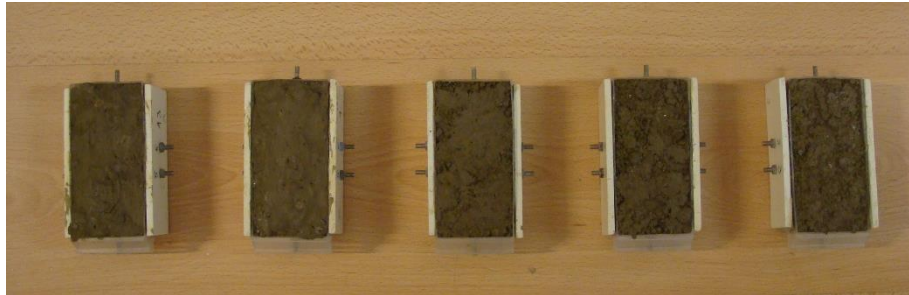
10.4. Várt eredmények

Az ellenállásmérések eredményei eleve kérdésesek voltak. A 0,5% mésztartalmat nagyon kicsinek véltük, ahhoz hogy az ellenállásmérésnél számottevő különbséget jelentsen.

Azt feltételeztük, hogy a diszperzív talajok ellenállása kicsi, amely nagyrészt a pórusvízben oldott ásványoknak köszönhető. A nem diszperzív talajok ellenállása viszont nagyobb. A meszezés hatására nő a minta oldott kation (Ca^{2+}) tartalma, ami a jobb vezető képességet segíti elő. Egyszerre két tendenciának kellene így érvényesülnie, a csökkenő diszperzításhoz

növekvő ellenállás tartozik, míg a növekvő oldott kation tartalomhoz csökkenő ellenállás tartozik. Így a kísérletek megkezdése előtt nem tudtuk pontosan, hogy mit várjunk. Melyik, hatás lesz az erősebb és hogyan fog a minta ellenállása változni.

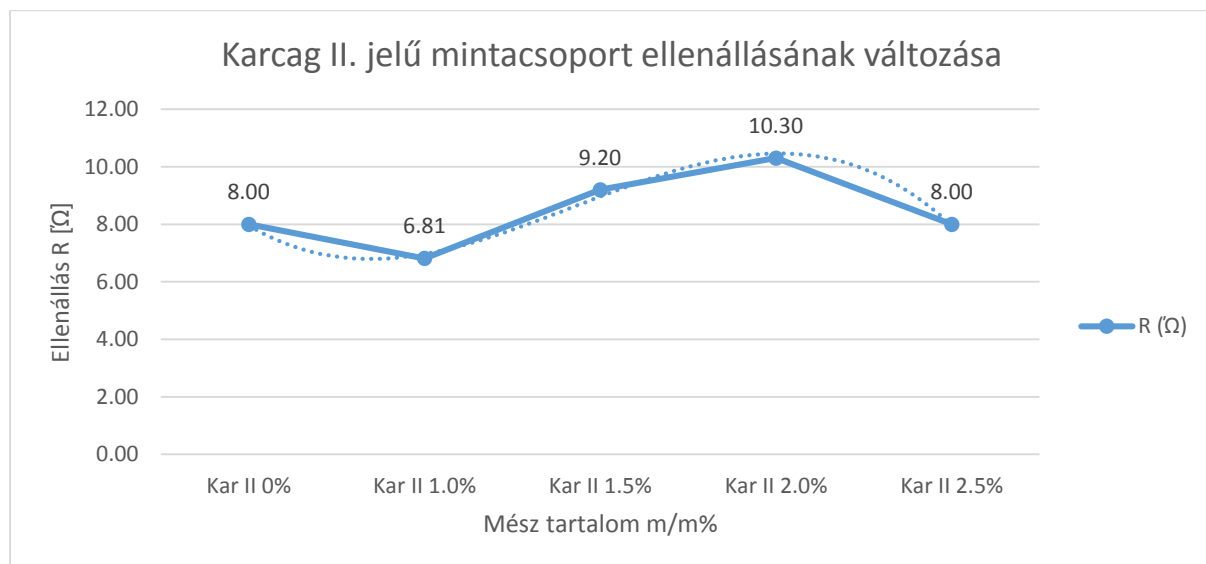
10.5. Karcag II. jelű mintacsoport eredményei



10.5.1. ábra Balról jobbra a minták növekvő mésztartalommal (0,0%; 1,0%; 1,5%; 2,0%; 2,5%)

A mintákon jól látszik a TDK dolgozatomban már korábban említett mészh hatására bekövetkező rögzösödés. Kérdéses, hogy a rögzösödési jelenség mennyire befolyásolja a minták tömöríthetőségét és a mért ellenállások értékét.

