

Miskolci Egyetem

Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar

Víz- és Környezetgazdálkodás Intézet

University of Miskolc

Faculty of Earth and Environmental

Sciences and Engineering

Institute of Water Resources and

Environmental Management



Porózus kőzetek kapillaritása szennyező anyagok jelenlétében

„Capillarity of porous rocks in the presence of contaminants”

OTDK dolgozat

Szerző: Czakó Eszter Napsugár

Környezetmérnöki alapszakos hallgató

Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar

Miskolci Egyetem

Konzulens: Dr. Tóth Andrea

intézeti tanszékvezető, egyetemi docens

Víz- és Környezetgazdálkodás Intézet

Miskolc, 2025. 01. 07.

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés, a kutatás célkitűzése	1
2.	A kapillaritás jelensége	2
3.	Kapillaritás a talajban.....	4
4.	A talaj kapillaritásának meghatározási lehetőségei	6
5.	A talajban előforduló szennyező anyagok	9
5.1.	Alkohol - Etanol	12
5.2.	Folyékony mosószer.....	14
5.3.	Lakkbenzin - Dunasol 180/220	15
5.4.	Fékolaj - MOL DOT	17
5.5.	Réz-szulfát oldat.....	18
6.	A laboratóriumi mérési módszer bemutatása.....	19
7.	A mérési eredmények.....	22
8.	Következtetések	40
9.	Összefoglalás	41
10.	Köszönetnyilvánítás	42
11.	Mellékletek.....	43
12.	Forrásjegyzék	53

1. Bevezetés, a kutatás célkitűzése

A talaj és a talajvíz szennyeződése emberi tevékenységek eredményeként sajnos szinte elkerülhetetlen. A felszín alatt jelen lévő különböző típusú szennyezőanyagok megváltoztatják a telítetlen és telített porózus közeg hidraulikai és geotechnikai tulajdonságait. A szennyezett területekkel kapcsolatos munkákban kulcsfontosságú a szennyezőanyag - földtani közeg egymásra ható viselkedésének megismerése.

A kutatómunka célja *porózus közetek kapillaritásában bekövetkező változások vizsgálata különböző típusú szennyezőanyagok jelenlétében.*

A *kapillaris szívás* spontán módon, a gravitációs és súrlódási erőkkel szemben megy végbe, amikor a folyadék viszonylag száraz, hidrofil porózus közegben terjed. Hasonlóképpen, a telítetlen zónában a kapillaris emelkedés a talajvíz felfelé irányuló mozgását eredményezi. A pórusok kapillaritása négy tényezőtől függ: a pórusfolyadék felületi feszültségétől és sűrűségétől, a szilárd-folyadék határfelületi nedvesítési szögtől és a pórusok sugarától. A szennyezőanyagok még kis koncentrációban is megváltoztathatják a felületi feszültséget, valamint a szilárd-folyadék fázis közötti érintkezési szöget és a talaj pórusfolyadék sűrűségét is.

A talaj kapillaritásának vizsgálata számos szakterületen fontos, a geotechnikában, mélyépítésben a talaj-alapozás kölcsönhatásában a kapillaris zóna elhelyezkedése, esetleges változásai rendkívül fontosak. A szennyezett területek kármentesítésekor a talaj és a talajvíz kezelését célzó műszaki megoldások egyik kihívása a földtani közeg ezen részének a tisztítása a pórustérben visszamaradó szennyezettség miatt. A talajtanban, az erdő- és mezőgazdaságban is lehet jelentősége bizonyos esetekben a talaj kapillaris szívásának. Mindezek ellenére kevés kutatómunka irányul az olyan jellegű vizsgálatokra, amikor nem természetes, „tisztá” víz terjed a talaj pórusterében. Szennyezett víz márpedig érkezhethet a felszín felől is beszivárgással, és a talajvíz is lehet szennyezett. Gyakori szervesetlen vegyületek, pl. különböző sók emelkedett koncentrációja is lehet a talajvízben, ami még nem jelent szennyezettséget, de már módosíthatja a talaj vízemelését a standard mért adatokhoz (desztillált víz alkalmazásával) képest. A kutatáshoz laboratóriumi kísérleteket végzek, amelyekkel a talajminták kapillaris emelkedése határozható meg. A mérések során egyrészt a talajminta összetétele (homok és agyag különböző arányú keveréke) kerül változtatásra. Az agyag homokhoz keverésével szerkezetéből adódóan a kapillaris emelkedés növekszik. Szennyezőanyagnak felületaktív anyag (alkohol, tenzid, stb.),

kőolajszármazék, és szervesetlen sóoldat kerül tesztelésre. A kísérletekhez a standard méréseket módosítjuk elsősorban a tesztfolyadék változtatásával (desztillált víz és oldatok).

2. A kapillaritás jelensége

A felületi feszültség a folyadékok felszínének az az alapvető tulajdonsága, hogy kifeszített, rugalmas hártyaként viselkedik [1]. Ez a jelenség könnyen megfigyelhető, hiszen, bizonyos tárgyak és állatkák a vízben nem süllyednek el, a víz felületén maradnak, bár a sűrűségük nagyobb, mint a víz sűrűsége [2]. Ha ezek a tárgyak/ állatkák körül megfigyeljük a folyadék felszínét, akkor látható, hogy az ténylegesen egy kifeszített rugalmas hártyaként viselkedik.



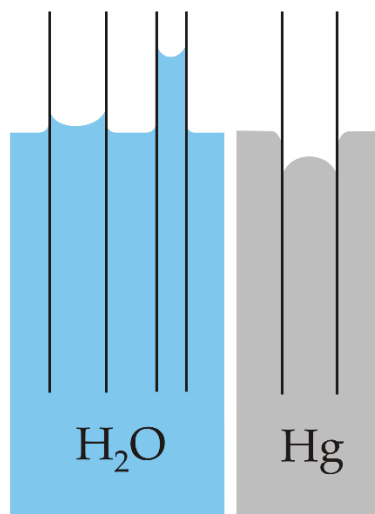
1. kép Víz felszínén lebegő iratkapocs

(https://www.simply.science/images/content/physics/mechanics/fluid_mechanics/Concept_map/Surface_Tension.html)

A folyadékok belsejében a folyadékmolekulák között minden irányból hat az összetartó erő, a kohézió. Az azonos molekulák között ható kohézió nagysága egyenlő, ennek megfelelően a kohéziós erők a folyadék belsejében kiegyenlítik egymást, eredőjük zérus. Ez a megállapítás azonban nem vonatkozik a folyadék felszínén elhelyezkedő részecskékre. A felületen levő molekulákra a saját részecskéik vonzása csak alulról hat, a felülettel érintkező levegő molekulái által kifejtett erőhatás ennél lényegesen kisebb. A folyadék felületi rétegében a folyadékmolekulák között működő kohéziós erők eredője nem zérus, hanem az a folyadék belseje felé mutat [3]. A felületi feszültség tehát felfogható a felszín síkjában ható erők eredőjeként is, ahol ezek az erők a felület minimalizálása irányába hatnak [1].

A felületi feszültséggel függ össze az ún. kapilláris emelkedés, illetve kapilláris süllyedés jelensége [1]. A kapilláris szó a latin capillus (haj) szóból származik, mivel feltehetően először a hajnál, tapasztalták a jelenséget, ezért is hívják hajszálcsövesességeknek [4].

A csőfalat a folyadék nedvesíti (hidrofil) vagy nem nedvesíti (hidrofób). Kapilláris emelkedés akkor lép fel, ha a folyadékba olyan kapilláris csövet mártunk, amelyet az nedvesít (üveg - víz). Ebben az esetben a folyadék szint felemelkedik a kapilláris csőben. Ezzel ellentétes irányú jelenség lép fel, ha a folyadék nem nedvesíti a kapillárist (üveg - higany). Ez esetben a kapillárisban a folyadék szintje a sík folyadékfelszín szintjénél alacsonyabban fog beállni. A dolgozatban csak a hidrogeológiában elsősorban előforduló hidrofil esetet ismertetem [5].

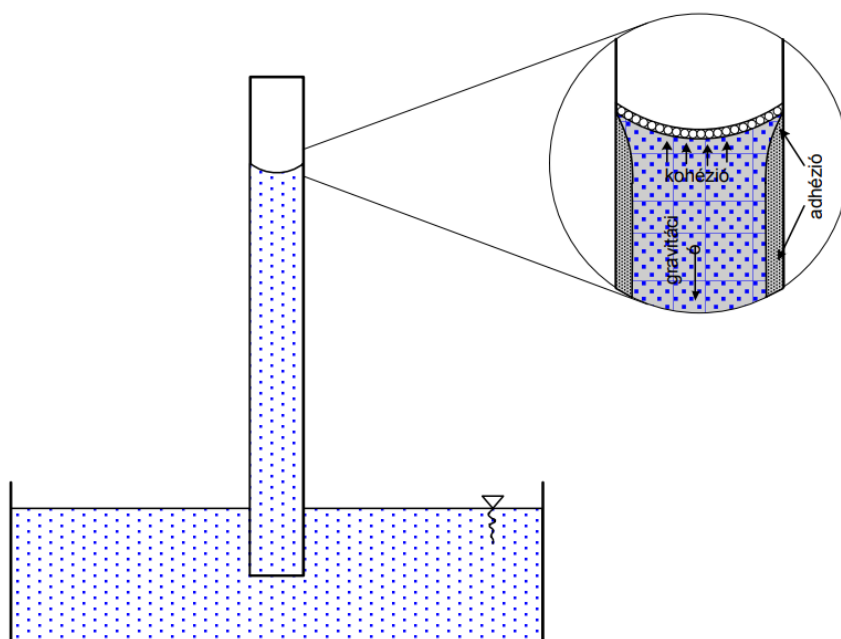


1. ábra Kapilláris jelenség nedvesítő és nem nedvesítő folyadékokban

(<https://hu.wikipedia.org/wiki/Hajsz%C3%A1lcs%C3%B6vess%C3%A9g>)

A jelenséget már régóta tanulmányozzák, és megállapítást nyert, hogy minél vékonyabb a hajszálcső, annál magasabbra emelkedik benne a vízszint, és annál lassabban megy végbe benne a kapilláris vízemelés [5].

Ismert tény, tehát hogy a folyadék felszínén felületi feszültség keletkezik. Ez a feszültség nincs kiegyensúlyozva, de nagyobb vízfelület esetén a vízszintes vízfelületen keletkező „bőr” mellett csak a peremeknél tudja a folyadékot megemelni vagy legörbíteni. Kapilláris vízmozgás a felületi feszültség miatt akkor lép fel, ha a falak mentén kialakuló görbült felület a síkban összeér. Ebben az esetben ugyanis a kialakuló felületi feszültség már fajlagosan olyan nagy lesz, hogy csak akkor jut egyensúlyba, ha a felület alatti vízoszlopot megemeli a gravitációs vízszinthez képest, azaz, ha a felületi feszültség nélküli víznívóhoz képest a hajszálcsőben a megfelelő mértékkel elmozdítja a vízszintet [5].



2. ábra A vízmolekulákra ható erők a kapillárisokban

(Dr. Bidló A. és társai: 3. kötet Talajvédelem, talajtan (Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet, Veszprém, 2. bővített kiadás – 2011 <https://tudastar.mk.uni-pannon.hu/anyagok/03-Talajtan-talajvedelem.pdf>)

A folyadékoszlop szintjének a magassága h (m), Jurin törvényből határozható meg [4]:

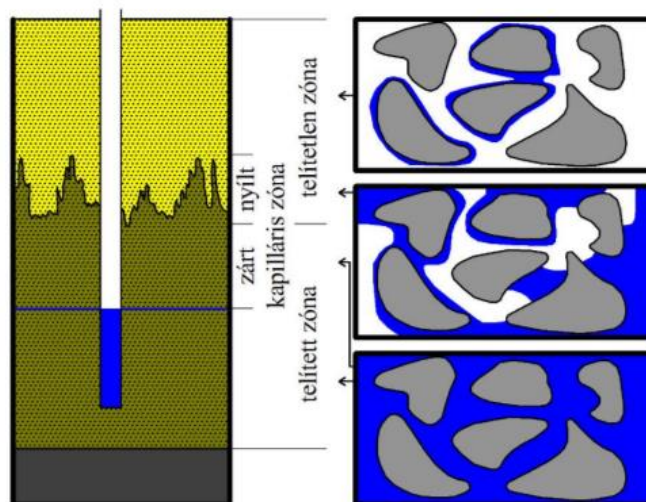
$$h = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho g r}, \quad (1)$$

ahol γ a folyadék felületi feszültsége (N/m), θ az illeszkedési szög, ρ a folyadék sűrűsége (kg/m^3), $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ a nehézségi gyorsulás, r a cső sugara (m).

A hajszálcsovesség (kapillaritás, kapilláris hatás vagy kapilláris effektus) tehát a folyadékok azon tulajdonsága, hogy képesek szűk, keskeny térben a nehézségi erő ellenében is mozogni [4].

3. Kapillaritás a talajban

A talajvíztükör alatti, kétfázisú zónát, ahol a szilárd közetváz pórusait általában víz tölti ki, telített zónának is nevezzük. A talajvíztükör feletti, háromfázisú zónát, ahol a szilárd közetváz pórusait általában víz és levegő tölti ki, telítetlen zónának nevezzük. A pórusok azonban a talajvíztükör fölött is telítetté válhatnak a kapilláris vízemelésnek köszönhetően, ez az ún. kapilláris öv vagy zóna. Energetikailag mégis különbözik a tényleges telített zónától, mert itt a pórusnyomás kisebb a légköri nyomásnál [6].



3. ábra Telített és telítetlen zóna a talajban

(Tananyag „A környezetvédelem alapjai” című tárgyhoz, Szerkesztette: Zákányi Balázs (Miskolc, 2019)

https://www.hidrotanszek.hu/files/8509/Kornyved_jegyzet_2019.pdf

A talajban a zergugos, egymással érintkező kis üregek rendszere adja a hajszálcsoveket, amelyeken keresztül a kapillárisan kötött víz, a vízzel kevésbé ellátott magasabb talajrétegek felé, az összefüggő talajvíz fölé emelkedik. A talajban a kapilláris vízemelkedés a víz felületi feszültségének, valamint a talajszemcsék és vízmolekulák adhéziójának együttes eredménye [7]. A kötőerő 0,3-15 bar közötti lehet [9].

Egy bizonyos magasságig a hézagokat még teljesen kitölti a víz (zárt tartomány), majd - ahogy egyre több hézag emelőképessége merül ki - egyre több lesz a levegő, kevesebb a víz (nyílt tartomány) [8]. Fontos azonban megemlíteni, hogy a közepes és finom pórusok által képezett hajszálüregekben a kapilláris víz a felületi feszültség és a hajszálcsovek felületi vonzásának hatására minden irányban mozoghat a talajban [7].

