

P A N N O N E G Y E T E M

F E S T E T I C S D O K T O R I I S K O L A

D O K T O R I ( P h D ) É R T E K E Z É S

**Kationos tenziddel kezelt talajok kapilláris vízemelésének,  
valamint egyéb talajfizikai tulajdonságainak vizsgálata**

DOI:10.18136/PE.2019.699

**Nagy Edina**

Témavezető:

**Dr. Szakácsné Dr. habil. Földényi Rita**

egyetemi docens

Pannon Egyetem

Mérnöki Kar, Soós Ernő

Víztechnológiai és Kutató – Fejlesztő Központ

2019.

# KATIONOS TENZIDDEL KEZELT TALAJOK KAPILLÁRIS VÍZEMELÉSÉNEK, VALAMINT EGYÉB TALAJFIZIKAI TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA

Az értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében készült a Pannon Egyetem  
Festetics Doktori Iskolája keretében

Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok tudományágban

Írta: NAGY EDINA

Témavezető: Dr. SZAKÁCSNÉ DR. habil. FÖLDÉNYI RITA

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

.....  
Dr. Szakácsné Dr. habil Földényi Rita  
témavezető

A jelölt a doktori szigorlaton 95 %-ot ért el,

Keszthely, 2018. április 26.

.....  
Dr. habil. Hoffmann Sándor  
A Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom:

Bíráló neve: Prof. Dr. Bidló András, PhD, habil., egyetemi tanár      igen /nem

.....  
aláírás

Bíráló neve: Dr. Tolner László, CSc, egyetemi magántanár      igen /nem

.....  
aláírás

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján ..... %-ot ért el.

Keszthely, 2019. ....

.....  
A Bíráló Bizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

Veszprém/Keszthely, 2019. ....

.....  
Az EDHT elnöke

## Tartalomjegyzék

<b>Tartalomjegyzék</b> .....	1
<b>Rövidítések jegyzéke</b> .....	5
<b>Kivonatok</b> .....	6
Kationos tenziddel kezelt talajok kapilláris vízemelésének, valamint egyéb talajfizikai tulajdonságainak vizsgálata.....	6
Investigation of water capillary rise and other soil physics characteristics of pretreated soils with cationic surfactants.....	7
Untersuchung des Wasserkapillaranstiegs und anderer bodenphysikalischer Eigenschaften von vorbehandelten Böden mit kationischen Tensiden.....	8
<b>1. Bevezetés és célkitűzés</b> .....	9
<b>2. Irodalmi áttekintés</b> .....	14
<b>2.1. TALAJOK FELÉPÍTÉSE, FŐBB JELLEMZŐI</b> .....	14
2.1.1. Talajok szerves alkotói.....	15
2.1.2. Talajok szerves alkotói.....	20
2.1.3. Szerves-ásványi komplexek .....	21
<b>2.2. A TALAJSZERKEZET FELÉPÍTÉSE</b> .....	22
2.2.1. Talajok szerkezetét felépítő aggregátumok .....	22
2.2.2. Aggregátumok kialakulása, csoportosítása, aggregátum-stabilitás .....	23
<b>2.3. TALAJOK FIZIKAI TULAJDONSÁGAI</b> .....	26
2.3.1. Mechanikai összetétel összefüggése egyéb talajfizikai tulajdonságokkal .....	26
2.3.2. Talaj térfogattömegének összefüggése egyéb talajfizikai tulajdonságokkal.....	28
2.3.3. A talaj Arany-féle kötöttségének összefüggése egyéb talajfizikai tulajdonságokkal .....	29
<b>2.4. TALAJOK VÍZGAZDÁLKODÁSA, VÍZHÁZTARTÁSA</b> .....	29
2.4.1. A talajnedvesség energiaállapota a talaj kapilláris rendszerében .....	29
2.4.2. A talaj nedvességpotenciálja a talaj kapilláris rendszerében .....	30
2.4.3. Higroszkóposág összefüggése egyéb talajfizikai tulajdonságokkal .....	31
2.4.4. Légszáraz-nedvességtartalom összefüggése egyéb talajfizikai tulajdonságokkal .....	32
<b>2.5. DISZPERZ RENDSZEREK</b> .....	32
2.5.1. Szuszpenziók jellemzése .....	33

2.5.2. Részecske-részecske kölcsönhatás vizes rendszerben.....	34
2.5.3. Diszpergált, aggregált állapot jellemzése .....	35
<b>2.6. ASSZOCIÁCIÓS KOLLOIDOK.....</b>	<b>36</b>
2.6.1. Asszociációs kolloidok alkalmazása .....	38
<b>2.7. HATÁRFELÜLETI JELENSÉGEK.....</b>	<b>40</b>
2.7.1. A felületi feszültség (L/G határfelület) .....	40
2.7.2. Szilárd-folyadék (S/L) határfelület.....	41
2.7.3. Fajlagos felület meghatározása a szilárd/gáz (S/G) határfelületen .....	47
2.7.4. Határfelületi elektromos tulajdonságok.....	48
<b>2.8. A SZILÁRD-FOLYADÉK (S/L) HATÁRFELÜLETI JELENSÉGEK TALAJFIZIKAI SZEMPONTÚ JELLEMZÉSE A HÁROMFÁZISÚ TALAJ KAPILLÁRIS RENDSZERÉBEN</b> .....	<b>49</b>
2.8.1. Nedvesítési tulajdonságok szerepe a talaj háromfázisú rendszerében .....	53
2.8.2. Kapillaritás jellemzése – „kapilláris cső elmélet” .....	54
<b>3. Anyag és módszertan.....</b>	<b>60</b>
<b>3.1. KUTATÁSHOZ FELHASZNÁLT ANYAGOK JELLEMZŐI.....</b>	<b>60</b>
3.1.1. Vegyszerek.....	60
3.1.2. Talajminták jellemzése .....	60
3.1.3. Ásványi őrlmények, talajalkotók jellemzése .....	62
<b>3.2. TALAJKOLLOIDIKAI VIZSGÁLATOK MÓDSZERTANA .....</b>	<b>64</b>
3.2.1. Talajminták kezelése.....	64
3.2.2. Egyensúlyi koncentráció meghatározása spektrofotométerrel.....	66
3.2.3. Fajlagosan adszorbeált tenzid mennyiségének meghatározása kis mennyiségű kaolin esetében .....	67
3.2.4. Fajlagos felület meghatározása .....	68
3.2.5. Talajkémiai alapvizsgálatok módszerei .....	68
<b>3.3. TALAJFIZIKAI VIZSGÁLATOK MÓDSZERTANA .....</b>	<b>69</b>
3.3.1. Aggregátum-stabilitás meghatározása.....	69
3.3.2. Mechanikai összetétel meghatározása.....	71
3.3.3. Térfogattömeg meghatározása.....	72
3.3.4. Talajminták sűrűségének meghatározása.....	73
3.3.5. Talajminták Arany-féle kötöttségének meghatározása .....	73
3.3.6. Higroszkóposág meghatározásának módszere .....	73

3.3.7. A talaj légszáraz nedvességtartalmának meghatározása .....	73
3.3.8. A kapilláris vízemelés vizsgálata oszlopkísérlettel.....	74
<b>3.4. STATISZTIKAI ÉRTÉKELÉS MÓDSZERTANA.....</b>	<b>74</b>
<b>4. Eredmények.....</b>	<b>76</b>
<b>4.1. TENZIDADSZORPCIÓS VIZSGÁLATOK ÉRTÉKELÉSE TALAJMINTÁKON ÉS ÁSVÁNYI ŐRLEMÉNYEKEN.....</b>	<b>76</b>
4.1.1. Kaolin adszorpciós izoterma jellemzése.....	77
<b>4.2. KEZELÉSEK HATÁSA AZ ÁSVÁNYI KEVERÉKSOROZATALKOTÓK, TALAJMINTÁK KAPILLÁRIS VÍZEMELÉS MAGASSÁGÁRA, TÉRFOGATTÖMEGÉRE</b>	<b>80</b>
4.2.1. Kezelési tényezők statisztikai vizsgálata ásványi keveréksorozat alkotóira .....	80
4.2.2. Kezelési tényezők statisztikai vizsgálata talajmintákra .....	81
<b>4.3. TALAJMINTÁK, ÁSVÁNYI KEVERÉKSOROZAT ALKOTÓK EGYÉB TALAJFIZIKAI PARAMÉTEREINEK ÉRTÉKELÉSE KEZELÉSEK HATÁSÁRA.....</b>	<b>82</b>
<b>4.4. KEZELT ÁSVÁNYI KEVERÉKSOROZAT- ÉS TALAJMINTÁK TÉRFOGATTÖMEGE .....</b>	<b>85</b>
4.4.1. Talajminták kapilláris emelkedésének összefüggése a térfogattömeggel és sűrűséggel kezelések hatására.....	87
<b>4.5. TALAJMINTÁK MAKROAGGREGÁTUM-STABILITÁSA ÉS KAPILLÁRIS VÍZEMELÉS MAGASSÁGA KÖZTI KORRELÁCIÓ KEZELÉSEK HATÁSÁRA.....</b>	<b>88</b>
<b>4.6. TALAJMINTÁK EGYÉB TALAJFIZIKAI PARAMÉTERE KÖZTI KORRELÁCIÓ KEZELÉSEK HATÁSÁRA.....</b>	<b>89</b>
4.6.1. Egyéb talajparaméter közti összefüggés-vizsgálat, valamint a kezelések hatásainak értékelése .....	91
<b>4.7. KEZELT ÁSVÁNYI ALKOTÓK ÉS TALAJMINTÁK MECHANIKAI ÖSSZETÉTELE .....</b>	<b>93</b>
4.7.1. Az ásványi alkotók- és őrlemények mechanikai összetétele kezelések hatására .....	93
4.7.2. Tenzid, pirofoszfát hatásának statisztikai vizsgálata az ásványi alkotók- és őrlemények mechanikai összetételére .....	95
4.7.3. Talajminták mechanikai összetétele kezelések hatására .....	97
4.7.4. Tenzid, pirofoszfát hatásának statisztikai vizsgálata a talajminták mechanikai összetételére .....	101

---

<b>4.8. KEZELT ÁSVÁNYI ALKOTÓK ÉS ÁSVÁNYI ŐRLEMÉNYEK KAPILLÁRIS EMELKEDÉSÉNEK ÉRTÉKELÉSE.....</b>	<b>105</b>
4.8.1. Bentonit keveréksorozat kapilláris vízemelés magasságának értékelése .....	111
4.8.2. Kaolin keveréksorozat kapilláris vízemelés magasságának értékelése.....	113
<b>4.9. KEZELÉSEK HATÁSA A TALAJMINTÁK KAPILLÁRIS VÍZEMELKEDÉSÉRE ....</b>	<b>114</b>
<b>4.10. ÁSVÁNYI KEVERÉKSOROZAT- ÉS TALAJMINTÁK KAPILLÁRIS VÍZEMELKEDÉSÉNEK VIZSGÁLATA KEZELÉSEK HATÁSÁRA.....</b>	<b>124</b>
4.10.1. Az eredeti ásványi keveréksorozat- és talajminták kapilláris vízemelésének vizsgálata .....	125
4.10.2. A kontrollkezelt ásványi keveréksorozat- és talajminták kapilláris vízemelésének vizsgálata.....	127
4.10.3. A tenziddel kezelt ásványi keveréksorozat- és talajminták kapilláris vízemelésének vizsgálata.....	128
<b>5. Összefoglalás .....</b>	<b>130</b>
<b>6. Új tudományos eredmények.....</b>	<b>138</b>
<b>6.1. TÉZISEK.....</b>	<b>138</b>
<b>6.2. THESIS.....</b>	<b>140</b>
<b>7. Felhasznált irodalom.....</b>	<b>142</b>
<b>8. Ábrák és táblázatok jegyzéke .....</b>	<b>160</b>
<b>9. Köszönetnyilvánítás .....</b>	<b>164</b>
<b>10. Melléklet .....</b>	<b>I</b>

## Rövidítések jegyzéke

BET: Brunauer-Emmett-Teller – fajlagos felület ( $\text{m}^2/\text{g}$ )

CMC: kritikus micellaképződési koncentráció

CPC: cetil-piridinium-klorid – kationos tenzid

$\text{CPC}_{1/100}$ : cetil-piridinium-klorid – kationos tenzid (részleges borítottságnál)

S/L határfelület: szilárd-folyadék határfelület

$q$ : fajlagosan adszorbeált tenzid mennyisége ( $\text{mol}/\text{g}$ )

$q_{\text{max}}$ : maximális fajlagosan adszorbeált tenzid mennyisége ( $\text{mol}/\text{g}$ )

$c_0$ : kiindulási koncentráció ( $\text{mol}/\text{L}$ )

$c_e$ : egyensúlyi koncentráció ( $\text{mol}/\text{L}$ )

*kontrollkezelés* hatása: csak a kezelés hatása érvényesül (kezelés egyezik a tenzides kezelés módszerével, tenzid hozzáadása nélkül)

*tenzides kezelés hatása*: tenzid és a kezelés hatása együtt érvényesül

*tenzid hatás*: csak a tenzid hatás érvényesül, kezelés hatása nem

KP: kontroll, pirofoszfátos diszpergálással előkezelt mechanikai összetétel

KPN: kontroll, pirofoszfátos diszpergálással nem előkezelt mechanikai összetétel

TP: tenziddel kezelt, pirofoszfátos diszpergálással előkezelt mechanikai összetétel

TPN: tenzidet, pirofoszfátos diszpergálással nem előkezelt, mechanikai összetétel

1E-12E: eredeti ásványi őrlemények, - keveréksorok alapkomponeisei, talajminták

1K-12K: kontrollkezelt ásványi őrlemények, - keveréksorok alapkomponeisei, talajminták

1T-12T: tenziddel kezelt ásványi őrlemények, - keveréksorok alapkomponeisei, talajminták

I/1/E-I/9/E: eredeti bentonit keveréksorozat

I/1/K-I/9/K: kontrollkezelt bentonit keveréksorozat

I/1/T-I/9/T: tenziddel kezelt bentonit keveréksorozat

II/1/E-II/9/E: eredeti kaolin keveréksorozat

II/1/K-II/9/K: kontrollkezelt kaolin keveréksorozat

II/1/T-II/9/T: tenziddel kezelt kaolin keveréksorozat

*Színkulcs a 11. és a 17-19. táblázathoz*

1/1-1/9.	II/1-II/6.	3. Ramann BET A	4. Ramann BET B	5. ABET A	6. ABET B	7. Pszeudo-glejes BET B	8. Csernozjom A	9. Szolonyec B	10. Réti A
----------	------------	-----------------	-----------------	-----------	-----------	-------------------------	-----------------	----------------	------------

## Kivonatok

### Kationos tenziddel kezelt talajok kapilláris vízemelésének, valamint egyéb talajfizikai tulajdonságainak vizsgálata

A doktori értekezés a talajkolloidikai és talajfizikai tulajdonságok, mint pl. a mechanikai összetétel, makroaggregátum-stabilitás, fajlagos felület, higroszkóposság, kapilláris vízemelés változásának összehasonlító vizsgálatára terjed ki, a különféle genetikai talajtípusokon (*Ramann-féle barna erdőtalaj, agyagbemosódásos barna erdőtalaj, pszeudoglejes barna erdőtalaj, mészlepedékes csernozjom, közepes réti szolonyec talaj, nem karbonátos réti talajon*) és csökkenő agyagtartalmú ásványi őrlemény keveréksorozatokon (I. keveréksorozat alkotói: bentonit, lösz, homok, II. keveréksorozat alkotói: kaolin, lösz, homok) végrehajtott kontroll- (vízzel végzett) és pirofoszfátos kezelés továbbá a felület részleges borítottságát eredményező tenzides kezelés hatására.

A talajfizikai paraméterek közötti kapcsolatok vizsgálati *cetil-piridinium-klorid* (CPC) kationos tenziddel kezelt különböző genetikájú talajmintákon kerültek elvégzésre. A vizsgálatok fókuszpontjában az agyagtartalom mellett hangsúlyt kapott az ásványi összetétel szerepe is a tenzides kezelések hatásának értékelésében.

A CPC kezelés hatására bekövetkezett kapilláris vízemelés értékek az elvégzett makroaggregátum-stabilitás és térfogattömeg vizsgálatok eredményeivel lettek összehasonlítva.

A szerző vizsgálta az eredeti és a tenziddel kezelt talajminták és ásványi őrlemények mechanikai összetételében bekövetkező változásokat a pirofoszfát és a tenzid hatására.

A szerző az eredmények értékeléséhez az *IBM SPSS Statistics 18.0 szoftvert* használta fel. A kezelési tényezők hatásának vizsgálatához, a talajminták, talajalkotók, ásványi őrlemények kapilláris vízemelése, térfogattömege közötti összefüggés értékeléséhez az *ANOVA többváltozós varianciaanalízist* alkalmazta. A talajfizikai paraméterek közötti összefüggést a *Pearson-féle korrelációval* értékelte. Az *ANOVA- Post Hoc Tukey teszt* felhasználásával a kezelések mechanikai összetételére, kapilláris vízemelés magasságára, térfogattömegére gyakorolt hatását értékelte.

A kutatáshoz alkalmazott kezelési módszer lehetőséget nyújt annak tanulmányozásához, hogy a tenzides kezelés során diszperz rendszerben (szuszpenzióban) az eltérő fizikai és kémiai tulajdonságú talajok szerkezetében, aggregáltságában, térfogattömegében stb., milyen irányú különbségek, folyamatok állapíthatók meg a víz hatására bekövetkező kilúgozódás (kontroll), illetve a kilúgozódás és tenzidadszorpció együttes hatását követően.

A kutatási eredmények környezetvédelmi és agronómiai tudományterületeken egyaránt hasznosíthatók, mivel az eredmények rámutatnak azokra a folyamatokra, hogy a kezelések

(tenziddel vagy tenzid nélkül) hatására milyen irányú talajfizikai folyamatok következhetnek be. Az eredmények igazolják, hogy a kezelések hatása alapvetően a duzzadó-agyagásvány tartalom mennyiségének és minőségének függvényében befolyásolja a talajok genetikai típusától függő talajfizikai, vízgazdálkodási tulajdonságokat. A szerző megállapította, hogy a *tenzides kezelés* és víz, azaz a *kontrollkezelés* hatására az eltérő genetikájú talajok elveszíthetik jellemző karakterüket (pl. réti szolonyec és a réti talaj) a talajparaméterek jellemzőinek módosulásával, amely a fizikai féleség változását idézheti elő.

### **Investigation of water capillary rise and other soil physics characteristics of pretreated soils with cationic surfactants**

This PhD dissertation deals with the comparative research of the changes of such soil colloidal and physical characteristics like mechanical composition, aggregate stability, specific surface, hygroscopicity, capillary water-rise resulted by surfactant and surfactant-free treatments on different genetic soil-types (*Ramann brown forest soils, brown forest soils with clay illuvation, pseudogleys, lowland chernozems, medium meadow solonetz, non-carbonated meadow soils*) and bentonite-loess-sand and kaoline-loess-sand mineral grist series with decreasing clay-content. The capillary water rise values resulted after surfactant treatments were compared with the results of the studied mechanical composition and volume mass. The results proved that treatments influence the – due to genetic soil type different - soil physical and water budget features basically dependent on the amount and type of swelling clay mineral content. The author stated that the different genetic soil-types (e.g. meadow solonetz, meadow soil) can loose their typical characteristics after surfactant and surfactant-free treatments with the modification of soil parameters which can result the change of soil texture.

---

## Untersuchung des Wasserkapillaranstiegs und anderer bodenphysikalischer Eigenschaften von vorbehandelten Böden mit kationischen Tensiden

Diese PhD-Dissertation beschäftigt sich mit dem Vergleichsforschung der Veränderungen solche bodenkolloidischen und bodenphysischen Eigenschaften wie Mechanikzusammensetzung, Aggregatstabilität, spezifische Oberfläche, Hygroscopicität, kapillarische Wassererhöhung, die von dem tensidefreien und tensideenthaltene Behandlungen bei verschiedenen genetischen Bodentypen (Ramann'sche braune Waldboden, Braune Waldboden mit Toneinwaschung, Braune Waldboden mit Pseudogleybildung, Tschernozjomboden mit Kalkhüllen, Mittelmässige Wiesensolonetzboden, Karbonatfreie Wiesenboden) und bentonit-löß-sand-enthaltige und kaolin-löß-sand-enthaltige Mineralmahlserien mit verminderniger Tongehalt ergaben werden. Die kapillarische Wassererhöhungswerte nachdem Tensidebehandlung ergaben worden war, wurden mit der Ergebnisse der Mechanikzusammensetzungs- und Volumenmassenuntersuchungen verglichen. Die Ergebnisse wiesen darauf hin, dass die Behandlungen die wegen der genetischen Bodentypen verschiedenen Bodenphysischen- und Wasserhaushalteigenschaften hauptsächlich abhängig von der Quantität und Qualität des Pralltonmineralgehaltes beeinflussen. Die Autorin hat festgestellt, dass die verschiedene genetische Bodentypen (z.B. Wiesensolonetzboden und Wiesenboden) kann ihre typische Eigenschaften verlieren nachdem tensidefreien und tensideenthaltene Behandlungen wegen der Veränderungen der Bodenparameters, die kann Veränderungen auch im Bodentextur verursachen.

## 1. Bevezetés és célkitűzés

A felületaktív anyagok (tenzidek) környezetszennyező hatásának tanulmányozása kiemelkedő jelentőségű napjainkban. A tenzidek, mint szerves mikroszennyezők talajba kerülhetnek pl. talajkondicionáló készítményekkel, hígtrágyával, szennyvízzel, üzemi meghibásodásoknál, talajmosást követően a visszamaradó mosófolyadékkal. Ezek az anyagok döntő mennyiségben a szennyvizekkel jutnak a környezetbe, valamint a talajba. A tenzid befolyásolhatja a talaj szerkezetét, a kapilláris pórusok arányát, víz és levegőgazdálkodását, valamint a termőképességét (GARLAND és munkatársai, 2000; MAKÓ és MÁTÉ, 1992; PATZKÓ és DÉKÁNY, 1997).

A szilárd-folyadék fázis kölcsönhatása legszembetűnőbben a duzzadó agyagásványt tartalmazó talajokon nyilvánul meg. Számos kutatási eredmény szól a duzzadó agyagásványok jellemző tulajdonságairól mint pl. adszorpciós képesség, interlamelláris tér, bázislaptávolság, szerkezetképző tulajdonságok (OVCHARENKO, 1961; SOROCHAN, 1971).

A felületaktív anyagok megváltoztathatják az agyagásvány szerkezetét. A tenzidek körében különösen a kationos tenzid szerkezetmódosító hatása jelentős, mivel a rétegszilikátok belső (ioncsere) és külső (ioncsere és molekuláris adszorpció) felületén, a rétegszilikátok duzzadását előidézve adszorbeálódhat (SCHLADOT és munkatársai, 1994), valamint elősegítheti azok szerkezetének szétesését (PERMIEN és munkatársai, 1995).

A tenzid adszorpciójának hatására a talajszemcsék eltérő módokon tapadnak össze, nagyobb pórusok és kapillárisok keletkezhetnek a talajban. Különösen akkor szembetűnő ez a szerkezet átalakulás, ha a talaj döntően duzzadó rétegrácsú agyagásványt tartalmaz (ERLEI, 1997).

A talajszemcsék negatív töltésű felületére (pl. szilikátok) jellemző, hogy azon a kationos tenzidek hatékonyan adszorbeálódnak. A kationos tenzid adszorpciójára jellemző, hogy a rétegszilikát bázislaptávolságát nagymértékben képes megnövelni (PATZKÓ és DÉKÁNY, 1996).

BROWNAWELL és munkatársai (1991) eredményei azt igazolják, hogy az adszorpció alapvetően nem elsődlegesen a talaj szerves szén tartalmával, hanem a duzzadó agyagásványok mennyiségével áll összefüggésben (YUAN és JAFVERT, 1997).

A tenzidek megkötődésében kiemelt szerepet játszanak a kis energiájú van der Waals erők, amelyek rendszerint a talaj és a tenzid hidrofób felületei között alakulnak ki (DOBOZY és munkatársai, 1974).

A tenzid kémiai összetétele és szerkezete, valamint a talajfelület polaritása, töltésállapota alapvető jelentőséggel bír az adszorpcióban (ATKIN és munkatársai, 2003). A felületaktív anyagok hidrofób jellege határozza meg a porózus közegben való megkötődést, vagyis az adszorpciós és deszorpciós folyamatokat (SARDIN és munkatársai, 1998). Az ionos tenzidek adszorpciójában döntően a töltések szerepe érvényesül, pl. a kationos tenzidek rendkívül nagy affinitással kötődnek meg a negatív töltéssel rendelkező adszorbensen (pl. talajszemcsén) (ATKIN és munkatársai, 2003).

A kapilláris vízemelési kísérletek kétféle vonatkozásban jellemezhetik a talajokat: a víz emelkedésének végső magassága (maximális vízemelés) és az emelkedés időbeni lefolyása szempontjából (DI GLÉRIA és munkatársai, 1957). Az előbbi inkább a talajok vízvisszatartó-képességével kapcsolatos tulajdonságokra utal (kapilláris és gravitációs erők egyensúlya), míg az utóbbi a kapilláris vízmozgásokra (MAKÓ, 1995).

A tenzidek talajfizikai paramétereiket befolyásoló szerepét számos szerző igazolta. A tenzidadszorpció változást eredményezhet a talajok következő tulajdonságaiban: szivárgási tényező, higroszkóposság, porozitás (ABU-ZREIG és munkatársai, 2003), kapilláris vízemelés (DOBOZY és munkatársai, 1970), víztartó-képesség (KARAGUNDUZ és munkatársai, 2001), olajvisszatartó-képesség (CSATÁRI és munkatársai, 2013), aggregátum-stabilitás (MIÓKOVICS és munkatársai, 2011), hidraulikus vezetőképesség (ALLRED és BROWN, 1994; RAO és munkatársai, 2006; cit.: BARNA és munkatársai, 2015).

A felületaktív anyagok – típusuktól függően – a talaj számos kémiai (pH, redox potenciál, ioncsere kapacitás) és mikrobiológiai jellemzőjét is megváltoztathatják (DOBOZY és munkatársai, 1970; KUHNT, 1993). Ez a kutatási terület kiemelt jelentőséggel bír környezetvédelmi és agronómiai szempontból egyaránt.

A feljebb tárgyalt kutatási eredményeket figyelembe véve a doktori munkám során eltérő genetikájú talajok (*Ramann-féle barna erdőtalaj A és B szint, agyagbemosódásos barna erdőtalaj A és B szint, pszeudoglejes barna erdőtalaj B szint, mészlépedékes csernozjom A szint, nem karbonátos réti talaj A szint, közepes réti szolonyec B szint*), valamint csökkenő agyagtartalmú (bentonit és kaolin) ásványi őrlemény keveréksorozatok kapilláris vízemelésének és egyéb fizikai tulajdonságának vizsgálatát tűztem ki célul, értékelve a *kontrollkezelés és a részleges borítottságot előidéző tenzides kezelés* hatását.

A doktori kutatásom során vizsgáltam a talajok és ásványi őrlemény keveréksorozatok mechanikai összetételét, mindezen minták és alkotóik makroaggregátum-stabilitását, fajlagos felületét, Arany-féle kötöttségét, térfogattömegét, hidroszkóposságát, légszáraz-nedvességtartalmát is. A vizsgálataim során arra kerestem a választ, hogy a kezelések (kontrollkezelés és tenzides kezelés) milyen változást eredményeznek az eltérő genetikájú talajok

kapilláris vízemelkedésében, illetve milyen irányú és mértékű eltérések jelentkeznek az egyes talajfizikai paraméterek között, amelyek módosíthatják a fizikai féleséget is. A kutatásom során a talajok humuszanyag minőségének és mennyiségének befolyásoló hatását nem vizsgáltam, mivel a szakirodalom szerint döntően az agyagásványok mennyisége és minősége befolyásolja a talajfizikai tulajdonságokat (DI GLÉRIA és munkatársai, 1957; BROWNAWELL és munkatársai, 1991); YUAN és JAFVERT, 1997). Korábban azt is megállapították, hogy a kapilláris vízemelést elsősorban nem az agyag minősége, hanem annak mennyisége befolyásolja (DI GLÉRIA és munkatársai, 1957).

Emiatt két *keveréksorozat*on (I. (*bentonit*) és II. (*kaolin*)) az agyagásványok minőségének szerepét vizsgáltam a különböző kezelések hatásán keresztül. Arra is választ kerestem, hogy a kapilláris vízemelés magassága milyen összefüggést mutat a talajok makroszerkezetével, valamint az alapvető talajfizikai sajátosságaival a kontroll-, illetve a tenzides kezelések hatására.

A két *keveréksorozat* (I/1-I/9. és II/1-II/6.) mintáival a kapilláris vízemelés és térfogatnövekedés vizsgálatokat, míg az ásványi őrlemény keveréksorozat alapkomponeenseivel (bentonit, kaolin, lösz, homok) a többi talajfizikai vizsgálatot is elvégeztem.

### Hipotézis és célkitűzés a tenzides kezelés módszertana szempontjából

A szakirodalom széles körben ismerteti, hogy a duzzadó-agyagásványt tartalmazó ásványi őrlemények és talajminták nagy kationcserélő kapacitásuk és fajlagos felületük miatt nagy mennyiségben adszorbeálják a kationos tenzideket.

A felületaktív anyagokkal végzett talajkezelés alkalmazása annak érdekében, hogy megvizsgáljuk a talajfizikai tulajdonságokban bekövetkező változásokat, egyedülálló jelentőséggel bír mind a nemzetközi, mind a hazai szakterületen. A kutatáshoz olyan adszorbenseket (ásványi őrlemények, alkotók, talajminták) választottam, amelyek fajlagos (BET) felülete különböző. Korábban kutatócsoportunkban kis mennyiségű talajminták és -alkotók alkalmazásával adszorpciós izoterma segítségével meghatározták egy kationos tenzid (cetil-piridinium-klorid) maximálisan adszorbeált mennyiségét. Munkám során ezeket az eredményeket felhasználtam, de a valós környezeti viszonyokat is figyelembe vettem. Következésképpen nem a felület teljes borítottságához szükséges tenzid mennyiségét, hanem annak századrészét alkalmaztam a fenti adszorbensek kezeléséhez.

A talajfizikai vizsgálatok elvégzéséhez nagy mennyiségű (több százszoros) mintára volt szükség. Emiatt a tenzides kezelések nagyítása során ellenőrizni kellett, milyen hatékonyságban megy végbe az adott kiindulási koncentráció mellett a cetil-piridinium-klorid adszorpciója.

A kutatáshoz elsődlegesen az adszorbens hatékonysága és fajlagos felülete alapján választottam ki azokat a talajfizikai paramétereket, amelyek jellemzően összefüggést mutatnak egymással. Az összehasonlításnál a hangsúlyt a kapilláris vízemelés magasságára helyeztem.

### **Hipotézis és célkitűzés a talajok egyes talajfizikai paramétere és a kezelések hatásának vizsgálatában**

A vizsgált talajminták és ásványi őrlemény keveréksorozat-minták jellemző talajfizikai és kolloidikai tulajdonságai a *kontrollkezelés* (előkezelése megegyezik a tenziddel kezelt mintáéval, viszont tenzidet nem tartalmaz) és a *tenzides kezelés* hatására megváltozhatnak, ami eltérő összefüggéseket eredményezhet az egyes talajfizikai paraméterek között.

Számos kutatásból ismert, hogy a legtöbb talajfizikai paraméter egymással eltérő mértékben összefüggést mutat. A kapilláris vízemelés magasság a térfogattömeggel szoros összefüggést mutat, amely a kezelés hatására változhat. A szerkezetképzésben az adszorbeált tenzid mennyisége és minősége is meghatározó szerepet képvisel.

A vizsgált talajfizikai paramétereknél feltételezhetőnek bizonyult, hogy a kontroll- és a tenzides kezelések hatására az eltérő fizikai és kémiai sajátosságokkal rendelkező talajminták jellemző tulajdonságai megváltozhatnak, amelynek kutatása azért kiemelt jelentőségű, mivel a kezelést követően akár számottevő változások is felléphetnek a talajok vízgazdálkodási tulajdonságaiban az eredeti talajtulajdonságoktól függő mértékben.

*A talajfizikai és -kolloidikai vizsgálataim elvégzését követően az alábbi összefüggések értékelését fogalmaztam meg a kontroll- és a tenzides kezelések hatására:*

- A keveréksorozatok és a talajminták *tenzides* és *kontrollkezelésének* (folyadékeltávolítás, más néven mosás) hatása a kapilláris vízemelés magasságára *ANOVA többváltozós varianciaanalízissel, lineáris regressziós analízissel.*
- A kontroll- és a tenzides kezelések hatására bekövetkező talajfizikai paraméter változások értékelése.

- A keveréksorozat és a talajminták agyagásvány minőségének szerepe a kapilláris vízemelkedések magasságainak és egyéb talajfizikai paraméterek változásaival kapcsolatban.
- A kapilláris vízemelések magassága és a térfogattömeg közötti összefüggés vizsgálata *Pearson-féle korrelációval*. Célkitűzéseim között szerepelt meghatározni azt, hogy az ásványi keveréksorozat-, illetve talajminták kapilláris vízemelésének és térfogattömegének változásai milyen irányúak és mértékűek a *kontrollkezelések*, valamint a *tenzides kezelések* hatására, melyet a Post Hoc teszttel –Tukey próbával- is értékeltem.
- Az ásványi órlemény keveréksorozat- és a talajminták mechanikai összetételének elemzéséhez a *Post Hoc tesztet* – Tukey próbával- választottam, mivel arra kerestem a választ, hogy a pirofoszfát és a tenzid hatása, milyen különbséget eredményez a vizsgált minták mechanikai összetételében.
- A kutatásom során célul tűztem ki a tenzides kezelés hatására bekövetkező makroaggregátum-stabilitásában és a kapilláris vízemelés magasságában bekövetkező változások közötti összefüggések elemzését a *Pearson-féle korrelációval*.
- Kutatási terveim között szerepelt egyes jellemző talajfizikai tulajdonságok (higroszkóposság, légszáraz-nedvességtartalom, makroaggregátum-stabilitás, Arany-féle kötöttség) közötti összefüggések vizsgálata is, amelyhez úgyszintén a *Pearson-féle korrelációs* értékelést alkalmaztam. Választ kerestem arra, hogy a *tenzides*, illetve a *kontrollkezelés* hatása milyen irányú változást eredményez e vizsgált talajfizikai paraméterei közt.

## 2. Irodalmi áttekintés

### 2.1. Talajok felépítése, főbb jellemzői

A talaj térben és időben változó három illetve négyfázisú polidiszperz rendszer, melyet szilárd (talajszerkezet), folyadék (talajoldat), gáz (talajlevegő) és biológiai fázis (talajlakó élőlények, növényi gyökérszövet, gomba hifák) alkotja, mindezek állandó dinamikus kölcsönhatásban vannak egymással (VÁRALLYAY, 2002). A talaj főbb alkotói: szilárd (~50%), folyékony (30–45%), légnemű fázis (5–20%), valamint az élőszervezetek (FILEP, 1988).

A talaj szilárd fázisának kisebb szemcseméretű (<2  $\mu\text{m}$ ) ásványi komponensei a kolloidokhoz sorolhatók. Ezek az alkotók képezik az agyagfrakciók csoportját, melyek többek között szilikátokból, agyagásványokból, oxidokból, hidroxidokból, karbonátokból, szulfidokból és kloridokból épülnek fel (FILEP, 1988; STEFANOVITS, 1975).

A talajok egyik legfontosabb tulajdonsága az ionok – különösen a kationok – adszorpciója és kicserélése a talajkolloidokon, elsősorban a talaj tápanyaggazdálkodása, pufferképessége, szerves-ásványi komplexek kapcsolódása szempontjából (PATZKÓ, 2003). A talajásványokon adszorbeálódott szerves molekulák megváltoztatják azok felületi töltéstulajdonságait (JOHNSTON és TOMBÁ CZ, 2002), ezáltal a részecskék aggregációs viselkedését is, amelyek a talajásványok vagy egyes komponenseik mobilizálását, illetve immobilizálását is okozhatják (AKBOUR és munkatársai, 2002). A természetes és oldott szerves anyagok valamint a talajalkotó ásványi anyagok kötésének erőssége jelentős mértékben növeli a talaj szerkezetének tartósságát és ezen keresztül javítja a talaj fizikai tulajdonságait. A közöttük lejátszódó kölcsönhatások meghatározó szerepet játszanak a környezeti folyamatokban (AIKEN és munkatársai, 1985; SPOSITO, 1992; BUFFLE, 1988; JOHNSTON és TOMBÁ CZ, 2002; cit: Majzik, 2007).

A többértékű kationok (pl.  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ) meghatározó szerepet töltenek be az ásványi részecskék, valamint a szerves anyagok és az ásványi alkotók közötti hidak kialakulásában. A részecskék aggregációja függ a talajok típusától (BRONICK és LAL, 2005). Ezáltal nemcsak a talajtípusok, az ásványi összetevők és a szervesanyag-tartalom, hanem a talajoldat ionos összetétele is felelős a talajok szerkezetének alakulásában, amely pedig a pórusrendszeren keresztüli transzport folyamatokban játszik fontos szerepet (KRETTZSCHMAR és STICHER, 1998). Az eltérő genetikájú talajok agyagásvány-összetétele más és más, mely befolyásolja a kationcsere-kapacitást (HIRASAKI, 1982). A kationcsere kapacitást meghatározó vegyületek lehetnek pl. kalcit (KREBS és munkatársai, 1987), sótartalom (nátrium-klorid) stb., emiatt a tenzides kezelés hatása eltérő talajfizikai változásokat idézhet elő.

### 2.1.1. Talajok szeretlen alkotói

A talaj abiotikus alkotóinak három fő fázisa a talajlevegő, a talajoldat és a szilárd fázis. A *talajlevegő* összetételét a talajbiológiai és kémiai folyamatok jellege, intenzitása, a talaj és a légkör közötti gázcsere sebessége, valamint a légnemű és folyékony, légnemű és szilárd fázis közötti kölcsönhatás befolyásolja.

A talaj *folyadékfázisa* a talajoldat, amely hidratált szabad kationokat és anionokat, ionasszociátumokat, oldható szerves vegyületeket, fém-komplexeket, valamint semleges molekulákat tartalmaz, ezért tekinthetjük a talajoldatot bonyolult összetételű elektrolitoldatnak. A talajkémiai folyamatok szempontjából az oldott Ca-, Mg-, Na-, és K-sók, ezek disszociációja révén oldatba került  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  kationok, valamint a  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  anionok és a belőlük képződött ionpárok a legjelentősebbek. Olykor az  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ , illetve a  $\text{SiO}_3^{2-}$ ,  $\text{AlO}_3^{3-}$  és a  $\text{NO}_3^-$  ionok mennyisége is számottevő lehet (BARANYI, 1997).

A szilárd fázis jellegzetes szerves anyagai (pl. humuszanyagok, poliszacharidok) kolloid méretűek, viszont az ásványi komponensek diszperzításfokában jelentős eltérések vannak. Az ásványi alkotórészek közé sorolhatók: a primer szilikátok, agyagásványok, oxidok és hidroxidok, karbonátok, szulfátok, szulfidok, foszfátok és kloridok. A kémiai mállás révén keletkezett másodlagos szilikátok az agyagásványok. A 2  $\mu\text{m}$ -nél kisebb ásványi komponenseket agyagfrakciónak nevezzük (FILEP, 1988), amelyben az agyagásványok a legfontosabb alkotórészek.

### Agyagásványok jellemzése

A legtöbb agyagásvány síkhálós alumínium-szilikát, melyek lamellás részecskék formájában fordulnak elő (NEMECZ, 1973; van OLPHEN, 1963). Az agyagásványok a talajok szilárd fázisának fontos alkotórészei (FILEP, 1988).

Szerkezetük két egységből, a csúcsokon keresztül összekapcsolt tetraéderek (T) és az élek mentén érintkező oktaéderek (O) rétegeből épül fel. A tetraéder rétegben elhelyezkedő kation a  $\text{Si}^{4+}$ , amelyet gyakran helyettesít azonban  $\text{Al}^{3+}$  vagy esetenként  $\text{Fe}^{3+}$ . A leggyakoribb oktaédes kation az  $\text{Al}^{3+}$ , de jellemző a  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  és  $\text{Fe}^{3+}$  is (PATZKÓ, 1996).

A rétegcsoportokká összekapcsolódott tetraéder és oktaéder rétegek *semleges* vagy *negatív töltésűek* lehetnek. Általában  $\text{Al}^{3+}$  helyettesíti a  $\text{Si}^{4+}$ -ot, s ennek következtében negatív lesz a réteg töltése. Amennyiben  $\text{Mg}^{2+}$  helyettesít  $\text{Al}^{3+}$ -ot dioktaéderben, akkor szintén negatív lesz a rétegtöltés. Ezt a típusú helyettesítést hívjuk izomorf szubsztitúciónak. A *töltést* rétegeközi kationok

(a leggyakoribbak  $K^+$ ,  $Na^+$  és  $Ca^{2+}$ ) vagy ioncsoportok semlegesítik (ammónium- és szerves ionok, valamint a víz is beléphet a rétegek közti térbe).

A kristályon belüli állandó negatív töltésfelesleg miatt a bázislapokon elektromos kettősréteg alakul ki, amelynek a külső rétegében a felhalmozódó cserélhető kationok foglalnak helyet (van OLPHEN, 1963; THENG, 1979; JOHNSTON és TOMBÁ CZ, 2002.) A bázislapokon lévő töltéshelyek mellett az agyagrészecskéken más poláris felületi helyek is vannak, melyekben a lamella élek törtkötésein lévő oktaédes Al-OH és tetraédes Si-OH csoportok, valamint külső terminális hidroxil-csoportok (pl. kaolinit részecskék lapjain) helyezkednek el (TOMBÁ CZ, 2003).

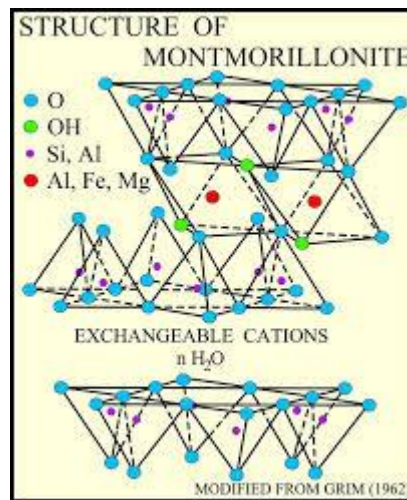
A 2:1 típusú szmektitiek legspecifikusabb vonása, hogy rétegszerű komplexeket képeznek vízzel és sok szerves anyaggal. Ennek következtében rétegszerkeztük megduzzad, melynek köszönhetően talajtani és környezet-geokémiai szempontból az egyik legjelentősebb ásványcsoport a talajokban. Az elemi rétegek negatív töltéssel rendelkeznek, ennek következménye a kationcserélő képességük. A kicserélhető kationok a vízmolekulákkal együtt a 2:1 elemi egységek közti térben helyezkednek el. A rétegek közti kationok minősége befolyásolja a duzzadást, valamint a diszpergálódási tulajdonságokat (NEMECZ, 1973).

Az agyagásványoknak adszorpció és ioncserélő jellemzőik alapján jelentős a szerepük van a talajtani folyamatok szabályozásában, illetve a szilárd fázis vízzel szembeni viselkedésének alakításában (NEMECZ, 1973).

Az agyagásványok minden egyes szerkezeti szintjét különböző kötési energiák jellemzik, amelyek különleges fizikai tulajdonságokat alakítanak ki: pl. mechanikai szilárdság, elektromos erőterek stb. Hasonlóképpen a különböző méretű (néhány nanométertől néhány száz mikrométerig) pórusok igen változó energetikai állapotot adnak a folyadékoknak (MEUNIER, 2010). Az agyagásványok rendezett, kristályos szerkeztűek, bár kristályosodási képességük rossz, ezért a kristályok mérete a nanométeres mérettartományba esik (KÉZDI, 1960). Az agyagásványok meghatározásához a gyakorlatban döntően röntgendiffrakciós módszert alkalmaznak (NEMECZ, 1973). A kutatás előzményéhez kapcsolódóan PATZKÓ és DÉKÁ NY (1996) is röntgendiffrakciós vizsgálattal végezte el a duzzadó agyagásványokon végzett bázislaptávolság méréseket lásd. 2.8. fejezet, továbbá a kísérletekhez felhasznált talajminták ásványi összetétel vizsgálatához is röntgendiffrakciós módszer lett alkalmazva lásd. 3.1.2. fejezet.

## Montmorillonit jellemzése, főbb tulajdonságai

A montmorillonit duzzadó, hármas rétegrácsú (2:1, azaz TOT) agyagásvány, mely a szmektitek csoportjába tartozik (HEATH és TARDOS, 1983; WERSHAW és munkatársai, 1996). Szerkezete:  $\text{Na}_x(\text{Al}_{2-x}\text{Mg}_x/\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{OH}/2)x\text{H}_2\text{O}$ , melyben a Na-ion a töltéskiegyenlítő cserélhető kation (NEMECZ, 1973). A lamellák TOT szerkezetű egységei között (1. ábra) a kapcsolatot az oxigén atomok biztosítják (van OLPHEN, 1963; DIXON és SCHULZE, 2002; LUCKHAM és ROSSI, 1999).



1. ábra

Montmorillonit rétegszerkezete (Forrás: POPPE és munkatársai, 2001)

A tetraéderrétegben lévő Si-ot  $\text{Al}^{3+}$ , az oktaédes Al-ot pedig két vegyértékű ionok (pl.  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ) helyettesítik. Ez az izomorf, de nem sztöchiometrikus helyettesítés negatív rácsöltés feleslegét eredményez, amelyet hármas rétegek felületén adszorbeálódott kationok kompenzálnak. Ezek a kationok cserélhetőek, mennyiségük analitikailag meghatározható. Az egy vegyértékű kationnal telített montmorillonit víz vagy vízgőz hatására duzzad, a bázislapok távolsága növekszik (NEMECZ, 1973).

THENG (1979) a duzzadás három különböző fázisát különbözteti meg: az első, amikor a cserélhető kationok hidratálódnak, a bázislap-távolság növekedés ( $\Delta d_{0,01}$ ) 0-1,2 nm közötti, a második paszta vagy folyékony gélállapot, a  $\Delta d_{0,01}=2,0$ -tól néhány tíz nm-ig változik a víztartalomtól függően, a harmadik pedig, amikor a híg montmorillonit-szuszpenzióban egyedi hármas rétegekre esnek szét a lamellakötegek (NEMECZ, 1973).

A montmorillonit tetraédres és oktaédres rétegében is az izomorf helyettesítés az egyaránt jellemző, melynek eredményeként lokalizált töltések alakulnak ki. A kristályon belüli állandó negatív töltésfelesleg elektromos kettősréteget hoz létre. A külső réteget a rácsöltések

kompenzálására a bázislapokon cserepozícióban lévő kapcsolódó kationok alkotják, melyek jelenléte biztosítja az agyagásvány hidrofíl karakterét.

Az összes szervetlen kation vonzza a vízmolekulákat, vízklaszterek alakulnak ki a kationok körül. A különböző kationokkal telített agyagásványok vízadszorpciója (higroszkóposága) jelentősen eltérő. Nagy hatással vannak az adszorbeált kationok az agyag vagy az agyagos talajok duzzadására is. Ha pl. a bentonitot különböző kationokkal telítjük, a duzzadásértékekben (%-ban kifejezve a duzzadás mértékét) a következő különbségeket tapasztalhatjuk (STEFANOVITS, 1975):  $\text{Na}^+$ : 11,  $\text{K}^+$ : 8,5,  $\text{Ba}^{2+}$ : 2,5,  $\text{Ca}^{2+}$ : 2,5 % a duzzadás mértéke.

A montmorillonit-szuszpenzió stabilitása függ a részecskék felületén kialakult elektromos kettősréteg szerkezetétől. A kettősréteg elmélet szempontjából a montmorillonit a konstans felületi töltéssűrűségű, síkfelületű rendszerek tipikus példája (THENG, 1979; FREY és LAGALY, 1979; van OLPHEN, 1963; HEATH és TARDOS, 1983), mivel a felület negatív töltése (állandó töltés) a kristályrácsban lévő izomorf helyettesítések következménye. A felületi töltéssűrűség általában 0,10-0,15 C m<sup>-2</sup> nagyságú (LAGALY, 1985). A szilikátrétegek töredezésével keletkező részecskék élének pH-függő töltése azonban a bázislapok töltéséhez viszonyítva csaknem elhanyagolható, mivel az élek felülete a teljes felületnek mintegy 5%-a (THENG, 1979).

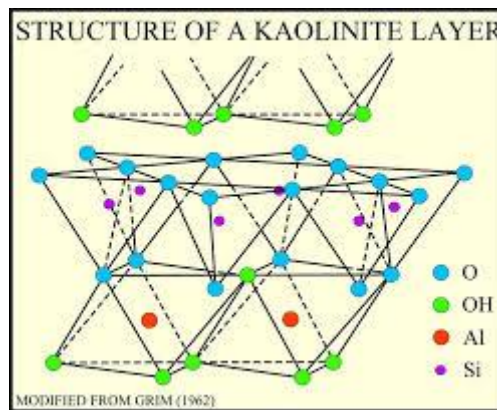
A montmorillonit-szuszpenzió tulajdonságai szempontjából az élek eltérő sajátságai viszont lényegesek. Az éleken anioncsere játszódhat le. Az anioncsere-kapacitás a pH-tól függ, nagysága 12,5  $\mu\text{ekv g}^{-1}$ -ről 2  $\mu\text{ekv g}^{-1}$ -re csökken, ha a pH értéke 3-ról 7-re növekszik (GREENLAND és MOTI, 1978).

Az élek izoelektromos pontjánál alacsonyabb pH-értékeken él-lap heterokoagulált szerkezet alakul ki a pozitív töltésű élek és a negatív töltésű lapok közötti kölcsönhatással (THENG, 1979; FREY és LAGALY, 1979; van OLPHEN, 1963). Az él-lap kölcsönhatás függ az elektrolit-koncentrációtól (HEATH és TARDOS, 1983). Megszüntethető a pH növelésével, valamint az élek töltésének semlegesítésével vagy az élek áttöltésével (THENG, 1979; FREY és LAGALY, 1979; van OLPHEN, 1963). Az él-lap kölcsönhatás során kialakult szerkezet alapvető jelentőségű a montmorillonit-szuszpenzió gélesedésében, viszkozitásában és reológiai tulajdonságai szempontjából (THENG, 1979; van OLPHEN, 1963; HEATH és TARDOS, 1983, cit. MAJZIK, 2007). A kontroll- és tenzides kezelési módszerek meghatározásánál a talajszuszpenziók elektrolitkoncentrációját illetve pH-áját nem vizsgáltam, mivel ezen paraméterek alkalmazása eltérő mértékben befolyásolná a vizsgált talajfizikai paramétereket, a kezeléseket hatásait, illetve a talajfizikai szempontú összefüggésvizsgálatokat. Hazai talajfizikai kutatásokban hasonlóképpen MIÓKOVICS és munkatársai (2011), CSATÁRI és MAKÓ (2012),

CSATÁRI és munkatársai (2013), BARNA és munkatársai (2012, 2015) is az elektrolitkoncentráció és a pH beállítása nélkül végeztek tenzides kezelést.

### Kaolinit jellemzése, főbb tulajdonságai

A kaolinit kettős rétegrácsú (1:1, azaz TO) agyagásvány (2. ábra), amely  $\text{SiO}_4^{4-}$  tetraéderekből és alumínium-oxid oktaéderekből épül fel (NEMECZ, 1973). Az idealizált kristály elemi cella összetétele:  $\text{Al}_2\{(\text{OH})_4/\text{Si}_2\text{O}_5\}$ .



2. ábra

A kaolinit rétegszerkezete (Forrás: POPPE és munkatársai, 2001)

A kaolinit egyik jellemző tulajdonsága a kationcserélő képessége, amely nem túl nagy, 0-15 mekv/100g érték (SALMANG és SCHOLZE, 1982). Az anioncsere-kapacitása 7-20 mekv/100g. A cserélhető kationok megkötése a szerkezet alapján magyarázható. Amennyiben a rácsonok helyettesítése nem sztöchiometrikus, úgy a rács negatív töltésfelesleggel rendelkezik. Ennek kompenzálására a bázislapokon kationok kötődnek meg. Ezek a kationok megfelelő körülmények között kicserélhetők.

A kaolinit kristályok nem duzzadnak, erre az erős rétegek közötti kötés utal. A kaolinit elektronmikroszkóppal vizsgálva többé-kevésbé jól meghatározott hexagonális lapok formájában jelenik meg, amelyek vastagsága 0,05-től 2  $\mu\text{m}$ -ig terjed (THENG, 1979).

A rétegeket összetartó erők elsősorban az egymást követő kettősrétegek oxigén és hidroxil síkjai közötti hidrogénkötések. Ennek megfelelően a kaolinit részecskék felületén elektromos kettősréteg alakul ki, amelynek belső fegyverzetét maga a kristályrács alkotja, külső fegyverzete pedig a kicserélhető kationok diffúziós rétege. A bázislapok negatív, az élek pedig pozitív töltésűek. Az élek pozitív töltése az Al-OH csoportok protonmegkötő képessége révén alakul ki. MASHALI (1977) a kaolinit pH- és elektrolit koncentrációfüggő töltésmennyiségét vizsgálta. Mérései szerint a Na-kaolinit esetén a pozitív töltések mennyisége 10-18 mekv/g érték között

változik, ha a pH 3-ról 9-re növekszik, 5 mmol/dm<sup>3</sup> elektrolitkoncentrációnál. Ha a kristály felső lapjának (oktaéder felüli lap) negatív töltése izomorf szubsztitúciónak köszönhető, akkor az pH-tól független. Az alsó bázislap (tetraéder felüli lap) esetén, savas pH-n a pozitív töltés látszólagos, amely viszont egy pH-függő negatív töltést eredményez. Egyes kutatók a kaolin önflokkulálását – FREY és LAGALY (1979) szerint heterokoagulálását – az ellentétes töltésű lapok és élek kölcsönhatásának tekintik.

### Vas-oxidok jellemzése, főbb tulajdonságai

A litoszférában az oxidok legnagyobb részét a vas-oxidok és -hidroxidok alkotják. A vas a litoszféra harmadik leggyakoribb eleme, mely igen változatos formában (hematit, goethit, magnetit, stb.) fordul elő. Talajokban közös jellemzőjük, hogy a felületükön képesek megkötni a különféle szerves anyagokat, szerves anionokat illetve a kationokat, ezáltal megváltoztatva ezek szabad formáinak koncentrációját (FILEP, 1988). A különböző kristályszerkezetű vas-oxidok részecskéi rendszerint kolloidméretűek (pl. ferri-hidritek ~5-10 nm, a goethit és a hematit ~10-50 nm) (CORNELL és SCHWERTMANN, 1996).

Víz jelenlétében a vas atomok hidroxo-komplextet alkotva koordinálódnak. Az oxidok felülete, eltekintve a mesterséges száraz körülményektől, rendszerint az adszorbeált vízmolekulák disszociatív kemisorpciójával képződő felületi hidroxil-csoportokkal borított. A vas-oxidok hidroxileződése gyorsan végbemegy, melyet további vízmolekulák adszorpciója követ. Az adszorbeált víz hidrogénhidakkal kötődik a felületi hidroxil-csoportokhoz. A Fe-OH csoportok felületi sűrűsége függ a kristályszerkezettől és a különböző kristálylapok kifejltségének mértékétől (CORNELL és SCHWERTMANN, 1996; cit. MAJZIK, 2007).

#### 2.1.2. Talajok szerves alkotói

A talaj szerves anyagainak egy része a növényi (lignin, cellulóz, fehérje, pektin stb.) és állati (fehérjék, zsírok stb.) eredetű anyagok bomlásakor keletkező, ismert szerkezetű vegyületek. Ezek a szénhidrátok, fehérjék, zsírok, N-tartalmú szerves vegyületek (amino- és nukleinsavak), lignin, szerves savak (hangyasav, ecetsav, tejsav, stb.) és szerves foszforvegyületek. A talaj szerves anyagainak másik, - jelentősebb - része a bomlástermékek átalakulása révén keletkezik. A fenti bomlástermékekből fizikai, kémiai és mikrobiológiai folyamatok során keletkező, kolloid természetű biopolimer anyagok humin- vagy más néven humuszanyagok (FILEP, 1988; THENG, 1979).

## Humuszanyagok jellemzői, típusai

A humuszanyagok viszonylag nagy molekulatömegűek. Színük a sárgásbarnástól a feketéig változik. Policiklusos, aromás alapvázzal rendelkeznek, jellemzőjük a nagy moláris tömeg, a biológiai stabilitás, a savasság, a szabadgyök tartalom, a nagy komplexképző hajlam, a szerkezet heterogenitás, a savasság, a polidiszperzitás és a hasonlóság a fizikai-kémiai tulajdonságokban. A humifikációs folyamatok a talajban általában aerob körülmények között mennek végbe.

A talajok humuszanyagainak összetétele és szerkezete nem egységes, széleskörű vizsgálatainak ellenére is csak kevésbé ismert. A humuszanyagokat eltérő oldhatósági tulajdonságaik alapján frakcionálják. A lúgos kezelés nem oldható maradéka a humin, az oldódó rész savval kicsapható frakciója a huminsav, amelyből alkoholos extrahálással a himatomelánsav nyerhető ki, a savas kezelés után az oldatban maradt frakció pedig a fulvósav (FILEP, 1988).

A humusztartalom befolyásolja a talaj szerkezetét, ezáltal a makropórusok méretét (TÓTH és munkatársai, 2014).

### 2.1.3. Szerves-ásványi komplexek

A szerves-ásványi komplexek a talajban lejátszódó mállási és humifikációs folyamatokban alakulnak ki (WERSHAW, 1993). A szerves talajkolloidok (humuszanyagok) kölcsönhatásával képződő szerves-ásványi komplexek alapösszetételének és a környezettől függő kölcsönhatásának lényegi szerepe van a kialakuló talajszerkezetben. Az organo-minerális komplexek mikroaggregátumok képzésére való hajlama és térbeli elrendeződése fontos szerepet tölt be a talajok szerkezeti, fizikai tulajdonságaiban (EMERSON és munkatársai, 1986).

A talajokban, a szerves-ásványi komplexek kialakulásánál a kationhidak szerepe jelentős, amely kétféleképpen alakulhat ki. A szerves anyagok a szerves komponensekhez kapcsolódhatnak közvetlenül az ásványi felülethez kötődve – többértékű kationok által képzett hidakon keresztül – közvetve (szerves anionok), hidrogénhidakon át az agyagásvány oxigénjeihez kapcsolódva, van der Waals erővel, észterkötéssel (savas jellegű szerves anyagok és agyagásványok).

A talajok környezeti és agrokémiai, valamint biológiai szempontból is alapvető fontosságú fizikai tulajdonságait jelentősen meghatározza a szerves-ásványi komplexek szerkezete és kolloid stabilitása a vizes talajszuszpenziókban. A szerves-ásványi komplexek kialakulásával, képződésük

pH- és több vegyértékű kationkoncentráció függésével, tulajdonságaival számos irodalom foglalkozik (FILEP, 1988; THENG, 1979).

A szerves fedőréteg hozzájárul az illit tartalmú kolloidok flokkulációjához, mivel a felületen kötött szerves anyagoknak szerepe van a talajkolloid szuszpenziók stabilitásában (SPOSITO, 1984).

## **2.2. A talajszerkezet felépítése**

A talajszerkezetet a talajt alkotó ásványi és szerves alkotórészek anyagalmazai alkotják. A talaj szerkezetét alapvetően meghatározza a szilárd alkotórészek alakja és nagysága. A talaj szilárd fázisát szerves és szerves szemcsék, illetve ezek csoportosulásából kialakult szerkezeti halmazok, úgynevezett aggregátumok összessége alkotja, melynek térbeli elrendeződése alakítja ki a talaj szerkezetét. A talajszerkezet alapvetően meghatározó szerepet képvisel a talajok fizikai, kémiai és biológiai folyamataiban.

Az aggregátumok méret szerinti megoszlása és a strukturális szerkezet között összefüggés van. A pórusok formája, alakja meghatározó szerepet képvisel a talaj textúrájában, illetve az aggregátumok méretszerinti eloszlásának jellemzőjében. Gyakran használják a strukturálatlan kifejezést, hogyha a talajnak nincs megfigyelhető makroszkópikus szerkezeti jellemzője (NIMMO, 1997).

A talajok morfológiai tulajdonságát a szerkezeti elemek alakja és nagysága jellemzi (HUISZ, 2012). A szerkezet változatos kiterjedést mutat, mivel a makroszkópikus szerkezet a legtöbb talajban közvetlenül megfigyelhető. A mikroszkópikus szerkezet kevésbé érzékelhető, viszont a talajok vízáramlási tulajdonságaiban is fokozott szerepet játszik (NIMMO, 1997).

### **2.2.1. Talajok szerkezetét felépítő aggregátumok**

Az aggregátumok a talaj szerkezeti egységei: ásványi részecskéknek szerves vagy szerves vegyületekkel való összekapcsolódásával létrejött másodlagos képződmények (KAY, 1998; DUIKER és munkatársai, 2003; LAL, 1991; STEFANOVITS és munkatársai, 1999). Az aggregátumok általánosan náluk kisebb, különböző méretű szerkezeti egységekből épülnek fel változatos kötőelemek és mechanizmusok hatására (TISDALL és munkatársai, 1982).

Az aggregátum részecskék kialakulásában kiemelt szerepet képviselnek a szerves (humín-, fulvósavak stb.) vagy szervesetlen (Fe-Mn-oxidokat vagy hidroxidok stb.) vegyületek (MEUNIER, 2010).

### 2.2.2. Aggregátumok kialakulása, csoportosítása, aggregátum-stabilitás

Az aggregátum frakciók nagysága és tulajdonsága függ a vizsgált talaj tulajdonságaitól. Számos szerző önkényesen jelöli ki az aggregátum frakciók mérettartományait (STEFANOVITS és munkatársai, 1999).

Az aggregátumok nagyobb egységeket is alkotnak, amelyek a talajok szerkezeti elemeit képezik rögök, makroaggregátumok formájában. (MEUNIER, 2010).

A hazai szakirodalom a talaj aggregátumait 10 µm-nél kisebb és 10-250 µm méretű első- és másodrendű mikro-, 250-1000 µm méretű makro- és 10000 µm-nél nagyobb megaaggregátumokra különíti el. A mikroaggregátumok képezik a por-, a makroaggregátumok a morzsa-, a mega-aggregátumok pedig a talaj rögfrakcióját. A szerkezeti egységek vázát a 2 µm-nél nagyobb szemcsék képezik, az ennél kisebb méretű részecskék (az ásványi és szerves kolloidok) pedig a vázrészek kompakttá válásában vesznek részt (STEFANOVITS és munkatársai, 1999).

A nemzetközi szakirodalom a 250 µm-nél nagyobb aggregátumokat makro-, a 250 µm-nél kisebbeket mikroaggregátumoknak nevezi (EDWARDS és munkatársai, 1967; TISDALL és munkatársai, 1982; ELLIOTT, 1986; MILLER és munkatársai, 1990; OADES és munkatársai, 1991). Az aggregátum kategóriákat 4 frakcióra osztották: >2000 µm nagy makroaggregátumok (1. frakció), 250-2000 µm kis makroaggregátumok (2. frakció), 53-250 µm nagy mikroaggregátumok (3. frakció), <53 µm kis mikroaggregátumok (4. frakció) (HUISZ, 2012). Mind a hazai, mind a nemzetközi szakirodalomnak megfelelően a 250 mikrométer értékhatár feletti (250-2000 µm) makroaggregátumok vizsgálatát alkalmaztam az előkezelt, bolygatott talajmintáimon is. A hazai szakirodalom szerint a 250-2000 µm frakció esetében *makro és megaaggregátumokról* beszélünk, míg a nemzetközi kategória alapján *kis makroaggregátumokról*. Az aggregátum-stabilitás értékelésem leírásához a *makroaggregátum* kategóriát adtam meg.

### Az aggregátumok kialakulása

Az aggregátumok kialakulásáról számos elmélet született. HADAS (1987) modellje szerint a legalacsonyabb nagyságrendi egység pár ásványi szemcse összekapcsolódása szerves ragasztóanyagok hatására, melynek eredményeként az agyagszemcsékből 5 µm-es agyaglemezek

vagy -pelyhek (ún. domain-ek) képződnek (EMERSON 1959, 1977; TISDALL és munkatársai 1982).

A következő nagyságrendű szerkezeti egység az agyaglemezek vagy -pelyhek összekapcsolódásával létrejövő ún. klaszterek vagy csomók, majd ezek egy nagyságrenddel nagyobb szerkezetet képezve mikroaggregátumokká állnak össze. Azonban nem minden említett nagyságrendi kategória alakul ki minden talajtípusban (DEXTER, 1988; CHRISTOPHER és munkatársai, 1996), mint pl. a szerkezetnélküli homoktalajokban, talajképző kőzetekben pl. lösz talajban.

Az aggregátumok méretbeli felosztásáról és tulajdonságaikról TISDALL és munkatársai, (1982); OADES és munkatársai, (1991) közölnek áttekintést. A „mérettartomány szerinti aggregátum elmélete” szerint a mikroaggregátumok összekapcsolódásával makroaggregátumok jönnek létre, illetve a mikroaggregátumok belső kötési erősebbek, mint a makroaggregátumokban levők (EDWARDS és munkatársai, 1967; BRONICK és LAL, 2005). A talajlakó mikrobák a szerves anyag lebontása közben ragasztóanyagot termelnek és választanak ki, melyek hatására a makroaggregátum egyre ellenállóbb lesz a lebontással és az egyéb fizikai hatásokkal szemben. Végül a makroaggregátum belsejében mikroaggregátum képződik (DI GLÉRIA és munkatársai, 1957; JASTROW és munkatársai, 1998; SIX és munkatársai, 1999, 2000a; BRONICK és LAL, 2005).

BRONICK és LAL (2005) szerint a makroaggregátumok feltehetőleg nagyszámú mikroaggregátum felhalmozódásával, vagy „növényi szerves anyag maradvány mag”, vagy „mikrobiális mag” körül keletkeznek, majd később lebomlásukkor mikroaggregátumokká esnek szét vagy bomlanak le. A mikroaggregátumok valószínűleg előbb agyagrészecskék, szervesanyag-szemcsék és kationok összekapcsolódásával keletkeznek, vagy a makroaggregátumok életciklusának termékei. A kisméretű ásványi vagy szerves elemi szemcsék képesek az aggregátumok külső felszínén megtapadni és ott felhalmozódni, így növelni az aggregátumok méretét. A mikro- és makroaggregátumok egymásba alakulásának aránya befolyásolja a talaj szerves anyagának előfordulási formáját (SIX és munkatársai, 2000a, 2004).

### **Az aggregátumok keletkezését befolyásoló tényezők**

Az aggregátumok kialakulását jellemzően befolyásolja a talaj szervesanyag-tartalma, a talajlakó élőlények élettevékenysége, a kapcsoló ionok jelenléte, a talaj agyag- és karbonát-tartalma, nedvesedése és száradása, a talaj hőmérséklete (fagy) és a növényi gyökerek jelenléte is. A talaj szervesanyag-tartalma az aggregátumok képződése során ragasztóanyagként funkcionál,

majd a kialakuló aggregátumok központi magját alkotja. Mindezek hatására az ásványi részek aggregátumokká kapcsolódnak össze, illetve az aggregátumok stabilitása, vízállósága is növekszik (HUISZ, 2012).

A kationok, mint  $\text{Si}^{4+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  és  $\text{Ca}^{2+}$  fokozzák az ásványi szemcséket ragasztó anyagok kicsapódását és összekapcsolják az ásványi és szerves szemcséket, így aggregátum képző hatásúak. Amennyiben a talaj kémhatása enyhén savas, az oldódásnak ellenálló szerves anyagok képesek komplexet képezni a  $\text{Fe}^{2+}$  és  $\text{Al}^{3+}$ -ionokkal, így mozgékony fém-szerves komplexek jönnek létre, amelyek a talajban bárhol kicsapódhatnak. Ez a típusú komplexképződés csökkenti a szerves anyag mikrobiológiai hozzáférhetőségét és a mineralizációt (BRONICK és LAL, 2005).

### **Az aggregátum frakciók stabilitása, és az azt befolyásoló tényezők**

Az aggregátumok akkor tudják agronómiai szempontjából fontos szerepüket ellátni, vagyis biztosítani a megfelelő talajszerkezetet, ha képesek ellenállni a művelő eszközök és a víz romboló hatásának (DI GLÉRIA és munkatársai, 1957; VÁRALLYAY, 2002). Ez a tulajdonságuk az aggregátum-stabilitás. Ha az aggregátumok nem képesek elviselni ezt az aggregátum-romboló erőt, akkor kisebb aggregátumokká vagy aggregátum-törmelékké, esetleg elemi talajszemcsékké esnek szét. Ennek következtében a pórustér jellege megváltozik (eltömődik), és a talajszerkezet minősége leromlik (BIRKÁS és munkatársai, 2002). A nagyobb aggregátumok a mechanikai hatásokkal szemben kevésbé ellenállóak, mint a kisebbek (DEXTER, 1988; CHRISTOPHER és munkatársai, 1996; HADAS, 1987). HADAS, (1987) és DEXTER, (1988) szerint egy adott nagyság szerinti csoport szétesésekor a nála nagyobb szerkezeti egységek is részekre esnek szét, de az annál kisebb egységek sértetlenek maradnak (BRADY 1990; TISDALL és munkatársai, 1982; CHRISTOPHER és munkatársai, 1996; cit: HUISZ, 2012).

A makroaggregátumok stabilitásáért részben az élő növényi gyökerek és a gombahifák felelősek (OADES és munkatársai, 1991). Ezek pusztulásakor a makroaggregátum stabilitása kezdetben nagymértékben, majd fokozatosan lassulva csökken (OADES és munkatársai, 1991). A makroaggregátumok szétesésekor 53-250  $\mu\text{m}$ -es mikroaggregátumok szabadulnak fel, amelyek lényegesen stabilabbak, mint a nagyobb aggregátumok. A mikroaggregátumok stabilitását főleg a belsejükben található ásványi részecskékhez nem kötött szerves anyag szemcsék mennyisége befolyásolja (OADES és munkatársai, 1991, cit. HUISZ, 2012).

A mikroaggregátumok nagyfokú stabilitását az agyagrészecskék, az aromás humuszanyagok és a kicsapódó vas-és alumínium-vegyületek között kialakuló tartós kötések okozzák, illetve ebben a talaj agyagásvány-összetételének is fontos szerepe lehet (SIX és

munkatársai, 2000b). A mikroaggregátumok stabilitása kisebb mértékben függ a talaj szervesanyag-tartalmától, ill. a talajművelési eljárásoktól, mint a makroaggregátumok stabilitása (TISDALL és munkatársai, 1982; CHRISTOPHER és munkatársai, 1996; cit. HUISZ, 2012).

## 2.3. Talajok fizikai tulajdonságai

### 2.3.1. Mechanikai összetétel összefüggése egyéb talajfizikai tulajdonságokkal

A talaj szilárd fázisának ásványi részét elemi szemcsék, mikro- és makroaggregátumok, valamint nagyobb szerkezeti elemek alkotják. A talaj mechanikai összetételén az elemi szemcsék méret szerinti megoszlását értjük (BUZÁS, 1993).

A talajok szilárd fázisában- a kolloiddiszperz részecskéktől a durva homokig (esetenként a néhány cm átmérőjű kőzettörmelékgig) igen sokféle méretű komponens található. A különböző nagyságú ásványi szemcsék mennyisége, illetve részaránya döntően befolyásolja a talaj fizikai és fizikai-kémiai sajátosságait. A talajszemcsék mérete között fokozatos és folyamatos az átmenet, a fizikai sajátosságok viszont bizonyos mérethatárok fölött, illetve alatt ugrásszerűen változnak (STEFANOVITS és munkatársai, 1999).

A szemcsék méret szerinti csoportosítására több javaslat született. Ezek közül elsősorban a Nemzetközi Talajtani Társaság által is elfogadott – és nálunk is régóta használt – Atterberg-féle, valamint az USA Talajtani Szolgálatánál alkalmazott osztályozás terjedt el. A 2 mm-nél kisebb szemcséket három fő frakcióba: homok-, iszap- (por-, kőzetliszt-) és agyagfrakcióba lehet besorolni, s ezeket egyes rendszerekben további alcsoportokra osztják (STEFANOVITS és munkatársai, 1999).

A talaj mechanikai összetételének meghatározásakor leggyakrabban alkalmazott (pipettás, hidrométeres) eljárásokkal a talajszuszpenzióban ülepedő különböző méretű szemcsék mennyiségét határozzuk meg (GEE és BAUDER, 1986). A pipettás és a hidrométeres eljárás során azonos előkészítést alkalmaznak (LIU és munkatársai, 1996). A mérések a talajszemcsék ekvivalens átmérője és az ülepedési sebessége közötti összefüggésen alapszanak (VÁRALLYAY, 1993). A módszerek hátránya az, hogy relatív nagy mintatömeget igényelnek és időigényesek (különösen a 2  $\mu\text{m}$ -nél kisebb méretű frakció esetében) (LOVELAND és WHALLEY, 2001; cit: MAKÓ és HERNÁDI, 2010).

Napjainkban, a hazai gyakorlatban leggyakrabban az alábbi mechanikai összetétel vizsgálati eljárásokat alkalmazzák:

- A hazai mechanikai összetétel (MSZ-08.0205-78 MÉM) vizsgálat alapján a szemcseméret határai: 2000-20  $\mu\text{m}$  homok, 20-2  $\mu\text{m}$  por, 2  $\mu\text{m}$  > agyag.
- A nemzetközi FAO (ISO/DIS 11277/1995.) szabvány szerinti szemcseméret határok: >1000  $\mu\text{m}$ , 1000-500  $\mu\text{m}$ , 500-250  $\mu\text{m}$ , 250-100  $\mu\text{m}$ , 100-50  $\mu\text{m}$  ((durva por: 50-20  $\mu\text{m}$ , finom por: 20-2  $\mu\text{m}$  és agyag: 2  $\mu\text{m}$ >).
- A lézeres mechanikai összetétel szemcseméret-eloszlás tartománya: 0,3-300  $\mu\text{m}$  (HERNÁDI és munkatársai, 2008).