A kísérletek eredményei nem adtak egyértelmű választ arra, hogy hogyan változik az ellenállás. Egy kezdeti csökkenés után emelkedés figyelhető meg. 2,0% mésztartalomnál van a görbe maximuma, amihez 10,3 Ω tartozik. Ezután az ellenállási görbe csökkenése figyelhető meg.



10.5.2. ábra Karcag II. jelű mintacsoport ellenállásmérésének alakulása

Ahhoz, hogy a folyamatokat jobban megértsük a Karcag I. jelű mintacsoporton is mindenképpen elvégezzük az ellenállásméréseket.

10.6. Karcag I. jelű mintacsoport eredményei

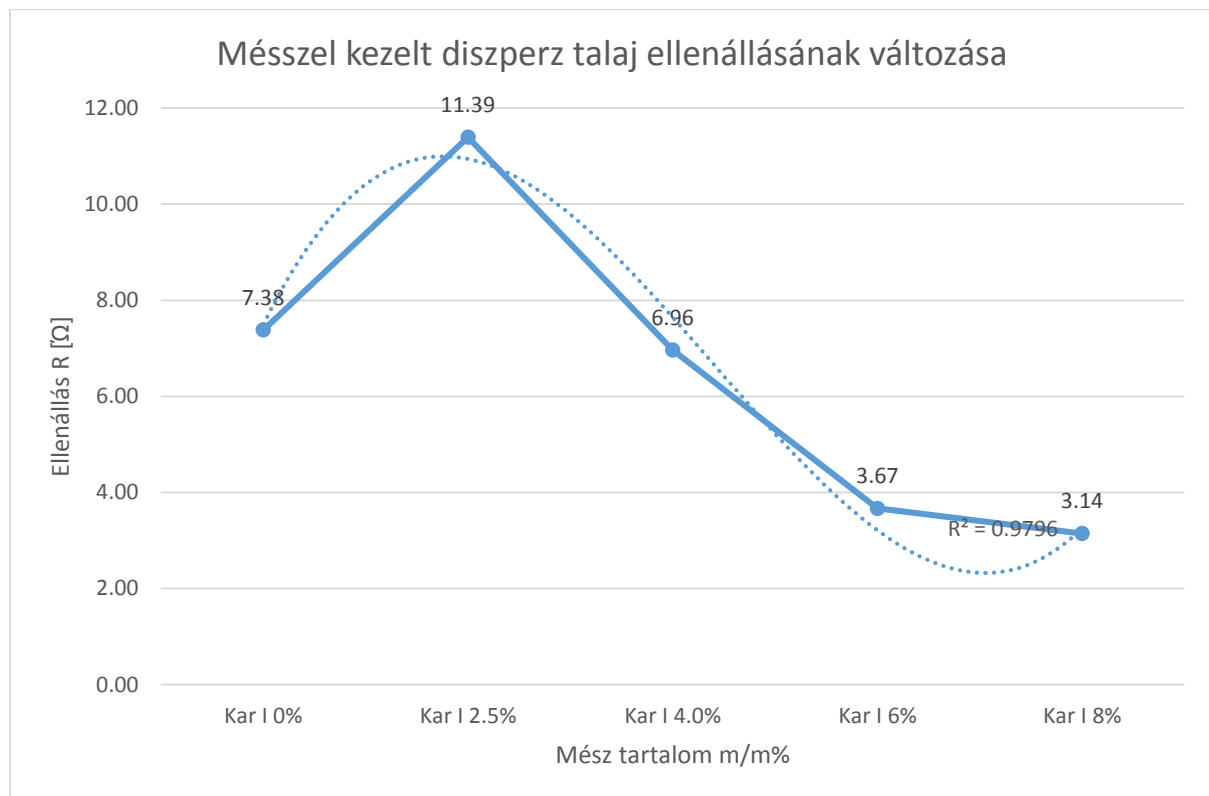


10.6.1. ábra Balról jobbra a minták növekvő mésztartalommal (0,0%; 2,5%; 4,0%;)

Jól megfigyelhető itt is a rögzösödési jelenség. Sőt a 4,0%-os mintára azt mondanám, hogy morzsásodik is. A minták felületén megfigyelhető a fehér mész is. (a 2,5%-os mintánál a doboz felső részén a 4,0%-os minta alsó részén)

Az eredmények hasonlóak a Karcag II. jelű mintacsoport eredményeihez, mégis sokkal jobban nyomon követhetőek rajtuk a folyamatok. Az ellenállás mérési görbe maximuma 2,5% mésztartalomnál van, amihez $11,39\Omega$ tartozik. A görbe utána szigorúan monoton csökken a mérési tartományunkon.