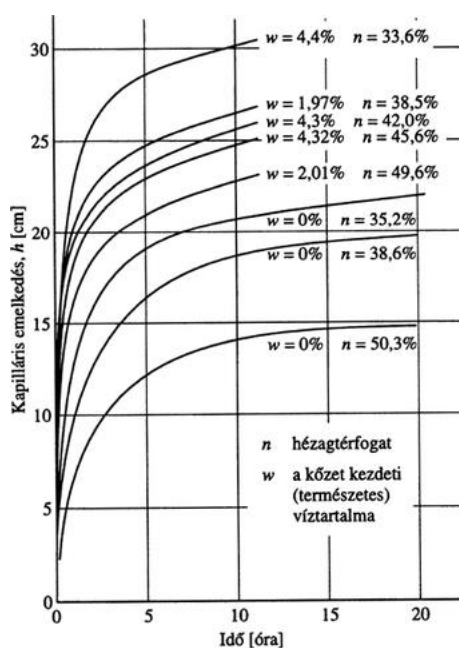
A kapillárisok feltöltődése a lefelé szivárgó vízből és/ vagy talajvízből (alulról) történhet. Előbbi függő, utóbbit támaszkodó kapilláris nedvességnek hívjuk [9].

A talajvíz szintjéből kiindulva kapilláris vízemelkedés talajonként változó magasságig terjed, a régi feltevésekkel szemben azonban megállapítást nyert az, hogy az emelkedés az 1 m-es magasságot csak ritkán haladja meg. A talajvíz tehát csak a fölötte elhelyezkedő kb. 1 m vastag talajréteg, a kapilláris zóna nedvességvesztését pótolhatja kapillaritás útján és így a növény vízellátásában is a talajvíz csak akkor játszhat szerepet, ha a növény gyökérzete eléri a kapilláris zónát [10].

4. A talaj kapillaritásának meghatározási lehetőségei

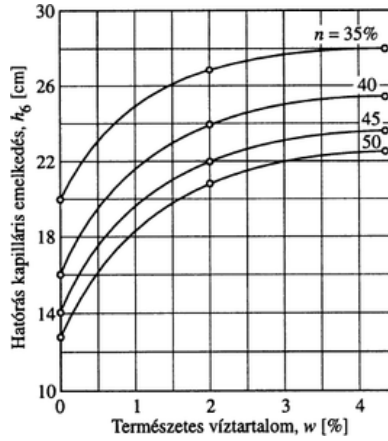
A kapilláris emelkedést általában kétféle módon szokták meghatározni: számítással és kísérlettel. A számítási eljárások során más közetfizikai jellemzők alapján határozzuk meg a kapilláris emelkedés maximumát [5].

Az egyik módszer az, amikor a hézagterfogatból és a kezdeti víztartalomból határozzuk meg h_k értékét. Ilyen összefüggést ad Ijjas I. (1965), aki kísérleteiből megállapította, hogy a kapilláris erő növekszik a kapilláris cső átmérőjének csökkenésével. Tehát ha csökken a kapilláris járatok átmérője, a maximális emelkedés növekszik. Ijjas közölt vizsgálatait azt is mutatják, hogy a maximális kapilláris emelkedés a hézagterfogat mellett a víztartalomtól is függ a 4. és 5. ábrán látható kísérleti eredmények szerint. A közet kezdeti — kötött — nedvességtartalma hat a kapilláris potenciál alakulására, s emellett a hézagok egy részét elfoglalva csökkenti a felemelni szükséges víztérfogatot [5].



4. ábra A kapilláris emelkedés összefüggése a hézagterfogattal és a kezdeti nedvességtartalommal

(Juhász József (2002): Hidrogeológia (Akadémia Kiadó, Budapest, 2002))



5. ábra A kőzet kezdeti nedvességtartalmának hatása a kapillaris vízemelés sebességére

(Juhász József (2002): Hidrogeológia (Akadémia Kiadó, Budapest, 2002))

A kísérletek eredménye alapján Ijjas I. (1965) az alábbi összefüggést állapította meg:

$$h_k = 58n^{-0,003}(6 - w)^{2,7} - 0,72w + 0,13, \quad (2)$$

ahol n a hézagterfogat 10%-ban kifejezve, w a kezdeti nedvességtartalom [5].

A kísérletek arra is rámutatnak, hogy ha a légszáraznál nem szárazabb anyaggal végezzük a vizsgálatot, h_k -ra a légszáraz víztartalomtól függetlenül azonos értéket kapunk. A teljesen kiszáritott anyagnál a kiszáritás következtében távozott hidrátburok (nagy része) olyan elektrokémiai viszonyokat teremt a szemcse felületén, amely megváltoztatja a kapillaris meniszkusz kerületén fellépő húzóerőt vagy a vízhártya és a kőzet érintkezési szögének értékét. A gyakorlati munkánál végzett vizsgálatokat ezért legfeljebb légszáraz anyaggal végzett mérésekből szabad kiindítani [5].

A másik módszerben a szivárgási tényező és a kapillaris emelkedés összefüggését használjuk. A sebesség a Hagen-Poiseuille-egyenlet szerint a kapillaris csőben:

$$v = \frac{g \rho_0 r^2}{8\mu} \frac{h_k}{h} = \frac{k}{n} \frac{h_k}{h}, \quad (3)$$

ahol

$$r = \frac{2\sigma \cos \alpha}{h_k \rho_v g}, \quad (4)$$

s így

$$k = \frac{\sigma^2 \cos^2 \alpha}{2\mu \rho_v g}, \quad (5)$$

behelyettesítve a felületi feszültség (σ), az illeszkedési szög (α) és a viszkozitás (μ) átlagértékeit kapjuk, hogy

$$\frac{0,7}{\sqrt{k}} < h_k < \frac{2,4}{\sqrt{k}}. \quad (6)$$

Az egyenletbe k értékét cm/s-ban kell behelyettesíteni. Az összefüggés a tapasztalat szerint átlagos viszonyoknál jó közelítő értéket ad [5].

Vannak továbbá olyan empirikus összefüggések is, amelyek a talaj szemcseméretéből indulnak ki, és például a mértékadó szemátmérőből számítják ki a kapilláris emelkedést, de ezek csak bizonyos talajtípusokra érvényesek.

Ha elsősorban a kapilláris emelkedés időben változó vízszállítását kívánjuk meghatározni, akkor használhatjuk az ún. „evaporációs oszlop”-ot. A kísérleti módszer lényege, hogy az előzetesen vízzel telített közetoszlopot alul lezárva, felül párologni hagyjuk, és a párolgás során bekövetkező nedveségprofil-átrendeződés mérése alapján számítjuk a nedvességmozgás mértékét, illetve a kapilláris vízvezető képességét a tenzió (feszültség) függvényében. A mérés csak $\Delta F = 2,5$ tenzió feletti mérésekre alkalmas, és nem alkalmas erősen kötött agyagokra [5].

A kísérleti módszer legelterjedtebb megoldása azonban az üvegcsövekbe épített és egy vízzel telt edénybe állított közetoszlop figyelése. Ennek során kapunk egy $t-h$ (idő-vízoszlop emelkedés) görbét, aminek adataiból egyrészt megállapíthatjuk a maximális kapilláris emelkedést (h_k), másrészt a görbén két közelső időpont közötti (Δt) emelkedésből (Δh) az aktuális emelkedési sebességet [5].

A talajban levő szemcsék és hajszálcsövek rendkívül változó méretűek, ezért a kapilláris vízemelkedés magasságát megbízhatóbb kísérleti úton meghatározni, nem pedig szemcsenagyság alapján kiszámítani. Utóbbi esetben ugyanis egy mértékadó szemcseátmérővel egyszerűsítjük le a pórustér méreteit.

A kutatómunkám során oszlopkísérleteket végeztem és a méréseim kiértékeléséhez egy egyszerű, talajtanban alkalmazott módszert használtam. A módszer lényege, hogy a leolvasott 20 és 100 órás adatokból (h_{20} ill. h_{100}) a maximális emelkedési magasságot (H) az alábbi módon lehet kiszámítani [10]. Ha

$$b_1 = \frac{1000}{h_{20}} \quad (7) \quad \text{és}$$

$$b_2 = \frac{1000}{h_{100}} \quad (8) \quad , \text{ akkor}$$

$$k = \frac{5b_2 - b_1}{4} \quad (9) \quad \text{és}$$

$$H = \frac{1000}{k} \quad (10).$$

5. A talajban előforduló szennyező anyagok

A talajban előforduló szennyező anyagokat többféleképpen lehet csoportosítani. Például:

- kémiai összetétel alapján (szervetlen és szerves szennyezők)
- halmazállapot szerint (gázalakú, folyékony és szilárd szennyezők),
- a szennyezők eredete szerint (ipari eredetű, háztartási eredetű, közlekedésből származó, ill. mezőgazdasági eredetű káros anyagok),
- a károsított környezeti alrendszerek szerint (levegőszennyezők, vízszennyezők, talajszennyezők, bioszféra szennyezők).

A talajba jutó különösen veszélyes és/ vagy általánosan elterjedt anyagok áttekintésére, a kémiai összetételen alapuló rendszerezés a célszerű. Ez alapján a következő csoportosítás tehető: [9]

A. Szerves szennyezők

- 1) Peszticidek (növényvédőszer)
- 2) Klórozott alifás szénhidrogének
- 3) Aromás szénhidrogének
- 4) Klórozott aromás szénhidrogének
- 5) Kőolaj és olajszármazékok
- 6) Szilárd műanyagok
- 7) Mosószer
- 8) Egyéb szerves vegyületek

B. Szervetlen szennyezők

- 1) Nehézfémek és sóik
- 2) Műtrágya (nitridek, nitrátok)

Ez alapján a csoportosítás alapján több szempont figyelembevételével került kiválasztásra, hogy milyen tesztfolyadékokat használjak a méréseimben. Fontos volt, hogy a felszín alatti környezetben elterjedt, gyakran előforduló és nagy környezeti problémákat okozó szennyező anyagok legyenek, illetve, hogy jellegüknél fogva különböző hatásuk legyen a talajra nézve. Az is kiemelt szempont volt, hogy laboratóriumi körülmények között biztonságosan lehessen őket használni.

A pórusok kapillaritása, mint már korábban is említettem négy tényezőtől függ: a pórusfolyadék felületi feszültségétől és sűrűségétől, a szilárd-folyadék határfelületi nedvesítési

szögtől és a pórusok sugarától. A szennyezőanyagok még kis koncentrációban is megváltoztathatják a felületi feszültséget, valamint a szilárd-folyadék fázis közötti érintkezési szöget és a talaj pórusfolyadék sűrűségét is.

Az etanol, bár nem sorolható be tipikus, hosszan megmaradó, súlyosan mérgező szerves talajszennyezők közé, de gyakran előfordul a talajban és talajvízben széleskörű felhasználása és kiváló vízdoldhatósága miatt. Az iparban elsősorban oldószerként használják, de manapság benzinnel keverve már alternatív üzemanyagként is terjed a használata. Felületaktív tulajdonsága miatt használják talajmosási eljárások során a mosófolyadékban, ily módon is a felszín alá kerülhet. Az etanol hatása a talaj kapilláris emelkedésére két tényező, a felületi feszültség csökkenése és a jobb nedvesítési képesség, összjátékának eredménye. Általában az etanol alacsonyabb kapilláris emelkedést eredményez, mint a víz, de a jobb nedvesítési tulajdonságai miatt az etanol nagyobb mértékben beboríthatja a talajszemcséket, ami különböző hatásokat eredményezhet a talaj nedvességeloszlásában [15].

A másik szennyezőanyag csoport, amit szerettem volna vizsgálni a mosószerek. A folyékony mosószerek közül azért a Woolite Delicate, Wool elnevezésű, kereskedelmi forgalomban kapható háztartási mosószerre esett a választás, mert a többihez képest kevés összetevőből áll. Alkoholt, lineáris alkil benzolszulfonsavat (LAS) és egy pár adalékanyagot tartalmaz csak [16]. Az alkil benzolszulfonsav egy anionos felületaktív anyag és a leggyakoribb összetevője a detergenszeknek és tisztítószereknek, amelyek felhasználásának túlnyomó részéért a lakossági kör a felelős [15]. A háztartásokban (esetleg iparban) már felhasznált, így ivásra már nem alkalmas víz a szürkevíz, ami más célokra még felhasználható [17]. Ebbe a szürkevízbe mosás, mosogatás során kerülnek felületaktív anyagok is. A háztartások, ha megfelelő kezelés nélkül használják a szürkevizet, -ami könnyen megtörténhet, hiszen a szürkevíz minőségére, felhasználhatóságára vonatkozó célzott szabályozás a legtöbb országban jelenleg nincs,- akkor a felületaktív anyagok a felszín alá is kerülhetnek [17] [15]. A felületaktív anyagoknak egy része továbbá a szennyvíztisztítás után is visszamarad, így kerül a természetes vizekbe. Felületaktív tulajdonsága miatt ezek az anyagok csökkentik a felületi feszültséget, emellett a sűrűsége és viszkozitása is nagyobb, mint a víznek. Ezek a hatások mind a kapilláris emelkedés csökkenéséhez vezethetnek [15].

Kőolaj és olajszármazékok közül a Dunasol 180/220 (lakkbenzin) és a MOL DOT fékolaj (kenőolaj) lettek kiválasztva. Nem vízfázisú, vízben korlátozottan oldódó folyadékok, ún. NAPL-ek (Non-aqueous phase liquid), amelyeket víz sűrűségéhez viszonyított sűrűségük alapján két fő típusba sorolják: könnyű, nem vizes fázisú folyadékok (LNAPL), mint a Dunasol, és sűrű, nem vizes fázisú folyadékok (DNAPL), mint a fékolaj [32]. Az olajipari termékek

talajszennyezése gyakran előfordul a kőolaj kitermelése, feldolgozása, az olaj és az egyes termékek szállítása, szakszerűtlen tárolása folyamán [9].

A lakkbenzin főként nyílt és elágazó láncú alkánokból (C10-C13) áll, és legfeljebb 0,1% aromás vegyületet tartalmaz [33]. Az ilyen összetételű szénhidrogének általában hidrofób tulajdonságúak. A lakkbenzin tehát hidrofób, gyenge nedvesítési tulajdonságokkal rendelkezik a talajszemcséken, és mivel felületi feszültsége is kisebb, mint a vízé, csökkentheti a kapilláris emelkedést. Alacsonyabb sűrűség esetén a gravitációs erő is kisebb, ami önmagában növelhetné a kapilláris szívást, de a felületi feszültség hatása dominál [15]. Ezért a kapilláris nyomás, és így a kapilláris emelkedés is kisebb lehet, mint a víz esetében.