Különböző ipari alapanyagok szemcseméret eloszlásának vizsgálatánál terjedt el a lézer diffrakción alapuló mechanikai összetétel vizsgálat (KONERT és VANDENBERGHE, 1997; RAMASWAMI és RAO, 2004; BEUSELINK és munkatársai, 1998; cit. MAKÓ és HERNÁDI, 2010). A gyakorlatban kevésbé gyakori mechanikai összetétel vizsgálatok közé tartoznak az Atterberg-féle iszapolás, Andreasen-pipettás, valamint a szedimentációs mérleges és szívócsöves eljárás (MAKÓ és HERNÁDI, 2010).

Az ásványi szemcse frakciók eltérő funkciót töltenek be a talajban, amit ásványi összetételük és fajlagos felületük befolyásol (STEFANOVITS és munkatársai, 1999; cit. HUISZ 2012).

A mechanikai összetétel meghatározásánál a talajokat alkotó elemi szemcsék méret szerinti megoszlását vizsgáljuk. A mérések főbb szakaszai: a **talaj-aggregátumok** roncsolása elemi alkotókká, az elemi szemcsék tartós diszpergálása, a diszpergált részek méret szerinti szeparálása (MAKÓ és HERNÁDI, 2010; BOUMA, 1989; RAJKAI, 1988, 1996).

A talaj mechanikai összetételének ismerete kiemelt jelentőségű, mivel a szemcsefrakciók *fajlagos felülete* döntő mértékben meghatározza a talaj *vízvisszatartó-képességét* (RAJKAI és munkatársai, 1981; VÁRALLYAY, 2002).

A talajok szemcse- és pórusméret eloszlása között összefüggés van (ARYA és PARIS, 1981). A szemcseeloszlást és a pF-görbét – pF: vízoszlop cm-ben kifejezett értékének logaritmus. A pF görbe: Ha a talaj nedvességtartalmát a pF függvényében ábrázoljuk, olyan pF-görbe szerkeszthető, amelyről a talaj különböző erővel kötött nedvességfrakcióinak mennyisége közvetlenül térfogatszázalékban olvasható le (VÁRALLYAY, 2002)- leíró függvénynek az átlagos meredekségét jellemző paramétere között szignifikáns pozitív korreláció van (RAJKAI, 1988). A talajok szemcse-eloszlásából számítható a pórusméret-eloszlás, amelyből becsülhető a nedvességtartalom (TIETJE és TAPKENHINRICHS, 1993).

BRIGGS és McLANE (1907) a mechanikai összetétel és szervesanyag-tartalom alapján becsülte a talajnedvességi egyenértéket, valamint a talaj kapilláris pórusai által visszatartott egyensúlyi talajnedvességet (cit. TÓTH, 2010).

Az 1950-1980-as időszakban főként a talajok mechanikai összetételének, térfogattömegének és szervesanyag-tartalmának a víztartó képességre gyakorolt hatását vizsgálták a higroszkópos, a szántóföldi vízkapacitás és a holtvíztartalom nedvességértékeken. Az 1960-as évektől egyre gyakrabban kutatták a talaj szemcseeloszlása és víztartó képessége közötti összefüggést, vizsgálták a víztartóképesség-értékek *különböző függvényekkel* történő leírását (BROOKS és COREY, 1964; SALTER és WILLIAMS, 1967; BRUTSAERT, 1966). A talaj részecskeméret-eloszlása (mechanikai-összetétel) és nedvességtartalma befolyásolhatja a telítetlen talajok kapilláris vezetőképességét (KHALEEL és munkatársai, 1995).

### 2.3.2. Talaj térfogattömegének összefüggése egyéb talajfizikai tulajdonságokkal

A talajokat különböző méretű szemcsék alkotják, így a szilárd szemcséket a különböző anyagok mikro-és makro-aggregátumokká ragasztják össze (FÜLEKY, 2008). Az ilyen aggregátumok és a nagyobb szerkezeti elemek illeszkedésének szorosságát a térfogattömeg jellemzi (RAJKAI és munkatársai, 1981), VÁRALLYAY, 2002). E talajparamétert meghatározza a talaj levegő, víz és szilárd fázisainak aránya, valamint külön-külön az egyes frakciók térfogattömege is. Értékét a szárított talaj tömege és térfogata hányadosaként szokás megadni (McKENZIE és munkatársai, 2002).

A talaj tömörödöttség (térfogattömeg) ismerete gyakorlatilag elkerülhetetlen a modern agronómiában. Kimutatták, hogy a talaj tömörödése hatással van a talajvíz, hő és gáz áramlására (WARKENTIN, 1971; WILLIS és RANEY, 1971; GRABLE és SIEMER, 1968; LINN és DORAN, 1984; ASSOULINE és munkatársai, 1997). A kísérleteim során megfigyeltem, hogy a kapilláris vízemelés vizsgálatnál is kiemelt szerepe van a térfogattömegnek, hiszen a mesterséges oszlopok előállításánál alapvető szempont az egységes tömörítés, egységnyi tömegű talajminta adagolásával – MAKÓ (1995) is megállapította hasonló oszlopkísérleteken-, biztosítva a kapilláris vízemelkedés folyamatos mozgását, melyet az adott talajtípusra jellemző időgörbe ír le.

A talaj tömöríthetősége általában összefüggésbe hozható a talaj textúrájával, különösen az agyagtartalommal és az agyagásvány típusával (FAURE, 1981; ASSOULINE és munkatársai, 1997).

### 2.3.3. A talaj Arany-féle kötöttségének összefüggése egyéb talajfizikai tulajdonságokkal

KREYBIG, (1937); MADOS (1942) és ID. VÁRALLYAY (1942) már a negyvenes években közöltek tapasztalati összefüggéseket az Arany-féle kötöttségi szám, Mitscherlich-, Kuron- és Sík-féle higroszkóposág ( $H_y$ ,  $h_y$ ,  $hyf$ ), valamint a vízkapacitás és a holtvíztartalom közötti kapcsolatra vonatkozóan (Di GLÉRIA és munkatársai, 1957).

## 2.4. Talajok vízgazdálkodása, vízháztartása

A talajok vízgazdálkodását a bennük tárolható víz mennyisége, annak mozgékonyasága (növények általi felvehetősége), valamint a nedvesség térbeli és időbeli változása alapján lehet jellemezni. A talajok vízgazdálkodása befolyásolja a termesztett növények víz- és levegőellátását, illetve a talaj biológiai aktivitását (STEFANOVITS és munkatársai, 1999). A talaj háromfázisú rendszerében lévő folyadékmozgás egzakt ismerete alapvető pl. beszivárgás, az evaporáció, az aszályérzékenység, a talajvíz- és sóforgalma, a növény vízfelvétele, a növények vízellátása a talajvízből, a talaj anyag- és energiaforgalma, a talajvízből történő sófelhalmozódás stb. vizsgálatához (RAJKAI, 1984).

A talaj vízháztartása befolyásolja a talaj szerkezeti, technológiai tulajdonságait, így meghatározza a talajművelés idejét, típusát, valamint hatással van a pufferképességére is (VÁRALLYAY, 2004, 2005a, b).

A talaj vízháztartásának egyik meghatározó tulajdonsága a talaj víztartó képessége, amely lehetővé teszi azt, hogy a talajba szivárgó víz hosszabb ideig is raktározhatóvá váljon. A nedvességpotenciál írja le, hogy a talajnedvesség mely része milyen erők hatása alatt áll (VÁRALLYAY, 2002).

### 2.4.1. A talajnedvesség energiaállapota a talaj kapilláris rendszerében

A talaj nedvesség-tartalma a talajnedvesség energiaállapotával is jellemezhető, mely kifejezi, hogy a talaj nedvességtartalmának mely hányada milyen erők hatása alatt áll, mekkora erővel kötődik a talaj szilárd fázisának elemeihez, szemcséihez vagy szemcsehalmazaihoz. A talajnedvesség energiaállapotát, a talaj elemi szemcséinek, mikro- és makroaggregátumainak, szerkezeti elemeinek,

illetve az ezek közötti kialakult pórusoknak a mérete, alakja és térbeli elrendeződése határozza meg (VÁRALLYAY, 2002).

*Magas tenziótartományban* a talajok mikrostruktúrája (ásványi összetétel, agyagásványok típusa, állapota, kristályformája, a szerves és szervesetlen amorf kolloidok típusa, minősége és mennyisége), az elemi szemcsék tulajdonságai és az ebből adódó fajlagos felület határozza meg a nedvességállapotot, a talaj nedvességpotenciálját. *Alacsony tenziótartományban* viszont a diszperziófoknak, az aggregáció mértékének, illetve a talaj szerkezeti állapotának van kifejezett hatása, telített-közeli állapotban pedig a térfogattömeg által jellemezhető összporozitás hatása érvényesül (VÁRALLYAY, 2002).

#### 2.4.2. A talaj nedvességpotenciálja a talaj kapilláris rendszerében

BUCKINGHAM 1907-ben vizsgálta, hogy a talajnedvesség energiaállapota a *nedvességpotenciál-elmélet* által is leírható (cit. BAVÉR, 1956), tehát a talajnedvesség energiaállapota, termodinamikája összefüggést mutat a nedvességpotenciál-elmélet alapjaival (MAKÓ, 1995).

A *talajnedvesség összpontenciálja* ( $\Psi_t$ ) adott hőmérsékleten ( $t$ ) a tiszta víz egységnyi tömegére vonatkoztatott azon munkamennyiség, amelyet ahhoz kell befektetni, hogy a víz végtelenül kicsi mennyiségét reverzibilis és izoterm módon egy meghatározott állapotról a talaj folyadékfázisának egy másik meghatározott pontjára helyezzük át (RAJKAI, 1993).

A talaj nedvességpotenciálja *részpotenciálok* algebrai összege:  $\Psi_t = \Psi_g + \Psi_p + \Psi_m + \Psi_s$ . A *gravitációs potenciál* ( $\Psi_g$ ) az a munka, mely a folyadékfázis elszállításához szükséges egy meghatározott magasságból a talaj adott pontjának magasságába (VÁRALLYAY, 1973b). Az *oszmotikus potenciál* ( $\Psi_s$ ) a folyadékfázis eltérő koncentrációjú részei közt kialakuló koncentrációgradiens ellenében kifejtett munka, mely a tiszta víz meghatározott mennyiségének egy adott vonatkozási ponttól a talajoldat egy adott pontjába történő szállításához szükséges (YONG és munkatársai, 1992), valamint az oldható sók és a disszociáló adszorbeált ionok koncentrációkülönbségéből adódik (VÁRALLYAY, 2002, TÓTH, 2011). Talajfizikai szempontból kiemelt jelentőséggel bír a *mátrixpotenciál* ( $\Psi_m$ ), mely a talaj szilárd fázisa, a folyadékfázis és a levegőfázis határfelületein fellépő adhéziós és kapilláris (pl. a duzzadási és zsugorodási) erők hatását adja meg (MAKÓ, 1995). A talajnedvesség részpotenciáljait kifejező alapegyenletben a talajnedvesség energiaállapota az esetek túlnyomó részében jól jellemezhető a mátrixpotenciál mértékével (VÁRALLYAY, 2002). Azoknál a talajoknál, melyeknél a duzzadó agyagásványok dominálnak, a mátrixpotenciál a *nedvességpotenciál* és a *duzzadási nyomás potenciál* eredőjeként jellemezhető (RAJKAI, 1993).

A háromfázisú rendszerben a kapilláris erők, a hidrogénkötés, kovalens kötés, van der Waals-erők, ozmotikus erők energia (potenciál) formájában összeadódnak (KIRKHAM és POWERS, 1972). A "nedvességpotenciál-elmélet" által értelmezett kapilláris potenciál termodinamikai fogalom megegyezik a "kapilláris-cső elmélet" által is használt kapilláris nyomás (kapilláris szívóerő, kapilláris tenzió) fogalmával (MAKÓ, 1995).

### A talaj nedvességpotenciáljának kapcsolata egyéb talajfizikai paraméterekkel

A porózus közeg fizikai tulajdonságai összefüggést mutatnak a talajtextúrával, pórusméret-eloszlással, porozitással és a fajlagos felülettel (OR és TULLER, 1999). A talajok vízvisszatartó-képességét befolyásolhatja pl. az agyagásvány-összetétel, térfogattömeg stb. (BRUAND, 1990; NEMES, 2003; RAJKAI, 2004; PACHEPSKY és munkatársai, 2006; VEREECKEN és munkatársai, 2010).

A magasabb szívóerő tartományban többnyire a talaj mechanikai összetétele, fizikai félesége és szervesanyag-tartalma határozza meg a talajok víztartó-képességét, míg alacsony szívóerő tartományban ( $pF=0$  körül) a makropórusok szerepe érvényesül. A nagy homoktartalmú mintáknál elegendő a mechanikai összetétel vizsgálat. A nagy homoktartalmú talajokban a vízvisszatartó-képességet kevésbé befolyásolja a többi talajtulajdonság (TÓTH és munkatársai, 2014).

### 2.4.3. Higroszkóposág összefüggése egyéb talajfizikai tulajdonságokkal

Higroszkópos nedvességnek azt a vízmennyiséget nevezzük, amelyet a száraz talaj a környező légtér páratartalmából megköt. A higroszkóposág mértéke a légtér relatív páratartalmán túlmenően a víz adszorpciójára képes fajlagos talajfelülettől függ, ez pedig fordítva arányos a talajt alkotó szemcsék méretével. Egy talaj adott relatív páratartalmú légtérből annál több vízgőz megkötésére képes (illetve nedvességet tud visszatartani), minél nagyobb – a nagy agyagtartalmú talajoknál pl. réti talaj - a fajlagos felülete (MAKÓ, 2008; VÁRALLYAY, 2002).

Higroszkóposág meghatározására hazánkban a Sík-féle (*hy1*)- 32,2% relatív páratartalom,  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -, Mitscherlich (*Hy*) – 95,6 % relatív páratartalom, 10 %-os kénsav-, valamint a Kuron-féle (*hy*) – 33 % relatív páratartalom, 50%-os kénsav- módszert alkalmazzuk (BUZÁS, 1993). Az alapvető különbség e módszerek között, hogy eltérő relatív páratartalmú térben telítődnek a minták, valamint különböző vegyületeket (sók és vizes oldatok) alkalmaznak a

páratartalom beállításához. A kísérleteim elvégzéséhez a hazai talajtanban legáltalánosabban alkalmazott Sík-féle (*hy1*) módszert alkalmaztam.

A vízgőzadszorpció vagy higroszkóposság, mint határfelületi jelenség a talaj fajlagos felületével, illetve a környező légtér relatív páratartalmával szoros összefüggésben áll (BAVER, 1956; VÁRALLYAY, 1993; RAJKAI és munkatársai, 1981; VÁRALLYAY, 2002). A talaj higroszkóposági értéke és agyagtartalma közötti tapasztalati összefüggést először KOTZMANN (1938) és KREYBIG (1951) írta le (cit: TÓTH, 2010).

A higroszkóposági mérések során kapott eredmények által jól jellemezhető a magas tenziótartományok vízvisszatartása, melyeket azonban jelentős mértékben befolyásol a talajok sótartalmának hatása (VÁRALLYAY, 1973a). A higroszkópos nedvességtartalomtól következtetni lehet a fizikai talajféleségre is (BUZÁS, 1993).

#### 2.4.4. Légszáraz-nedvességtartalom összefüggése egyéb talajfizikai tulajdonságokkal

Az adszorbeált víztartalom mennyisége alapvetően a talajrészecskék fajlagos felületének a függvénye, így gyakorlatilag alapvetően nem befolyásolja a talaj tömörödöttségét. A térfogatszázalékban kifejezett nedvességtartalom és a térfogattömeg között ASSOULINE és munkatársai (1997) összefüggést találtak.

Id. VÁRALLYAY (1942) a növények hervadásponthoz tartozó talajnedvességet a légszáraz talaj nedvességének háromszorosával találta egyezőnek. KREYBIG (1951) a légszáraz talaj nedvességtartalma és a talaj egyes fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságai között összefüggéseket talált. A fenti megállapításokon túlmenően a kísérleteim során azt tapasztaltam a bolygatott, előkezelt talajmintákon is, hogy a légszáraz nedvességtartalom az egyik legszorosabb összefüggést a higroszkópossággal mutatta.

## 2.5. Diszperz rendszerek

Diszperz rendszer minden olyan anyagi rendszer, amelyben egy komponens egy másikban szétosztatott állapotban van jelen. Méret szerint megkülönböztetünk közöttük amikroszkópos, szubmikroszkópos és durva diszperz rendszereket. Az amikroszkópos rendszerek valódi oldatok, amelyekre jellemző, hogy a részecskék átmérője 1 nm-nél kisebb. Különleges helyet foglalnak el a szubmikroszkópos rendszerek, amelyek a kolloidok. A részecskék átmérője ez esetben 1-500 nm közé esik, de pl. az agyagásványok nagyon hasonló tulajdonságúak a kolloidokhoz, ezért a

talajtanban elfogadott a 2000 nm-es felső határ is. A durva diszperz rendszerek a mikroheterogén rendszerek, az átmérő ekkor a kolloid részecskénél nagyobb (szigorúan tekintve nagyobb, mint 500 nm (SZÁNTÓ, 1995).

### 2.5.1. Szuszpenziók jellemzése

A *szuszpenziók* olyan durva diszperz rendszerek, melyek folyékony közegben 500 nm-nél nagyobb ekvivalens sugarú szilárd részecskékre vannak diszpergálva. Azokat a szuszpenziókat, amelyekben a részecskék között taszító kölcsönhatás nem működik, ahol a részecskék a diszpergáló közegben gyakorlatilag egymástól függetlenül ülepednek, *inkoberens rendszernek* nevezzük. A *szemikoberens szuszpenziók* részecskéi között térben és időben nem állandó, hidrodinamikai kölcsönhatás jön létre áramlás hatására. *Koberens, strukturált szuszpenzióknak* tekintjük azokat a rendszereket, amelyekben a diszperz részecskék között tartós kölcsönhatás lép fel (PATZKÓ, 1996).

A szuszpenzió előállítását egy heterogén rendszer diszpergálásával vagy durva halmazok dezaggregálásával történhet. A diszpergálás folyamatában a rendszert aprítjuk, majd a részecskéket szétoszlatjuk a diszperziós közegben. Dezaggregálás esetén a kisebb-nagyobb adhéziós erőkkel összekapcsolódó részecskéket megfelelő hatással (szolvatáció-, ill. zeta-potenciál növeléssel) választjuk szét.

Vizes szuszpenzióban az összes poláris felület jól hidratálódik, az agyagásványok általában hidofil természetűek. Ilyenek a 2:1 rétegszilikátok, ahol nincs a kristályrácsban izomorf szubsztitúció, viszont az 1:1 rétegszilikátok lamelláinak külső sziloxán felületeit lényegében hidrofób természetűnek kell tekintenünk (JOHNSTON, 1996; cit. TOMBÁ CZ, 2003).

Spektroszkópiai vizsgálatok igazolják, hogy az agyagásvány-víz kölcsönhatás során a vízmolekulák képesek közvetlenül koordinálódni a cserélhető fémionokhoz, a fizissorbeált vízmolekulák a cserélhető kationok közötti interszticiális pórusokat, interlamelláris tereket, vagy a külső felületek poláris helyeit foglalják el (JOHNSTON, 1996).

A duzzadó 2:1 típusú filloszilikátok rétegek közötti terében lévő hidratált cserélhető kationok jelenléte biztosítja az agyagfelületek hidofil természetét. Az összes szervetlen kation vonzza a vízmolekulákat, e kölcsönhatás révén vízklaszterek alakulnak ki a kationok körül. A cserélhető kationok hidratációját befolyásolja az izomorf szubsztitúció helye is (GRANDJEAN, 1997; cit. TOMBÁ CZ, 2003). Vizes közegben diszpergált agyagszemcsék aggregáltságában, a kohézió általi negatív szabad energia jelentős szerepet képvisel (van OSS és GOOD, 1984; van OSS és munkatársai, 1995). A talajban és felszíni vizekben diszpergált kisméretű (kolloid, kisebb, mint ~1

$\mu\text{m}$  és durva, néhány  $\mu\text{m}$ -es) szilárd részecskék közötti koloid kölcsönhatások az ütköző részecskék összetapadása vagy diszpergálódása révén lényeges szerkezeti és részecske eloszlási változásokat eredményezhetnek pl. a talajok szerkezeti degradációja, a pH (pl. savas eső) vagy a sóösszetétel (pl. öntözés) megváltozása miatt (TOMBÁ CZ, 2003).

### 2.5.2. Részecske-részecske kölcsönhatás vizes rendszerben

A részecskék között vonzó és taszító kölcsönhatások lépnek fel, ezt a jelenséget a koloid stabilitás Derjaguin–Landau–Verwey–Overbeek (DLVO) elmélete írja le (ELIMELECH, 1995). A DLVO-elmélet szerint két egymáshoz közeledő töltött részecske közötti kölcsönhatási energia ( $V_T$ ) összetevői a részecskék között működő van der Waals erőktől, így a *dipól-dipól* (Keesom-féle), *dipól-indukált dipól* (Debye-féle) és az ún. *diszperziós* (London-féle) kölcsönhatásokból származnak. Többnyire a London-féle diszperziós erők járulnak hozzá a ténylegesen ható van der Waals kölcsönhatáshoz. A vonzási energia ( $V_A$ ), a részecskék és a közeg minőségétől, valamint a részecskék geometriájától függ (cit. TOMBÁ CZ, 2003).

A kettősrétegek közötti elektrosztatikus taszító erő ( $V_R$ ) a részecskék töltésállapotától, geometriájától és a közegben lévő elektrolit minőségétől és mennyiségétől függ. Az eredő potenciál a két hatás összegéből adódik:  $V_T = V_A + V_R$ . Ezeket a taszító és vonzó erőket napjainkban már „DLVO” erőknek, míg az adszorbeált rétegek jelenlétében fellépő rövid hatótávolságú úgynevezett szerkezeti erőket ( $V_S$ ) „nem-DLVO” erőknek nevezik (ELIMELECH, 1995). Ez utóbbi lehet taszítás pl. orientált víz molekulák, vagy vonzás a felületen levő hidrofób láncok esetén (cit. TOMBÁ CZ, 2003).

A diszperz rendszerre jellemző, hogy a részecskéi nagyobb halmazokká tömörülhetnek és aggregálódhatnak, melynek következtében a rendszer állapota megváltozik. A leggyakrabban előforduló aggregáció, a koaguláció lehet *diszkontinuos* (a gyakorlatban ezt nevezik koagulációnak) és *kontinuos* (folytonos). A *diszkontinuos koaguláció* a részecskék ütközése révén jön létre, előidézheti hőmozgás (perikinetikus), vagy az egyirányban ható (ortokinetikus) külső erő (nehézségi, centrifugális, elektromos stb.), amelynek hatására a polidiszperz rendszer részecskéi összetapadhatnak.

Amennyiben koaguláló szert (pl. elektrolit) adunk a rendszerhez, akkor annak hatására megváltozik a részecskék körüli elektromos kettősréteg szerkezete, így azok közel kerülhetnek egymáshoz, összetapadhatnak. Abban az esetben csökken le jelentősen a taszítás, ha a részecskék egymást a van der Waals erők hatótávolságán belül meg tudják közelíteni. Ez az állapot a töltések árnyékolásával, az elektrolitkoncentráció növelésével érhető el. A diszperz rendszerek az

összetapadás gátlásával stabilizálhatók (pl.: elektrosztatikusan, sztérikusan) (SZÁNTÓ, 1995; HUNTER, 1989; EVERETT, 1988). Az összetapadt részecskék kompakt halmaza a *koagulum*, a folyamatot *koaguláció*nak nevezzük.

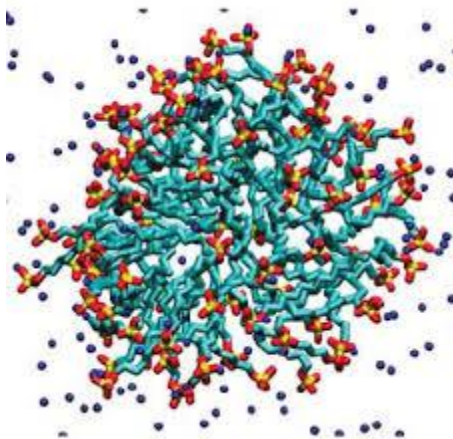
Az agyaglamellák (pl. montmorillonit) lapjai a részecskék töltésétől függően eltérően koagulálhatnak, így *homo-* és *heterokoagulálást* különböztetünk meg. *Homokoagulálásról* akkor beszélünk, ha azonos töltésű részecskék koagulálnak (pl. azonos minőségű oxid részecskék koagulálása, montmorillonit lamellák esetén a lap-lap kölcsönhatás), *heterokoagulálásról* pedig akkor, ha különböző töltésű részecskék koagulálnak (pl. a negatív töltésű montmorillonit lapok és egy fém-oxid pozitív töltésű részecske, illetve a montmorillonitra jellemző az él-lap kölcsönhatás) (TOMBÁ CZ, 2003).

### 2.5.3. Diszpergált, aggregált állapot jellemzése

A tömény rendszerekben a részecskék közötti vonzó kölcsönhatások eredményeként összefüggő térhálós, koherens szerkezet alakulhat ki. A létrejövő szerkezet szilárdságát a részecskék közötti kapcsolatok száma (koncentráció, méret, alak) és erőssége (adhézió és liofilitás) határozza meg. A kialakuló struktúra tulajdonságai befolyásolhatók a diszperziós közeg minőségének változtatásával, elektrolitok, felületaktív anyagok hozzáadásával, valamint a diszpergált részecskék felületi polaritásának módosításával (TOMBÁ CZ, 2003). Mivel a kísérleteim során a diszpergált talajszemcsék felületmódosításának hatását végeztem kationos felületaktív anyag hozzáadásával, így egyéb elektrolit hozzáadását nem alkalmaztam pl. a pH beállítást nem végeztem, mivel talajfizikai paramétereket vizsgáltam.

## 2.6. Asszociációs kolloidok

A poláris és apoláris csoportokat egyaránt tartalmazó amfipatikus molekulák a felületaktív anyagok, más néven tenzidek. A tenzidmolekulákból adott körülmények között kolloid méretű asszociátumok, más néven micellák keletkeznek (3. ábra).



3. ábra

Tenzid micella

(Forrás: [www.uni-miskolc.hu/~kemszori/KolloidKemia\\_2017\\_09.pdf](http://www.uni-miskolc.hu/~kemszori/KolloidKemia_2017_09.pdf))

A micellák meghatározott koncentrációjú oldatokban, megfelelő oldószerben és hőmérséklet tartományban alakulnak ki (PATZKÓ, 1996). Az úgynevezett kritikus micellaképződési koncentráció (CMC) felett az egyedi molekulák száma változatlan.

Az amfipatikus molekula vizes közegben megbontja (1. egyenlet) a vízmolekulák közötti kölcsönhatást ( $W_{\text{víz-víz}}$ ). A molekula poláris része jól hidratálódik, ez a kölcsönhatási energia ( $W_{\text{h-víz}}$ ) nagyságrendileg azonos a vízmolekulák közötti energiával. Az apoláris csoport vízmolekulákkal való kölcsönhatása jóval kisebb mértékű ( $W_{\text{c-víz}}$ ):

$$W_{\text{c-víz}} < W_{\text{h-víz}} \leq W_{\text{víz-víz}} \quad (1)$$

A vízben az apoláris csoport a micellamag belseje, míg a poláris része a külseje felé orientálódik, így a rendszer szabad energiája lecsökken, majd a vízmolekulák közötti kölcsönhatás visszarendeződik. A micellaképződés egy önként végbemenő folyamat, melynek során a keletkező kolloid oldat termodinamikai egyensúlyban van (PATZKÓ, 1996). Az amfipatikus molekulákból (tenzidekből) már kis koncentrációknál közel telített monomolekulás réteg keletkezik a határfelületen, melynek orientációja biztosítja a folytonos átmenetet a két fázis között. Ez a rendezettség egyben a felületi szabadenergia minimumát jelenti (Hardy-Harkins-elv).

Az asszociációs kolloidok (tenzidek) *eredetük szerint* lehetnek természetes anyagok (pl. koleszterin, lecitin, humátok), szintetikus anyagok (szappanok, detergensok), egyes szerves színezékek (metilénkék, kongóvörös). *Molekulaszerkezetük* szerinti felosztásuk: anionos (hidrofób részhez aniont tartalmazó hidrofil rész kapcsolódik), kationos (hidrofób részhez kationt tartalmazó hidrofil rész kapcsolódik), nemionos (a hidrofób részhez nem-disszociáló hidrofil rész kapcsolódik), amfoter (a hidrofil rész ikerionos természetű) felületaktív anyagok (PATZKÓ, 1996). A kationos tenzidek a negatív töltéssel rendelkező felületen elektrosztatikus kölcsönhatás révén kötődnek meg, majd az összes kötőhely elfoglalása után kialakul egy hidrofób réteg (GILES és munkatársai, 1960).

Az amfipatikus molekulák hidrofilitásának (vízhez való affinitásának) illetve lipofilitásának (olajhoz való affinitásának) mértékét a hidrofil-lipofil-balansz (*HLB*) értékkel jellemezzük. Az apoláris rész növekedésével rohamosan nő az asszociációs hajlam (PATZKÓ, 1996).

A hőmérséklet hatása az ionos és nemionos tenzidek viselkedésére nagyon különböző. Az ionos tenzidek oldhatósága a hőmérséklet növekedésével kezdetben kismértékben, az ún. *Krafft-ponttól* kezdve pedig meredeken nő, mert ekkor az oldat koncentrációja elérte a CMC értékét. Ilyenkor az oldott felületaktív anyag micellákat képez, miközben újabb molekulák oldódnak be nagy mennyiségben. A nemionos tenzidek oldhatósága vízben egy jellemző hőmérséklettől, a Cloud-ponttól, azaz a *felbősdési vagy zvarosodási ponttól* kezdve csökken (PATZKÓ, 1996).

Fentiekből következik, hogy a hőmérséklet jelentősen befolyásolja a CMC értékét. Ionos tenzideknél a hőmérséklet növekedésével eleinte csökken az asszociációs hajlam, de számos rendszerben egy minimum elérése után növekszik. A tenzidoldat koncentrációjának növekedésével a felületi feszültség meredek csökkenése a CMC-vel megszűnik, mivel a monomolekulás felületi réteg kialakulása a folyadék-gáz határfelületen (L/G) közel egybeesik az utóbbi értékével (PATZKÓ, 1996).

A felületaktív anyagok – típustól függően – a talaj számos fizikai, kémiai és mikrobiológiai jellemzőjét megváltoztathatják (DOBOZY és munkatársai, 1970; KUHNT, 1993), így a pH-t, a redox potenciált, az ioncsere kapacitást (KUHNT, 1993), a mikroorganizmusok aktivitását, populációinak összetételét (BANKS és munkatársai, 2014), továbbá hatással lehetnek a növények fejlődésére és sejtműködésére is (DOBOZY és munkatársai, 1970; KUHNT, 1993). A tenzidek talajba jutva csökkentik a felületi feszültséget, növelik az olajos szennyezések oldhatóságát, amelyek így könnyebben eltávolíthatóak. Ugyanakkor a felületaktív anyagok is társszennyezőkké válhatnak (cit. BARNA és munkatársai, 2015).

A tenzidek szerkezetképző tulajdonságát vizsgálták szerves közegben, miszerint jól nedvesednek, duzzadnak, dezaggregálódnak, jó szerkezetképzési tulajdonságokkal rendelkeznek.

A szerkezetképzési tulajdonságokat befolyásolja az adszorbeált szerves ion minősége és mennyisége. Az ioncsere-adszorpció mechanizmusa, továbbá a hidrofóbizált agyagásványok kölcsönhatása különböző folyadékokkal széles körben kutatott (PATZKÓ és DÉKÁNY, 1996; FÖLDÉNYI és munkatársai, 2013; BARNA és munkatársai, 2015).

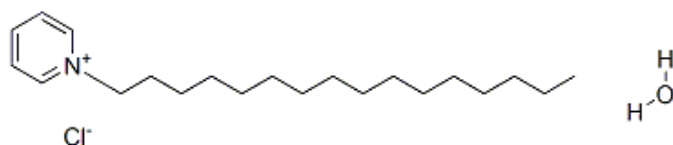
### 2.6.1. Asszociációs kolloidok alkalmazása

Az asszociációs kolloidok alkalmazási területe rendkívül széleskörű, a tenzidek gyártása a legnagyobb vegyipari tevékenységek közé tartozik. Napjaink fontos feladata a környezetbarát termékek körének bővítése annak céljából, hogy a toxikus illetve a nehezen lebomló anyagokat (pl. tenzideket) ki lehessen vonni a felhasználási körből (PATZKÓ, 1996). A felületaktív anyagokat széles körben használják ipari folyamatok során, tisztítószerekben, háztartási termékekben és növényvédőszerekben (WAGENER és SCHINK, 1987; HOLT és BERNSTEIN, 1992; ZOLLER, 1994; MORENO és munkatársai, 1994, cit.: KARAGUNDUZ és munkatársai, 2001). A tenzideket hidrofóbizáló, diszpergáló, emulgeáló, habképző stb. hatásuk miatt számos iparágban (élelmiszer-, gyógyszer-, textil-, kőolaj-, papír-, építőanyag- és lakkiparban, flotálásban) használják (PATZKÓ, 1996). Jellemzően a herbicidek formázószerrei részt vesznek a hatóanyag szállíthatóságában, annak hatékonyságának növelésében is (KARAGUNDUZ és munkatársai, 2001).

Laboratóriumi kísérletek igazolják, hogy a felületaktív anyagok milyen mértékben befolyásolják pl. az iszapban vagy a talajban levő más xenobiotikus vegyületek szorpcióját és biológiai lebomlását (FOX és munkatársai, 1997). Tenzidek segítségével a talajokból a szerves szennyező anyagok in situ módszerekkel eltávolíthatók (RUSSEL, 1992). A felületaktív anyagok csökkenthetik a porózus közegen át történő anyagmozgást, így növelik a szerves szénvegyület-tartalmat a talajmátrixban. Ezen kívül a szorpció megnehezíti a szennyező- és a felületaktív anyagok környezeti hatásának becslését is (LIU és munkatársai, 1992; cit. YUAN és JAFVERT, 1997).

### 2.6.2. A cetil-piridinium-klorid (CPC) és alkalmazása

Mivel munkám során a talaj és ásványi őrlemény minták kezelésére a cetil-piridinium-klorid monohidrát, – más néven a hexadecil-piridinium-klorid – kationos tenzidet választottam, róla a jelen alfejezetben részletesebben írok. A vegyület molekulája egy 16-os szénláncot tartalmazó apoláris láncsal rendelkező kvaterner ammónium-só, amelynek szerkezeti képletét a 4. ábra, jellemző tulajdonságait pedig az 1. táblázat mutatja be.



4. ábra

Cetil-piridinium-klorid monohidrát (CPC) szerkezeti képlete

1. táblázat: A vizsgált adszorptívum jellemző adatai

<b>Cetil-piridinium-klorid monohidrát (CPC)</b>	
<b>Molekulatömeg [g/mol]</b>	358.01
<b>CAS (azonosítószám)</b>	[6004-24-6]
<b>Megjelenés</b>	finom por
<b>Sűrűség</b>	0,37 kg/dm <sup>3</sup>
<b>Oldhatóság</b>	vízben nagyon jól oldódik 50 g/L (20 °C)
<b>Toxicológia, orális LD<sub>50</sub> (patkány)</b>	200 mg/kg
<b>CMC [μmol/L]</b>	1240

A cetil-piridinium-klorid adszorpciós, antibakteriális tulajdonságait, valamint szerves és szervesetlen szennyeződés eltávolító hatását a víztisztításban széles körben vizsgálták (KARAGUNDUZ és munkatársai, 2001; WITT és munkatársai, 2005; BOSILEVAC és munkatársai, 2004; DULTZA és BORSB, 2000).

A CPC gyógyászati célú alkalmazása ismert legelterjedtebben. Baktériumölő és gombaölő tulajdonságai miatt különböző gyógyszerek hatóanyagaként vagy kozmetikumok adalékanyagaként használják (TÓTH, 2012a). Antibakteriális hatása miatt a fogkrémekben lepedécsökkentőként is alkalmazzák (WITT és munkatársai, 2005). Az élelmiszeriparban elsősorban húsok bakteriális fertőzésének megelőzésére használják kis koncentrációban (BOSILEVAC és munkatársai, 2004). Környezetvédelmi területen döntően különböző adszorbeált szennyeződések eltávolítására hasznosítható, így pl. a radionuklidokéra (DULTZA és BORSB, 2000). Napjainkban ultraszűrésnél is alkalmazzák más típusú tenzidekkel elegyítve, melyek a víztisztítás során szerves és szervesetlen szennyezések eltávolítását teszik lehetővé (LEEA és munkatársai, 2005).

## 2.7. Határfelületi jelenségek

A határfelület általában szubmikroszkópos vastagságú háromdimenziós határréteg, amely a tömbfázisokhoz képest rendkívül vékony, energiatartalma pedig más, ezért ezt az energiát (határ) felületi energiának hívjuk. A fázisok határfelületén lejátszódó folyamatokat határfelületi jelenségeknek hívjuk. (SZÁNTÓ, 1995).

A határfelületi jelenségek jelentős szerepet képviselnek pl. a flokkulációban és a diszperziók reológiai tulajdonságaiban (van OSS és GIESE, 1995). Csoportosításuk a fázisok halmazállapota szerint történik, így megkülönböztetünk folyadék-gáz (L/G), folyadék-folyadék (L/L), szilárd-gáz (S/G) és szilárd-folyadék (S/L) határfelületi jelenségeket. Az alábbiakban röviden ismertetem a dolgozathoz kapcsolódó határfelületi jelenségeket (SZÁNTÓ, 1995).

### 2.7.1. A felületi feszültség (L/G határfelület)

Az asszociációs kolloidok viselkedésének reprezentatív példája az amfipatikus molekulák folyadék-gáz (L/G) határfelületen kialakuló orientációja. A folyadékfázis határrétegében lévő molekulákra eltérő erőtér hat, mint a tömbfázisban lévőkre. A tömbfázisban a szomszédos molekulák között gyenge kölcsönhatások jönnek létre, mely által a részecskékre ható eredő erő nulla, míg határrétegben a „szomszédos” réteg hiányából a molekulák asszimmetrikus erőtérben helyezkednek el (SZÁNTÓ, 1992).

A molekulákra a felületre merőlegesen, a tömbfázisba irányuló erő hat, ami összehúzó hatást eredményez a felületen. A folyadékfelszín területének növeléséhez munkát kell kifejtetni, melynek nagyságából meghatározható az a felületegységre jutó erő, ami a részecskéket ebben az állapotban tartja. Ezt az erőt felületi feszültségnek hívjuk (jele:  $\gamma$ , mértékegysége:  $\text{mJ}/\text{m}^2$ ). A felületi feszültség tehát alapvetően a folyadékfelület minimalizálására irányuló kolloidikai folyamat, melynek során egy gömb alakú határfelület alakul ki. A felületi feszültséggel kapcsolatba hozható a nedvesítés, valamint a kapilláris emelkedés és süllyedés (SZÁNTÓ, 1992; JUHÁSZ, 1995).

A felületi feszültség meghatározása sztatikus vagy dinamikus módszerekkel történik. A kapilláris emelkedés elve (2. egyenlet), hogy az egyensúlyban a felületi feszültségből származó erő azonos a folyadék súlyából eredő erővel (PATZKÓ, 1996). Ha a folyadék  $r$  sugarú kapillárisban  $h$  magasságra emelkedik, akkor a  $\gamma$  felületi feszültség értéke az alábbi összefüggéssel írható le:

$$\gamma = r h g \Delta\delta / 2\cos\Theta, \text{ amely } \Theta=0 \text{ esetén } \gamma = \frac{1}{2} r h g \Delta\delta, \quad (2)$$

ahol:  $\Theta$  a peremszög,  $\Delta\rho$  a folyadék és a gőz sűrűségkülönbsége, a  $g$  a gravitációs gyorsulás. Pontos értékeléshez a meniszkusz folyadéktartalmának a súlyát is figyelembe kell venni (PATZKÓ, 1996).

## 2.7.2. Szilárd-folyadék (S/L) határfelület

### Adszorpció folyamata vizes rendszerekben a szilárd/folyadék (S/L) határfelületen

A folyadékadszorpciónál, a folyadék-szilárd határfelületen az adszorbens felülete mindig teljesen borítottnak (pl. tenzid megkötődése, telítődése szilárd felületen) tekinthető. A felületi erőhatások által nem a felületi borítottság változik meg, hanem a határfelületi fázisban levő folyadék egyes összetevőinek (elegykomponensek) aránya. Ez azt jelenti, hogy az adszorpció rétegben más az elegyösszetétel, mint a vele egyensúlyban lévő folyadékfázisban (PATZKÓ, 1996).

A szilárd és a folyadék fázisok (S/L) között kialakuló határréteg tulajdonsága eltér mind a szilárd, mind a folyadék fázisától. A S/L határfelület – pl. diszperz rendszerben – az oldott, szilárd anyag és az oldószer között lejátszódó egyensúlyi folyamatok eredményeképpen jön létre pl. a hidratáció, hidrolízis, a funkciós csoportok reakciói, a fizikai és kémiai adszorpció, abszorpció, komplexképződés és a felületi kicsapódás (TOMBÁCS, 2002).

Az adszorpció határfelületen bekövetkező koncentrációváltozás, tehát leggyakrabban gázok, oldott molekulák szilárd felületen bekövetkező felhalmozódásával jár (S/G, S/L határfelületi jelenség) (SZÁNTÓ, 1996).

A *S/L határfelületeken* lejátszódó jelenségek tekintetében az adszorpció és ioncsere jellemző. Az ionadszorpciónak jelentős szerepe van a különböző töltésű ionok és ionpárok elektrosztatikus visszatartásában (MAJZIK, 2007).

Az ionos tenzidek adszorpcióját heterogén reakciók jellemzik a S/L határfelületen (FIDGORE, 1982). A tenzidek mono- és multivalens ionjai szerepet képviselnek, illetve befolyásolják a tenzidek megoszlását a nem vizes és a vizes fázis között (CELIK és munkatársai, 1982; JAFVERT és HEATH, 1991).

A részecskék közötti kölcsönhatások lehetnek határfelületi és elektrosztatikus kölcsönhatások, valamint a *Brown-mozgás* (van OSS, 1994). Ezek közül csak a határfelületi kölcsönhatások relevánsak a hidrofóbicitás és a hidrofilitás meghatározása szempontjából. A határfelületi kölcsönhatásokat felületi termodinamikai elmélet írja le, amelynek alapjait van OSS és munkatársai (1988) tárgyalják (cit. van OSS és GIESE, 1995).

## Híg oldatokból bekövetkező adszorpció szilárd adszorbensen – fajlagosan adszorbeált tenzid mennyiségének meghatározása

A tenzidek megkötődésében kiemelt szerepet töltenek be a kis energiájú van der Waals, illetve a kohéziós erők, amelyek rendszerint a talaj és a tenzid hidrofób elemei között alakulnak ki (DOBOZY és munkatársai, 1974).

Híg oldatok esetében az egységnyi (1 g) adszorbensen adszorbeált anyag mennyisége ( $q$ , fajlagos adszorbeált mennyiség) a

$$q = V (c_0 - c_e) / m \quad (3)$$

összefüggéssel írható le (3. egyenlet), ahol  $m$  az adszorbens tömege, amelyhez  $V$  térfogatú és  $c_0$  koncentrációjú vizsgálandó oldatot adunk, a  $c_e$  pedig a vizsgálandó anyag egyensúlyi koncentrációja (PATZKÓ, 1996).

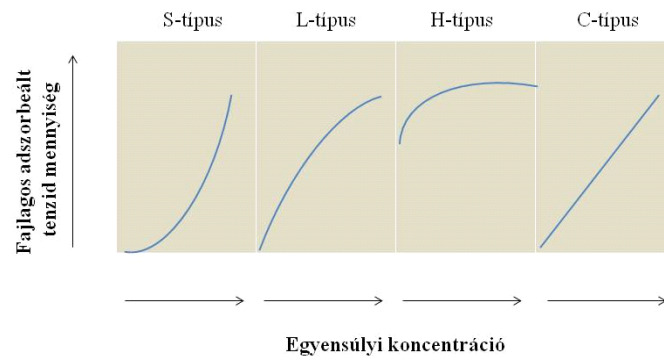
Az oldatból bekövetkező adszorpció jellegét nagymértékben az befolyásolja, hogy az adszorbeálódó komponens (adszorptívum) ionos szerkezetű-e vagy sem (nem-elektrolit, elektrolit- és ioncsere-adszorpció). Az adszorpció mértékét egyaránt befolyásolhatja az adszorbens, az adszorptívum és a közeg minősége.

Az oldott anyag adszorpcióképessége változik a molekulatömeggel, a molekulák polaritásával, az oldékonyság mértékével, nedvesedési viszonyokkal. Az oldatadszorpciót az adszorbens és az adszorptívum mennyiségi aránya is befolyásolja. A fajlagos adszorbeált mennyiség csökken az adszorbens tömegének növekedésével (*Krocker-összefüggés*) (PATZKÓ, 1996). A szilárd-folyadék (S/L) fázis határfelület vizsgálható a *Hamaker-féle* becsléssel is az ásványi felületek és a folyadék fázis közötti kölcsönhatásoknál, mely felhasználható a van der Waals-féle kölcsönhatások vizsgálatára természetes folyadék-adszorpciók folyamatokban, természetes porózus közegekben (OR és TULLER, 1999).

### Adszorpciós izotermák

Az adszorpciót állandó hőmérsékleten, mennyiségi alapon az ún. adszorpciós izotermákkal jellemezhetjük. Az izotermák állandó hőmérsékleten, egyensúlyi állapotban az egységnyi adszorbens által adszorbeált mennyiség és a tömbfázis egyensúlyi összetétele közötti kapcsolatot írják le. GILES és munkatársai (1960) osztályozták (FILEP, 1988; cit. PATZKÓ, 1998) a híg oldatok adszorpciójának függvényeit. Az izotermák kezdeti szakaszának alakja szerint megkülönböztetnek S-, L-, H- és C-típusú izotermát (5. ábra). Az izoterma osztályok az

adszorptívum adszorbenshez való kötődési affinitását mutatják. Az izotermák alakja utal az adszorpció mechanizmusára (McBRIDE, 1994).



5. ábra

A GILES-féle izoterma típusok (szerk.: NAGY, 2018)

Az *S-típusú izoterma* arra utal, hogy a már adszorbeált molekula segíti a továbbiak adszorpcióját (kooperatív adszorpció), az adszorbens és az oldott molekula között kisebb mértékű a kölcsönhatás, mint az adszorbeátum molekulák között. Ekkor erős versengés alakul ki a kötőhelyekért az adszorptívum és az oldószer molekulái között. *L-típusú izoterma* (Langmuir-típusú izoterma) akkor alakul ki, ha az adszorbátum erősen kötődik a felületen, a folyamat során a kezdeti megkötődés után egyre nehezebb az adszorptívumnak üres kötőhelyet találni. A *H-típusú izoterma* (high affinity) esetén a molekula affinitása olyan nagy a felülethez, hogy a híg oldatból minden adszorptívum molekula adszorbeálódik. A kötőhelyek telítődése után az izotermán egy vízszintes plató jelentkezik, azaz ebben a tartományban a megkötődő anyagmennyiség állandónak tekinthető. A *C-típusú izotermánál* (constant partition) az adszorptívumnak az oldószer és a felület közötti megoszlása állandó az izoterma kezdeti szakaszán, minél több molekula adszorbeálódik, annál több kötőhely alakul ki (McBRIDE, 1994; cit. TÓTH, 2012a). Kationok agyagásványokon bekövetkező adszorpciója esetében az izoterma főként *H* (ritkábban *L*) lefutást eredményez. A bentonitra is a *H-típusú izoterma* jellemző, mely a nagy fajlagos felületének és jó adszorpciós képességének köszönhető (TÓTH, 2012a). Ez a tulajdonság összefüggésbe hozható a réteges szerkezettel, valamint a bentonit fő alkotójában, a montmorillonitban jelentős az izomorf helyettesítések száma. Ezek a helyettesítések a felületnek negatív töltést biztosítanak, ami a rétegkomplexumok távolodásához vezet. Ennek köszönhető a duzzadás, amikor vízmolekula interkalálódik a rétegek közé (D'TIRBECK és munkatársai, 1994). Kationos felületaktív anyagok esetében az adszorpció jelensége a kezdeti szakaszban alapvetően egy ioncsere reakcióhoz hasonlít. Az ioncsere reakció miatt az adszorbens kationcsere kapacitása (a T-érték/CEC) alapján becsülhető a fajlagosan adszorbeálható tenzid mennyisége (ATKIN és munkatársai, 2003).

Az adszorpció leírásával foglalkozó kutatásokról kiadott közleményeket már közel száz éves múltira visszamenően találhatunk. Kezdetben Polányi Mihályé 1914-ből, Irving Langmuiré 1918-ból, valamint a „BET” trióé, vagyis Stephen Brunaueré, Paul Emmetté és Edward Telleré 1938-ból. Kísérleti görbék tanulmányozásával 1909-ben Freundlich foglalkozott, különböző paraméterekkel jellemzett parabolákkal kísérletezett eredményesen (FÜSTÖSS, 2009). Egészen más háttere is volt a hiperbolás közelítésnek, Langmuirnak a szilárd anyagok felületén fellépő erőkre vonatkozóan voltak felvetései, miszerint „*a molekulák a felületen meghatározott irányba állnak be, mert rájuk olyan felületi erők hatnak, amelyek az adszorbeált molekula bizonyos atomja, vagy atomcsoportja és a felület között lépnek fel*”. (LANGMUIR, 1918; cit. FÜSTÖSS, 2009).

Ezzel összefüggésben Langmuir 1918-ban a S/G határfelületen a monomolekulárisnál kisebb borítottságot tételezett fel, illetve az időegység alatt a felületre érkező és onnan távozó atomok számának egyezéséből kapott egy formulát az adszorpciós izotermára, amely hiperbolikus függést adott a nyomás és az adszorbált térfogat között (FÜSTÖSS, 2009).

A kísérleti úton meghatározott görbék *tapasztalati izotermaegyenletekkel* vagy különböző feltételezéseken alapuló elméleti összefüggésekkel írhatók le. A felhalmozódott anyag mennyiségét az adszorbens tömegegységére (ill. felületegységére) vonatkoztatott *fajlagos adszorbeált mennyiséggel* szokták megadni.

Híg oldatokból bekövetkező adszorpció esetében a kísérletek eredményeit leggyakrabban a *Langmuir* vagy az empirikus *Freundlich izotermákkal* írják le (SZÁNTÓ, 1995). Számos laboratóriumi vizsgálat demonstrálja a tenzidadszorpciós izotermák leírását a *Langmuir-típusú modellel* (MILLER & LETEY, 1975; PENNELL és munkatársai, 1993, ADEEL és LUTHY, 1995; HAYWORTH és BURRIS, 1996).

A *Freundlich izoterma egyenlete* a telítési típusú izotermák középső, nem túl hirtelen áthajló szakaszát szemlélteti, ami átfedést jelent a *Langmuir* által leírt izoterma alakjával.

*Freundlich izoterma* a 4. egyenlet alapján (LEEA és munkatársai, 2005) adható meg:

$$q = k \cdot c^{1/n} \quad (4)$$

ahol a  $q_c$ : fajlagos adszorbeált mennyiség;

$k, 1/n$ : adott adszorbens-adszorptívum párja jellemző, hőmérséklettől függő állandók;

$c$ , egyensúlyi oldatkonzentráció.

Az első levezetett izotermaegyenlet *Langmuirtól* származik (SZÁNTÓ, 1995), amely leírásának lényeges szempontjai:

- Egymástól független, azonos erősségű vonzási helyeken, az ún. aktív helyeken történik az adszorpció;
- Az adszorpciós kötés erőssége minden kötőhelyen ugyanakkora, függetlenül attól, hogy a szomszédos aktív hely foglalt-e vagy sem, azaz a kötőhelyek energetikailag homogének és az adszorbeált molekulák között nincs kölcsönhatás;
- Az adszorpció során monomolekulás réteg alakul ki.

A *Langmuir izoterma* a következő összefüggéssel (5. egyenlet) írható le:

$$q = \frac{K \cdot q_T \cdot c}{1 + K \cdot c} \quad (5)$$

ahol:  $q$  a fajlagos adszorbeált mennyiség,  $K$  az adszorpciós együttható,  $q_T$  a monomolekulás adszorpciós kapacitás,  $c$  az oldat egyensúlyi koncentrációja.

Az egyenlet a telítési jellegű kísérleti izotermákat nem írja le kellő pontossággal az egész koncentráció tartományban, hiszen az izoterma levezetésének feltételei nem mindenben helytállóak. Ennek ellenére kellő óvatossággal a fajlagos felület becslésére is használható (SZÁNTÓ, 1995).

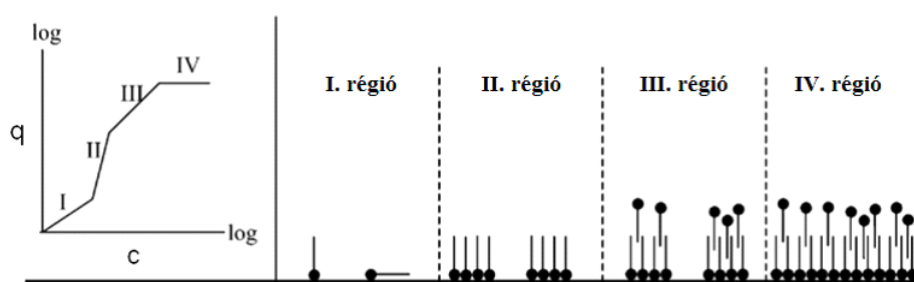
Agyag-homok keveréksorozat permeabilitás vizsgálatnál a tenzidadszorpciót *Langmuir izotermával* jellemezték. Az adszorbeált tenzid mennyisége az agyag frakció térfogatával egyenesen arányosan növekszik. Az alkalmazott modell szerint az adszorbeált felületaktív anyag tömege az egységnyi térfogatú agyag mennyiségére konvertálható, azt feltételezve, hogy a tenzidadszorpció követi a Langmuir izotermát (RENSHAW és munkatársai, 1997).

### **Ionos tenzidek adszorpciója**

A tenzid kémiai összetétele és szerkezete, valamint a talajfelület polaritása, töltésállapota alapvető jelentőséget képvisel a tenzid-adszorpcióban (ATKIN és munkatársai, 2003). A felületaktív anyagok hidrofób jellege határozza meg a porózus közegben való megkötődést, vagyis az adszorpciós és deszorpciós folyamatokat (SARDIN és munkatársai, 1998). Az ionos tenzidek adszorpciójában döntően az ionos töltések szerepe érvényesül, pl. a kationos tenzidek ellentétes töltésüknek köszönhetően rendkívül nagy affinitással kötődnek meg a negatív felületű adszorbensen (pl. talajszemcsén) (ATKIN és munkatársai, 2003).

A tenzidek adszorpciójára jellemző, hogy az adszorbeált anyagmennyiség telítési értéket vesz fel a kritikus micellaképződési koncentrációnál (CMC) vagy annak közelében (ATKIN és munkatársai, 2003; PARTYKA és munkatársai, 1984; cit. YUAN és JAFVERT, 1997).

A CMC közelében az adszorbeált felületaktív monomerek között oldalirányú kölcsönhatások alakulnak ki, melyek micellaszerű felületaktív anyag aggregátumok kialakulását eredményezik a szilárd-folyadék (S/L) határfelületen (BITTING és HARWELL, 1987; HARWELL, 1991). A CMC felett a felület szorpciós kapacitása eltérő, az adszorbeált felületaktív anyag egy- vagy két rétegekben foglal helyet az adszorbens felületén (PENNEL és munkatársai, 1993; ADEEL és LUTHY, 1995).



6. ábra

Ionos tenzidek fordított orientációs adszorpciós modellje (ATKIN és munkatársai, 2003)

Kisebbségi felületaktív anyag koncentráció esetében (CMC alatt) a tenzid hidrophil csoportja lép kölcsönhatásba a felülettel (SCAMEHORN és munkatársai, 1982; CLUNIE és INGRAM, 1983). Az ionos tenzidek adszorpciójának mechanizmusát (5. ábra) a fordított orientációjú modell szemlélteti (TÓTH, 2012a).

Az 6. ábrán az izotermát logaritmus skála mutatja be. Logaritmikus ábrázolást azért alkalmazunk, mert a *H-típusú izoterma* kezdeti szakaszának változásai a normál skálán kevésbé értékelhetők. Az izotermán négy régió különíthető el. Az *I. szakaszban* az elektrosztatikus kölcsönhatás befolyásolja az adszorpciót, ebben a fázisban csekély számú molekula megkötődése megy végbe az adszorbens felületén. A *II. szakaszban* az egyre több tenzidmolekula szabályos orientációt eredményez, amely az adszorpció következtében töltésemlegesítés révén egységes felületet eredményez. A *III. szakaszban* a folyadékfázisban lévő tenzidmolekulák hidrofób kölcsönhatásba lépnek az adszorbeálódott molekulákkal, amelynek következtében adszorbeálódott micellák alakulnak ki a felületen. Az ellentétes orientáció során kialakul a tenzidre jellemző töltés egyenletes eloszlása. A *IV. szakaszban* ellentétes orientációjú adszorbeált kettős tenzidréteg alakul ki, amely az izoterma telítődési szakaszát képezi (ATKIN és munkatársai, 2003). Kialakulásának feltétele, hogy a felület töltésállapota és polaritása a tenzid poláris részének megfelelő legyen (SUNGJUN és munkatársai, 2012).

### 2.7.3. Fajlagos felület meghatározása a szilárd/gáz (S/G) határfelületen

Brunauer 1945-ben kiemelkedő sikerrel adott számot a fizikai adszorpció hőmérsékletfüggéséről. Ez az egyetlen elmélet, amely kvantitatív módon képes kezelni az adszorpciót erősen heterogén felületeken. Brunauer 1938-ban Teller és az amerikai Emmett társaságában megalkotta a többrétegű adszorpció leírására is alkalmas BET egyenletet, amely a későbbiekben, az adszorpció szakirodalmában a legeredményesebb, azaz a leggyakrabban használt összefüggésnek bizonyult (FÜSTÖSS, 2009).

A szilárd-gáz határfelületen a nitrogén gáz adszorpciójával meghatározható az adszorbensek, így a talajminták fajlagos felülete is. A nem duzzadó agyagásványoknál (pl. kaolinit) az adszorpció kizárólag csak az agyagásvány külső felületén valósul meg. A táguló rétegrácsú (duzzadó) agyagásványoknál (pl. montmorillonit) viszont a belső, a hármas (TOT) rétegek közötti felület alkotja az összes felület 80–95%-át. A nitrogéngáz-adszorpcióval viszont csak a külső felület mérhető, mivel a nitrogén molekulák számára az interlamelláris tér nem hozzáférhető. Az adszorpciót vákuumban, a folyékony nitrogén forráspontján (77 Kelvinen) végzik. Az adszorpciós adatok kiértékelése a BET adszorpciós egyenleten (BRUNAUER és munkatársai, 1938) alapszik, mely a gázok szilárd felületen bekövetkező többrétegű adszorpcióját írja le (BARANYI, 1997).

### Talajok fajlagos felülete és egyéb talajfizikai tulajdonságok közötti összefüggés

A talajok fajlagos felülete főként az agyagtartalommal és agyagásvány minőséggel áll összefüggésben (RAJKAI és munkatársai, 1981; VÁRALLYAY, 2002), hiszen a duzzadó agyagásvány-tartalom alapvetően fontos szerepet játszik a rétegrácsok között visszatartott víz mennyiségében (BRUAND, 1990).

A fizikai-kémiai gőzadszorpciós kutatások során megállapították, hogy az adszorbensek fajlagos felülete adszorptívummal monomolekuláris rétegben telítődik kisebb gőznyomás mellett. Telített páratérben a nagy gőznyomású folyadékoknál, a talajok kapilláris pórusaiban a gőzök nemcsak adszorbeálódhatnak, hanem cseppfolyósodnak is (kapillárkondenzáció) (ERDEY-GRÚZ, 1972).

BALAN (1974) lineáris regressziós összefüggéseket állapított meg a talajok agyagtartalma, higroszkóposága, fajlagos felülete és az adszorpciós kapacitása között. LAL (1979) lineáris regressziót állapított meg a homok (0,05–2,0 mm) és agyagtartalom (kisebb, mint 0,002 mm), illetve a pF 0, 2,0, 2,4, és 4,2 szívóerőnél mért nedvességtartalom között (cit. VÁRALLYAY és munkatársai, 1979).

ZAWADZKI és MICHALOWSKA (1974) a vízgőzadszorpció módszerrel meghatározott fajlagos felület, valamint a  $pF$  1,5, 2,0, 2,5, 3,0 és a 4,2-nél mért nedvességtartalom közötti jó tapasztalati összefüggésekről számolt be (cit. VÁRALLYAY és munkatársai, 1979). KOVÁCS (1968; 1971), KOVÁCS és PÉCZELY (1973; 1975) szerint a magas tenziótartományban az elemi szemcsék fajlagos felülete és a talaj szívóerejének mértéke között szoros összefüggés van (cit. VÁRALLYAY és munkatársai, 1979). Az alacsonyabb tenziótartományban az utóbbi összefüggés egyre kevésbé érvényes, mivel a talajnedvesség potenciálját főként más erők (kapilláris és gravitációs potenciál) befolyásolják, amelyek nem az elemi szemcsék fajlagos felületétől (elsősorban aggregált, szerkezetes talajok esetében), hanem a szilárd fázist felépítő elemi szemcsék, mikro- és makroaggregátumok, szerkezeti elemek mérete és alakja, valamint azok térbeli elrendeződésük által meghatározott pórus-geometriától függnék (VÁRALLYAY, 2002).

#### 2.7.4. Határfelületi elektromos tulajdonságok

A vizes fázissal érintkező szilárd részecskék felületén elektromos töltések halmozódnak fel az oldat ionjainak a határfelületi réteg és a tömbfázis közötti megoszlása miatt, mely által a vízben diszpergált részecskék töltéshordozóvá válnak (TOMBÁ CZ, 2003).

#### Felületi töltést hordozó részecskék

A töltéshordozó részecskék elmozdulásakor a részecskék körüli lokális elektrosztatikus tér deformálódik, mely által az elektromos kettősréteg két része egymáshoz képest elmozdul. A töltést hordozó szilárd-folyadék határfelületet tartalmazó rendszerekben a részecske, illetve a folyadék – elektromos erőter (elektroozmózis és elektroforézis) vagy a mechanikai erő (áramlási és ülepedési potenciál) hatására – elmozduláskor egy bizonyos vastagságú folyadékréteg adszorbeált állapotban a felületen marad (SHAW, 1986; HUNTER, 1989; EVERETT, 1988).

A szilárd felületeken ionok adszorpciója vagy felületi disszociáció – gyakran mindkettő – során *diffúz elektromos kettősréteg* alakul ki, melyeknek belső rétegét a *potenciálmeghatározó ionok* (oxónium-, hidroxid-ionok) képezik, amelyhez ellentétes töltésű ionok, az ún. *ellenionok* kötődnek. A diffúz rétegben a felülettől kifelé haladva az oldat belseje irányába, az ionok koncentrációja *Boltzmann-eloszlás* szerint csökken. A *Stern-féle elmélet* szerint a kettősréteg a felülethez közvetlenül tapadó *Stern-rétegből* és egy diffúz szerkezetű *Gouy-Chapman-rétegből* áll. A diffúz elektromos kettősréteg meghasadhat pl. elektromos erőter hatására. Ekkor a kolloid részecske és a folyadék

fázis egymáshoz képest elmozdul, egy ún. hasadási sík alakul ki, ami és a közeg belseje között potenciálkülönbség alakul ki. (töltések szétválnak): Ezt a potenciálkülönbséget hívjuk elektrokinetikai vagy zéta ( $\zeta$ ) potenciálnak. Az elmozdulás következtében a töltéshordozó határfelület a felülettel bizonyos távolságra elhasad. A hasadási sík és a folyadék belseje között fellépő potenciál különbséget elektrokinetikai ( $\zeta$ ) potenciálnak nevezzük (TOMBÁ CZ, 2003). Az elektrolitok a vegyértéküktől és koncentrációjuktól függően a  $\zeta$ -potenciál nagyságát, esetleg az előjelét is megváltoztatják (PATZKÓ, 1996).

A diszpergálódott szilárd részecskék felületi töltései lehetnek állandóak (permanens, szilárd fázisban rögzített) és változóak (a vizes fázis összetételétől függően) (SPOSITO, 1992; TOMBÁ CZ, 2002; 2003). Az *állandó töltések* az izomorf helyettesítés következtében alakulnak ki. A *változó töltések* a szilárd anyag felületén található aktív helyek és funkciók csoportok (pl. hidroxil-, karboxil-, fenolos hidroxil- és aminocsoportok) protonálódási, illetve deprotonálódási reakcióiból származhatnak (pH-függő töltések) (TOMBÁ CZ, 2003).

### 2.8. A szilárd-folyadék (S/L) határfelületi jelenségek talajfizikai szempontú jellemzése a háromfázisú talaj kapilláris rendszerében

A talaj szilárd fázisa és a víz közötti kölcsönhatás az adszorpció (adhéziós) és a kapilláris erőknek tulajdonítható. Ebből következik, hogy a talajnedvesség egy része a szemcsék felületéhez tapadva, másik része pedig a pórustérben helyezkedik el. Az adszorpció erők hatása azonban a felülettől távolodva rohamosan csökken, ezért az adszorbeált (adhéziós) nedvesség csak igen vékony filmet képez, amely egy erősen kötött és egy gyengén kötött vízhártyából áll (STEFANOVITS és munkatársai, 1999).

A *határfelületi erők* a szilárd-folyadék, illetve a szilárd-gáz felületek rendszerében kiemelt jelentőségű szerepet töltenek be talajtani vonatkozásban is, mivel hatással vannak talajrészecskék nedvesedésében, valamint a porózus közegben levő *kapilláris nyomás* kialakulásában (MAKÓ, 1995). Ha egy folyadék más anyaggal lép kapcsolatba, határfelületi energia jön létre. A határfelületi energia kialakulásában a fázisok belsejében, valamint az érintkező fázisok határán belső vonzóerők alakulnak ki. A határfelületi feszültséget elsődlegesen a felületcsökkentő erő határozza meg (ERDEY-GRÚZ, 1972). Az *adhéziós feszültség* által ismert, hogy a nedvesítő folyadék milyen mértékben képes megkötődni és szétterülni a szilárd fázis, pl. talajszemcsék felszínén (AMYX és munkatársai, 1960).

A talajrészecskék és a pórusok méretének csökkenésével növekszik az adhézió (vonzás) a talajrészecskék és a talajoldat között (McCARTY és munkatársai, 2016). A pórustérbe jutott vizet

csak adott méretű (<60 µm) kapilláris pórusok tudják visszatartani, az ennél nagyobb méretűek a gravitáció hatására gyorsan kiürülnek. A *kapillárisok vízvisszatartó és vízemelő képessége* általánosan az **adhéziós** (adszorpciós) **erők** és a vízmolekulák közötti vonzóerő (a **kohézió**) összetett hatásaként értelmezhető. Az *adhézió* által a vízmolekulák a kapillárisok falához tapadnak, míg a *kohézió* a víz/levegő határfelületen kialakuló felületi feszültséget hozza létre. *A háromfázisú (víz-talaj-levegő) rendszerekben az adhézió nagyobb, mint a kohézió, ezért a kapilláris meniszkusz homorú. A víz kapilláris emelkedését elsősorban létrehozó erő az adhézió.* A víz a kapilláris pórusokban addig emelkedik a kapilláris tápláló folyadékfelszínhez képest, amíg a vízoszlop súlya ki nem egyenlítődik a kohézió limitált emelő (húzó) erővel (STEFANOVITS és munkatársai, 1999).

### Tenzidek adszorpciója Ca-montmorilloniton és talajokon

A felületaktív anyagok megváltoztathatják az agyagásványok szerkezetét. A kationos tenzid a rétegszilikátok belső (ioncsere) és külső (ioncsere és molekuláris adszorpció) felületén (PATZKÓ és DÉKÁNY, 1996), a rétegszilikátok duzzadását előidézve adszorbeálódhat (SCHLADOT és munkatársai, 1994), valamint elősegítheti azok szerkezetének szétesését (PERMIEN és munkatársai, 1995). Az anionos tenzid a rétegszilikátnak csak a külső felületén adszorbeálódik.

A talajok negatív töltésű felületére jellemző, hogy kationos tenzidek adszorpciója megy végbe, míg a pozitív töltésű felületeken az anionos tenzideké. Az elektrosztatikus kölcsönhatás következtében kialakul az irányított adszorpció (PATZKÓ és DÉKÁNY, 1996). A szilikátfelületeken a kationos tenzidek, a többnyire pozitív töltésű fém-oxid-hidroxidokon az anionos tenzidek kötődnek meg. A nemionos tenzidek amfipatikus tulajdonsága, hogy a talajfelületek nedvesedését bármely folyadékkal elősegítik (SZÁNTÓ, 1986).

A tenzidadszorpció hatására a talajszemcsék eltérő módokon tapadnak össze, így nagyobb pórusok és kapillárisok alakulhatnak ki a talajban. A szerkezetátalakulás akkor szembetűnő, ha a talaj duzzadó rétegrácsú agyagásványokat is tartalmaz (ERLEI, 1997). Eltérő genetikájú talajoknál (pl: réti talajok, barna erdőtalajok, csernozjom talaj, lösz, homok) megállapították, hogy az adszorpció szoros összefüggésben áll a duzzadó agyag mennyiségével (YUAN és JAFVERT, 1997). Kutatások igazolják, hogy a tenzidadszorpció mértéke tipikusan minimális a homoktalajokon, viszont szignifikánsan növekszik, amennyiben a homok számottevő mennyiségben szerves anyagot és agyagfrakciókat is tartalmaz (MILLER és LETEY, 1975; SCAMEHORN és munkatársai, 1982; WAGNER és munkatársai, 1994; ADEEL és LUTHY, 1995; HAYWORTH és BURRIS, 1996).

A felületaktív anyagok adszorpcióját a porózus közeg (talajmátrix) illetve felületének fizikai és kémiai tulajdonsága alapvetően befolyásolja. A tenzidadszorpció hatást gyakorol a porózus közeg permeabilitására (ALLRED és BROWN, 1994), valamint a szerves szennyezőanyagok mennyiségének visszamaradására (WAGNER és munkatársai, 1994).

A tenzidadszorpció következtében a duzzadó agyagásványok szerkezetátalakulása (térfogat növekedés és csökkenés) a bázislaptávolság mérésével vizsgálható. A kationos tenzid az adszorpciót követően a rétegszilikát bázislaptávolságát nagymértékben növeli, míg az anionos tenzid kismértékben csökkenti. A montmorilloniton adszorbeálódott tenzidre jellemző, hogy elősegíti a szerves folyadékok interlamelláris beépülését (adszorpció lamellák közötti térben). A hidrofil Ca-montmorillonit és a talaj kismértékű vízáteresztő képessége a tenzidadszorpció után többszörösére növekszik. PATZKÓ és DÉKÁNY (1996) összefüggést állapítottak meg az üledéktérfogat és a vízáteresztő képesség, valamint a tenzidadszorpció és az interlamelláris duzzadás mértéke között.

### **A cetil-piridinium-klorid (CPC) adszorpciója Ca-montmorilloniton és talajokon**

PATZKÓ és DÉKÁNY (1996) a kationos a cetil-piridinium-klorid (másik nevén hexadecil-piridinium-klorid) tenzid adszorpcióját vizsgálta Ca-montmorilloniton és talajok vizes szuszpenziójában, amely kutatási témám előzményéhez kapcsolódó vizsgálatnak tekinthető. Az adszorpció kezdeti szakaszán kationcsere megy végbe, a CPC-kationok teljes mennyisége adszorbeálódik a montmorilloniton, ezért az oldatban az egyensúlyi koncentráció a kationcsere kapacitás (CEC) eléréséig nulla. Az adszorpció folyamatának második fizikai szakaszán molekuláris adszorpció következik be, amely egy S-alakú kétlépcsős izotermát eredményez. A CPC a Ca-montmorillonit, illetve a talaj montmorillonit komponensének belső és külső felületén is adszorbeálódik, mely a bázislaptávolságok ismeretében jól értékelhető.

Az adszorbeált CPC felületi orientációja az egyensúlyi rendszer tömény vizes szuszpenziójában, vízben és szárított állapotban röntgendiffrakcióval is mérhető (PATZKÓ és DÉKÁNY, 1996). Az aggregált (koagulált) CP-montmorillonit vízben mért bázislaptávolsága (dL) szárítás után kisebb. Az adszorbeált mennyiség növekedésével a rétegek közötti távolság kezdetben csökken, majd nő a CEC (kationcsere-kapacitás) eléréséig, és ettől kezdve közel állandó marad. Hasonlóan változik a talaj montmorillonit komponensének bázislaptávolsága is, ellenben a többi talajkomponensre jellemző dL nem változik az adszorbeált mennyiség növekedésével. Röntgenadatokból kiszámítható az interlamelláris térfogat és a CP-kationok térfogata.

Az adszorbeált mennyiség növekedésével  $V_{int}$  kezdetben csökken, majd növekszik. A CP-ionok térfogata ( $V_{CP}$ ) a CEC körül közelíti meg a ( $V_{int}$ ) nagyságát, továbbiakban pedig minimális különbség tapasztalható a két térfogat között. Kezdetben azért csökken a térfogat, mert jelentős mennyiségű interlamelláris víz kiszorul és helyette kis mennyiségű alkállanc adszorbeálódik. Az adszorbeált mennyiség növekedésével az interlamelláris térben egyre több Ca-ion cserélődik ki a változó orientációval elhelyezkedő CP-ionra, viszont csak a szerves kationcsere kapacitásnak megfelelő mennyiségű CP-kation nyitja ki teljesen a bázislapokat. A CEC elérésekor az alkállancok tömören elhelyezkedve, szinte teljesen kitöltik az interlamelláris teret ( $V_{int}$ ), ezért kicsi a különbség  $V_{int}$  és  $V_{CP}$  között. Ebből a kemisorpció szakaszból az interlamelláris térfogat és a CP-kationok térfogatának különbségéből megadható a rétegek közötti szabad folyadék térfogata:  $V = V_{int} - V_{CP}$ . A tenzid mennyiségének további növekedésével az alkállancok asszociációja következtében, különböző szerkezetű felületi micella (kolloid oldat diszperz részecskéje) aggregátumok alakulnak ki a montmorillonit lamellatömbök külső felületén, melyek nem változtatják meg a bázislaptávolságot (PATZKÓ és DÉKÁNY, 1996).