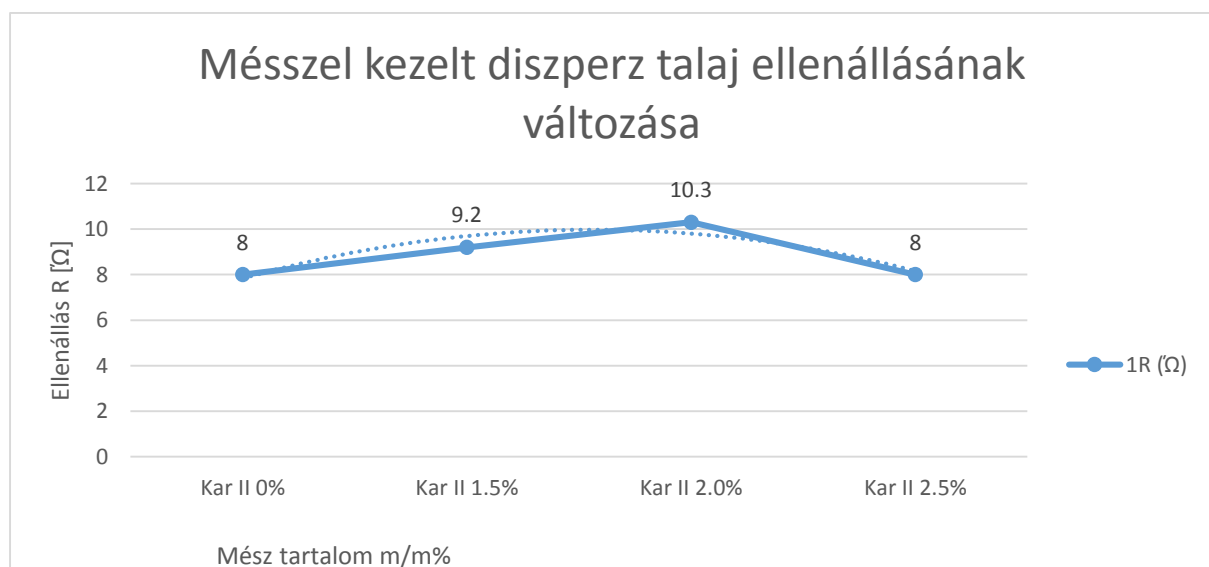
Ez egybevág a Karcag II. jelű mintacsoport eredményeivel. Egy bizonyos mésztartalomig nő az ellenállás majd elkezd, csökkeni.



10.6.2. ábra Karcag I. jelű mintacsoport ellenállásmérésének alakulása

(a szaggatott vonal az excel által alkalmazott közelítés)