A fékolaj sűrűsége és viszkozitása nagyobb a víznél, így a kapilláris húzóerő kisebb lehet [24]. A magas viszkozitás nagyobb ellenállást jelent a folyadék mozgásában, így az a kapilláris pórusokban lassabban emelkedik felfelé. Az olaj és a víz (vagy más folyadékok) közötti felületi feszültség különbsége fontos szerepet játszik. A vízhez képest a fékolaj felületi feszültsége alacsonyabb, ami azt jelenti, hogy a kapilláris járatokban gyengébb erő hat rá, így az emelkedés kisebb magasságot érhet el.

A szerves szennyezők képviselője a 20 tömegszázalékos réz-szulfát oldat lett. Mivel a réz nehézfém ezért az oldatot a nehézfém tartalmú szennyezők közé sorolnám. Szőlőültetvényben a gyakori rezes permetezés növeli a talaj termőrétegének réztartalmát [27]. A réz-szulfát oldatban lévő ionok növelik az oldat sűrűségét és viszkozitását, ami csökkenti a kapilláris emelkedés maximális magasságát. A talaj szárazabb részei esetleg kevésbé vonzzák a réz-szulfát oldatot, mint a tiszta vizet, mivel az ionok jelenléte megváltoztatja az oldat ozmózis tulajdonságait. A száraz talaj kapilláris pórusai kevésbé hatékonyan „szívják fel” a sós oldatot, mint a tiszta vizet, ami szintén lassíthatja az emelkedést.

Az általam használt szennyezők/ tesztfolyadékok csoportosítását és sűrűségét [g/cm^3] az 1. táblázat foglalja magába.

1. táblázat

Kísérleti kontroll	Szerves szennyezők				Szervetlen szennyezők
	Alkoholok	Mosószerek	Kőolaj és olajszármazékok		Nehézfémek és sóik
			Benzinek	Kenőolajok	
Desztillált víz	Etanol 96%	Woolite mosószer	Dunasol 180/220	MOL DOT fékolaj	Réz-szulfát oldat
~1	0,806	1,005 – 1,045	0,775-0,795	1,020 – 1,070	~1,2-1,3

5.1. Alkohol - Etanol

Az etanol az egyszerűbb szerves talajszennyezők közé tartozik, az alkoholok csoportjába sorolható (2.kép). Kémiai összetétele miatt nem soroljuk a tipikus, hosszan megmaradó, súlyosan mérgező szerves talajszennyezők közé.



2. kép Etanol

(<https://floravita.superwebaruhaz.hu/gyogyszertari-alkohol-etanol-1000-ml-tiszta-szesz-96-os-gyogyszerkonyvi-minosegu-t268091>)

Az etanol vízdékony és biológiailag könnyen lebomlik, ezért rövidebb időn belül kiürül a talajból és a vízből [11].

Az etanol (kémiai képlete: C_2H_5OH) egy színtelen, jellegzetes szagú és égető ízű, gyúlékony folyadék. A vízzel minden arányban, de apoláris oldószerekkel is kitűnően elegyedik, kiváló oldószer [12][13].

Hagyományos módon az etanolt cukortartalmú oldatok élesztőkkel való erjesztésével nyerik. (Az alkoholos italokat ma is kizárólag így készítik.) Ipari úton viszont etilén és víz savkatalizált reakciójával állítják elő. A reakcióhoz szükséges etilént földgázból vagy egyéb petrokémiai alapanyagokból nyerik [12].

Az etanolt általában „borszesznek” nevezik, mivel az alkoholtartalmú italok hatóanyaga és legnagyobb részét szeszes italok formájában élvezeti célból fogyasztják. Azonban emellett számos különböző területen is alkalmazzák. Az etanol jól oldja a különböző szerves vegyületeket, és keveredik vízzel, így széles körben alkalmazzák ipari és laboratóriumi körülmények között. Laboratóriumban és az iparban alapanyagként használják – többek között – oldószerként, szintézisekhez, továbbá ecetsav, lakkok, festékek, parfümök, alkaloidák és más organikus vegyületek gyártásához. Az orvoslásban baktériumölő hatása miatt általános fertőtlenítőként, illetve bizonyos gyógyszerek és tinktúrák oldószereként használják. Égési tulajdonságai miatt terjed a felhasználása, mint üzemanyag (bioetanolt), például E85 néven ismert benzin-etanol keverékben, amely környezetbarát alternatíva a fosszilis üzemanyagokkal szemben [12][14].

Ahogy az etanol teljes ipari és kereskedelmi fogyasztása nő, úgy a kiömlésének kockázata és a környezet szennyeződése is [15].

Talajmosási eljárásoknál kihasználják, hogy a felületaktív anyagok oldatba viszik és oldatban tartják a hidrofób vegyületeket (olajokat és egyéb szerves szennyezőket). A módszernél a szennyezett területet megfelelő felületaktív anyagokat vagy oldószert (akár etanolt is) tartalmazó vízzel mossák át, majd a szennyezett vizet tisztítják, utókezelik [9].

A magas oldhatóságú alkoholok felületi feszültség csökkenést okoznak a talajvízben, ami áramlási zavarokat, fokozott vízelvezetést és a kapillárisok depresszióját eredményezi [15]. Az etanol csökkenti a felületi feszültséget, viszont a nedvesítési képessége jobb, mint a víznek. Így alacsonyabb kapilláris emelkedést eredményezhet, mint a víz. Jobb nedvesítési tulajdonságai miatt az etanol nagyobb mértékben beboríthatja a talajszemcséket, ami különböző hatásokat eredményezhet a talaj nedvességeloszlásában.

5.2. Folyékony mosószer

A szintetikus mosószerek (tenzidek, detergensok) összetett szerves talajszennyezők és széleskörű felhasználásuk miatt általánosan elterjedtek a környezetben. A felületaktív anyagok molekulái egy hosszabb szénláncú (vízben nem, de zsírokban jól oldódó) hidrofób és egy rövidebb hidrofil részből állnak [9].

A kísérletekhez Woolite Delicate, Wool típusú folyékony mosószert választottam az összetétele miatt, hiszen felületaktív anyagokat - alkoholokat, lineáris alkil benzolszulfonsavat (LAS) - és adalékanyagokat (tartósítószer, illatanyagok) tartalmaz csak [16](3.kép).



3. kép Woolite mosószer (Saját kép)

A LAS egy anionos felületaktív anyag és a leggyakoribb összetevője a detergensoknak és tisztítószernek. A szürkevízben lévő felületaktív anyagok főként háztartási tisztítószerből (mosó- és mosogatószerből) és személyi tisztálkodószerből származnak. A szürkevíz a fürdőkből, mosogatókból, mosógépekből és egyéb konyhai eszközökből származó szennyvíz, tehát a háztartásokban (esetleg iparban) már felhasznált, így ivásra már nem alkalmas víz, amely a háztartási szennyvíz 60–75% -át teszi ki, felületaktív anyagok koncentrációja 0,7 - 70 mg / l között lehet [15][17]. A háztartási víz újrahasznosítására vonatkozó vízminőségi előírások országonként eltérőek, és hiányzik a globális szabványosítás. Ezenkívül a szabványosított szürkevíz-kezelési technikák hiánya miatt a háztartások megfelelő kezelés nélküli szürkevizet használnak, ami felületaktív anyagokat juttat a felszín alá [15][17]. Mindezek mellett a szennyvíztisztítási technológiák hatékonysága eltérő a különböző típusú

felületaktív anyagok eltávolításában. A kezelt szennyvíz is tartalmaz kisebb-nagyobb koncentrációban felületaktív anyagokat.

A megfelelően kezelt vízzel történő hosszú távú öntözés esetén megnövekedett só-, nátrium- és szervesanyag- (pl.felületaktív anyag) tartalmat eredményez a felszín alatt. A felületaktív anyagok oldatba viszik és oldatban tartják a hidrofób vegyületeket (olajokat és egyéb szerves szennyezőket). Ezekből következik, hogy gyorsítják a víz mozgását a talajban és a vízben oldott szennyezőanyagok szétterjedését a környezetben [15][9].

5.3. Lakkbenzin - Dunasol 180/220

A Dunasol 180/220 szerves szennyezőkön belül az alacsony aromás- és kéntartalmú oldószer családba tartozó kőolajipari termék (benzin) (4.kép). Színtelen, jellegzetes benzin szagú, tűzveszélyes folyadék. Főként a forráspont-tartomány (180-220 °C) szerint meghatározott alkánokból áll. [18].



4. kép Dunasol

(<https://megagoods.hu/dunasol-petroleumkalyha-futoanyag-zibro-kalyhahoz-5-liter-653>)

A Dunasol 180/220 nevű folyadékot a MOL Nyrt. százhalombattai telepén állítják elő, ahol a többlépcsős finomítás biztosítja a termék alacsony aromás- és kéntartalmát. Az atmoszférikus desztillációs üzemekben a kőolajokból desztilláció útján előállított megfelelő forráspont-tartományú frakciókat először kénmentesítik, stabilizálják. A félkész termékből a továbbiakban katalitikus hidrogénezéssel aromásmentesített terméket állítanak elő [19].

A Dunasol 180/220, „Lakkbenzin” fő alkalmazási területe a lakkok, a festékek és a viasztartalmú kenőcsök gyártása. Felhasználják tehát bevonatokban, tisztítószerekben,

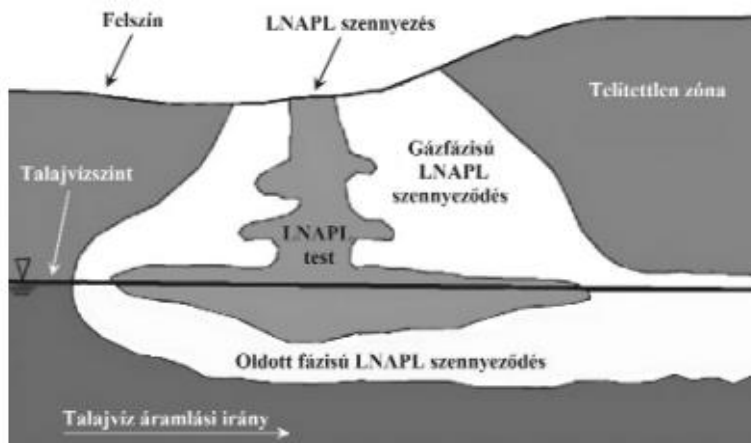
fémfeldolgozó folyadékokban, hengerlési olajokban, kötő- és leválasztó anyagként, robbanószerkezetek gyártásánál, polimer feldolgozásban és gyártásában, vízkezelő vegyszerekben, bányászati vegyszerekben. Ezek mellett van még jégmentesítő / jégtelenítő, illetve útépítési / építkezési alkalmazása is [20].

A Dunasol 180/220 ún. LNAPL (Light Non-Aqueous Phase Liquid) típusú anyag, azaz a víznél kisebb sűrűségű, és vízben korlátozottan oldódó folyadék.

Az LNAPL szennyeződés a talajba kerülése után, a nehézségi erő hatására lefelé húzódik és olajtest alakul ki, amelynek alakja és nagysága a talaj és az alatta elhelyezkedő képződmények típusától és szerkezetétől, valamint a szennyeződés mennyiségétől és fizikai tulajdonságaitól függ [21].

A beszivárgó szennyezés alakja a homogén talajban egyenletes, közel hengeres. Inhomogén talajban a kisebb áteresztőképességű réteg a szivárgási keresztmetszet növekedését (LNAPL szétterülését) okozhatja [21].

Ha a beszivárgott mennyiség meghaladja a telítetlen zóna olajvisszatartó képességét, akkor az olaj egészen a talajvízig hatol. A víznél kisebb sűrűsége miatt a talajvíz felszínén úszik és onnan emelkedik fel a kapillaris zónában, illetve oldódhat be a talajvízbe (6. ábra) [21].



6. ábra Az LNAPL szennyezők mozgásának sematikus rajza

(Zákányi B., Szűcs P. (2019). Víznél sűrűbb, nem vizes fázisú szennyező anyagok transzportfolyamatainak szimulációja felszín alatti közegben. Földtani Közlöny, 144(1), 63-70.)

5.4. Fékolaj - MOL DOT

A szintetikus MOL DOT fékfolyadékok a fékrendszer hatékony működését biztosítják. A szerves szennyezőkön belül az olajipai termékekhez sorolható (kenőolaj) (5.kép). Borostyánsárga színű, enyhe szagú folyadék, vízzel jól elegyedik [22][23].



5. kép MOL DOT fékfolyadékok

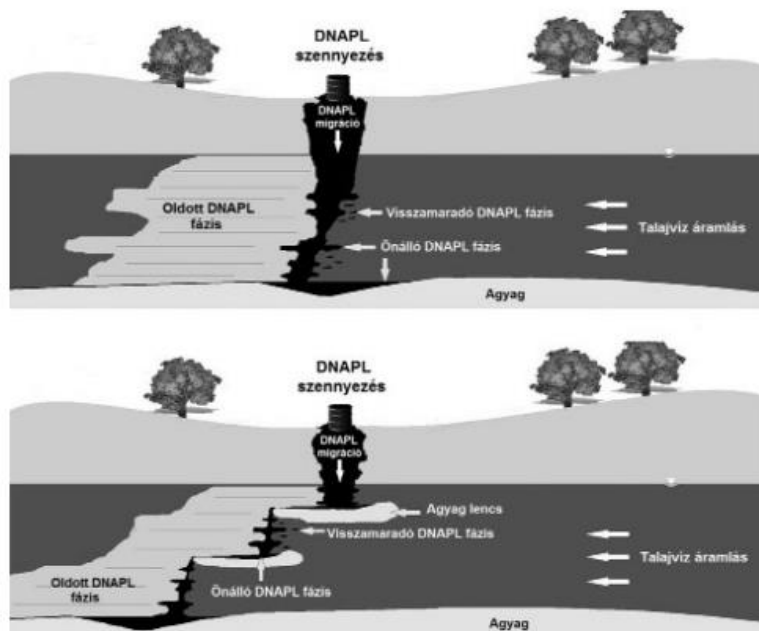
(<https://mol.hu/hu/kenoanyag-es-autoapolas/autosok/termekeink/fekfolyadekok>)

A poliglikol-éter és poliglikol alapú, oxidációs inhibitorral, korróziógátló és habzástgátló adalékokkal készült szintetikus fékfolyadék kiemelkedő nedvességmegkötő képességgel bír [24].

A MOL DOT fékfolyadék egy ún. DNAPL (Dense Non-Aqueous Phase Liquid) típusú, víznél sűrűbb, nem vízfázisú folyadék.