### A cetil-piridinium-klorid (CPC) alkalmazásának szempontjai a jelen kutatásban

A talajminták kezeléséhez a cetil-piridinium-klorid kationos tenzidet választottam, mivel a talajokban előforduló agyagásványokra jellemző, hogy a kristályon belül negatív töltésfelesleg alakul ki. Emiatt elektromos kettősréteg alakul ki, melyen a rácstöltéseket a külső rétegben felhalmozódó kationok semlegesítik (van OLPHEN, 1963; THENG, 1979; JOHNSTON és TOMBÁ CZ, 2002). E szempontokat figyelembe véve várhatóan a talajfizikai paraméterek különbségeiben is a tenzidek ezen csoportja eredményezi a legnagyobb eltéréseket (NAGY és MAKÓ, 2011) a felületmódosító (hidrofóbizáló), valamint szerkezetmódosító (aggregáló és dezaggregáló) hatások tekintetében.

Hazai kutatásokban gyakran alkalmaznak duzzadó agyagásványokat – pl. Ca-montmorillonit (bentonit fő alkotója) – (PATZKÓ és DÉKÁNY, 1996, 1997), illetve eltérő duzzadóagyag-tartalmú talajokat adszorpció vizsgálatához (BARNA és munkatársai, 2012; FÖLDÉNYI és munkatársai, 2013; CSATÁRI és munkatársai, 2013; CSATÁRI és MAKÓ, 2012; NAGY és MAKÓ, 2011; NAGY és DEÁK, 2013; NAGY és munkatársai, 2015). A homoktalajokra is jellemző, hogy kationcserélő képességgel rendelkeznek (TÓTH, 2012b).

A kutatásom során a vizsgált talajminták részleges hidrofóbizálásához a CPC koncentráció megválasztásánál figyelembe vettem a környezeti relevancia szempontot is (MATTHEW és munkatársai, 2000; FOX és munkatársai, 1997; SUJBERT, 2009).

### 2.8.1. Nedvesítési tulajdonságok szerepe a talaj háromfázisú rendszerében

A nedvesítő-képesség mértéke a határfelületi feszültség értékétől függően változik és az *illeszkedési vagy peremszöggel* jellemezhető. A határfelületi feszültség alapvetően meghatározza a nedvesítő-képességet (MERCER és COHEN, 1990). A háromfázisú (telítetlen) talajrétegekben a folyadékfázis döntő mértékben nedvesítő fázisnak tekinthető a levegő fázissal szemben. A relatív nedvesítő-képesség egyazon talajon belül is változhat ("esőcsepp hatás"), ami a talajnedvesség hiszterézis-jelenségének egyik oka (BEAR és VERRUJT, 1987).

A *peremszög* a három fázis érintkezési pontjában a szilárd-folyadék határfelület és a folyadék-gáz határfelülethez húzott érintő által bezárt szög. A nedvesedés mértéke annál nagyobb, minél kisebb a szilárd és a folyadék fázis polaritása közötti különbség (DOMENICO és SCHWARTZ, 1998; PATZKÓ, 1996).

A szilárd-folyadék fázisban fellépő határfelületi erőket eltérő agyagásványokon (kaolinit, montmorillonit) vizsgálták (JANCZUK és BIALOPIOTROWICZ, 1988). Megállapították, hogy különböző a szénhidrogén származékok víz-szilárd fázis rendszerek illeszkedési szöge, miszerint elsődlegesen a víz, majd a szénhidrogén, valamint a legkevésbé a levegő nedvesít. A szénhidrogének jobban nedvesítik a kaolinitet, mint a montmorillonitot. A szénhidrogén szénláncok növekedése mindkét agyagásványnál fokozza a nedvesítő hatás mértékét (MAKÓ, 1995).

SWARTZENDRUBER (1956) felvetette annak lehetőségét, hogy a geometriai paraméterek és kontaktszög egyszerűbben meghatározhatók a kapilláris vízemelés dinamikájából (MALIK és munkatársai, 1984).

Az ekvivalens sugár reprezentálja a kapilláris pórus sugarát, amely ekvivalens tulajdonságot mutat a porózus közeggel. A **Poiseuille-törvény** szerint:

$$dV/dt = \pi r^4 / 8\eta * \Delta P / z, \quad (6)$$

ahol a  $dV = \pi r^2 dz$  a porózus közegbe belépő víz mennyisége, a  $dt$  az idő intervallum,  $z$  a *kapilláris vízemelés* magassága,  $\Delta P$  a nyomáskülönbség,  $r^2$  a körszerű kapilláris átmérője, valamint a  $\eta$  a víz viszkozitása (*6. egyenlet*) (LIU és munkatársai, 2014).

## Szilárd felületek nedvesedése

A *nedvesedés* az a folyamat, amelyben egy folyadékfázis gázt (általában levegőt) szorít le a szilárd felületről úgy, hogy közben kémiai változás nem történik. Ha a folyadék a felületről folyadékot szorít le, *átnedvesedésről* beszélünk. A nedvesedés csökkenti a rendszer szabadenergiáját (szabad-entalpiáját), amely általában önként végbemenő folyamat, a folyadékadszorpció makroszkópikus megnyilvánulása.

A víztaszítósság mértéke peremszöggel mérhető, mely összefüggést mutat a felületi feszültséggel (WATSON és LETEY, 1970; cit. CARILLO és munkatársai, 1999). A makroszkópikus szilárd felületen részlegesen szétterülő folyadéksepp olyan egyensúlyi alakot és peremszöget alakít ki, amelynél a rendszer szabadentalpiája minimális. Ebből a feltételből kiindulva adja meg a *Young-összefüggés* (7. egyenlet) az egyensúlyi peremszög és a különböző fázisok felületi feszültsége közötti kapcsolatot:

$$\gamma_{LG} \times \cos\theta = \gamma_{SG} - \gamma_{SL} = \beta \text{ (nedvesedési feszültség)} \quad (7)$$

ahol:

- a  $\gamma_{LG}$  a folyadék-gáz fázis felületi feszültsége;
- a  $\cos\theta$  az érintkezési szög;
- a  $\gamma_{SG}$  a szilárd-gáz fázis felületi feszültsége;
- a  $\gamma_{SL}$  a szilárd-folyadék fázis felületi feszültsége.

A hőmérséklet is befolyásolja a levegő-folyadékfázis peremszögét a szilárd felületeken (GRANT és SALEHZADEH, 1996), továbbá befolyásolja a felületaktív anyagok oldhatóságát vagy hatékonyságát, valamint a felületi feszültségét is (NIMMO és MILLER, 1986).

### 2.8.2. Kapillaritás jellemzése – „kapilláris cső elmélet”

A kapillaritás törvényszerűségét csaknem egy évszázada kutatják. A kapilláris jelenségek elméleti alapjait HAGEN (1839), POISEUILLE (1840, 1841), LUCAS (1918), WASHBURN (1921) írta le (cit. TIBERG és munkatársai, 2000).

Két alapvető irányzat alakult ki a talajfizikában a háromfázisú kapilláris rendszer értelmezésére, egyik a „*kapilláris-cső elmélet*” (BRIGGS, 1897, cit. MAKÓ, 1995), míg a másik a „*nedvességpotenciál elmélet*”, amely Buckingham nevéhez kapcsolódik (BAVER, 1956, cit. MAKÓ, 1995).

A „*kapillaris-cső elmélet*” alapján a víz folytonos folyadékhártyaként jelentkezik a talajrészecskéken (BAVER, 1956). A talajok vízvisszatartó-képessége a talajrészecskéket körülvevő vízhártyák kapillaris tulajdonságával hozható összefüggésbe. A talajrészecskék által közbezárt pórusok tölcészerűen összeszűkülő kapillaris csövekhez hasonlíthatók, melyek fokozzák a vízvisszatartás növekedését (MAKÓ, 1995). A „*kapillaris-cső elmélet*” által tanulmányozható a talaj szilárd fázisok, valamint az anyagi minőségtől függő kapillaris jelenségek (felületi feszültség, nedvesítés) talajokon (AMYX és munkatársai, 1960, VAVRA és munkatársai, 1992; cit. MAKÓ, 1995). A kapillaris cső szívóereje – a víz bizonyos magasságra történő felemeléséhez, illetve a kapillarisokból való eltávolításához szükséges munka- annál nagyobb, minél kisebb a kapillaris keresztmetszete (STEFANOVITS és munkatársai, 1999).

A kapillaris-cső elmélet kevésbé tekinthető korszerűnek az energiaállapot-elmülethez képest. *A kapillaris-cső elmélet a kapillaris pórusterek folyadék-visszatartását írja le, míg az energiaállapot-elmélet a pórusméretek és a folyadék-visszatartás közötti összefüggést.* A két elmélet összefüggést mutat egymással (BAVER, 1956).

Talajok kapillaris pórusaiban a víz emelkedésének magassága az alábbi *Jurin-egyenlettel* (8. egyenlet) számítható ki:

$$h = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho g r}, \quad (8)$$

ahol a  $h$  a kapillaris vízemelés magassága (cm),  $\gamma$  felületi feszültség,  $\cos\theta$  kontaktszög,  $\rho$  sűrűség ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ),  $g$  gravitációs gyorsulás,  $r$  pórus átmérőjének sugara (JURIN, 1728).

Talajokra a képlet csak bizonyos tényezők figyelembevételével alkalmazható, mivel a talaj sokféle alakú és egyenetlen átmérőjű pórusrendszere bizonyos mértékig másként viselkedik, mint az egyenletes keresztmetszetű sima falú kapillaris cső vagy csőrendszer. Ez részben azzal magyarázható, hogy az agyagos talajok duzzadásakor a kisebb kapillarisok annyira összeszűkülnek, hogy bennük a mozgás erősen korlátozott vagy lehetetlenné válik. Másrészt a talajban a víz többirányú elágazásokon és keresztjáratokon halad át (többnyire megkerülve a kisebb szívóerejű pórusokat), így egyes kapillarisok alulról és felülről egyidejűleg kerülnek érintkezésbe a vízzel, s bennük levegőzárványok alakulnak ki (bezárt levegő). A bezárt levegő pedig impermeábilis vízmozgást eredményez, melynek következtében jóval kisebb a vízemelés magassága (STEFANOVITS és munkatársai, 1999).

## A telítetlen talaj kapilláris tulajdonságainak hatása a folyadékmozgásra

Az alulról kapillárisan telítődő talajoszlopok tulajdonságai nagymértékben hasonlíthatók az alulról telítődő kapilláris csövek tulajdonságaihoz (BUCKINGHAM, 1907, cit. YONG és munkatársai, 1992). A talajoszlopok alján elhelyezkedő nedvesítő folyadék az oszlopban felfelé, az alacsonyabb szabadenergiával rendelkező helyek irányába mozog, egy potenciál gradiens mentén. A mozgó folyadékfázis egyszerre a gravitációs erők hatása alatt is áll, ezért az oszlopban lefelé is mozog a gravitációs potenciál hatására. Amikor a kapilláris emelkedés az oszlopban elérte a végső magasságot, akkor a nedvesítő folyadékra ható kapilláris és gravitációs erők egyensúlyba kerülnek. Ez esetben a talajnedvesség összpotenciálja (a kapilláris és gravitációs potenciál különbsége) nulla a talajoszlop bármely részén és az oszlop alján elhelyezkedő szabad folyadékfelszín között (MAKÓ, 1995). A kapilláris potenciál abszolút értéke a talaj folyadékra vonatkoztatott telítettségétől függ. Ha a kapilláris potenciál nulla körül mérhető, akkor a nedvesítő folyadék a legnagyobb pórusokat is kitölti (a nem nedvesítő folyadékot a legnagyobb pórusokból is kiszorítja). A legnagyobb mérhető potenciál az igen kicsi pórusoknál mérhető (van DAM, 1967).

A kapilláris vízemelés különböző időszakaszában a **Poiseuille-törvény** alkalmazhatóságát GREEN és AMPT (1911), valamint GOMES és munkatársai (1961) igazolta.

A pórusok geometriája és talaj-víz fázis kontaktszöge kísérletileg nehezen írhatók le. Különböző kísérleteket alkalmaztak kapilláris emelkedéssel eltérő sikerekkel, a Poiseuille-törvény elemzésével e paraméterek közvetett meghatározására (SLICHTER, 1898; GREEN és AMPT, 1911; ATTERBERG, 1908; KEEN, 1919; SMITH és munkatársai, 1931; CARMAN, 1941; GOMES és munkatársai, 1961; SWARTZANDRUBER, 1956, cit. MALIK és munkatársai, 1984). A **Washburn-egyenletet** a kapilláris emelkedés vizsgálatához a kontaktszög meghatározására széles körben alkalmazzák (DANG-VU és HUPKA, 2005).

## Kapilláris vízemelkedés előfordulása, alkalmazása

A kapilláris emelkedés számos természetes folyamatban - pl. talajok vízgazdálkodási tulajdonságában szerepet kap (MARMUR, 1992). A kapilláris emelkedés alkalmazása széleskörű pl. vegyipar, kohászat, kerámiaipar, olajviszanyerés, építőipar, textilipar, festéknyomtatás és számos területen (DANG-VU és HUPKA, 2005). A kapilláris emelkedés vizsgálati módszer lehetővé teszi a pórusok sugarának, valamint a szilárd felületen lévő folyadék kontaktszögének meghatározását (SIEBOLD és munkatársai, 2000; KALOGIANNI és munkatársai, 2004; van OSS és munkatársai, 1992; SUBRAHMANYAM és munkatársai, 1996).

## Kapilláris vízemelkedés jellemzése, alkalmazott vizsgálati módszerei

A kapilláris emelkedés leírja a pórusvíz alacsonyabb magasságból történő mozgását egy magasabb szintre a hidraulikus gradiens hatására, a levegő fázissal érintkező pórusok felületén. Három alapvető fizikai jellemző kapcsolódik a kapilláris emelkedéshez: maximális kapilláris emelkedés magassága, kapillárisok folyadéktároló kapacitásának növekedése, a kapilláris emelkedés aránya. A kapilláris vízemelésnek fontos szerepe van a telítetlen talaj és a pórusvíz összetett funkciójában. A talaj tárolási kapacitása, valamint a kapilláris emelkedés sebességének modellezése függ a talajtól és a pórusvíztől (MALIK és munkatársai, 1989; PARLANGE és munkatársai, 1990; LU és munkatársai, 1995; STEPHENS, 1996).

A talaj kapilláris vízemelésének azt a jelenséget nevezik, amikor a szabad vízfelülettel érintkező talajoszlopban a víz a pórusokban felemelkedik (DI GLÉRIA és munkatársai, 1957).

A háromfázisú, telítetlen talajokban a kapilláris vízemelési vizsgálatok tekinthetők a legkorábbinak. Elsőként BUCKINGHAM (1907) (cit. YONG és munkatársai, 1992) a nedvességpotenciál-elméletet megalapozó vizsgálataival, illetve ATTERBERG (1908) (cit. RÉTHÁTI, 1983) a talajt alkotó szemcsefrakciók viselkedésének kutatásával foglalkozott. Számos kutatási eredmény a kapilláris vízemeléssel kapcsolatosan arra irányult, hogy a szemcsék geometriai tulajdonságának - pl. a fajlagos felület és a szemcseátmérő ismeretében a kapilláris vízemelésének előrejelzését segítse elő (SLICHTER, 1898; ATTERBERG, 1908; KEEN, 1919; HACKET, 1922; SMITH és munkatársai, 1931; CARMAN, 1941, cit. MALIK és munkatársai, 1984).

TERZAGHI 1943-ban megállapította a *Darcy-törvény* alkalmazhatóságát a telített hidraulikus vezetőképesség előrejelzésére a kapilláris emelkedés vizsgálatban. LANE és WASHBURN 1946-ban rendszeresen végzett oszlopkísérletet, kavics, homok, iszap kapilláris emelkedés magasságára és sebességére (LU és LIKOS, 2004).

A kapilláris vízemelés meghatározása különféle vizsgálati módszerekkel is történhet (LAMBE, 1951; BALLENEGGER és DI GLÉRIA, 1962; MALIK és munkatársai, 1989, cit. MAKÓ, 1995).

A kutatásom során alkalmazott kapilláris vízemelkedés vizsgálati módszere BALLENEGGER és Di GLÉRIA (1962), valamint MAKÓ (1995) több átfedést is mutat a MALIK és munkatársai (1984), illetve a KUMAR és MALIK (1990) mesterséges oszlopkísérleteivel. A hasonlóság a vizsgálat körülményeiben (hőmérséklet, rögzített vízszint), a mesterséges oszlopok előállításában (feltöltésnél térfogattömeg alapján történő tömörítés), az oszlopok méretében (kapilláris csövek átmérője, hossza) mutatkoznak.

Kapilláris emelkedés vizsgálatokat 2 cm-es átmérőjű üvegoszlopokban is végeztek, e vizsgálathoz 1 mm-es lyukátmérőjű szitán átszitált talajmintát alkalmaztak (MALIK és munkatársai 1984; KUMAR és MALIK, 1990). A térfogattömeg ( $1,44-1,6 \text{ g/cm}^3$ ) szerinti tömörítést is figyelembe helyezték az oszlopok előállításánál, a kapilláris csövek oldalát a töltögetés során fadarabbal kocogtatták. A kísérleteket 50 cm-es, illetve 200 cm oszlopokban is végeztek. A kapilláris vízemelés magassága függ a talajtípusától (MALIK és munkatársai, 1984; KUMAR és MALIK, 1990).

KUMAR és MALIK (1990) a különböző talajmintákra végzett kapilláris vízemelés vizsgálatait is állandó vízszint mellett végezte. A kapilláris vízemelkedést kezdetben az első 2 óráig figyelték meghatározott időközönként. A kapilláris vízemelés vizsgálatot addig végezték, míg az emelkedés gyakorlatilag megszűnt, elérte a maximális magasságot (KUMAR és MALIK, 1990).

A talajok vízgazdálkodásának jellemzésére a teljes vízemelési időgörbét is alkalmazzák, viszont a gyakorlati szempontú értékeléshez KREYBIG (1937) (cit. DI GLÉRIA és munkatársai, 1957) az 5 órás kapilláris vízemelés értékét a talajok kötöttségével együtt értékelte. A talajok 5 órás kapilláris vízemelését STEFANOVITS (1981) az Arany-féle kötöttségének, leiszapolható részének, higroszkóposságának, valamint a talajok szemcseösszetételének megközelítő értékeléséhez használta. A homoktalajok jellemzéséhez a 2 órás kapilláris vízemelés meghatározását BOTVAY (1955) is alkalmazta. Széles körű statisztikai vizsgálatokat végeztek eltérő homoktalajokon, elemezve az agyag és a por tartalom, valamint a kapilláris vízemelés magassága közötti összefüggés mértékét eltérő időpontokban. A háromfázisú talajok vízvezető-képességének hidrológiai törvényszerűségének leírásához kapilláris folyadékemelési kutatásokat is végeztek (MALIK és munkatársai, 1984, 1989; KUMAR és MALIK, 1990).

A talajok kapilláris vízemelés tulajdonságát a talajok mechanikai-összetételén kívül a szerves kolloidok és a kicserélhető  $\text{Na}^+$ -tartalom (KLIMES-SZMIK, 1954; CAIRUS, 1969) is befolyásolhatja (pl. szikes talajok). A talaj tömődöttsége, térfogattömege is (DIMITRIU és CANARACHE, 1974; GORDIYENKO és KOSTOGRYZ, 1991), valamint az ásványi összetétele is jelentős szerepet játszik a talajok kapilláris vízemelésében (cit. RÉTHÁTI, 1983).

A morzsafrakciók is jelentősek a kapilláris vízemelésben, ezért elkülönített morzsafrakciókkal végeztek vizsgálatokat (SZELENYI, 1957, cit. BALLENEGGER és DI GLÉRIA, 1962).

A klasszikus kapilláris vízemelési kísérletek korlátait RÉTHÁTI (1983) írta le a természetes körülmények jellemzésére:

- a kapillárisan emelkedő folyadékok szabadenergiájának egy része a nedvesedési hőre irányul,
- a természetes talajok mikro- és makroaggregátumai a talaj előkészítése során megváltoznak, esetleg szétesnek,
- a kapilláris vízemelés sebessége és végső magassága a száraz talajban más, mint az eredeti nedvességtartalom mellett,
- a talaj természetes tömörödöttsége a talajoszlopok készítése során nehezen vagy egyáltalán nem reprodukálható,
- a kapilláris emelkedést jelentősen befolyásolja a talajokat tartalmazó cső keresztmetszete (falhatás).

Rétháti a korlátozó tényezők miatt a természetes körülményekhez hasonló vizsgálatokat javasolt természetes nedvességtartalmú, bolygatlan talajmintákon (MAKÓ, 1995).

### 3. Anyag és módszertan

#### 3.1. Kutatáshoz felhasznált anyagok jellemzői

##### 3.1.1. Vegyszerek

A kísérleteimhez felhasznált *cetil-piridinium-klorid monohidrátot* (4. ábra) a Sigma Aldrich Kft-től vásároltuk. A tenzidtartalmú oldatok elkészítéséhez és a talajok kezeléséhez desztillált vizet használtam. A kationos tenzid főbb tulajdonságairól a 2.6.2. fejezetben írtam.

##### 3.1.2. Talajminták jellemzése

A kutatásom során a talajvizsgálatokat a Pannon Egyetem Georgikon Kar Talajtani és Környezetinformatikai Tanszékén, valamint a Festetics Imre Bioinnovációs Központ Talajminőségi laboratóriumaiban, Keszthelyen végeztem el.

A doktori munkám során eltérő fizikai és kémiai tulajdonságú talajokat alkalmaztam: (*Ramann-féle* (Keszthely) és *agyagbemosódásos barna erdőtalaj A és B szintjei* (Várvolgy), *mészlepedékes csernozjom* (Kápolnásnyék) és *nem karbonátos réti talaj* (Kisújszállás) *A szintjei, közepes réti szolonyec* (Karcag) és *pszeudoglejes barna erdőtalaj* (Magyarszombatfa) *B szintjei*) (2. és 3.táblázat).

2. táblázat

Talajminták, ásványi alkotók és őrlemények talajkémiai paraméterei

Mintaszám	Talajtípusok	Mintavételi hely	Genetikai szint és mélység (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	CaCO <sub>3</sub> (%)	H (%)	BET (m <sup>2</sup> /g)	T-érték	összeső (%)
1.	<i>Pannon kvarchomok</i>	Salföld	n.a.	7,44	7,37	0,02	0,00	0,40	0,70	< 0,03
2.	<i>Paksi lösz</i>	Paks	n.a.	8,15	7,73	28,04	0,63	9,00	19,74	< 0,03
3.	<i>Ramann-féle barna erdőtalaj (A)</i>	Keszthely	A (0-30)	7,03	6,54	0,05	1,55	16,12	11,84	< 0,03
4.	<i>Ramann-féle barna erdőtalaj (B)</i>	Keszthely	B (30-50)	6,83	5,69	0,00	0,94	16,85	12,38	< 0,03
5.	<i>Agyagbemosódásos barna erdőtalaj (A)</i>	Várvolgy	A (0-20)	6,58	5,73	0,00	1,33	11,72	10,36	< 0,03
6.	<i>Agyagbemosódásos barna erdőtalaj (B)</i>	Várvolgy	B (20-50)	6,63	5,23	0,00	0,70	16,85	12,78	< 0,03
7.	<i>Pszeudoglejes barna erdőtalaj (B)</i>	Magyarszombatfa	B (20-50)	5,71	3,99	0,00	0,49	30,79	16,78	< 0,03
8.	<i>Mészlepedékes csernozjom talaj (A)</i>	Kápolnásnyék	A (0-30)	7,83	7,45	9,52	3,70	20,6	30,25	~ 0,04

2. táblázat folytatása

Mintaszám	Talajtípusok	Mintavételi hely	Genetikai szint és mélység (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	CaCO <sub>3</sub> (%)	H (%)	BET (m <sup>2</sup> /g)	T-érték	összeső (%)
9.	<i>Közepes réti szolonyec talaj (B)</i>	Karcag	B (5-30)	7,2 8	6,2 5	0,13	2,00	39,1 3	40,85	~ 0,33
10.	<i>Nem karbonátos réti talaj (A)</i>	Kisújszállás	A (0-30)	7,7 8	7,0 1	1,10	2,76	48,3	35,69	~ 0,04
11.	<i>Kaolin</i>	Kriechbaum	n.a.	n.a.	na.	na.	na.	12,3	n.a.	na.
12.	<i>Bentonit</i>	Mád	n.a.	n.a.	na.	na.	na.	33,2	n.a.	na.

3. táblázat

Talajminták, ásványi alkotók és őrlmények talajfizikai paraméterei

Mintaszám	Talajtípusok	térfogattömeg (g/cm <sup>3</sup> )	sűrűség (g/cm <sup>3</sup> )	higroszkóposság	légszárzártnedvesség-tartalom (%)	agyag+Fe (%)	por (%)	homok (%)	makroaggregátum-stabilitás (%)	Arany-féle kötöttség	szántóföldi vízkapacitás (%)
1.	<i>Pannon kvarchomok</i>	1,60	2,63	0,1	0,1	0,94	0,95	98,11	9,29	30	3,40
2.	<i>Paksi lösz</i>	1,37	2,44	0,9	1,2	17,56	62,72	19,72	13,70	35	10,04
3.	<i>Ramann-féle barna erdőtalaj (A)</i>	1,32	2,34	1,1	1,5	21,09	33,13	44,28	29,67	26	12,18
4.	<i>Ramann-féle barna erdőtalaj (B)</i>	1,35	2,39	1,2	1,9	22,90	33,87	42,29	26,70	28	14,89
5.	<i>Agyagbemosódásos barna erdőtalaj (A)</i>	1,32	2,38	0,9	1,2	15,27	29,35	54,05	22,19	38	10,39
6.	<i>Agyagbemosódásos barna erdőtalaj (B)</i>	1,27	2,38	1,4	2,0	22,3	26,56	50,49	12,91	32	15,47
7.	<i>Pszudoglejes barna erdőtalaj (B)</i>	1,35	2,33	1,9	2,8	38,96	25,93	34,61	28,62	53	22,34
8.	<i>Mészlepedékes csernozjom talaj (A)</i>	1,22	2,27	2,0	2,6	27,60	51,68	7,50	38,11	42	20,81
9.	<i>Közepes réti szolonyec talaj (B)</i>	1,41	1,89	4,2	5,1	53,88	41,19	1,05	8,86	76	45,13
10.	<i>Nem karbonátos réti talaj (A)</i>	1,39	2,26	3,5	4,8	51,09	45,9	0,88	43,62	64	51,11
11.	<i>Kaolin</i>	0,71	2,71	0,6	0,9	32,13	66,48	1,38	0,65	76	19,31
12.	<i>Bentonit</i>	0,96	1,89	3,4	5,2	67,44	30,46	2,10	24,63	108	15,26

Megjegyzés: mechanikai összetétel MSZ-08.0205-78 MÉM szabvány alapján.

A talajok mintavételezése a volt Mezőgazdasági és Élelmezésügyi Minisztérium, Növényvédelmi és Agrokémiai Központ (MÉM NAK) irányelvei alapján (MSZ 0205: 1978; MSZ 0206: 1978) történt meg. A talajminták előkészítése során -a kezelésekhez is- légszáraz talajokat

kézzel őröltem dörzsmozsárban, majd azokat 2 mm-es lyukátmérőjű szitán átrostáltam (NAGY és MAKÓ, 2011; NAGY és DEÁK, 2013).

A talajfizikai vizsgálatokat *eredeti* (E), valamint *kontrollkezelt* (K) (előduzzasztás, mosás - folyadékeltávolítás, centrifugálást követően-, tenzid nélkül) és *tenziddel kezelt* (T) (előduzzasztás, tenzid hozzáadása, mosás -folyadékeltávolítás, centrifugálást követően-) légszáraz talajmintákon végeztem 3 ismétlésben, elemezve a tenzides kezelés hatását (NAGY és munkatársai, 2015; NAGY és munkatársai, 2017).

A minták fajlagos felületének mérése a *Pannon Egyetem Mérnöki Karának Környezetmérnöki Intézetében ASAP 2000 nitrogénadszorpciós porozímetérrrel* (Micromeritics Inst. Corp., Norcross, USA) valósult meg.

A vizsgált légszáraz talajmintákra részletes ásványi összetétel vizsgálat is készült *Philips PW 1710 diffraktométerrel* (III. táblázat) az *MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Földtani és Geokémiai Intézetében* (BARNA és munkatársai, 2012; 2015).

### 3.1.3. Ásványi őrlemények, talajalkotók jellemzése

Az ásványi őrlemény keveréksorozatok (I/1.–I/9. és II/1.–II/6.) összeállításához részben nagy agyagtartalmú ásványi őrleményeket (bentonit, kaolin), részben humuszmentes talajképző (talajalkotó) kőzeteket (lössz, homok) használtam fel (2. táblázat). A vizsgálatba vont ásványi őrlemények az agyagásvány-szerkezet szélsőséges típusait reprezentálják. Az ásványi őrlemény keveréksorozatok az Atterberg-féle rendszer alapján állítottam össze (4. táblázat). A bentonit és a kaolin keveréksorozat tömegarányai közti eltérés oka az ásványi őrlemények (bentonit és kaolin) agyagfrakciójával magyarázható. Összehasonlíthatóvá kívántam tenni a két keveréksort. Mivel a fizikai tulajdonságokat elsősorban az agyagtartalom befolyásolja, így azt szerettem volna elérni, hogy a keveréksorok egyes elemei százalékos agyagtartalmukban ne különbözzenek, csak agyagásvány minőségükben. Ezt a 2-6. elemére a keveréksoroknak a tömegarányok módosításával sikerült is megvalósítanom, a keveréksorok első elemeire (a tiszta bentonitra és kaolinra) természetesen nem (MAKÓ, 1995).

4. táblázat: Ásványi őrlemény keveréksorozatok összetételének arányai az Atterberg-féle rendszer alapján

Minta száma	Bentonit keveréksorozat tömegarányok			Mechanikai összetétel		
ásványi őrlemény	bentonit	lössz	homok	agyag%	por%	homok%
I/1.	1,00	0,00	0,00	67,70	31,70	0,60
I/2.	0,66	0,33	0,00	49,40	39,20	11,40
I/3.	0,50	0,25	0,25	37,50	30,00	32,50
I/4.	0,50	0,00	0,50	34,70	16,90	48,40
I/5.	0,33	0,33	0,33	27,40	29,40	43,20
I/6.	0,25	0,25	0,50	20,90	22,60	56,50
I/7.	0,00	1,00	0,00	12,90	54,30	32,80
I/8.	0,00	0,50	0,50	5,40	19,50	75,10
I/9.	0,00	0,00	1,00	1,70	2,10	96,20
Minta száma	Kaolin keveréksorozat tömegarányok			Mechanikai összetétel		
ásványi őrlemény	kaolin	lössz	homok	agyag%	por%	homok%
II/1.	1,00	0,00	0,00	54,50	44,70	0,70
II/2.	0,88	0,12	0,00	49,40	45,90	4,70
II/3.	0,64	0,18	0,18	37,50	38,80	23,70
II/4.	0,62	0,00	0,38	34,70	28,70	36,60
II/5.	0,42	0,29	0,29	27,40	35,20	37,40
II/6.	0,31	0,23	0,46	20,90	27,50	51,60

Az ásványi őrlemény keveréksorozatok porfrakciójához a *paksi lösz* fal 1,5–8 m-es rétegösszetéből származó lösz, valamint a homokfrakcióhoz nagy tisztaságú salzföldi *pannon kvarchomok*ot választottam (MAKÓ, 1995; NAGY és DEÁK, 2013). A vizsgálatokat két keveréksorozaton végeztem, melynek során az egyikben a *mádi bentonit* (*I. keveréksorozat*), a másikban a *kriechbaumi kaolin* (*II. keveréksorozat*) minta alkotja döntően az agyagfrakciót. A keveréksorokat úgy állítottam össze, hogy mindkettőben hasonlóképpen csökkenjen az agyagtartalom (*2. táblázat*) (MAKÓ, 1995).

Az egyes agyagos alapkategorizációk (bentonit és kaolin) agyagtartalma különböző, így a keveréksorozatok egymásnak megfelelő I/2-I/6. és II/2-II/6. mintáiban csak az agyagtartalmak voltak azonosak, a por és homoktartalmak különböztek. Az *I. keveréksorozat* I/7.–I/9. mintái a *II. keveréksorozat* II/7.–II/9. mintáinak is tekinthetők, melyek csak lösz és homokmintát tartalmaznak (MAKÓ, 1995). A bentonit- és a kaolin keveréksorozatot azért választottam meg, hogy értékelni tudjam a mechanikai összetétel hatásán túl az agyagásvány minőség hatását is a vizsgált talajparaméterekre.

## 3.2. Talajkolloidikai vizsgálatok módszertana

### 3.2.1. Talajminták kezelése

A talajminták kezelési módszerének (szuszpenzió, diszperz rendszer) megválasztásához figyelembe vettem környezetreleváns szempontokat (pl. a víz iszapoló, kilúgozó hatását tekintve különböző talajokon) is. A talajminták *kontroll- és tenzides kezelését* szuszpenzióban hajtottam végre.

A részleges felületmódosításhoz felhasznált talajminták, ásványi keverékalkotók tömegét (1500–4000 g) a talajfizikai vizsgálatokhoz szükséges, előre meghatározott mennyiségek alapján választottam meg. Az általam bemért tömeget alapvetően a kapilláris vízemelés vizsgálatához szükséges minta mennyisége szabta meg, melyhez hozzáadódott az egyéb talajfizikai vizsgálatokhoz szükséges minta mennyisége is. Mivel a kapilláris vízemelés vizsgálatához a térfogattömeg szerinti egységes tömörítés alapvető szempont a mesterséges talajoszlopok előállításánál, így ehhez elegendő volt kisebb talajoszlopok előállítása is egyes talajmintáknál. Emiatt a közepes réti szolonyec talajból elegendő volt 1500 gramm (a kezelés hatására is maximum 3 cm a kapilláris vízemelés magassága a 24. óráig), míg a homokból, – ahol 39 cm-es kapilláris vízemelés magasságot mértem (24 órában) az eredeti mintánál –, lényegesen nagyobb mennyiségű minta kezelése vált szükségessé, azaz 4000 gramm.

A talajmintákhoz készített tenzidoldatok koncentrációjának megállapításához a talajmintákra meghatározott szántóföldi vízkapacitás ( $pF_{2,3}$ ) (NAGY és DEÁK, 2013, NAGY és munkatársai, 2015; 2016), valamint a teljes felületmódosítást (hidrofóbizálást) jelentő fajlagosan adszorbeált tenzid mennyiség ( $q_{max}$  (mol CPC/g adszorbens) értékeket vettem alapul, amelyek eléréséhez szükséges kiindulási koncentráció ismert adat (TÓTH, 2012b).

A fentiek figyelembevételével a tenzides kezeléseknél a maximális borítottság (teljes felületmódosítás) elérését biztosító CPC mennyiség század részének ( $CPC_{(1/100)}$  g/100g adszorbens) megfelelő kiindulási koncentráció ( $c_0$ ) értékeket használtam (5. táblázat). Az általam alkalmazott pontos beméréseket (adszorbens tömege, CPC oldat térfogata és koncentrációja stb.) az (5. táblázat) tartalmazza.

5. táblázat

A tenzides kezelések kivitelezése során alkalmazott bemérések

Minta száma	$m_{\text{adszorbens}}$ (g)	$V_{\text{víz}}$ (L) duzzasztáshoz	$m_{\text{CPC}}$ (g)	$V_{\text{CPC oldat}}$ (L)	$*c_0$ (g CPC/L)	$c_e$ (g CPC /L)
1.	4000,00	0,8500	0,1080	0,8500	6,35 E-02	9,00 E-04
2.	2900,00	2,1253	0,8787	2,1253	2,07 E-01	3,00 E-03
3.	2500,00	2,3068	0,9400	2,3068	2,04 E-01	9,00 E-03
4.	2500,00	2,7574	1,0175	2,7574	1,85 E-01	7,65 E-03
5.	2500,00	1,9678	0,7725	1,9678	1,96 E-01	3,57 E-02
6.	2500,00	3,0452	1,1550	3,0452	1,90 E-01	7,24 E-02
7.	2500,00	4,1370	0,8925	4,1370	1,08 E-01	1,00 E-04
8.	2500,00	4,2643	1,8150	4,2643	2,13 E-01	1,30 E-02
9.	1500,00	4,8011	2,4885	4,8011	2,59 E-01	5,33 E-02
10.	2000,00	7,4613	2,9060	7,4613	1,95 E-01	2,31 E-02
11.	2000,00	5,4394	0,5840	5,4394	5,37 E-02	2,20 E-02
12.	2000,00	3,1800	4,4820	3,1800	7,05 E-01	2,05 E-03

Megjegyzés:  $*c_0 = m_{\text{CPC}} / (V_{\text{víz}} + V_{\text{CPC oldat}})$

A kezelés során a számított mintamennyiséghez a szántóföldi vízkapacitás 20-szorosának megfelelő oldattérfogatot ( $V = V_{\text{víz}} + V_{\text{CPC oldat}}$ ) két lépcsőben adtam hozzá. A kezelés első lépésénél a talajminták *előduzzasztásához* – a tenzidadszorpció hatékonyságának növeléséhez (PATZKÓ, 1996; FÖLDÉNYI és munkatársai, 2013) – az összes oldattérfogatnak, azaz a szántóföldi vízkapacitás 20-szorosának a felét adtam (desztillált víz), tehát a szántóföldi vízkapacitás 10-szeresét ( $V_{\text{víz}}$ ). Az elkészített szuszpenziót az első 8 órában óránként 2 percen keresztül üvegbottal kevertem 24 °C-on, fénytől elzárt helyen, majd 24 óra állást követően hozzáadtam az aktuális minta szántóföldi vízkapacitása 10-szeresének megfelelő térfogatú tenzidoldatot ( $V_{\text{CPC oldat}}$ ).

A tenzidoldatot az előduzzasztott talaj- és ásványi őrlemény mintákhoz folyamatos keverés mellett adagoltam, majd az első 8 órában óránként 2 percen keresztül üvegbottal kevertem, hogy a nagy mintamennyiség kezelésekor elősegítsem a hatékonyabb tenzidadszorpciót. Ezután a kisebb agyagtartalmú mintákat 48 órán keresztül, míg a nagyobb agyagtartalmú mintákat 72 órán keresztül állni hagytam (ERLEI, 1997) az adszorpciók egyensúly beállásáig (TÓTH, 2012b), majd 7000-es fordulatszámom 10 percre centrifugáltam azokat *Sigma 6K10 centrifugával*.

A CPC egyensúlyi koncentrációjának ( $c_e$ ) megállapításához a felülúszót papírszűrőn szűrtem, majd a szűrlet első 10 mL-ének leöntése után megmértem az oldat abszorbanciáját. Ezt követően analitikai mérőgörbe segítségével *UV-VIS spektrofotometriás* módszerrel meghatároztam az egyensúlyi koncentráció értékét (lásd 3.2.2. fejezet). A fajlagos adszorbeált mennyiséget ( $q$ ) a *β* egyenlet segítségével számítottam ki.

A felülúszó eltávolítása után a csőben maradt nedves üledék még tartalmazza az egyensúlyi oldat kis térfogatát. Mivel a szárítás során ennek CPC-tartalma kötetlen állapotban a mintában maradna (beleszáradna), ezért ezt a felesleget el kell távolítani, miközben a tenzid a felületen marad. Ezt mosási eljárással valósítottam meg, hiszen a részlegesen illetve teljesen hidrofóbizált felület víztaszítóvá válik, így a már adszorbeált kationos tenzid onnan vízzel már nem távolítható el. Ennek érdekében az 500mL-es centrifugacsövekben maradt üledékhez (1/3-ad arányban talajmintát, 2/3-ad arányban desztillált vizet adtam, majd ismételen 10 perces centrifugálás következett. A *mosást* addig végeztem, míg a leöntött, szűrt felülúszóban a CPC már nem volt kimutatható ( $\lambda = 259$  nm-en az abszorbancia 0 volt).

Az oldatfázistól elválasztott, kezelt talajmintákat  $40^\circ\text{C}$ -on szárítottam szárítószekrényben (ERLEI, 1997). A 72 órás szárítást követően a mintákat dörzsmozsárban aprítottam, majd 2 mm-es lyukátmérőjű szitán átengedtem (NAGY és munkatársai, 2015).

A kontroll minta előállításának lépései megegyeznek a tenzides kezelés módszerével a CPC hozzáadása nélkül.

Az ásványi őrlemény keveréksorozatok (*I. és II. keveréksorozat*) alapkomponeenseinek tenzides kezelését a bentonitra, kaolinra, löszre, homokra külön-külön végeztem el.

A kezelés módszerének megválasztásával, a diszperz rendszer (szuszpenzió) előállításával, valamint a részleges felületmódosítással igyekeztem gyakorlatorientált módon megközelíteni a talajminták, talajalkotók, ásványi őrlemények tenzides kezelését.

### 3.2.2. Egyensúlyi koncentráció meghatározása spektrofotométerrel

A nagy mennyiségű minták részleges felületmódosítását és a kis mennyiségű (5 g) kaolin adszorpciós izotermájának felvételét a *Pannon Egyetem Georgikon Kar Festetics Imre Bioinnovációs Központ Talajminőségi laboratóriumában* végeztem el, viszont a többi talajminta adszorpciós vizsgálata a teljes felületi borítottság meghatározásának céljából a Pannon Egyetem Föld- és Környezettudományi Intézeti Tanszékén történt kis adszorbens tömegek (5-5 g) bemérésével. A talajminták korábbi adszorpciós vizsgálatához a CPC abszorbanciáját 259 nm-en, *Varian Cary 50 UV-VIS spektrofotométerrel* határozták meg (TÓTH, 2012b). A tenzid spektrumán 214 és 259 nm-en jelentkeztek a csúcsok, ahol az előbbit nagy valószínűséggel a C-N kötés, míg az utóbbit az aromás gyűrű okozza. Ezt követően határozták meg azt a koncentráció tartományt, ahol a tenzid koncentráció és az abszorbancia közötti lineáris összefüggés (Lambert-Beer tartomány) megfigyelhető (TÓTH, 2012a; FÖLDÉNYI és munkatársai, 2013). Ez a tartomány 5–250 mg/L

( $2,89 \times 10^{-5}$ – $6,98 \times 10^{-4}$  M) között jelentkezik. Az abszorbancia értéke 3-ig növekedett, ezért 5-, 10- vagy 100-szoros hígítás vált szükségessé (TÓTH, 2012b).

A CPC koncentrációjának meghatározását *UV-VIS spektrofotometriás* módszerrel ( $l=1$  cm,  $\lambda = 259$  nm) a fentiek alapján végeztem el, amelyhez *Genesis 10S spektrofotométert* alkalmaztam.

### 3.2.3. Fajlagosan adszorbeált tenzid mennyiségének meghatározása kis mennyiségű kaolin esetében

Az adszorpció vizsgálatához 5,000 g mennyiségű szárított kaolint mértem be zárható fedelű centrifugacsövekbe. A beméréseket analitikai mérlegen végeztem, azt követően a mintákhoz 5–5 mL desztillált vizet adtam. A kaolin mintákat 24 órán keresztül duzzadni hagytam 24 °C-on, fénytől elzárt helyen. A tenzidadszorpció vizsgálatok során – a jellemzően figyelembe vett – pH és ionerősség paramétert (SZÁNTÓ, 1986) nem vontam be a vizsgálatba, mivel a hozzáadott só érdemi eltéréseket eredményezhet a talajfizikai paraméterekben. 24 órát követően a duzzasztott mintákra 45 mL (meghatározott koncentrációjú) oldatot mértem (PATZKÓ, 1996).

A koncentrációtartomány megválasztását az izoterma első lépcsőjéhez igazítottam, melynél figyelembe vettem a minta tulajdonságait (kationcserélő képesség), így a koncentráció tartományt 1-100 mmol/L tenzidtartalomra állapítottam meg. A konkrét adszorpció méréseket próbamérések előzték meg a kiindulási koncentráció tartományok meghatározásához (FÖLDÉNYI és munkatársai, 2013).

A spektrofotometriás méréshez 0 mg/L-es koncentrációjú (tenzidmentes, ún. vakoldatot) készítettem. A mérési sorozatot három párhuzamos mintával végeztem. A tenzidoldatok hozzáadását követően a mintákat 60 percig rázattam 150 1/perc-es fordulatszámmal, utána az adszorpció egyensúly beállításához a mintákat 24 óráig állni hagytam. Az adszorpció egyensúly beállítását követően a mintákat 3 000 fordulat/perc sebességgel 30 percig centrifugáltam. A felülúszó leszűréséhez redős szűrőt alkalmaztam a szilárd részek eltávolítására. A szűrőpapír megkötheti a tenzidet, valamint egyéb mikroszennyezőket az oldatból, emiatt a szűrlet első 10 mL-ét kiöntöttem. A szűrletet zárható lombikba öntöttem, melyet a CPC egyensúlyi koncentrációjának meghatározásához (lásd 3.2.2. fejezet) használtam fel.

### 3.2.4. Fajlagos felület meghatározása

A talajminták fajlagos felületének meghatározása a nitrogén gáz adszorpciós vizsgálatán alapszik, melynek értékelése a Brunauer, Emmett és Teller adszorpciós izotermaegyenlet (BET-egyenlet) alapján történt (BRUNAUER és munkatársai, 1938).

A vizsgálathoz 2-4 g, 105 °C-on tömegállandóságig szárított eredeti és tenziddel kezelt talajminták kerültek felhasználásra. A 3.1.2. fejezetben ismertetett készülék az adszorbeálódott nitrogéngáz térfogatát méri. A műszer által mutatott felület (m<sup>2</sup>) és a bemért talajmennyiségnek (g) hányadosaként megkapjuk a talaj fajlagos felületét m<sup>2</sup>/g-ban (BUZÁS, 1988).

### 3.2.5. Talajkémiai alapvizsgálatok módszerei

Az alap talajkémiai vizsgálatok az TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0003 és a TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0005 pályázat keretében kerültek elvégzésre a Pannon Egyetem Georgikon Kar Növénytermesztési és Talajtani Tanszéken.

A humusztartalom meghatározása a *Tyurin-féle* módszer szerint történt. A talaj szerves anyaga krómsavas oxidációval elroncsolódik, így a fogyott oxidálószerrel egyenértékű szerves kötésű C mennyisége kiszámítható (TYURIN, 1931). A mésztartalom vizsgálata az összes karbonáttartalom alapján a Scheibler-módszerrel valósult meg. A mérés során egy reakcióedényben az 1–10 g talajhoz híg 10 %-os sósav (HCl) került adagolásra. Az összerázás során fejlődő CO<sub>2</sub> gáz térfogatából kiszámítható a CaCO<sub>3</sub> mennyisége (MSZ–08–0206–2: 1978).

A talajok kémhatásának (pH) vizsgálata szuszpenzióban *direkt potenciometriás* módszerrel történt. A pH értéktől függő potenciálváltozás egy vékony üvegmembrán két oldala között jön létre. A pH<sub>(H<sub>2</sub>O)</sub> mérése 15 cm<sup>3</sup> desztillált vízben – 1:2,5 talajoldat arányban –, míg a pH<sub>(KCl)</sub> mérése víz helyett 15 cm<sup>3</sup> 1 mol/l-es KCl oldatban történt (MSZ–08–0206–1: 1978).

A talaj hidrolitos aciditása (*y1-érték*) a *talaj potenciális savanyúságának* egyik mutatója. A vizsgálat során a savanyú kémhatású talajmintához a hidrolitosan bomló (8,2 pH-jú 0,5 mól/L Ca-acetátba) sóoldatot adunk, a reakció során a só fémkationját a talaj megköti, miközben a fémionokkal megkötött egyenértékű H<sup>+</sup>-ion oldatba jut. A felszabadult sav mennyiségéből lúgos titrálással meghatározható az *y1-érték* (MSZ–08–0206–2: 1978).

A talajok kationcserélő tulajdonságait a *kationcserélő-kapacitással (T-érték)*, valamint az ún. *kicserélhető kationok* (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>) (*S-érték*) mennyiségével és arányával jellemezzük. A *T-értéken* egységnyi felületű vagy egységnyi tömegű talaj negatív töltéseinek összes mennyiségét értjük, melyet a 100 g talaj által adszorbeált összes kation mgé-ben (milligramm-egyenérték)

fejezzük ki. A  $T$ -érték függ a talaj mechanikai összetételétől, az agyagfrakció mennyiségétől, ásványi összetételétől. A kicserélhető kationok ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) mennyiségének összege mgé/100 g-ban megadva a talaj  $S$ -értéke. A meghatározás *Meblich-eljárással* történt, melynek során a kicserélhető kationok eltávolításához 8,1 pH-értékre beállított 0,1 mol/l-es  $\text{BaCl}_2$ -oldatot használtunk (BUZÁS, 1988).

A talajok *vízben oldható összes sótartalmának* az elektromos vezetőképessége konduktométerrel lett megmérve. Az összes sótartalom mérésére szolgáló eljárás elvét a MSZ–08–0206–2: 1978 szabvány írja le. A talaj összes sótartalmának egyszerű és gyors félkvantitatív meghatározása a telítési talajpép (képlékenység felső határáig telítjük a talajmintát) elektromos *vezetőképességének* mérésén alapszik. Az ellenállásból kiszámolható a fajlagos vezetőképesség, amelynek értéke egy kalibrációs táblázat segítségével sótartalomra átszámítható (BUZÁS, 1988).

### 3.3. Talajfizikai vizsgálatok módszertana

A talajfizikai vizsgálatokat döntően eredeti, kontrollkezelt és tenziddel kezelt mintákon végeztem el, viszont a mechanikai összetétel és a fajlagos felület vizsgálatokra kontrollkezelést nem alkalmaztam. A mechanikai összetétel *MSZ szabvány* szerinti meghatározása miatt a módszertani felvetésből nem végeztem kontrollkezelést, mivel a méréshez előállított minta, diszpergált fázisban, szuszpenzióban történt. Ellenben a mechanikai összetétel vizsgálatot 4 féle módon is elvégeztem, vizsgálva a tenzides kezelést, illetve a pirofoszfát hatását, lásd. 3.3.2. fejezetben. Ezt az alapfelvetést az aggregátum-stabilitás vizsgálat során kapott eredmények a kontrollkezelésre megcáfolják, mivel a legtöbb talajmintáknál (*barna erdőtalajoknál és a csernozjom talajnál*) a kontrollkezelés hatása nagyobb mértékben megnövelte a makroaggregátum-stabilitást az eredeti mintákhoz képest (*XXV. ábra*).

A fajlagos felület vizsgálat kontrollkezelés elvégzésére több vizsgálati feltétel miatt már nem volt lehetőség. A talajfizikai vizsgálatokat minden esetben 3 ismétlésben végeztem.

#### 3.3.1. Aggregátum-stabilitás meghatározása

Az aggregátum stabilitás mérések a hazai talajfizikai mérések sorában nem gyakoriak (MIÓKOVICS és munkatársai, 2011). Korábbi években az aggregátum-stabilitás meghatározásához a Pannon Egyetem Georgikon Kar Talajtani és Környezetinformatikai (korábban Növénytermesztési és Talajtani) Tanszékén hagyományos nedves szitálás elven működő aggregátum stabilitást mérő készüléket is alkalmaztak, melyet a Petzenkichen-i Táj- és

Vízgazdálkodási Kutatóintézetben (Ausztria) készítették. E mérés lényege: a megszokottól eltérően nem a talaj, hanem az azt körülvevő vízfázis mozog (MURER és munkatársai, 1993). A talajok aggregátum stabilitásának meghatározását Kemper-Rosenau módszer szerint végeztem (KEMPER és ROSENAU, 1986). A Pannon Egyetem Georgikon Kar Növénytermesztési és Földhasználati Tanszékén jelenleg az *Eijkelkamp Wet Sieving Apparatus* készülékkel is végeznek aggregátum stabilitás vizsgálatokat. A talajminták és az ásványi őrlmények stabil makroaggregátum arányának meghatározásához megnevezett készüléket alkalmaztam. A két mérési eszköz között a különbség, hogy az *Eijkelkamp Wet Sieving Apparatus* készülékbe több mintaszám helyezhető el, valamint a talajminta függőlegesen mozog a vizes fázisban, míg a nedves szitálás elven működő Petzenkichen-i kutatóintézetben fejlesztett készüléknél a vizes fázis mozog.

Az aggregátum-stabilitás (**makroaggregátum-stabilitás**) meghatározásához – ahogyan a többi talajvizsgálatnál is – 2 mm-es lyukátmérőjű szitán átengedett (**eredeti** (E), előduzzasztott, mosás (folyadékeltávolítás) **kontrollkezelt** (K) (tenzid hozzáadása nélkül), valamint előduzzasztott, tenzidoldat hozzáadása, mosás (folyadékeltávolítás) **tenziddel kezelt** (I) talajmintákat, ásványi alkotókat használtam fel. Az eredeti minták bolygatottak, a kontroll- és tenziddel kezelt minták bolygatottak, előkezelték. A vizsgálathoz 0-2 mm közötti frakciókat tartalmazó talajmintákat, ásványi alkotókat alkalmaztam. Az *Eijkelkamp* készülékhez 8 darab, 250 mikrométeres lyukátmérőjű, fémszövetes szita tartozik. Mivel az aggregátum-stabilitás kísérlethez 250 mikrométeres szitákat alkalmaztam, így **makroaggregátum-stabilitást** vizsgáltam. A készülék 34/perces ütemmel, 13 mm-es teljes lökethosszal működik. A sziták a talajmintákkal együtt mozognak az álló helyzetben lévő vizes fázisban. A készülékbe 4-4 g mintát mértem analitikai pontossággal, majd a mintákat 250 mikrométeres szitákra helyeztem. A készülékeket 5 percen keresztül működtettem, majd a szitán fennmaradt mintákat maradéktalanul előzetesen lemért főzőpoharakba bemosztam. A talajmintákat 105 °C-on 48 órán keresztül szárítottam. A szárítást követően lemértem a főzőpoharak tömegét, mely során megkaptam a stabil frakció mennyiségét. Ezt követően a talajmintákra 0,1 M Na-pirofoszfát oldatot öntöttem, melyet a mintákkal elkevertem, majd 2 órán át állni hagytam. Ezt követően a 250 mikrométer feletti homok frakciót tartalmazó talajmintákat rámostam a szitákra. A fennmaradt részt főzőpoharakba mostam, majd 105 °C-on 48 órán át szárítottam. A szárítást követően visszamértem a homokfrakció tömegét (DUNAI és munkatársai, 2015; CARON és munkatársai, 1992; VILLAR és munkatársai, 2004).

A stabil **makroaggregátum** %-os meghatározását az alábbi (9. egyenlet) összefüggés alapján számoltam ki:

$$\text{Stabil aggregátum (\%)} = \frac{\text{stabil frakció-homok frakció}}{\text{bemért talaj-homok frakció}} \times 100 \quad (9)$$

ahol: a stabil frakció (g) (szárított, pirofoszfát kezelés nélküli frakció), a homok frakció (g) (szárított, Na-pirofoszfát oldattal kezelt frakció), bemért talaj (g) (eredeti légszáraz talajminta). A *makroaggregátum-stabilitás* vizsgálatokat az eredeti, kontroll- és tenziddel kezelt mintákra is 3-3 ismétlésben végeztem el.

### 3.3.2. Mechanikai összetétel meghatározása

A *mechanikai összetétel* és a fizikai féleséget (textúrát), mint a különböző méretű elemi talajrészecskék eloszlását jellemző kvantitatív és kvalitatív jellemzőket, a talajok legfontosabb tulajdonságai közt tartjuk számon (MAKÓ és munkatársai, 2017). A talajminták mechanikai összetételét az agyag, por és a homok frakció százalékos arányával jellemeztem. Az egyes szemcsefrakciók elhatárolásához a *Nemzetközi Talajtani Társaság* által elfogadott *Atterberg-féle rendszert* (agyag: <0,002 mm; por: 0,002–0,02 mm; homok: 0,02–2 mm) alkalmaztam (VÁRALLYAY, 1993).

A talajminták és az ásványi alkotók (eredeti, tenziddel kezelt) mechanikai összetételének vizsgálatához a *MSZ 08-0205 78 MÉM* szabványban rögzített pirofoszfátos, ún. pipettás módszert választottam (BUZÁS, 1993). A vizsgálat során a diszpergált talajszuszpenziót ülepítőhengerben felkevertem, majd ülepedni hagytam. Meghatározott idő elteltével, valamint adott rétegmélységekből a kipipettázott szuszpenziórészleteket szárazra bepárolva meghatároztam a szuszpenzióban lévő ásványi rész mennyiségét. A szemcsék sűrűségének ismeretében a *Stokes-egyenlet* alapján az egyes szemcsefrakciók százalékos mennyisége kiszámítható, így meghatározható a talaj mechanikai összetétele. A mechanikai összetétel vizsgálatot a Na-pirofoszfáttal, valamint annak hozzáadása nélkül is elvégeztem az *eredeti* és a *tenziddel kezelt* mintákra, hogy a makroaggregátumok stabilitására választ kapjak az agyagtartalmak eltérése alapján. A négyféleképpen vizsgált mechanikai összetételt az alábbiak szerint jelöltem: KP (kontroll (eredeti minta), pirofoszfátos), KPN (kontroll (eredeti minta), pirofoszfát nélküli), TP (tenziddel kezelt minta, pirofoszfátos), TPN (tenziddel kezelt minta, pirofoszfát nélküli). A vizsgálatot eredeti bolygatott, illetve bolygatott és tenziddel előkezelt mintákon végeztem, 3-3 ismétlésben.

E vizsgálat célja annak megállapítása volt, hogy a tenzides kezelés hatása milyen arányban eredményez különbséget a minták mechanikai összetételében, amely alapvetően befolyásolhatja pl. az aggregátum stabilitást és a kapilláris emelkedést.

A méréseknél általában kulcsfontosságú a minták előkészítése (roncsolása és diszpergálása) a talajok aggregáltsága miatt. A talajok kötőanyagként általában szerves anyagokat, vas-oxidokat és karbonátokat tartalmaznak. A kémiai előkezeléseknek a célja az, hogy ezeket az elemi talajrészecskéket összetapasztó ragasztóanyagokat a talajokból eltávolítsuk, ugyanakkor a tapasztalatok azt mutatják, hogy a kémiai előkezelésekkel bizonyos talajásványokat elroncsolhatunk, illetve kioldhatunk a talajból (MAKÓ és munkatársai, 2002).

MAKÓ és HERNÁDI (2010) kutatásai azt igazolják, hogy a FAO módszerrel előkészített minták agyagtartalma minden esetben magasabb volt, mint a pirofoszfátos előkészítés utáni értékek esetében. A FAO módszertan szerinti (nemzetközi szabványok közül az ISO/DIS 11277: 1994) előkészítési eljárást alkalmazva, a mikroaggregátumok kötőanyagainak roncsolásával, az elemi szemcsékre diszpergált talaj agyagtartalma teljesen feltáródik, míg a hazai szabvány (MSZ) az agyagtartalom egy részét a mikroaggregátumokhoz kötötten a nagyobb frakciókhoz méri (MAKÓ és HERNÁDI, 2010). Mivel a kutatásom során arra kerestem a választ, hogy a tenzid illetve a pirofoszfát hatása milyen változásokat eredményez a talajminták makroaggregátumaiban, mechanikai összetételében, emiatt a talajvizsgálathoz az MSZ szabvány szerinti mechanikai összetétel vizsgálati módszert alkalmaztam.

### 3.3.3. Térfogattömeg meghatározása

A talaj térfogattömegén az egységnyi térfogatú, nedvességmentes talaj tömegét értjük. Meghatározása (kivételes speciális vizsgálatoktól eltekintve) alapvetően bolygatatlan szerkezetű mintán történik.

A vizsgálathoz légszáraz nedvességtartalmú mintákat használtam fel, melyet 100 cm<sup>3</sup>-es acélhengerbe töltöttem fel, egységnyi tömegű mintamennyiségeket adagolva, gumidugóhoz kocogtatva egységes ütésszámmal. Az acélhengerek aljára bilinccsel szorosan illesztve sifonvásnat rögzítettem. Az acélhenger feltöltését követően a tömeget táramérlegemmel mértem. A térfogattömeget a talajmintákon, valamint az ásványi őrleményeken kívül a keveréksorozat valamennyi mintájára is elvégeztem. A talajminták térfogattömegét az egységnyi talaj tömegének és térfogatának (100 cm<sup>3</sup>) a hányadosaként adtam meg (BUZÁS, 1993).

### 3.3.4. Talajminták sűrűségének meghatározása

A sűrűségmérést az eredeti, kontrollkezelt és a tenziddel kezelt légszáraz talajmintákra, valamint az ásványi keveréksorozat alapkompenseire végeztem el, szintén 3-3 ismétlésben.

A talaj sűrűségén egységnyi térfogatú, hézagmentes talaj száraz tömegét értjük. Meghatározására általánosan elterjedt piknométeres eljárást alkalmaztam. A 2 mm-es szitán átengedett talajmintából 10–15 g-nyi mennyiséget használtam fel a sűrűség meghatározásához (BUZÁS, 1993).

### 3.3.5. Talajminták Arany-féle kötöttségének meghatározása

Hazánkban a talajok fizikai féleségét az *Arany-féle kötöttségi szám* ( $K_A$ ) segítségével határozzák meg, amely történhet gépi vagy kézi keveréssel.

A talajminták *Arany-féle kötöttségi számát* kézi keveréssel, fonálpróba segítségével határoztam meg 100 g talajmintára vonatkoztatva (BUZÁS, 1993). A vizsgálathoz légszáraz eredeti, kontroll és tenziddel kezelt talajmintákat, ásványi alkotókat használtam fel.

### 3.3.6. Higroszkóposág meghatározásának módszere

A higroszkóposág meghatározására a leggyakrabban alkalmazott *Sik-féle (hy1)* módszert alkalmaztam, melynek során a 20 °C-on 32,3%-os relatív páratartalmú térben telítettem a *kontroll- és a tenziddel kezelt* talajmintákat, valamint az ásványi őrleményeket a  $\text{CaCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ -t tartalmazó vákuum-exszikkátorban (BUZÁS, 1993).

### 3.3.7. A talaj légszáraz nedvességtartalmának meghatározása

A légszáraz talaj nedvességtartalmának ismerete elsősorban azért vált szükségessé, mivel a különböző talajvizsgálataimhoz légszáraz-nedvességtartalmú eredeti, kontrollkezelt és tenziddel kezelt talajmintákat használtam fel. A légszáraz talaj nedvességtartalma a talaj tulajdonságain kívül elsősorban a tárolóhelyiség légterének relatív páratartalmától függ (BUZÁS, 1993). E talajfizikai paramétert is 3-3 ismétlésben végeztem el.

A talajminták légszáraz nedvességtartalmát térfogatszázalékban % határoztam meg, a  $w_1$  (légszáraz nedvességtartalom tömegszázalékban (%))  $\times T_s$  (térfogattömeg,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ) szorzataként.

### 3.3.8. A kapilláris vízelelés vizsgálata oszlopkísérlettel

A kapilláris vízelelés vizsgálathoz a bentonit (I/1-I/9.) és a kaolin (II/1-II/6.) keveréksorozatmintákat, valamint (*Ramann-féle és agyagbemosódásos barna erdőtalaj A és B szintjei, mészlepedékes csernozjom és nem karbonátos réti talaj A szintjei, közepes réti szolonyec és pszeudoglejes barna erdőtalaj B szintjei*) talajmintákat alkalmaztam.

A kapilláris vízelelés méréshez az előkészített, légszáraz mintákból 1000 mm hosszú és 30 mm belső átmérőjű üvegcsövekben mesterséges talajoszlopokat készítettem, kezelésként és mintánként 3 ismétlésben (MAKÓ, 1995; NAGY és MAKÓ, 2011; NAGY és DEÁK, 2013; NAGY és munkatársai, 2015, 2017). A 2 mm-es szitán átszitált talajmintákat (2,5 g) tömegegységenként gumidugóhoz kocogtatva üvegcsövekbe töltöttem. A kapilláris csövek feltöltése közben figyelembe vettem, hogy a töltött rétegek térfogattömege egységesen tömődött legyen, biztosítva a talaj kapilláris vízelelésnek folyamatos áramlását a talaj genetikai típusának, illetve talajfizikai jellemzőknek megfelelően. Az üvegoszlopok aljára sifonvásznat rögzítettem, amely a feltöltött talajoszlop tartós állékonyságát segíti elő. A mérés során állandó, 5 mm magas vízállást biztosítottam az oszlopok alján (BALLENEGGER és DI GLÉRIA, 1962). A vizsgálat során 24 °C-ot biztosítottam a méréshez (MALIK és munkatársai, 1984; KUMAR és MALIK, 1990; MAKÓ, 1995, NAGY és MAKÓ, 2011; NAGY és DEÁK, 2013; NAGY és munkatársai, 2015; 2016; 2017). E vizsgálatához köthető módszertani szakirodalmi leírásokat a 2.8.2. fejezetben ismertetem.

A vizsgálatom során a kapilláris emelkedés mérési időpontjait MAKÓ vizsgálatai (1995) alapján 10 időpontra (0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 24 órában) rögzítettem.

RÉTHÁTI (1983) megállapításai között szerepel a kapilláris vízelelkedés kísérleteire vonatkozólag, hogy kapilláris cső paraméterei, a falhatás, a tömörítettség (térfogattömeg szerinti tömörítés) (MAKÓ, 1995), talajminta nedvességtartalma, valamint a nehezen reprodukálhatóság is, mely tényezőket a vizsgálataim során is megfigyeltem. E szempontok figyelembevétele mind alapvető fontosságúak a mesterséges (pl. előkezelt mintáknál is) talajoszlopok előállításánál.

### 3.4. Statisztikai értékelés módszertana

A talajvizsgálati eredmények statisztikai értékeléséhez az *IBM SPSS Statistics 18.0 szoftvert* alkalmaztam. A kezelési tényezők hatásának vizsgálatához, a talajminták, talajkötők, ásványi őrlemények kapilláris vízelzése közötti összefüggés értékeléséhez az **ANOVA többváltozós**

*variacionaalízissel* végeztem el 95%-os szignifikancia szinten. A talajfizikai paraméterek közötti összefüggéseket a **Pearson-féle keresztáblás korrelációval** határoztam meg. A kezelt talajminták és az ásványi keveréksorozat-minták kapilláris vízemelésében, térfogattömegében, továbbá mechanikai összetételében bekövetkező változásokat, szignifikáns összefüggés vizsgálatokkal együtt az **ANOVA- Post Hoc Tukey teszt** alapján értékeltem 95%-os szignifikancia szinten ( $\alpha=0,05$ ). Az ásványi őrlemény keveréksorozatok kapilláris vízemelés magassága és az agyagfrakció közötti összefüggést **lineáris regressziós függvényillesztéssel** határoztam meg.

## 4. Eredmények

### 4.1. Tenzidadszorpciós vizsgálatok értékelése talajmintákon és ásványi őrleményeken

Az általam nagytíással kivitelezett adszorpciós vizsgálatok (lásd 3.2.1. fejezet) eredményeit összehasonlítottam a korábbi, kis mennyiségű adszorbenst alkalmazó kísérletek (TÓTH, 2012b) eredményeivel, amelyeket a 6. táblázat tartalmazza. A kezelések során a felület teljes borítottságához ( $q_{(\max)}$ ) szükséges CPC mennyiségének 1/100-ad részét használtam. Ez részleges felületmódosítást okoz, amelyet 100 gramm adszorbensre vonatkoztatva a CPC  $_{(1/100)}$  g/100 g értékkel jelöltem: a „kiindulási tenzidadszorpciós paraméterek” cím alatt a korábbi munkák (TÓTH, 2012b, FÖLDÉNYI és munkatársai, 2013) adatai alapján egyenes arányossággal számított értékeket, míg a „vizsgált tenzidadszorpciós paramétereknél” az általam kivitelezett kísérlet mérései alapján számított eredményeit jelenti.

6. táblázat  
Tenzidadszorpciós vizsgálatok paraméterei

Mintaszám	Kiindulási tenzidadszorpciós paraméterek (5,000 g adszorbens felhasználásával)		Vizsgált tenzidadszorpciós paraméterek (1500-4000 g adszorbens felhasználásával)	
	$q_{(\max)}$ (mol/g)	CPC $_{(1/100)}$ g/100g adszorbens	$q$ (mol/g)	CPC $_{(1/100)}$ g /100g adszorbens
1	7,94 E-06	0,0027	7,43E-08	0,0027
2	8,70E-05	0,0303	8,34E-07	0,0299
3	1,13E-04	0,0376	1,00E-06	0,0359
4	1,20E-04	0,0407	1,09E-06	0,0390
5	8,99E-05	0,0309	7,06E-07	0,0253
6	1,43E-04	0,0462	7,98E-07	0,0286
7	1,19E-04	0,0357	9,96E-07	0,0357
8	2,09E-04	0,0726	1,90E-06	0,0682
9	4,75E-04	0,1659	3,68E-06	0,1318
10	4,22E-04	0,1453	3,58E-06	0,1281
11	8,16 E-05	0,0292	4,81E-07	0,0172
12	6,50E-04	0,2241	6,24E-06	0,2235

*Magyarázat:* CPC  $_{(1/100)}$  g/100 adszorbens, a 100 g adszorbensre vonatkoztatott 1/100-ad mennyiségű tenzid, vagyis a talajmintánként meghatározott maximális felületmódosításra meghatározott fajlagosan adszorbeált tenzid mennyiségének ( $q_{(\max)}$ (mol/g)) az 1/100-ad része. A

$q$  (mol/g) értéket a vizsgált minták részleges felületmódosítását követően határoztam meg az egyensúlyi koncentrációk ismeretében.

*Mintaszám:* 1. pannon kvarchomok, 2. paksi lösz, 3. Ramann-féle barna erdőtalaj *A szint*, 4. Ramann-féle barna erdőtalaj *B szint*, 5. agyagbemosódásos barna erdőtalaj *A szint*, 6. agyagbemosódásos barna erdőtalaj *B szint*, 7. pszeudoglejes barna erdőtalaj *B szint*, 8. mészlepedékes csernozjom talaj *A szint*, 9. közepes réti szolonyec talaj *B szint*, 10. nem karbonátos réti talaj *A szint*, 11. kaolin, 12. bentonit.

A tenzidadszorpciós eredményeim a következőt mutatják: amikor a nagy tömegű (1500-4000 g) adszorbensek kezelésénél a felület teljes borítottságához ( $q_{(max)}$ ) szükséges CPC mennyiségének 1/100-ad részét használtam fel, akkor a fajlagos adszorbeált mennyiség ( $q$ ) minden esetben közelítőleg két nagyságrenddel csökkent a korábbi vizsgálatoknál meghatározott  $q_{(max)}$  értékekhez képest (5,000 g adszorbens alkalmazása).

A kis mintamennyiségekre számított és a nagyítás során nyert CPC<sub>(1/100)</sub> g/100 g értékek összehasonlítása az általam alkalmazott módosítások (tömeg és térfogat növelése, azok arányának változása) hatását mutatja. Jól látható, hogy a kezeléseim néhány minta felületi borítottságában egyezőséget (*1. minta: pannon kvarchomok; 7. minta: pszeudoglejes barna erdőtalaj*), míg néhánynál némi csökkenést eredményeztek. Ez utóbbi a nagyobb duzzadó agyagásványtartalmú minták esetében érvényesült legjobban. Ezek a következők: *közepes réti szolonyec talaj B szint* (9. minta), *nem karbonátos réti talaj B szint* (10. minta), *kaolin* (11. minta), *bentonit* (12. minta). Az adszorbeált mennyiség a nagy agyag- és sótartalmú *közepes réti szolonyec* talajmintánál (0,1659 g CPC<sub>1/100</sub>/100g (kiindulási mennyiség) ill. 0,1318 g CPC<sub>1/100</sub>/100g (vizsgált mennyiség)) csökkent leginkább. A többi nagy duzzadó agyagtartalmú mintáknál, így a réti talajnál (10. minta) és a bentonitnál (12. minta) az eltérés kisebb. A *közepes réti szolonyec talaj*nál a különbséget feltehetően a sok kicserélhető Na<sup>+</sup>-ion, valamint a szerves kolloidok jelenléte okozza (KLIMES-SZMIK 1954, CAIRUS, 1969).

### 4.1.1. Kaolin adszorpciós izoterma jellemzése

A kutatáshoz felhasznált ásványi keveréksorozat alkotók közül meghatároztam a **kaolin teljes adszorpciós izotermáját** (7. táblázat), majd azon megjelöltem az izoterma II. és III. metszéspontjához (5. ábra) rendelhető *maximális fajlagosan adszorbeált tenzid mennyiség* ( $q$  (mol/g)) értékét, melynek – a többi mintához hasonlóan- az 1/100-ad részét vettem alapul az egységnyi mennyiségű adszorbens felületmódosításához.