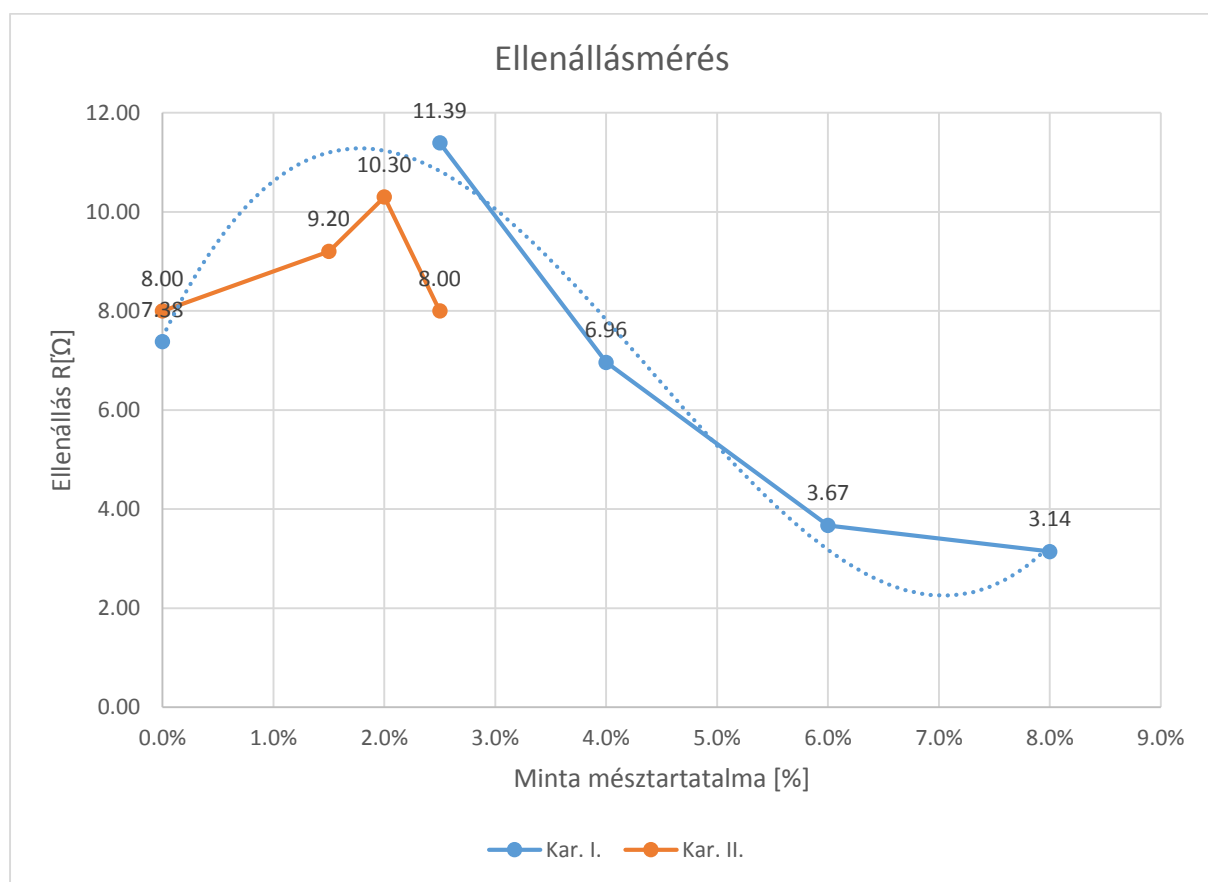
A Karcag I. jelű mintacsoport eredményeinek függvényében, ha újra gondoljuk a Karcag II. mintacsoport eredményeit, akkor feltételezhetjük, hogy az 1,0%-os mésztartalomhoz tartozó mérés eredménye hibás lehet. Ezt a hozzá adott víz, a mész elkeverése vagy akár a minta tömörítése is befolyásolhatja. Amennyiben ezt a mérést elhagyjuk, hasonló tendencia figyelhető meg mint a Karcag I. jelű mintacsoportnál. Egy bizonyos optimum mésztartalomig nő a minta ellenállása majd pedig csökkenni kezd.



10.6.3. ábra A Karcag II. jelű mintacsoport módosított eredményei

10.7. Az eredmények összegzése

A diszperzív talajok ellenállásának változását mértük mésszel történő keverés hatására. Megfigyelhető, hogy az ellenállás egy optimum értékig növekszik, majd pedig szigorúan monoton csökken a mérési tartományon. A növekvő ellenállási tartományra az a hatás érvényesül, amikor a talaj diszperzitása csökken ezzel párhuzamosan az ellenállás növekszik. A maximum érték után a talajba jutott kationok mennyiségének növekedésével fordítottan arányosan csökken a talaj ellenállásának értéke, a talaj vezető tulajdonsága nő.



10.7.1. ábra a két mintacsoport eredményeinek együttes ábrázolása (Kar. I mintacsoport változtatott eredményeit ábrázoltam)
(a szaggatott vonal az excel által alkalmazott közelítés)

10.8. További kutatási lehetőségek

Az ellenállások mért értékeiből görbét tudunk felrajzolni, a görbéhez minden esetben (Kar. I. Kar. II.) tartozik egy maximum hely. A Karcag II. jelű mintacsoport esetében ez a 2,0%-os mésztartalomhoz tartozik, míg a Karcag I. jelű mintacsoportnál vagy a 2,0% vagy a 2,5%-os mésztartalomhoz tartozik, ezt további kísérletekkel lehetne meghatározni. A felmerülő kérdés az az, hogy az ellenállási görbék maximum pontjai kijelölik-e azokat a mésztartalom értékeket, amelyek minimálisan szükségesek ahhoz, hogy a talaj a meszes stabilizálás hatására nem diszperzív, azaz ND1-es besorolásba kerüljön. A kísérletek során természetesen optimális feltételeket tételezünk fel. A mésszel való keverés, homogénen elvégezhető, a minták ellenállásmérő dobozokba való tömörítése hézagmentes.