A felszín alatti környezetbe került vízzel korlátozottan elegyedő és a víznél nagyobb sűrűségű DNAPL a gravitáció hatása alatt a földtani közeg áteresztőképessége és szerkezeti sajátosságai által meghatározott irányokban terjednek, és kiszorítják a pórustérből, repedésekből a levegőt és a vizet. A szerves fázis tovább mozogva már csak részlegesen tölti ki a pórusteret de cseppeket, ereket (az angol nyelvű irodalomban residual DNAPL) hagy hátra maga után, amelyeket a kapilláris erő tapaszt a szemcsékhez, mert a víz és a szerves folyadékfázisok, illetve a gáz és a szerves folyadékfázisok közt kialakul a felületi feszültség. A szerves fázis alkotta cseppek és erek átmérője általában a törmelékes üledék szemcseméretének 1–10-szerese, a pórustér 5–20%-át tölti ki [21].

A nem összefüggő cseppek és erek hálózata előfordulhat a vízszint felett és alatt is. A 7. ábra szemlélteti a maradék telítettséget képező, elkülönülő szerves fázis elhelyezkedését porózus földtani közegben, telítetlen és telített zónában [21].



7. ábra DNAPL szennyeződés terjedése kisebb heterogenitású (fent), illetve nagyobb heterogenitású rendszerekben (lent)

(Zákányi B., Szűcs P. (2019). Víznél sűrűbb, nem vizes fázisú szennyező anyagok transzportfolyamatainak szimulációja felszín alatti közegben. Földtani Közlöny, 144(1), 63-70.)

Az elkülönülő szerves fázis összefüggő folyadéktestként is megjelenhet (az angol nyelvű szakirodalomban pooled DNAPL), ez általában elegendő utánpótlás esetén alacsony áteresztőképességű, szivárgálassító képződmények felszínén valószínű [21].

5.5. Réz-szulfát oldat

A réz-szulfát (CuSO_4) a réz egyik leggyakoribb vegyülete. Formálisan a réz(II)-oxid és a kénsav reakciójából származtathatjuk. A réz-szulfát oldat szervesetlen talajszennyező, azon belül is nehézfém tartalmú szervesetlen vegyület, hiszen a réz-szulfátban lévő rézion (Cu^{2+}) a nehézfémek közé tartozik.

Szobahőmérsékleten szilárd, ionrácsos vegyület. Kristályvizes alakja a réz-szulfát-pentahidrát ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) kék színű, szagtalan kristályokat alkot (6.kép). Vízben jól oldódik (oldhatósága $\sim 317 \text{ g/l}$), vizes oldata kék színű [25].



6. kép Réz-szulfát kristály

(<https://hu.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9z-szulf%C3%A1t>)

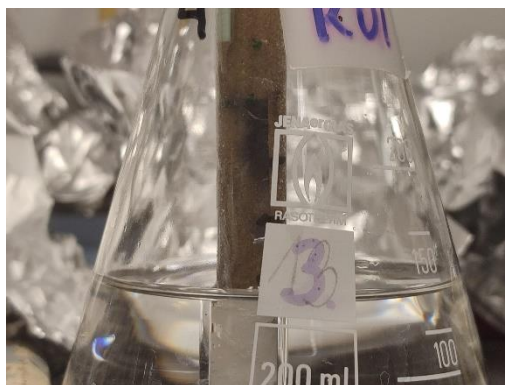
Felhasználják a fémek galvanizálásához, növényvédő szerként (fungicid), illetve a kristályvízmentes alakját víz kimutatására (például abszolút alkoholban). Szintén használja a vegyipar, műtrágyaipar, bőr- és textilipar, valamint egyes kozmetikai szerek is tartalmazzak réz-szulfátot [25].

Mezőgazdasági alkalmazása széleskörű, így ismétlődő alkalmazás esetén a réz felhalmozódhat, mivel a réz elemi formájában nem bomlik le. A réz, miután elemi formájában nem bomlik le és jól kötődik a szerves anyaghoz így mezőgazdasági kijuttatás következtében a talaj felső, néhány tíz centiméteres rétegében halmozódik fel. Mélyebbre is kerülhet, ha elsavanyodik a talaj vagy mély talajművelést végeznek. A hazai szőlőültetvények talajában is megfigyelhető a megnövekedett réztartalom. A talajainkat érő erózió, így a szél- és vízerózió elmozdítja a feltalaj bizonyos részeit az ott megkötött rézzel együtt, így a réz más területeken is szennyezőként jelentkezik. Akár a felszíni vagy a felszín alatti vizekbe is kerülhet, ezzel pedig az emberre is hatással lesz [26][27].

6. A laboratóriumi mérési módszer bemutatása

A kapilláris vízemelkedés laboratóriumi meghatározása üvegcsövekben elhelyezett légszáraz talajmintán történik. A talajjal megtöltött csöveket nedvszívó anyaggal zárt alsó végükkel vízbe állítjuk és a kapilláris vízemelés nagyságát rendszeren 5, 20 és 100 óra elteltével mérjük [10]. A víztartó edény állandó vízszintjét vízpótlás biztosítja. A víz mozgása ezzel az egyszerű laboratóriumi méréssel jellemezhető [28].

A méréseimhez 0,9, illetve 1 cm belső átmérőjű üvegcsövek álltak rendelkezésemre, így azokat használtam. A kapilláris vízemelés meghatározása során az üvegcső egyik végét nedvszívó anyaggal zártam. Műanyag tölcseren át az üvegcsövet légszáraz talajjal feltöltöttem, miközben a csövet időközönként, a talaj kellő mértékű tömörödése érdekében leütöttem. A maradék légszáraz minták nedvességtartalma visszamérésre került. A megtöltött üvegcsöveket állványba helyeztem úgy, hogy az üvegcsövek vattával lezárt vége a vatta szintjéig folyadékban álljanak, ahogy ezt a 7. kép szemlélteti [28].



7. kép Üvegcső helyzete a folyadékban (Saját kép)

A mérések során egyrészt a talajminta összetétele (homok és agyag különböző arányú keveréke) került változtatásra.

A vizsgálatokhoz a homok minta kereskedelmi forgalomban kapható „térkő homok”-ot használtam, ami egy jól osztályozott, maximum 1,4 mm szemcse nagyságú kvarchomok. A talajkeverékhez használt agyag talaj egy Mályi melletti agyagbányából származik. Az elnevezése a konzisztencia, valamint a szemeloszlási vizsgálatok alapján nagy plaszticitású kövér agyag. A röntgendiffrakciós mérések (X-Ray Diffraction - XRD) alapján megállapíthatóvá vált, hogy a minta legnagyobb arányban kvarcot, illit, muszkovitot és albitot tartalmaz [31].

Tesztfolyadéknak főzőpohárban desztillált vizet, etanolt, dunasol 180/220 lakkbenzint, Woolite mosószert, MOL DOT fékolajat, illetve réz-szulfát oldatot használtam. A tesztfolyadék elpárolgásának elkerülése érdekében alufóliával lefedtem a főzőpoharak, illetve az üvegcsövek tetejét (8.kép). A folyadékokat szükség szerint pótoltam és a főzőpoháron bejelöltem a fogyott mennyiséget, amely a kísérlet végén visszamérésre került.



8. kép Üvegcsövek a mérés során (Saját kép)

A kísérletsorozatban egy sorozatmérés során a talajminták nedvesítve lettek üvegcsőbe töltését megelőzően, a különböző tesztfolyadékokkal, különböző tömegszázalék arányban. A talaj szennyezettségét szerettem volna ezzel szimulálni. A talajminta előnedvesítése azonban nem volt célravezető, hiszen a kapilláris emelkedését nem, vagy csak nagyon bizonytalanul lehetett leolvasni. A kísérletek ezen része nem volt sikeres, ezek eredményeinek bemutatásától eltekintek.

A kapilláris emelkedést az elején 10 percenként, egy óra elteltével óránként, 5 óra elteltével pedig napi szinten olvastam le addig ameddig el nem telt 100 óra. A vízemelés magasságát jól érzékeljük az átnedvesedett talaj sötétebb színéről, ezt látni a 9. képen is.



9. kép Vízemelés magassága (Saját kép)

A mérés végeztével az üvegcsövek aljáról, folyadékkal teljesen telített részről mintát vettem és visszamértem a nedvességtartalmát. Az üvegcsövekből kimostam a talajmintákat és a tiszta üvegcsöveket félre tettem a következő méréshez (10. kép).



10. kép Üvegcső tisztítása (Saját kép)

A méréseim során kapott adatokat táblázatokba rögzítettem, hogy ábrázolásra és kiértékelésre kerüljenek.

7. A mérési eredmények

A méréseim és a kiértékelésem során a minták azonosítására a 2. táblázatban található kódrendszert használtam. Az első tag a talajminta összetételét jelzi, a második tag a használt tesztfolyadékra mutat rá, esetleges zárójeles tag jelezheti a tesztfolyadék hígítását vagy ételszínezékkel történő színezését.

Ha valamelyik mérés ismétlésre került azt a kód utáni szám jelöli. A mérések ismétlését azért végeztem el, hogy a mérésben (előkészítés, beépítés, leolvasás) rejlő bizonytalanságot meg tudjam figyelni.

2. táblázat

kód felépítése			
talajminta		felszívott folyadék	
légszáraz homok	A	desztillált víz	v
légszáraz homok+ 10m% agyag	B	etanol	e
légszáraz homok + 20m% agyag	C	dunasol	d
légszáraz homok + 30m% agyag	D	woolite	w
légszáraz homok + 40m% agyag	E	fékolaj	o
légszáraz homok + 50m% agyag	F	réz-szulfát 20m%	r
		hígított folyadék (50-50)	(h)
		színezék a folyadékhoz (75:1)	(s)

Példaképpen a kódrendszerem alapján egy légszáraz homok talajminta desztillált víz kapilláris emelését az Av kód jelöli.

Mint már említettem a mért adataimat táblázatokban rögzítettem. Ezek közül egyet példaképpen a 3. táblázat mutat be. A táblázat tetején látható kód alapján ez a mérés légszáraz homokkal és desztillál vízzel történt, az ilyen mérések közül ez volt az 5. ismétlés. A táblázatban rögzítettem a leolvasás pontos idejét, a mérés indítása óta eltelt időt órákban, illetve a kapilláris emelkedés magasságát centiméterben. A mért adatokat tartalmazó összes táblázatot a mellékletekben mutatom be.

3. táblázat

Av 5.		
idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]
2024.08.26 10:32	0	0
2024.08.26 10:44	0,2	22,2
2024.08.26 10:52	0,333	26,7
2024.08.26 11:02	0,5	30
2024.08.26 11:12	0,667	32,9
2024.08.26 11:22	0,833	35
2024.08.26 11:32	1	36,6
2024.08.26 12:00	1,467	40
2024.08.26 13:00	2,467	41,5
2024.08.26 14:00	3,467	42,8
2024.08.26 15:00	4,467	43,5
2024.08.26 15:35	5,05	43,8
2024.08.27 9:00	22,467	48
2024.08.28 9:00	46,467	51,9
2024.08.29 9:00	70,467	53,8
2024.08.30 9:30	94,967	55,5

A mérési eredményeimet a Grapher nevű programban (Golden Software Grapher, Copyright © 1992-2019, Golden Software, LLC) ábrázoltam, illetve logaritmikus függvényt is illesztettem rájuk, a számolásaimban az illesztett függvény egyenletét használtam fel. A Grapher a függvényillesztést a legkisebb négyzetek elve alapján végzi [30].

A függvényillesztést több okból is indokolnak véltem. Egyrészt a leolvasást nem tudtam pontosan 5, 20, 100 óra elteltével elvégezni fizikai korlátok miatt, mint például a laboratórium nyitvatartása.

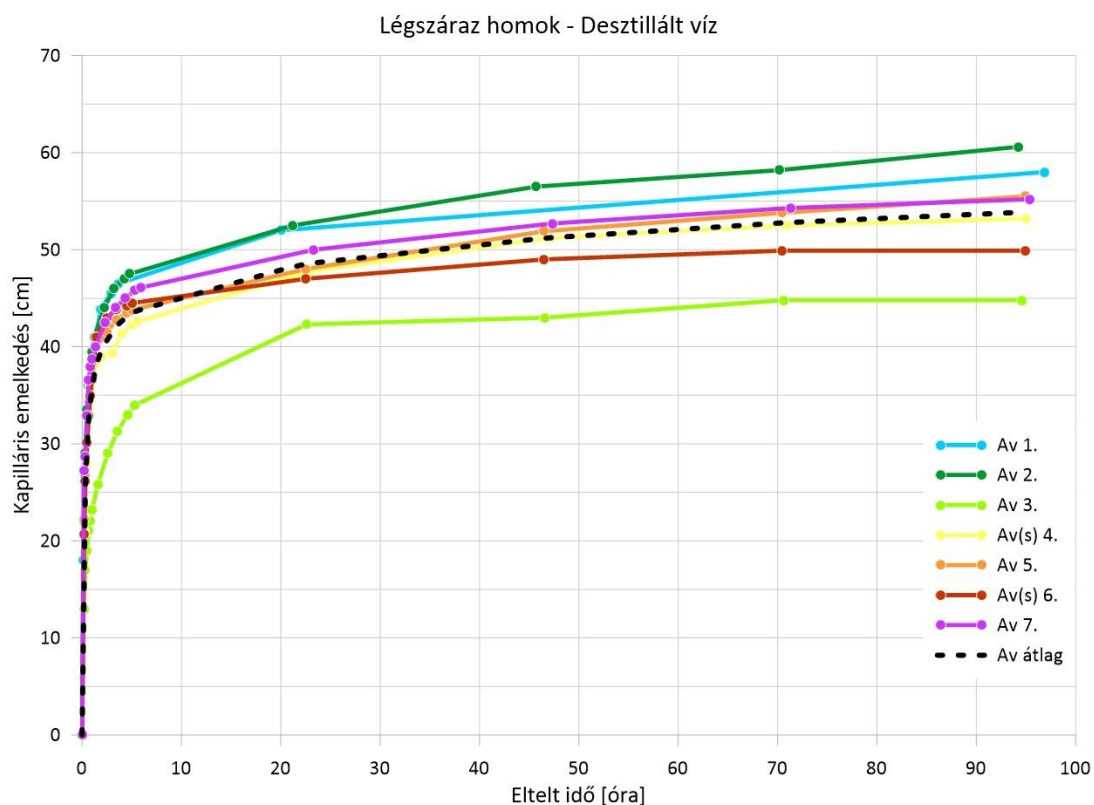
Másrészt a kapilláris emelkedés maximális magassága nem egyezik meg a kapilláris öv valóságos magasságával. A kapilláris emelkedés maximális magassága és a kapilláris öv magassága közötti különbség a talaj textúrájától függ. Minél durvább a talaj textúrája, annál kisebb a különbség a kettő között. Többféle számolási és laboratóriumi módszert összehasonlítva és tapasztalaton alapuló kapcsolatokat figyelembe véve a maximális kapilláris emelkedés és a kapilláris öv magasságának aránya 2 és 5 között változik [29]. A későbbiekben

az illesztett függvények segítségével, matematikai módszerek alkalmazásával számítható a kapilláris öv magassága is.