## 7. táblázat

Kaolin adszorpció izotermápjainak *kiindulási és egyensúlyi koncentrációja*

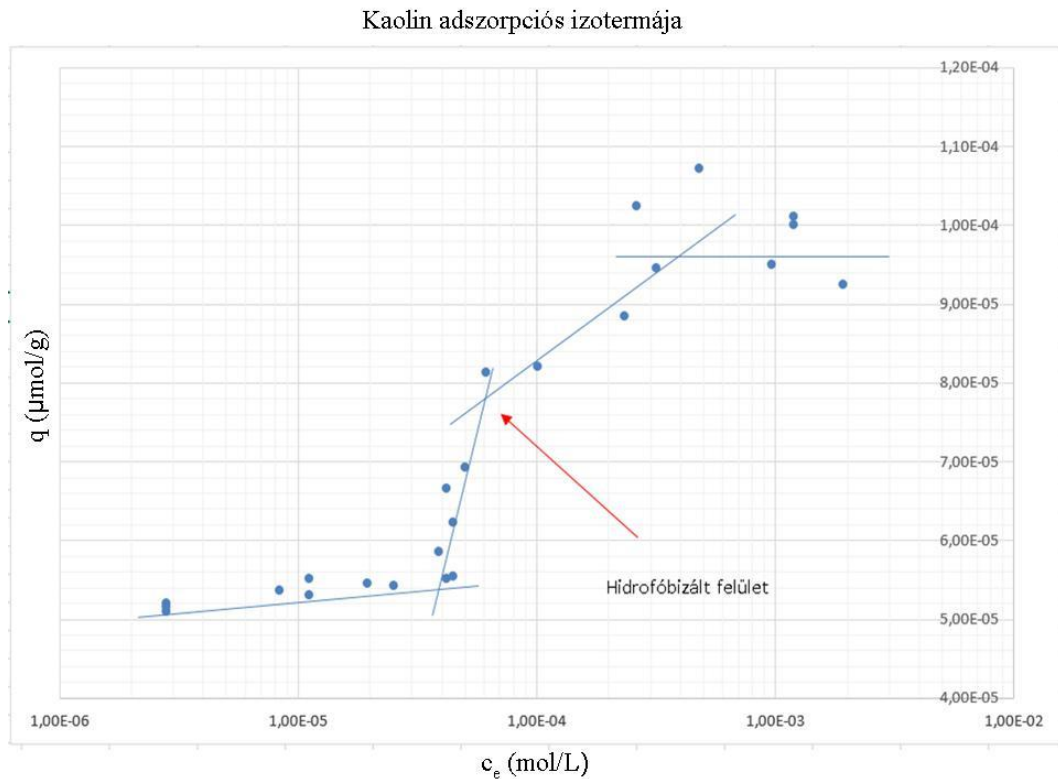
$c_0$ (g/100cm <sup>3</sup> )	$c_0$ (mol/L)	$c_e$ (mol/L)
0,1825	0,0051	2,79 E-06
0,1850	0,0052	2,79 E-06
0,1875	0,0052	2,79 E-06
0,1900	0,0053	1,12 E-05
0,1925	0,0054	8,38 E-06
0,1950	0,0055	2,51 E-05
0,1960	0,0055	1,96 E-05
0,1975	0,0055	1,12 E-05
0,1990	0,0056	4,19 E-05
0,2000	0,0056	4,47 E-05
0,2100	0,0059	3,91 E-05
0,2250	0,0063	4,47 E-05
0,2400	0,0067	4,19 E-05
0,2500	0,0070	5,03 E-05
0,2700	0,0075	4,47 E-05
0,2900	0,0081	3,91 E-05
0,2925	0,0082	6,15 E-05
0,2950	0,0082	7,26 E-05
0,2975	0,0083	1,01 E-04
0,3000	0,0084	1,56 E-04
0,3250	0,0091	2,35 E-04
0,3500	0,0098	3,18 E-04
0,3750	0,0105	2,63 E-04
0,4000	0,0112	4,80 E-04
0,4250	0,0112	1,19 E-03
0,4500	0,0113	1,20 E-03

A vizsgálathoz alkalmazott talajminták, keveréksorozat alkotók (1-10. és 12. minta) izotermápjainak kiindulási koncentrációját a Tóth Zoltán által írt beszámoló (TÓTH, 2012b) tartalmazza.

A *kaolin izotermán* négy különálló régiót jelöltem meg (7. ábra), az izoterma I-IV. szakasz leírását a 2.7.2. fejezetben ismertetem (ATKIN és munkatársai, 2003, McBRIDE, 1994, TÓTH, 2012).

A régiók jól azonosíthatóak, lényeges szórást nem mutatnak. A *kaolin* fajlagosan adszorbeált mennyisége a részleges felületmódosítás esetén is hasonló értéket eredményezett (0,0292 g CPC<sub>1/100</sub>/100g (5,000 g adszorbens) ill. 0,0291g CPC<sub>1/100</sub>/100g (2000g adszorbens), mint a *maximális fajlagosan adszorbeált tenzid mennyiség* 1/100-ad részénél. A tenzides kezelés

folyamán az adszorpció hatékonyan ment végbe, hasonlóképpen, mint a többi adszorbenseknél is (5. táblázat).



7. ábra  
Kaolin adszorpció izotermája

A *kaolin* (11. minta), a *paksi lösz* (2. minta) és az *agyagbemosódásos barna erdőtalaj A szint* (5.minta) adszorpció tulajdonságaival mutatja a legszorosabb összefüggést (6. táblázat) (TÓTH, 2012b).

A kutatási előzményekben egy másik (zettlitz) kaolinra is készült adszorpció vizsgálat (TÓTH, 2012a), melynél a *maximálisan adszorbeált tenzid mennyiség* ( $1,5 \times 10^{-4}$  mol/g). A kutatásom során vizsgált (kriechbaum-i) *kaolin* (11. minta) maximálisan adszorbeált tenzid mennyisége  $8,16 \times 10^{-5}$  mol/g), amely rámutat arra, hogy annak fajlagos felülete kisebb.

LI és GALLUS (2007) kutatása alapján egy 16-os szénláncú hexadecil-trimetil-ammónium-bromid kationos tenzid adszorpciója egy kaolin mintán hasonló ( $q$ ) maximális fajlagosan adszorbeált tenzid mennyiséget ( $9 \times 10^{-5}$  mol/g) eredményezett.

## 4.2. Kezelések hatása az ásványi keveréksorozatalkotók, talajminták kapilláris vízemelés magasságára, térfogattömegére

### 4.2.1. Kezelési tényezők statisztikai vizsgálata ásványi keveréksorozat alkotóira

Az ásványi őrlemények (bentonit, kaolin) és talajalkotók (lössz, homok) **kontroll** és **tenzides** kezelésének **hatását**, illetve azok kölcsönhatásait értékeltem a kapilláris vízemelés magasságával, térfogattömegével is az **ANOVA** többváltozós varianciaanalízissel (95%-os szignifikancia szinten) (8. táblázat). Az ehhez a vizsgálathoz kapcsolódó varianciaanalízis értékelés további adatait – a talajmintáknál (II. táblázat) – az I. táblázatban tüntettem fel.

#### 8. táblázat

Ásványi alkotók és kezelési tényezők kölcsönhatásának értékelése a kapilláris vízemelés magasságával és térfogattömegével, *többváltozós varianciaanalízis* alapján

Tényezők	0,5h Sig.	1h Sig.	2h Sig.	3h Sig.	4h Sig.	5h Sig.	6h Sig.	7h Sig.	8h Sig.	24h Sig.	m <sub>v</sub> (g/cm <sup>3</sup> )
Talajalkotó típus	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
mosás	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,433	,265	,000
tenzid	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,744
talajalkotó típus * mosás	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
talajalkotó típus * tenzid	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
mosás * tenzid	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
talajalkotó típus* mosás * tenzid	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Megjegyzés: ( $\alpha=0,05$ ), szignifikancia szint 95%, hibahatár maximum 5%

A kezelési hatások, valamint azok kölcsönhatásának elemzése során az alábbi eredményeket állapítottam meg az ásványi alkotók kapilláris vízemelésének összefüggésében:

- Az ásványi őrleményminták típusai és a folyadékfázis eltávolításának hatásának kapcsolata -A kezelés hatására a kilúgozódással kioldódhattak a talajkolloidok, ásványi sók, melyek eltávolításra kerültek a talajoldatból a folyadékeltávolítás (mosás) során. Majd kezelést követő bepárlás (szárítás) következtében másodlagos „aggregálódás” következhetett be. A minták típusainak a kombinációja a folyadékfázis eltávolításával, valamint a tenzides kezeléssel szignifikáns összefüggést mutat a kapilláris vízemelés magasságával (8. táblázat).

- A *kontrollkezelés (mosás) hatása* szignifikáns összefüggést eredményezett az ásványi alkotók 0,5-7 órás kapilláris vízemelés magasságának időintervallumáig, míg a 8-24 órás mérésnél már nem eredményezte azt.
- A *kontrollkezelés és a tenzid hatásának kombinációja*, illetve ezek kombinációja az ásványi örlemény és -alkotókkal nem mutattak összefüggést a minták kapilláris vízemelés magasságával (8. táblázat) a varianciaanalízis értékelés alapján.

*A kezelési hatások, valamint azok kölcsönhatásának elemzése során az alábbi eredményeket állapítottam meg az ásványi alkotók kapilláris vízemelésének összefüggésében:*

- Megállapítottam, hogy a talajminták térfogattömegét befolyásolta a talajminták típusa, a folyadékeltávolítás (mosási eljárás), valamint a talajtípusok kombinációja a mosással és a tenziddel. A tenzid hatása nem mutat összefüggést a térfogattömeggel 5% hibahatáron belül. A mosás és tenzid, illetve ezek kombinációja a talajtípussal nem eredményezett összefüggést a talajminták térfogattömegével (8. táblázat).

#### **4.2.2. Kezelési tényezők statisztikai vizsgálata talajmintákra**

Összeségében megállapítottam az ANOVA többváltozós varianciaanalízis értékelésében, hogy a vizsgált 3-10. talajminták és a kezelési tényezők (folyadékeltávolítás (mosás), tenzid) együttes hatása, illetve külön-külön is 95%-os szignifikancia szinten (5%-os hibahatárig) –erős R<sup>2</sup> kapcsolatban- összefüggést mutatnak a talajminták kapilláris vízemelés magasságával a teljes mérési időintervallumban (0,5-24. órában) (9. táblázat).

*9. táblázat*

Talajminták és kezelési típusok kölcsönhatásának értékelése  
a kapilláris vízemelés magasságával *többváltozós varianciaanalízis* alapján

Tényezők	0,5h Sig.	1h Sig.	2h Sig.	3h Sig.	4h Sig.	5h Sig.	6h Sig.	7h Sig.	8h Sig.	mv (g/cm <sup>3</sup> ) Sig.
kezelés	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,095
talajtípus	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,053
kezelés * talajtípus	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,119

*Megjegyzés:* ( $\alpha=0,05$ ), szignifikancia szint 95%, hibahatár maximum 5%

Az **ANOVA többváltozós varianciaanalízis** értékelésében a talajminták térfogattömege nem mutatnak szignifikáns összefüggést 5%-os hibahatáron belül a kezelési típussal, talajtípussal, illetve ezek kombinációjával sem, amely ettől eltérő statisztikai értékelést mutat a **Post Hoc (Tukey) teszttel** (10; 11; II; VIII-X. táblázat).

#### 4.3. Talajminták, ásványi keveréksorozat alkotók egyéb talajfizikai paramétereinek értékelése kezelések hatására

A *kontroll és a tenzideskezelések* hatására a talajfizikai paraméterek eltérő szignifikáns különbségeket mutatnak a vizsgált (3-10.) talajmintákon, valamint ásványi őrleményeken (bentonit, kaolin), talajalkotókon (lössz, homok), melyet e fejezetben (10. táblázat) összegezve ismertetek. A talajfizikai paraméterek statisztikai értékeléséhez ugyancsak a **Post Hoc (Tukey) tesztet** alkalmaztam. E fejezet kidolgozásának a célja az volt, hogy áttekinthető és alkalmazható információkat nyújtson a vizsgált talajfizikai paraméterekben bekövetkező változások elemzéséhez a kezelések hatására. *Megállapítottam, hogy az eredeti és a tenziddel kezelt talajminták és ásványi keveréksorozat-minták térfogattömege közt szignifikáns eltérés nincs. A kontrollkezelt és a tenziddel kezelt pannon kvarchomok (1. minta) és a közepes réti szolonyec talaj B szint (9. minta) térfogattömege közt szignifikáns összefüggést nem tapasztaltam, viszont a többi mintánál szignifikáns különbségeket tapasztaltam e kezelési típusok hatása közt. Az eredeti és a kontrollkezelt agyagbemosódásos barna erdőtalaj B szintje (6. minta), a mészlepedékes csernozjom talaj A szintje (8. minta), valamint a bentonit (12. minta) minták térfogattömege között nincs szignifikáns összefüggés, ellenben a többi mintánál megfigyeltem azt (10. táblázat).*

##### 10. táblázat

Kezelések hatása a talajfizikai paraméterekre ásványi keveréksorozat-, és talajmintákon

Talajparaméterek	Kezelések	Minta száma													
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.		
térfogattömeg	1	2	.000	.000	.000	.000	.000	.269	.002	.165	.001	.000	.000	1.000	
		3	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.002	.000	.000	.014
	2	1	.000	.000	.000	.000	.000	.269	.002	.165	.001	.000	.000	1.000	
		3	.237	.000	.001	.012	.000	.000	.006	.000	.116	.020	.000	.014	
	3	1	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.002	.000	.000	.014
		2	.237	.000	.001	.012	.000	.000	.006	.000	.116	.020	.000	.014	
sűrűség	1	2	.000	.000	.000	.001	.000	.000	.000	.000	.082	.336	.000	.000	
		3	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.075	.553	.000	.000	.000	
	2	1	.000	.000	.000	.001	.000	.000	.000	.000	.082	.336	.000	.000	
		3	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.080	.000	.325	.000	.000	.000	

Talajparaméterek	Kezelések	Minta száma												
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	
sűrűség	3	1	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.075	.553	.000	.000	.000
		2	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.080	.000	.325	.000	.000	.000
higroszkóposság	1	2	.157	.001	.658	.083	.031	.092	.003	1.000	.000	.000	.001	.008
		3	.883	.039	.562	.907	.997	.074	.823	.009	.000	.000	.004	.001
	2	1	.157	.001	.658	.083	.031	.092	.003	1.000	.000	.000	.001	.008
		3	.287	.000	.158	.049	.034	.004	.006	.009	.000	.000	.273	.210
	3	1	.883	.039	.562	.907	.997	.074	.823	.009	.000	.000	.004	.001
		2	.287	.000	.158	.049	.034	.004	.006	.009	.000	.000	.273	.210
légszár- nedvesség- tartalom (%)	1	2	.013	.983	.000	.000	.333	.882	.000	.005	.000	.000	.638	.207
		3	.067	.087	.997	.102	.695	.813	.000	.483	.768	.366	.003	.384
	2	1	.013	.983	.000	.000	.333	.882	.000	.005	.000	.000	.638	.207
		3	.392	.070	.000	.003	.117	.989	.000	.002	.000	.000	.006	.868
	3	1	.067	.087	.997	.102	.695	.813	.000	.483	.768	.366	.003	.384
		2	.392	.070	.000	.003	.117	.989	.000	.002	.000	.000	.006	.868
Arany-féle kötöttség	1	2	.090	.067	.109	.483	.000	.679	.000	.002	.000	.001	.679	.000*
		3	.012	.006	.024	.024	.000	.269	.000	.000	.000	.000	1.000	.000
	2	1	.090	.067	.109	.483	.000	.679	.000	.002	.000	.001	.679	.000
		3	.269	.165	.483	.109	.004	.090	.013	.090	.000	.000	.679	.000
	3	1	.012	.006	.024	.024	.000	.269	.000	.000	.000	.000	1.000	.000
		2	.269	.165	.483	.109	.004	.090	.013	.090	.000	.000	.679	.000
makroaggregá- tumstabilitás (%)	1	2	.843	.000	.000	.000	.000	.012	.000	.000	.077	.001	.995	.052
		3	.696	.001	.005	.001	.000	.453	.021	.714	.000	.494	.000	.001
	2	1	.843	.000	.000	.000	.000	.012	.000	.000	.077	.001	.995	.052
		3	.961	.006	.000	.000	.000	.036	.000	.000	.000	.003	.000	.017
	3	1	.696	.001	.005	.001	.000	.453	.021	.714	.000	.494	.000	.001
		2	.961	.006	.000	.000	.000	.036	.000	.000	.000	.003	.000	.017

Magyarázat: Kezelések (1=eredeti minta, 2=kontrollkezelt minta 3=tenziddel kezelt minta)  
Az átlagok különbsége teljesen szignifikáns. Fehér színnel jelöltem a szignifikáns, míg sárga színnel a nem szignifikáns értéket.

A kontrollkezelés, valamint a tenzides kezelés hatása a vizsgált talajfizikai paraméterek esetében az alábbi mintaszámban, illetve talaj- és keveréksorozatmintáknál **szignifikáns** eltérést eredményezett: sűrűség (8 mintánál), térfogattömeg (7 mintánál), Arany-féle kötöttség (4 mintánál), higroszkóposság (3 mintánál), légszár-  
nedvességtartalom (1 mintánál). (A talajparaméterek mellett szereplő mintaszám, ebben a fejezetben a minták számát jelöli).

Szignifikáns összefüggést figyeltem meg az alábbi talajmintáknál, illetve ásványi örlemény keveréksorozat alkotóknál a vizsgált talajfizikai paraméterekben, a kontroll, illetve a tenzides kezelés hatására:

- A **sűrűség**ben a *pannon kvarchomok, lösz, Ramann-féle barna erdőtalaj A és B szint, agyagbemosódásos barna erdőtalaj A és B szint, kaolin és bentonit* mintáknál,

- A **térfogattömeg**ben a *paksi lösz*, *Ramann-féle barna erdőtalaj A és B szint*, *agyagbemosódásos barna erdőtalaj A szint*, *pszéudoglejes barna erdőtalaj B szint*, *nem karbonátos réti talaj A szint*, *kaolin* mintáknál,
- A **makroaggregátum-stabilitás**ban a *paksi lösz*, *Ramann-féle barna erdőtalaj A és B szint*, *agyagbemosódásos barna erdőtalaj A szint*, *pszéudoglejes barna erdőtalaj B szint* mintáknál,
- Az **Arany-féle kötöttség**ben az *agyagbemosódásos barna erdőtalaj A szint*, *pszéudoglejes barna erdőtalaj B szint*, *közepes réti szolonyec B szint*, *nem karbonátos réti talaj A szint*, *a bentonit* mintáknál,
- A **higroszkóposság**ban a *paksi lösz*, *közepes réti szolonyec B szint*, *nem karbonátos réti A szint* mintáknál,
- A **légszáraz nedvességtartalom**ban a *pszéudoglejes barna erdőtalaj B szint* mintánál *szignifikáns összefüggés* figyelhető meg a kezelési tényezők (*kontrollkezelés (folyadékeltávolítás vagy mosás)*, *tenzides kezelés*) hatása közt.

A *kontrollkezelés*, *valamint a tenzides kezelés hatása* a vizsgált talajfizikai paraméterekben, illetve mintaszámban **nem eredményezett szignifikáns** különbséget: *légszáraz-nedvességtartalom* (4. mintánál), *higroszkóposság* (2. mintánál), *Arany-féle kötöttség* (2. mintánál), *makroaggregátum-stabilitás* (1. mintánál), valamint *sűrűség* (1. minta).

Nem tapasztaltam *szignifikáns összefüggést* az alábbi talajmintáknál, illetve *ásványi őrlemény keveréksorozatot alkotóknál* a vizsgált talajfizikai paraméterekben, a *kontroll*, illetve a *tenzides kezelés hatására*:

- A **légszáraz-nedvességtartalom** a *paksi lösz*, az *agyagbemosódásos barna erdőtalaj A szint*, az *agyagbemosódásos barna erdőtalaj B szint*, a *bentonit* mintával,
- A **higroszkóposság** a *pannon kvarchomok* és a *Ramann-féle barna erdőtalaj A szint* mintával,
- Az **Arany-féle kötöttség** az *agyagbemosódásos barna erdőtalaj B szint* és a *kaolin* mintával,
- Az **makroaggregátum-stabilitás** a *pannon kvarchomok* mintával,
- A **sűrűség** a *közepes réti szolonyec talaj B szint* mintával a *kontrollkezelés*, *tenzides kezelés* hatása nem mutat *szignifikáns összefüggést*.

#### 4.4. Kezelt ásványi keveréksorozat- és talajminták térfogattömege

Alapvetően elmondható, hogy az eredeti talaj- és keveréksorozatminták csökkenő arányú agyagfrakciója ellentétes irányban változik a térfogattömegével. A minták térfogattömegét, azok szignifikáns eltérései alapján a **Post Hoc (Tukey) teszt** segítségével színelkülös táblázatban rendszereztem (VIII-X. táblázat). Hasonlóképpen, mint a kapilláris vízemelés magasságánál is (lásd 4.10. fejezetben), a sorrendet a nagy duzzadóagyag tartalmú, kis térfogattömegű minták kezdik meg (p. a kaolin térfogattömege a legkisebb), majd a sorrend vége felé haladva jellemzően az egyre nagyobb térfogattömegű minták rendszerezhetők (11. táblázat).

11. táblázat  
Ásványi keveréksorozat- és talajminták térfogattömegének vizsgálata *Post Hoc teszt* alapján

Sorrend	mv (E.)	mv (M.)	mv (T.)
1.	II/1.	9.	II/1.
2.	II/2.	I/1.	II/2.
3.	I/1.	II/1.	II/3.
4.	II/3.	II/2.	II/4.
5.	II/4.	II/3.	I/1.
6.	II/5.	II/4.	II/5.
7.	8.	8.	I/2.
8.	I/7.	II/5.	I/3.
9.	6.	6.	I/4.
10.	II/6.	I/7.	8.
11.	I/2.	II/6.	I/5.
12.	3.	I/3.	10.
13.	5.	I/5.	I/7.
14.	I/3.	10.	9.
15.	7.	I/2.	II/6.
16.	4.	I/4.	I/6.
17.	10.	7.	7.
18.	9.	I/6.	6.
19.	I/4.	5.	I/8.
20.	I/5.	3.	5.
21.	I/6.	4.	4.
22.	I/8.	I/8.	3.
23.	I/9.	I/9.	I/9.

Az ásványi keveréksorozat- és talajminták **térfogattömege** a *kontroll* és a *tenzides kezelések* hatására ellentétes irányú változást eredményezett a kapilláris vízemelkedésével (lásd 4.4.1. fejezet). A *tenzides kezelés hatása* nagyobb különbségeket idézett elő a minták szignifikáns eltéréseiben, mint a *kontrollkezelés* hatása.

A kaolin keveréksorozat II/1.-II/4. minták és az I/1. bentonit minta térfogattömege a legkisebb, ennek megfelelően a sorrend kezdeti szakaszára (1-6. minta sorszám között) rendeződnek el ezek a keveréksorozat-minták (11. táblázat).

Az I/1/K. bentonit mintánál, ahogyan a 9K. szolonyec mintánál is, a *kontrollkezelés hatása* csökkentette a térfogattömeget, viszont az I/1/T. mintánál a kezelés hatásához képest a tenzid hatása megnövelte azt (11. és X. táblázat).

Általánosan megfigyeltem, hogy a bentonitsorozat I/3/K.-I/6/K. és a I/2/T.-I/6/T. mintáknál, hogy a térfogattömegük a *kontroll-, illetve a tenzides kezelés hatására* is csökkent (IX. és X. táblázat).

A I/8. (pannon kvarchomok és a paksi lösz fele-fele arányú keverékmintája) és a *pannon kvarchomok* I/9. minták térfogattömegében a *kontroll és a tenzides kezelése* hatása elhanyagolható különbséget eredményezett (VIII-X. táblázat).

A *Ramann-féle barna erdőtalaj A szintje* (3. minta) és az *agyagbemosódásos barna erdőtalaj A szintje* (5. minta) térfogattömege a kezelése hatására növekedett, a *kontrollkezelt* 3K. és 5K. mintáknál kisebb, míg a *tenziddel kezelt* 3T. és 5T. mintáknál nagyobb mértékben. E *kontroll- és a tenziddel kezelt minták* térfogattömege szignifikánsan kismértékben tér el, viszont az eredeti 3E. és 5E. minták térfogattömege szignifikánsan nem különbözik (11. táblázat, VIII-X. táblázat).

A *kontroll és a tenziddel kezelt Ramann-féle barna erdőtalaj B szint* 4K., 4T. és *pszeudoglejes barna erdőtalaj B szint* 7K., 7T. minták térfogattömegei szignifikánsan különböznek, viszont az eredeti 4E. és 7E. eredeti minták térfogattömege nem tér el.

Az *eredeti és a kontrollkezelt agyagbemosódásos barna erdőtalaj B szintjének* (6. minta) a *mészlepedékes csernozjom talaj A szintjének* (8. minta) és *paksi lösznek* (I/7. minta) a térfogattömege kevésbé tér el. A *kontrollkezelés* hatására a térfogattömegük kisebb, míg a *tenzides kezelés* hatására nagyobb mértékben megnövekedett, az utóbbi kezelési típus esetben szignifikáns eltérést figyeltem meg (11. és VIII-X. táblázat).

A *kontrollkezelés hatására a közepes réti szolonyec* 9K. minta térfogattömege jelentősen csökkent, -mely feltehetően a kilúgozódás és a szerkezetmódosulásnak köszönhető,- amely jelentős különbséget eredményezett az *eredeti* 9E. talajmintához képest. A 9T. minta térfogattömege az eredeti mintához képest kisebb csökkenést eredményezett a tenzides kezelés hatására.

A *nem karbonátos réti talaj A szint* 10K. és 10T. minta térfogattömege –a 9. mintánál is - a *kontroll és a tenzides kezelés hatására csökkent*. A 10E. és 10T. minta között a tenzides kezelés hatása

nagyobb szignifikáns különbséget eredményezett. *A tenzides kezelés hatása hasonlóképpen csökkentette a 9. és 10. minta térfogattömegét (VIII-X. táblázat).*

#### **4.4.1. Talajminták kapilláris emelkedésének összefüggése a térfogattömeggel és sűrűséggel kezelések hatására**

A talajminták **térfogattömege** és a *kapilláris vízemelkedése* korrelációjában mind az *eredeti*, mind a *kontroll- és a tenziddel kezelt* mintáknál *gyenge korrelációs kapcsolatot* figyeltem meg. A *kontrollkezelt talajminták* térfogattömege és a kapilláris vízemelkedése közt 3. órájától már gyengén növekvő korrelációs kapcsolat figyelhető meg az *eredeti* mintákhoz képest, amely a *kontrollkezelés* hatásával magyarázható. A *tenziddel kezelt* minták térfogattömege és a kapilláris vízemelés magassága korrelációjában további ~0,1-es erősödést figyeltem meg az *eredeti* és a *kontrollkezelt* mintákéhoz képest (12. táblázat). A talajminták és az ásványi keverékkalkotók térfogattömege közti összefüggést *Post Hoc teszt* alapján (10. és VIII-X. táblázat) is értékeltem a kezelések hatását vizsgálva. A talajminták és a keveréksorozat alkotók térfogattömege a *kontroll, illetve a tenzides kezelés* hatására -az 1; 9; 10. minta kivételével- (XXIII. ábra) növekedett, a *kontrollkezelés* hatására kisebb, míg a *tenzides kezelés* hatására nagyobb mértékben.

12. táblázat

Kapilláris vízemelés és a térfogattömeg, sűrűség korrelációja a kezelések hatására

<b>Kezelések típusa</b>	<b>0,5h</b>	<b>1h</b>	<b>2h</b>	<b>3h</b>	<b>4h</b>	<b>5h</b>	<b>6h</b>	<b>7h</b>	<b>8h</b>	<b>24h</b>
<b>Térfogattömeg (g/cm<sup>3</sup>)</b>										
eredeti (E)	0,528	0,533	0,536	0,529	0,517	0,504	0,499	0,487	0,483	0,438
kontrollkezelt (K)	0,467	0,486	0,534	0,554	0,566	0,577	0,582	0,579	0,581	0,576
tenziddel kezelt (T)	0,64	0,609	0,65	0,653	0,666	0,658	0,651	0,657	0,656	0,599
<b>Sűrűség (g/cm<sup>3</sup>)</b>										
eredeti (E)	0,433	0,48	0,508	0,529	0,531	0,534	0,535	0,536	0,526	0,478
kontrollkezelt (K)	0,658	0,706	0,812	0,858	0,886	0,907	0,922	0,925	0,93	0,932
tenziddel kezelt (T)	0,592	0,604	0,66	0,655	0,671	0,67	0,652	0,671	0,67	0,647

Az *eredeti* talajminták **sűrűsége** és kapilláris vízelmelkedése közt gyenge korrelációt kaptam. A *kontrollkezelt* talajminták korrelációja a kapilláris vízelmelkedéssel jelentős erősödést mutatott, míg a *tenziddel kezelt* mintáknál gyengébbet. A *kontrollkezelt minták* az idő függvényében erősödő korrelációs kapcsolatot (0,658-tól 0,932) ír le a kapilláris vízelmelés magasságával a mérési időintervallumra vonatkozólag (12. táblázat). A talajminták és az ásványi keveréksorozat alkotóinak **sűrűsége** a kezelések hatására döntően megnövekedett, a *kontrollkezelés*nél gyengébben, míg a *tenzides kezelés* hatására erősebben. A *Ramann-féle barna erdőtalaj B szintje*, az *agyagbemosódásos barna erdőtalaj A szintje*, illetve a *kaolin* mintáknál viszont csökkent a sűrűség (XXIV. ábra) a *kontrollkezelés* hatására. A talaj- és keveréksorozat-minták sűrűségét befolyásoló kezelések hatását szignifikancia vizsgálattal is értékeltem (10. táblázat). A kezelés során „újraaggregálódás” folyamat mehetett végbe a mintákon, amely feltehetően megváltoztathatta az aggregátumok szerkezetét a módosulási folyamatoknak köszönhetően (XXV. ábra).

#### 4.5. Talajminták makroaggregátum-stabilitása és kapilláris vízelmelés magassága közti korreláció kezelések hatására

Az *eredeti* és a *kontrollkezelt talajminták makroaggregátum-stabilitása* gyenge, negatív korrelációs összefüggést eredményezett a kapilláris vízelmelkedéssel. A *tenzides kezelés hatására* a talajminták **aggregátum-stabilitása** és a **kapilláris vízelmelkedés** közt erős, ellentétes irányú korrelációt kaptam, mely a mérési időintervallumban is fokozatos erősödést eredményezett (13. táblázat).

13. táblázat

Tenzides kezelés hatása a talajminták makroaggregátum-stabilitása és a kapilláris vízelmelése összefüggésében

Kezelés típusa	0,5h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	24h
Aggr.stab. (E)	-0,205	-0,205	-0,245	-0,261	-0,272	-0,282	-0,286	-0,294	-0,290	-0,297
Aggr.stab. (K)	-0,285	-0,282	-0,257	-0,226	-0,199	-0,175	-0,146	-0,135	-0,123	0,028
Aggr.stab. (I)	-0,638	-0,649	-0,750	-0,781	-0,809	-0,820	-0,825	-0,837	-0,846	-0,844

*Magyarázat kiegészítése:* Aggr.stab.- Makroaggregátum-stabilitás az (E) eredeti mintánál nem szignifikáns, Makroaggregátum-stabilitása (K) kontrollkezelt mintánál nem szignifikáns, Makroaggregátum-stabilitás (I) a tenziddel kezelt mintánál szignifikáns

Megállapítottam, hogy az *eredeti* és a *kontrollkezelt* talajminták **aggregátum-stabilitása** és a **kapilláris vízelmelkedés** közt nincs -, viszont a *tenziddel kezelt* talajmintáknál van szignifikáns összefüggés teljes mérési időintervallumában.

A tenziddel kezelt talajminták kapilláris vízemelése és aggregátum-stabilitás közt erős, negatív korrelációt (13. táblázat) figyeltem meg, melyet különösen a paksi lösz és a pannon kvarchomok, a barnaerdőtalajok és a csernozjom talaj (7; 8; 11-16. ábra) minták kapilláris vízemelkedése prezentálja.

### 4.6. Talajminták egyéb talajfizikai paramétere közti korreláció kezelésekre hatására

Egyes talajfizikai paraméterek (higroszkóposság, légszáraz nedvességtartalom, Arany-féle kötöttség, makroaggregátum-stabilitás) közti összefüggéseket a kontroll-, és a tenzides kezelés hatására e fejezetben ismertetek. A kezelésekre hatására bekövetkezett kapcsolatokat a *Pearson-féle korreláció* segítségével értékeltem. E vizsgált talajfizikai paraméterekben a kezelésekre hatására bekövetkező szignifikáns összefüggéseket a 10. táblázat mutat be a 4.3. fejezetben.

A talajvizsgálataim értékelése során megállapítottam, hogy a higroszkóposság, légszáraz-nedvességtartalom, erős-, azonban e paraméterek az Arany-féle kötöttséggel és a makroaggregátum-stabilitással gyengébb, pozitív irányú korrelációs összefüggést eredményezett. E paraméterek közt a tenzides kezelés hatására is szignifikáns kapcsolat érvényesül (14. táblázat). A *tenziddel kezelt* talajminták Arany-féle kötöttsége és a makroaggregátum-stabilitása közt erős pozitív korrelációt és szignifikáns összefüggést tapasztaltam, míg az *eredeti* mintáknál gyenge pozitív, a *kontrollkezelt* mintáknál erős negatív korrelációt kaptam szignifikáns összefüggés nélkül.

*Az alábbi talajfizikai paraméterek korrelációja a tenzides kezelés hatására növekedett:*

- a légszáraz nedvességtartalom és a higroszkóposság, illetve
- a makroaggregátum-stabilitás és az Arany-féle kötöttség közt.

*Az alábbi talajfizikai paraméterek korrelációja a tenzides kezelés hatására csökkent:*

- az Arany-féle kötöttség és a higroszkóposság, - légszáraz-nedvességtartalom, illetve
- a makroaggregátum-stabilitás és a higroszkóposság, -légszáraz-nedvességtartalom közt.

A talajminták, valamint az ásványi őrlmények és talajalkotók **higroszkópossága** (*h<sub>y1</sub>*) és **légszáraz-nedvességtartalma** jellemzően az agyagtartalomtól függően, hasonló összefüggéseket eredményezett a *kontroll*-, illetve a *tenzides kezelésekre* hatására (XVI. és XVII. ábra). A vizsgált minták közül higroszkóposságban a legnagyobb különbségeket -jelentős mennyiségben- a duzzadó agyagásványt tartalmazó (*réti szolonyec, réti talaj, illetve bentonit*) mintánál figyeltem meg. E

mintáknál a *kontrollkezelés* hatása kisebb-, míg a *tenzid hatása* nagyobb mértékben csökkentette a *hy1* értékét. A kaolinnál (11. minta) – hasonlóképpen a lösznél (2. minta) is- elhanyagolható eltérés figyelhető meg a *hy1* növekedése irányában, a *kontrollkezelés* hatása jobban, míg a *tenzides kezelés* hatása kevésbé érvényesült. A *paksi lösz* és a *kaolin* minta higroszkóposága és porfrakciója hasonló értékeket eredményezett a kezelésekre hatására is (XVI. és XX. ábra). A *barna erdőtalajok* és a *csernozjom talaj hy1* értéke a *kontroll*-, és a *tenzides kezelésekre* hatására kismértékű eltérést mutatnak, e talajmintáknál a *tenzides kezelés* hatására a *hy1* csökkent.

14. táblázat

Talajminták egyes talajfizikai paramétere közti korrelációja kezelésekre hatására

Talajparaméterek-eredeti, tenziddel kezelt minták	Higroszkóposág ( <i>hy1</i> )	Légszárz-nedvességtartalom (%)	Arany-féle kötöttség ( $K_A$ )	Makroaggregátum-stabilitás (%)
<i>hy1</i> (E)	1,000	0,981	0,644	0,552
<i>hy1</i> (K)	1,000	0,982	0,658	0,549
<i>hy1</i> (T)	1,000	0,997	0,598	0,441
légsz.nedv. (E)	0,981	1,000	0,705	0,549
légsz.nedv. (K)	0,982	1,000	0,736	0,432
légsz.nedv. (T)	0,997	1,000	0,588	0,411
$K_A$ (E)	0,644	0,705	1,000	0,285
$K_A$ (K)	0,658	0,736	1,000	-0,700
$K_A$ (T)	0,598	0,588	1,000	0,886
aggr.stab. (%) (E)	0,552	0,549	0,285	1,000
aggr.stab. (%) (K)	0,549	0,432	-0,700	1,000
aggr.stab. (%) (T)	0,441	0,411	0,886	1,000

A talajminták *légszárz nedvességtartalma* a *kontroll* és a *tenzides kezelés* hatására kismértékű eltéréseket eredményezett, –különösen az ásványi alkotók (bentonit, kaolin, lösz, homok) esetében-, a tenzid hatása csökkentette az eltérést a *kontrollkezelés* hatásában (XVII. ábra).

A talaj- és a keveréksorozat-minták *Arany-féle kötöttségi számának* csökkenésében a legnagyobb különbséget a *réti szolonyec* (9. minta), illetve a *réti* (10. minta) talajnál tapasztaltam, a

*tenzides kezelés* hatására (XXII. ábra). A *közepes réti szolonyec talajnál* (9. minta) a *kilúgozás* (kicserélhető  $\text{Na}^+$  só kilúgozódása) és a *tenzid együttes hatása* érvényesülhetett, viszont a *kontrollkezelés hatása* kisebb, míg a *tenzid hatása* nagyobb mértékben csökkentette az Arany-féle kötöttségi számot. A *nem karbonátos réti talaj* (10. minta) Arany-féle kötöttségi száma a *kontrollkezelés* hatására növekedett, viszont a *tenzides kezelés* hatására *közepes réti szolonyec* (9. minta) talajhoz hasonlóan, nagyobb mértékben csökkent (XXII. ábra).

Megállapítottam, hogy a nagyarányú duzzadóagyag-tartalmú talajminták - *közepes réti szolonyec* és a *nem karbonátos réti talaj*- fizikai félesége (textúrája) a tenzides kezelés következtében számottevő eltérést eredményezett. Megállapítottam, hogy a tenzid hatása alapvetően a nehéz agyag fizikai féleségű talajok vályogosodását idézheti elő.

### 4.6.1. Egyéb talajparaméter közti összefüggés-vizsgálat, valamint a kezelések hatásainak értékelése

A *kontroll*, illetve a *tenziddel kezelt* talajminták és ásványi őrlemény keveréksorozat alkotók talajfizikai paramétereit hisztogrammos ábrákon mutatom be (XVI – XXV. ábra). Általánosságban megállapítottam, hogy a *barna erdőtalajok* (3-7. minta) és a *csernozjom talaj* (8. minta) *fajlagos felülete* és *agyagfrakciója* (XVIII. és XIX. ábra) csökkent a *tenzides kezelés hatására*, azzal ellentétesen a *homokfrakciója* (XXI. ábra) növekedett. A 3-6. minták (*Ramann-féle és agyagbemosódásos barna erdőtalaj A és B szintjei*) porfrakciójának arányában csökkenést, viszont a 7. (*pseudoglejese barna erdőtalaj B szintje*) és 8. (*mészlepedékes csernozjom talaj A szintje*) mintáknál növekedést tapasztaltam a tenzides kezelés hatására.

A *homok*, *lössz* talajalkotók, illetve a *kaolin*, *bentonit* ásványi őrlemények mechanikai összetétele a *tenzides kezelés hatására* számottevő különbséget nem eredményezett, ellenben a *bentonit* és a *régi szolonyec talaj* fajlagos felülete jelentős mértékben megnövekedett. A régi talaj fajlagos felületének csökkenését figyeltem meg a *tenzides kezelés* hatására, melyet a makroaggregátumok méretének növekedése is igazol, a kaolin fajlagos felületében elhanyagolható különbséget tapasztaltam a *tenzides kezelést* követően (XVIII. és XXV. ábra). A makroaggregátum frakciók nagysága és tulajdonsága függ a vizsgált talaj tulajdonságaitól (STEFANOVITS és munkatársai, 1999). Az aggregátumok nagyobb egységeket is alkotnak, amelyek a talajok szerkezeti elemeit képezik rögök, makroaggregátumok formájában. (MEUNIER, 2010).

A barna erdőtalajok (3-7. és a 10. minta), csernozjom talaj (8. minta), a lösz (2. minta) és a homok (1. minta) makroaggregátum-stabilitása a *kontrollkezelés* hatására átlagosan 2-3 szorosára, míg a *tenzides kezelés* hatására kismértékben növekedett meg. A *régi szolonyec talaj* (9. minta), a *kaolin*

(11. minta), a bentonit (12. minta) makroaggregátum-stabilitása a tenzides kezelés hatására jelentősebb növekedést eredményezett, míg a *pannon kvarchomok* (1. minta) elhanyagolható mértékű növekedést mutatott (XXV. ábra).

*A tenziddel kezelt közepes réti szolonyec talaj makroaggregátum-stabilitása, higroszkóposága és az agyagfrakciójának növekedése, illetve az Arany-féle kötöttségének, térfogattömegének csökkenése a tenzid hatására a fizikai féleség megváltozására, vályogosodás folyamatát jelzi. A fajlagos felület növekedése a tenzides kezelés hatására ellentétes irányt mutat a többi talajfizikai jellemzőkkel.*

*A tenziddel kezelt nem karbonátos réti talaj higroszkóposága, fajlagos felülete, Arany-féle kötöttsége, térfogattömege csökkent, míg a makroaggregátum-stabilitása, sűrűsége növekedett.*

A vizsgálataim során megállapítottam, hogy a **kaolin** (66,48%) és a **lössz** (62,72%) minta porfrakciója egyéb talajfizikai tulajdonságokkal eltérő összefüggést mutatnak, mint pl. kapilláris vízemelés magasságával, higroszkóposágával, légszáraz-nedvességtartalmával, Arany-féle kötöttségével, térfogattömegével, sűrűségével. Az eredményeim azt mutatják, hogy a kaolin és a lösz minta porfrakciója (XX. ábra) és a fajlagos felülete (XVIII. ábra) hasonló értéket mutat. Megfigyeltem, hogy a kaolin és a lösz mintáknál az ásványi tulajdonságok is jól érvényesülnek, mivel a kis fajlagos felület miatt a tenzidadszorpció is hatékonyan végbement (5. táblázat). Az eredeti és kontrollkezelt kaolin és a lösz minták kapilláris vízemelés magasságának különbsége a teljes mérési időintervallumban jelentős különbséget eredményezett a két minta kapilláris vízemelkedés időgörbéje között, mivel az eredeti lösz minta kapilláris vízemelkedése megközelítőleg nyolcszorosa a kaolin kapilláris vízemelés időgörbéjének (I. és IV. ábra), viszont a kezelések hatására csökken a különbség a kaolin és a lösz minta kapilláris vízemelés magassága között. A kontrollkezelésnél (II. és V. ábra) kismértékű eltéréseket tapasztaltam, míg a tenzides kezelés hatására (III. és VI. ábra) a lösz kapilláris vízemelés magassága jelentősen lecsökken (39 cm-ről 15,7 cm-re), a kaoliné viszont megemelkedik (6,1 cm-ről -8,4 cm-re) az eredeti mintáihoz képest. Ez az összefüggés rámutat arra, hogy a kaolin és a lösz kapilláris vízemelkedés magasságában jelentkező különbségek a tenzides kezelés hatására az ásványtani, talajfizikai tulajdonságok megváltozására eljellegtelenedést idézhet elő. Fontos kihangsúlyozni, hogy az agyagos talajmintákra lassan emelkedő, viszont hosszú lefutású időgörbék jellemzik, a végső magasságuk 2-4 m-ig is emelkedhet (pl. réti talajok), míg el nem éri a maximális kapilláris vízemelés magasságát, amikor a kapilláris és a gravitációs erők kiegyenlítődnek lásd 2.8.2. fejezetben. Így feltehetően a mérési időtartam meghosszabbításával regisztrálhatóvá válna az a kapilláris vízemelés magasság érték is - a kontroll és a tenziddel kezelt lösz és kaolin mintáknál is-, amely a

két időgörbe metszéspontját megadja. Mindezek vizsgálatát gyakorlati szempontból kiemelt jelentőségűnek tekintem.

### 4.7. Kezelt ásványi alkotók és talajminták mechanikai összetétele

A vizsgálataim során azt tapasztaltam a minta előkészítése során, hogy a mechanikai összetételt befolyásoló tényezők, mint a tenzid és a pirofoszfát hatása, jellemzően módosítja az aggregátumok-stabilitását is. A mechanikai összetétel vizsgálatnál a *kontrollkezelés hatását* külön nem vizsgáltam, mivel az *MSZ szabvány szerinti mechanikai összetétel* módszere eleve biztosítja a kilúgozó hatást a minta előkezelése (diszpergálása) során. Emiatt az eredeti és a tenziddel kezelt ásványi alkotókon, illetve talajmintákon végeztem mechanikai összetétel vizsgálatot. A *tenzid hatása* ebben a mechanikai összetétel vizsgálat sorozatban, az *előkészített tenziddel kezelt mintára vonatkozik*. A mechanikai összetétel vizsgálat előkészítése során (előduzzasztása, diszpergálása során (a pirofoszfátos mintáknál)) külön tenzidet nem adtam a vizsgált talajmintákhoz és az ásványi keveréksorozat-mintákhoz. Emiatt az *eredeti* talajminták ebben a vizsgálat sorozatban a „*kontrollminták*” szerepét töltik be.

Az alábbi kezelési tényezőket vettem figyelembe a mechanikai összetétel vizsgálatoknál: KP (kontroll, pirofoszfátos), KPN (kontroll, pirofoszfát nélküli), TP (tenziddel kezelt pirofoszfátos), TPN (tenziddel kezelt pirofoszfát nélküli) kezelési tényezők kombinációinak hatását. (15. és 16. táblázat, IV. és V. táblázat).

A vizsgálat célja annak megállapítása volt, hogy talajmintánként, illetve ásványi alkotónként a mechanikai összetételben bekövetkező különbségek a pirofoszfát és a tenzid, illetve e tényezők együttes hatására milyen mértékű változást eredményez. E vizsgálat rámutat a talajfizikai féleségében bekövetkező változásokra is, amely különösen pl. réti- és a réti szolonyec talajminta esetében megfigyelhető. A mechanikai összetételben bekövetkező különbségeket kezelési tényezők (pirofoszfát, tényező) hatására, a Tukey féle Post Hoc tesztel értékelttem az átlagértékek és a 95%-os szignifikancia szint (VI. és VII. táblázat) segítségével.

#### 4.7.1. Az ásványi alkotók- és őrlmények mechanikai összetétele kezelése hatására

Az *eredeti* ásványi őrlmények *kontroll-pirofoszfátos mechanikai összetételének agyagfrakciójára* az alábbi eredményeket állapítottam meg: 12/KP. bentonit (67,44 %), a 11/KP.

kaolin (32,13 %), amely közel fele, míg a 2/KP. lösz (17,56 %) közel harmada a 12/KP. bentonit minta *agyagfrakciója*.

A 2/KP. lösz és 11/KP. kaolinminta porfrakciójának aránya hasonlóan dominál, mint a 12/KP. bentonit minta *agyagfrakciója* (IV. táblázat).

A 2/KP. löszminta homokfrakciója 19,72%, míg a 11/KP. és 12/KP. mintáké 3% alatti. Az 1/KP. homokmintát több mint 98%-ban homokfrakció alkotja, viszont annak az agyag és por frakciója 1% alatti.

A **kontroll-pirofoszfát nélküli mechanikai összetétel** meghatározása során a pirofoszfát nélkül a 12/KPN. bentonitminta az *agyagfrakciójának* (49,50%) csökkenése, a *porfrakciójának* (44,22%) növekedését okozta. A homokfrakció aránya elhanyagolható mértékben növekedett a 12/KP. bentonitmintához képest, feltehetően a pirofoszfát hozzáadása nélkül várhatóan az „eredeti” aggregátumok mérete kevésbé módosult. Emiatt a pirofoszfátos módszerhez képest a 11/KPN. kaolinminta *porfrakciójának* (71,36%) aránya nagyobb, míg az *agyagfrakciója* (27,13%) kisebb (IV. táblázat).

Az 1/KPN. homokminta *agyag- és porfrakciója* 0,5% alatti, mely annak köszönhető, hogy döntő hányadban a homokfrakció 99,58%-ban dominál.

A **kontroll-pirofoszfát nélküli** 2/KPN. lösz- és 11/KPN. kaolinminták *agyagfrakciója* (10,70% és 27,13%) a 2/KP. és a 11/KP. mintákhoz képest csökkent. Ezzel ellentétes irányban várhatóan a *por-* (64,18 % és 71,36%) és *homokfrakció aránya* (25,11% és 1,52%) növekedett (IV. táblázat).

A **tenziddel kezelt-pirofoszfátos mechanikai összetétel** vizsgálat eredményei azt mutatják be, hogy a 12/KP. és 12/TP. minta mechanikai összetétele hasonló arányt mutat (*agyag- 1%-al* nőtt, míg a *homok- 1%-al* csökkent, míg a *porfrakció aránya* 0,09%-ban elhanyagolható mértékben növekedett). Ebből az következik, hogy a bentonitnál a *tenzides kezelés* és a *pirofoszfát hatása* együttesen nem érvényesül (VI. táblázat).

A 1/TP. homokminta mechanikai összetételében, a többi kezelési típushoz (KP, KPN, TPN) hasonlóan 1%-on belüli eltérést tapasztaltam (III. táblázat).

A lösz 2/KP. és a 2/TP. minta és a kaolin 11/KP. és a 11/TP. minta *frakciói arányában* elhanyagolható, 1% alatti eltérést kaptam.

A lösz 2/TP., és a kaolin 11/TP. mintát a *porfrakció* (61,84% és 65,93%) dominálja, ugyanúgy, mint a többi kezelési típusánál is (KP., KPN, TP, TPN) (IV. táblázat).

A **tenziddel kezelt-pirofoszfát nélküli** mechanikai összetétel meghatározás eredményei azt mutatják be, hogy a 12/TPN. bentonit minta porfrakciója 54,23%-ban dominál, míg a többi kezelési típusnál az agyfrakció aránya az elsődleges. Az agyagfrakció a 11/TPN. kaolin- és a 12/TPN. bentonitmintánál hasonló arányt (~25%) mutat. A 12/TPN. bentonit- és a 2/TPN. löszminta homokfrakciója közel azonos arányt (17,85% és 19,19%) mutatott e kezelés módszerében (V. táblázat).

Az 1/TPN. pannon kvarchomok frakcióinak aránya a különböző kezelési módszerek (1/KP., 1/KPN., 1/TP. minta) hatására is várhatóan a legminimálisabb az eltérést eredményezte a mechanikai összetételben, amely elsősorban a homokra jellemző talajfizikai tulajdonságokkal magyarázható (pl. fajlagos felület, makroaggregátum-stabilitás) (XVIII és XXV. ábra, IV. táblázat).

### 4.7.2. Tenzid, pirofoszfát hatásának statisztikai vizsgálata az ásványi alkotók- és őrlmények mechanikai összetételére

A ásványi alkotók és a talajminták mechanikai összetételét befolyásoló kezelési tényezők (tenzid, pirofoszfát) összesítését az VI. táblázatban tüntettem fel.

Az ásványi őrlmények mechanikai összetételét befolyásoló kezelési tényezők (pirofoszfát, tenzid) hatását vizsgáltam *Post Hoc (Tukey) teszttel* is, melynek segítségével arra kerestem a választ, hogy a kezelések hatására az agyag, por és a homokfrakció aránya mely kezelési tényező, illetve -tényezők hatására különböznek szignifikánsan egymástól. Megállapítottam, hogy az ásványi alkotókra (pannon kvarchomok, paksi lösz, kaolin, bentonit) –talajmintákra is- agyag-, por-, homok frakció %-os arányát (lásd 4.7.1. fejezet), melyet alátámasztja a *Post Hoc teszt* alapján meghatározott átlagértékek, továbbá a szignifikancia elemzés adatai is (15; IV. és VI. táblázat).

#### Pannon kvarchomok

A *kontroll-pirofoszfátos* (KP) mechanikai összetétel meghatározásánál az *agyagfrakció* aránya eltérést mutat a többi (KPN, TP, TPN) kezelési módszerétől. A *tenzides kezelés hatására* 1/TPN. minta (tenziddel kezelt, pirofoszfát nélkül) és a 1/KPN. minta (kontroll, pirofoszfát nélkül) közt **agyagfrakcióban** nem tapasztaltam szignifikáns eltérést, viszont az 1/KP. minta (kontroll, pirofoszfátos) és az 1/TP. minta (tenziddel kezelt, pirofoszfátos) a **tenzid és a pirofoszfát hatására** szignifikánsan különbözik. A *pannon kvarchomok* agyagfrakciójában a *pirofoszfát és tenzid együttes hatása* jelentős hatást képvisel, míg a *tenzides kezelés nem* (VI. és VII. táblázat).

A *pannon kvarchomok* kezelési típusai **porfrakciójában** sem a *pirofoszfát* sem a *tenzid hatása* szignifikáns különbséget nem eredményezett.

Az 1/KP. és 1/TP. minták **homokfrakciója** szignifikánsan eltérnek az 1/KPN és 1/TPN mintáktól, vagyis az 1/KP. minta homokfrakciója a 1/TP. mintától nem különbözik szignifikánsan, viszont az 1/KPN. és az 1/TPN. mintáktól igen. A homokfrakció különbségében a **pirofoszfát és a tenzid hatásának** szerepe érvényesül (VI. és VII. táblázat).

#### Paksi lösz

A **paksi lösz agyagfrakciója** a 2/KP. és a 2/TP. minták közt szignifikáns különbséget mutat, mely a **pirofoszfát és a tenzid együttes hatásának** köszönhető. A 2/KPN. és a 2/TPN. közti szignifikáns különbséget a **tenzid hatása eredményezte**. A 2/KP. minta agyagfrakciója szignifikáns eltérést mutat a többi kezelési típus mintájáétól. Megállapítottam, hogy a **pirofoszfát hatása** is szignifikáns hatást eredményezett a 2KP. és 2/KPN. minta közt (15. és VI. táblázat).

A 2KP. minta porfrakciója a 2/KPN. és 2/TP. mintáktól szignifikánsan nem mutat eltérést, viszont a 2/TPN. mintához képest igen, mely a **tenzid hatásával** magyarázható.

A 2KP. minta homokfrakciója a 2/TP. és 2/TPN. mintáktól szignifikánsan nem-, de a 2/KPN. mintától eltér, mely azt mutatja, hogy a **pirofoszfát, a tenzid és a pirofoszfát és a tenzid együttes hatása** szignifikáns eltérést eredményezett a pirofoszfát nélküli paksi lösz homokfrakciójában (VII. táblázat).

15. táblázat

Ásványi alkotók egyes frakciójának átlagértékei kezelésenként *Post-Hoc teszt* alapján

Ásványi őrlemények	KP	KPN	TP	TPN
Pannon kvarchomok (1. minta)				
agyag (B)	0,95 <sup>b</sup>	0,11 <sup>a</sup>	1,29 <sup>c</sup>	0,06 <sup>a</sup>
por (B)	0,78 <sup>a</sup>	0,22 <sup>a</sup>	0,17 <sup>a</sup>	0,19 <sup>a</sup>
homok (B)	98,27 <sup>a</sup>	99,63 <sup>b</sup>	98,53 <sup>a</sup>	99,75 <sup>b</sup>
Paksi lösz (2. minta)				
agyag (B)	17,56 <sup>c</sup>	10,70 <sup>a</sup>	18,76 <sup>d</sup>	11,92 <sup>b</sup>
por (B)	62,72 <sup>a</sup>	64,18 <sup>a</sup>	61,84 <sup>a</sup>	68,89 <sup>b</sup>
homok (B)	19,72 <sup>a</sup>	25,11 <sup>b</sup>	19,40 <sup>a</sup>	19,19 <sup>a</sup>
kaolin (11. minta)				
agyag (B)	32,13 <sup>b</sup>	27,13 <sup>a</sup>	32,37 <sup>b</sup>	27,24 <sup>a</sup>
por (B)	66,48 <sup>a</sup>	71,36 <sup>b</sup>	65,94 <sup>a</sup>	72,70 <sup>b</sup>
homok (B)	2,10 <sup>a</sup>	1,52 <sup>a</sup>	1,70 <sup>a</sup>	0,06 <sup>a</sup>
bentonit (12. minta)				
agyag (B)	67,44 <sup>c</sup>	49,50 <sup>b</sup>	68,63 <sup>c</sup>	28,02 <sup>a</sup>
por (B)	30,46 <sup>a</sup>	44,22 <sup>b</sup>	30,55 <sup>a</sup>	54,13 <sup>c</sup>
homok (B)	2,10 <sup>a</sup>	4,56 <sup>b</sup>	0,82 <sup>a</sup>	17,82 <sup>c</sup>

Magyarázat: „a”, „ab”, „b”, „c” jelölések az egyes frakciók átlagos értékeinek kapcsolatát mutatják, miszerint az egyes frakciók mintánként hogyan különülnek el a különböző kezelési tényezők (*pirofoszfát, tenzid*) hatására.

### Kaolin

A *kaolin agyag és a porfrakciójánál* is a *pirofoszfát és tenzid együttes hatása* érvényesül, miszerint a 11/KP. és 11/TP. minták agyag és porfrakciója szignifikánsan különbözik a 11/KPN. és 11/TPN. mintákétól. A kaolin 2/KP. minta *agyagfrakciója* a 2/KPN. és a TPN. mintákétól szignifikánsan különbözik, míg a 2/TP. mintához képest nem. A kaolin 2/KP. minta *porfrakciója* a 2/TP. mintához képest nem tér el szignifikánsan, míg a 2/KPN. és 2/TPN. mintákétól különbözik. A 11. mintánál a *kezelési tényezők hatása nem érvényesül* – a 11/KP. mintához képest sem- a *homokfrakció* arányának különbségében, mivel a kaolinminta kezelési csoportjainak homokfrakciói szignifikánsan nem különböznek egymástól (*VI és VII. táblázat*).

### Bentonit

A *bentonit* 12/KPN. (kontroll minta, pirofoszfát nélkül) és a 12/TPN. (tenziddel kezelt minta, pirofoszfát nélküli) minták *agyag- és porfrakciói* szignifikánsan eltérnek, amelyek a *tenzides kezelés hatásával* magyarázható. Ellenben a pirofoszfátos 12/KP. és a 12/TP. minták *agyagfrakciói* szignifikánsan különböznek a pirofoszfát nélküli 12/KPN. és 12/TPN. mintákétól, mely a *pirofoszfát és tenzid együttes hatásával* magyarázható (*VI. és VII. táblázat*). Elmondható, hogy a 12/KP. bentonit minta *agyag- és porfrakciója* a 12/TP. mintától nem tér el szignifikánsan, míg 12/KPN. és 12/TPN. pirofoszfátos minták *porfrakcióitól* különböznek.

A *bentonit* 12/KP. és 12/TP. minták *por- és homokfrakciói* szignifikánsan eltérnek, amely a *pirofoszfát, a tenzid, továbbá pirofoszfát és tenzid együttes hatásával* magyarázható, míg a 12/KP. és a 12/TP. minták *agyagfrakciói* szignifikánsan nem különböztek, amelyet a *pirofoszfátos és tenzides kezelés együttes hatásával* állapítottam meg (*VI. és VII. táblázat*).

### 4.7.3. Talajminták mechanikai összetétele kezelésekre hatására

A különböző nagyságú ásványi szemcsék mennyisége, illetve részaránya döntően befolyásolja a talaj fizikai és fizikai-kémiai sajátosságait. A talajszemcsék mérete között fokozatos és folyamatos az átmenet, a fizikai sajátosságok viszont bizonyos mérethatárok felett, illetve alatt ugrásszerűen változnak (STEFANOVITS, 1999). Emiatt kiemelt jelentőséggel bír a vizsgált talajminták mechanikai összetételét befolyásoló kezelési tényezők tanulmányozása - *ahogyan az*

*ásványi alkotóknál is megállapítottam* - lásd a 4.7.1. és 4.7.2. fejezetben, mivel a mechanikai összetétel egyéb talajfizikai paraméterrel szoros összefüggést mutat (pl. a talajok kapilláris vízemelés magasságával is) (*X-XV. ábra*).

A **kontroll, pirofoszfátos mechanikai összetétel** vizsgálat eredményei alapján elmondható, hogy a 3/KP. 4/KP. (*Ramann-féle barna erdőtalaj A és B szint*) és az 5/KP. 6/KP. minták szemcsefrakciói (*agyagbemosódásos barna erdőtalaj A és B szint*) átlagosan ~ agyag 20%, por 30%, homok 50% arányban vannak. E minták agyagfrakciója kisebb, mint a kontroll, pirofoszfát nélküli mintáé, mivel a pirofoszfát hatása érvényesül. A 7KP. minta (*pszendoglejes barna erdőtalaj B*) agyagfrakciója (39,0%), és a homokfrakciója (34,6%) aránya közel azonos a többi barna erdőtalaj mintákéhoz. A 7KP. minta porfrakciója (25,9%) a 3/KP; 4/KP; 5/KP; 6/KP. mintákkal hasonló arányt mutat (*V. táblázat*).

A 7/KP. minta a legnagyobb arányú agyagfrakciót (39%) tartalmazza a *barna erdőtalaj* minták közül. A többi barna erdőtalaj mintánál (3., 4., 5., 6. mintánál) is megfigyelhető, hogy a *B szint*ből mintázott minták agyagfrakciója nagyobb, mint az *A szint*ből vett mintáknak, amely jellemző tulajdonság e talajtípusoknál.

A 8/KP. minta (*mészlepedékes csernozjom A szintje*) agyagfrakciója 27,6%, amely hasonló arányt mutat a 3; 4; 5; 6. minták agyagfrakciójával, ezzel ellentétesen a homokfrakciója a legkisebb (7,5%). E minta por- és a homokfrakciójának különbsége a legnagyobb (44,2%), viszont a barna erdőtalajoknál 8,4-23,9% közötti különbséget állapítottam meg. A 8KP. minta domináló (51,8%) porfrakciója hasonlóan nagy arányt mutat a 9. (45,9%) és 10. (41,2%) mintáknál is.

A 9/KP. (*közepes réti szolonyec B szintje*) és 10/KP. (*nem karbonátos réti talaj A szintje*) minták agyagfrakciói (51,1% és 53,9%), míg a homokfrakciói marginálisan a legkisebb (0,9% és 1,1%). Megállapítottam, hogy a 9/KP. és 10/KP. mintát várhatóan az *agyagfrakció*, a 8/KP. mintát a *porfrakció*, valamint az 5/KP. (54,1%) és 6/KP. (50,5%) mintát a *homokfrakció* aránya dominálja (*V. táblázat*).

Az *eredeti* talajminták **mechanikai összetételét pirofoszfát nélkül** is meghatároztam (*XXI. ábra*), mivel arra is választ kerestem, hogy a MSZ szabvány szerinti (KP. minták) meghatározás során kapott frakcióarányok milyen mértékben térnek el diszpergálószer (pirofoszfát) hozzáadása nélkül. Azt az alapvető különbséget figyeltem meg e mechanikai összetétel (KPN. minták) meghatározásánál, hogy jellemzően lecsökkent az agyagfrakció aránya, mivel ennél a módszernél diszpergálószer, pirofoszfát nem került hozzáadásra a mintához. Emiatt ellentétes irányban növekedett a homok-, illetve a porfrakciók aránya, melyek arra engednek következtetni, hogy az aggregátumok kevésbé estek szét.

A *pirofoszfát nélküli mechanikai összetétel meghatározással* a 3/KNP; 4/KNP; 5/KNP; 6/KNP. minta (*Ramann-féle és az agyagbemosódásos barna erdőtalaj minták*) porfrakciójában elhanyagolható különbségek (0,9-3,9%) figyelhetők meg, hasonlóképpen, mint a pirofoszfátos kezelés meghatározásánál. A diszpergálószer nélkül a *Ramann-féle barna erdőtalaj és az agyagbemosódásos barna erdőtalaj* agyagfrakciója (12,2-17,8%-os) csökkenést a homokfrakciója (15,5-17,5%-os) növekedését eredményezte.

A *pirofoszfát hozzáadása nélkül* 7/KNP. (*pszudoglejes barna erdőtalaj*) minta mechanikai összetételében várhatóan a por (47,6%) és homokfrakció (43,5%) növekedést, míg azzal ellentétes irányban az agyagfrakció csökkenést mutat. A 7/KNP. minta *agyagfrakciójában* jelentős mértékű (30,1%) csökkenés következett be, amely rámutatott arra a folyamatra, hogy a minta kilúgozódása során a szuszpenzióban aggregálódási folyamat ment végbe, amely a diszpergálószer hatásának köszönhetően a pirofoszfátos 7/KP. meghatározásnál nem következik be (*V. táblázat*).

A pirofoszfát hozzáadása nélkül a 8/KNP. minta porfrakciója csekély mértékben (4,6%-ban) növekedett meg a pirofoszfátos 8/KP. mintához képest. A 8/KNP. minta agyagfrakciójának 23,9%-os csökkenése a homokfrakció arányának (32,6%-os) növekedését eredményezte.

A nagy agyagtartalmú 9/KNP. (*közepes réti szolonyec B szintje*) és 10/KNP. (*nem karbonátos réti talaj A szintje*) mintáknál -az előbbinél (11%-al), míg az utóbbinál (33%-al)- csökkent az agyagfrakció aránya – pirofoszfátos mintákkal szemben-, mivel az aggregátum képző tulajdonság a nagy duzzadó anyagtartalmú talajoknál kifejezettebb (*V. táblázat*). A 10. minta „A” szintből lett megmintázva, így a humusznak (2,76%) (*2. táblázat*) és egyéb fém- komplex vegyületeknek köszönhetően az organominerál-komplexek szerkezetképző tulajdonsága jelenetős szerepet képvisel a szerkezetképzésben. Ellenben a 9. minta oszlopos szerkezetű, „B” szintből lett mintázva, amely kevesebb humuszanyagot tartalmaz.

A diszpergálószer hozzáadása nélküli mechanikai összetétel vizsgálat eredménye azt mutatja az eredeti (kontroll) talajmintákra, hogy a kezelés (csak desztillált víz) hatására a 10/KNP. réti talajminta *homokfrakciója* 15,8%-ra, míg a *porfrakciója* 64,6%-ra növekedett meg, mely ellentétes irányú változást mutat a 10/KP. minta *agyagfrakciójának* csökkenésével.

A ***tenziddel kezelt pirofoszfátos mechanikai összetétel*** vizsgálat elsődlegesen azt prezentálja, hogy a tenzides kezelés hatására 3-10/TP. talajminták *homokfrakciója* maximum 17%-al növekedett meg.

A tenzides kezelés a pirofoszfáttal egységesen a 3/TP; 4/TP; 5/TP; 6/TP; 9/TP. mintánál maximum 9,9%-al a porfrakció arányának csökkenését eredményezte, ezzel ellentétesen

az agyag és homokfrakcióinak arányát maximum 8,1%-al növelte meg (*V. táblázat*) a kontroll - pirofoszfátos (KP) mintákhoz képest.

A *tenziddel kezelt 7/TP. pszeudoglejes barna erdőtalaj B szintje* mintájának az agyag- (30,9%) és porfrakció (30,9%) arányát a *pirofoszfát hatása* kiegyenlítette, miközben a homokfrakció arányát megnövelte 3,6%-al az eredeti 7/KP. mintához képest (*V. táblázat*).

A *tenzid és a pirofoszfát együttes hatása a 8/TP. mészlépedékes csernozjom talajmintánál* eredményezett hasonló frakció arányt az agyag- (22,4%) és porfrakciót (24,5%) eredményezett, viszont a homokfrakció arányát 17%-al megnövelte a pirofoszfát hatásához képest (*V. táblázat*).

A *tenziddel kezelt 9/TP. közepes réti szolonyec* és *10/TP. nem karbonátos réti talajminta* agyag – por - homok frakcióinak csökkenő aránya ugyanazt a tendenciát mutatja, mint az eredeti, pirofoszfátos 9/KP. és 10/KP. mintáknál. A 9. és 10. mintánál a *tenzid és pirofoszfát hatása* a por (2%-al) és a homokfrakció (7,1 és 5,1%-al) arányát megnövelte, melynek következtében közel kiegyenlítetté vált e két talajminta mechanikai összetétele (*V. táblázat*).

A *Ramann-féle és agyagbemosódásos barna erdőtalajok A és B szintjeinek* (3/TP; 4/TP; 5/TP; 6/TP. minták) agyagfrakciói – 3-6/KP. mintákhoz képest- maximum 2,2%-al, a homokfrakciói maximum 9,9%-al csökkent, ezzel ellentétes irányban a porfrakciói maximum 12,5%-al növekedett (*V. táblázat*).

A ***tenzides, pirofoszfát nélküli mechanikai összetétel*** vizsgálat során az alábbi összefüggéseket figyeltem meg:

A *Ramann-féle és az agyagbemosódásos barna erdőtalaj 3/TPN; 4/TPN; 5/TPN; 6/TPN.* minták agyag – por - homokfrakció arányában a tenzides kezelés hatása nem eredményezett számottevő eltérést a pirofoszfát nélküli mechanikai összetételében (*VI. táblázat*).

Az *agyagbemosódásos barna erdőtalaj B szintje 6/TPN.* (65,9%) és a *6/KPN.* minták (66,0%) homokfrakciója közti különbség a *tenzides kezelés* hatására nem változott (*V. táblázat*).

A *tenziddel kezelt pszeudoglejes barna erdőtalaj B szintje 7/KPN.* és a *7/TPN.* mintái mechanikai összetételében figyeltem meg a legkisebb különbséget. Az agyagfrakció 0,6%-al, a homokfrakció 2,0%-al csökkent, mellyel ellentétes irányban a porfrakció aránya elhanyagolható mértékben (2,7%-al) növekedett (*V. táblázat*).

A *tenziddel kezelt a mészlépedékes csernozjom talaj A szintje 8. TPN.* talajmintánál a homokfrakció aránya 9,7%-al csökkent, míg a *közepes réti talaj 9/TPN.* és a *nem karbonátos réti talaj 10/TPN.* mintánál az (maximum 8,2 %-al) növekedett. A 8-10/TPN. minta *porfrakciója* maximum 4,7%-al növekedett az eredeti, pirofoszfát nélküli mintákhoz képest. A 8/TPN. agyagfrakciója a *tenzides kezelés* hatására 5,3%-al növekedett, míg az a 9. és 10/TPN. mintánál 12,8 és 7,8%-al

csökkent. A *nem karbonátos réti talaj A szintje* 10/TPN. mintánál a *tenzides kezelés hatása* kisebb mértékben növelte (67,6%-ra) a porfrakciót a KPN (pirofoszfát nélküli) mintához képest, viszont, a kontroll, pirofoszfátos mintához képest jelentős 26,3%-os növekedést figyeltem meg (*V. táblázat*).

#### 4.7.4. Tenzid, pirofoszfát hatásának statisztikai vizsgálata a talajminták mechanikai összetételére

Megállapítottam, hogy a kezelési tényezők (tenzid, pirofoszfát, illetve ezek kombinációjának) hatására a talajminták mechanikai összetételét a *Post Hoc (Tukey) teszt átlagértékei és szignifikancia eredményei* is igazolják (*16. táblázat*).

16. táblázat

Talajminták egyes frakciójának átlagértékei kezelésenként *Post-Hoc teszt* alapján

Talajtípusok	KP	KPN	TP	TPN
<b>Ramann-féle barna erdőtalaj A szint (3. minta)</b>				
agyag (B)	21,09 <sup>c</sup>	4,67 <sup>a</sup>	18,97 <sup>b</sup>	5,24 <sup>a</sup>
por (B)	33,13 <sup>b, b-c</sup>	34,00 <sup>c</sup>	28,82 <sup>a</sup>	30,81 <sup>a, a-b</sup>
homok (B)	44,28 <sup>a</sup>	61,32 <sup>c</sup>	52,21 <sup>b</sup>	63,95 <sup>c</sup>
<b>Ramann-féle barna erdőtalaj B szint (4. minta)</b>				
agyag (B)	22,90 <sup>d</sup>	5,14 <sup>a</sup>	21,26 <sup>c</sup>	8,14 <sup>b</sup>
por (B)	33,87 <sup>c</sup>	35,76 <sup>c</sup>	24,02 <sup>a</sup>	27,91 <sup>b</sup>
homok (B)	42,29 <sup>a</sup>	59,10 <sup>c</sup>	54,71 <sup>b</sup>	63,94 <sup>d</sup>
<b>Agyagbemosódásos barna erdőtalaj A szint (5. minta)</b>				
agyag (B)	15,27 <sup>d</sup>	3,07 <sup>a</sup>	14,06 <sup>c</sup>	7,64 <sup>b</sup>
por (B)	29,35 <sup>c</sup>	25,43 <sup>b</sup>	21,29 <sup>a</sup>	20,74 <sup>a</sup>
homok (B)	54,05 <sup>a</sup>	71,50 <sup>c</sup>	64,64 <sup>b</sup>	71,61 <sup>c</sup>
<b>Agyagbemosódásos barna erdőtalaj B szint (6. minta)</b>				
agyag (B)	22,30 <sup>c</sup>	4,80 <sup>a</sup>	21,45 <sup>c</sup>	11,95 <sup>b</sup>
por (B)	20,86 <sup>a</sup>	29,22 <sup>b</sup>	11,42 <sup>a</sup>	26,56 <sup>b</sup>
homok (B)	50,49 <sup>a</sup>	65,98 <sup>b-c, c</sup>	59,13 <sup>b</sup>	67,19 <sup>c</sup>
<b>Pseudoglejes barna erdőtalaj B szint (7. minta)</b>				
agyag (B)	38,96 <sup>c</sup>	8,84 <sup>a</sup>	30,85 <sup>b</sup>	8,22 <sup>a</sup>
por (B)	25,93 <sup>a</sup>	47,63 <sup>c</sup>	30,91 <sup>b</sup>	50,30 <sup>d</sup>
homok (B)	34,61 <sup>a</sup>	43,53 <sup>c</sup>	38,23 <sup>b</sup>	41,48 <sup>c</sup>
<b>Mészlepedékes csernozjom talaj A szint (8. minta)</b>				
agyag (B)	27,64 <sup>d</sup>	3,74 <sup>a</sup>	22,40 <sup>c</sup>	9,06 <sup>b</sup>
por (B)	51,68 <sup>a</sup>	56,16 <sup>b</sup>	53,07 <sup>a, a-b</sup>	60,52 <sup>c</sup>
homok (B)	7,53 <sup>a</sup>	40,10 <sup>d</sup>	24,53 <sup>b</sup>	30,42 <sup>c</sup>
<b>Közepes réti szolonyec talaj B szint (9. minta)</b>				
agyag (B)	53,88 <sup>d</sup>	40,13 <sup>b</sup>	49,01 <sup>c</sup>	27,30 <sup>a</sup>
por (B)	41,17 <sup>a</sup>	57,61 <sup>b</sup>	43,80 <sup>a</sup>	62,28 <sup>c</sup>
homok (B)	1,05 <sup>a</sup>	2,26 <sup>a</sup>	7,19 <sup>b</sup>	10,42 <sup>c</sup>

16. táblázat folytatása

Nem karbonátos réti talaj A szint (10. minta)				
agyag (B)	51,09 <sup>c</sup>	19,78 <sup>b</sup>	51,57 <sup>c</sup>	12,69 <sup>a</sup>
por (B)	45,87 <sup>b</sup>	64,60 <sup>c</sup>	43,21 <sup>a</sup>	67,59 <sup>d</sup>
homok (B)	0,88 <sup>a</sup>	15,62 <sup>c</sup>	5,22 <sup>b</sup>	19,72 <sup>d</sup>

Magyarázat: „a”, „a-b”, „b”, „b-c”, „c” jelölések az egyes frakciók átlagos értékeinek kapcsolatát mutatják, miszerint az egyes frakciók mintaként hogyan különböznek el a különböző kezelési tényezők hatására.