11. Összefoglalás

TDK dolgozatomban számos hazai és nemzetközi diszperzív talajokhoz köthető cikket és szakirodalmat feldolgozva statisztikai elemzést végeztem, valamint laboratóriumi vizsgálatokat a feldolgozás során kapott tapasztalatok további vizsgálata céljából. A méréseim és az irodalmi adatok tükrében a következő megállapításokat tettem:

- Az adatok statisztikai elemzéséből kitűnik, hogy az ND1 és ND2 diszperzitás fokú talajok alapvetően vízálló besorolásúak a mértékadó hézagtenyező alapján, míg a D1 és D2 (erősen diszperzív) talajok fellazuló és szétfolyó tulajdonsággal rendelkeznek. Amennyiben a mértékadó hézagtenyező 3,5 fölött alakul a talaj diszperzitására lehet gyanakodni. Átmeneti vagy akár diszperzív kategóriába is eshet.
- A nagy mennyiségű adat és a kiterjedt szakirodalom felhasználásával sem sikerült különösebb összefüggést felfedezni a talaj színe és diszperzitása között, úgy véljük ezért, hogy nem is áll fenn kapcsolat a szín és a diszperzitás foka között.
- Az adatok statisztikai elemzése és a szakirodalom felhasználásával a plaszticitási index és a diszperzitási fok között kerestem az összefüggéseket. Közvetlen összefüggést sajnos nekem sem sikerült találni, mindamellett megjegyzendő, hogy az iszap talajokra nem jellemző a diszperzitás, tehát a nemzetközileg használt 'dispersive clay' kifejezés helyénvalónak tűnik.
- Tűszúrás kísérletek elvégzésével igazoltuk, hogy a mésszel való kezelés hatására csökken a talajok diszperzitása. Az általunk kezelt minták esetében 2,0%-2,5% mészelésges volt a minták stabilizálásához, mely a szakirodalomban található értékkel összevág.
- A különböző diszperzitás fokú stabilizált minták plaszticitási indexe korrelációt mutat a megegyező diszperzitás fokú minták plaszticitási indexének átlagával.
- A mintákat ellenállásmérésnek vetettük alá. Az ellenállásmérések értékeit ábrázoltam, majd görbét illesztettem rá. A görbék maximuma a stabilizáláshoz minimálisan szükséges mésztartalom körül alakult.

A TDK dolgozatom eredményei sok esetben megegyeznek a szakirodalom alapján várt eredményekkel. Bizonyos esetekben újabb kérdéseket vetnek fel melyek megválaszolásával a diszperzív talajok viselkedését jobban megérthetjük.

Irodalomjegyzék:

- [1] (Rosewell, C. J., **Identification of Susceptible Soils and Control of Tunneling Failure in Small Earth Dams**, Dispersive Clays, Related Piping, and Erosion in Geotechnical Projects, ASTM STP, J. L. Sherard and R. S. Decker, Eds., American Society for Testing and Materials, 1977, pp. 362-369.)
- [2] (Decker, R. S. and Dunningan, L. P., **Development and Use of the Soil Conservation Service Test**, Dispersive Clays, Related Piping, and Erosion in Geotechnical Projects, ASTM STP, J. L. Sherard and R. S. Decker, Eds., American Society for Testing and Materials, 1977, pp. 94-109.)
- [3] (Perry, E. B. and Postol, G. L., **Dispersion Characteristics of Clay from Mushroom Cave, Lake Meramec Park Lake Project, Meramec River Missouri**, Dispersive Clays, Related Piping, and Erosion in Geotechnical Projects, ASTM STP, J. L. Sherard and R. S. Decker, Eds., American Society for Testing and Materials, 1977, pp. 313-329.)
- [4] (Cole, B. A., Rantansen, Chalaw, Maiklad, Pramote, Liggins, T. B., and Chirapuntu, Suphon, **Dispersive Clay in Irrigation Dams in Thailand**, Dispersive Clays, Related Piping, and Erosion in Geotechnical Projects, ASTM STP, J. L. Sherard and R. S. Decker, Eds., American Society for Testing and Materials, 1977, pp. 25-41.)
- [5] (Coumoulos, D. G., **Experience with Studies of Clay Erodibility in Greece**, Dispersive Clays, Related Piping, and Erosion in Geotechnical Projects, ASTM STP, J. L. Sherard and R. S. Decker, Eds., American Society for Testing and Materials, 1977, pp. 42-57.)
- [6] (Dispersive Soils in Embankment Dams, ICOLD 1990 Bulletin 77)
- [7] (Grant, Keith, Ingles, O. G., Lawrence, I. A., and Sommerville, P. J., **Protecting a Dispersive Soil Storage by Water treatment**, Dispersive Clays, Related Piping, and Erosion in Geotechnical Projects, ASTM STP, J. L. Sherard and R. S. Decker, Eds., American Society for Testing and Materials, 1977, pp. 191-201.)
- [8] (Franq, Joel and Post, Georges, **Laboratory Testing on High-sodium Nondispersive Clays as Related to the Repair of a Clay Dam in Algeria**, Dispersive Clays, Related Piping, and Erosion in Geotechnical Projects, ASTM STP, J. L. Sherard and R. S. Decker, Eds., American Society for Testing and Materials, 1977, pp. 156-171.)

[9] Országos Vízügyi Hivatal: *Árvízvédelmi gátak építése és fenntartása* (1987)
ISBN:963602377-8 Budapest

[10] Sherard, J.L., Decker, R.S., Ryker, N.L.: *Piping in earth dams of dispersive clays*, in *Proc. ASCE Speciality Conference on the Performance of Earth Structures*, pp.589-626. 1972.

[11] Nagy Gábor, Dr. Nagy László

Diszperzív talajok azonosítása árvízvédelmi gátak felszínén megfigyelt károsodások alapján

In: Tompai Z, Mahler A, Takács A, Varga G (szerk.)

Geotechnika 2014 Konferencia. Konferencia helye, ideje: Ráckeve, Magyarország,

2014.10.13-2014.10.15. Budapest: Konferencia Iroda Bt., 2014. Paper Paper 13. 11 p.

[12] (Forsythe, Peter, "**Experiences in identification and Treatment of Dispersive Clays in Mississippi Dams**," *Dispersive Clays, Related Piping, and Erosion in Geotechnical Projects*, ASTM STP, J. L. Sherard and R. S. Decker, Eds., American Society for Testing and Materials, 1977, pp. 135-155.)

[13] (Phillips, J. T., "**Case Histories of Repairs and Designs for Dams Built with Dispersive Clay**," *Dispersive Clays, Related Piping, and Erosion in Geotechnical Projects*, ASTM STP, J. L. Sherard and R. S. Decker, Eds., American Society for Testing and Materials, 1977, pp. 330-340.)

[14] Felkai B. O., Nagy L. (2012): *A Cibakházi gátszakadás 1895, XXX. MHT Vándorgyűlés, Kaposvár, 2012. július 4-6, 1. szekció, paper 2*, ISBN 978-963-8172-29-

[15] Nagy Gábor

Diszperzív talajok azonosítása árvízvédelmi gátak felszínén megfigyelt károsodások alapján

In: Köllő Gábor (szerk.)

XVIII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia. Konferencia helye, ideje: Csíksomlyó, Románia, 2014.06.12-2014.06.15. Csíksomlyó: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, 2014. pp. 219-222.

(XVIII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia)

(ISBN:1843-2123)

[16]

http://geos.hu/szolgáltatások/geofizika/geoelektromos_szond%C3%A1z%C3%A1s/vertik%C3%A1lis_elektromos_szond%C3%A1z%C3%A1s

[17] Dr. Nagy László *Buzgárok az árvízvédelemben 2014*

[18] *Vízépítési földművek talajának diszperzitás vizsgálata, Vízügyi közlemények*

[19] Di Gleria – Klimes – Szmik – Dvoracsek 1957

Képek forrása:

[20] www.redbubble.com

[21] erosion4.ashx

[22] www.fs.fed.us

[23] www.agric.wa.gov

[24] www.clw.csiro

[25] vro.depi.vic.gov

[26] www.terratesting.au

.....

Készítette
Budapest 2014