A függvények illesztése, és azok alkalmazása a számítás során mindezek mellett a leolvasási pontatlanságokból adódó hibát is segít kiküszöbölni.

Az 1. diagram a légszáraz homok desztillált víz kapilláris emelésének 7 ismételt kísérletét szemlélteti. Látható, hogy a mérések között volt némi szórás, ez több okból is előfordulhat. Egyrészt a talaj üvegcsőbe való tömörítése lehet, hogy más erősséggel történt a különböző kísérleteknél, amely a kapilláris pórusok nagyságának változásához és így eltérő magasságú kapilláris emelkedéshez vezethet. A folyadék hőmérséklete is befolyásolhatja a sűrűségét, a sűrűség pedig, mint a Jurin törvényben megfigyelhettük hatással van a kapilláris emelkedés magasságára. A mérések nyári-őszi hónapokban történtek, klimatizált helyiségben, azonban a klíma csak munkaidőben működött. Eltérő nedvesség állapotból is eredhetnek az eltérő értékek, annak ellenére is, hogy mindegyik talajminta légszáraz volt, hiszen a levegő páratartalma változhat, onnan pedig különböző mennyiségű vizet tudtak felvenni a minták. Ezeken kívül emberi hibából adódóan a nedvesedési front leolvasása lehet, hogy nem volt minden esetben pontos. Az ismételt méréseknek az átlagát is ábrázoltam a diagramon, és a továbbiakban ezt tüntettem csak fel a többi ábrán.

Az egyes ismétlésekre a maximális kapilláris emelkedések magasságot az illesztett görbék alapján a már korábban említett egyenletek ($b_1 = \frac{1000}{h_{20}}$, $b_2 = \frac{1000}{h_{100}}$, $k = \frac{5b_2 - b_1}{4}$, $H = \frac{1000}{k}$) segítségével kiszámoltam, ez a 4. táblázatban található. Az értékek szórása 3,69 cm volt.

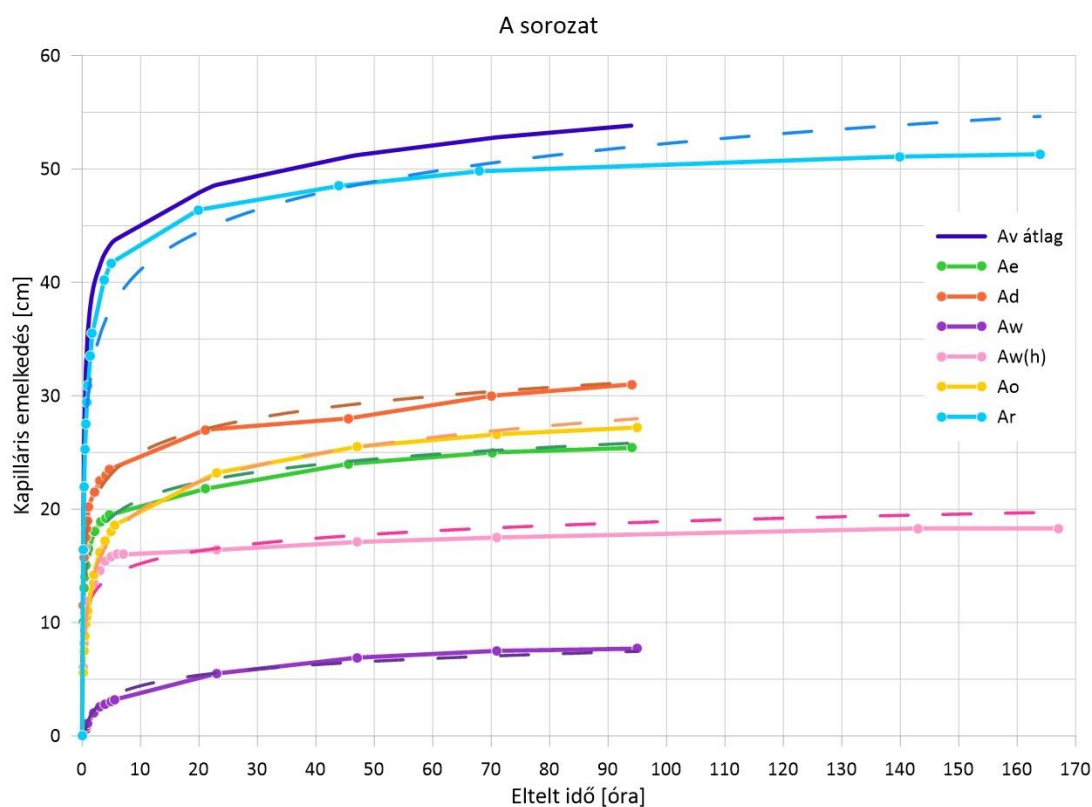


4. táblázat

Kód	Maximális emelkedési magasság [cm]
Av 1.	65,40
Av 2.	64,69
Av 3.	50,37
Av(s) 4.	57,35
Av 5.	59,27
Av(s) 6.	55,94
Av 7.	59,01
Av átlag	58,86

A 2. diagram a légszáraz homok egyes tesztfolyadékokkal történő kapilláris emelkedéseit ábrázolja. Az ismételt Av kísérletek helyett itt már csak az átlaguk látható, amelynek értéke lényegesen nagyobb lett a szerves tesztfolyadékokkal szemben, és maximális emelkedési magassága ebben a csoportban a legnagyobb. Kapilláris emelkedés magasság szempontjából a réz-szulfát oldat (Ar) nem sokkal követi. A réz-szulfát oldat sűrűsége és viszkozitása nagyobb, mint a vízé, ezért várható is volt az alacsonyabb kapilláris emelkedési magasság. A

lakkbenzinnek (Ad) lett a 3. legnagyobb a kapilláris emelkedése. A víznél alacsonyabb nedvesítő képessége és a csökkent felületi feszültség eredményeképpen a víznél lényegesen alacsonyabb a kapilláris emelkedése. Ezt követte a fékolaj (Ao), amely nagyobb sűrűséggel és viszkozitással rendelkezik, mint a víz, emellett a lakkbenzinhez hasonlóan nedvesítő képessége is alacsonyabb, ez mind közrejátszik az alacsonyabb kapilláris emelkedés kialakulásában. Az etanol (Ae) elsősorban a felületaktív képessége miatt tudott csak ekkora kapilláris emelkedési magasságot elérni. A legalacsonyabb magasságot azonban a folyékony mosószer (Aw) érte el, de ez nem meglepő a nagy sűrűsége és viszkozitása miatt. Azonban a benne található LAS erőteljes felületaktív tulajdonsága miatt még hígított formában (Aw(h)) sem tudta megelőzni a többi tesztfolyadékot. A kapilláris emelkedési magasságot ábrázoló görbék már az első fél órában elkezdtek elválni egymástól. Az A csoport maximális emelkedési magasságait az 5. táblázat foglalja magába, amelyeket a már korábbiakban említett módon számoltam ki. Az illesztett függvényeket a szaggatott vonalak jelölik.

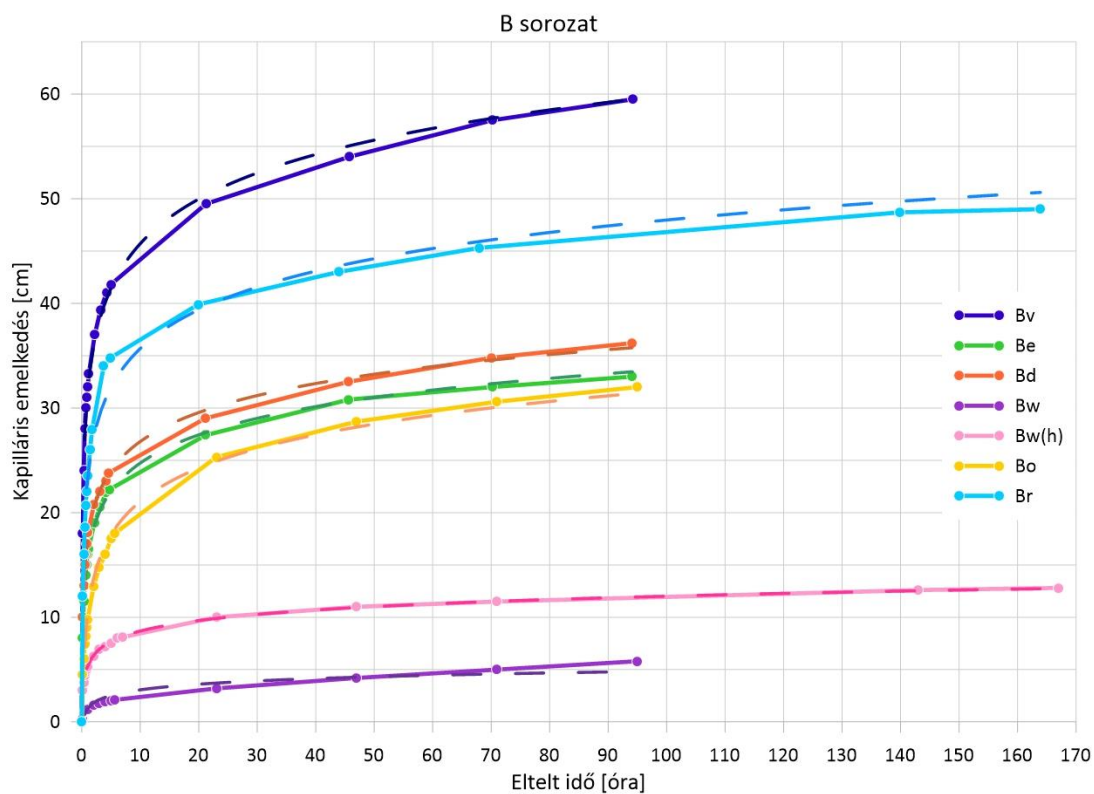


2. diagram

5. táblázat

Kód	Maximális emelkedési magasság [cm]
Av átlag	58,86
Ae	27,04
Ad	32,70
Aw	8,37
Aw(h)	19,69
Ao	30,10
Ar	54,64

A következő a B sorozat (3. diagram), itt is ábrázolva van az összes tesztfolyadékkal történő kísérlet, viszont a talajminta ebben az esetben légszáraz homok 10 tömegszázalék légszáraz agyaggal keverve. A kapilláris emelkedés sorrendje itt is majdnem ugyan az lett, mint az A sorozatnál. A legmagasabb emelkedés a desztillált víz esetében volt, ezt követte a réz-szulfát oldat és a dunasol. A fékolaj emelkedési magassága viszont kisebb lett, mint az etanolé. A legalacsonyabb emelkedést ismét a folyékony mosószer érte el. A fékolaj és az etanol sorrendjének megcserélődése azzal magyarázható, hogy a fékolaj a viszkozitása, tapadása miatt a kisebb pórusokban már nem tudott ebben a homok- agyag keverék talajmintában olyan magasra emelkedni, mint az etanol. A maximális emelkedési magasságokat itt is kiszámoltam, ezeket a 6. táblázat foglalja össze.

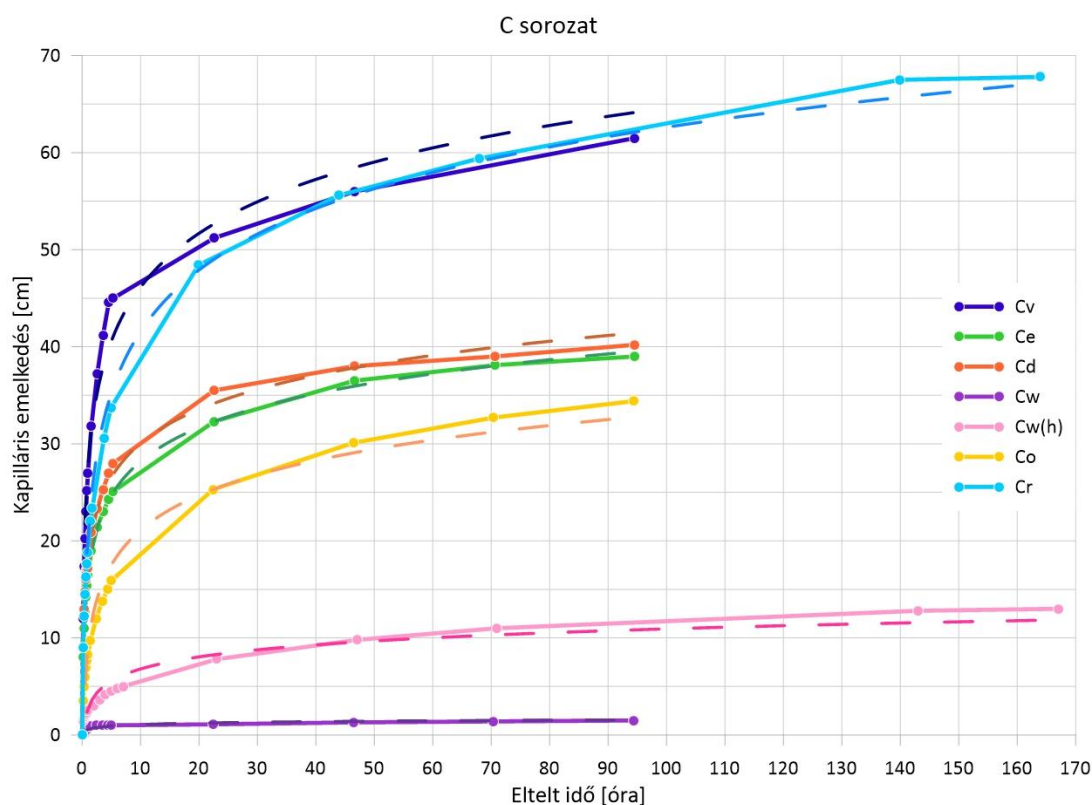


3. diagram

6. táblázat

Kód	Maximális emelkedési magasság [cm]
Bv	62,97
Be	35,74
Bd	38,07
Bw	5,32
Bw(h)	12,78
Bo	34,26
Br	50,73

A következő mérési sorozat (4. diagram) esetében a légszáraz homok talajmintához már 20 tömegszázalék légszáraz agyagot kevertem (C talajminta). A legnagyobb kapilláris emelkedési magasság még itt is a kontroll folyadékhoz, a desztillált vízhez tartozik, amit ismét nem sokkal a réz-szulfát oldat követ. A tesztfolyadékok sorrendje kapilláris emelkedési magasság szempontjából a B sorozathoz képest nem változott, a desztillált vizet és a réz-szulfát oldatot a dunasol, majd az etanol és a fékolaj követi. Legalacsonyabb emelkedések a folyékony mosószer hígított majd tömény változatához tartoznak. Maximális kapilláris emelkedési magasságok a 7. táblázatban találhatóak.