Ramann-féle barna erdőtalaj A szint (3. minta):

A 3/KPN. (kontroll, pirofoszfát nélküli) és a 3/TPN. (tenziddel kezelt, pirofoszfát nélküli) minták *agyagfrakciójában* nem, viszont a 3/KP. és 3/TP. minták közt abban szignifikáns eltérést tapasztaltam. A Ramann-féle barna erdőtalaj A szintje *agyagfrakciójában* a kezelési tényezők közül **pirofoszfát hatása** érvényesül.

A tenziddel kezelt 3/TP. (pirofoszfátos) és a 3/TPN. (pirofoszfát nélküli) minták **porfrakciója** szignifikáns különbséget nem mutatott, hasonlóképpen a KP és a KPN minták porfrakciója közt sem a *pirofoszfát hatása*. Porfrakcióban a 3KP. és 3TP., illetve a 3/KP. és 3/TPN. minták térnek el szignifikánsan, e kezelési típusok között a **pirofoszfát és a tenzid együttes hatása** érvényesül. (16. táblázat).

A 3/KP. és a 3/TP. minták **homokfrakciója** szignifikáns különbséget eredményezett, melyeknél a *tenzid és a pirofoszfát kölcsönhatása* érvényesült. A 3/KPN. és a 3/TPN. mintánál a *tenzides kezelés hatása* nem eredményezett szignifikáns eltérést (VI. és VII. táblázat).

Megállapítottam, hogy a 3/KP. minta (MSZ módszer szerinti meghatározás) **agyag-, por- és homokfrakciója** szignifikáns eltérést eredményezett a többi kezelési típus e frakcióival.

Ramann-féle barna erdőtalaj B szint (4. minta):

A Ramann-féle BET B szintje 4.KPN (kontroll minta, pirofoszfát nélküli) és 4.TPN (tenziddel kezelt minta, pirofoszfát nélkül) minták *agyagfrakciójában* a **tenzid hatása** szignifikáns eltérést eredményezett. A 4. KP és a 4.TP minta *agyagfrakciójában* szignifikáns különbséget nem tapasztaltam (VI. és VII. táblázat).

A 4.TP és a 4.TPN minták **porfrakciója** szignifikánsan különböznek, ellenben az a 4. KP és a 4.KPN mintáknál nem. Megállapítottam, hogy a 4. minta porfrakciójában a **pirofoszfát és tenzid kölcsönhatása** érvényesül (16. táblázat).

A 4. minta **homokfrakciója**ban a kezelési tényezők **-a pirofoszfát, tenzid, és a pirofoszfát-tenzid együttes hatására-** szignifikáns eltérést eredményeztek (VI. és VII. táblázat).

Megállapítottam, hogy a 4/KP. minta (MSZ módszer szerinti meghatározás) **agyag-, por- és homokfrakciója** szignifikáns eltérést eredményezett a *többi kezelési típus e frakcióival*.

*Agyagbemosódásos barna erdőtalaj A szint (5. minta):*

Az *agyagbemosódásos barna erdőtalaj A szintjének agyagfrakciói* a kezelések hatására szignifikáns különbséget mutattak, amely a **pirofoszfát, tenzid, pirofoszfát és tenzid együttes hatásának** is magyarázható.

Az 5/TP. (tenziddel kezelt minta, pirofoszfátos) és az 5/TPN. (tenziddel kezelt minta, pirofoszfát nélkül) minták **porfrakciói** szignifikánsan nem térnek el, ez esetben a *tenzid hatása* nem érvényesül, míg a 5/KP. (kontroll minta, pirofoszfátos) és a 5/KPN. (kontroll minta, pirofoszfát nélkül) mintáknál a **pirofoszfát hatása** szignifikáns különbséget eredményezett.

A vizsgált *agyagbemosódásos barna erdőtalaj A szintjének homokfrakciói* a **pirofoszfát, pirofoszfát és tenzid együttes hatására** szignifikánsan elkülönültek (VI. és VII. táblázat).

Megállapítottam, hogy az 5/KP. minta (MSZ módszer szerinti meghatározás) **agyag-, por- és homokfrakciója** szignifikáns eltérést eredményezett a *többi kezelési típus e frakcióival*.

*Agyagbemosódásos barna erdőtalaj B szint (6. minta):*

Az *agyagbemosódásos barna erdőtalaj B szintjének 6/KPN.* (kontroll minta, pirofoszfát nélkül) és a 6/TPN. (tenziddel kezelt minta, pirofoszfát nélkül) minták **agyagfrakciói** közt a **tenzides kezelés hatása** szignifikáns különbséget eredményezett. A 6/KP. (kontroll minta, pirofoszfátos) és a 6/TP. (tenziddel kezelt minta, pirofoszfátos) minták agyagfrakciói szignifikánsan nem térnek el, amely azt mutatja, hogy a *pirofoszfát-tenzid hatása nem érvényesül* ezeknél a kezelési típusoknál (16. és VI. táblázat).

A 6.KP és 6.KPN minták **porfrakciói** nem különböznek szignifikánsan, ahogyan az a 6.TP és 6.TPN mintáknál sem. Az *agyagbemosódásos barna erdőtalaj B szintje porfrakciójában a pirofoszfát és tenzid együttes hatása* eredményezett szignifikáns különbséget.

A 6KP. minta **homokfrakciója** szignifikánsan eltér a 6/KPN, 6/TP, 6/TPN. mintákétól, megfigyeltem, hogy a szabvány szerinti vizsgálati módszerhez képest a kezelési tényezők hatása jelentős különbséget eredményezett, amely a **pirofoszfát hatásával** magyarázható. Ellenben a 6/KPN. és 6/TPN. minták *homokfrakciói nem különböznek szignifikánsan*, ahogyan az a 6/TP. és 6/KPN. mintáknál sem, melyek azt mutatják, hogy *a tenzid, illetve a tenzid és a pirofoszfát együttes hatása nem eredményezett szignifikáns eltérést* (VI. táblázat).

*Pszéudoglejes barna erdőtalaj B szint (7. minta):*

A *pszéudoglejes barna erdőtalaj B szint (7. minta) 7/KPN. és a 7/TPN. mintáinak agyagfrakciója* szignifikánsan nem különbözik, e kezelési típusoknál a *tenzides kezelés hatása nem érvényesült*. A 7/KP. és a 7/TP. minták *agyagfrakciójában* szignifikáns különbséget állapítottam meg, melyeknél a **pirofoszfát és a tenzid hatása** együttesen jelentkezett (16. és VI. táblázat).

A *pszéudoglejes barna erdőtalaj B szint porfrakciója* az alkalmazott kezelési típusok, azaz a **pirofoszfát, tenzid, pirofoszfát és a tenzid együttes hatására** szignifikáns eltérést mutatott.

A 7/KP. és a 7/TP. minta *homokfrakciója* közt szignifikáns eltérést figyeltem meg, melynél a **pirofoszfát, pirofoszfát és tenzid együttes hatása** érvényesült, míg a 7/KPN. és a 7/TPN. minták *homokfrakciója* közt nincs szignifikáns különbség, ez esetben a *tenzid hatás* nem érvényesül (16. táblázat, VI. táblázat).

A 7/KP. minta (MSZ módszer szerinti meghatározás) **agyag-, por- és homokfrakciója** szignifikáns eltérést eredményezett a *többi kezelési típus e frakcióival*.

*Mészlepedékes csernozjom talaj A szint (8. minta):*

A *mészlepedékes csernozjom A szint agyag és homokfrakciói* a kezelési tényezők hatására szignifikáns különbséget eredményeztek a **pirofoszfát, tenzid, valamint pirofoszfát és tenzid együttes hatása** esetében is. A 8/KP. minta agyag és homokfrakciója a különböző kezelési tényezők hatására szignifikánsan eltér (V és VI. táblázat).

A 8/KP. és a 8/TP. minták *porfrakciói* szignifikáns eltérést nem mutatott, amely a **pirofoszfát és tenzid hatásának** köszönhető, viszont a 8/KPN. és a 8/TPN. minták *porfrakciói* szignifikánsan eltérnek, ez esetben a **tenzid hatása** érvényesül (16. táblázat).

Összességében a 8/KP. minta (MSZ szerinti módszer) **porfrakciója** a 8/TP. minta kivételével, a 8/KPN. és 8/TPN. mintákétól szignifikánsan eltér (VI. és VII. táblázat).

*Közepes réti szolonyec B (9. minta):*

A *közepes réti szolonyec talaj agyagfrakciójában* a **tenzid, pirofoszfát, valamint a pirofoszfát és tenzid együttes hatása** szignifikáns különbséget eredményezett az eltérő mintatípus közt.

A 9. minta *porfrakciójában* a 9/TP. (kontroll minta, pirofoszfátos módszer) és a 9/KP. (tenziddel kezelt minta, pirofoszfáttal kezelt módszer) minta nem különbözik szignifikánsan, itt a *pirofoszfát és tenzid együttes hatása nem érvényesül*, viszont a 9/KPN. és a 9/TPN. minták *porfrakciói* közt szignifikáns különbséget figyeltem meg, melynél a **tenzid hatása** érvényesült.

A 9/KP. és a 9/KPN. *közepes réti szolonyec B szint homokfrakciói* nem térnek el szignifikánsan egymástól, mely arra utal, hogy e frakcióban a *pirofoszfát hatása nem dominál*, míg a 9/TP és a 9/TPN minták homokfrakciója elkülönül, ez esetben a *tenzid hatása* játszik szerepet (16. táblázat, VI. táblázat).

Összegezve megállapítottam, hogy a 9/KP. minta (MSZ szerinti meghatározás) *agyagfrakciója* az alkalmazott kezelések hatására szignifikánsan különbözik, míg a *porfrakciója* a 9/TP. mintával, valamint a *homokfrakciója* a 9/KPN. mintával nem mutatott szignifikáns eltérést.

*Nem karbonátos réti talaj A szint (10.minta):*

A *nem karbonátos réti talaj A szintjének* 10/KP. (kontroll minta, pirofoszfátos) és a 10/TP. (tenziddel kezelt, pirofoszfátos) minták *agyagfrakciói* szignifikánsan nem térnek el egymástól, amely a *pirofoszfát és a tenzid együttes hatásának* köszönhető. A 10/KP. (kontroll minta, pirofoszfátos) és a 10/KPN. (kontroll minta, pirofoszfát nélkül) minták *agyagfrakciói* szignifikánsan eltérnek a *pirofoszfát hatására*.

A *nem karbonátos réti talaj A szintjének por és homokfrakciói a pirofoszfát, tenzid, valamint a pirofoszfát és tenzid együttes hatására* szignifikáns különbséget eredményezett (16. táblázat, VII. táblázat).

Megállapítottam, hogy a *nem karbonátos réti talaj A szint* 10/KP. mintájának (MSZ szabvány szerinti módszer) *agyagfrakciója* - a 10/TP. minta kivételével- szignifikánsan eltér a 10/KPN. és 10/TPN. mintáktól. A 10/KP. minta *por- és homokfrakciói is szignifikánsan eltérnek* a többi kezelési módszer hatására.

#### 4.8. Kezelt ásványi alkotók és ásványi őrlemények kapilláris emelkedésének értékelése

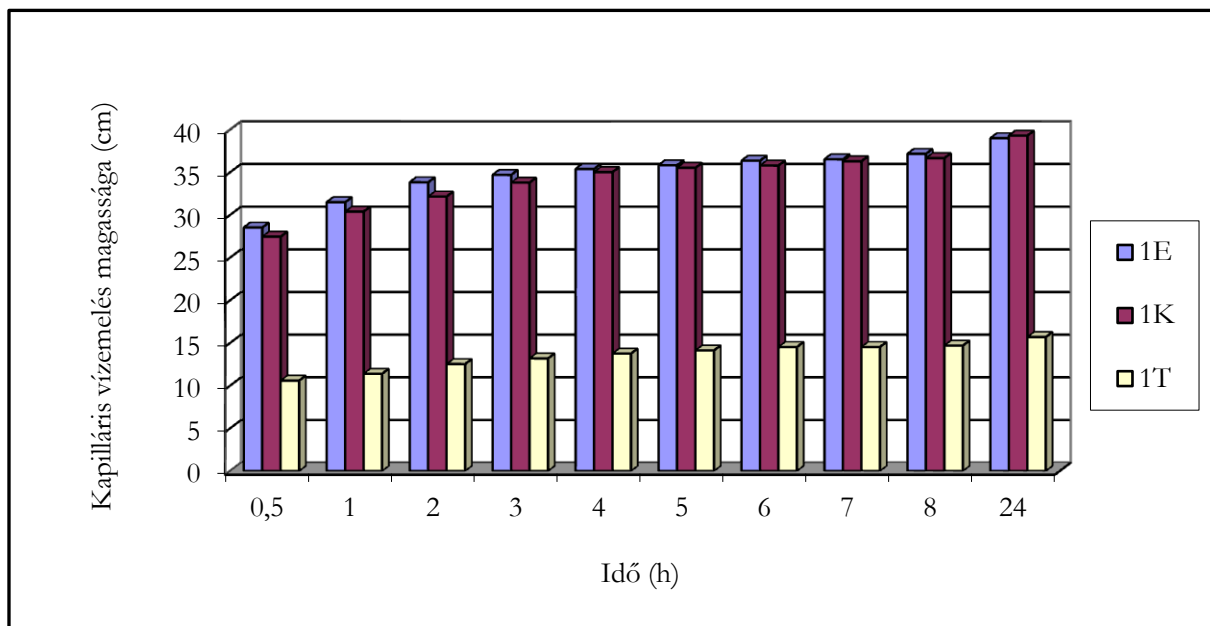
A tenzides kezelés hatására a *pannon kvarchomok* (1T. minta) kapilláris emelkedés magassága (a teljes mérési időintervallumban) mutatja a legnagyobb csökkenést –az 1E. *eredeti* és 1K. *kontrollkezelt* mintához képest-. A csökkenés mértéke feltehetően azért következett be, mert a kationos tenzid a negatív töltésű talajfelületeken jól adszorbeálódik. A talajalkotó ásványokban az izomorf helyettesítés miatt többnyire állandó negatív töltések fordulnak elő (JOHNSTON és TOMBÁ CZ, 2002). A hatékony adszorpciót az 5. táblázat adatai mutatják be.

Az 1K. (I/K/9.) minta az 1E. mintához képest kismértékű csökkenést eredményezett a kapilláris vízemelés magasságában. A 0,5-8 óra között 0,3-1,6 cm-rel alacsonyabb, míg a 24 órás értéknél 0,3 cm-rel magasabb, kismértékű különbség állapítható meg a *kontrollkezelés* hatására (II. ábra), mely arra utal, hogy kevésbé módosult a szemcseméret eloszlása, mely a homokra jellemző tulajdonság. Az *ANOVA többváltozós varianciaanalízis* értékelés alapján a 8. és 24. órás mérésnél a folyadékeltávolítás (mosás) hatása a pannon kvarchomoknál (bentonit, kaolin, lösz mintáknál is) nem eredményezett 5% hibahatáron belüli összefüggést a kapilláris vízemelés magasságával, viszont a homok (1. minta) és a mosás együttes hatása az utolsó két mérési időpontban (8. és 24. óra) már összefüggést mutatott (8. táblázat) lásd 4.2.1. fejezetben. A tenzides kezelésnél (1T. minta) a kapilláris vízemelkedés (0,5-24. órás teljes időintervallumban) közel harmadára csökkent az eredeti (1E.) mintához képest. *Jelentős mértékű csökkenést a kapilláris vízemelkedésben, elsődlegesen a tenzides kezelés hatása során tapasztaltam a kontrollkezelés módszerével szemben, mivel a kis fajlagos felületű homok hatékonyabban képes adszorbeálni a tenzidet. Ez a megállapítás általában megfigyelhető azoknál a talajmintáknál is, melyek jellemzően nagyobb mennyiségben nem tartalmaznak nagyobb mennyiségű duzzadó agyagásványokat (8; 9 és IV. ábra). Az ANOVA többváltozós analízis is rámutat (8. és I. táblázat), hogy a tenzides kezelés hatása a pannon kvarchomok (bentonit, kaolin, lösz esetében is) teljes mérési időintervallumban 95%-os szignifikancia szinten összefüggést eredményezett.*

A **paksi lösz** (2. minta, I/7/K.) kontroll 2K. és eredeti 2E. mintája között a *kontrollkezelés hatására* a kapilláris vízemelkedés– éppúgy, mint az 1. mintánál– 1,1-3,5 cm-rel kismértékben csökkent (0,5-24 h), míg a tenzides kezelésnél közel harmadára csökkent a kapilláris vízemelés magassága (9. ábra). Mind a pannon kvarchomoknál, mind a paksi lösznél is megfigyeltem, hogy elsődlegesen az ásványi összetételnek (pl. kvarc), illetve a por és homokfrakció túlsúlyának köszönhetően a tenzid hatása fokozottabban érvényesült (5. táblázat), melyet az *ANOVA többváltozós varianciaanalízis* is alátámaszt (8. és I. táblázat). A kontrollkezelés (folyadékeltávolítás vagy mosás) hatása a 2. mintánál sem eredményezett összefüggést 5% hibahatáron belül (8. táblázat).

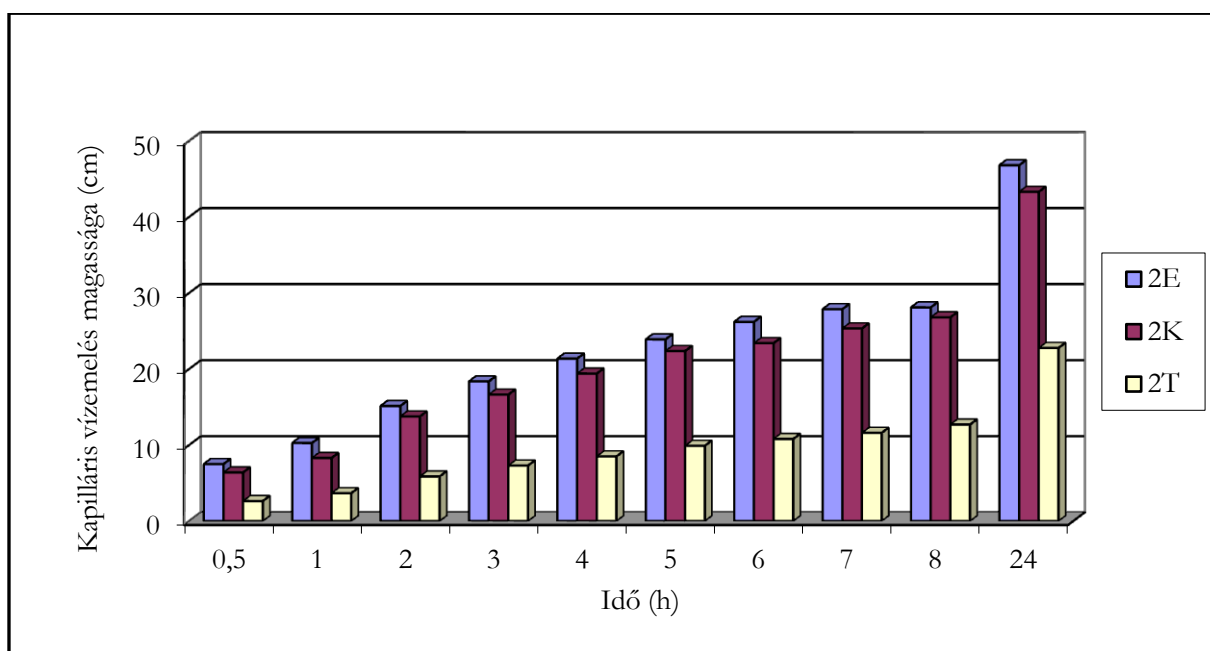
A **paksi lösz** (2E; 2K; 2T. minták), a **pannon kvarchomok** (1E; 1K; 1T. minták), valamint a **pszeudoglejes barna erdőtalaj** (7E; 7K; 7T. minták) (16. ábra) minták kapilláris emelkedése mind hasonló irányú és mértékű különbségeket eredményezett mind a kontroll-, mind a tenzides kezelés hatására. E talajminták *eredeti* (E) és a *kontrollkezelt* (K) mintái kismértékű különbségeket mutatnak egymáshoz képest (I- III. és VII-XIX. ábra)- ásványi összetételen kívül e

mintákra (pl. 7. minta) jellemzően fém-komplex vegyületek is befolyásolhatják a tenzid adszorpcióját a vizsgált időpontok 0,5-24 órájában.



8. ábra

Pannon kvarchomok (1. minta) kapilláris vízemelés magassága kezelésekre hatására



9. ábra

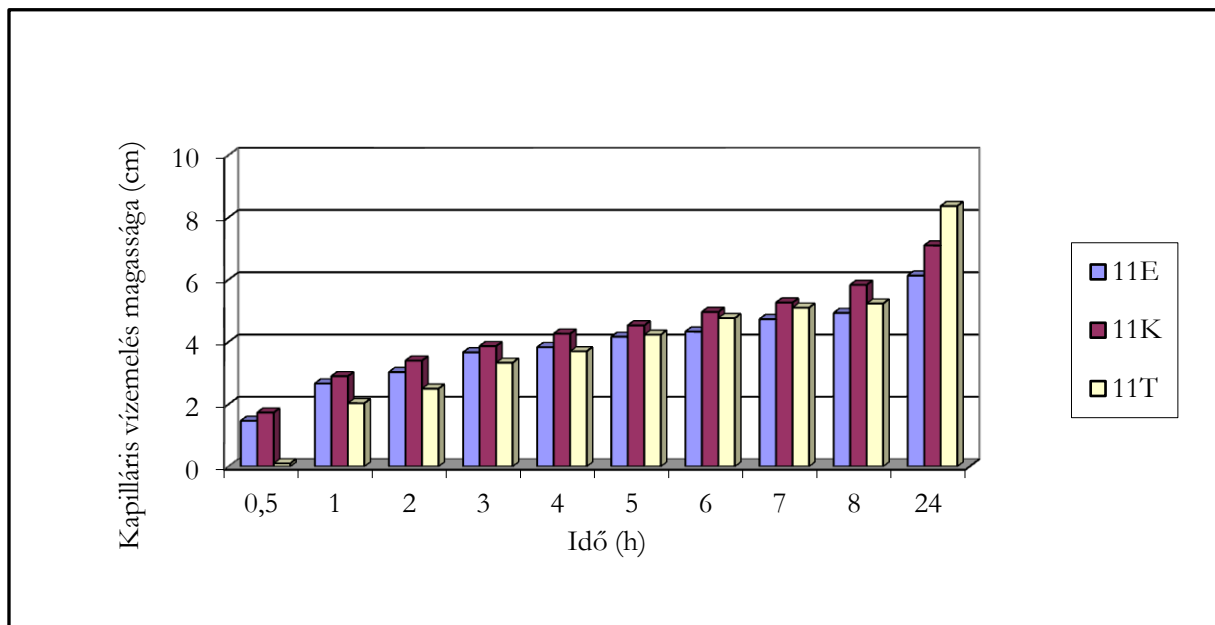
Paksi lösz (2. minta) kapilláris vízemelésének magassága kezelésekre hatására

Összefüggést állapítottam meg abban, hogy azok a talajminták, melyek a leghatékonyabban adszorbeálták tenzid mennyiségét, azaz a *pannon kvarchomok*, a *paksi lösz*,

valamint a *pszeudoglejes barna erdőtalaj*, ezek a minták a *tenzides kezelés* hatására egyben a legnagyobb különbséget eredményezték a kapilláris vízemelés magasságának csökkenésében.

A *kaolin* (11. minta) 11E. és a 11K. mintája közötti különbség a *kontrollkezelés hatására* a 0,2-1,0 cm-rel fokozatosan kismértékben növekedett meg a kapilláris vízemelés (0,5-24h-ig), mely feltehetően a *kontrollkezelés hatása* során bekövetkező kismértékű szerkezetmódosulásnak köszönhetően mehetett végbe. Az *ANOVA többváltozós varianciaanalízis* eredménye rámutat arra, hogy a kaolin kapilláris vízemelés magasságában a tenzides kezelés (tenzid és mosás) hatása, illetve annak kombinációja az ásványi alkotóval nem eredményezett 95%-os szignifancia szinten összefüggést (8. táblázat). Az ásványi őrlemény és a folyadékeltávolítás kombinációjában, hasonlóképpen az ásványi őrlemény és a tenzid hatása közti kapcsolatban 5% hibahatáron belüli összefüggést állapítottam meg (8. és I. táblázat).

A tenziddel kezelt 11T. minta kapilláris vízemelése 0,5 órás mérésnél nem mutat regisztrálható értéket, míg a 24. órában a legnagyobb a (~2,0 cm) a növekedés különbsége az eredeti 11E. mintához képest (10. és VI. ábra). A tenzides minták kapilláris emelkedés különbsége az 1-8. órás kapilláris emelkedésnél az eredeti mintákhoz képest fokozatosan csökkent (1,0 cm alatti értékek), majd az 5. órás méréstől fokozatosan növekedett, mely a differenciált porozitásban bekövetkező változásokra utal. A 24 órás mérésnél 11T. minta kiugró értéket mutat az eredeti 11E. és kontroll 11K. mintához képest (1-1 cm különbségek) (10. ábra).



10. ábra

*Kaolin* (11. minta) kapilláris vízemelésének vizsgálata kezelésekre hatására

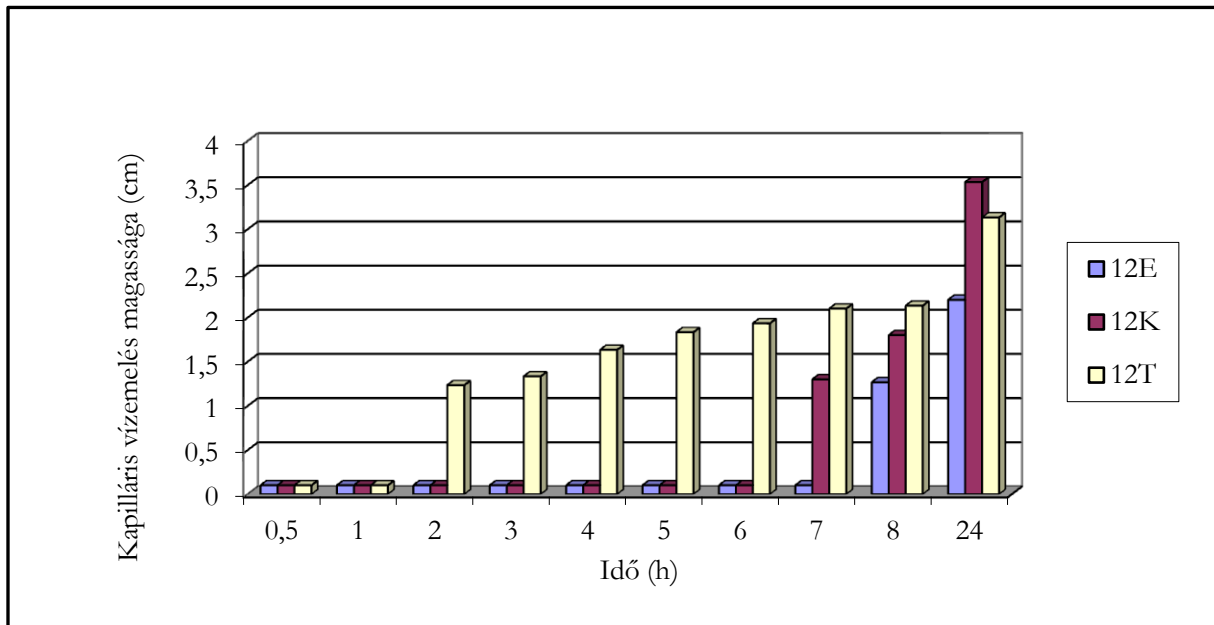
A **kaolin** minta hatékony tenzidadszorpciója (5. táblázat) – ellentétben a pannon kvarchomok, paksi lösz, pszeudoglejes barna erdőtalaj mintákétól – nem eredményezett számottevő különbséget a kapilláris vízemelés magasságának különbségének növekedésében sem a *kontroll*-, sem a *tenzides kezelés* hatására. Feltehetően a kaolin mintánál az agyagásvány minősége és a kezelési módszer hatása határozta meg elsődlegesen a kapilláris vízemelés magasságát az *eredeti* (11E.), a *kontrollkezelés* (11K.), valamint a *tenziddel kezelt* (11T.) mintánál. Mivel a kaolin mechanikai összetétele (11/KP. és 11/TP. minták) (IV. táblázat) a kezelés hatására elhanyagolható mértékben tér el, így a kisebb eltérések a kapilláris emelkedés magassága a mérések időpontjaiban a pórusok átrendeződésével magyarázható, mely kisebb mértékű szerkezetmódosulásra utal. E folyamat összefüggésben állhat a térfogattömeg (főként kontrollkezelés hatás), a makroaggregátum-stabilitás növekedésével, továbbá a sűrűség csökkenésével a kezelésekre (XXIII-XXV. ábra).

A **bentonit** kapilláris vízemelésénél megfigyeltem, hogy a *tenzides kezelés* hatása már a 2. órában regisztrálható értéket eredményezett, 1,2 cm-ről 3,1 cm-re növekedett (I-III. ábra), amely rámutat arra, hogy a legnagyobb szerkezetmódosulást a tenzides kezelés hatása eredményezte (11. ábra). A talajfizikai vizsgálataim során megállapítottam, hogy a *tenzides kezelés hatására* bentonit szerkezetátalakulására több talajfizikai paraméter is rámutat pl. *térfogattömeg, sűrűség, makroaggregátum-stabilitás* növekedése (XXIII-XXV. ábra), illetve az *Arany-féle kötöttség* csökkenése az *eredeti* mintákhoz viszonyítva (XXII. ábra).

A bentonit kapilláris vízemelés magassága a 7. órától mutatott mérhető értéket *kontrollkezelés* hatására, mely a *tenzides kezelés* hatására 39%-al megnövekedett. A *kontrollkezelés* hatására az *eredeti* mintához képest 34%-al növekedett meg a kapilláris vízemelés magassága a 8. órában, míg a *tenziddel kezelt* mintánál nagyobb, 40%-os növekedést tapasztaltam. A *kontrollkezelés* hatása a 24. órában 38%-al, míg a *tenzides kezelés* hatására 29%-al növelte meg a kapilláris emelkedés magasságát az *eredeti* mintához képest (11; I-III. ábra).

Ezek a különbségek összefüggésben állhatnak a *fajlagos felülettel* (XVIII. ábra), valamint a *makroaggregátum-stabilitásával* (XXV. ábra), különösen a tenzides kezelés hatására. A bentonit makroaggregátum- stabilitásában a tenzides kezelés hatása szignifikáns különbséget mutat az *eredeti* és a *kontrollkezelés* hatására lásd 4.3. fejezet (10. táblázat). Megállapítottam a bentonitnál, hogy a hatékony tenzidadszorpciót követően (5. táblázat) feltehetően a szerkezetmódosulásnak köszönhetően -PATZKÓ és DÉKÁNY, 1996, 1997, is megállapította (lásd 2.8. fejezet)- megnövekedett a makroaggregátumok-stabilitása, amely erős fordítottan arányos összefüggést (13. táblázat) eredményezett a kapilláris vízemelés magasságával. Ebből következik az, hogy a

tenzides kezelés hatása már a 2. órás méréstől regisztrálhatóvá tette a bentonit kapilláris vízemelkedését. A tenzides kezelés, valamint az ásványi őrlemény és a tenzides kezelés (tenzid és mosás) hatása 95%-os szignifikancia szinten összefüggést eredményezett az *ANOVA* *többváltozós varianciaanalízis* értékelés alapján (8. és I. táblázat).



11. ábra

*Bentonit* (12. minta) kapilláris vízemelésének magassága kezelésekre hatására

A **bentonit** minta (11. ábra) kapilláris vízemelése elsősorban a duzzadó agyagtartalomtól függően a réti szolonyec (9.) és réti (10.) talajmintával mutat hasonlóságot. A 9. mintánál a kicserélhető  $\text{Na}^+$ só hidrátburkot képző szerepe jelentős (VÁRALLYAY, 2002; STEFANOVITS és munkatársai, 1999) szerepet képvisel a kapilláris emelkedésben, mivel a 10. és 12. mintához képest időben relatív később regisztrálható az emelkedés magassága (VII. és VIII. ábra).

A makroaggregátum-stabilitás és a kapilláris vízemelés magassága közötti összefüggés a bentonitnál is jól megfigyelhető, mivel a *kontrollkezelés* hatása kevésbé volt hatékony, a teljes mérési időintervallumban az eredeti mintához képest kisebb eltérést eredményezett, mint a tenzides kezelés hatása (13. táblázat).

A *bentonit*hoz hasonló paramétereket a **közepes réti szolonyec** mintánál (9T. minta) tapasztaltam a *tenzides kezelések* hatására. Ellenben már a *kontrollkezelés* hatására is jelentős különbséget eredményezett a kapilláris vízemelés magasságában, amely a kezelési módszer kilúgozó hatásának köszönhető. Korábbi kutatási eredményeim is igazolják, hogy a *tenzides kezelések* hatására hasonló irányú változások tapasztalhatók, pl. *réti szolonyec* talajminta kapilláris vízemelés magasság mérésnél, ugyanolyan méretű talajoszlopon, viszont másik tenzides kezelési módszert alkalmazva (NAGY és MAKÓ, 2011). Kutatásom kezdeti szakaszán külön vizsgáltam a

tenzid hatását (nagyobb tenzidkoncentráció mellett) bentonit és kaolinkeveréksorozat kapilláris vízemelés magasságára (NAGY és DEÁK, 2013).

#### 4.8.1. Bentonit keveréksorozat kapilláris vízemelés magasságának értékelése

A bentonit I.- és a kaolin II. keveréksorozatnál – talajmintáknál-is egyaránt megállapítható, hogy a kapilláris vízemelkedés időgörbéje (*I-VI. ábra*) fordított arányosságot mutat az agyagtartalommal (*4. táblázat, X-XV. ábra*), melynek összefüggését korábbi kutatási eredmények is igazolják (MAKÓ, 1995, NAGY és DEÁK, 2013). A kapilláris vízemelést főként nem az agyag minősége, hanem az agyagtartalma befolyásolja (DI GLÉRIA és munkatársai, 1957). A bentonit és a kaolin keveréksorozat kapilláris vízemelés kísérletei bemutatják, hogy az ásványi őrlemények minősége eltérő mértékben befolyásolja a kapilláris vízemelkedés magasságának mértékét – a TO szerkezetű kaolinnál magasabb, míg a TOT szerkezetű bentonitnál alacsonyabb a kapilláris vízemelés magassága (a vizsgált 0,5-24. órás mérési időintervallumban), viszont a kezelés hatása az utóbbi esetben jelentős különbségeket eredményezett. Szakirodalmi adatokkal összevetve azt tapasztaltam (DI GLÉRIA és munkatársai 1957; MAKÓ, 1995; NAGY és DEÁK, 2013), hogy alapvetően a kapilláris vízemelés magasságát az agyagásvány tartalma befolyásolja, viszont az ásványi őrlemény minősége között is eltérés tapasztalható a 11. és 12. eredeti mintánál, illetve az I. bentonit- és II. kaolin ásványi őrlemény keveréksorozatnál.

Ennek megfelelően az 1/1-ben bentonit (I/1/E; I/1/K; I/1/T. vagy 12. minta) és kaolin (II/1/E; II/1/K; II/1/T. vagy 11. minta) minta kapilláris vízemelése a legalacsonyabb. A keveréksorozatban utána következő, magasabb kapilláris emelkedésű (I/2. (E, K, T) - I/6. (E, K, T) és II/2 - II/6. (E, K, T)) minták agyagtartalma már kisebb, csökkenő arányban (*4. táblázat*) tartalmaz ásványi őrleményt (*I-VI. ábra*).

Az eredeti és a kontrollkezelt *I. és II. keveréksorozat* mintáit, - melyek ásványi őrleményt csökkenő arányban tartalmaznak,- külön (I. régió és II. régió) régiókba különítettem kapilláris vízemelés magasságuk alapján. Az *I. régióba* az I/1-I/6. illetve a II/1-II/6. mintákat, míg a *II. régióba* az I/7-I/9. mintákat különítettem el. A bentonit-, illetve a kaolin keveréksorozat-minták, valamint a talajminták kapilláris vízemelkedés magasságának szignifikáns eltéréseit a kontroll- és tenzides kezelésekre a *PostHoc tesztel (Tukey)* vizsgáltam, lásd 4.10.1. - 4.10.3. fejezetben (*17-19. táblázat*). A tenzides kezelést követően a vizsgált mintákat két átmeneti régióba soroltam be (lásd 4.10.3. fejezet) a kapilláris vízemelés magasságuk átrendezettsége miatt.

MAKÓ (1995) is megállapította, hogy a nagyobb agyagtartalmú mintákat lassabban, de magasabbra emelkedő görbék jellemzik az idő függvényében. McCARTY és munkatársai (2016) is megállapították, hogy a talajrészecskék és a pórusok méretének csökkenésével növekszik az adhézió (vonzás) a talajrészecskék és a talajoldat között. Emiatt a nagy duzzadó agyagtartalmú talajminták kapilláris vízemelkedése lassabban megy végbe, így az utolsó mért értéknél – 24. órában- megfigyelhető, hogy az I/1-I/6. és a II/1-II/6. mintáknál, valamint a 9. és 10. talajmintáknál is 10 cm alatti. Ellenben a nagy duzzadó agyagtartalmú talajokat az is jellemzi, hogy a legmagasabbra emelkedik a maximális kapilláris vízemelkedés magassága.

A legmagasabb kapilláris emelkedés (24 órás mérésig), az eredeti homok és lösz tartalmú minták esetében (I/7/E. - I/9/E), vagyis a paksi lösz (2. ill. I/7/E), pannon kvarchomok (1. ill. I/9/E) minta, valamint e minták fele-fele arányú (I/8/E). keverékmintájánál figyelhető meg. A homok I/9/E, I/9/K, I/9/T. mintáknál a kezdeti rohamos növekedést nagymértékű ellaposodás követi (NAGY és MAKÓ, 2011), (*I-III. ábra*). A nagy por és a homokfrakciójú talajokra jellemző, hogy hamarabb éri el a maximum értéket (pl. *pannon kvarchomoknál* a leghamarabb megy végbe, melynek fő oka a gravitációs pórustér döntő hányada, mely a homoktalajokra jellemző) a kapilláris vízemelés magasságában (MAKÓ, 1995; MALIK és munkatársai 1984, 1989; KUMAR és MALIK, 1990; LIU és munkatársai, 2014; PARLANGE és munkatársai, 1990).

A csökkenő agyagtartalmú I/1/K-I/6/K. minták kapilláris vízemelés magassága a *kontrollkezelés* hatására (0-3 cm-rel) kismértékben növekedett az *eredeti* I/1/E-I/6/E. mintákhoz képest. Ellentétben az I/7/K.-I/9/K. mintáknál kismértékben (0-3 cm-rel) csökkent vízemelés magassága az I/7/E-I/9/E. mintákéhoz képest (*II. ábra*). A kezelés hatása az agyagosabb mintáknál növelte a kapilláris vízemelkedést, míg az ásványi őrleményeket (bentonit, kaolin) nem tartozó mintáknál csökkentette azt. A kapilláris vízemelkedés magasságának különbségét a kezelés módszerén (*kontrollkezelés*) túl a *tenzid hatása* tovább fokozta (maximum 40%-al megnövelve azt) (*I-III. ábra*). Az I/1. minta (1/1-ben bentonit) kapilláris vízemelés magassága a kezelésekre hatására eltérő időpontban (I/1/E. (8. óra), az I/1/K. (7. óra), I/1/T. (2. óra) vált regisztrálhatóvá lásd 4.8. fejezetben (*11. ábra*). Az I/2. minta (2/3-ad arányban bentonit, 1/3-ad arányban lösz) kapilláris vízemelése az I/2/E. mintánál 3 órás, míg az I/2/K. és I/2/T. mintánál 1 óras mérésnél mutat regisztrálható értéket (*I-III. ábra*).

A tenzides kezelést követően I/7/T. - I/9/T. minták kapilláris vízemelkedés magassága a nedvesedési tulajdonságok megváltozásával közel harmadára (maximum 60%-al csökkent (*III. ábra*). A kutatásom kezdeti szakaszában hasonló irányú, viszont mértékben eltérő különbségeket tapasztaltam a bentonit keveréksorozat-mintákon a kationos tenzides kezelés hatására. A tenzides

kezeléséhez az esetben két nagyságrenddel nagyobb mennyiségű tenzidet alkalmaztam, mivel a minták maximális felületmódosítását tűztem ki célul (NAGY és DEÁK, 2013).

A bentonit keveréksorozat minták kapilláris vízemelés magassága közti különbségek értékeléséhez a lineáris regressziós, determinációs koefficienseket is meghatároztam, miszerint a bentonit keveréksorozat időgörbéjének meredeksége – a 7. órás mérésnél- a *kontrollkezelés* hatására -0,0503-ra, míg a *tenzides kezelés* hatására -0,0329-re csökkent az eredeti bentonit keveréksorozat -0,0558 meredekségéhez képest (X-XII. ábra).

A bentonit keveréksorozat agyagtartalma és a mért kapilláris vízemelés magasságai közti legszorosabb lineáris regressziós összefüggést a 7. órában állapítottam meg, miszerint az eredeti bentonit keveréksorozat ( $R^2$  0,9277), a mosott kontroll bentonit keveréksorozat ( $R^2$  0,9884), míg a tenziddel kezelt bentonit keveréksorozat ( $R^2$  0,8972) összefüggést eredményezett. Megfigyeltem, hogy a *kontrollkezelés* hatása növelte a lineáris regressziós összefüggést az agyagtartalom és a 7. órás kapilláris vízemelés magassága között, (X-XII. ábra), míg a *tenzides kezelés* hatása csökkentette azt. Szakirodalmakban 2. órás (KUMAR és MALIK, 1990), 5. órás (STEFANOVITS és munkatársai, 1999), 24. órás (MAKÓ, 1995 és NAGY és MAKÓ, 2011, NAGY és DEÁK, 2013, NAGY és munkatársai 2015; 2016) kapilláris vízemelkedés vizsgálati eredmények számolnak be. A 7. órás mérésnél tapasztalt legszorosabb lineáris regressziós kapcsolat rámutat arra, hogy a kapilláris vízemelés „kezdeti óráiban” már jellemző talajfizikai összefüggés figyelhető meg az agyagtartalommal (X-XII. ábra).

#### 4.8.2. Kaolin keveréksorozat kapilláris vízemelés magasságának értékelése

MAKÓ (1995), illetve NAGY és DEÁK (2013) kutatási eredményei is bemutatják, hogy a *kaolin ásványi őrlemény keveréksorozat* kapilláris vízemelkedését az agyagásvány tartalma és minősége is befolyásolja. Miszerint a kaolinit nem duzzadó agyagásvány, így ellentétben a bentonit montmorillonit tartalmával, kevesebb tenzidet képes megkötni az agyaglamellák külső felületén. A kaolint hatékony tenzidadszorpció jellemzi (5. táblázat), viszont a talajfizikai paraméterekben, fajlagos felületben egyaránt, a tenzides kezelés hatása kevésbé eredményezett különbséget, ellentétben a többi ásványi talajalkotókkal (bentonit, lösz, homok), melyek a keveréksorozatok mintáit alkotják (XVIII-XXI. ábra).

A *kaolin keveréksorozat* kapilláris vízemelkedése, - éppúgy, mint a bentonit I/1-I/6. mintánál,- a *kontrollkezelés* hatására (II/1/K.-II/6/K. minta) kismértékű növekedést eredményezett (0-0,5 cm) az eredeti mintáihoz (II/1/E.-II/6/E. minta) képest (IV. és V. ábra).

Ezek az eredmények rámutatnak arra, hogy a *kontrollkezelés* hatása kevésbé befolyásolta a kapilláris vízemelkedés magasságát (II/1/E.-II/6/E. minta), mint a *tenzides kezelés* hatása.

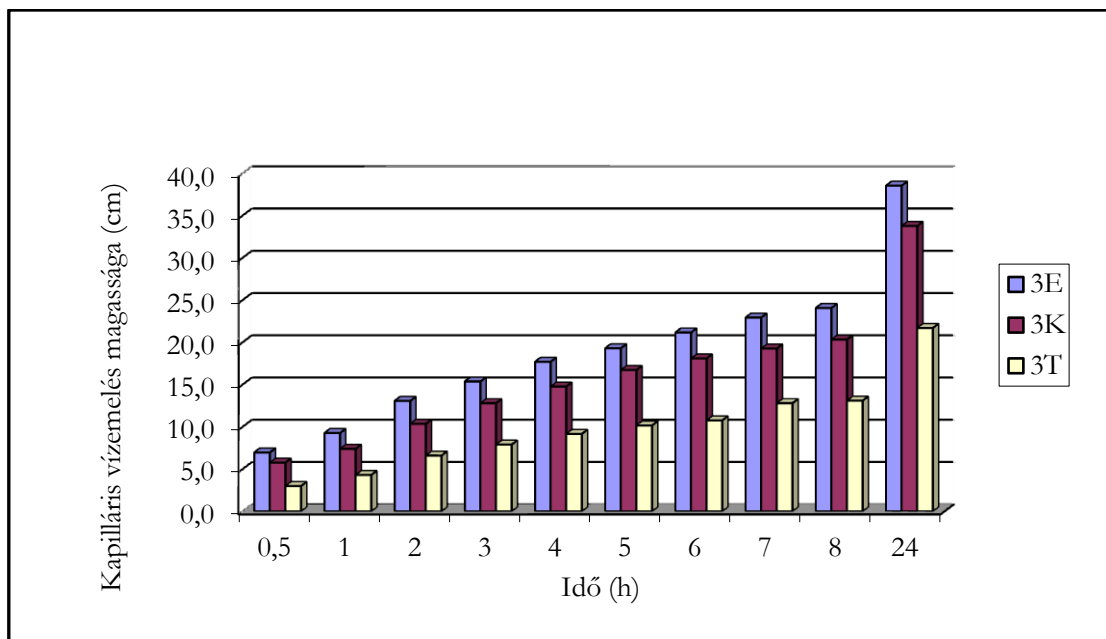
A tenzides kezelés hatása (0-3 cm) is elhanyagolható különbséget eredményezett az eredeti mintához képest a II/1/T.-II/6/T. minta kapilláris vízemelési időgörbéjén. A tenziddel kezelt II/1/T.-II/3/T. mintáknál a 6-24. órában kismértékben (0,2-1,5 cm-rel) növekedett a kapilláris emelkedés magassága, míg az a II/4/T.-II/6/T. mintánál azzal ellentétben csökkent (*VI. ábra*). A tenzides kezelés hatása eltérő irányú, viszont elhanyagolható mértékű különbséget eredményezett a kapilláris vízemelési magasságában. Mivel a *kaolin* mechanikai összetétele sem mutatott számottevő különbséget a (kontroll és tenzides) kezelések hatására (*15. táblázat*), e tekintetben összefüggés tapasztalható a kaolin keveréksorozat kapilláris vízemelése és a mechanikai összetétele közt (*XIII-XV. ábra*).

A kaolin keveréksorozat kapilláris vízemelési magassága közti különbségeket statisztikailag a lineáris regressziós, determinációs együtthatók segítségével támasztottam alá, miszerint a kaolin keveréksorozat időgörbéjének meredeksége -24. órában- a kontrollkezelés hatására -0,0399-re, míg a tenzides kezelés hatására -0,0206-ra csökkent az eredeti kaolin keveréksorozat -0,0418 meredekségéhez képest (*XIII-XV. ábra*).

A *kaolin keveréksorozat agyagtartalma* a 24. órás kapilláris vízemelési magasságával eredményezte a legszorosabb *lineáris regressziós összefüggést*, az *eredeti* kaolin keveréksorozat ( $R^2$  0,9186), a *mosott kontroll* kaolin keveréksorozat ( $R^2$  0,9201), a *tenziddel kezelt* kaolin keveréksorozat ( $R^2$  0,7533) mintáinál. Megállapítottam, hogy – hasonlóképpen, mint a bentonit keveréksorozat agyagtartalma és a kapilláris vízemelési magassága közötti lineáris regressziós összefüggésénél- a *kontrollkezelés* hatása növelte a lineáris regressziós összefüggést az agyagtartalom és a 24. órás kapilláris vízemelési magassága között (*XIII-XV. ábra*), míg a *tenzides kezelés* hatása csökkentette azt.

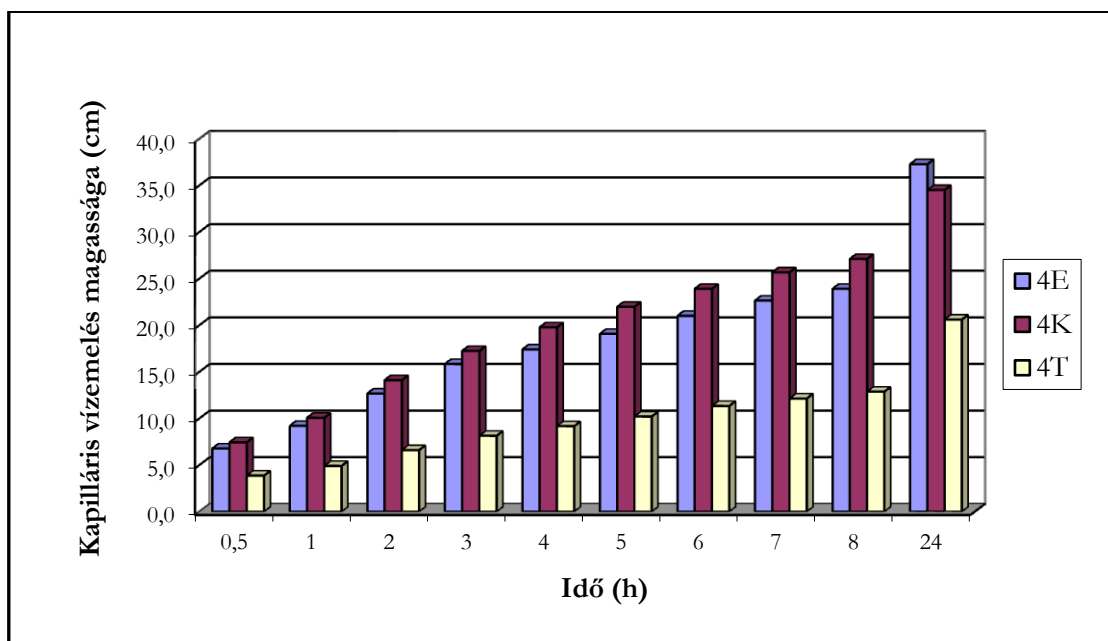
#### 4.9. Kezelések hatása a talajminták kapilláris vízemelkedésére

A *kontrollkezelés* hatására a (*Ramann-féle barna erdőtalaj A szint*) 3.K. minta kapilláris vízemelési magasságának csökkenése maximum 5 cm (*12. ábra*) a teljes mérési időintervallumban (*VII-IX. ábra*). A *tenzides kezelés* hatására közel felére csökkent a 3T. minta kapilláris vízemelési magassága az eredeti mintával szemben, melynek következtében megállapítottam, hogy a kontrollkezelés és a tenziddel kezelt minták kapilláris vízemelési magassága közti különbség elsődlegesen a tenzid hatásával magyarázható (*12. ábra*).



12. ábra

Ramann-féle barna erdőtalaj A szint (3. minta) kapilláris vízemelés magassága kezelésekre



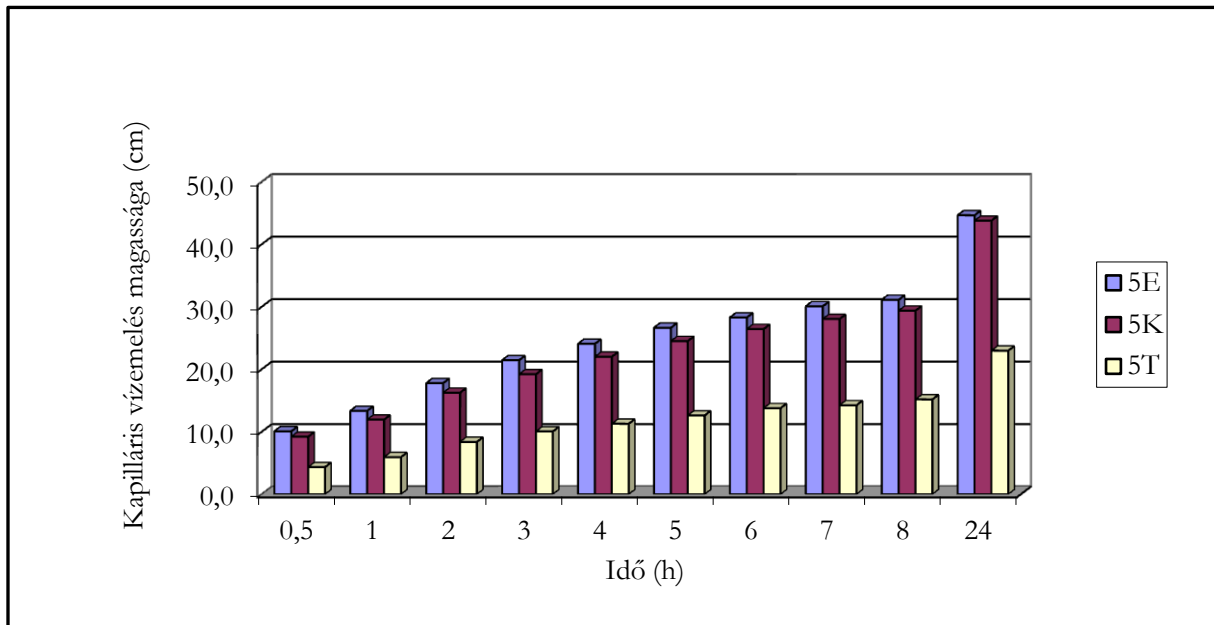
13. ábra

Ramann-féle barna erdőtalaj B szint (4. minta) kapilláris vízemelés magassága kezelésekre

A kontrollkezelt 4.K. minta (Ramann-féle barna erdőtalaj B szint) kapilláris emelkedése a 0,5-8. órák időintervallumban maximum 3 cm különbséget eredményezett a kapilláris vízemelés magasság növekedésében (13. ábra), viszont a 24. órában 3 cm-rel alacsonyabb értéket regisztráltam az eredeti 4E. mintához képest.

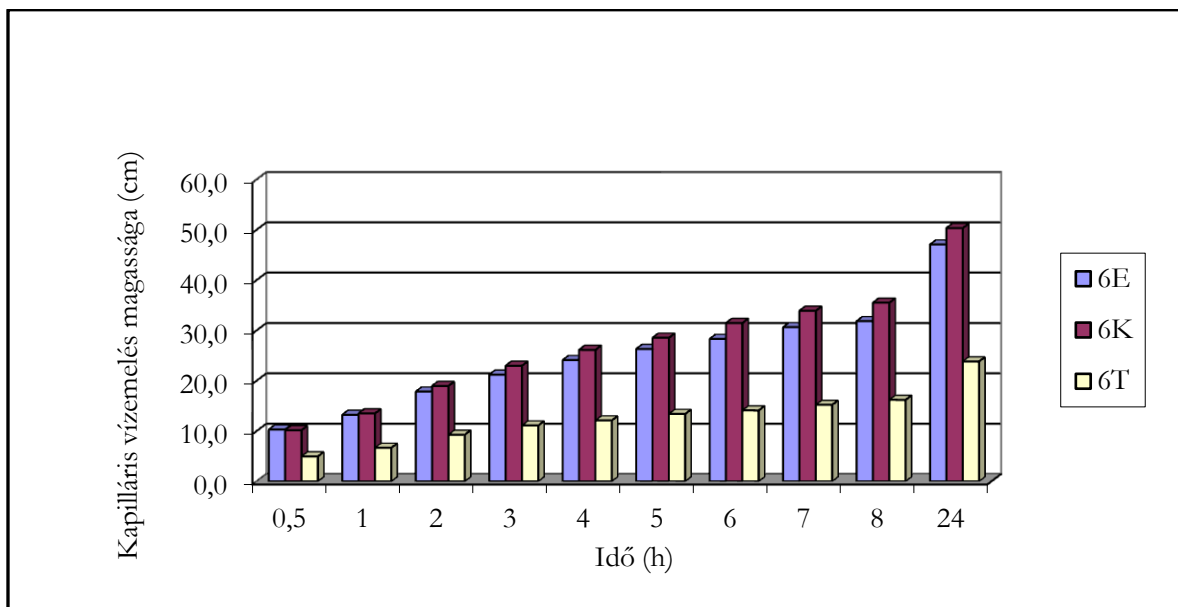
A tenzides kezelés hatására a 4T. minta kapilláris vízemelés magassága közel a felére csökkent, hasonlóképpen, mint a 3T. minta (Ramann-féle barna erdőtalaj A) esetében (12. ábra).

A 3. és 4. minta (*Ramann-féle barna erdőtalaj A és B szintje*) kapilláris vízemelés magasságában mindkét kezelési típusnál hasonló mértékű eltérést figyeltem meg az eredeti mintához képest, a *kontrollkezelt* 3K. mintánál növekedésében, míg a 4K. mintánál csökkenésben (*VII-IX. ábra*).



14. ábra

*Agyagbemosódásos barna erdőtalaj A szint (5. minta) kapilláris vízemelés magassága kezelések hatására*



15. ábra

*Agyagbemosódásos barna erdőtalaj B szint (6. minta) kapilláris vízemelés magassága kezelések hatására*

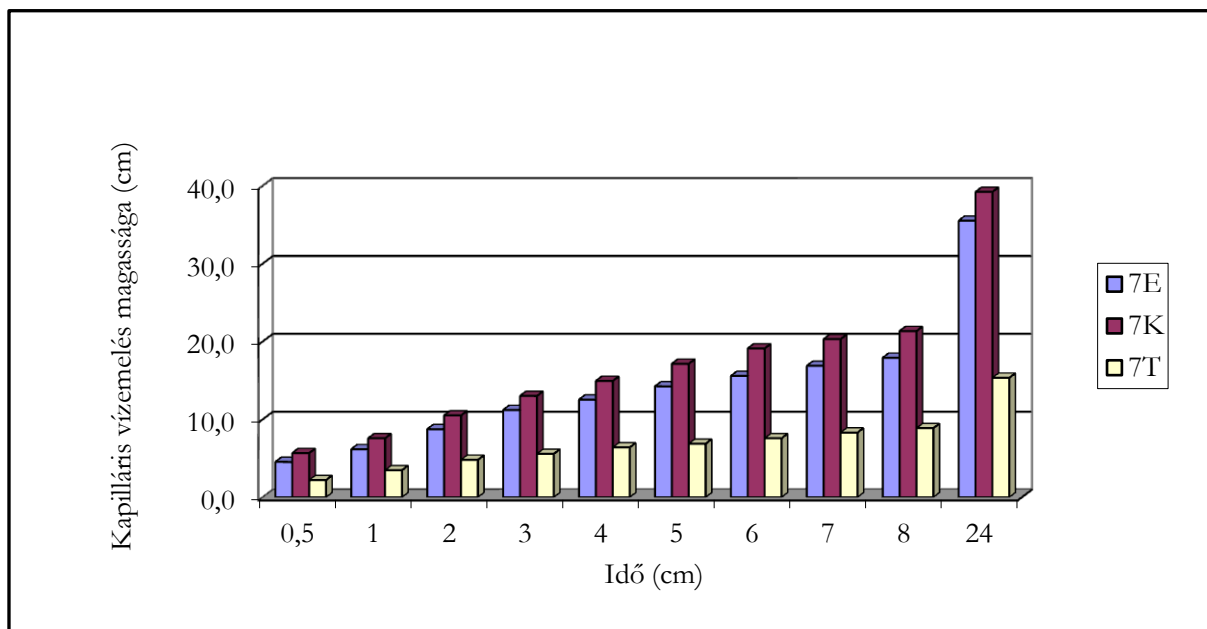
Az 5. minta (*agyagbemosódásos barna erdőtalaj A szint*) kapilláris vízemelkedése hasonló tendenciát mutat a 3. minta *kontrollkezelt* (3K. és 5K.), illetve a *tenziddel kezelt* (3T. és 5T.) mintáival. A *kontrollkezelt* 5K. minta kapilláris vízemelése (14. ábra) maximum 2 cm-rel-, míg a

tenziddel kezelt 5T. minta közel felére csökkent (VIII. és IX. ábra) az eredeti mintához viszonyítva.

A kontrollkezelés hatására a 6K. minta (agyagbemosódásos barna erdőtalaj B szint) kapilláris emelkedése hasonló irányú, mértékű különbséget mutat növekedésben 0,5 - 8 órás mérésnél, mint a 4K. minta (Ramann-féle barna erdőtalaj B szint) esetében. A 6E. és 6K. minta között a kontrollkezelés hatására kismértékű növekedés figyelhető meg (15. ábra).

A tenziddel kezelt 6T. minta kapilláris vízemelés magassága a teljes mérési időintervallumban, mint ahogyan a többi (3T; 4T; 5T; 7T. minta) barna erdőtalajoknál is, és a csernozjom talajnál (8T. minta) is megfigyelhető, közel a felére csökkent (IX. ábra).

Megfigyeltem, hogy a 4. és 6. minta B szint mintái, -ugyanúgy 7. minta is -, melyeknél az agyagfrakció aránya nagyobb, -illetve eltérő ásványi összetétellel is magyarázható - mint az A szint mintái esetében. Megfigyeltem, hogy a kontrollkezelés hatása a kapilláris vízemelés magasságának különbségében növekedést eredményezett. Az agyagtartalom és -minőség kiemelt hangsúlyt kap a 9. (közepes réti szolonyec B szint) és 10. (nem karbonátos réti talaj A szint) mintánál is, melyeknél szintén a kontrollkezelés hatására növekedés tapasztalható növekedés a kapilláris emelkedés magasságában, ahogyan a I. és II. keveréksorozat ásványi örleményt tartalmazó I/1-I/6. és a II/1-II/6. mintáinál is megfigyeltem.



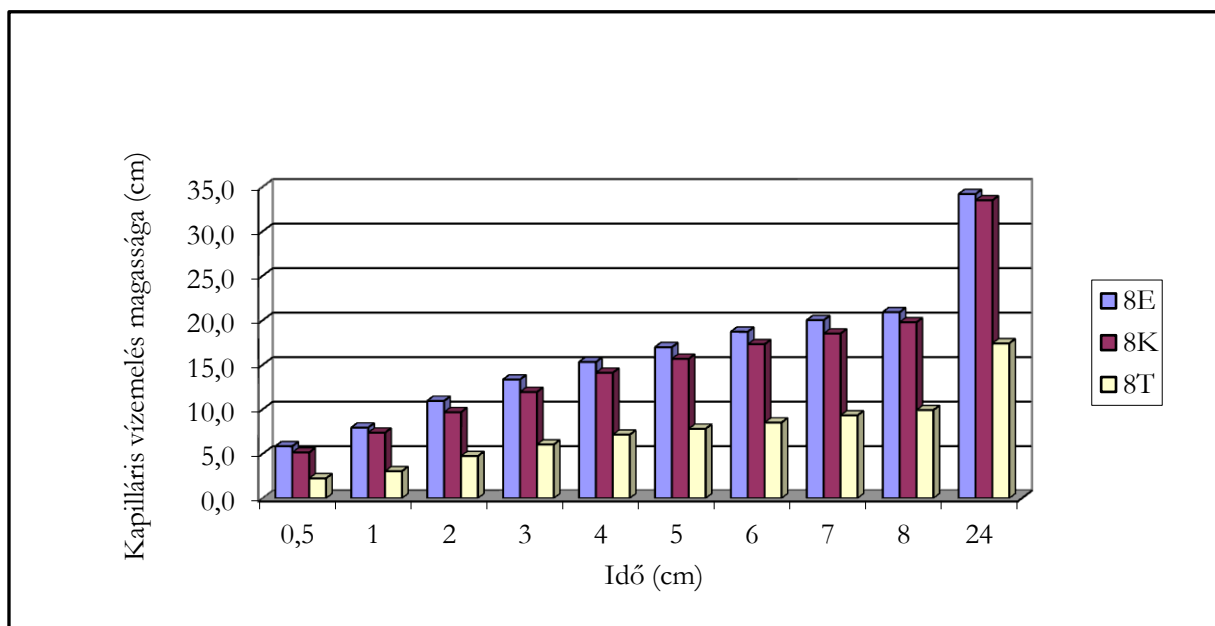
16. ábra

Pszudoglejes barna erdőtalaj B szint (7. minta) kapilláris vízemelés magassága kezelések hatására

A 7K. és 7T. minta (pszudoglejes barna erdőtalaj B szint) kapilláris vízemelés magassága a kontrollkezelés és a tenzides kezelés hatására a teljes mérési időintervallumban szoros összefüggést mutat (16. ábra) a 6K és 6T. (agyagbemosódásos barna erdőtalaj B szint) mintáival.

A tenzides kezelés hatására a 7T. minta kapilláris emelkedésének csökkenésében figyelhető meg a legnagyobb különbség a 7E. és 7K. mintáihoz képest, amely rámutat arra, hogy a kontrollkezelés kismértékű csökkenést eredményezett a kapilláris vízemelés magasságában. Elmondható, hogy a 7. mintánál is a *tenzidhatás érvényesül* elsődlegesen, nem a *kontrollkezelés hatása*, ahogyan a 4. és 6. mintánál is hasonlóképpen megfigyelhető (13. 15. 16. ábra). A tenzides kezelés hatására a 7T. minta kapilláris vízemelés magasságát, - ahogyan a többi barna erdőtalajnál (3T., 4T., 5T., 6T. minta) is-, jellemzően közel felére csökkentette (IX. ábra).

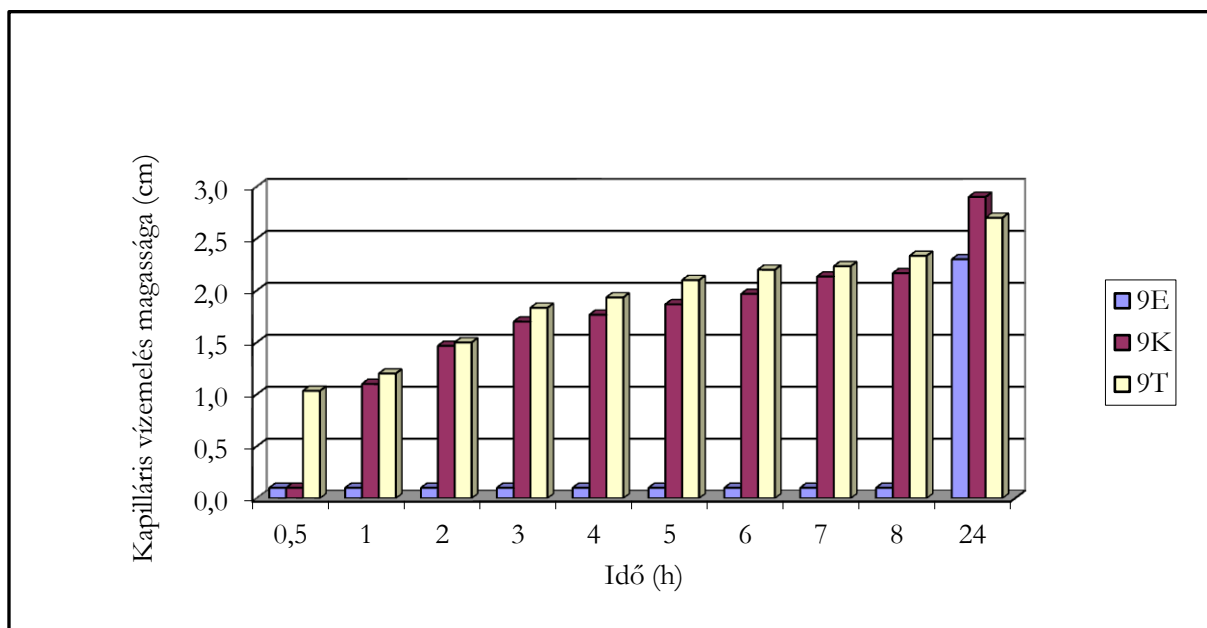
E 4. 6. 7. talajminták (*Ramann-féle, agyagbemosódásos és pszeudoglejes barna erdőtalajok B szintjei*) jellemzően különböző kristályszerkeztű kolloidális vas-oxid részecskéket is tartalmaznak (CORNELL és SCHWERTMANN, 1996, cit. MAJZIK, 2007) pl. goethit (~10-50 nm) 4. (2%), 6. (3%), 7. (10%) minta, melyet az ásványi összetétel vizsgálat igazolt (III. táblázat). Emiatt a vas-oxid vegyületek is befolyásolhatták a mechanikai összetételben is tapasztalható különbségeket a *tenzides kezelés* hatására (V. táblázat). Feltételezhető, hogy a tenzidadszorpció hatékonyságának is kiemelt szerepe lehet a kapilláris vízemelés magassága csökkenésében a teljes mérési időintervallumban (5. táblázat). A 7. minta makroaggregátum-stabilitása a *kontrollkezelés* hatására jelentős növekedést eredményezett - ahogyan a 4. és 6. mintánál is-, míg a *tenzid hatása* csökkentette a kezelés hatását az eredeti mintához képest (XXV. ábra). Megfigyeltem, hogy a tenzides kezelés hatása a 4T; 6T; 7T. talajminták térfogattömegét növelte (XXIII. ábra). E talajfizikai paraméterek (makroaggregátum-stabilitás, térfogattömeg) is befolyásolhatták a kapilláris vízemelés magasságát a kontroll- és tenzides kezelésekre (XXV. ábra).



17. ábra

Mészlepedékes csernozjom talaj A szint (8. minta) kapilláris vízemelés magassága kezelésekre hatására

A 8. minta (*mészlepedékes csernozjom talaj A szint*) kapilláris vízelelés magasságának különbségei a *kontroll- illetve a tenzides kezelések hatására (17. ábra)* a 3. (*Ramann-féle barna erdőtalaj A szint*) és az 5. (*agyagbemosódásos barna erdőtalaj A szint*) minta görbéivel mutatnak hasonlóságot. A *kontrollkezelte* 8K. minta kapilláris vízelelés magassága a kezelés hatására maximum 2 cm-rel csökkent az *eredeti* 8E. mintához képest (*VIII. ábra*). A humusztartalom befolyásolhatja a talaj szerkezetét, ezáltal a makropórusok méretét (TÓTH, 2014) is, viszont a kapilláris vízelkedés tulajdonságaiban, illetve egyéb talajfizikai tulajdonságaiban a 8. (3,70%) és 10. (2,76%) mintánál számottevő eltérést nem eredményezhetett, összehasonlítva a többi talajminta humusztartalmával és fizikai talajtulajdonságaival (*2. és 3. táblázat*). A vizsgált talajmintáim közül jellemzően a mészlepedékes csernozjom (8. minta) tartalmaz a legnagyobb %-ban humuszanyagot (*2. táblázat*). A 8. minta ásványi összetétele tekintetében döntően, - ahogyan a többi talajmintánál is- a kvarc (58%) dominál, azt követően jellemző ásványai között szerepel a plagioklász és a kalcit 10-10%-ban, melyek befolyásolhatták a kapilláris vízelelés magasságát (*III. táblázat*). E vizsgált talajparaméterek rámutatnak, hogy a talajminták humusztartalma kisebb, míg az ásványi összetétel nagyobb hangsúlyt kap a kapilláris vízelelés magasságában.



18. ábra

*Közepes réti szolonyec B szint talaj (9. minta) kapilláris vízelelés magassága kezelésekre*

A tenziddel kezelt 8T. minta kapilláris vízelkedésének magassága, hasonlóképpen, mint a barna erdőtalajoknál (3T; 4T; 5T; 6T; 7T. minta) megközelítőleg a felére csökkent a tenzides kezelés hatására. A csernozjom talaj makroaggregátum-stabilitása a *kontrollkezelés* hatására jelentős mértékben megnövekedett, -ahogyan a barna erdőtalajmintáknál is-(*XXV. ábra*), viszont ezekre a 3-8. talajmintákra a tenzides kezelés hatása mutatja a szoros összefüggést a makroaggregátum-

stabilitás és a kapilláris vízemelés magassága között, melyet erős (13. táblázat) negatív korrelációs összefüggés jellemez.

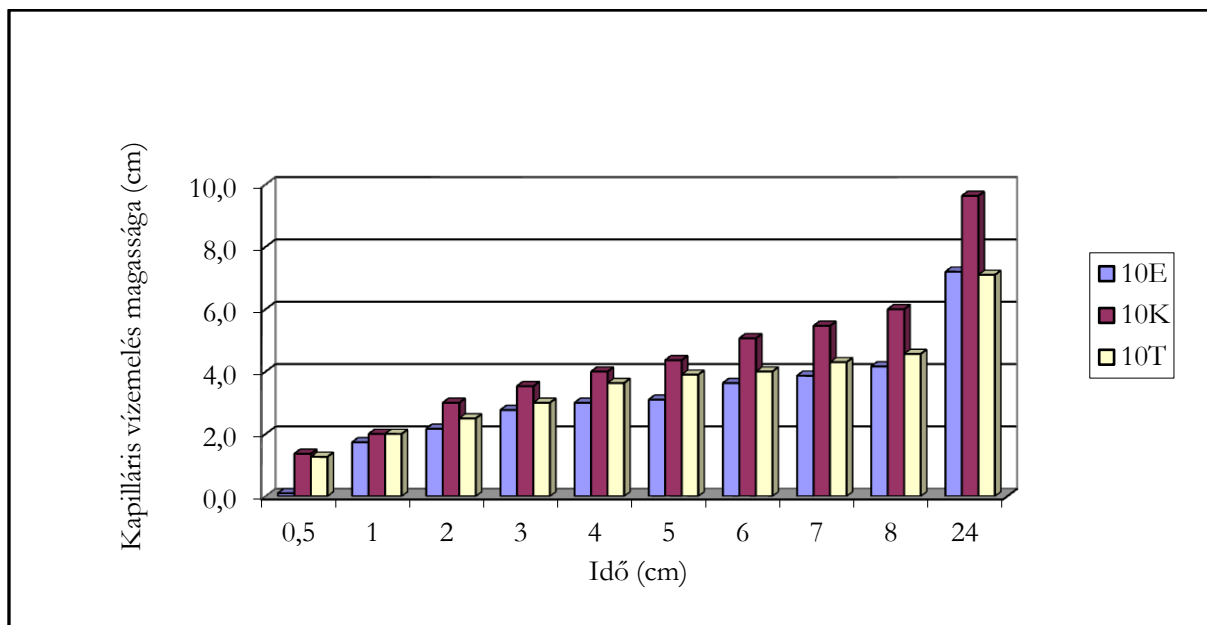
A kontrollkezelés és a tenzides kezelés hatására a 9K. és 9T. minta (középes réti szolonyec talaj B szintje) kapilláris vízemelkedés magasságának növekedése kevésbé különbözik egymástól (kontrollkezelés hatása alapvetően meghatározta a különbséget), ellenben a kontrollkezelt és a tenziddel kezelt minták az eredeti 9E. mintától jelentős az eltérést (18. ábra) mutatnak, amely a tenziddel kezelt bentonitnál is megfigyelhető (11. és I-III. ábra).