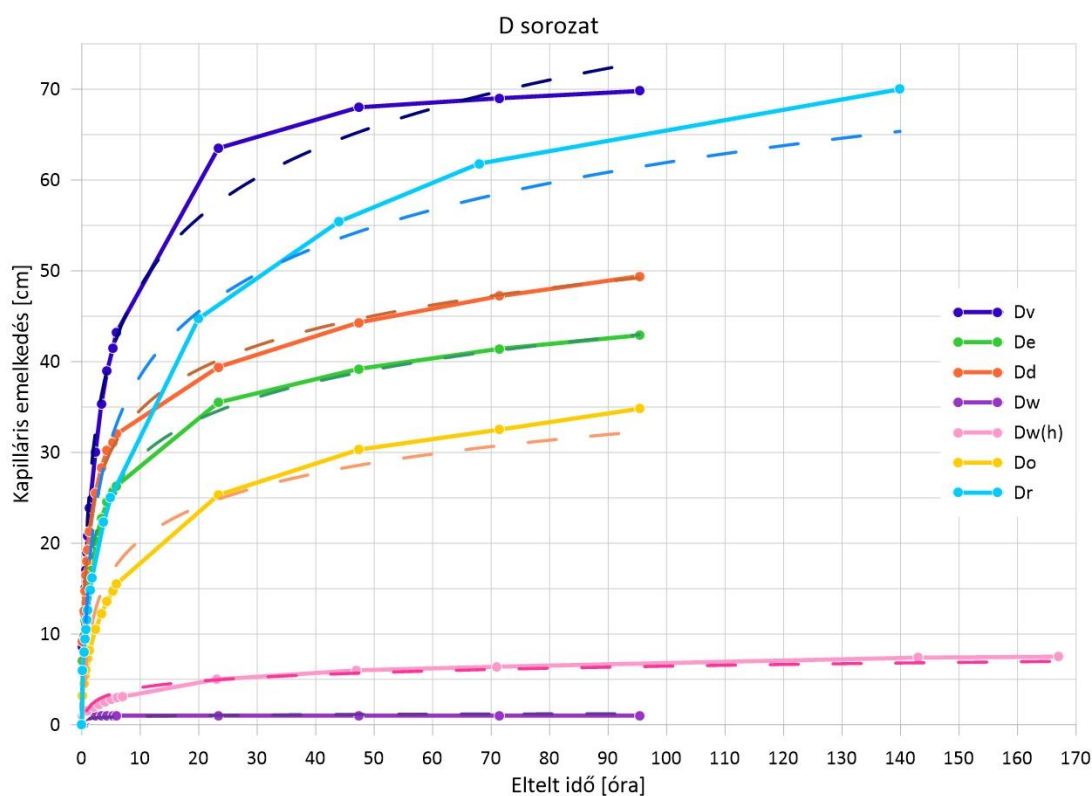


7. táblázat

Kód	Maximális emelkedési magasság [cm]
Cv	68,89
Ce	42,52
Cd	44,39
Cw	1,69
Cw(h)	12,01
Co	36,09
Cr	67,83

Az 5. diagram a D sorozat kapilláris emelkedéseit mutatja. Talajmintában a homokhoz már 30 m% agyag került keverésre. Az előzőekben felállt sorrendet tapasztaltam itt is (desztillált víz, réz-szulfát oldat, dunsol, etanol, fékolaj, hígított mosószer, mosószer). A réz-szulfát oldat víztől nagyobb sűrűsége és viszkozitása miatt alacsonyabb kapilláris emelkedést tud elérni, mint a desztillált víz. A dunsol, lakkbenzin felületi feszültsége kisebb, mint a vízé, ami csökkenti a kapilláris nyomást. Alacsonyabb sűrűség esetén a gravitációs erő is kisebb, ami önmagában növelné az emelkedést, de a felületi feszültség hatása dominálhat. Ezért a kapilláris nyomás, és így a kapilláris emelkedés is kisebb lesz, a dunsolnál, mint a víz esetében. Az etanol

hatása a felületi feszültség erőteljes csökkentése. Emellett ez erősen nedvesítő folyadék, jobban nedvesíti a talajszemcse felületét még a víznél is. A nedvesítési szög tehát kisebb, annak koszinusza nagyobb. Az etanol jobb nedvesítő képessége növelhetné is a kapilláris emelkedést, de a felületi feszültséget csökkenti és ez a hatás fog dominálni, ezért valójában alacsonyabb emelkedési magasságot tapasztaltunk. A fékolaj esetében a nagyobb sűrűség és a víznél rosszabb nedvesítő képesség eredményezi a kapilláris emelkedés csökkenését. A folyékony mosószerben található felületaktív anyagok a felületi feszültség csökkenéséhez vezetnek, emellett nagyon viszkozus a folyadék, tehát egyértelmű, hogy alacsony kapilláris emelkedést fogunk tapasztalni. A maximális kapilláris emelkedési magasságokat a 8. táblázatban foglaltam össze.



5. diagram

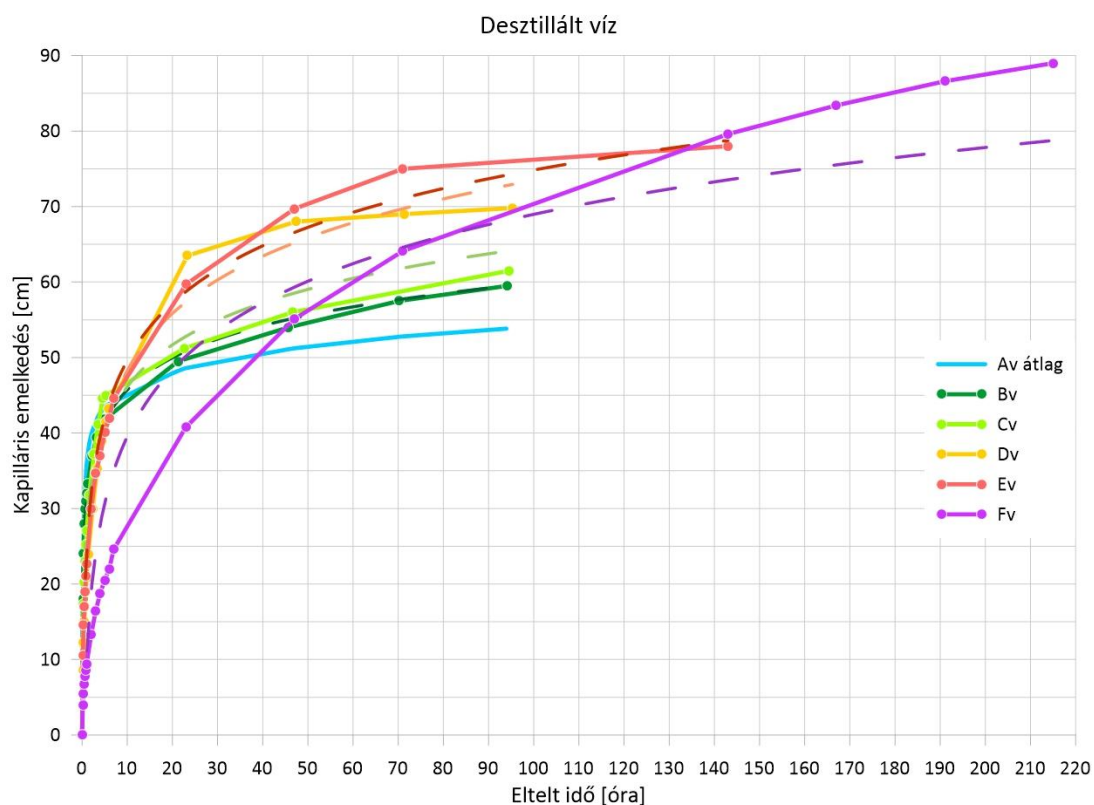
8. táblázat

Kód	Maximális emelkedési magasság [cm]
Dv	79,75
De	46,56
Dd	53,06
Dw	1,29
Dw(h)	7,07
Do	35,69
Dr	68,07

A továbbiakban a diagrammok már nem a különböző folyadékok egyféle talajmintában történő különböző viselkedéseit mutatják, hanem az egyféle tesztfolyadékok különböző talajmintákban történő viselkedését.

Az első ilyen a 6. diagram, amely a desztillált víz emelkedését mutatja meg különböző talajmintákban. Azt vártuk, hogy a növekvő agyagtartalommal egyre magasabb és magasabb kapilláris emelkedést mérjünk, hiszen már bizonyított tény, hogy a kapilláris csövek átmérőjének csökkenésével magasabbra emelkedik fel bennük a víz. Ez nagytöbbségében az én kísérleteimben is így volt, kivéve az 50 m%-os talajminta keveréket, ami a 40 m%-os mintánál kisebb lett. Mint már korábban említettem a légszáraz talajminták nedvességtartalma is számításra került, az 50 m%-os talajminta nedvességtartalma a többi légszáraz talajmintához képest magas volt. A víztartalom a többi anyagmintát nézve sem volt állandó értékű, de ezt még így is kiugró értéknek mondanám. Az agyag feltehetően a levegő páratartalmát magába szívta és emiatt megnőtt a minta nedvességtartalma, és magasabb víztartalom mellett kisebb a kapilláris emelkedés. A másik lehetséges magyarázat a leolvasásban rejlő nagyobb bizonytalanság, minél agyagosabb a minta, annál kevésbé egyértelmű a nedvesedési front vonala. Ez utóbbi feltevést látszik alátámasztani az illesztett logaritmikus függvény is, az F mérés esetében tapasztaltam a legrosszabb illeszkedést a mért adatokra. Az is megfigyelhető továbbá az illesztett függvény alapján, hogy az az érték, amihez az F mérés görbéje tart magasabb lehet, mint az E esetében. Az agyag talajokra jellemző továbbá, hogy a kapilláris emelkedés sebessége sokkal lassabb, mint homok talaj esetében, tehát elképzelhető, hogy itt is ezt a jelenséget figyelhetjük meg.

A maximális kapilláris emelkedési magasságokat ismét az illesztett logaritmikus görbék segítségével számítottam ki, ezeket a 9. táblázat tartalmazza. Az A talajmintához képest az E talajminta számolt kapilláris emelkedése 22,23 centiméterrel lett magasabb.

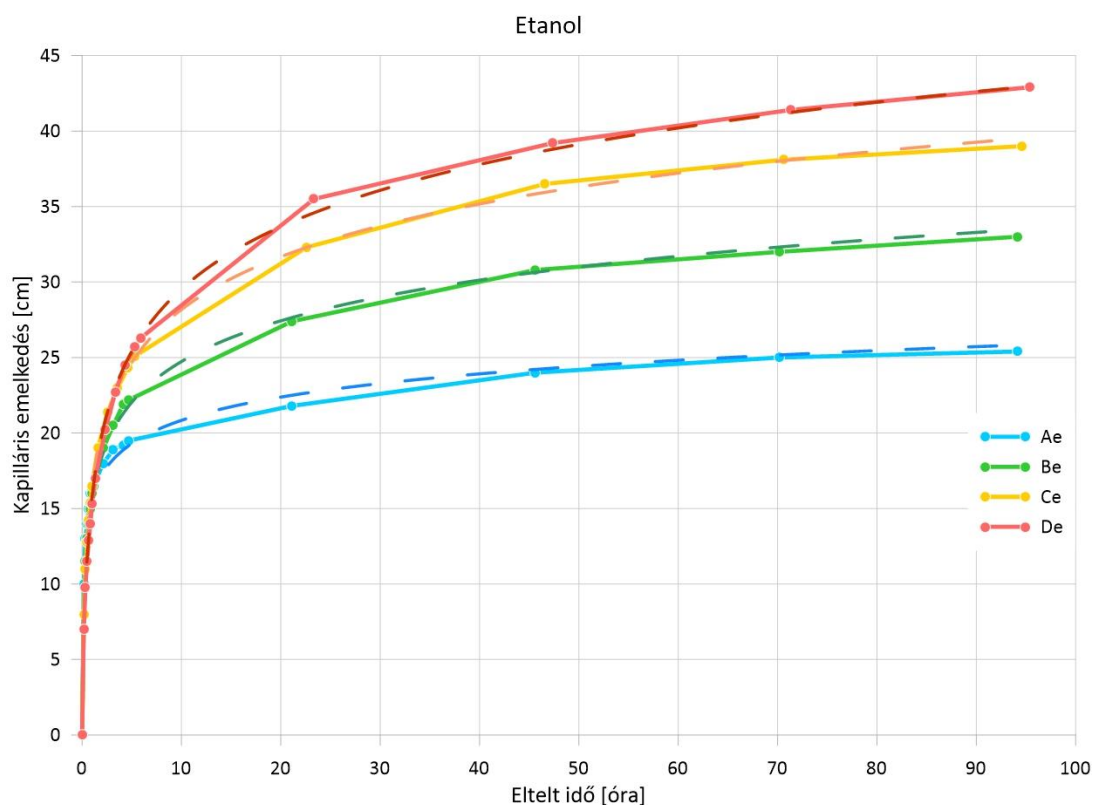


6. diagram

9. táblázat

Kód	Maximális emelkedési magasság [cm]
Av átlag	58,86
Bv	62,97
Cv	68,89
Dv	79,75
Ev	81,09
Fv	77,17

Az etanol emelkedési magasságának növekedését az agyag tartalom növekedésével nagyon szépen ábrázolja a 7. diagram. Ez várható, hiszen ugyanúgy, mint a desztillált víznél a kapillárisok átmérőjének csökkenésével a kapilláris emelkedés növekszik. A D talajminta maximális emelkedési magassága az A talajmintához viszonyítva 19,52 centiméterrel növekedett. A 10. táblázat tartalmazza a maximális kapilláris emelkedéseket az etanol esetében.

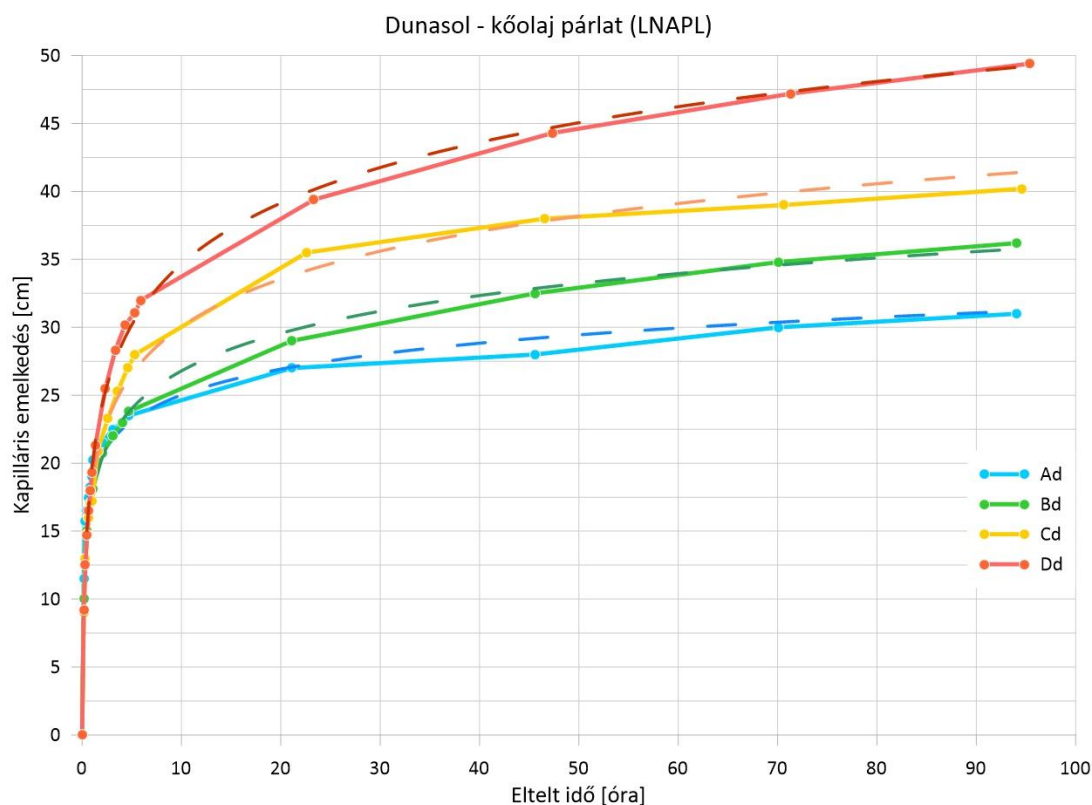


7. diagram

10. táblázat

Kód	Maximális emelkedési magasság [cm]
Ae	27,04
Be	35,74
Ce	42,52
De	46,56

A 8. diagram a dunsol-lakkbenzin (LANPL) kapilláris emelkedési magasságait ábrázolja, A, B, C és D talajminta esetében. Az emelkedési magasság az agyagtartalom növekedésével növekszik, A és D talajminták között 20,36 cm különbség volt, ezt ugyanazzal a jelenséggel lehet magyarázni, mint a desztillált víz esetében. A kapilláris pórusok egyre kisebbek és emiatt növekszik a kapilláris emelkedés. A maximális emelkedési magasságokat a 11. táblázat tartalmazza.

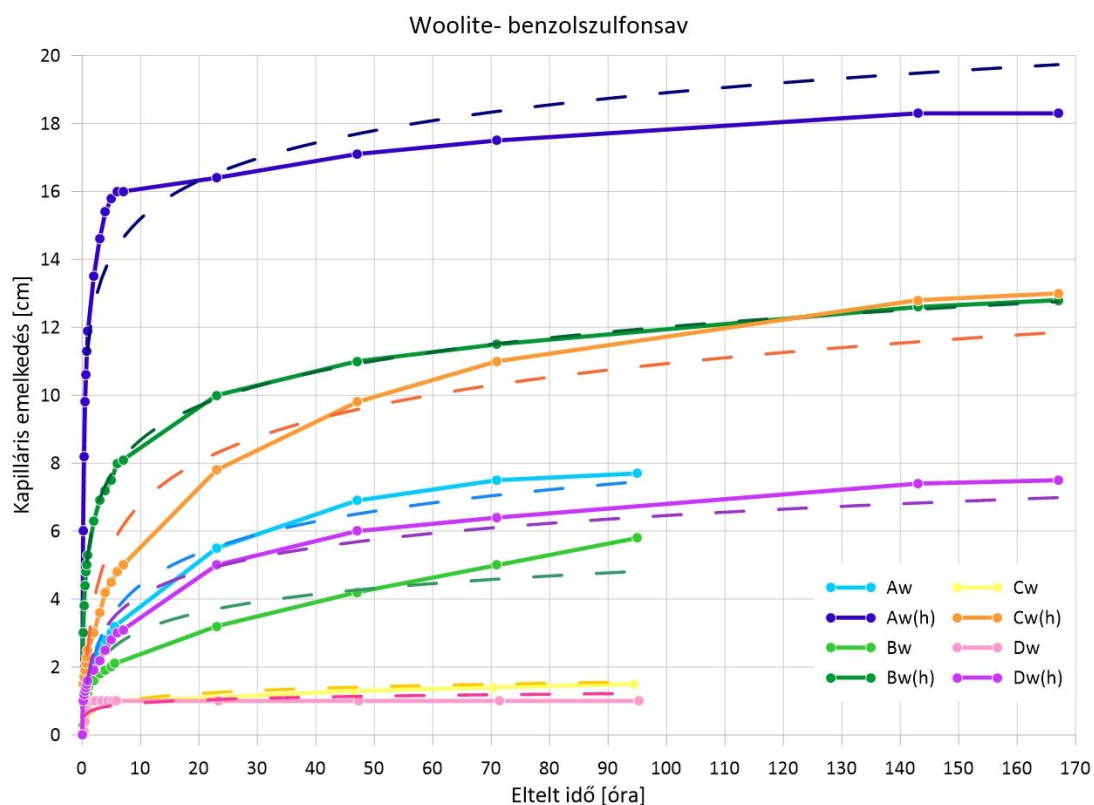


8. diagram

11. táblázat

Kód	Maximális emelkedési magasság [cm]
Ad	32,70
Bd	38,07
Cd	44,39
Dd	53,06

A folyékony mosószeret eredetileg tömény formában alkalmaztuk, de ez nagy sűrűsége miatt nagyon alacsony kapilláris emelkedésekhez vezetett, főleg a több agyagot tartalmazó talajminta keverékeknél, ezért hígított formában is teszteltük őket, amelyek eredményei már látványosabbak lettek. Ezeket a 9. diagramon mutatom be. A mosószer tömény és hígított formában is csökkenő kapilláris emelkedést mutat az agyagtartalom növekedésével. Ez feltehetően a nagy viszkozitása miatt van, hiszen az egyre csökkenő kapilláris pórusméretek egyre kevésbé átjárhatóak számára. A tömény mosószer maximális kapilláris emelkedése a homokhoz képest a 30 m% homok-agyag keveréknél 7,08 centiméterrel volt kisebb, a hígított folyadék esetében pedig 12,62 centiméterrel. A maximális kapilláris emelkedési értékeket a 12. táblázat foglalja össze.



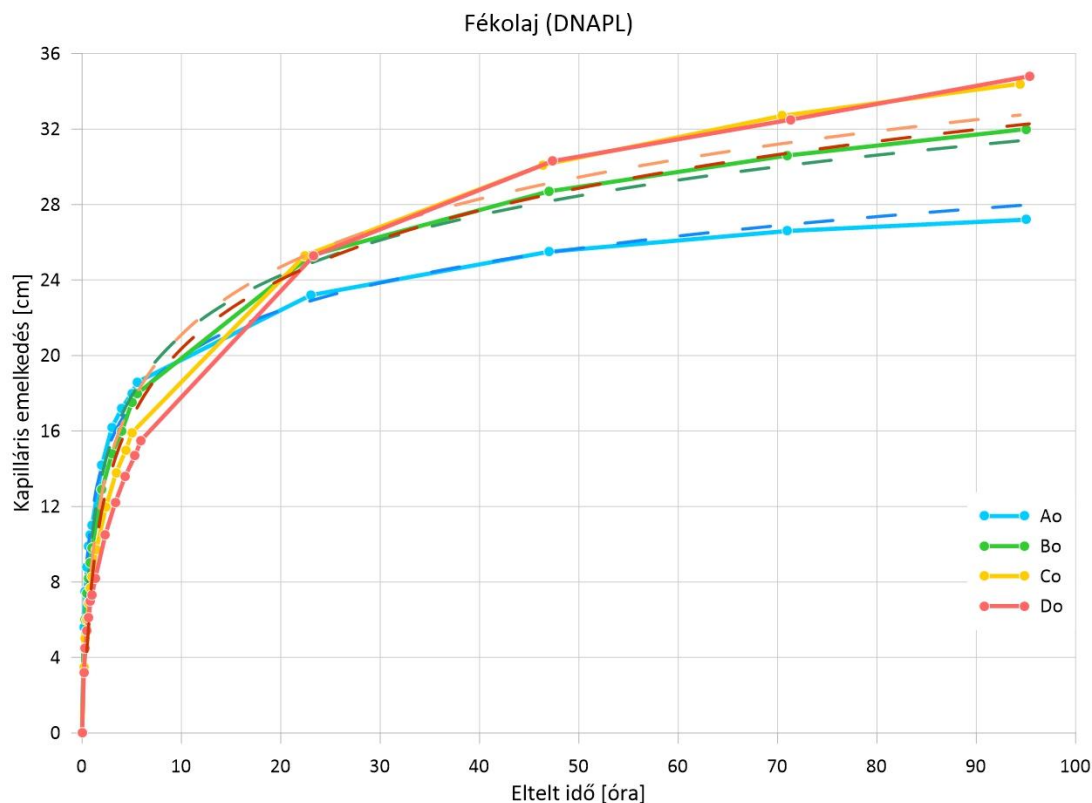
9. diagram

12. táblázat

Kód	Maximális emelkedési magasság [cm]
Aw	8,37
Bw	5,32
Cw	1,69
Dw	1,29
Aw(h)	19,69
Bw(h)	12,78
Cw(h)	12,01
Dw(h)	7,07

A fékolaj (DNAPL) kapilláris emelkedéseit a 10. diagram szemlélteti. Az A, B és C talajminta esetében általánosságban növekvő tendenciát mutat, ennek oka, ugyan úgy, mint a desztillált víznél, hogy az átmérő csökkenésével nő az emelkedési magasság. A D és C talajminta eredményei nagyon hasonlóak. Az illesztett függvény alapján viszont a maximális kapilláris emelési magassága kisebb lesz a D mintára, mint a C-re, ezeket a maximális emelkedési magasságokat a 13. táblázat tartalmazza. A legkisebb számított maximális kapilláris

emelkedés az A talajminta esetében volt, a legnagyobb pedig a C esetében, ezek különbsége 5,99 cm.

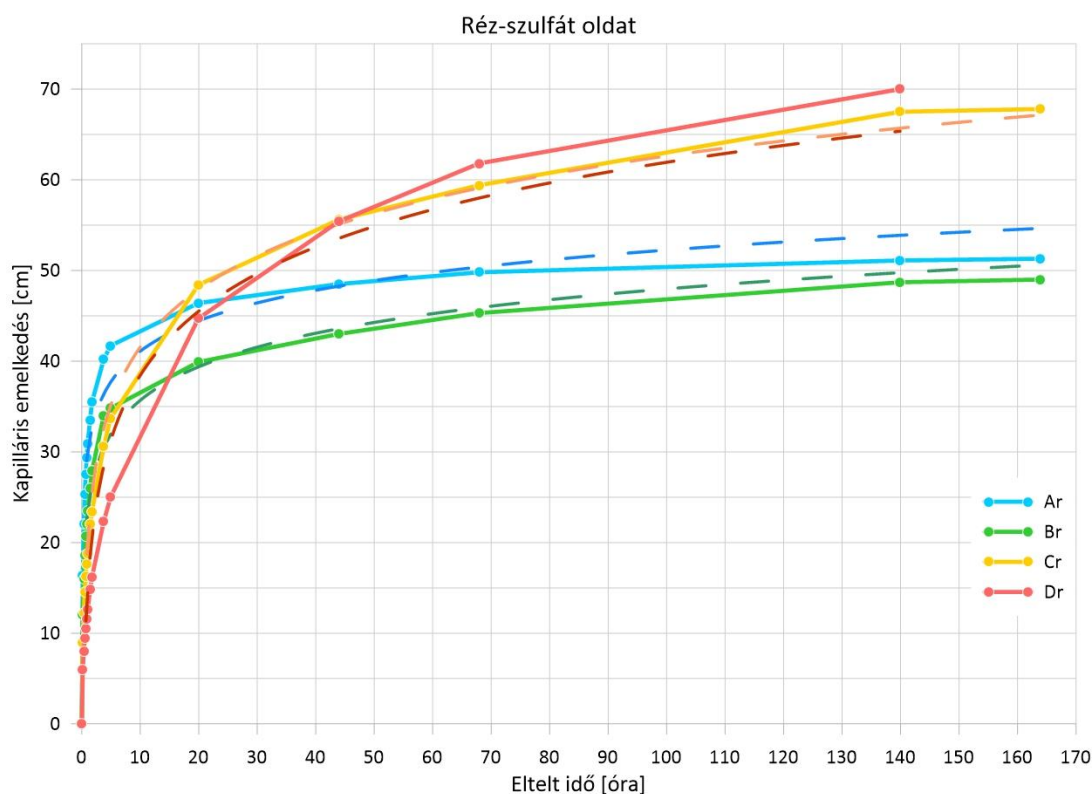


10. diagram

13. táblázat

Kód	Maximális emelkedési magasság [cm]
Ao	30,10
Bo	34,26
Co	36,09
Do	35,69

A 11. diagram az egyetlen tesztelt szervesetlen szennyező, a réz-szulfát oldat kapilláris emelkedését ábrázolja. A kapillaritás alapvetően növekvő tendenciát mutat az agyagtartalom növelésével, azonban az A és B talajmintánál van egy emelkedési magasság csökkenés. Ez feltehetően abból fakad, hogy a különbség összemérhető a mérési hibában rejlő bizonytalansággal. A maximális emelkedési magasságok a 14. táblázatban találhatóak. A legkisebb maximális kapilláris emelkedés a B talajminta esetében volt, a legnagyobb pedig a D esetében, különbségük 17,34 cm.