A talajok kapilláris vízemelés tulajdonságát a talajok mechanikai-összetételén kívül a szerves kolloidok és a kicserélhető  $\text{Na}^+$ -tartalom (KLIMES-SZMIK 1954, CAIRUS, 1969) is befolyásolhatják. A kontroll-, illetve a tenzideskezelés hatására is elsődlegesen a kilúgozódó sók, illetve szerkezetmódosulás miatt már a kapilláris vízemelés magasság mérése kezdeti szakaszán jelentős különbségeket tapasztaltam, mivel a kontrollkezelt mintánál az 1. órában, míg a tenziddel kezelt mintánál a 0,5. órában kaptam regisztrálható értéket. A szerkezetmódosulás áttekintését elősegíti a kutatás előzményeihez köthető tenzidadszorpciók kísérletek megállapításai, miszerint a tenzidadszorpció során kezdetben a montmorillonit duzzadó agyagásvány térfogata csökken, mert jelentős mennyiségű interlamelláris víz kiszorul és helyette kis mennyiségű alkilánc adszorbeálódik. Az adszorbeált mennyiség növekedésével az interlamelláris térben egyre több Ca-ion cserélődik ki a változó orientációval elhelyezkedő CP-ionra, viszont csak a szerves kationcsere kapacitásnak megfelelő mennyiségű CP-kation nyitja ki teljesen a bázislapokat (PATZKÓ és DÉKÁNY, 1996), bővebben lásd 2.8. fejezetben.

A 9T. mintánál megfigyeltem, hogy a tenzides kezelés (elsődlegesen a tenzid) hatása a kapilláris vízemelés magasság teljes mérési időintervallumában (0,5-24 órában) elhanyagolható mértékben, maximum 0,5 cm-rel növelte meg a 9T. minta kapilláris vízemelés magasságát a 9K. (VII-IX. ábra) a kontrollkezelt mintához képest.

Talajfizikai tulajdonságaiban hasonló 9. és 10. minta ásványi összetétele ásványi alkotónként várhatóan általánosan  $\sim 1-5\%$ -ban tér el (III. táblázat).

A 9T. minta makroaggregátum-stabilitása jelentős mértékben megnövekedett, az Aranyfélé kötöttsége, higroszkóposága, térfogattömege csökkent a tenzides kezelés hatására, mely talajfizikai tulajdonságok befolyásolhatták a kapilláris vízemelés magasságát (XVI; XXII; XXIII. ábra).



19. ábra

Nem karbonátos réti talaj A szint (10. minta) kapilláris vízelmelés magassága kezelések hatására

A 10K. mintánál (*nem karbonátos réti talaj A szint*) alapvetően a *kontrollkezelés hatására* maximum 3 cm-rel növekedett a kapilláris emelkedés magassága, viszont a tenziddel kezelt 10T. mintánál kisebb mértékű kapilláris vízelmelkedés növekedést tapasztaltam az eredeti 10E. mintához képest. Az eredeti 10E. minta kapilláris vízelmelkedése az első 0,5. órás mérésnél nem volt regisztrálható, mivel nagy duzzadó agyagtartalom jellemzi a talajmintát. A kisméretű pórusok döntő arányban jellemzik a magas tenziójú talajokat, miszerint a talajszemcsék fajlagos felülete és a talaj szívóerejének mértéke közt szoros összefüggés van (VÁRALLYAY és munkatársai, 1979). Megfigyeltem, hogy az *eredeti* 10E. minta és *kontrollkezelt* 10K. minta közti különbség a kapilláris vízelmelkedés magasságának idő függvényében fokozatosan növekszik (19. ábra).

A 10K. és 10T. minta kapilláris vízelmelkedés magassága a 0,5 és 1 órában ugyanazt a kapilláris magasságot eredményezte, mely rámutat, hogy a mérés kezdeti szakaszában még nem érvényesül a *tenzid hatása*, csak a *kezelés hatás*. A tenzides kezelés hatására a 10T. minta a 24 órában közel azonos értéket mutat az eredeti mintával (10E. minta) (VII-IX. ábra), mely azt mutatja, hogy a tenzid hatása csökkenti a kezelés hatásának különbségét a kapilláris vízelmelés magasságában az 1-24. órás mérési időintervallumban (19. ábra).

Az agyagos talajok (pl. réti és a szikes talajok) duzzadásakor a kisebb kapillárisok annyira összeszűkülnek, hogy abban a vízmozgás erősen korlátozottá vagy lehetetlenné válik. A réti szolonyec talajnál a kicserélhető  $\text{Na}^+$  só hidrátburkot képző hatása is érvényesül a duzzadó agyagtartalomon kívül. Másrészt a talajban a víz többirányú elágazásokon és keresztjáratokon halad át (többnyire megkerülve a kisebb szívóerejű pórusokat), így egyes kapillárisok alulról és felülről

egyidejűleg kerülnek érintkezésbe a vízzel, s bennük levegőzárványok alakulnak ki (STEFANOVITS, 1999).

### Kezelések hatása a talajminták kapilláris vízemelésére a vízemelés 24. órájában

*Az eredeti talajminták kapilláris vízemelkedése a 24. órában csökkenő sorrendben:*

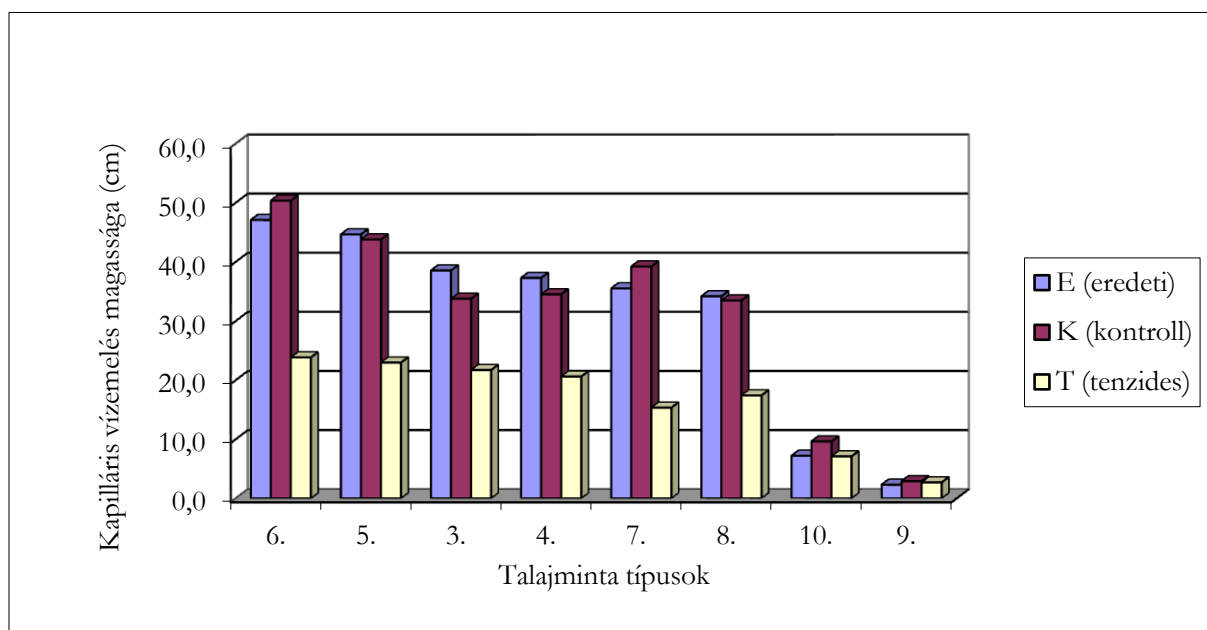
A legalacsonyabb kapilláris vízemelés magasságokat -a teljes mérési időintervallumban (0,5-24. órában)- a duzzadó-agyagásvány tartalmú mintáknál, a réti talajnál -nem karbonátos réti talaj A szint (10. minta 7,2 cm)-, illetve a szolonyec -közepes réti szolonyec B szint (9. minta 2,3 cm)- talajnál állapítottam meg (20. ábra), mely azzal magyarázható, hogy a talajok fajlagos felülete főként az agyagtartalommal és agyagásvány minőséggel áll összefüggésben (RAJKAI és munkatársai, 1981; VÁRALLYAY, 2002), hiszen a duzzadó agyagásvány-tartalom alapvetően fontos szerepet játszik a rétegrácsok között visszatartott víz mennyiségében (BRUAND, 1990). A 9. és 10. talajmintákat a *Post Hoc (Tukey) teszt* alkalmazásával I. régióba soroltam, lásd 4.10.1. fejezetben (17-19. táblázat).

A legmagasabb kapilláris vízemelkedés a barna erdőtalajoknál – agyagbemosódásos barna erdőtalaj B szint (6. minta 47,1 cm), agyagbemosódásos barna erdőtalaj A szint (5. minta 44,6 cm), Ramann-féle barna erdőtalaj A szint (3. minta 38,5 cm), Ramann-féle barna erdőtalaj B szint (4. minta 37,3 cm), pszeudoglejes barna erdőtalaj B szint (7. minta 35,5 cm)- figyelhető meg, melyet a mészlepedékes csernozjom talaj A szint (8. minta 34,2 cm)- minta szorosan követ. Ezeket a talajmintákat a *Post Hoc (Tukey) teszt* segítségével II. régióba különítettem (lásd 4.10.1. fejezetben), amelyhez a szignifikáns eltéréslépcsőket a 17. és a XI. táblázat mutatja be. A vizsgálati eredményeim is igazolják, hogy az alacsonyabb tenziótartományban a talajnedvesség potenciálját főként kapilláris és gravitációs erők befolyásolják, amelyek nem az elemi szemcsék fajlagos felületétől (elsősorban aggregált, szerkezetes talajok esetében), hanem a szilárd fázist felépítő elemi szemcsék, mikro- és makroaggregátumok, szerkezeti elemek mérete és alakja, valamint azok térbeli elrendeződésük által meghatározott pórus-geometriától függnnek (VÁRALLYAY, 2002).

*Kontrollkezelt talajminták kapilláris vízemelkedése a 24. órában:*

A 3K.; 4K.; 5K.; 8K. minták kapilláris vízemelés magassága 24. órában kismértékben csökkent (maximum 5 cm-rel) az eredeti mintáihoz képest, míg azzal ellentétes irányban növekedett (maximum 3 cm-rel) a 6K.; 9K.; 10K. minták esetében. Összességében megállapítottam, hogy a kapilláris vízemelés magasság a teljes mérési időintervallumban a kontrollkezelés hatására kismértékben tért el.

A 7K. (3,7 cm), 6K. (3,3 cm), 10K. (2,4 cm) minták kapilláris vízelmelkedésében növekedést, míg a 3K. (4,8 cm) és 4K. (2,8 cm) mintáknál csökkenést állapítottam meg (20. ábra) a kontrollkezelés hatására. Az 5K. és 8K. mintáknál csökkenő, valamint 9K. mintánál növekvő irányú, elhanyagolható (1 cm alatti) az eltérést tapasztaltam a kontrollkezelés hatására. A kontrollkezelés hatására, -hasonlóképpen, mint az eredeti mintáknál- I. és II. régiót különítettem el a szignifikáns eltéréslépcsők segítségével, lásd 4.10.2. fejezetben (18. és XII. táblázat).



20. ábra

Kezelt talajtípusok értékelése kapilláris vízelmelés magasság 24. órájában

*Tenziddel kezelt talajminták kapilláris vízelmelkedése a 24. órában:*

A tenzides kezelés hatása megközelítőleg felére csökkentette a barna erdőtalajok 3T-7T. és a csernozjom 8. minta talaj kapilláris vízelmelés magasságát a kapilláris vízelmelés 24. órájában (IX. ábra), míg a nagy agyagtartalmú 9T. és 10T. minta elhanyagolható különbséget (0,5 cm alatti) mutat a kapilláris vízelmelkedés magassága növekedésében (20. ábra) az eredeti mintákhoz képest. A tenziddel kezelt talajminták kapilláris vízelmelés magasságát a Post Hoc teszt alkalmazásával I. és II. átmeneti régióra állapítottam meg, mivel a kezelés hatására az eredeti mintához képest jelentősebb magasságkülönbségeket tapasztaltam – elsősorban a barna erdőtalajok és csernozjom talajok kapilláris vízelmelésének csökkenésében -, lásd 4.10.3. fejezetben (19. és XIII. táblázat).

A tenzides kezelés hatására a legnagyobb arányú csökkenést a kapilláris vízelmelkedés magasságában a 6T. (23,2 cm-rel), 5T. (21,7 cm-rel), 7T. (20,2 cm-rel) (agyagbemosódásos barna erdőtalaj B és A szintje, pszeudoglejes barna erdőtalaj B szintje) mintáknál figyeltem meg.

A *kontrollkezelés* illetve a *tenzides kezelés* hatása a 3K; 3T; 4K; 4T. (*Ramann-féle barna erdőtalaj A és B szint*), valamint 8K, 8T. (*mészlepedékes csernozjom talaj A szint*) minták kapilláris vízemelés magasságában hasonló különbségeket eredményezett.

A *tenzides kezelés* hatására a 10T. minta (*nem karbonátos réti talaj A szint*) kapilláris emelkedése 0,1 cm-rel csökkent, míg a 9T. minta ugyancsak (*közepes réti szolonyec B szint*) elhanyagolható mértékben 0,4 cm-rel növekedett (20. ábra), a megközelítőleg azonos mechanikai összetételű talajminták kapilláris vízemelkedésében bekövetkező különbségek irányát egyéb szerves kolloidok, sótartalom (9. minta) befolyásolhatta – *régi szolonyec és a régi talajminta összehasonlításában*-. Megállapítottam, hogy a réti talajminta kapilláris vízemelés magasságát a kontrollkezelés (előduzzasztás, folyadékeltávolítás) hatása nagyobb mértékben megnövelte, míg a réti szolonyec talajmintánál a tenzides kezelés hatása eredményezett nagyobb mértékű növekedést. Megfigyeltem, hogy a kontroll-, illetve a tenzides kezelés hatására a réti talaj- és a réti szolonyec talajminta kapilláris vízemelkedés magassága és a makroaggregátum-stabilitása (13. táblázat) közt összefüggés van. E kezelések hatására bekövetkező különbségek iránya és mértéke különösen rámutat a réti szolonyec talajmintánál a talajfizikai féleségben bekövetkező változásokra.

#### 4.10. Ásványi keveréksorozat- és talajminták kapilláris vízemelkedésének vizsgálata kezelésekre hatására

E fejezet célja az, hogy az *ANOVA Post Hoc (Tukey) teszt* statisztikai módszer segítségével is igazoljam -95%-os szignifikanciaszinten- a kontroll- és tenzides kezelést követően bekövetkezett változásokat az ásványi keveréksorozat-, illetve talajminták *kapilláris vízemelés magasságában*.. *A mellékletben a kapilláris vízemelés magasságának a 24 órás mérés eredményeit tüntettem fel az eredeti, a kontrollkezelt és a tenziddel kezelt mintákra (XI-XIII. táblázat), szemléltetve a vizsgált minták eltéréseit- mivel a teljes mérési időintervallumra a talajminták és az ásványi talajalkotók kapilláris vízemelés magassága közötti különbségek már jól kirajzolódnak. A színekulcsos táblázatokkal összesítve szemléltetem a kontroll- és a tenzides kezelés hatására bekövetkező változásokat rendszerezve a kapilláris vízemelés magasságában (17-19. táblázat), melyeket a szignifikancia lépcsők alapján készítettem el.*

*A Post Hoc teszt rendszerezi a vizsgált talaj-és az ásványi keveréksorozat mintákat a 24 órás kapilláris vízemelés magassága alapján, a szignifikancia lépcsők részletes statisztikai eredményei kezelési típusonként a XI-XIII. táblázatokban tekinthetők meg. A vizsgált talaj- és keveréksorozat-minták száma 23, melyből 8 talajminta, 2 ásványi alkotó, 2 ásványi őrlemény, és 11 keverékminta (lásd*

3.1.2. fejezetben). A *Post Hoc (Tukey) teszt* segítségével megállapított összefüggéseket a kapilláris vízemelés magasság értékeléséhez (lásd 4.8; 4.9. fejezet) használtam fel.

#### 4.10.1. Az *eredeti* ásványi keveréksorozat- és talajminták kapilláris vízemelésének vizsgálata

Az *eredeti – kontroll és tenziddel kezelt* mintákét is- bentonit és kaolin keveréksorozat-, illetve talajminták kapilláris vízemelés magasságát a *Post Hoc féle rendszerezés (szignifikancia lépcsők)* alapján (XI. táblázat) két régióra különítettem el.

Az **I. régióba** (1-14. mintaszorszámgig) a 9E. *közepes réti szolonyec és a nem karbonátos réti talaj* 10E. talajminta, illetve a bentonit és a kaolin keveréksorozat I/1/E.-I/6/E. és II/1/E.-II/6/E. mintákat csoportosítottam, melyek kapilláris vízemelés magassága hasonló értékhatárok között mozog (17. táblázat). Az I. régióba sorolható 9E. és a 10E. talajminta kapilláris vízemelés magassága szignifikánsan kevésbé térnek el egymástól.

Az I. régióba azokat a mintákat soroltam, melyeket lassú kezdeti, viszont magas kapilláris vízemelkedés jellemez az idő függvényében – a magas tenzió (szívóerő) hatása miatt (Di GLÉRIA és munkatársai, 1957)-, így a 0,5-8 órás mérési időintervallumhoz kapcsolódó kapilláris vízemelés magasságokat vettem figyelembe -I. régióba sorolt minták- maximum 15 cm-ig emelkednek. E régióba sorolt mintákra jellemző, hogy eltérő arányban, viszont meghatározó mennyiségben tartalmaznak duzzadó agyagásványokat. *Magas tenziótartományban* a talajok mikrostruktúrája (ásványi összetétel, agyagásványok típusa, állapota, kristályformája, a szerves és szervetlen amorf kolloidok típusa, minősége és mennyisége), az elemi szemcsék tulajdonságai és az ebből adódó fajlagos felület határozza meg a nedvességállapotot, a talaj nedvességpotenciálját (VÁRALLYAY, 2002).

A **II. régióba** (15-23. mintaszorszámgig)-sorrend alapján- a 3E., 4E., 5E., 6E., 7E., 8E. (*Ramann-féle-, agyagbemosódásos-, pszeudoglejes barna erdőtalajok, mészlepedékes csernozjom talajok*) talaj-, illetve az I/7-I/9E. keveréksorozat mintákat soroltam a kapilláris vízemelkedésük, illetve a *Post Hoc féle rendszerezés* szerint (17. táblázat, VIII-XVII. táblázat). A II. régióba tartozó 7E., 8E., 4E., 3E. minták szignifikánsan kevésbé térnek el egymástól, e mintákat szorosan követi a kapilláris vízemelés magassága sorrendjében az I/7/E., 5E., 6E., végül az I/8/E. és I/9/E. minta.

A II. régióba azokat a talajmintákat, illetve ásványi örlemény keveréksorozat alkotókat soroltam, melyek kapilláris vízemelkedés magassága *15 cm feletti* a teljes mérési időintervallumban. A *pannon kvarchomok, paksi lösz, a Ramann-féle-, -agyagbemosódásos-, pszeudoglejes barna erdőtalajok, illetve a*

*csernozjom talajoknál* gyorsabban következik be a gravitációs-kapilláris egyensúly elérése az idő függvényében, mint a nagy duzzadóanyag- tartalmú mintáknál. Emiatt e talajmintáknál, talajalkotóknál magasabb kapilláris vízemelkedés jellemző a mérés 0,5-8 órás időintervallumban. A homoktalajokra hirtelen magasra emelkedő, majd belaposodó időgörbe jellemző, amely elsődlegesen a gravitációs pórusok számottevő arányának köszönhető (MAKÓ, 1995). *Alacsony tenziótartományban* az aggregáció mértékének, illetve a talaj szerkezeti állapotának van kifejezett hatása, a telített-közeli állapotban pedig a térfogattömeg által jellemezhető összporozitás hatása érvényesül (VÁRALYAY, 2002).

17. táblázat

Eredeti ásványi keveréksorozat- és talajminták sorrendje *Post Hoc* teszt alapján

Sorszám	0,5. óra	1. óra	2. óra	3. óra	4. óra	5. óra	6. óra	7. óra	8. óra	24. óra
1.	9.	9.	9.	9.	9.	9.	9.	9.	9.	I/1.
2.	10.	I/1.	I/1.	I/1.	I/1.	I/1.	I/1.	I/1.	I/1.	9.
3.	I/1.	I/2.	I/2.	I/2.	I/2.	I/2.	I/3.	I/4.	I/2.	II/1.
4.	I/2.	I/3.	I/3.	I/3.	10.	I/3.	I/2.	I/2.	10.	10.
5.	I/3.	10.	10.	I/4.	I/3.	I/4.	10.	10.	I/4.	I/4.
6.	I/4.	I/4.	I/4.	10.	I/4.	10.	I/4.	I/3.	I/3.	I/2.
7.	I/5.	I/5	I/5.	I/5.	II/1.	II/1.	II/1.	II/1.	II/1.	II/2.
8.	II/1.	II/1.	II/1.	II/1.	I/5.	I/5.	I/5.	I/5.	II/2.	I/3.
9.	II/2.	II/3.	II/2.	II/2.	II/2.	II/2.	II/2.	II/2.	I/5.	II/3.
10.	II/3.	II/2.	II/3.	II/4.	II/3.	II/3.	II/3.	II/3.	II/4.	I/5.
11.	II/4.	II/4.	II/4.	II/3.	II/4.	II/4.	II/4.	II/4.	II/3.	II/4.
12.	II/5.	II/5.	I/6.	I/6.	I/6.	I/6.	I/6.	I/6.	I/6.	II/5.
13.	I/6.	I/6.	II/5.	II/5.	II/5.	II/5.	II/5.	II/5.	II/5.	I/6.
14.	II/6.	II/6.	II/6.	II/6.	II/6.	II/6.	II/6.	II/6.	II/6.	II/6.
15.	7.	7.	7.	7.	7.	7.	7.	7.	7.	8.
16.	8.	8.	8.	8.	8.	8.	8.	8.	8.	7.
17.	4.	4.	4.	3.	4.	4.	4.	4.	4.	4.
18.	3.	3.	3.	4.	3.	3.	3.	3.	3.	3.
19.	I/7.	I/7.	I/7.	I/7.	I/7.	I/7.	I/7.	I/7.	I/7.	I/9.
20.	I/8.	I/8.	5.	6.	5.	6.	5.	5.	5.	5.
21.	5.	6.	6.	5.	6.	5.	6.	6.	6.	I/7.
22.	6.	5.	I/8.	I/8.	I/8.	I/8.	I/8.	I/8.	I/8.	6.
23.	I/9.	I/9.	I/9.	I/9.	I/9.	I/9.	I/9.	I/9.	I/9.	I/8.

Színkulcs a 17-19. táblázathoz

I/1-I/9.
II/1-II/6.
3. Ramann BET A
4. Ramann BET B
5. ABET A
6. ABET B
7. Pseudo- glejes BET B
8. Csernozjom A
9. Szolonyec B
10. Réti A

#### 4.10.2. A kontrollkezelt ásványi keveréksorozat- és talajminták kapilláris vízemelésének vizsgálata

A *kontrollkezelt bentonit és kaolin keveréksorozat-*, illetve *talajminták* az *eredeti* minták kapilláris vízemelés magasságával összevetve alapvetően kisebb mértékű eltérést eredményeztek.

A *kontrollkezelt* mintákat is **I.** (1-14. *mintasorszámmig*) és **II.** (15-23. *mintasorszámmig*) **régióra** különítettem el, mint az *eredeti mintákat*. Az **I. régióba** a 9K. és 10K. talajmintákat, valamint a bentonit és a kaolin keveréksorozat I/1/K.-I/6/K. és II/1/K.-II/6/K. mintákat csoportosítottam a **Post Hoc teszt rendszerezés** segítségével (XII. táblázat), melyeknek kapilláris vízemelés magasságának sorrendje elsősorban az agyagásvány mennyiségével, illetve minőségével is magyarázható (18. táblázat).

18. táblázat

*Kontrollkezelt* ásványi keveréksorozat- és talajminták sorrendje *Post Hoc teszt* alapján

Sorszám	0,5. óra	1. óra	2. óra	3. óra	4. óra	5. óra	6. óra	7. óra	8. óra	24. óra
1.	9.	I/1.	I/1.	I/1.	I/1.	I/1.	I/1.	I/1.	I/1.	9.
2.	I/1.	9.	9.	9.	9.	9.	9.	9.	9.	I/1.
3.	I/2.	I/2.	I/2.	I/2.	I/2.	I/2.	I/2.	I/2.	I/2.	II/1.
4.	10.	10.	10.	10.	10.	10.	II/1.	II/1.	II/1.	II/2.
5.	II/2.	II/3.	II/1.	II/1.	II/1.	II/1.	10.	10.	10.	I/2.
6.	II/1.	II/1.	II/2.	II/2.	II/2.	II/2.	II/2.	II/2.	II/2.	II/3.
7.	II/3.	II/2.	I/3.	II/4.	I/3.	II/3.	II/4.	II/4.	II/4.	10.
8.	II/4.	I/3.	II/4.	II/3.	II/4.	I/3.	II/3.	II/3.	II/3.	I/3.
9.	I/3.	II/4.	II/3.	I/3.	II/3.	II/4.	I/3.	I/3.	I/3.	II/4.
10.	II/5.	I/5.	I/4.	I/4.	I/4.	I/4.	I/4.	I/4.	II/5.	II/5.
11.	I/4.	I/4.	II/5.	II/5.	II/5.	II/5.	II/5.	II/5.	I/4.	I/5.
12.	II/6.	II/6.	I/5.	I/5.	I/5.	I/5.	I/5.	I/5.	I/5.	I/4.
13.	I/5.	I/5.	II/6.	II/6.	II/6.	II/6.	II/6.	II/6.	I/6.	II/6.
14.	8.	I/6.	I/6.	I/6.	I/6.	I/6.	I/6.	I/6.	II/6.	I/6.
15.	7.	8.	8.	8.	8.	8.	8.	8.	8.	8.
16.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.
17.	I/6.	7.	7.	7.	7.	7.	7.	7.	7.	4.
18.	I/7.	I/7.	I/7.	I/7.	I/7.	4.	I/7.	I/7.	I/7.	7.
19.	4.	4.	4.	4.	4.	I/7.	4.	4.	4.	I/9.
20.	I/8.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	I/7.
21.	5.	I/8.	I/8.	I/8.	I/8.	I/8.	I/8.	I/8.	I/8.	5.
22.	6.	6.	6.	6.	6.	6.	6.	6.	6.	6.
23.	I/9.	I/9.	I/9.	I/9.	I/9.	I/9.	I/9.	I/9.	I/9.	I/8.

Alapvető különbség az **I. régióba** tartozó *eredeti és kontrollkezelt* I/1/K.-I/6/K. és II/1/K.-II/6/K. minták között, hogy a *kontrollkezelt* minták kevésbé térnek el *kapilláris vízemelés magasságában*.

A *kontrollkezelt minták* kapilláris emelkedés magasságának sorrendjét –a vizsgált talajminták közül- a 9K. *közepes réti szolonyec* talajminta kezdi meg, melynek mechanikai összetétele a 10K. *nem karbonátos réti talajmintáétól* csak 1-2%-ban tér el. A 9K. *minta kapilláris vízemelkedésének jellemző tulajdonságát* elsősorban a *kicserélhető Na<sup>+</sup> só tartalom határozza meg, mivel az hidrátburkot képez a szemcsék körül, amely gátolja a nagy szívóerővel rendelkező talajminta kapilláris vízemelő képességét.* A rendszerezhetőségben az *eredeti és a kontrollkezelt* 9. és 10. minta kapilláris vízemelés magassága kevésbé tér el.

A 9K. és 12K. *minta sorrendje megcserélődik az eredeti mintákhoz képest, amely a kezelési módszer során fellépő kilúgozódó sók hatásával, a szemcseméretek átrendeződésével, szerkezetátalakulásával magyarázható.* A *nem karbonátos réti talaj* 10K. mintánál a *kontrollkezelés* hatása nagyobb szerepet képvisel, mivel egyes talajfizikai paramétereiben, mint pl. a *kapilláris vízemelés magasság, mechanikai összetétel, makroaggregátum-stabilitás, illetve Arany-féle kötöttség tulajdonságában bekövetkező változások iránya és mértéke erősíti a kontrollkezelés hatását* (I-IX; XXV; XXII. ábra, IV-V. táblázat).

A **II. régióba** azokat a mintákat soroltam be, mint az eredeti mintáknál, viszont attól eltérő sorrendben rendszereződnek a Post Hoc teszt révén (XII. táblázat). Alapvetően a *kontrollkezelés* irányt mutat abban – a *barna erdőtalajok B szint* mintái kivételével-, hogy kezelési módszer milyen irányban változtatja meg a kapilláris vízemelés magasságát, melyet a mérési eredményeim igazolnak (8; 9; 12-17. ábra, I-IX. ábra).

#### 4.10.3. A *tenziddel kezelt* ásványi keveréksorozat- és talajminták kapilláris vízemelésének vizsgálata

A *tenziddel kezelt* talajmintákat a *kapilláris vízemelkedés magasságuk alapján I és II. átmeneti régióba* soroltam, mivel a két régióba sorolható minták közti magasságkülönbség csökkent a tenzides kezelés hatására. Az **I. átmeneti régióba** (1-14. minta sorszámig) a 9T., 10T., 7T. és 8T. talajmintákat, valamint az I/1/T.-I/6/T. és II/1/T.-II/6/T. keverékmintákat soroltam be e leírás sorrendjében (19. táblázat).

Megállapításaim és a *Post Hoc féle rendszerezés* alapján is (XIII. táblázat), alapvetően a *tenziddel kezelt* mintáknál szintén az agyagásvány mennyisége, majd a minősége határozta meg a sorrendet, ahogyan az eredeti és a *kontrollkezelt* minták esetében is.

Az **I. átmeneti régió** bemutatja, hogy a duzzadó agyagásványt (bentonit, kaolint) tartalmazó *tenziddel kezelt bentonit- és kaolin keveréksorozatminták* (I/1/T.-I/6/T., II/1/T.-II/6/T. minták), illetve a 9T. és 10T. talajminták kapilláris vízemelés magassága az idő függvényében növekedést eredményezett, az *eredeti és a kontrollkezelt* mintákhoz képest (I-VI.

ábra). A *pszudoglejes barna erdőtalaj B szintje* 7T. (11-12. sorszám) és a *mészlepedékes csernozjom talaj A szintje* 8T. talajminták (10-14. sorszám) kapilláris vízemelés magasságának csökkenése az I. átmeneti régióba rendezte át e mintákat, mely a vizsgált minták sorszáma felénél húzódik, az I-II. régió határán. Ennek megfontolásából állapítottam meg az I. és II. átmeneti régiót.

19. táblázat

Tenziddel kezelt ásványi keveréksorozat- és talajminták sorrendje *Post Hoc* teszt alapján

Sorszám	0,5. óra	1. óra	2. óra	3. óra	4. óra	5. óra	6. óra	7. óra	8. óra	24. óra
1.	9.	I/1.	I/1.	I/1.	I/1.	I/1.	I/1.	I/1.	I/1.	9.
2.	I/1.	9.	9.	9.	9.	9.	9.	9.	9.	I/1.
3.	I/2.	I/2.	I/2.	I/2.	I/2.	I/2.	I/2.	I/2.	I/2.	II/1.
4.	10.	10.	10.	10.	10.	10.	II/1.	II/1.	II/1.	II/2.
5.	II/2.	II/3.	II/1.	II/1.	II/1.	II/1.	10.	10.	10.	I/2.
6.	II/1.	II/1.	II/2.	II/2.	II/2.	II/2.	II/2.	II/2.	II/2.	II/3.
7.	II/3.	II/2.	I/3.	II/4.	I/3.	II/3.	II/4.	II/4.	II/4.	10.
8.	II/4.	I/3.	II/4.	II/3.	II/4.	I/3.	II/3.	II/3.	II/3.	I/3.
9.	I/3.	II/4.	II/3.	I/3.	II/3.	II/4.	I/3.	I/3.	I/3.	II/4.
10.	II/5.	I/5.	I/4.	I/4.	I/4.	I/4.	I/4.	I/4.	II/5.	II/5.
11.	I/4.	I/4.	II/5.	II/5.	II/5.	II/5.	II/5.	II/5.	I/4.	I/5.
12.	II/6.	II/6.	I/5.	I/5.	I/5.	I/5.	I/5.	I/5.	I/5.	I/4.
13.	I/5.	I/5.	II/6.	II/6.	II/6.	II/6.	II/6.	II/6.	I/6.	II/6.
14.	8.	I/6.	I/6.	I/6.	I/6.	I/6.	I/6.	I/6.	II/6.	I/6.
15.	7.	8.	8.	8.	8.	8.	8.	8.	8.	8.
16.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.
17.	I/6.	7.	7.	7.	7.	7.	7.	7.	7.	4.
18.	I/7.	I/7.	I/7.	I/7.	I/7.	4.	I/7.	I/7.	I/7.	7.
19.	4.	4.	4.	4.	4.	I/7.	4.	4.	4.	I/9.
20.	I/8.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	I/7.
21.	5.	I/8.	I/8.	I/8.	I/8.	I/8.	I/8.	I/8.	I/8.	5.
22.	6.	6.	6.	6.	6.	6.	6.	6.	6.	6.
23.	I/9.	I/9.	I/9.	I/9.	I/9.	I/9.	I/9.	I/9.	I/9.	I/8.

A **II. átmeneti régió**ba különített (15-23. minta sorszámig) I/7/T-I/9/T. ásványi őrlemény keverékminták, illetve a 3T; 4T; 5T; 6T. talajminták kapilláris vízemelés magasságában jelentős mértékű csökkenés következett be, viszont e régióba sorolható minták kapilláris vízemelés magassága kisebb mértékben tér el (XIII. táblázat).

A tenziddel kezelt I/4/T.-I/6/T. és a II/1/T.-II/6/T. ásványi őrlemény keveréksorozatok mintái egymástól *szignifikánsan különböznek*. Az I/5/T. I/6/T. 3T.,4T.,5T.,6T. minták kevésbé különböznek egymástól a kapilláris vízemelkedés magasságában. A 4T; 5T.; I/9/T; I/8/T. talajminták *szignifikánsan elkülönülnek a többi mintától* (XIII. táblázat).

## 5. Összefoglalás

A kutatási eredményeimet összegezve megállapítottam, hogy a kutatás célkitűzéseiben megfogalmazott tenzidadszorpciós-, valamint talajfizikai vizsgálatokra vonatkozó hipotéziseimre alapvetően választ kaptam.

A tenzidadszorpciós eredményeim azt igazolják, amikor a nagy tömegű (1500-4000 g) adszorbensek kezelésénél a felület teljes borítottságához ( $q_{(max)}$ ) szükséges CPC mennyiségének 1/100-ad részét használtam fel, akkor a fajlagos adszorbeált mennyiség ( $q$ ) minden esetben közelítőleg két nagyságrenddel csökkent a korábbi vizsgálatoknál meghatározott  $q_{(max)}$  értékekhez képest (5,000 g adszorbens alkalmazása).

A vizsgált talajminták közül a nagy duzzadóagyag- és sótartalmú *közepes réti szolonyec* talajmintánál *kevésbé hatékonyan* ment végbe a tenzidadszorpció, melynek egyik lehetséges tényezője a kicserélhető  $Na^+$  só tartalom, viszont szerves kolloidok is befolyásolhatták a tenzid adszorpcióját. A nagy duzzadóagyag-tartalmú talajminta, *nem karbonátos réti talaj*-, valamint a *bentonit és a kaolin* ásványi őrléményminta *hatékonyabban* adszorbeálta a tenzidet, mint a *régi szolonyec talaj*. A Ramann-féle-, az agyagbemosódásos-, valamint a pszeudoglejes barna erdőtalajok, valamint a mészlepedékes csernozjom talaj, valamint a paksi lösz és a pannon kvarchomok, viszont *jelentős hatékonysággal* adszorbeálta a tenzidet, amely feltehetően az egyenes arányosságban megnövelt tenzidoldat és adszorbens mennyiségével is magyarázható.

A kezelési tényezők hatását értékelve a *pannon kvarchomok* agyag és homokfrakciója a pirofoszfát és a tenzid hatására szignifikáns eltérést mutat, míg a porfrakciónál e kezelési tényezők nem eredményeztek szignifikáns összefüggést. A *paksi lösz* agyag- és homokfrakciója a pirofoszfát és a tenzid hatására szignifikáns kapcsolatot ír le, míg a porfrakciónál a tenzid hatása eredményezett szignifikáns különbséget. A *kaolin* agyag- és porfrakciója a pirofoszfát és a tenzid hatására szignifikánsan eltér. A kaolin homokfrakciójában a kezelési tényezők hatása nem idézett elő szignifikáns különbséget. A *bentonit* agyag-, por-, és homokfrakciójában a pirofoszfát és a tenzid hatása szignifikáns eltérést eredményezett.

*Ramann-féle barna erdőtalaj A szint* mintája mechanikai összetételében a kezelési tényezők szignifikáns különbséget eredményeztek: agyagfrakcióban pirofoszfát, míg a por- és homokfrakcióban tenzid és pirofoszfát hatása.

*Ramann-féle barna erdőtalaj B szint* mintája mechanikai összetételében a kezelési tényezők szignifikáns különbséget eredményeztek: agyag- és homokfrakcióban a pirofoszfát és a tenzid hatása, míg porfrakcióban a tenzid és pirofoszfát kölcsönhatása.

*Agyagbemosódásos barna erdőtalaj A szint* mintája mechanikai összetételében a kezelési tényezők szignifikáns különbségeket eredményeztek: agyagfrakcióban a pirofoszfát, tenzid, pirofoszfát és tenzid kölcsönhatára, a porfrakcióban a pirofoszfát, míg a homokfrakcióban a pirofoszfát, pirofoszfát és tenzid együttes hatása.

*Agyagbemosódásos barna erdőtalaj B szint* mintája mechanikai összetételében a kezelési tényezők szignifikáns különbséget eredményeztek: agyagfrakcióban a tenzid hatása, a porfrakcióban pirofoszfát és tenzid kölcsönhatása, homokfrakcióban a pirofoszfát hatása.

*Pszudoglejes barna erdőtalaj B szint* mintája mechanikai összetételében a kezelési tényezők szignifikáns különbséget eredményeztek: agyag- és homokfrakcióban a pirofoszfát, pirofoszfát és tenzid kölcsönhatása, míg a porfrakcióban a pirofoszfát, tenzid, pirofoszfát és tenzid kölcsönhatása.

*Mészlepedékes csernozjom talaj A szint* mintája mechanikai összetételében a kezelési tényezők szignifikáns különbséget eredményeztek: agyag-, por és homokfrakciójában a pirofoszfát, tenzid hatása, pirofoszfát és tenzid kölcsönhatása.

*Közepes réti szolonyec talaj B szint* mintája mechanikai összetételében a kezelési tényezők szignifikáns különbséget eredményeztek: agyagfrakcióban a pirofoszfát, a tenzid, tenzid és pirofoszfát kölcsönhatása, por- és homokfrakcióban a tenzid hatása.

*Nem karbonátos réti talaj A szint* mintája mechanikai összetételében a kezelési tényezők szignifikáns különbséget eredményeztek: agyagfrakcióban pirofoszfát hatása, míg a por- és homokfrakciójában s pirofoszfát, tenzid hatása, pirofoszfát és tenzid kölcsönhatása.

*A tenzides kezelés hatására az eredeti és tenziddel kezelt minták térfogattömege közt* szignifikáns eltérést tapasztaltam.

*A kontrollkezelt és a tenziddel kezelt pannon kvarchomok és a közepes réti szolonyec talaj B szintjének térfogattömege közt* szignifikáns összefüggést nem kaptam. Az *eredeti és a kontrollkezelt agyagbemosódásos barna erdőtalaj B szintje*, a *mészlepedékes csernozjom A szintje*, továbbá a *bentonit* minták *térfogattömege* közt ugyancsak nincs szignifikáns összefüggés.

*Szignifikáns összefüggést állapítottam meg az alábbi talajmintáknál, illetve ásványi őrlemény keveréksorozat alkotóknál a vizsgált talajfizikai paraméterekben, a kontroll-, illetve a tenzides kezelés hatására:*

- A sűrűségben a *pannon kvarchomok, lösz, Ramann-féle barna erdőtalaj A és B szintje, agyagbemosódásos barna erdőtalaj A és B szintje, kaolin és bentonit* mintáknál,
- A térfogattömegben a *paksi lösz, Ramann-féle barna erdőtalaj A és B szint, agyagbemosódásos barna erdőtalaj A szintje, pszeudoglejes barna erdőtalaj B szintje, nem karbonátos réti talaj A szintje, kaolin* mintáknál,
- Az aggregátum-stabilitásban a *paksi lösz, Ramann-féle barna erdőtalaj A és B szintje, agyagbemosódásos barna erdőtalaj A szintje, pszeudoglejes barna erdőtalaj B szintje* mintáknál,
- Az *Arany-féle kötöttségben az agyagbemosódásos barna erdőtalaj és a nem karbonátos réti talaj A szintje, pszeudoglejes barna erdőtalaj és közepes réti szolonyec B szintje, a bentonint* mintáknál,
- A *higroszkóposágban a paksi lösz, közepes réti szolonyec B szint, nem karbonátos réti A szint* mintáknál,
- A *légszáraz-nedvességtartalomban a pszeudoglejes barna erdőtalaj B szint* mintánál teljes szignifikáns összefüggés figyelhető meg a kezelési tényezők (*kontrollkezelés (folyadékeltávolítás), tenzides kezelés*) hatása közt.

*Nem figyeltem meg szignifikáns összefüggést az alábbi talajmintáknál, illetve ásványi őrlemény keveréksorozat alkotóknál a vizsgált talajfizikai paraméterekben, a kontroll-, illetve a tenzides kezelés hatására:*

- A *légszáraz-nedvességtartalomban a paksi lösz, az agyagbemosódásos barna erdőtalaj A szint, az agyagbemosódásos barna erdőtalaj B szint, a bentonit* mintával,
- A *higroszkóposágban a pannon kvarchomok és a Ramann-féle barna erdőtalaj A szint* mintával,
- Az *Arany-féle kötöttségben az agyagbemosódásos barna erdőtalaj B szint és a kaolin* mintával,
- A *makroaggregátum-stabilitásban a pannon kvarchomok* mintával,
- A *sűrűségben a közepes réti szolonyec B szint* mintája a *kontrollkezelés, tenzides kezelés* hatására nem eredményezett szignifikáns összefüggést.

Megállapítottam, hogy a *kontrollkezelés* hatására a talajminták *kapillaris vízemelkedése* és a *térfogattömege*, illetve a *sűrűsége* közt erősödött a korreláció. A talajminták *térfogattömege* és a *kapillaris vízemelés magassága* közt a *tenzid hatása*, míg a *sűrűség* és a *kapillaris vízemelkedés* közt a *kontrollkezelés hatása* dominál.

Megfigyeltem, hogy az *eredeti és a kontrollkezelt talajminták* makroaggregátum-stabilitása és a *kapillaris vízemelkedése* közt gyenge, fordítottan arányos összefüggés van. Ellenben a *tenziddel*

*kezelt* talajminták makroaggregátum-stabilitása erős, fordítottan arányos összefüggést ír le a kapilláris vízemelés magasságával a teljes mérési időintervallumban.

Megállapítottam, hogy a *bentonit, a kaolin, a pannon kvarchomok, illetve a keveréksorozat azon mintája, mely fele-fele arányban lösz és homokmintát is tartalmaz,* a kezelés és tenzides kezelés hatására *térfogattömegében* nem eredményezett szignifikáns eltérést, melyet a Post Hoc (Tukey) teszt is megerősít.

Varianciaanalízissel igazoltam, hogy a talajminták *térfogattömegét* a talajminták típusa, a folyadékeltávolítás, illetve ezek kombinációja szignifikáns összefüggést eredményezett. A folyadékeltávolítás és a tenzid együttes hatása, illetve ezek kapcsolata a talajminták típusával nem mutatnak szignifikáns eltérést. Továbbá megállapítottam, hogy a *talajminta típusok és tenzid kombinációjában a tenzid hatása erős összefüggést eredményezett a kapilláris vízemelés magasságával,* míg a tenzid, mint kezelési tényező nem.

*Post Hoc teszt* –szignifikancialépcsők- segítségével megállapítottam, hogy a tenziddel kezelt *Ramann-féle barna erdőtalaj A és B szintjei, agyaghemosódásos barna erdőtalaj A és B szintjei, pszeudoglejes barna erdőtalaj B szintje, valamint a mészlepedékes csernozjom talaj A szintje* kapilláris vízemelés magasságnak csökkenése, valamint térfogattömegének növekedése közt fordított arányosság van. A tenzides kezelés hatására a nagy agyagtartalmú *közepes réti szolonyec B szintje és a nemkarbonátos réti talaj A szintje,* valamint a csökkenő arányban ásványi őrleményeket tartalmazó *I/1T.-I/6T., illetve a II/1T.-II/6T. keveréksorozat-mintáinak* csökkenő térfogattömege ugyancsak fordított arányosságot mutat a kapilláris emelkedés növekedésével.

Kezelési tényezők és az ásványi őrlemények kapilláris vízemelkedése közti összefüggést a varianciaanalízis számítás is igazolja, miszerint a *kontrollkezelés* (0,5-7 órás időintervallumban) és a *tenzid* (teljes mérési időintervallumban) hatása *külön-külön összefüggést mutat az ásványi őrleményekkel* (bentonit, kaolin) és *alkotókkal* (lösz, homok), ellenben a kezelés és a tenzid együttes hatása, illetve ezek kölcsönhatása a bentonittal, kaolinnal, lösszel, homokkal nem mutat összefüggést a kapilláris vízemelkedéssel. A talajminták és a kezelési tényezők (*kontrollkezelés- és tenzidhatás*) közt a teljes mérési időintervallumban összefüggést figyeltem meg a kapilláris vízemelés magasságával. A *kontrollkezelés hatása* az ásványi őrlemények és -alkotók kapilláris vízemelkedésében elhanyagolható különbséget eredményezett a kapilláris vízemelkedés magasságában. A *kontrollkezelés hatása* alapvetően –kivételek a barnaerdőtalajok B szintjei- a talajminták kapilláris vízemelés magasságában bekövetkező változások irányára nyújtott választ, míg a *tenzides kezelés hatása* az eltérések fokozásában eredményeztek jelentősebb különbséget.

Megállapítottam, hogy a *kontroll-, illetve a tenzides kezelések hatására is* az ásványi őrlemény keveréksorozat-, valamint a talajminták kapilláris vízemelkedés magasságát elsősorban az agyagásvány tartalma, majd minősége határozza meg. A tenzid hatása döntően az ásványi őrleményt nem tartalmazó I/7-I/9. keverékmintáknál, illetve alacsony duzzadó agyagásvány tartalmú 3-8. talajmintáknál érvényesül.

A *Post Hoc teszt* alapján értékelt *szignifikancialépcsők* alapján a keveréksorozat- és talajmintákat régiókba rendeztem. A *kontrollkezelt minták* ugyanúgy, mint az *eredeti* minták is, I. és II. régióba sorolhatók. Az I. régióba a *közepes réti szolonyec talaj B szintje* és a *nem karbonátos réti talaj A szintje*, valamint a I/1/K.-I/6/K. és II/1/K.-II/6/K. keveréksorozat-mintákat rendeztem, míg a II. régióba a *Ramann-féle barna erdőtalaj A és B szintjei*, *agyagbemosódásos barna erdőtalaj A és B szintjei*, *pszudoglejes barna erdőtalaj B szintje*, *mészlepedékes csernozjom talaj A szintje* mintáit soroltam be. Továbbá a II. régióba a I/7/K-I/9/K. minta paksi lösz, a fele-fele arányban paksi lösz és a pannon kvarchomokot tartalmazó keverékmintát, illetve pannon kvarchomokot (keveréksorozat-mintákat) csoportosítottam a kapilláris vízemelés magassága és a statisztikai rendszerezhetősége alapján.

Megállapítottam, hogy a *tenzides kezelés hatására* a keveréksorozatok időgörbéi két I. és II. átmeneti régióba rendeződnek, mivel az ásványi őrleményt nem tartalmazó I/7/T-I/9/T. minták kapilláris vízemelésének magassága, illetve időgörbéje maximum 60%-al csökkent az *eredeti- és a kontrollkezelt* mintáikhoz képest. A talajmintáknál a *tenzides kezelések hatására* hasonló eltéréseket tapasztaltam a *Ramann-féle barna erdőtalaj A és B szintje*, *agyagbemosódásos barna erdőtalaj A és B szintje*, *pszudoglejes barna erdőtalaj B szintje*, *mészlepedékes csernozjom A szintje* kapilláris vízemelkedése csökkenésében.

Ellenben a *kontrollkezelés hatására* a *Ramann-féle-, agyagbemosódásos-, pszudoglejes barna erdőtalaj B szintjei*, illetve a *nem karbonátos réti talaj A szintje* kismértékű növekedést eredményezett a kapilláris vízemelés magasságában. Feltehetően a barna erdőtalajok B szintjei olyan duzzadóagyag ásványokat, illetve egyéb szerves kolloidokat, fém-komplex vegyületeket is tartalmazhat, melyek pl. a réti-, illetve réti szolonyec talajmintákban is előfordulhatnak.

Ugyanakkor az ásványi őrleményeket csökkenő arányban tartalmazó ásványi őrlemény keveréksorozat-minták (I/1/T.-I/6/T. minta és II/1/T.-II/6/T. minta) kapilláris időgörbéjében a *tenzideskezelés hatása* maximum 40%-os növekedést eredményezett, hasonlóképpen a *közepes réti szolonyec talaj B szintje* és a *nemkarbonátos réti talaj A szintje* *eredeti* és a *kontrollkezelt-minták* időgörbéjében.

Megállapítottam a bentonit mintánál, hogy a hatékonynak tekinthető tenzidadszorpciót követően, illetve a szerkezetmódosulásnak köszönhetően megnövekedett a makroaggregátumok-

stabilitása, mely tényező a tenzides kezelés hatására a kapilláris vízemelés magasságának különbségét megnövelte. A bentonitnál a *tenzides kezelés* hatása már a 2. órás méréstől regisztrálhatóságot eredményezett az *eredeti* mintához képest. A bentonit minta *kontrollkezelése* kevésbé eredményezett változást a bentonit szerkezetében, mivel a mérési időintervallum utolsó szakaszában – 7. órás mérésnél- kaptam regisztrálható értékeket a kapilláris vízemelés magasságában. A bentonit-hoz hasonló kapilláris vízemelkedési tulajdonságokat a közepes réti szolonyec mintánál figyeltem meg, annyi eltéréssel, hogy a réti *szolonyec talajminta*- a többi vizsgált mintához képest- a leggyengébb hatékonysággal adszorbeálta a tenzidet. A réti szolonyec mintánál már a *kontrollkezelés hatása is érvényesült a mérés kezdeti – 1. órás mérésnél- időpontjában*, - ellentétben a bentonit mintával. A *tenzides kezelés hatására* már az első 0,5 órás méréstől regisztrálható értéket eredményezett, vagyis a *régi szolonyec talaj- és a bentonit mintában* is a tenzid hatása növelte a kezelés hatékonyságát. A tenzides kezelést követően mind a bentonit, mind a réti szolonyec talaj kapilláris vízemelés tulajdonsága hasonlóképpen változott meg, vagyis a tenzidhatás javította a nagy duzzadó agyag-tartalmú minták talajfizikai (vízgazdálkodási) jellemzőit.

A vizsgálataim során megállapítottam, hogy a *kaolin* (66,48%) és a *lössz* (62,72%) minta hasonló arányú porfrakciója egyéb talajfizikai tulajdonságokkal jellemzően eltérő összefüggéseket eredményezett. Megfigyeltem, hogy a kaolin és a lösz minta porfrakciója és a fajlagos felülete közt kismértékű eltérés tapasztalható. A vizsgálataim során azt tapasztaltam, hogy a kaolin és a lösz minta esetében elsődlegesen az ásványi tulajdonságok érvényesülnek, e mintákra jellemző a kis fajlagos felület, továbbá a tenzidadszorpció hatékonyságában is egyezőséget tapasztaltam.

Az I. régióba sorolt *kaolin* (11E, 11K. minta), illetve a II. régióba rendezett *lössz* (2E, 2K. minta) kapilláris vízemelés magassága a teljes mérési időintervallumban jelentős különbséget mutatott, mivel az *eredeti* lösz minta kapilláris vízemelésének magassága megközelítőleg nyolcszorosa a kaolin kapilláris vízemelés magasságával. *A kezelésekre hatására csökken a különbség a kaolin és a lösz minta kapilláris vízemelés magassága között. A kontrollkezelt lösz minta kapilláris vízemelkedése elhanyagolható mértékben, míg a tenzides kezelés hatására jelentősen lecsökken (39 cm-ről 15,7 cm-re), a tenziddel kezelt kaoliné viszont megemelkedik (6,1 cm-ről -8,4 cm-re) az eredeti mintáihoz képest.* Ez az összefüggés rámutat arra, hogy a kapilláris vízemelkedés magasságában jelentkező változások a tenzides kezelés hatására az ásványtani jellemzők talajfizikai tulajdonságának eljellegtelenedését idézheti elő. Mindezek vizsgálatát gyakorlati szempontból kiemelt jelentőségűnek tekintem, mivel ezek a változások a kezelésekre hatására az eltérő ásványi összetételű talajminták eljellegtelenedését modellezheti pl. környezetszennyezés esetén.

*Kutatás módszertanával, alkalmazhatóságával kapcsolatosan az alábbi előnyöket tapasztaltam:*

- iránymutatást nyújt a talajtípusok talajfizikai paraméterében bekövetkező változások elemzéséhez a kontroll-, illetve tenzides kezelések hatására,
- a kutatási téma tovább bővíthető, több társtudomány-területen is hasznosítható (környezetvédelem, agronómia, geofizika, hidrológia),
- mivel eltérő genetikai tulajdonságú talajmintákon, ásványi őrleményeken végeztem a vizsgálatokat, így áttekintést nyújt a kontroll-, illetve a tenzides kezelés hatására bekövetkező talajfizikai paraméterek közötti összefüggések, eltérések értékelésében,
- alapvetően nem tekinthető költségigényesnek a vizsgálatok elvégzése.

*Kutatás módszertanával, alkalmazhatóságával kapcsolatosan az alábbi hátrányokat tapasztaltam:*

- időigényes,
- nehezen reprodukálható,
- kevés mintaszám korlátokat szab a statisztikai értékelésben.

A kutatásom eredményei hasznosítható lehet a klímaváltozás során fellépő csapadékeloszlás vizsgálatához is, miszerint a klímaváltozás Magyarországon várható hatásaként a csapadékeloszlás térben és időben is egyenlőtlenebbé fog válni, ami azt jelenti, hogy a csapadék kevesebb számú, de nagyobb mennyiségű csapadékot szolgáltató időjárási eseményekhez fog kötődni. Vizsgálatom során alkalmazott kezelési módszerhez megválasztott oldattérfogot ezen nagy csapadék bevetelű időjárási események során várható vízbevetellel ekvivalens, azt szimulálja.

A talajminták kontroll-, illetve tenzides kezelésével azt modelleztem, hogy az ilyen nagy csapadék bevetelű időjárási események és a mezőgazdasági vegyszerhasználat során kijuttatott tenzidek együttesen hogyan befolyásolják a talajok vízgazdálkodási és talajfizikai tulajdonságait a várható klímaváltozás során.

A talajfizikai jellemzők homogenizálódása a geodiverzitás csökkenéséhez vezet, azaz elmosódnak a különböző termőhelyi típusok közti különbségek, ami egyben az agrobiodiverzitás és a természetes élőhelyek, élővilágának a biodiverzitás csökkenéséhez vezethet. Ez azt jelenti, hogy a különböző termőhely típusokhoz alkalmazkodott táji jellegű fajták (pl. a különböző tájjellegű gyümölcs-, szőlő- és burgonyafajták) termesztési körülményei romlanak, a természetes élőhelyek közti fajösszetételi különbségek összemosódnak, a specialista, ritka növényfajok (akár ritka gyomfajok is) és a hozzájuk kötődő állatfajok is eltűnhetnek. Mindez a hungarikumnak számító különböző termesztett növények hosszútávú termesztésben való fenntartását és

génmegőrzését is nehezíti, a természetes élőhelyek jellegtelenedését segíti elő, ami már a napjainkban is jelentős természetvédelmi probléma.

A doktori kutatási eredményeimet értékelve arra a következtetésre jutottam, hogy azok rámutatnak olyan talajfizikai paraméterek jellemzőiben bekövetkező változásokra, összefüggésekre a -tenzides- kezelés hatására (pl. kilúgózódás, kilúgozódás és tenzid hatás szerepe), melyek széles körben hasznosíthatóak lehetnek környezetvédelmi, agronómiai, geofizikai, hidrológiai tudományterületeken, főként a talajok vízgazdálkodási tulajdonságának elemzéséhez.

## 6. Új tudományos eredmények

### 6.1. Tézisek

1. Megállapítottam, hogy a *kontrollkezelés* (víz) hatására a talajminták kapilláris vízemelkedése és térfogattömege közt, valamint azok kapilláris vízemelkedése és sűrűsége közti korreláció megnőtt. A kapilláris vízemelés és a térfogattömeg közt az általam alkalmazott, – részleges borítottságot eredményező –, cetil-piridínium-kloriddal végzett kezelés (továbbiakban: *tenzides kezelés*), míg a kapilláris vízemelés és a sűrűség közt a *kontrollkezelés* hatása az erősebb.
2. Kimutattam, hogy a bentonit, a kaolin, a homok, illetve a fele-fele arányban lösz és homokot tartalmazó keveréksorozat mintáinak térfogattömegében a *kontroll-* és a *tenzides kezelés* hatása szignifikáns eltérést nem eredményezett.
3. Megállapítottam, hogy az *eredeti* és a *kontrollkezelt talajminták* aggregátum-stabilitása és kapilláris vízemelkedése közt nincs szignifikáns összefüggés, csupán gyenge negatív korrelációt figyeltem meg, míg a *tenziddel kezelt talajminták* szignifikáns, ellentétes irányú hatást eredményeztek a teljes mérési időintervallumban.
4. Megállapítottam, hogy a tenzides kezelés hatására mind az eltérő ásványi összetételű, csökkenő agyagtartalmú keveréksorozatok mintáinak, mind az eltérő genetikájú talajmintáknak a kapilláris vízemelés magassága átmeneti régiókba rendeződött. Ez az átrendeződés rámutat arra, hogy a tenzides kezelés hatására szignifikánsan csökkent az eltérő talajminták és ásványi keverékminták kapilláris vízemelés magassága közti különbség. A bentonit és kaolin keveréksorozat mintáinak kapilláris vízemelés magasságában szignifikáns növekedést tapasztaltam a tenzides kezelés hatására, de a lösz és homokot tartalmazó mintáknál csökkenést, amely lineáris regressziós összefüggéssel is igazolható. A *kontrollkezelés hatása* a bentonit és kaolin kapilláris vízemelkedés időgörbéjének meredekségében elhanyagolható különbséget eredményezett, míg a *tenzides kezelés hatása* a különbség mértékét fokozta.

5. Megállapítottam, hogy a tenzides kezelés a következő mintáknál a kapilláris vízemelés magasság csökkenését, míg a térfogattömeg szignifikáns növekedését eredményezte: *Ramann-féle barna erdőtalaj és agyagbemosódásos barna erdőtalaj A és B szintje, pszeudoglejes barna erdőtalaj B szintje, mészlepedékes csernozjom talaj A szintje, nagy duzzadóagyagtartalmú közepes réti szolonyec B szintje és nem karbonátos réti talaj A szintje, valamint a csökkenő arányban ásványi őrleményeket tartalmazó keveréksorozatok mintái.*

## 6.2.Thesis

1. I established that the correlation between capillary water rise and volume mass of soil samples as well as between their capillary water rise and density have increased due to the effect of *control treatment* (water). The correlation is stronger between capillary water-rise and volume mass due to the effect of treatment with cetylpyridinium chloride (in what follows: *surfactant treatment*) resulting partial coverage, whereas the correlation between capillary water-rise and density is stronger as a result of *control treatment*.
2. I proved that the effect of *control and surfactant treatments hasn't resulted significant changes* in the volume mass in case of the samples of bentonite, kaolin, sand as well as mixture series containing loess and sand in half-half ratio.
3. I pointed out that there isn't any significant relation between the aggregate-stability and capillary water-rise of *original and control-treated* soil samples, I observed only a weak negative correlation, whereas in case of the surfactant-treated soil samples significant, opposite direction changes have happened during the full measurement time interval.
4. I found that the heights of capillary water-rise have been arranged into transitional region due to surfactant treatment in case of samples of mixture series with different mineral composition and decreasing clay-content as well as different genetic soil-types. This rearrangement pointed to fact that the difference between the heights of capillary water-rise of different soil samples and mineral mixture series has decreased significantly due to effect of surfactant treatment. I have experienced significant increase in case of the samples of bentonite and kaolin mixture series as well as a decrease in case of samples containing loess and sand in the heights of capillary water-rise due to the effect of surfactant treatment, which can be verified by linear regression relation. The *effect of control treatment* resulted negligible difference in the steepness of the time curve of capillary water-rise of bentonite and kaolin, whereas the *effect of surfactant treatment* has increased the measure of the difference.

5. I established that the heights of capillary water rise have decreased, whereas the volume mass has significantly increased due to the effect of surfactant treatments in case of the samples of *A- and B-levels of Ramann brown forest soil, brown forest soil with clay illuviation, B-level of pseudogley, A-level of lowland chernozem, B-level of non-carbonated meadow soil and A-level of non-carbonated meadow soils (the latter two with high swelling clay-mineral content) as well as mixture series containing mineral grists in decreasing ratio.*

---

## 7. Felhasznált irodalom

1. Abu-Zreig M., Rudra R. P. & Dickinson W. T., 2003. Effect of application of surfactants on hydraulic properties of soils. *Biosystems Engineering* 84 (3). 363–372.
2. Adeel Z., & Luthy R. G., 1995. Sorption and transport kinetics of a nonionic surfactant through an aquifer sediment. *Environ. Sci. Technol.* 29 (4). 1032-1042.
3. Aiken G. R., McKnight D. M., Wershaw R. L. & MacCarthy P., 1985. *Humic Substances in Soil Sediment and Water Interscience*. New York.
4. Akbour R. A., Douch J., Hamdani M. & Schmitz P., 2002. *Journal of Colloid and Interface Science*. 253. 1-8.
5. Allred B. & Brown G. O., 1994. Surfactant induced reduction in soil hydraulic conductivity. *Ground Water Monitoring and Remediation*. 14. 174–184.
6. Amyx J.W., Bass D.M. & Whitting R.L., 1960. *Petroleum reservoir engineering. Physical properties*. McGraw-Hill Book Company. New York.
7. Arya L. A. & Paris J. F., 1981. A physico-empirical model to predict the moisture characteristics from particle-size distribution and bulk density data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45.1023–1030.
8. Assouline S., Tavares-Filho J. & Tessier D., 1997. Effect of Compaction on Soil Physical and Hydraulic Properties: Experimental Results and Modeling. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61. 390-398.
9. Atkin R., Craig V.S.J., Wanless E.J. & Biggs S., 2003. Mechanism of cationic surfactant adsorption at the solid–aqueous interface. *Advances in Colloid and Interface Science*. 103. 219–304.
10. Atterberg A. M., 1908. *Studien auf dem Gebiet der Bodenkunde*. Landw. Versuchsanstalt. 69. 93-143.
11. Balan S., 1974. Cercetari asupra relatiilor umiditatesuctiune la unele soluri din Cimpia Tisei. *An Inst. St. Cerc. Pedol.* 11. 31-43.
12. Ballenegger R. & Di Gléria J., 1962. *Talaj- és trágyavizsgálási módszerek*. Mg. Kiadó. Budapest.
13. Baranyi L., 1997. A talaj organo-komplexeinek modellezése agyagásványok szerves felületmódosításával. Szakdolgozat. József Attila Tudományegyetem, Kolloidkémia Tanszék.

14. Barna Gy., Földényi R., Balázs R., Dunai A., & Makó A., 2012. Egy kationos tenzid megkötődése talajokon és hatása a talajfizikai tulajdonságokra. LVII. Georgikon Napok. 57th Georgikon Scientific Conference. 21-32.
15. Barna Gy., Földényi R., Tóth Z., Balázs R. & Makó A., 2015. Kationos felületaktív anyag (hexadecilpiridinium-klorid monohidrát) adszorpciója talajokon. *Agrokémia és Talajtan* 64 (1). 105-122.
16. Baver L.D., 1956. *Soil physics*. Wiley & Sons. New York.
17. Bear J. & Verruijt A., 1987. *Modeling groundwater flow and pollution*. D. Reidel Publishing Company.
18. Beuslink L.G., Govers G., Poesen J. & Degraer G., 1998. Grain-size analysis laser diffractometry: Comparison with the sieve-pipette method. *Catena* 32. 193-208.
19. Birkás M., Antos G., Csík L. & Szemők A., 2002. Környezetkímélő és energiatakarékos talajművelés. Szent István Egyetem, Mezőgazdaság és Környezettudományi Kar, Növénytermesztési Intézet, Földműveléstani Tanszék. 104-105, 142, 198-201, 233-238, 241-244.
20. Bitting D., & J. H. Harwell 1987. Effects of counterions on surfactant surface aggregates at the alumina/aqueous solutions interface. *Langmuir* 3. 500-511.
21. Bosilevac J. M., Arthur T. M., Wheeler T. L., Shackelford S. D., Rossman M., Reagan J. O. & Koohmaraie M., 2004. Prevalence of *Escherichia coli* O157 and levels of aerobic bacteria and Enterobacteriaceae are reduced when hides are washed and treated with cetylpyridinium chloride at a commercial beef processing plant. *Journal of Food Protection*. 67. 646-650.
22. Botvay K., 1955. Adatok az alföldi homoktalajaink kapilláris vízemelőképességének értékeléséhez. *Agrokémia és Talajtan* 4. 119-133.
23. Bouma J., 1989. Using Soil Survey data for qualitative land evaluation. *Adv Soil Sci*. 9. 177- 213.
24. Briggs L., J., 1897. *The mechanics of soil moisture*. U.S. Department of Agriculture, Soils Bulletin No. 10, U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
25. Briggs L. J. & McLane J. W., 1907. *The moisture equivalent of soils*. USDA Bureau of Soils.
26. Bronick C. J. & Lal R., 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124 (1-2). 3-22.
27. Brooks R. H. & Corey A. T., 1964. *Hydraulic Properties of Porous Media*. Hydrological Paper 27. Colorado State University. Fort Collins. Bulletin 45. 5–23.

28. Brownawell B.J., Chen H., Qhang W., Westall J.C., 1991. Adsorption of surfactants. In: Baker R. A., (Ed.). *Organic Substances and Sediments in Water: Processes and Analytical*, 2. Lewis, Ann Arbor. MI.
29. Bruand A., 1990. Improved prediction of water-retention properties of clayey soils by pedological stratification. *Journal of Soil Science*. 41. 491-497.
30. Brunauer S., Emmett, P. H. & Teller, E., 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American Chemical Society*. 60 (2). 309–319.
31. Brutsaert W., 1966. Probability laws for pore size distributions. *Soil Sci*. 117. 311–314.
32. Buckingham E., 1907. *Studies on the Movement of Soil Moisture*. US Department of Agriculture, Bureau of Soils 38.
33. Buffle J., 1988. *Complexation Reactions in Aquatic systems: An analytical Approach*. Wiley New York.
34. Buzás I., 1988. *Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 2. A talajok fizikai-kémiai és kémiai vizsgálati módszerei*. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
35. Buzás I., 1993. *Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 1. A talaj fizikai, vízgazdálkodási és ásványtani vizsgálata*. INDA 4231 Kiadó. Budapest.
36. Cairus R. R., 1969. Szolonyec talajok infiltrációs és kapilláris vízmozgásának vizsgálata modell kísérletekben. *Agrokémia és Talajtan* 18. 167-172.
37. Carillo M. L. K., Letey J. and Yates S. R., 1999. Measurement of initial soil-water contact angle of water repellent soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63. 433-436.
38. Carman P. C., 1941. Capillary rise and capillary movement of moisture in fine sands. *Soil Sci*. 52. 1-15.
39. Caron J., Kay B.D. & Stone J. A., 1992. Improvement of structural stability of a clay loam with drying. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56. 1583-1590.
40. Celik M. S., Maney E. D., & Somasundaran P., 1982. Sulfonate precipitation, redissolution in inorganic electrolytes. *AIChE Symp. Ser.* 78. 86-96.
41. Christopher T. B. S., Mokhtaruddin A. M., Husni M. A. & Abdullah M. Y., 1996. A simple equation to determine the breakdown of individual aggregate size fractions in the wet-sieving method. *Soil Till. Res.* 45. (3). 287-297.
42. Clunie J. S., & Ingram, B. T., 1983. Adsorption of nonionic surfactants, in *Adsorption from solution at the solid/liquid interface*, (ed) G. D. Parfitt and C. H. Rochester, Academic Press, London, 3.
43. Cornell R. M. & Schwertmann U., 1996. *The Iron Oxides, Structure, Properties, Reactions, Occurrence and Uses*. Weinheim, Germany.

44. Csatári T. & Makó A., 2012. A kationos tenziddel különböző mértékben kezelt ásványi őrlemények olajvisszatartásának vizsgálata. Geogrikon Napok. 53<sup>th</sup> Georgikon Scientific Conference. 176-186.
45. Csatári T., Makó A. Skic K., Tóth Z. & Balázs R., 2013. A talajok víz- és szervesfolyadék-visszatartó képességének változása kationos felületaktív anyaggal történő kezelés hatására. Talajvédelem Különszám. Miskolc.
46. Dang-Vu T. & Hupka J., 2005. Characterization of porous materials by capillary rise method. Physicochemical problems of mineral processing, 39. 47-65.
47. van Dam J., 1967. The migration of hydrocarbons in a water-bearing stratum. In Hepple. P. (ed.) The Joint Problems of the Oil and Water Industries. Proceedings of a Symposium, Institute of Petroleum, London, 55-88.
48. Dexter A. R., 1988. Advances in characterization of soil structure. Soil Till. Res. 11. 199-238.
49. Dimitriu R. & Canarache A., 1974. A térfogatsúly hatása a talaj kapilláris vízemelésére. Agrokémia és Talajtan. 23. 127-136.
50. Dixon J. B. & Schulze D. G., 2002. Soil Mineralogy with Environmental Applications SSSA Medison Wisconsin, USA.
51. Di Gléria J., Klimes-Szmik A. & Dvoracsek M., 1957. Talajfizika és talajkolloidika. Akadémiai Kiadó. Budapest.
52. Dobozy O., Lakatos M. & Máté F., 1970. Vlijanyije nyekotorih povernosztnoaktivnih u drugih organicseszkih vescsesztv na fizicsekie szvojsztva pocsvi i razvityije rasztyenyii. Zsurnal Prikladnoj Himii. XLIII. 639–645.
53. Dobozy O., Bartha B. & Nádasy M., 1974. Talajok vízháztartásának szabályozása felületaktív anyagokkal. Magyar kémikusok lapja, XIX. (2). Budapest.
54. Domenico P. A. & Schwartz F. W., 1990. Physical and chemical hydrogeology. 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.
55. Dtirbeck H., W., Klumpp E., Schladot J., D., Schwuger M. J., 1994. Environmental specimen bank of the Federal Republic of Germany. - Significance of surfactants, Progr Colloid & Polym. Sci., 95. 48-60.
56. Duiker S. W., Rhoton F. E., Torrent J., Smeck N. E. & Lal R., 2003. Iron (hydr)oxide crystallinity effects on soil aggregation. Soil Sci. Soc. Am. J. 67. 606-611.
57. Dultza S. & Borsb J., 2000. Organophilic bentonites as adsorbents for radionuclides: II. Chemical and mineralogical properties of HDPy-montmorillonite, Applied Clay Science 16 (1–2). 15–29.

58. Dunai A. & Tóth Z., 2015. Szerves- és műtrágyázás tartamhatása a talajaggregátumok stabilitására agyagbemosódásos barna erdőtalajon. *Agrokémia és Talajtan* 64 (1). 29-52.
59. Edwards A. P., & Bremner J. M., 1967. Microaggregates in soils. *J. Soil Sci.* 18. 64-73.
60. Elimelech M., Gregory J., Jia X. & Williams R. A., 1995. *Particle Deposition and Aggregation: Measurement, Modelling and Simulation*. Butterworth, Oxford.
61. Elliott E. T., 1986. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50. 627-633.
62. Emerson W., W., 1959. The structure of soil crumbles. *J. Soil Sci.* 10. 235-244.
63. Emerson W., W., 1977. Physical properties and structure. In: *Soil factors and crop production in semi-arid environment*. (Eds.: Russel, J.S. & Greacen, E. L.) University of Queensland Press. 78-104.
64. Emerson W. W., Foster R. C., Oades J. M., 1986. Organo-mineral complexes in relation to soil aggregation and structure. In *Interaction of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes* (Eds. Huang, P.M. and Schnitzer, M.) SSSA Special Publ. 17, 521-548, Soil Sci. Soc. of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
65. Erdey-Grúz T., 1972. *A fizikai kémia alapjai*. Műszaki Könyvkiadó. Budapest.
66. Erlei K., 1997. Nemionos tenzid adszorpciója talajon és az átteresztőképesség vizsgálata. Szakdolgozat. Szeged.
67. Everett D. H., 1988. *Basic Principles of Colloid Science*. RSC, London.
68. Faure A., 1981. A new conception of the plastic and liquid limits of clay. *Soil Tillage Res.* 1. 97-105.
69. Fidgore P.E., 1982. Adsorption of surfactant on kaolinite: NaCl v. CaCl<sub>2</sub> Salt effects, *J. Colloid Interf. Sci.* 87 (2). 500-517.
70. Filep Gy., 1988. *Talajkémia*, Akadémia Kiadó, Budapest.
71. Fox K.K., Chapman L., Solbé J., Wirral B. V., 1997. Effect of environmentally relevant concentrations of surfactants on the desorption of biodegradation of model contaminants in soil. *Tenside surfactants detergents.* 34 (6). 436-441.
72. Földényi R., Tóth Z., Csatári T. & Makó A., 2013. Egy kationos tenzid (CPC) adszorpciója talajokon és talajalkotókon. *Talajvédelem Különszám.* 181-190.
73. Frey E. & Lagaly G., 1979. *J. Colloid Interface Sci.* 70 (1). 46.
74. Füleky Gy., 2008. *Talajvédelem, talajtan (Szerk.)* (Biró B., Bidló A., Farsang A., K. Horváth E., Micheli E., Pápay L., Tombác E.). HEFOP 3.3.1-P-2004-0900152/1.0. Pannon Egyetem.

75. Füstöss L., 2009. Einstein tévedése avagy Polányi Mihály adszorpciók eredményeinek sorsa. *Polanyiana*. 18 (1-2). 78-85.
76. Garland J. L., Levine L. H., Yorio N. C., Adams J. L. & Cook K. L., 2000. Graywater processing in recirculating hydroponic systems: Phytotoxicity, surfactant degradation, and bacterial dynamics. *Water Res.* 34 (12). 3075-3086.
77. Gee G. W. & Bauder J. W., 1986. Particle-size analysis. 383-411. In Klute (ed.). *Methods of soil analysis. Part 1*. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA. Madison, Wisconsin.
78. Giles C. H., Macewan T. H., Nakhva S. N. & Smith D., 1960. Studies in adsorption. Part XI. A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanisms and in measurement of specific surface areas of solids. *Journal of the Chemical Society*. 3973–3993.
79. Gomes M.P., Silva A. A. & Franca M. L., 1961. A study on the capillary rise of water and its application to soils. *Estud. Agron.* 2. 109-121.
80. Gordiyenko V. P. & Kostogryz P. V., 1991. Capillary migration of moisture in podzolized chernozem as a function of density. *Pochvovedeniye*. 175-178.
81. Grable A. R. & Siemer E. G., 1968. Effects of bulk density, aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30. 180-186.
82. Grandjean, J., 1997. Water sites at a clay interface. *J. Colloid Interface Sci.*, 185. 554-556.
83. Grant S. A. & Salehzadeh A., 1996. Calculation of the temperature effects on wetting coefficients of porous solids and their capillary pressure functions: *Water Resources Research*. 32 (2). 261-270.
84. Green W. H. & Ampt G. A. 1911. Studies on soil physics: 1. The flow of air and water through soils. *J. Agric. Sci.* 4. 1-23.
85. Greenland D. J. & Mott C. J. D., 1978. Surface of soil particles (Ch.4), in *Chem. Soil Const.* Hillary Birmingham, Wiley, Chichester, England.
86. Hagen G., 1839. *Ann. Phys. Chem.* 46. 423.
87. Hadas A., 1987. Long-term tillage practice effects on soil aggregation modes and strength. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51. 191-197.
88. Harwell J. H., 1991. Factors affecting surfactant performance in groundwater remediation applications, in *Proceedings of Symposium on Transport and Remediation of subsurface contaminants*, Am. Chem. Soc. 124-132.
89. Hayworth J. S. & Burris D. R., 1996. Modelling cationic surfactant transport in porous media, *Ground Water*. 34 (2). 274-282.

90. Heath D. & Tadros Th. F., 1983. *J. Colloid Interface Sci.*, 93 (2). 307.
91. Hernádi H., Makó A., Kucsera S., Szabóné Kele G. & Sisák I., 2008. A talaj mechanikai összetételének meghatározása különböző módszerekkel. *Talajvédelem (Különszám)*, 105-114.
92. Hirasaki G. J., 1982. Ion Exchange with clays in the presence of surfactant, *Soc. Pet. Eng. J.* 22. 181.
93. Holt M. S. & Bernstein S. L., 1992. Linear Alkylbenzenes in sewage sludges and sludge amended soils. *Water Res.* 26. 613-624.
94. Huisz A., 2012. A talajszerkezet és a szervesanyag-megoszlás változásainak jellemzése új módszerekkel művelési tartamkísérletben. PhD dolgozat. Debreceni Egyetem. Debrecen.
95. Hunter R., J., 1989. *Foundations of Colloid Science, I and II.* Clarendon Press, Oxford.
96. Jafvert C. T. & Heath L. K., 1991. Sediment- and saturated-soil-associated reactions involving an anionic surfactants (dodecylsulfate). 1-Precipitation and micelle formation, *Environ. Sci. Technol.* 25 (6). 1031-1038.
97. Janczuk B. & Bialopiotrowicz T., 1988. Components of surface free energy of some clay minerals. *Clays and Clay Minerals.* 36. 243-248.
98. Jastrow J. D., Miller R. M. & Lussenhop J., 1998. Contributions of interacting biological mechanisms to soil aggregate stabilization in restored prairie. *Soil Biol. Biochem.* 30. 905-916.
99. Johnston C.T., 1996. Sorption of organic compounds on clay minerals: a surface functional group approach. In: *Organic Pollutants in the Environment* (Sahwney, B. ed.), The Clay Minerals Society, Boulder, CO. 1-44.
100. Johnston C.T. & Tombácz E., 2002. Surface Chemistry of Soil Minerals, Ch. 2. In: *Soil mineralogy with environmental applications.* (Dixon, J.B., Schulze, D.G. eds.) Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, 37-67.
101. Juhász A. Z., 1995. *Általános és szilikátkémiai kolloidika I.* VE Egyetemi Kiadó, Veszprém.
102. Jurin J., 1728. *Disquisitio Physicae de Tubulis capillaribus, Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitana.* 3. 281-292.
103. Kalogianni E. P., Savopoulos T., Karapantsios T. D. & Raphaelides S. N., 2004. A dynamic wicking technique for determining the effective pore radius of pregelatinized starch sheets, *Colloid Surf. B.* 35. 159 – 167.

104. Karagunduz A., Pennel K. D. & Young M. H., 2001. Influence of a nonionic surfactant on the water retention properties of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*. 65. 1392–1399.
105. Kay B. D., 1998. Soil structure and organic carbon: a review. In: *Soil Processes and the Carbon Cycle*. Eds. (Lal, R., Kimble, J., Follett, R. F. & Stewart, B. A.) 169–197. CRC Press. Boca Raton.
106. Keen, B. A., 1919. Note on the capillary rise of water in soils. *J. Agric. Sci.* 9:396-399.
107. Kemper, W. D. & Rosenau, R. C., 1986. Aggregate Stability and Size Distribution in: *Methods of Soil Analysis* (Klute, A. ed.) *Agron.* 9/1.
108. Kézdi Á., 1960. *Talajmechanika I.*, Tankönyv Kiadó, Budapest.
109. Khaleel R., Relyea J. F. & James L. C., 1995. Evaluation of van Genuchten-Mualem relationships to estimate unsaturated hydraulic conductivity at low water contents. *Water resources research*. 31 (11). 2659-2668.
110. Kirkham, D. & Powers, W. L., 1972. *Advanced soil physics*. Wiley & Sons. New York.
111. Klimes-Szmik, A., 1954. Aljtrágyázott homok vízgazdálkodása. *Agrokémia és Talajtan* 3. 75-102.
112. Konert, M. & Vandenberghe, J., 1997. Comparison of laser grain-size analysis with pipette and sieve analysis: A solution for the underestimation of clay fraction. *Sedimentology* 44. 523-535.
113. Kotzmann L., 1938. A higroszkópos nedvesség, mint a talaj kötöttségének jellemzője. *Mezőgazd. Kutatások*. 11. 217. cit: Mados (Kotzmann) L., 1939. Öntözési és vízgazdálkodási tanulmányok a tiszafüredi öntözőrendszer területén. *Öntözésügyi Közlem.* 1 (1). 89–116. Kreybig L., 1951. *A talajok hő- és vízgazdálkodása*. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
114. Kovács Gy., 1968. Characterization of molecular forces influencing seepage by means of the pF-curve. *Agrokémia és Talajtan* 17. 1-12.
115. Kovács Gy., 1971. *A szivárgás hidraulikája*. Akadémia Kiadó. Budapest.
116. Kovács, Gy. & Péczely, F., 1973. Hydrological investigation of the unsaturated zone. *Circular of the IAHS. VITUKI*. Budapest.
117. Kovács, Gy. & Péczely, F., 1975. A talajszelvény víztartóképesége. *Agrokémia és Talajtan* 24. 99-120.
118. Krebs, R., Sardin, M., & Schweich, D., 1987. Mineral Dissolution, Precipitation, and Ion Exchange in surfactant flooding, *AIChE J.*, 33 (8). 1371-1378.
119. Kretzschmar, R. & Sticher, H., 1998. *Phys. Chem. Earth* 23. 133-139.

120. Kreybig, L., 1937. A M. Kir. Földtani Intézet talajfelvételi, vizsgálati és térképezési módszere. M. Kir. Földtani Intézet Évkönyve. 31. 147–244.
121. Kreybig L., 1951. A talajok hő- és vízgazdálkodása. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
122. Kuhnt, G., 1993. Behaviour and fate of surfactant in soil. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 12. 1813–1820.
123. Kumar S. & Malik, R. S., 1990. Verification of quick capillary rise approach for determining pore geometrical characteristics in soils of varying texture. *Soil Science*. 150 (6). 883-888.
124. Lagaly G., 1985. Smectitic Clays as Ionic Macromolecules, in Dev. in Ionic Polymers II. Clay Polymer Interaction, Ed. A. Wilson, Elsevier, London.
125. Lal R., 1979. Physical properties and moisture retention characteristics of some Nigerian soils. *Geoderma*. 21. 209-223.
126. Lal R., 1991. Soil structure and sustainability. *J. Sustain. Agric.* 1. 67-92.
127. Lambe T.W., 1951. Soil testing for engineers. Wiley & Sons. New York.
128. Langmuir I., 1918. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *J. Am. Chem. Soc.* 40. 1361–1403.
129. Leea J., Yanga J.S., Kima H-J., Baekb K. & Yanga J. W., 2005. Simultaneous removal of organic and inorganic contaminants by micellar-enhanced ultrafiltration with mixed surfactant, *Desalination* 184 (1–3). 395–407.
130. Li Z. & Gallus L., 2007. Adsorption of dodecyl trimethylammonium and hexadecyl trimethylammonium onto kaolinite- Competitive adsorption and chain length effect. Elsevier. *Applied Clay Science*. 35 (3-4). 250-257.
131. Linn D.M., & Doran J. W., 1984. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48. 1267-1272.
132. Liu Z., Edwards D.A. & Luthy R.G., 1992. Sorption of nonionic surfactants onto soil. *Water Res.* 26. 1337-1345.
133. Liu T. K., Odell R. T., Etter W. C., Thornburn T. H., 1996. Comparison of clay contents determined by hydrometer and pipette methods using reduced major axis analysis. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30. 665-669.
134. Liu Q., Yasufuku N., Miao J., Ren J., 2014. An approach for quick estimation of maximum height of capillary rise. *Soils and Foundations*. Elsevier. 54 (6). 1241-1245.
135. Loveland P.J., Whalley W. R., 2001. Particle size analysis. 281-314 In: *Soil and Environmental analysis, physical methods*. K. A. Smith and C. E. Mullins (ed.). Marcel Dekker Inc. New York.

136. Lu N. & Likos W. J., 2004. Rate of capillary water rise in soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 130 (6). 646-650.
137. Lu T. X., Nielsen D. R. & Biggar J. W., 1995. "Water movement in glass bead porous media 3. Theoretical analyses of capillary rise into initially dry media." *Water Resour. Res.* 31. (1). 11–18.
138. Lucas R., 1918. Ueber das Zeitgesetz des Kapillaren Aufstiegs von Flüssigkeiten, *Kolloid Z.*, 23. 15-22.
139. Luckham P.F. & Rossi S, 1999. *Adv. In Coll. Int. Sci.* 82. 43-92.
140. Mados L., 1942. Általános talajtani ismeretek. Kézirat. Diószegi Lehel Leíró- és Sokszorosító Irodája. Budapest.
141. Majzik A., 2007. Határfelületi és kolloid kölcsönhatások montmorillonit, vas-oxid, huminsav és kalciumion tartalmú összetett vizes diszperz rendszerekben. PhD értekezés. Szegedi Tudományegyetem Kolloidkémiai Tanszék.
142. Makó A. & Máté F., 1992. Szerves folyadékok beszivárgásának vizsgálata talajoszlopokon. *Agrokémia és Talajtan* 41. 214-226.
143. Makó A., 1995. A talaj szilárd fázisa és a szerves folyadékok kölcsönhatásai. Kandidátusi értekezés. Keszthely.
144. Makó A., Máté F., Tóth M., László K. & Németh T., 2002. A különböző szabványos módszerek szerint mért agyagtartalom és néhány egyéb talajfizikai paraméter összefüggésének vizsgálata. XVI. Országos Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás. Siófok.
145. Makó A., 2008. Talajfizika. In: Kátai J. (ed): *Talajtan, talajökológia. az Észak-alföldi Régióért Kht. HEFOP 3.3.1 pályázat tankönyv.* Debrecen.
146. Makó A. & Hernádi H., 2010. A talajok szemcseösszetételének vizsgálata során alkalmazott különböző előkészítési módszerek összehasonlító értékelése. In: Török, Á. & Vásárhelyi, B. (eds.): *Mérnökgeológia, kőzetmechanika.* 101–108.
147. Makó A., Tóth G., Weynants M., Rajkai K., Hermann T., Tóth B., 2017. Pedotransfer functions for converting laser diffraction particle-size data to conventional values, *European Journal of soil science* 68: (5) pp. 769-782.
148. Malik R. S., Kumar S. & Dahiya I. S., 1984. An approach to quick determination of some water transmission characteristics of porous media. *Soil Science*. 137. 395-400.
149. Malik R. S., Kumar S. & Malik R. K., 1989. Maximal capillary rise flux as a function of height from the water table. *Soil Science*. 148. 322-326.

150. Marmur A., 1992. Penetration and displacement in capillary systems of limited size, *Adv. Colloid Interface Sci.* 39. 13 – 33.
151. Mashali A.M., 1977. The charge characteristics of clays, oxides and hydrous oxide minerals, Ph.D. Thesis, University of Reading, UK.
152. Matthew A. C., Kibbey T. C. G., Zimmerman J. B. & Hayes K. F., 2000. Partitioning of ethoxylated nonionic surfactants in water/NAPL systems: effects of surfactant and NAPL properties. *Environmental science and technology.* 34 (8). 1583-1588.
153. McBride M. B., 1994. *Environ. Chem. of Soils* Oxford University Press, Inc., New York.
154. McCarty L.B., Hubbard L. R. & Quisenberry V., 2016. *Applied soil physical properties, drainage, and Irrigation Strategies.* Springer.
155. McKenzie N., Coughlan K. & Cresswell H., 2002. *Soil physical measurement and interpretation of land evaluation.* Csiro publishing.
156. Mercer J. W. & Cohen R. M., 1990. A Review of Immiscible Fluids in the Subsurface: Properties, Models, Characterization and Remediation. *Journal of Contaminant Hydrology* 6. 107-163.
157. Meunier A., 2010. *Clays.* Springer, Berlin.
158. Miller W. W., & Letey, J., 1975. Distribution of nonionic surfactant in soil columns following application and leaching, *Soil Sci, Soc, Am. Proc.* 39. 17-22.
159. Miller R. M. & Jastrow J. D., 1990. Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. *Soil Biol. Biochem.* 22. 579-584.
160. Miókovics E., Széplábi G., Makó A., Hernádi H. & Hermann T., 2011. Effects of surfactants on the aggregate stability of soils. *Hungarian Journal of Industrial Chemistry, Veszprém.* 39. 1 127–131.
161. Moreno A., Ferrer J., Bevia F.R., Parts D., Vazques, B. & Zarzo D., 1994. LAS monitoring in a lagoon treatment plant. *Water Resour* 28. 2183-2189.
162. MSZ 08-0205 1978. A talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságainak vizsgálata. MÉM Ágazati Szabvány. Budapest.
163. MSZ 08-0206 1978. A talaj egyes kémiai tulajdonságainak vizsgálata. Laboratóriumi vizsgálatok. MÉM Ágazati Szabvány. Budapest.
164. Murer E., Baumgartner A., Eder G., Gerzabek M., Kandeler E. & Rampazzo N., 1993. An improved sieving machine for estimation of soil aggregate stability. *Geoderma* 56. 539-547.

165. Nagy E. & Makó A., 2011. Az anionos-, kationos-, és nemionos tenziddel módosított felületű talajminták kapilláris vízemelésének vizsgálata. Talajvédelem. Magyar Talajtani Társaság, Gödöllő. 391-398.
166. Nagy E. & Deák J. Á., 2013. Investigation of Water Capillary Rise in Soil Columns Made from Clay Mineral Mixtures Pretreated with Cationic Surfactants. LCSS Communications in Soil Science and Plant Analysis 44 (1-4). 749-757.
167. Nagy E., Földényi R., Sisák I. & Deák J. Á., 2015. Capillary water rise in soil samples and clay mineral mixtures treated with cetyl-pyridinium-chloride. Crop production 64. 139-142.
168. Nagy E., Deák J. Á., Földényi R. & I. Sisák I., 2016. The impact of the hydrological regime and textural features of meadow soils (gleysols) and meadow solonetz (solonetz) soils and their changes due to eluviation and presence of cationic surfactants on the vegetation. 59<sup>th</sup> Annual Symposium of the International Association for Vegetation Science. Conservation of plant communities: From environmental drivers to ecosystems services. Pirenópolis, Brazil. Abstract. 126.
169. Nagy E., Földényi R. & Sisák I., 2017. Kationos tenzid hatása nagy agyagtartalmú talajok térfogattömegére és higroszkóposágára. Okszerű talajhasználat, talajvédelem. Talajvédelem 157-164.
170. Nemezc E., 1973. Agyagásványok szerkezete. Akadémiai kiadó, Budapest.
171. Nemes A., 2003. Multi-scale pedotransfer functions for Hungarian soils. Doctoral thesis. Wageningen.
172. Nimmo J. R. & Miller E. E., 1986. The temperature dependence of isothermal moisture vs. potential characteristics of soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 50. 1105-1113.
173. Nimmo J. R., 1997. Modeling Structural Influences on Soil Water Retention. Soil Sci. Soc. Am. J. 61. 712-719.
174. Oades J. M. & Waters A. G., 1991. Aggregate hierarchy in soils. Aust. J. Soil Res. 29. 815–828.
175. van Olphen H., 1963. An introduction to clay colloid chemistry, Interscience, New York.
176. Or D., & Tuller M., 1999. Liquid retention and interfacial area in variably saturated porous media: Upscaling from single-pore to sample-scale model. Water Resources Research 35 (12). 3591-3605.
177. van Oss C. J., Chaudhury, M. K.. & Good R. J., 1988. Interracial Lifshitz-van der Waals and polar interactions in macroscopic systems. Chem. Rev. 88. 927-941.
178. van Oss C.J. & Good R. J., 1984. Colloid Surface 8. 373.

179. van Oss C. J., Giese R. F., Li Z., Murphy K., Norris J., Chaudhury M. K. & Good R. J., 1992. Determination of contact angles and pore sizes of porous media by column and thin layer wicking, *J. Adhesion Sci. Technol.* 6. 413 – 428.
180. van Oss, C. J., 1994. *Interfacial Forces in Aqueous Media*. New York.
181. van Oss C. J., Wu W., Giese R. F., Naim J. O., 1995. Interaction between proteins and inorganic oxides – adsorption of albumin and its desorption with a complexing agent, *Colloid Surf. B.*, 4. 185- 189.
182. Ovcharenko F. D., 1961. *Gidrofil'nost' glin i glinistykh mineralov (Hydrophilicity of clays and clay minerals)*. Kijev.
183. Pachepsky Y. A., Rawls W. J. & Lin H. S., 2006. Hydropedology and pedotransfer functions. *Geoderma* 131. 308–316.
184. Parlange, J. Y., Haverkamp R., Starr J. L., Fuentes, C., Malik, R. S., Kumar, S., & Malik, R. K., 1990. “Maximal capillary rise flux as a function of height from the water table.” *Soil Sci.*, 150 (6). 896–898.
185. Partyka P., Zaini S., Lindheimer M. & Brun B., 1984. The adsorption of non-ionic surfactants on a silica gel. *Colloids Surfaces* 12. 255-270.
186. Patzkó Á., 1996. *Kolloidika laboratóriumi gyakorlatok: határfelületek, diszperz rendszerek, tenzidek, polimerek*. JATE. Kolloidkémiai Tanszéke, JATE Pressz, Szeged.
187. Patzkó Á. & Dékány I., 1996. Talaj-tenzid kölcsönhatás, adszorpció, nedvesedés és az üledék vízáteresztő képességének változása. *Agrokémia és Talajtan* 45 (3-4). 229-237.
188. Patzkó Á. & Dékány I., 1997. Tenzidek hatása a talaj vízáteresztő képességére. A geokörnyezet szerepe a területfejlesztéstől a településrendezésig. Konferencia. Szeged, Absztrakt. 34.
189. Patzkó Á., 1998. *A kolloidika alapjai*. József Attila Tudományegyetem. Szeged.
190. Patzkó Á., 2003. *A talaj Környezeti kémia tárgyhoz összeállított jegyzet* SZTE Szeged.
191. Pennell K. D., Abriola L. M. & Weber W. J. J., 1993. Surfactant-enhanced solubilization of residual dodecane in soil columns, 1, Experimental investigation, *Environ. Sci. Technol.*, 27 (12). 2332-2340.
192. Permien T. & Lagaly G., 1995. The rheological and colloidal properties of bentonite dispersions in the presence of organic compounds v. bentonite and sodium montmorillonite and surfactants. *Clays and Clay Minerals* 43. 229-236.
193. Poiseuille J. L., 1840. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 11. 961.
194. Poiseuille J. L., 1841. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 12. 112.

195. Poppe L.J., Paskevich V.F., Hathaway J.C. & Blackwood D.S., 2001. A Laboratory Manual for XRay Powder Diffraction.
196. Rajkai K., Várallyay Gy., Pacsepszikij J. A. & Cserbakov R. A., 1981. pF-görbék számítása a talaj mechanikai összetétele és térfogattömege alapján. *Agrokémia és Talajtan* 30. 409-438.
197. Rajkai K., 1984. A talaj kapilláris vezetőképességének számítása a pF-görbe alapján. *Agrokémia és Talajtan* 33. 50-62.
198. Rajkai K., 1988. A talaj víztartó képessége és különböző talajtulajdonságok összefüggésének vizsgálata. *Agrokémia és Talajtan*. 36-37, 15-30.
199. Rajkai K., 1993. A talajnedvesség energiaállapotának meghatározása. In: Búzás, I. (ed.) *Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv. 1. A talaj fizikai, vízgazdálkodási és ásványtani vizsgálata*. INDA 4231 Kiadó. Budapest. 143-161.
200. Rajkai K., Kabos S., van Genuchten M. Th. & Jansson P.E., 1996. Estimation of waterretention characteristics from the bulk density and particle-size distribution of Swedish soils. *Soil Sci.* 161. 832-845.
201. Rajkai K., 2004. A víz mennyisége, eloszlása és áramlása a talajban. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet. Budapest.
202. Rao P-H., He M., Yang X., Zhang Y-C., Sun S-Q. & Wang J-S., 2006. Effect of an anionic surfactant on hydraulic conductivities of Sodium- and Calcium-saturated soils. *Pedosphere*. 16 (5). 673–680.
203. Renshaw C. E., Zynda G. D. & Fountain J. C., 1997. Permeability reductions induced by sorption of surfactant. *Water resources research* 33 (3). 371-378.
204. Rétháti, L., 1983. *Groundwater in civil engineering. Developments in Geotechnical Engineering* 35. Elsevier Scientific Publ. Company.
205. Russel D.L., 1992. *Remediation manual for petroleum-contaminated soil*, Technomic publication, Lanscaster, PA, USA.
206. Salmang H. & Scholze H., 1982. *Keramik Teil 1.2.*, Springer-Verlag, Berlin.
207. Salter P. J. & Williams, J. B., 1967. The influence of texture on the moisture characteristics of soils. IV. A method of estimating the available-water capacities of
208. Sardin, M., Dridl-Dhaouadi, S., Maunier, C. & Simonnot M.O., 1998. Transient transport of surfactant in a calcaeous and clayey sand. *Phys. Chem. Elsevier. Earth*, 23 (2). 221-227.
209. Scamehorn J. F., Schechter R. S. & Wade, W. H., 1982. Adsorption of surfactants on mineral oxide surfaces from aqueous solutions, *J. Colloid Interface Sci.* 85. 463-477.

210. Schladot J. D., Klumpp E., Dürbeck W. & Schwuger M.J., 1994. A felületaktív anyagok jelentősége. *Journal Oil Soap Cosmetics* 18. 9-19.
211. Shaw D. J., 1986. Bevezetés a kolloid- és felületi kémiába. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
212. Siebold A., Nardin M., Schultz J., Walliser A. & Oppliger M., 2000. Effect of dynamic contact angles on capillary rise phenomena, *Colloid Surf. A*, 161. 81 – 87.
213. Six J., Elliott E.T. & Paustian K., 1999. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 63. 1350-1358.
214. Six J., Elliott, E. T., Paustian, K., 2000a. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil. Biol. Biochem.* 32. 2099-2103.
215. Six J., Paustian K., Elliott E. T. & Combrink C., 2000b. Soil structure and soil organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil. Soc. Sci. Am. J.* 64. 681-689.
216. Six J., Bossuyt H., Degryze S. & Deneff K., 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil. Till. Res.* 79. 7-31.
217. Slichter C., 1898. Theoretical investigation of the motion of ground waters. U.S. Geol. Survey Ann. Rept. 19. 295-384.
218. Smith W. O., Foote P.F. & Busang P. D., 1931. Capillary rise in sands by uniform spherical grain. *Physics* 1. 18-26.
219. Sorochan Ye. A., 1971. Swelling of clay soils. In: *Osnovaniya, fundamenty i podzemnyye sooruzheniya* (Sustructures, foundations, and underground structures). Moscow, Stroyizdat.
220. Sposito G., 1984. *The Surface Chemistry of Soils*, Oxford University Press, New York.
221. Sposito G., 1992. *The Surface Chemistry of Soils* Oxford University Press, New York.
222. Stefanovits P., 1975. *Talajtan*. Mezőgazdasági kiadó. Budapest.
223. Stefanovits P., 1981. *Talajtan*. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
224. Stefanovits P., Filep Gy. & Fülekgy Gy., 1999. *Talajtan*. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
225. Stephens D. B., 1996. *Vadose zone hydrology*, Chemical Rubber Corp., Boca Raton, Fla.
226. Subrahmanyam T. V., Prestidge C. A. & Ralston J, 1996. Contact angle and surface analysis studies of sphalerite particles, *Miner. Eng.* 9. 727 – 741.

227. Sungjun B., Meherunnesha B., Mannan & Woojin L., 2012. Adsorption of cationic cetylpyridinium chloride on pyrite surface, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 18 (4). 1482-1488.
228. Sujbert L., 2009. Tenzid xenobiotikumok az emberi környezetben, kölcsönhatásaik a humán ökoszisztémával. *Egészségtudomány. Közlemény. LIII.* (1).
229. Swartzendruber D., 1956. Anomalies in capillary intake as explained by capillary rise experiments. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 20. 453-458.
230. Szántó F., 1986. *A kolloidkémia alapjai*. Szeged.
231. Szántó F., 1992. *Kolloidika*. Tankönyvkiadó. Budapest.
232. Szántó F., 1995. *A kolloidika alapjai*, JATEPress, Szeged.
233. Szelényi F., 1957. Laboratóriumi vizsgálati módszer a talajok levegő- és vízgazdálkodási adottságainak meghatározására. *Agrokémia és Talajtan.* 3. 235-252.
234. Theng, B. K. G., 1979. *Formation and Properties of Clay-Polymer Complexes* Developments in Soil Sci. 9 Elsevier Science Publishing. Amsterdam.
235. Tiberg F., Zhmud B., Hallstensson K. & von Bahr M., 2000. Capillary rise of surfactant solutions. *Phys. Chem. Phys.* 2. 5189-5196.
236. Tietje O. & Tapkenhinrichs M., 1993. Evaluation of pedo-transfer functions. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 57. 1088–1095.
237. Tisdall J. M. & Oades, J. M., 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33. 141-163.
238. Tyurin I. V., 1931. A new modification of the volumetric method of determining soil 344 organic matter by means of chromic acid. *Pochvovedenie.* 5–6. 36–47.
239. Tombácz E., 2002. *Magyar Kémiai Folyóirat* 58 (7). 306-313.
240. Tombácz E., 2003. *Talajreleváns határfelületi és kolloid kölcsönhatások MTA Doktori értekezés.* Szeged.
241. Tóth B., 2010. Talajok víztartó képességét becslő módszerek. *Agrokémia és Talajtan.* 59. 379-398.
242. Tóth B., 2011. Jellegetes hazai talajok víztartó képességének számítása és jellemzése talajtérképi információk alapján. *Doktori (PhD) értekezés.* Pannon Egyetem Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok Doktori Iskola.
243. Tóth B., Makó A. & Tóth G., 2014. Role of Soil properties in water retention characteristics of main Hungarian Soil Types, *Journal of Central European Agriculture* 15 (2). 137-153.

244. Tóth Z., 2012a. Egy kationos tenzid (CPC) adszorpciójának tanulmányozása természetes adszorbenseken, Diplomadolgozat, Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Veszprém.
245. Tóth Z., 2012b. Hexadecil-piridínium-klorid (CPC) adszorpciós izotermák meghatározása különböző agyagásványokon és talajokon, Beszámoló.
246. Wagener S. & Schink B., 1987. Anaerobic degradation of nonionic and ionic surfactants in enrichment cultures and fixed bed reactors. *Water Resour.* 21. 615-622.
247. Wagner J. H., Chen B. Brownawell J. & Westall J. C., 1994. Use of cationic surfactants to modify soil surfaces to promote sorption and retard migration of hydrophobic organic compounds, *Environ. Sci. Technol.* 28 (2). 231-237.
248. Id. Várallyay Gy., 1942. Öntözési tapasztalatok Márialigeten. *Öntözésügyi Közlemények.* 4 (2). 323–325.
249. Várallyay Gy., 1973a. Berendezés bolygatatlan szerkezetű talajoszlopok hidraulikus vezetőképességének meghatározására. *Agrokémia és Talajtan.* 22. 23-36.
250. Várallyay Gy., 1973b. A talaj nedvességpotenciálja és új berendezés annak meghatározására az alacsony (atmoszféra alatti) tenziótartományban. *Agrokémia és Talajtan.* 22. 1-21.
251. Várallyay Gy., Rajkai K., Pacsepszik J. A. & Mironenko, E. V., 1979. A pF-görbék matematikai leírása. *Agrokémia és Talajtan.* 28. 15-38.
252. Várallyay Gy., 1993. A fizikai talajféleség meghatározása. In: Búzás, I. (ed.) *Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv. 1. A talaj fizikai, vízgazdálkodási és ásványtani vizsgálata.* INDA 4231 Kiadó. Budapest.
253. Várallyay Gy., 2002. *A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai.* Budapest.
254. Várallyay Gy., 2004. A talaj vízgazdálkodásának agroökológiai vonatkozásai. *AGRO-21 Füzetek.* 37. 50–70.
255. Várallyay Gy., 2005a. Magyarország talajainak vízraktározó képessége. *Agrokémia és Talajtan.* 54. 5–24.
256. Várallyay Gy., 2005b. Soil water management and the environment. In: *Environmental Science and Technology in Hungary.* Műszaki Kiadó. Budapest. CD ROM.
257. Vavra, C. L., Kaldi, J. G. & Sneider, R. M., 1992. Geological applications of capillary pressure: a review. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin.* 76. 840-850.
258. Vereecken H., Weynants M., Javaux M., Pachepsky Y., Schaap M.G. & van Genuchten M.Th., 2010. Using pedotransfer functions to estimate the van Genuchten–Mualem soil hydraulic properties: A Review, *Vadose Zone Journal* 9. 1-26.

259. Villar M. C., Petrikova V., D Az-Ravina M. & Carballas T., 2004. Changes in soil microbial biomass and aggregate stability following burning and soil rehabilitation. *Geoderma* 122. 73–82.
260. Warkentin B.P., 1971. Effects of compaction and transmission of water in soils. 126-153. In K. K. Barnes, W. M. Carleton, T. M. Taylor, R. I. Throckmorton, and G.E. Vanden Berg (eds.) *Compaction of agricultural soils*. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI.
261. Wershaw R. L., 1993. Model for Humus in Soils and Sediments. *Environmental Science & Technology*. 27. 814-816.
262. Wershaw R. L., Llaguno E. C., Leenheer J. A. & Sperline R. P., 1996. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and engineering aspects. 108 (2-3). 199-211, 213-223.
263. Washburn E., 1921. *Phys. Rev.* 17 (3). 273.
264. Watson C. L. & Letey J., 1970. Indices for characterizing soil-water repellency based upon contact angle–surface tension relationships. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34. 841–844.
265. Willis W. O. & Raney W. A., 1971. Effects of compaction on content and transmission of heat in soils. 165-177. In K. K. Barnes et al. (ed.) *Compaction of agricultural soils*. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI.
266. Witt J., Ramji N., Gibb R., Dunavent J., Flood J., & Barnes J., 2005. Antibacterial and Antiplaque Effects of a Novel, Alcohol-Free Oral Rinse with Cetylpyridinium Chloride, *The Journal of Contemporary Dental Practice* 6 (1). 1-9.
267. Yong R.N., Mohamed A. M. O. & Warkentin B.P., 1992. *Principles of contaminant transport in soils*. Elsevier. Amsterdam.
268. Yuan C. & Jafvert C.T., 1997. Sorption of linear alcohol ethoxylate surfactant homologs to soils. *Journal of Contaminant Hydrology* 28. 311-325.
269. Zawadzki S. & Michalowska K., 1974. The relationship between pF values and soil surface area. *Polish J. Soil Sci.* 7. 47-51.
270. Zoller U., 1994. Non-ionic surfactants in reused water: Are activated sludge/soil aquifer treatments sufficient? *Water Resour.* 28. 1625-1629.

*Internetes hivatkozások*

1. [https://en.wikipedia.org/wiki/Cetylpyridinium\\_chloride](https://en.wikipedia.org/wiki/Cetylpyridinium_chloride)
2. [http://www.uni-miskolc.hu/~kemszori/KolloidKemia\\_2017\\_09.pdf](http://www.uni-miskolc.hu/~kemszori/KolloidKemia_2017_09.pdf)

## 8. Ábrák és táblázatok jegyzéke

1. *ábra* Montmorillonit rétegszerkezete (POPPE és munkatársai, 2001)
2. *ábra* A kaolinit rétegszerkezete (POPPE és munkatársai, 2001)
3. *ábra* Tenzid micella ([www.uni-miskolc.hu/~kemszori/KolloidKemia\\_2017\\_09.pdf](http://www.uni-miskolc.hu/~kemszori/KolloidKemia_2017_09.pdf))
4. *ábra* Cetil-piridinium-klorid (CPC) szerkezeti képlete (cit. TÓTH, 2012. Chemical book: Cetylpyridinium chloride monohydrate, 2011.10.14. [http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty\\_EN\\_CB7733961.htm](http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB7733961.htm))
5. *ábra* A GILES-féle izoterma típusok (NAGY, 2018)
6. *ábra* Ionos tenzidek fordított orientációs adszorpciós modellje (ATKIN és munkatársai, 2003)
7. *ábra* Kaolin adszorpciós izotermája
8. *ábra* Pannon kvarchomok (1. minta) kapilláris vízemelés magassága kezelésekre hatására
9. *ábra* Paksi lösz (2. minta) kapilláris vízemelésének magassága kezelésekre hatására
10. *ábra* Kaolin (11. minta) kapilláris vízemelésének vizsgálata kezelésekre hatására
11. *ábra* Bentonit (12. minta) kapilláris vízemelésének magassága kezelésekre hatására
12. *ábra* Ramann-féle barna erdőtalaj A szint (3. minta) kapilláris vízemelés magassága kezelésekre hatására
13. *ábra* Ramann-féle barna erdőtalaj B szint (4. minta) kapilláris vízemelés magassága kezelésekre hatására
14. *ábra* Agyagbemosódásos barna erdőtalaj A szint (5. minta) kapilláris vízemelés magassága kezelésekre hatására
15. *ábra* Agyagbemosódásos barna erdőtalaj B szint (6. minta) kapilláris vízemelés magassága kezelésekre hatására
16. *ábra* Pszeudoglejes barna erdőtalaj B szint (7. minta) kapilláris vízemelés magassága kezelésekre hatására
17. *ábra* Mészlepedékes csernozjom talaj A szint (8. minta) kapilláris vízemelés magassága kezelésekre hatására
18. *ábra* Középes réti szolonyec B szint (9. minta) kapilláris vízemelés magassága kezelésekre hatására
19. *ábra* Nem karbonátos réti talaj A szint (10. minta) kapilláris vízemelés magassága kezelésekre hatására
20. *ábra* Kezelt talajtípusok értékelése kapilláris vízemelés magasság 24. órájában

1. *táblázat*: A vizsgált adszorptívum jellemző adatai
2. *táblázat*: Talajminták, ásványi alkotók és őrlemények talajkémiai paraméterei
3. *táblázat*: Talajminták, ásványi alkotók és őrlemények talajfizikai paraméterei
4. *táblázat*: Ásványi őrlemény keveréksorozatok összetételének arányai az *Atterberg-féle rendszer* alapján
5. *táblázat*: A tenzides kezelések kivitelezése során alkalmazott bemérések
6. *táblázat*: Tenzidadszorpció vizsgálatok paraméterei
7. *táblázat*: Kaolin adszorpció izotermápointjainak kiindulási és egyensúlyi koncentrációja
8. *táblázat*: Ásványi alkotók és kezelési tényezők kölcsönhatásának értékelése a kapilláris vízemelés magasságával és térfogattömegével, *többváltozós varianciaanalízis* alapján
9. *táblázat*: Talajminták és kezelési típusok kölcsönhatásának értékelése a kapilláris vízemelés magasságával *többváltozós varianciaanalízis* alapján
10. *táblázat*: Kezelések hatása a talajfizikai paraméterekre ásványi keveréksorozat-, és talajmintákon
11. *táblázat*: Ásványi keveréksorozat- és talajminták térfogattömegének vizsgálata *Post Hoc teszt* alapján
12. *táblázat*: Kapilláris vízemelés és a térfogattömeg, sűrűség korrelációja a kezelések hatására
13. *táblázat*: Tenzides kezelés hatása a talajminták makroaggregátum-stabilitása és a kapilláris vízemelése összefüggésében
14. *táblázat*: Talajminták egyes talajfizikai paramétere közti korrelációja kezelések hatására
15. *táblázat*: Ásványi alkotók egyes frakciójának átlagértékei kezelésként *Post-Hoc teszt* alapján
16. *táblázat*: Talajminták egyes frakciójának átlagértékei kezelésként *Post-Hoc teszt* alapján
17. *táblázat*: *Eredeti* ásványi keveréksorozat- és talajminták sorrendje *Post Hoc teszt* alapján
18. *táblázat*: *Kontrollkezelt* ásványi keveréksorozat- és talajminták sorrendje *Post Hoc teszt* alapján
19. *táblázat*: *Tenziddel kezelt* ásványi keveréksorozat- és talajminták sorrendje *Post Hoc teszt* alapján

*Melléklet:*

- I. *ábra*: Bentonit keveréksorozat kapilláris vízemelés magasságának időgörbéje az *eredeti* mintákra
- II. *ábra*: Bentonit keveréksorozat kapilláris vízemelés magasságának időgörbéje a *kontrollkezelt* mintákra
- III. *ábra*: Bentonit keveréksorozat kapilláris vízemelés magasságának időgörbéje a *tenziddel kezelt* mintákra

- IV. *ábra Kaolin keveréksorozat kapilláris vízemelés magasságának időgörbéje az eredeti mintákra*
- V. *ábra Kaolin keveréksorozat kapilláris vízemelés magasságának időgörbéje a kontrollkezelt mintákra*
- VI. *ábra Kaolin keveréksorozat kapilláris vízemelés magasságának időgörbéje a tenziddel kezelt mintákra*
- VII. *ábra Kapilláris vízemelés magasságának időgörbéje eredeti talajmintákra*
- VIII. *ábra Kapilláris vízemelés magasságának időgörbéje a kontrollkezelt talajmintákra*
- IX. *ábra Kapilláris vízemelés magasságának időgörbéje tenziddel kezelt talajmintákra*
- X. *ábra Bentonit keveréksorozat 7. órás kapilláris vízemelés magassága és az agyagfrakció aránya közti  $R^2$  összefüggés az eredeti mintákra*
- XI. *ábra Bentonit keveréksorozat 7. órás kapilláris vízemelés magassága és az agyagfrakció aránya közti  $R^2$  összefüggés kontrollkezelt mintákra*
- XII. *ábra Bentonit keveréksorozat 7. órás kapilláris vízemelés magassága és az agyagfrakció aránya közti  $R^2$  összefüggés a tenziddel kezelt mintákra*
- XIII. *ábra Kaolin keveréksorozat 24. órás kapilláris vízemelés magassága és az agyagfrakció aránya közti  $R^2$  összefüggés az eredeti mintákra*
- XIV. *ábra Kaolin keveréksorozat 24. órás kapilláris vízemelés magassága és az agyagfrakció aránya közti  $R^2$  összefüggés a kontrollkezelt mintákra*
- XV. *ábra Kaolin keveréksorozat 24. órás kapilláris vízemelés magassága és az agyagfrakció aránya közti  $R^2$  összefüggés a tenziddel kezelt mintákra*
- XVI. *ábra Kezelt talajminták és ásványi őrlmények higroszkóposságának összehasonlítása*
- XVII. *ábra Kezelt talajminták és ásványi őrlmények légszáraz nedvességtartalmának összehasonlítása*
- XVIII. *ábra Kezelt talajminták és ásványi őrlmények fajlagos felületének összehasonlítása*
- XIX. *ábra Kezelt talajminták és ásványi őrlmények agyagfrakciójának összehasonlítása*
- XX. *ábra Kezelt talajminták és ásványi őrlmények porfrakciójának összehasonlítása*
- XXI. *ábra Kezelt talajminták és ásványi őrlmények homokfrakciójának összehasonlítása*
- XXII. *ábra Kezelt talajminták és ásványi őrlmények Arany-féle kötöttségének összehasonlítása*
- XXIII. *ábra Kezelt talajminták és ásványi őrlmények térfogattömegének összehasonlítása*
- XXIV. *ábra Kezelt talajminták és ásványi őrlmények sűrűségének összehasonlítása*
- XXV. *ábra Kezelt talajminták és ásványi őrlmények makroaggregátum-stabilitásának összehasonlítása*

- I. *táblázat ANOVA többváltozós varianciaanalízis* értékelés a kezelt ásványi talajalkotók kapilláris vízemelés magasságára és térfogattömegére
- II. *táblázat ANOVA többváltozós varianciaanalízis* értékelés a kezelt talajminták kapilláris vízemelés magasságára és térfogattömegére
- III. *táblázat* Talajminták ásványtani összetétele (%)
- IV. *táblázat* Az ásványi őrlmények mechanikai összetétele (%) kezelési típusok alapján
- V. *táblázat* Talajminták mechanikai összetétele (%) kezelési típusok alapján
- VI. *táblázat* Mechanikai összetételt befolyásoló kezelési tényezők a talajmintákon, ásványi talajalkotókon
- VII. *táblázat* Talajminták és ásványi keveréksorozat-alkotók *mechanikai összetételének* szignifikancia vizsgálata kezelésekre hatására
- VIII. *táblázat* Térfogattömeg szignifikancia értékelése *eredeti* keveréksorozat- és talajmintákra
- IX. *táblázat* Térfogattömeg szignifikancia értékelése *kontrollkezelt* keveréksorozat- és talajmintákra
- X. *táblázat* Térfogattömeg szignifikancia értékelése *tenziddel kezelt* keveréksorozat- és talajmintákra
- XI. *táblázat* Kapilláris vízemelés magasság szignifikancia értékelése (24. óra) *eredeti* mintákra
- XII. *táblázat* Kapilláris vízemelés magasság szignifikancia értékelése (24. óra) *kontrollkezelt* mintákra
- XIII. *táblázat* Kapilláris vízemelés magasság szignifikancia értékelése (24. óra) *tenziddel kezelt* mintákra

## 9. Köszönetnyilvánítás

A doktori kutatói tevékenységemhez kapcsolódó külföldi tanulmányutak, konferenciák a TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0003 és TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0005 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program, valamint a Balassi Intézet által támogatott „*Campus Hungary*” ösztöndíj TÁMOP-4.2.4B/2-11/1-2012-0001 és a TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0003 társfinanszírozásával valósultak meg.

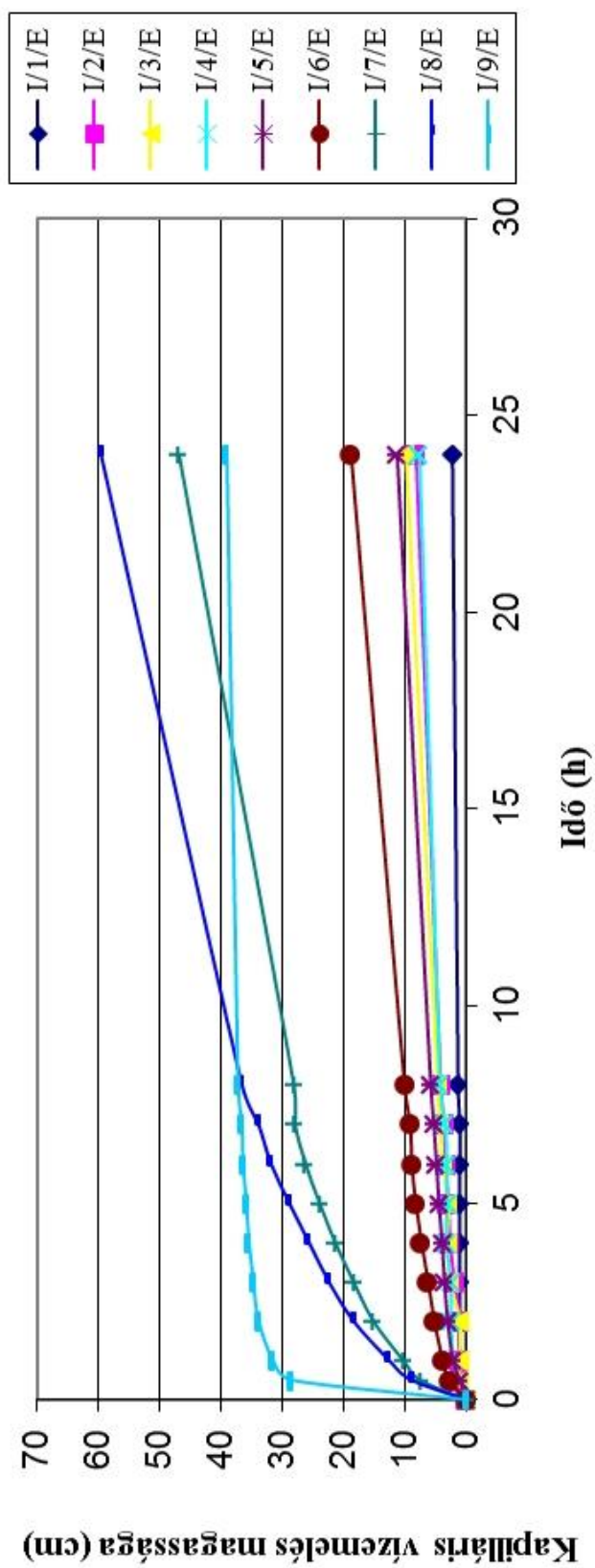
Köszönettel tartozom, hogy a kutatói munkám támogatásával a Pannon Egyetem, Georgikon Kar, Festetics Doktori Iskola (Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok Doktori Iskola) TÁMOP-4.2.2.B-15/1/KONV-2015-0004. „A Pannon Egyetem tudományos műhelyeinek támogatása” című pályázattal – „*Predoktori ösztöndíj*” – hozzájárult.

Köszönettel tartozom Dr. habil. Anda Angélnak, a Festetics Doktori Iskola vezetőjének, Prof. Dr. Tóth Gergelynek, a Talajtani és Környezetinformatikai Tanszék tanszékvezetőjének, hogy lehetőséget biztosítottak a doktori értekezés benyújtására.

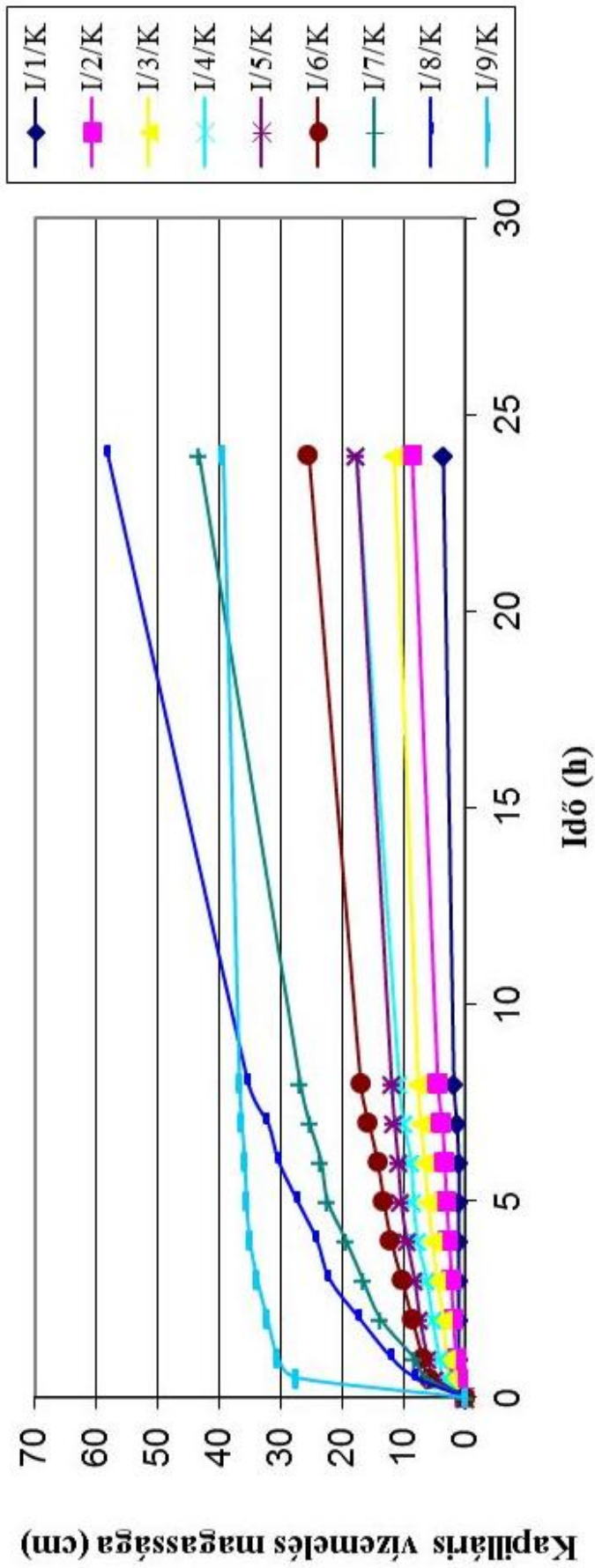
Köszönetemet szeretném kifejezni témavezetőmnek, Dr. Szakácsné Dr. Földényi Ritának, aki végig lelkesen támogatott, bízott bennem a kutatói éveim alatt, szakmailag segített, irányt mutatott a doktori feladataim elvégzésében. Továbbá köszönettel tartozom Dr. Makó Andrásnak, Dr. Sisák Istvánnak, Csákiné Dr. Tombác Etelkának, valamint †Dr. Patzkó Ágnesnek, hogy a doktori kutatói pályám szakmai támogatásához hozzájárultak.

Köszönettel tartozom a Pannon Egyetem Georgikon Karáról Dr. Kocsis Mihálynak, Hernádi Hildának, Pőcze Tamásnak, Kunics Gábornak, Harmat Adriennek, Baa Katalinnak, valamint a *Talajtani és Környezetinformatikai Tanszék* laboránsainak, †Borbély Jenőnének, Nemes Ágnesnek, Henger Gabriellának, akik a kutatáshoz kapcsolódó vizsgálatok előkészületeiben segítséget nyújtottak. A Pannon Egyetem Mérnöki Karáról köszönettel tartozom Dr. Yuzhakova Tatianának és Tóth Zoltánnak, valamint az MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Földtani és Geokémiai Intézetéről Dr. Balázs Rékának, akik részt vettek a kutatásomhoz kapcsolódó vizsgálatok elvégzésében.

## 10. Melléklet

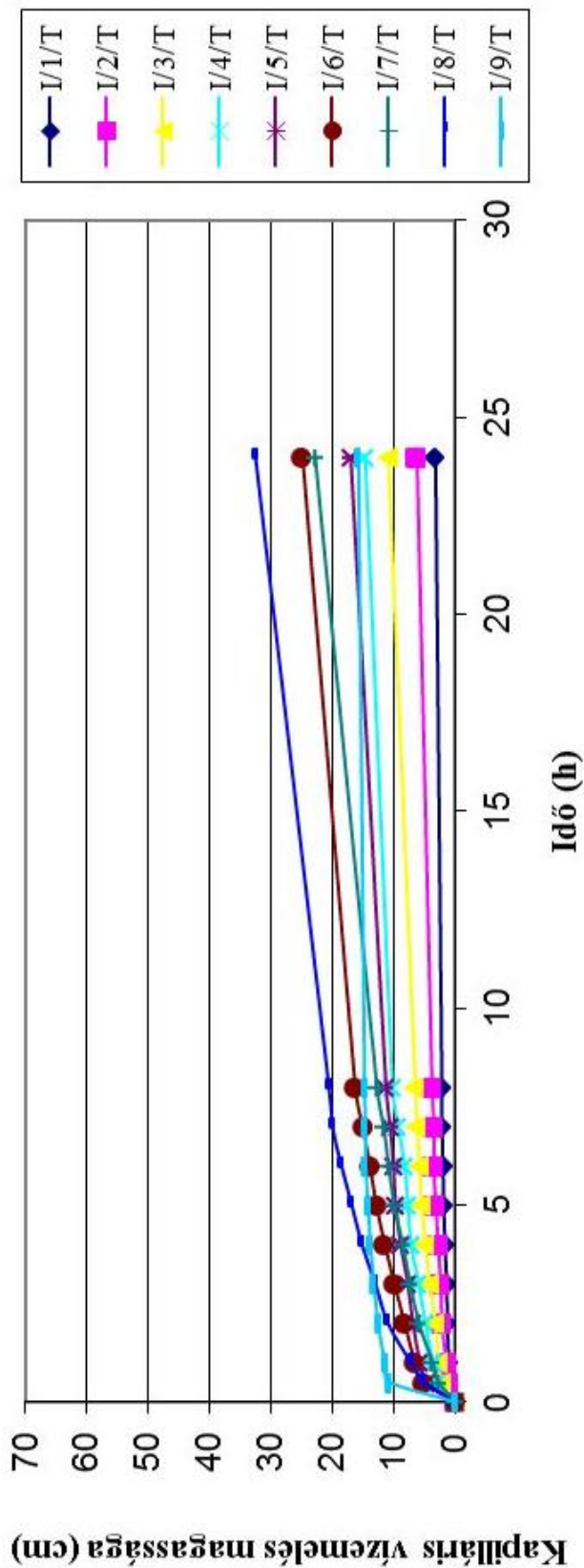


I. ábra  
Bentonit keveréksorozat kapilláris vízemelés magasságának időgörbéje az eredeti mintákra

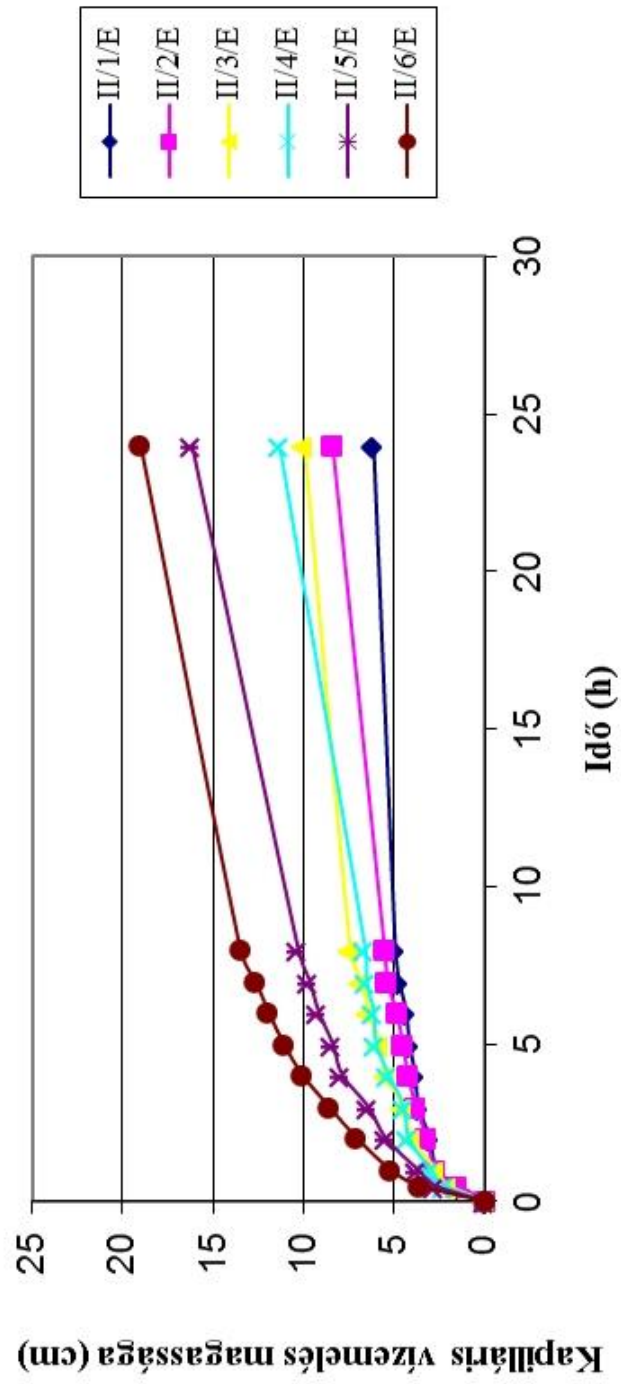


II. ábra

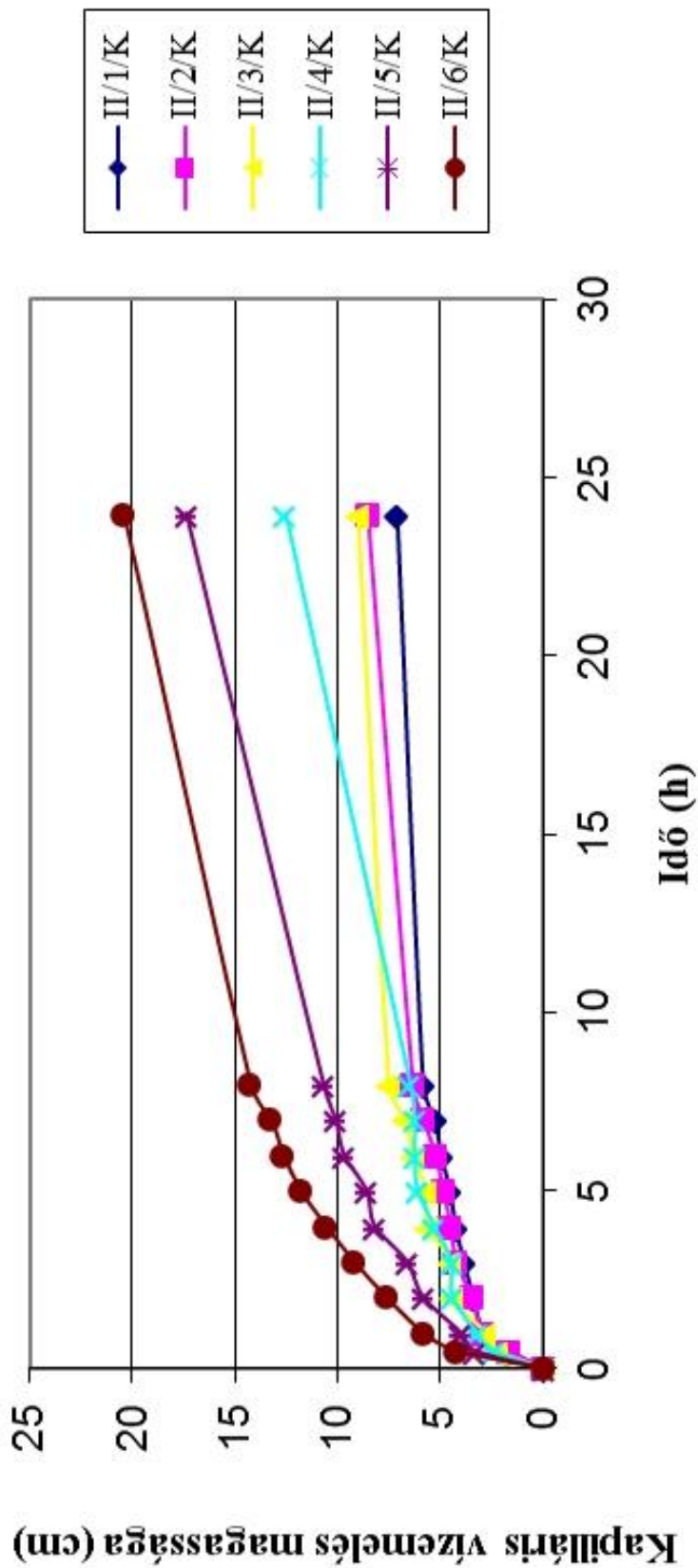
Bentonit keverékcsorogtat kapilláris vízemelés magasságának időgörbéje a kontrollkezelte mintákra



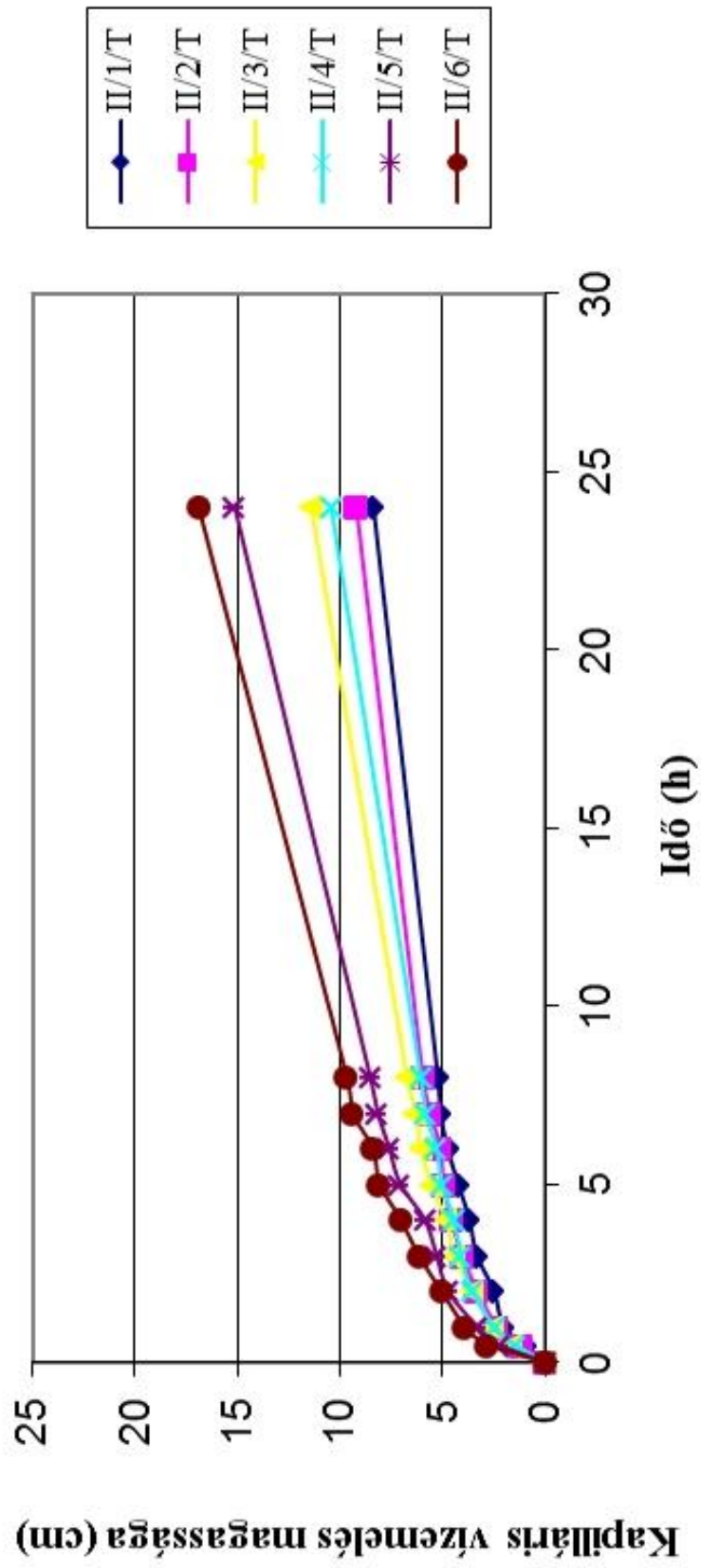
*III. ábra*  
 Bentonit keveréksorozat kapilláris vízemelés magasságának időgörbéje a tenziddel kezelt mintákra



IV. ábra  
Kaolin keveréksorozat kapillaris vizemelés magasságának időgörbéje az eredeti mintákra

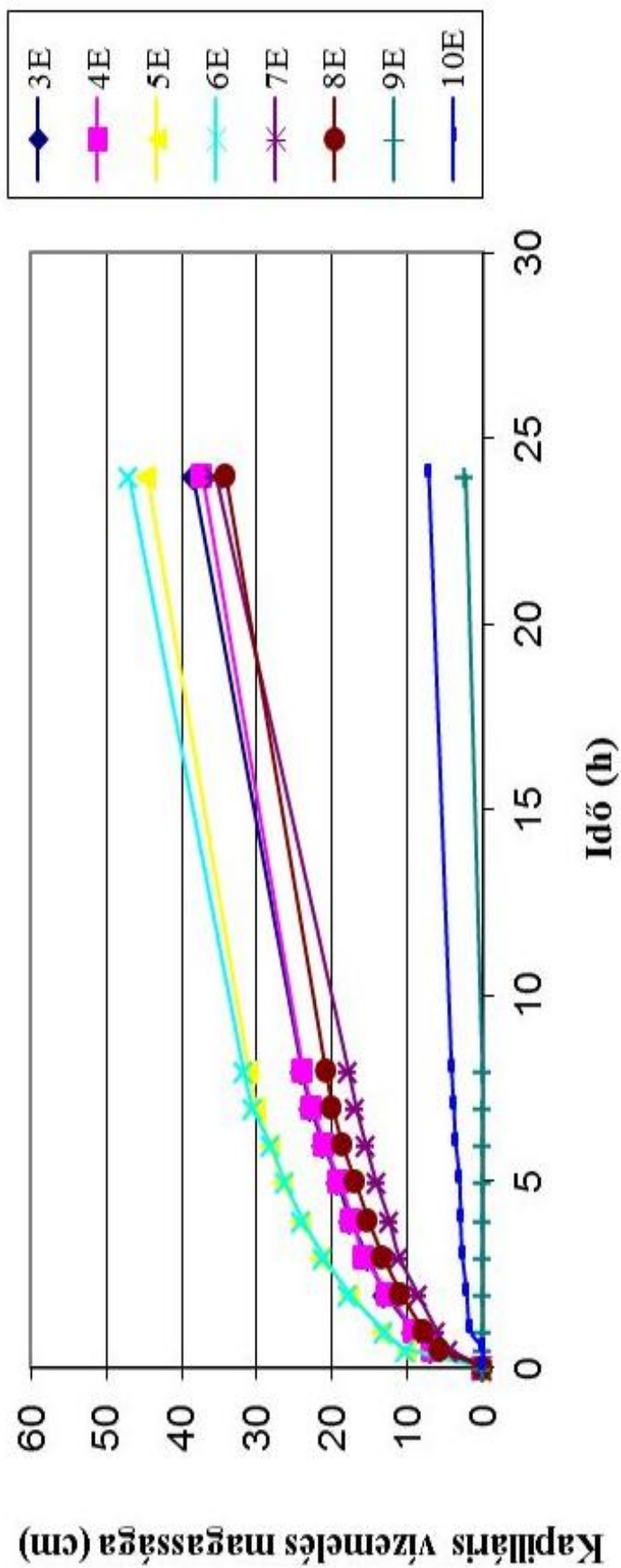


V. ábra  
 Kaolin keveréksorozat kapilláris vízemelés magasságának időgörbéje a kontrollkezelt mintákra

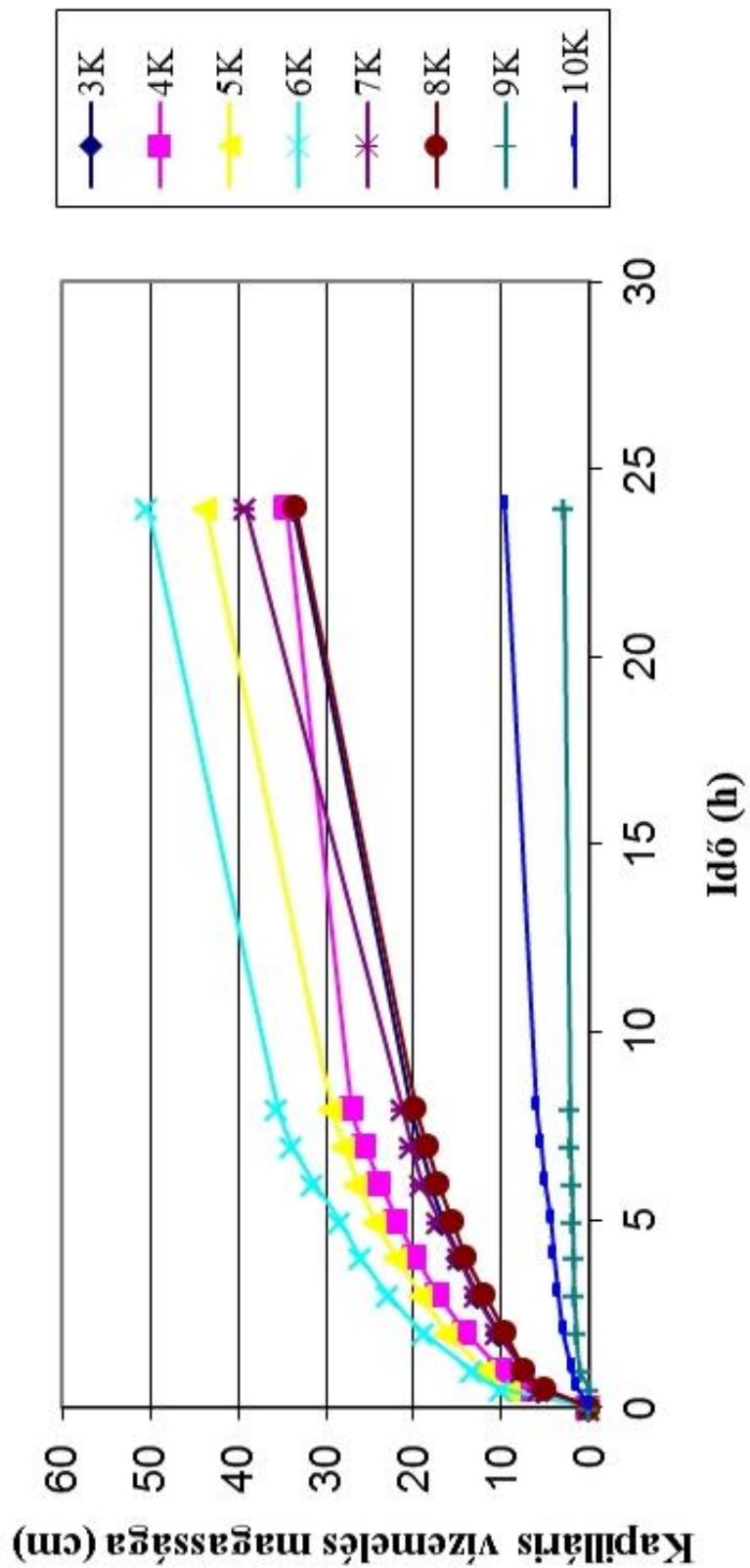


VI. ábra

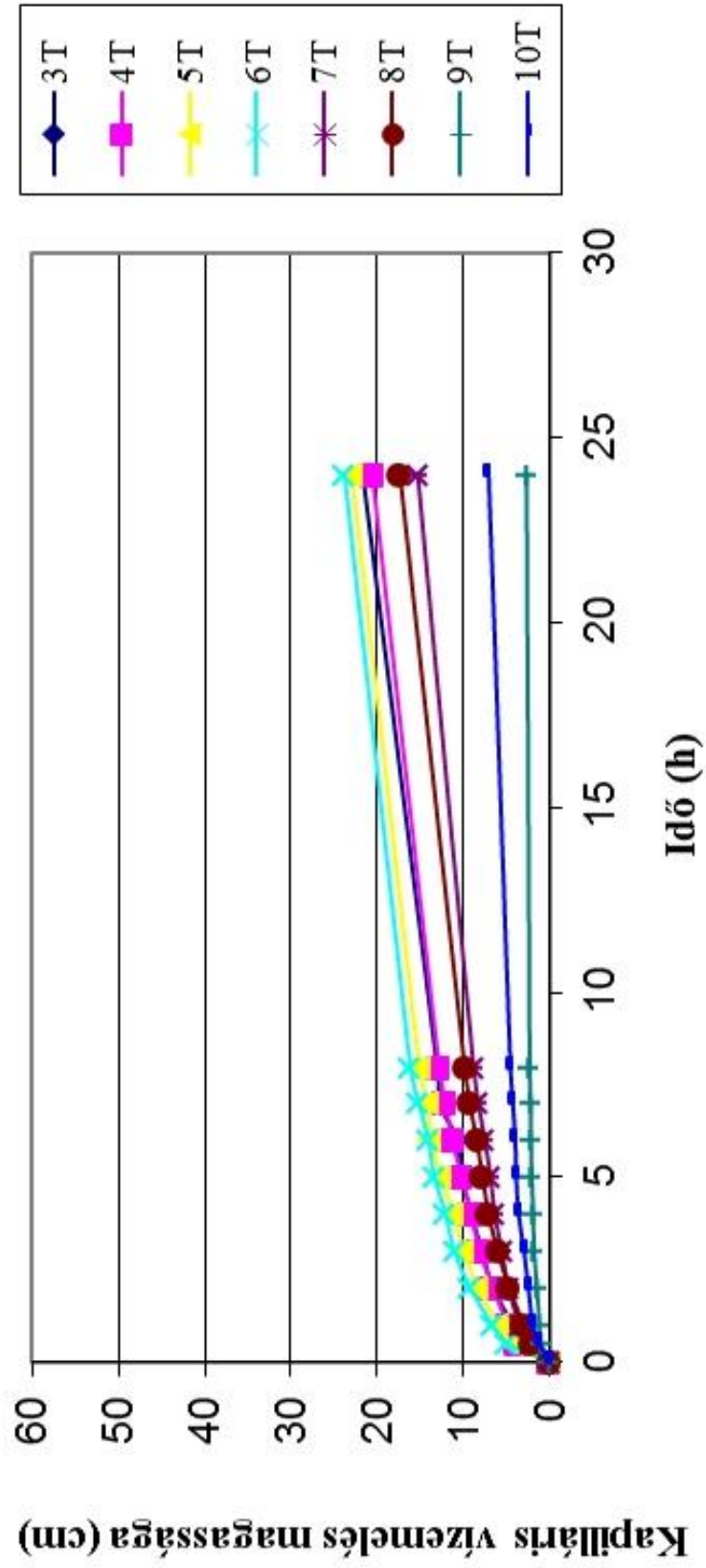
Kaolin keveréksorozat kapilláris vízemelés magasságának időgörbéje a tenziddel kezelt mintákra



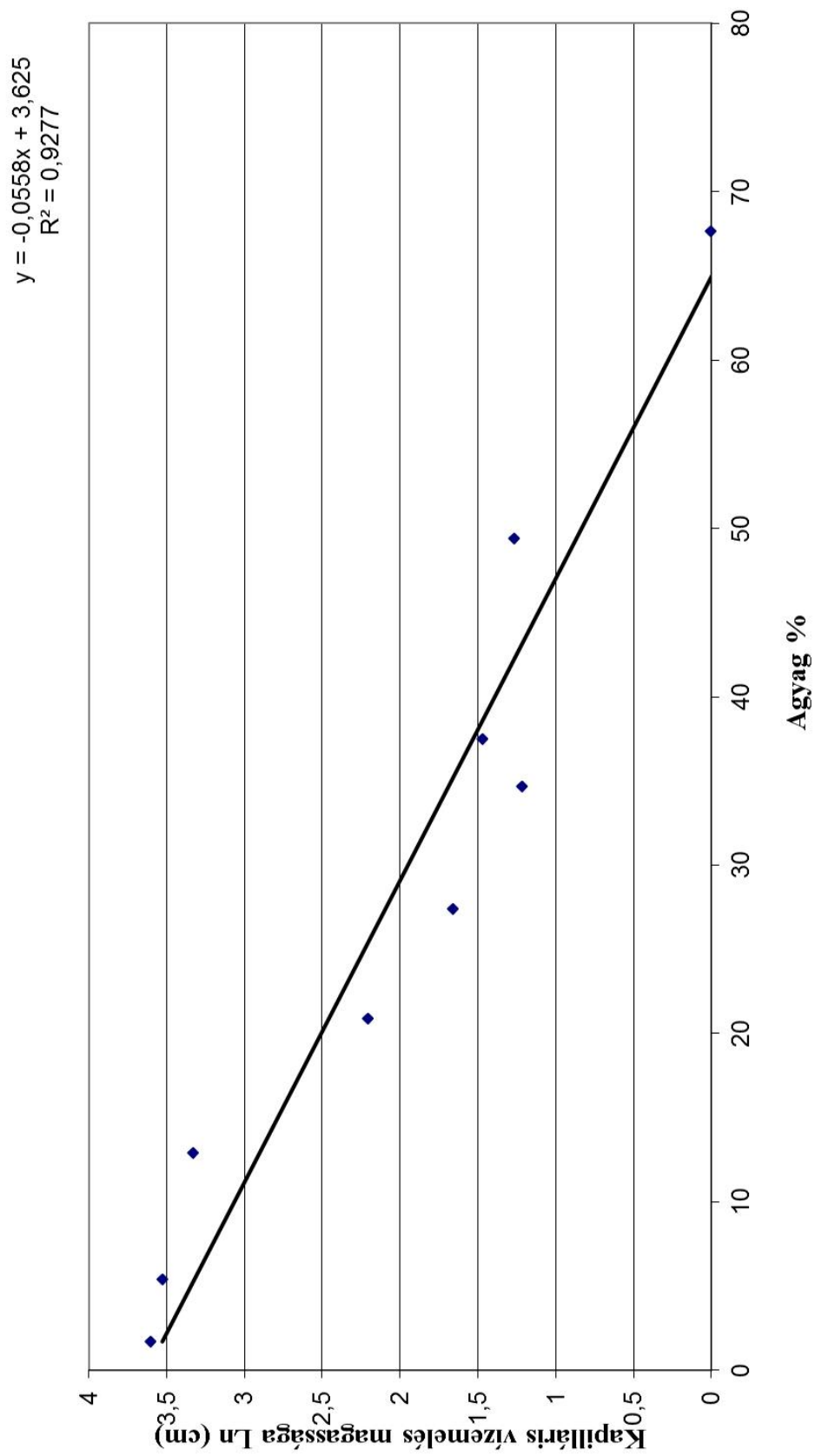
VII. ábra  
Kapillaris vízemelés magasságának időgörbéje az eredeti talajmintákra



VIII. ábra  
Kapilláris vízemelés magasságának időgömbje a kontrollkezelt talajmintákra

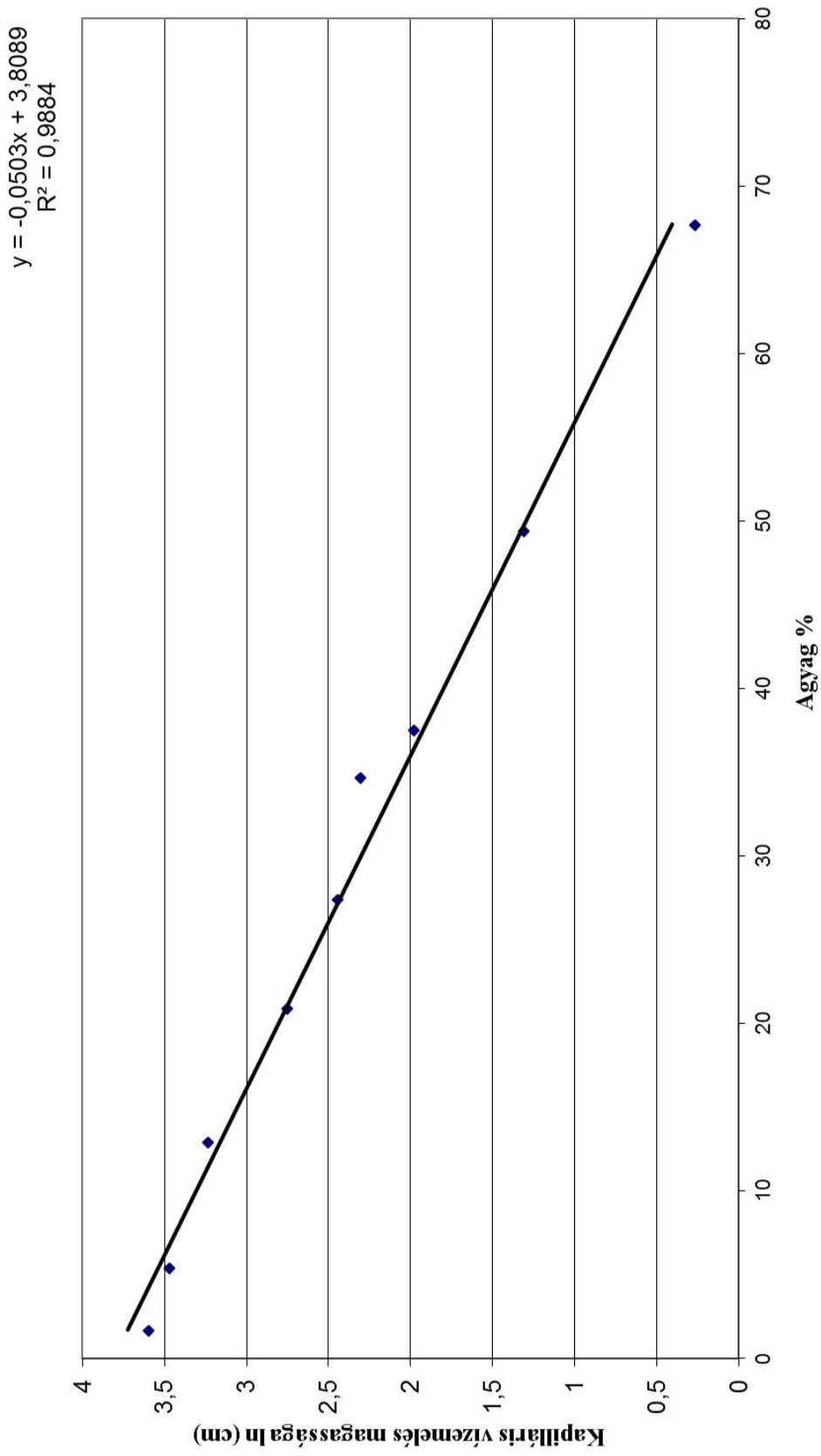


XIX. ábra  
Kapilláris vízemelés magasságának időgörbéje a tenziddel készült talajmintákra



X. ábra

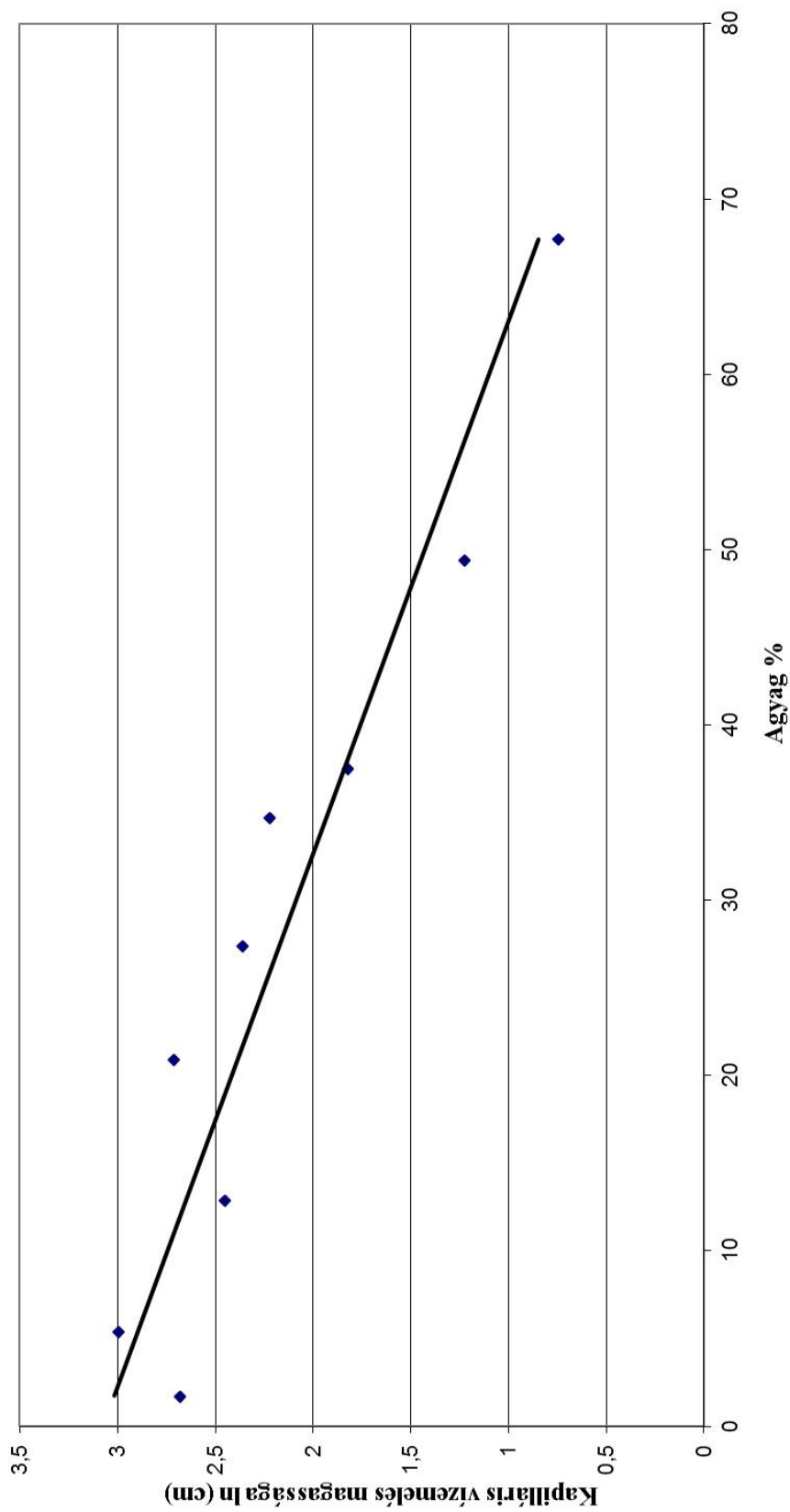
Bentonit keveréksorozat 7. órás kapillaris vízemelés magassága és az agyagfrakció aránya közti  $R^2$  összefüggés az eredeti mintákra



XI. ábra

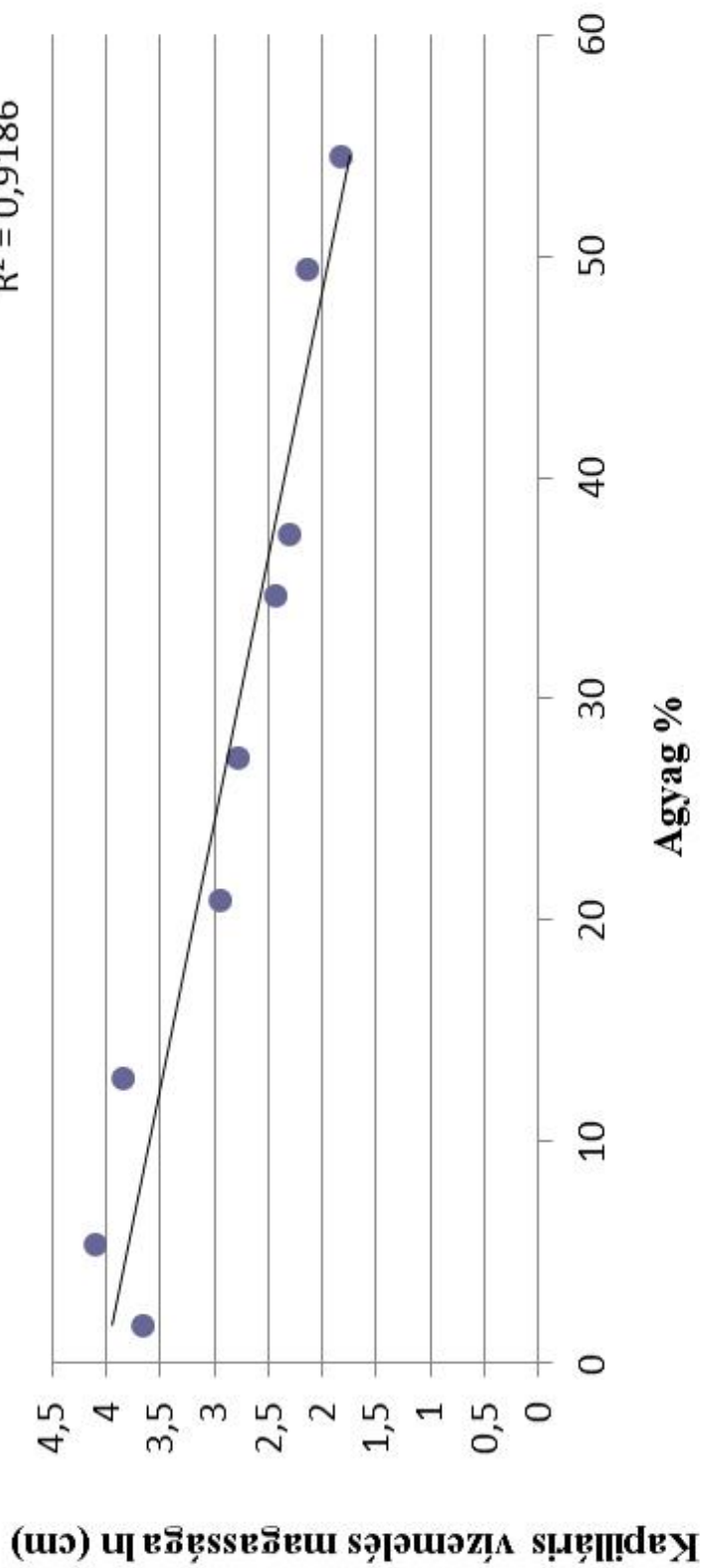
Bentonit keveréksorozat 7. órás kapilláris vízemelés magassága és az agyagfrakció aránya közti  $R^2$  összefüggés a kontrollkezelt mintákra

$$y = -0,0329x + 3,0736$$
$$R^2 = 0,8972$$



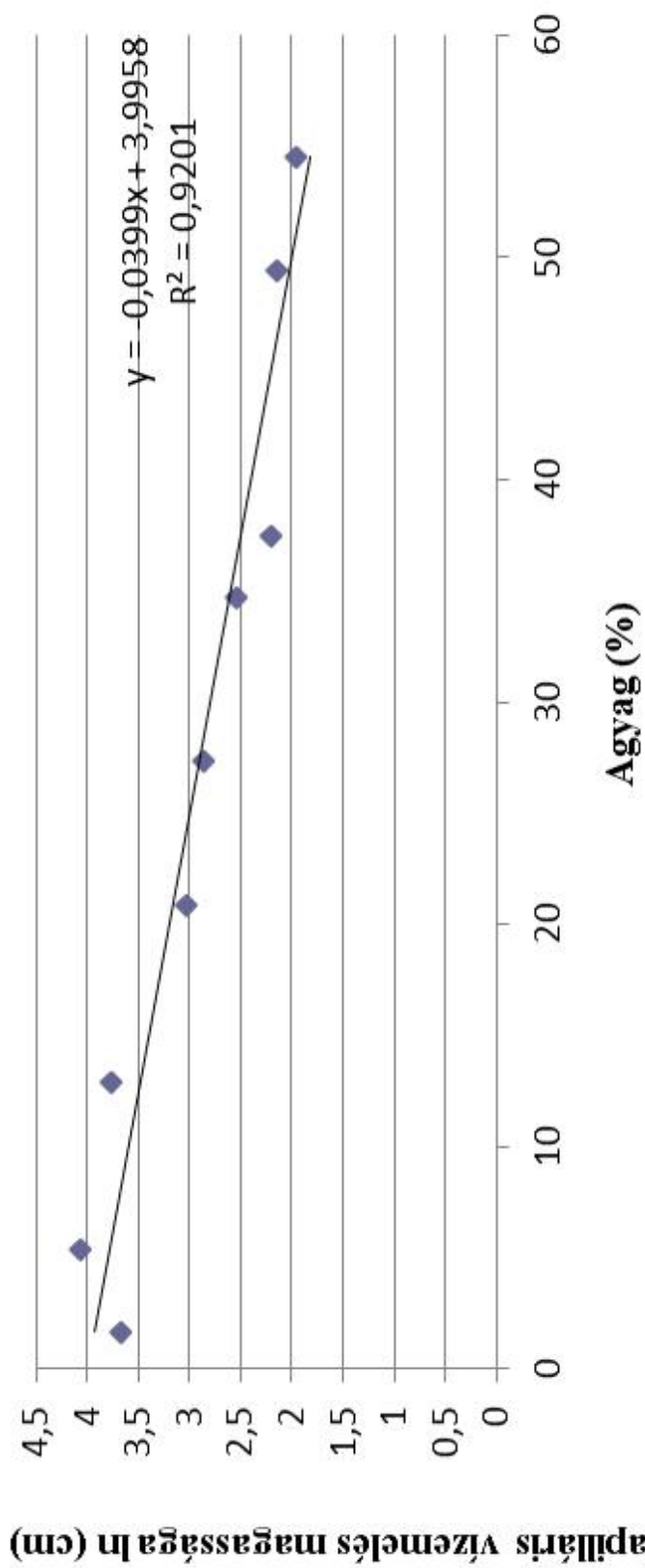
## XII. ábra

Bentonit keveréksorozat 7. órás kapillaris vizemelés magassága és az agyagfrakció aránya közti  $R^2$  összefüggés a *tenziddel kezelt* mintákra



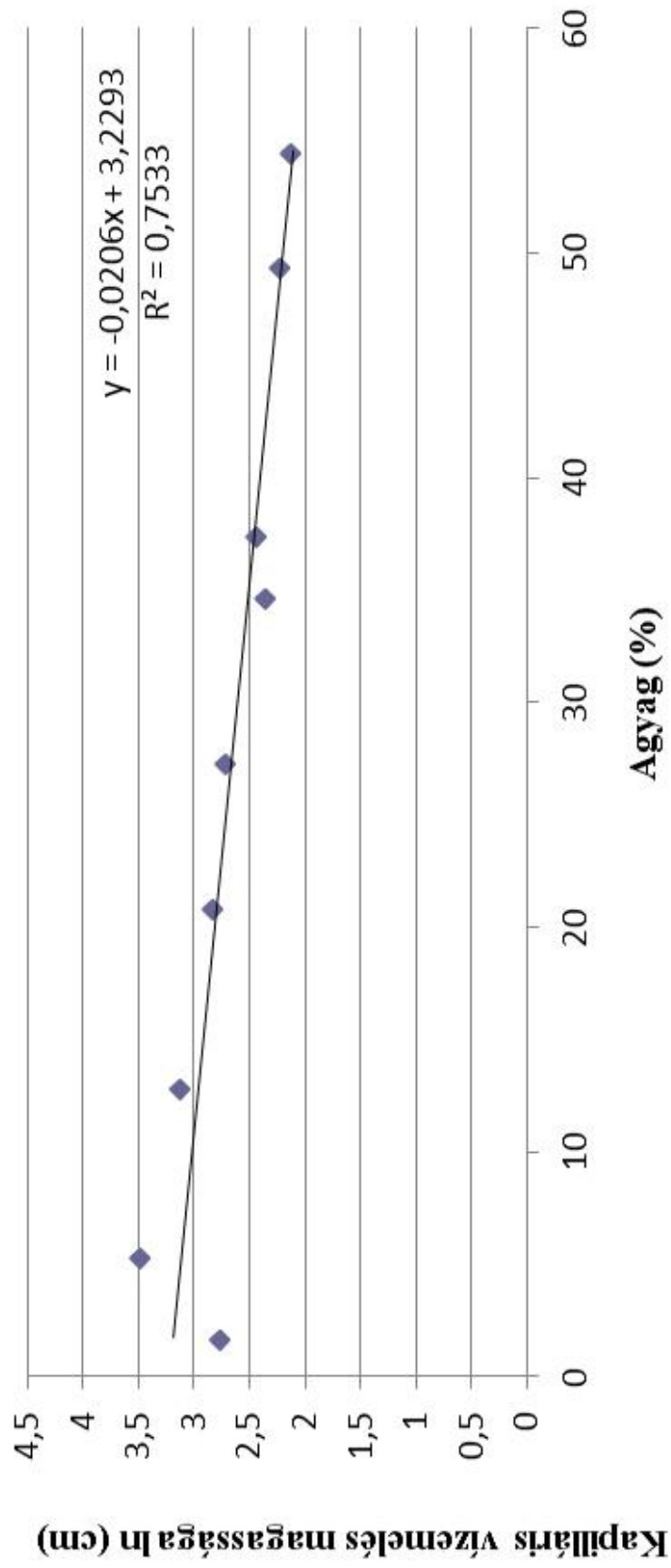
XIII. ábra

Kaolin keveréksorozat 24. órás kapilláris vízemelés magassága és az agyagfrakció aránya közti  $R^2$  összefüggés az eredeti mintákra



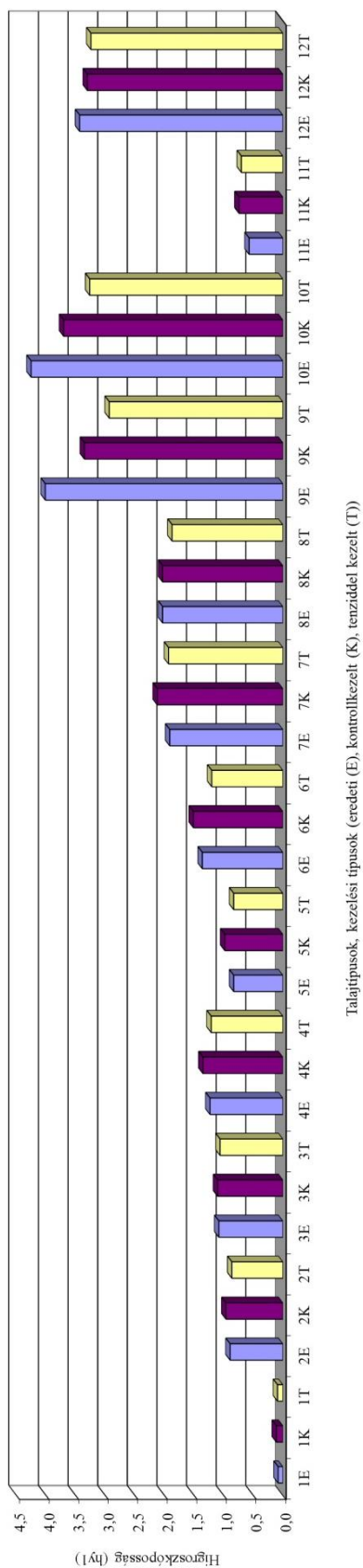
XIV. ábra

Kaolín keveréksorozat 24. órás kapilláris vízemelés magassága és az agyagfrakció aránya közti  $R^2$  összefüggés a kontrollkezelési mintákra

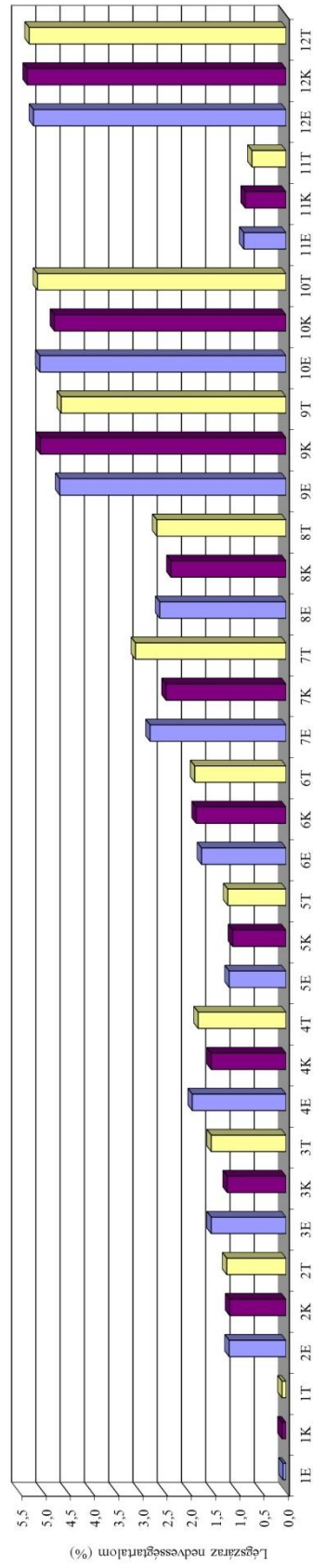


XIV. ábra

Kaolin keveréksorozat 24. órás kapilláris vízemelés magassága és az agyagfrakció aránya közti  $R^2$  összefüggés a tenziddel kezelt mintákra



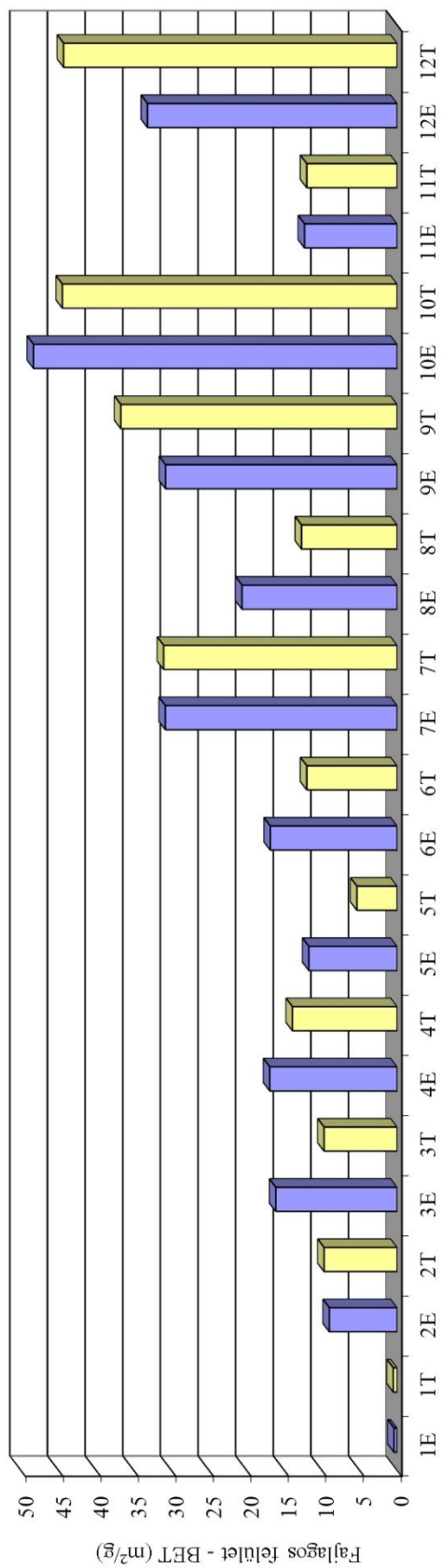
XVI. ábra  
Kezelt talajminták és ásványi örlemények higroszkóposságának összehasonlítása



Talajtípusok, kezelési típusok (eredeti (E), kontroll kezelt (K), tenzóval kezelt (T))

XVII. ábra

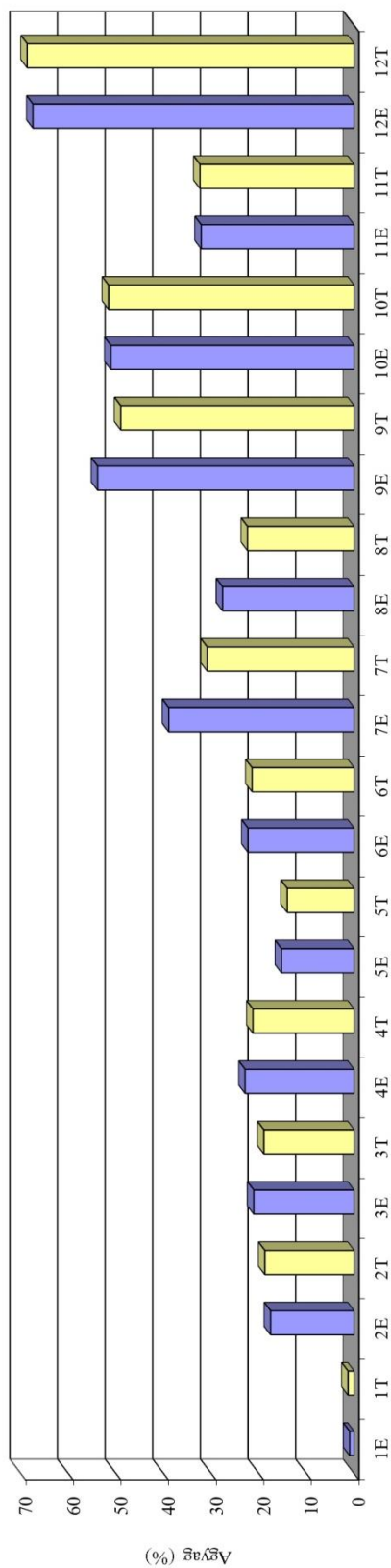
Kezelt talajminták és ásványi ötlemeények légszáraz nedvességtartalmának összehasonlítása



Talajtípusok, kezelési típus (eredeti (E), tenziddel kezelt (T))

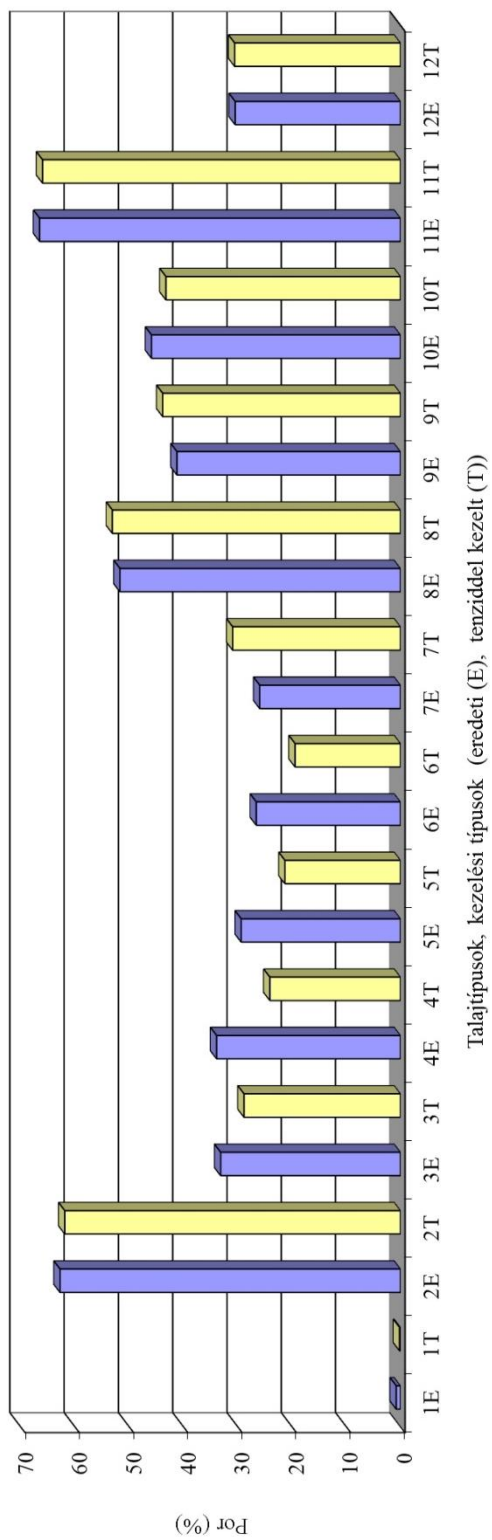
XVIII. ábra

Kezelt talajminták és ásványi örlemények fajlagos felületének összehasonlítása

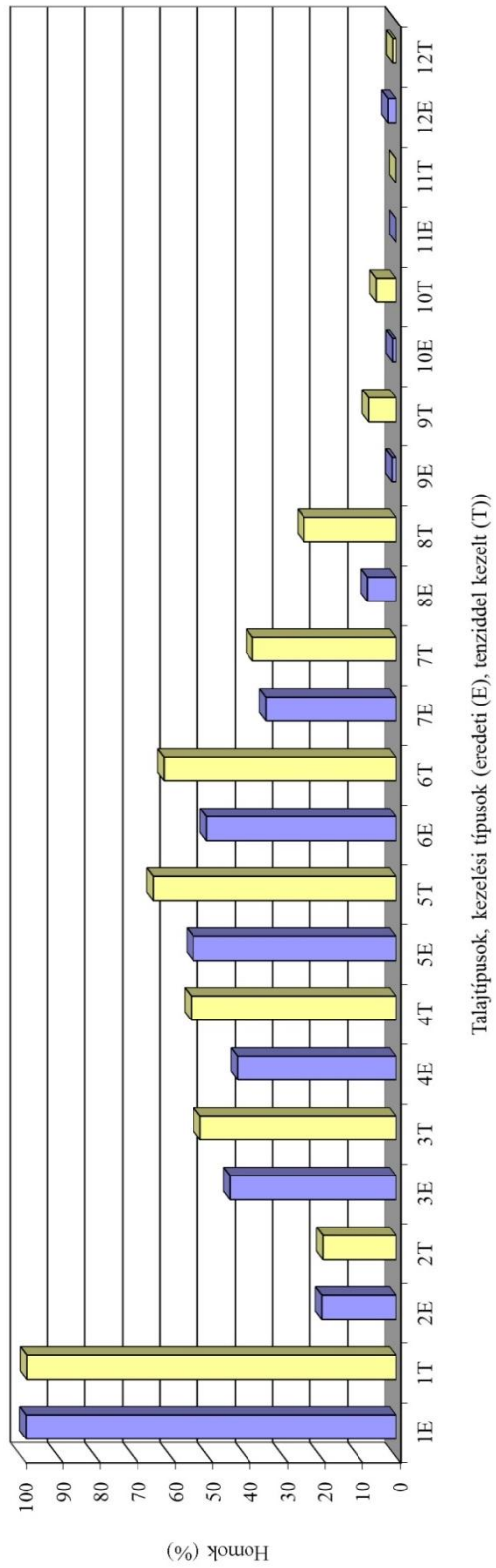


Talajtípusok, kezelési típusok (eredeti (E), tenziddel kezelt (T))

XIX. ábra  
Kezelt talajminták és ásványi örlemények agyagfrakciójának összehasonlítása

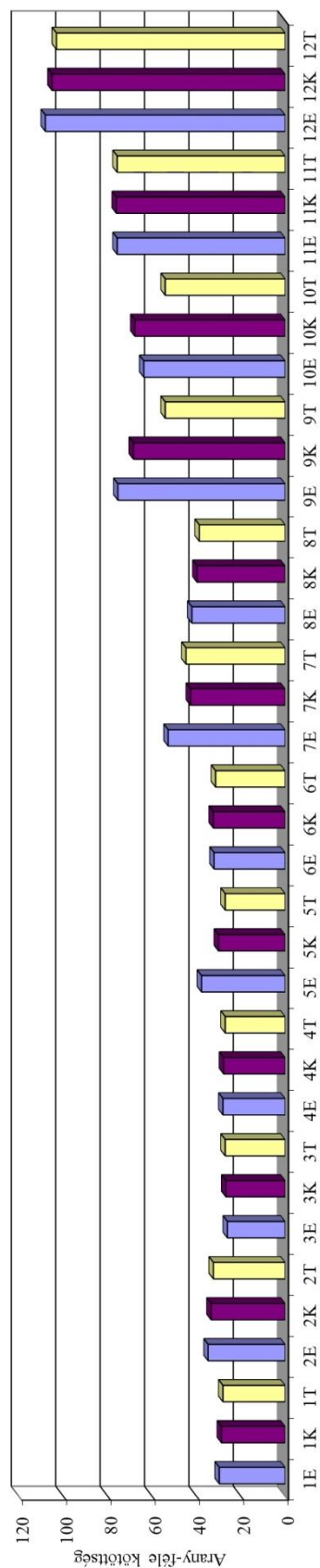


XX. ábra  
Kezelt talajminták és ásványi örlémények porfrakciójának összehasonlítása



XXI. ábra

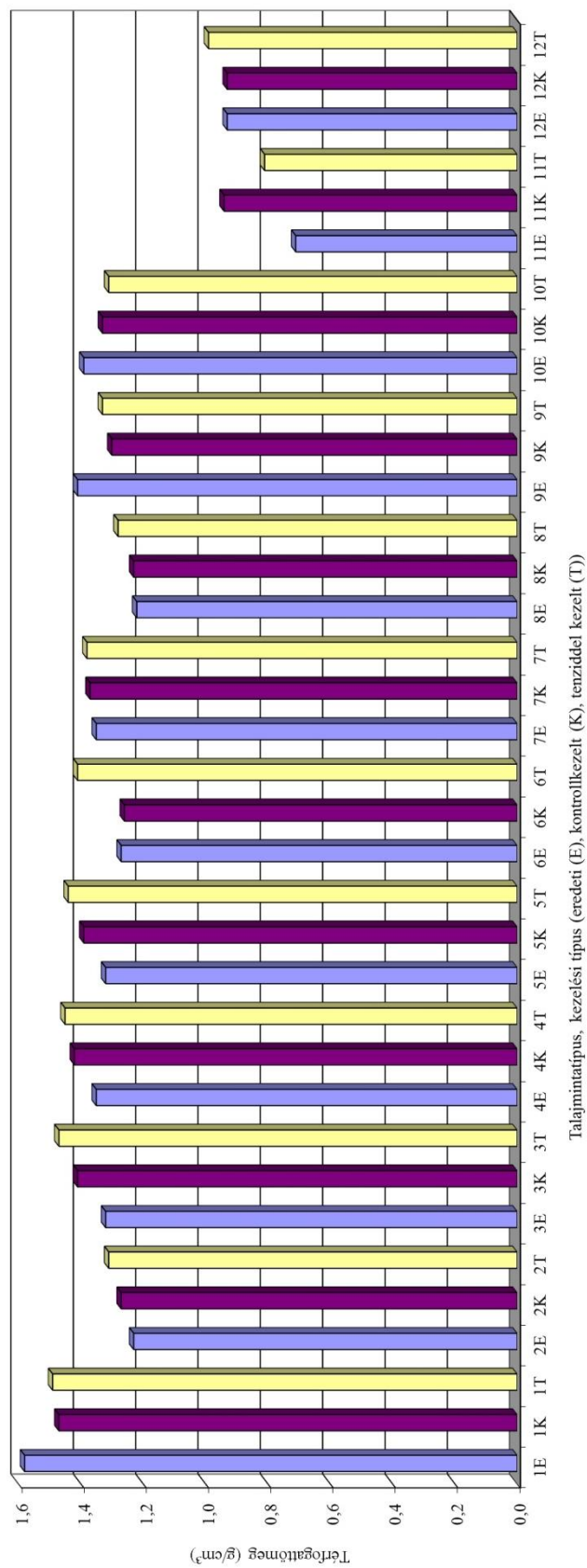
Kezelt talajminták és ásványi őrlémények *homokfrakciójának* összehasonlítása



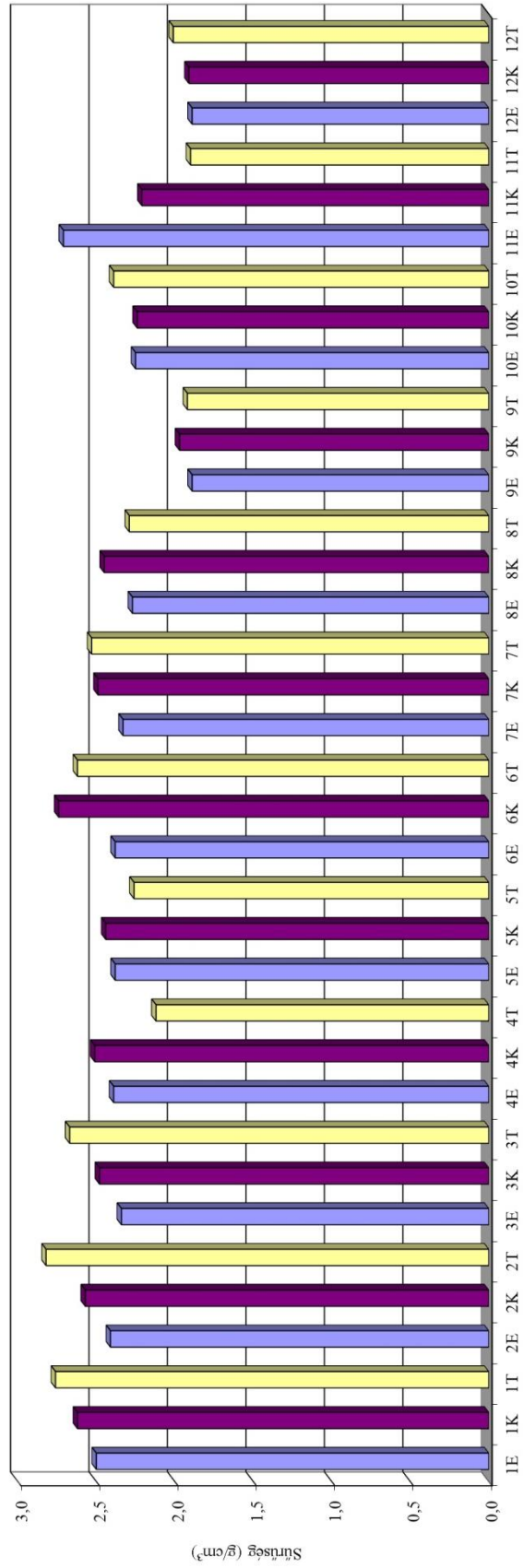
Talajtípusok, kezelési típusok (eredeti (E), kontrollkezelt (K), tenziddel kezelt (T))

XXII. ábra

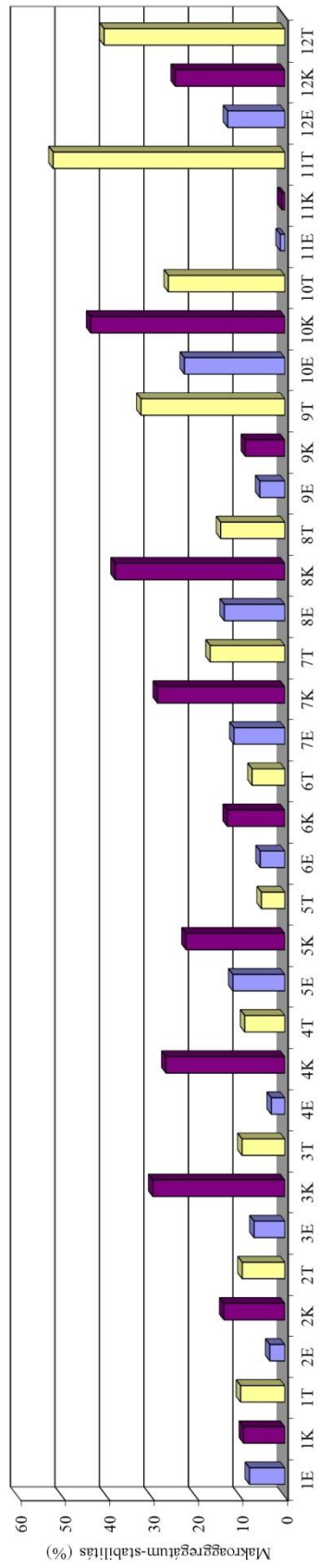
Kezelt talajminták és ásványi órlemények Arany-téle kötöttségének összehasonlítása



XXIII. ábra  
 Kezelt talajminták és ásványi örlemények térfogatlómegének összehasonlítása



XXIV. ábra  
 Kezelt talajminták és ásványi őrlemények sűrűségének összehasonlítása



Talajtipusok, kezelési típusok (eredeti (E), kontroll kezelt (K), tenzióval kezelt (T))

XXV. ábra

Kezelt talajminták és ásványi őrlemények makroaggregátum-stabilitásának összehasonlítása

I. táblázat  
 ANOVA többváltozós varianciaanalízis értékelés a kezelt ásványi talajalkotók kapilláris vízemelés magasságára és térfogattömegére

	0,5 óra	1 óra	2 óra	3 óra	4 óra	5 óra	6 óra	7 óra	8 óra	24 óra	$m_v$ (g/cm <sup>3</sup> )
Érvényes	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Hiány	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Átlagos érték	7,528	8,844	10,456	11,517	12,408	13,203	13,758	14,306	14,778	19,778	1,1375
Középső érték	2,200	3,300	4,650	5,550	6,350	7,150	7,900	8,450	9,300	12,050	1,1050
Módszer	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0 <sup>a</sup>	5,2	3,1 <sup>a</sup>	,95 <sup>a</sup>
Standard eltérés	9,7728	10,6302	11,3706	11,8557	12,3482	12,7125	12,9831	13,2375	13,3723	17,0425	,28159
Minimum	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	2,1	,70
Maximum	28,6	32,0	33,9	35,0	35,5	36,0	36,5	37,0	37,6	46,9	1,60

II. táblázat  
ANOVA többváltozós varianciaanalízis értékelés a kezelt talajminták kapilláris vízemelés magasságára és térfogattömegére

Kezelés	Talajminta	0,5 óra		1 óra		2 óra		3 óra		4 óra		5 óra		6 óra		7 óra		8 óra		9 óra		mv (g/cm <sup>3</sup> )	
		Átlag	Szt. eltérés	Átlag	Szt. eltérés	Átlag	Szt. eltérés	Átlag	Szt. eltérés	Átlag	Szt. eltérés	Átlag	Szt. eltérés	Átlag	Szt. eltérés	Átlag	Szt. eltérés	Átlag	Szt. eltérés	Átlag	Szt. eltérés	Átlag	Szt. eltérés
E	3	6,967	,9713	9,267	,8021	13,067	1,1060	15,367	,9292	17,700	1,0149	19,300	1,0583	21,167	,9609	22,933	1,1676	24,067	1,1504	38,533	,2517	1,3233	,00577
	4	6,767	,3512	9,200	,1000	12,667	,1528	15,833	,0577	17,400	,2646	19,067	,9452	21,000	,4359	22,633	,8145	23,900	1,1269	37,267	1,2858	1,3533	,00577
	5	10,067	,6028	13,333	,6110	17,767	,8963	21,433	1,0970	24,067	1,0693	26,633	,9292	28,267	1,3614	30,067	1,2503	31,100	1,5620	44,633	2,8729	1,3233	,00577
	6	10,300	,8185	13,233	,6807	17,833	,5774	21,200	,9644	24,100	1,2166	26,300	,8544	28,300	,9539	30,633	1,6442	31,833	1,4572	47,067	1,2055	1,2667	,00577
	7	4,533	,0577	6,167	,0577	8,733	,0577	11,200	,1000	12,533	,0577	14,233	,0577	15,567	,0577	16,867	,0577	17,900	,1000	35,500	,1000	1,3500	,00000
	8	5,833	,1528	7,933	,2309	10,933	,1155	13,333	,3215	15,300	,1732	16,967	,5033	18,700	,4583	20,000	,3464	20,900	,6928	34,167	3,1501	1,2167	,00577
	9	,000	,0000	,000	,0000	,000	,0000	,000	,0000	,000	,0000	,000	,0000	,000	,0000	,000	,0000	,000	,0000	2,300	,2000	1,4067	,00577
	10	,000	,0000	1,733	,1528	2,167	,2309	2,767	,2517	3,000	,2000	3,100	,1000	3,633	,1528	3,867	,1528	4,167	,0577	7,200	,1000	1,3867	,00577
	Összesen	5,558	3,7979	7,608	4,6438	10,396	6,2806	12,642	7,4905	14,263	8,4808	15,700	9,3328	17,079	9,9780	18,375	10,7332	19,233	11,1392	30,833	16,0481	1,3283	,05947
	K	3	5,767	,2309	7,400	,1732	10,367	,1528	12,800	,2000	14,767	,2517	16,733	,4041	18,100	,4359	19,267	,5033	20,333	,6110	33,767	,9292	1,4133
4		7,433	,1155	10,067	,1155	14,100	,1732	17,233	,3055	19,767	,2517	21,967	,2082	23,900	,5292	25,667	,5508	27,100	,4359	34,500	,5000	1,4167	,01528
5		9,200	,3606	11,933	,4041	16,233	,5132	19,200	,2646	22,000	,5000	24,500	,5000	26,433	,6658	28,033	,4041	29,367	,3786	43,767	,2517	1,3933	,00577
6		10,167	,0577	13,500	,0000	18,967	,1528	22,967	,1528	26,133	,1528	28,533	,0577	31,467	,1528	33,900	,3606	35,500	,2646	50,333	,5774	1,2600	,00000
7		5,667	,2309	7,567	,1528	10,500	,4359	13,000	,5000	14,933	,6028	17,133	,8327	19,100	,7550	20,300	1,0440	21,333	,9866	39,200	,8000	1,3667	,00577
8		5,133	,0577	7,367	,1155	9,667	,1528	11,933	,1155	14,100	,1000	15,667	,2082	17,300	,2000	18,500	,4359	19,767	,5508	33,467	,2517	1,2267	,00577
9		,000	,0000	1,100	,1000	1,467	,1155	1,700	,1000	1,767	,0577	1,867	,0577	1,967	,0577	2,133	,1528	2,167	,1155	2,900	,1000	,8667	,75062
10		1,367	,3055	2,000	,1732	3,000	,2646	3,533	,2309	4,000	,2646	4,367	,3055	5,067	,3512	5,467	,2517	6,000	,5196	9,633	,6110	1,3300	,01000
Összesen		5,592	3,3675	7,617	4,1739	10,538	5,7841	12,796	6,9865	14,683	8,0143	16,346	8,8602	17,917	9,6531	19,158	10,3355	20,196	10,8083	30,946	15,6504	1,2842	,28192
T		3	3,000	,1000	4,300	,2000	6,600	,2000	7,900	,3000	9,167	,2517	10,167	,2517	10,767	,7572	12,800	,1000	13,100	,2000	21,700	,1000	1,4667
	4	3,867	,3055	4,900	,4583	6,600	,3000	8,133	,5132	9,167	,8021	10,200	,8185	11,333	,8737	12,133	1,0116	12,867	,5033	20,600	,5568	1,4500	,00000
	5	4,333	,1528	5,933	,2517	8,367	,1528	10,033	,4619	11,267	,0577	12,600	,2646	13,767	,2082	14,233	,3055	15,167	,5774	22,967	,4933	1,4367	,00577
	6	4,967	1,9630	6,667	2,3094	9,267	2,7538	11,100	3,1432	12,100	3,3045	13,400	3,4699	14,100	3,3808	15,200	3,6387	16,200	3,7242	23,833	2,9297	1,4067	,00577
	7	2,200	,0000	3,467	,4619	4,800	,5000	5,567	,7024	6,400	,8185	6,867	,5686	7,567	,7638	8,300	,8718	8,867	1,1590	15,333	1,8583	1,3800	,00000
	8	2,233	,0577	3,033	,0577	4,733	,0577	6,033	,0577	7,133	,0577	7,800	,1000	8,500	,2000	9,300	,2000	9,900	,2000	17,400	,1000	1,2833	,00577
	9	1,033	,0577	1,200	,1000	1,500	,2000	1,833	,1155	1,933	,0577	2,100	,1000	2,200	,1000	2,233	,0577	2,333	,0577	2,700	,1000	1,3300	,01732
	10	1,267	,0577	2,000	,1000	2,500	,2000	3,000	,3000	3,633	,1528	3,900	,2000	4,000	,2000	4,300	,2000	4,567	,1528	7,100	,2646	1,3067	,00577
	Összesen	2,863	1,4893	3,938	1,9348	5,546	2,7091	6,700	3,2390	7,600	3,5446	8,379	3,9640	9,029	4,2706	9,813	4,6166	10,375	4,8728	16,454	7,4792	1,3825	,06641
	Összesen	3	5,244	1,8317	6,989	2,2133	10,011	2,8694	12,022	3,3229	13,878	3,7930	15,400	4,1204	16,678	4,6733	18,333	4,4889	19,167	4,8734	31,333	7,5296	1,4011
4		6,022	1,6597	8,056	2,4084	11,122	3,4532	13,733	4,2541	15,444	4,8387	17,078	5,3467	18,744	5,7254	20,144	6,1905	21,289	6,4999	30,789	7,7707	1,4067	,04330
5		7,867	2,7005	10,400	3,4264	14,122	4,3985	16,889	5,2672	19,111	5,9803	21,244	6,5714	22,822	6,8805	24,111	7,4909	25,211	7,6186	37,122	10,7235	1,3844	,04978
6		8,478	2,8407	11,133	3,5616	15,356	4,8042	18,422	5,7838	20,778	6,8000	22,744	7,2969	24,622	8,2006	26,578	8,8790	27,844	9,0999	40,411	12,6167	1,3111	,07184
7		4,133	1,5354	5,733	1,8214	8,011	2,5487	9,922	3,3863	11,289	3,8449	12,744	4,6114	14,078	5,1456	15,156	5,3954	16,033	5,6287	30,011	11,1703	1,3656	,01333
8		4,400	1,6553	6,111	2,3251	8,444	2,8386	10,433	3,3597	12,178	3,8203	13,478	4,3043	14,833	4,7961	15,933	5,0259	16,856	5,2593	28,344	8,3647	1,2422	,03153
9		,344	,5175	,767	,5809	,989	,7507	1,178	,8885	1,233	,9287	1,322	,9985	1,389	1,0481	1,456	1,0956	1,500	1,1292	2,633	,2915	1,2011	,45273
10		,878	,6778	1,911	,1833	2,556	,4157	3,100	,4093	3,544	,4746	3,789	,5862	4,233	,6801	4,544	,7384	4,911	,8781	7,978	1,2872	1,3411	,03621
Összesen		4,671	3,2746	6,388	4,1092	8,826	5,6083	10,713	6,7493	12,182	7,6714	13,475	8,4838	14,675	9,1992	15,782	9,8488	16,601	10,2735	26,078	15,0949	1,3317	,17309

Magyarázat: 3-10. talajminta száma, E (eredeti), K (kontrollkezelt), T (tenziddel kezelt), Szt. eltérés (Sztenderd eltérés).

III. táblázat  
Talajminták ásványtani összetétele (%)

Mintaszám	Duzzadó agyagásványok (%)	Illit, csillám (%)	Klorit, kaolinit (%)	Kvarc (%)	K-Földpát (%)	Plagioklász (%)	Kalcit (%)	Dolomit (%)	Goethit (%)
3.	2	10	4	70	2	12	0	0	0
4.	2	10	5	68	2	12	0	0	2
5.	2	3	2	76	7	10	0	0	0
6.	5	5	3	70	4	10	0	0	3
7.	5	8	6	62	3	6	0	0	10
8.	2	7	6	58	5	10	10	2	0
9.	4	15	5	62	2	12	0	0	0
10.	4	20	4	60	2	10	0	0	0

IV. táblázat  
Az ásványi őrlmények mechanikai összetétele (%) kezelési típusok alapján

Ásványi őrlmények	KP	KPN	TP	TPN
Pannon kvarchomok (1. minta)				
agyag%	0,94	0,10	1,28	0,06
por%	0,95	0,31	0,19	0,19
homok%	98,11	99,58	98,53	99,75
Paksi lösz (2. minta)				
agyag%	17,56	10,7	18,76	11,92
por%	62,72	64,18	61,84	68,89
homok%	19,72	25,11	19,40	19,19
Kaolin (11. minta)				
agyag%	32,13	27,13	32,37	27,24
por%	66,48	71,36	65,93	72,70
homok%	1,38	1,52	1,70	0,06
Bentonit (12. minta)				
agyag%	67,44	49,5	68,63	27,92
por%	30,46	44,22	30,55	54,23
homok%	2,10	4,56	0,82	17,85

Magyarázat: KP-kontroll, pirofoszfátos, KPN-kontroll, pirofoszfát nélküli, TP-tenziddel kezelt, pirofoszfátos, TPN-tenziddel kezelt, nem pirofoszfátos módon előállított minta mechanikai összetétele.

## V táblázat

Talajminták *mechanikai összetétele* (%) kezelési típusok alapján

Talajtípusok	KP	KPN	TP	TPN
<b>Ramann-féle barna erdőtalaj A szint (3. minta)</b>				
agyag%	21,09	4,67	18,90	5,24
por%	33,13	34,00	28,75	30,81
homok%	44,28	61,32	52,29	63,95
<b>Ramann-féle barna erdőtalaj B szint (4. minta)</b>				
agyag%	22,90	5,14	21,20	8,14
por%	33,87	35,76	24,01	27,91
homok%	42,29	59,10	54,76	63,94
<b>Agygbemosódásos barna erdőtalaj A szint (5. minta)</b>				
agyag%	15,27	3,07	14,06	7,64
por%	29,35	25,43	21,29	20,74
homok%	54,05	71,50	64,64	71,61
<b>Agygbemosódásos barna erdőtalaj B szint (6. minta)</b>				
agyag%	22,30	4,80	20,37	12,45
por%	26,56	29,22	17,69	21,62
homok%	50,49	65,98	61,94	65,94
<b>Pszudoglejes barna erdőtalaj B szint (7. minta)</b>				
agyag%	38,96	8,84	30,85	8,22
por%	25,93	47,63	30,91	50,30
homok%	34,61	43,52	38,23	41,48
<b>Mészlepedékes csernozjom talaj A szint (8. minta)</b>				
agyag%	27,60	3,74	22,40	9,06
por%	51,68	56,16	53,07	60,53
homok%	7,50	40,10	24,53	30,41
<b>Közepes réti szolonyec talaj B szint (9. minta)</b>				
agyag%	51,09	40,12	49,00	27,30
por%	45,90	57,61	43,80	62,27
homok%	0,88	2,26	7,19	10,42
<b>Nem karbonátos réti talaj A szint (10. minta)</b>				
agyag%	53,88	20,88	51,57	12,69
por%	41,19	64,59	43,21	67,59
homok%	1,05	15,82	5,22	19,72

## VI. táblázat

Mechanikai összetételt befolyásoló kezelési tényezők a talajmintákon, ásványi talajalkotókon

Minta/frakciók	Kezelési tényezők (pirofoszfát, tenzid)
<b><i>Pannon kvarchomok</i></b> (1. minta)	
Agyag	pirofoszfát és tenzid
Por	kezelési tényezőknek nincs hatása
Homok	pirofoszfát és tenzid
<b><i>Paksi lösz</i></b> (2. minta)	
Agyag	pirofoszfát, tenzid, pirofoszfát és tenzid
Por	tenzid
Homok	pirofoszfát, tenzid, pirofoszfát és tenzid
<b><i>Ramann-féle barna erdőtalaj A szint</i></b> (3. minta)	
Agyag	pirofoszfát
Por	pirofoszfát és tenzid
Homok	pirofoszfát és tenzid
<b><i>Ramann-féle barna erdőtalaj B szint</i></b> (4. minta)	
Agyag	pirofoszfát, tenzid
Por	pirofoszfát és tenzid
Homok	pirofoszfát, tenzid
<b><i>Agyagbemosódásos barna erdőtalaj A szint</i></b> (5. minta)	
Agyag	pirofoszfát, tenzid, pirofoszfát és tenzid
Por	pirofoszfát
Homok	pirofoszfát, pirofoszfát és tenzid
<b><i>Agyagbemosódásos barna erdőtalaj B szint</i></b> (6. minta)	
Agyag	tenzid
Por	pirofoszfát és tenzid
Homok	pirofoszfát
<b><i>Pszudoglejes barna erdőtalaj B szint</i></b> (7. minta)	
Agyag	pirofoszfát, pirofoszfát és tenzid
Por	pirofoszfát, tenzid, pirofoszfát és tenzid
Homok	pirofoszfát, pirofoszfát és tenzid
<b><i>Mészlepedékes csernozjom talaj A szint</i></b> (8. minta)	
Agyag	pirofoszfát, tenzid, pirofoszfát és tenzid
Por	pirofoszfát, tenzid, pirofoszfát és tenzid
Homok	pirofoszfát, tenzid, pirofoszfát és tenzid
<b><i>Közepes réti szolonyec talaj B szint</i></b> (9. minta)	
Agyag	pirofoszfát, tenzid, pirofoszfát és tenzid
Por	tenzid
Homok	tenzid
<b><i>Nem karbonátos réti talaj A szint</i></b> (10. minta)	
Agyag	pirofoszfát
Por	pirofoszfát, tenzid, pirofoszfát és tenzid
Homok	pirofoszfát, tenzid, pirofoszfát és tenzid
<b><i>Kaolin</i></b> (11. minta)	
Agyag	pirofoszfát és tenzid
Por	pirofoszfát és tenzid
Homok	kezelési tényezőknek nincs hatása
<b><i>Bentonit</i></b> (12. minta)	
Agyag	tenzid, pirofoszfát és tenzid
Por	pirofoszfát, tenzid
Homok	pirofoszfát, tenzid

## VII. táblázat

Talajminták és ásványi keveréksorozatokotok *mechanikai összetételének* szignifikancia vizsgálata  
kezelések hatására

Tukey HSD ( $\alpha=0,05$ )															
Függő változó	Kezelési kód (A)	Kezelési kód (B)	1. Sig.	2. Sig.	3. Sig.	4. Sig.	5. Sig.	6. Sig.	7. Sig.	8. Sig.	9. Sig.	10. Sig.	11. Sig.	12. Sig.	
agyag	KP	KPN	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	
		TP	,000	,022	,000	,003	,009	,739	,000	,000	,029	,955	,611	,160	
		TPN	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	
	KPN	KP	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
		TP	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,001	,000	,000	,000
		TPN	,478	,021	,192	,000	,000	,000	,908	,000	,000	,000	,000	,923	,000
	TP	KP	,000	,022	,000	,003	,009	,739	,000	,000	,029	,955	,611	,160	
		KPN	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,001	,000	,000	,000
		TPN	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	TPN	KP	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
		KPN	,478	,021	,192	,000	,000	,000	,908	,000	,000	,000	,000	,923	,000
		TP	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
por	KP	KPN	,188	,513	,750	,079	,001	,312	,000	,018	,000	,000	,048	,000	
		TP	,108	,820	,005	,000	,000	,005	,000	,629	,159	,013	,983	1,000	
		TPN	,117	,001	,102	,000	,000	,017	,000	,000	,000	,000	,014	,000	
	KPN	KP	,188	,513	,750	,079	,001	,312	,000	,018	,000	,000	,048	,000	
		TP	,976	,175	,001	,000	,000	,001	,000	,099	,000	,000	,029	,000	
		TPN	,985	,007	,025	,000	,000	,002	,021	,020	,012	,007	,810	,000	
	TP	KP	,108	,820	,005	,000	,000	,005	,000	,629	,159	,013	,983	1,000	
		KPN	,976	,175	,001	,000	,000	,001	,000	,099	,000	,000	,029	,000	
		TPN	1,000	,001	,177	,002	,783	,748	,000	,001	,000	,000	,009	,000	
	TPN	KP	,117	,001	,102	,000	,000	,017	,000	,000	,000	,000	,014	,000	
		KPN	,985	,007	,025	,000	,000	,002	,021	,020	,012	,007	,810	,000	
		TP	1,000	,001	,177	,002	,783	,748	,000	,001	,000	,000	,009	,000	
homok	KP	KPN	,001	,008	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,372	,000	1,000	,014	
		TP	,591	,992	,000	,000	,000	,018	,003	,000	,000	,002	,997	,219	
		TPN	,000	,968	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,851	,000	
	KPN	KP	,001	,008	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,372	,000	1,000	,014	
		TP	,002	,006	,000	,002	,000	,057	,000	,000	,001	,000	,999	,001	
		TPN	,923	,004	,096	,001	,998	,943	,063	,000	,000	,003	,812	,000	
	TP	KP	,591	,992	,000	,000	,000	,018	,003	,000	,000	,002	,997	,219	
		KPN	,002	,006	,000	,002	,000	,057	,000	,000	,001	,000	,999	,001	
		TPN	,001	,998	,000	,000	,000	,026	,006	,005	,008	,000	,754	,000	
	TPN	KP	,000	,968	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,851	,000	
		KPN	,923	,004	,096	,001	,998	,943	,063	,000	,000	,003	,812	,000	
		TP	,001	,998	,000	,000	,000	,026	,006	,005	,008	,000	,754	,000	

Magyarázat: Sig: szignifikancia, 95%-os szignifikancia szinten.

VIII. táblázat  
Térfogattömeg szignifikancia értékelése *eredeti* keveréksorozat- és talajmintákra

m <sub>v</sub> (g/cm <sup>3</sup> ) (E)																	
Mintakód	N	α = 0.05															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
II/1.	3	.71															
II/2.	3	.73															
I/1.	3		.93														
II/3.	3			.96													
II/4.	3				1.02												
II/5.	3					1.16											
8.	3						1.21										
I/7.	3						1.22										
6.	3							1.26									
II/6.	3							1.28	1.28								
I/2.	3								1.31	1.31							
3.	3									1.32	1.32						
5.	3									1.32	1.32						
I/3.	3										1.34	1.34					
7.	3										1.35	1.35					
4.	3											1.35					
10.	3												1.38				
9.	3												1.40	1.40			
I/4.	3												1.40	1.40			
I/5.	3													1.42	1.42		
I/6.	3														1.45	1.45	
I/8.	3															1.47	
I/9.	3																1.58
<b>Sig.</b>		<b>.44</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>.99</b>	<b>.76</b>	<b>.06</b>	<b>.95</b>	<b>.06</b>	<b>1.00</b>	<b>.45</b>	<b>.45</b>	<b>.19</b>	<b>.07</b>	<b>1.00</b>

IX. táblázat  
Térfogattömeg szignifikancia értékelése *kontrollkezelt* keveréksorozat- és talajmintákra

$m_v$ (g/cm <sup>3</sup> ) (K)					
Mintakód		N	Subset for alpha = 0.05		
			1	2	3
	9.	3	.8667		
	I/1.	3	.9300	.9300	
	II/1.	3	.9367	.9367	
	II/2.	3	.9800	.9800	.9800
	II/3.	3	1.0467	1.0467	1.0467
	II/4.	3	1.1633	1.1633	1.1633
	8.	3	1.2267	1.2267	1.2267
	II/5.	3	1.2367	1.2367	1.2367
	6.	3	1.2600	1.2600	1.2600
	I/7.	3	1.2667	1.2667	1.2667
	II/6.	3	1.3167	1.3167	1.3167
	I/3.	3	1.3233	1.3233	1.3233
	I/5.	3	1.3267	1.3267	1.3267
	10.	3	1.3300	1.3300	1.3300
	I/2.	3	1.3567	1.3567	1.3567
	I/4.	3		1.3633	1.3633
	7.	3		1.3667	1.3667
	I/6.	3		1.3833	1.3833
	5.	3		1.3933	1.3933
	3.	3		1.4133	1.4133
	4.	3		1.4167	1.4167
	I/8.	3			1.4400
	I/9.	3			1.4700
	<b>Sig.</b>		<b>.053</b>	<b>.056</b>	<b>.053</b>

X. táblázat  
Térfogattömeg szignifikancia értékelése *tenziddel kezelt* keveréksorozat- és talajmintákra

		$m_v$ (g/cm <sup>3</sup> ) (T)																	
Mintakód	N	$\alpha = 0.05$																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
II/1.	3	.81																	
II/2.	3		.87																
II/3.	3			.92															
II/4.	3				.97														
I/1.	3				.98														
II/5.	3					1.11													
I/2.	3						1.22												
I/3.	3							1.24											
I/4.	3								1.26										
8.	3								1.28	1.28									
I/5.	3									1.28									
10.	3										1.30								
I/7.	3										1.30								
9.	3											1.33							
II/6.	3											1.34	1.34						
I/6.	3												1.36	1.36					
7.	3													1.38					
6.	3														1.40				
I/8.	3														1.42	1.42			
5.	3															1.43	1.43		
4.	3																1.45	1.45	
3.	3																	1.46	
I/9.	3																		1.49
<b>Sig.</b>		<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>.93</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>.19</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>.19</b>	<b>.19</b>	<b>.19</b>	<b>.57</b>	<b>.19</b>	<b>.57</b>	<b>.19</b>	<b>1.00</b>

## XI. táblázat

Kapilláris vízelelés magasság szignifikancia értékelése (24. óra) *eredeti* mintákon

Mintakód	N	24. óra $\alpha = 0.05$								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
I/1.	3	2.200								
9.	3	2.300								
II/1.	3		6.133							
10.	3		7.200	7.200						
I/4.	3		7.567	7.567						
I/2.	3		8.133	8.133	8.133					
II/2.	3		8.400	8.400	8.400					
I/3.	3			9.767	9.767					
II/3.	3			9.967	9.967					
I/5.	3				11.200					
II/4.	3				11.333					
II/5.	3					16.167				
I/6.	3					18.733				
II/6.	3					19.000				
8.	3						34.167			
7.	3						35.500	35.500		
4.	3						37.267	37.267		
3.	3							38.533		
I/9.	3							39.000		
5.	3								44.633	
I/7.	3								46.800	
6.	3								47.067	
I/8.	3									59.533
<b>Sig.</b>		<b>1.000</b>	<b>.663</b>	<b>.304</b>	<b>.113</b>	<b>.265</b>	<b>.145</b>	<b>.051</b>	<b>.536</b>	<b>1.000</b>

## XII. táblázat

Kapilláris vízemelés magasság szignifikancia értékelése (24. óra) *kontrollkezelt* mintákra

Mintakód	N	24. óra $\alpha = 0.05$											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
9.	3	2.900											
I/1.	3	3.533											
II/1.	3		7.100										
II/2.	3			8.533									
I/2.	3			8.600									
II/3.	3			9.000									
10.	3			9.633									
I/3.	3				11.500								
II/4.	3				12.533								
II/5.	3					17.367							
I/5.	3					17.633							
I/4.	3					17.667							
II/6.	3						20.400						
I/6.	3							25.400					
8.	3								33.467				
3.	3								33.767				
4.	3								34.500				
7.	3									39.200			
I/9.	3									39.300			
I/7.	3										43.300		
5.	3										43.767		
6.	3											50.333	
I/8.	3												58.133
<b>Sig.</b>		<b>.913</b>	<b>1.000</b>	<b>.111</b>	<b>.179</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>.179</b>	<b>1.000</b>	<b>.996</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>

XIII. táblázat  
Kapilláris vízemelés magasság szignifikancia értékelése (24. óra) *tenziddel kezelt* mintákra

Mintakód	N	24. óra $\alpha = 0.05$												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
I/1.	3	2.133												
9.	3	2.333												
I/2.	3	3.700	3.700											
10.	3	4.567	4.567	4.567										
II/1.	3		5.233	5.233										
II/2.	3		5.967	5.967	5.967									
II/4.	3		6.067	6.067	6.067									
I/3.	3			6.433	6.433	6.433								
II/3.	3			6.733	6.733	6.733								
II/5.	3				8.533	8.533	8.533							
7.	3					8.867	8.867	8.867						
II/6.	3						9.667	9.667						
8.	3						9.900	9.900						
I/4.	3						10.133	10.133	10.133					
I/5.	3							11.200	11.200	11.200				
I/6.	3							11.233	11.233	11.233				
I/7.	3								12.700	12.700	12.700			
4.	3									12.867	12.867			
3.	3									13.100	13.100			
I/9.	3										14.700	14.700		
5.	3										15.167	15.167		
6.	3											16.200		
I/8.	3													20.533
<b>Sig.</b>		<b>.107</b>	<b>.134</b>	<b>.246</b>	<b>.067</b>	<b>.107</b>	<b>.768</b>	<b>.134</b>	<b>.067</b>	<b>.473</b>	<b>.096</b>	<b>.848</b>	<b>1.000</b>	

Keszthely, 2019. január 20.