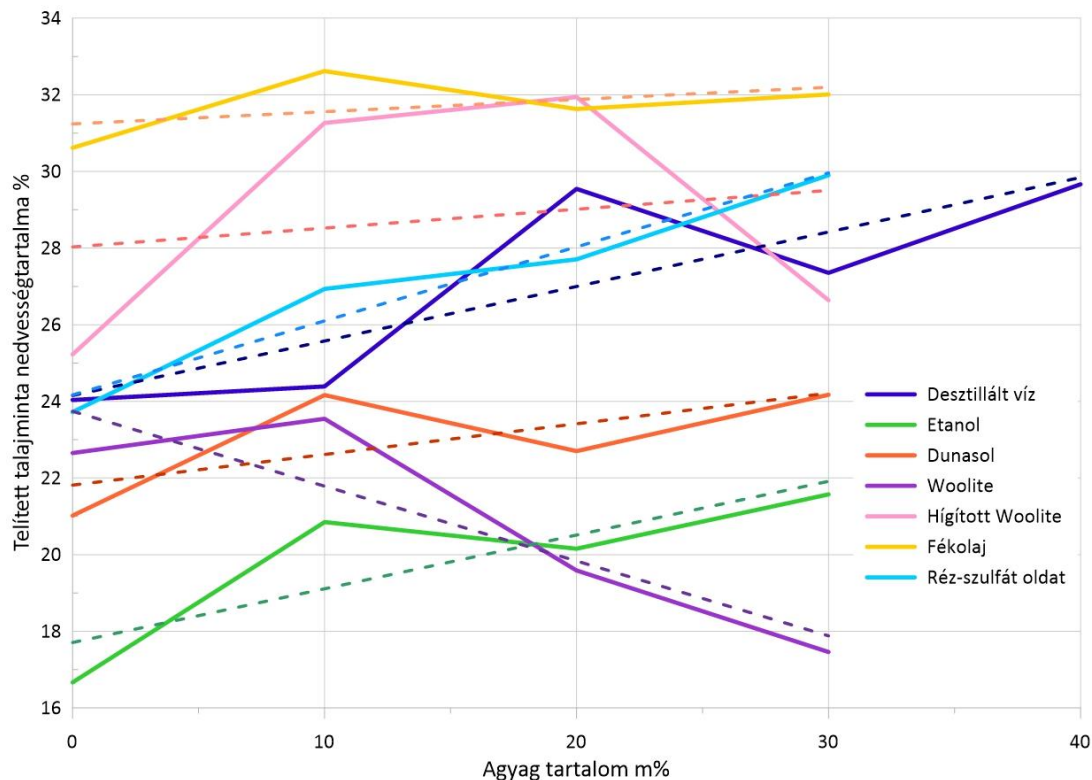
11. diagram

14. táblázat

Kód	Maximális emelkedési magasság [cm]
Ar	54,64
Br	50,73
Cr	67,83
Dr	68,07

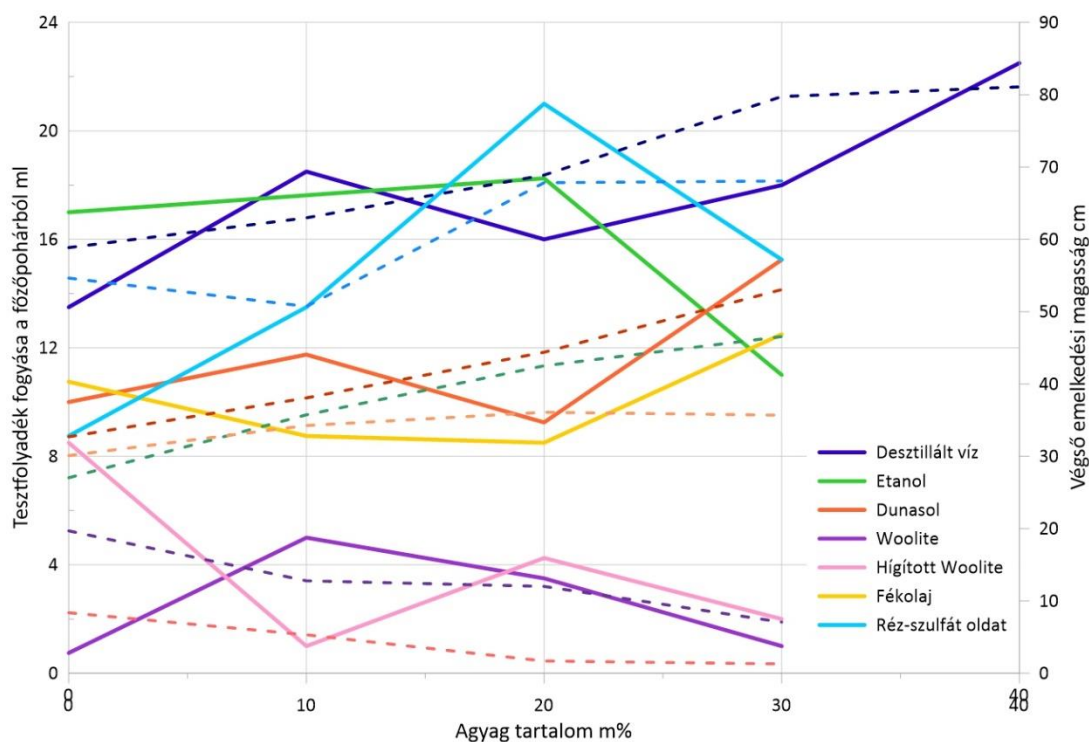
A mérések végén visszamértem a nedvességtartalmát a talajminták azon részének, amely teljesen telítődött (alsó pár cm az üvegcsőben). Ezeket az eredményeket a 12. diagram szemlélteti. Annak érdekében, hogy könnyebben látható legyen, hogy az agyagtartalom növekedésével növekvő vagy csökkenő tendenciát mutat a nedvességtartalom lineáris egyeneseket illesztettem. A legtöbb tesztfolyadéknál a nedvességtartalom növekszik az agyag homokhoz keverésével. A tömény mosószer az egyetlen, aminél nem egyértelmű eredményt kaptam. Legmagasabb nedvességtartalma a fékolajjal telített talajmintáimnak volt, ezt követte a mosószer hígított formája, majd a réz-szulfát oldat, desztillált víz (ismételt mérések átlaga), lakkbenzin, etanol és legvégül a mosószer tömény formája. Ezeknek az eredményeknek az értelmezése bonyolult, mert több tényező együttes hatása okozhatja. Így nyilvánvalóan a

folyadékok sűrűsége, súlya elsősorban befolyásolja a telített nedvességtartalmat, azonban a nedvességtartalom meghatározásában sok volt a bizonytalanság. A nedvességtartalom mérése ugyanis tömegmérésen alapul és kevés mintamennyiséget tudtam kikaparni a csövek aljából, valamint a minták 105 °C-os szárításánál sem egyértelmű az egyes oldatok viselkedése.



12. diagram

A kísérleteim során a főző poharából felszívott folyadék mennyiségét is mértem és ezt a 13. diagrammon ábrázoltam. Összehasonlításuképpen szaggatott vonallal a maximális kapillaris emelkedési magasságok is láthatóak. A maximális kapillaris emelkedés növekedésével a főzőpohárból felszívott folyadék mennyisége is nőtt, emellett általánosságban az is elmondható, hogy a magasabb agyagtartalmú talajminták több folyadékot tudtak magukba szívni.



13. diagram

8. Következtetések

A talaj kapilláris emelkedés mérésére irányuló kísérleteim bizonyos szempontból várható eredményekkel zárultak, de más szempontból érdekes megfigyeléseket is tehettem a különböző szennyezőanyagok esetére. A kapilláris pórusok átmérőjének csökkenésével a kapilláris emelkedés növekedett, hiszen a magasabb agyag tartalmú talajkeverékeknel a desztillált víz kapilláris emelkedése növekedett. Összességében a felületaktív anyagok a pórusfolyadék felületi feszültségének csökkentése révén alacsonyabb emelkedési magasságot tudnak elérni a talajban, mint a víz. Ezt tapasztaltuk a két általam vizsgált felületaktív anyagunknál az etanolnál és a folyékony mosószernél. A mosószer sűrűsége és viszkozitása is nagy, ennek hatása azonban azonos irányba mutat. Az etanol esetében ugyanakkor a víznél kisebb sűrűsége, és így súlya miatt nagyobb emelkedést is várhatnánk, de a mérések alapján dominánsabb a felületi feszültség csökkenésének a hatása. Ezt a sűrűségek közötti kis különbségnek tulajdonítom. Az olajipari termékek, a lakkbenzin és a fékolaj a kis nedvesítőképességük és a lecsökkent felületi feszültség miatt szintén kisebb kapilláris emelkedést eredményeztek a talajmintákban. Ezek esetében is ugyanaz mondható el, azaz, hogy a lakkbenzin hiába kisebb sűrűségű a víznél, mégsem emelkedik magasabbra. A víznél nagyobb sűrűség hatása a kapillaritás csökkenésében

a réz-szulfát sóoldat esetében azonban egyértelműen megmutatkozott, csakúgy, mint a folyadékok viszkózussága és tapadása hiszen a tömény mosószert a talajminták a legkevésbé tudták felszívni.

Az eredményeken tehát összességében jól nyomon követhetőek a kapillaritást befolyásoló tényezők változásának hatása, összhangban a tesztelt folyadékok ismert tulajdonságaival. Egyes vegyületek esetében az egymással ellentétes hatások közül – kisebb sűrűség, de kisebb felületi feszültség – az utóbbi tulajdonság befolyásolja dominánsan a kapillaritást, vélhetően a sűrűségben lévő csekély eltérés miatt.

A vizsgált szennyezőanyagok jellemzően nem töményen, hanem hígulva vannak oldatban a talajvízben, tehát a természetes környezetben ennél kisebb eltérések alakulhatnak ki a kapillaris zóna vastagságában szennyezőanyagok jelenlétében. Ugyanakkor olyan szennyezett területeken, ahol pontszerű szennyezőforrások vannak jelen, a források környezetében igen magas oldott koncentrációk is kialakulnak. Ilyen területek például a vegyipari üzemek, benzinkutak, olajfinomítók környezete.

9. Összefoglalás

A kutatómunkám során homok és agyagos homok talajminták kapillaritását határoztam meg laboratóriumi kísérletek segítségével.

A kapillaris emelkedés a Jurin törvény alapján egyenesen arányos a felületi feszültséggel és a nedvesítési szög koszinuszával, fordítottan arányos a folyadék sűrűségével, a nehézségi erővel és a kapillaris cső átmérőjével. Utóbbi talajok esetében egy eloszlással jellemezhető, térben heterogén paraméter, ami ezért térben változó kapillaris zónát eredményez. Emellett azonban a kapillaris zóna vastagságának változásait, valamint a telítetlen talajban az oldalirányú kapillaris szívást a pórusfolyadék tulajdonságai is befolyásolják.

A talaj kapillaris emelkedésének meghatározása számítási és mérési módszerekkel lehetséges. Utóbbi tekinthető megbízhatóbbnak, mivel a számítási módszerek mindig valamilyen egyszerűsítéssel élnek a pórustér méreteire vonatkozóan. A laboratóriumi mérések során desztillált vizet használnak, holott a talaj pórusfolyadéka, és a talajvíz kisebb-nagyobb koncentrációban tartalmazhat szervetlen és szerves vegyületeket.

A laboratóriumi mérések során azt tapasztaltam, hogy a víztől eltérő folyadékok alkalmazásával eltérő eredményeket kaptam. A különböző szennyezőanyagok különféleképpen befolyásolják a pórusfolyadék és a talaj paramétereit, és így eltérő kapillaris emelkedést

tapasztaltunk, mint ami a vízzel történő mérésekből adódik. Az etanol a felületi feszültséget és a nedvesítési szöget befolyásolja elsősorban. A folyékony mosószer a felületaktív tulajdonsága, nagy sűrűsége és magas viszkozitása együttes hatásával éri el a kapilláris emelkedés csökkenését. A kőolajipari termékeknel ugyanezt a hatást elsősorban a rosszabb nedvesítő képesség okozza, a fékolajnál emellett még a nagyobb sűrűségnek is lehet szerepe. A réz-szulfát oldatnál a csökkenés elsősorban a kicsit magasabb sűrűsége miatt következik be.

A pórusfolyadékban jelen lévő oldott anyagok tehát ezen hatásaik révén is módosíthatják a talaj vízgazdálkodását.

A kutatómunkát mindenképpen szeretném folytatni, amelyhez két irány is kijelölhető. Az egyik a mérési módszertan fejlesztése egyrészt a mérési pontosság növeléséhez, másrészt a kinyerhető információk bővítéséhez. Az általam mért adatokhoz képest sokkal több és pontosabb információt szolgáltatna egy olyan mérőoszlop, amelyben a talajszelvény mentén több ponton automata nedvességmérő szenzorok, illetve potenciálmérés lenne beépítve. Ezzel kiküszöbölnénk a leolvasási nehézségeket és pontatlanságokat, másrészt felvehetővé válna a potenciálszint változás a talajoszlop mentén, amellyel már bonyolultabb matematikai számítási módszerek alkalmazhatóvá válnak. Ehhez kapcsolódik a másik tovább folytatási lehetőség, ahol a matematikai módszerek közül a telítetlen szivárgás modellezését tekintem jövőbeli feladatommak. Modellek felépítésével már szinte korlátlan mennyiségű szimuláció tehető a különböző peremfeltételek megváltoztatásával.

10. Köszönetnyilvánítás

A dolgozatban bemutatott kutatás a Széchenyi Terv Plusz program keretében az RRF-2.3.1-21-2022-00008 számú projekt támogatásával valósult meg.

11.Mellékletek

Av 1.			Av 2.		
idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]	idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]
2024.07.15 12:07	0	0	2024.07.22 10:47	0	0
2024.07.15 12:15	0,133	18	2024.07.22 10:57	0,167	22
2024.07.15 12:30	0,383	28,8	2024.07.22 11:07	0,333	29
2024.07.15 12:45	0,633	34,5	2024.07.22 11:17	0,5	33,5
2024.07.15 13:00	0,883	38	2024.07.22 11:27	0,667	36
2024.07.15 14:00	1,883	43,9	2024.07.22 11:37	0,833	38
2024.07.15 15:00	2,883	45,5	2024.07.22 11:47	1	39,5
2024.07.15 15:45	3,630	46,5	2024.07.22 12:00	1,217	41
2024.07.16 8:10	20,05	52	2024.07.22 13:00	2,217	44
2024.07.19 13:00	96,883	58	2024.07.22 14:00	3,217	46
			2024.07.22 15:00	4,217	47
			2024.07.22 15:35	4,8	47,5
			2024.07.23 8:00	21,217	52,5
			2024.07.24 8:30	45,717	56,5
			2024.07.25 9:00	70,217	58,2
			2024.07.26 9:00	94,217	60,6

Av 3.			Av(s) 4.		
idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]	idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]
2024.07.29 10:25	0	0	2024.08.05 10:00	0	0
2024.07.29 10:35	0,167	13	2024.08.05 10:10	0,167	21
2024.07.29 10:45	0,333	17	2024.08.05 10:20	0,333	27,5
2024.07.29 10:55	0,5	19	2024.08.05 10:30	0,5	28
2024.07.29 11:05	0,667	21	2024.08.05 10:40	0,667	34,8
2024.07.29 11:15	0,833	22	2024.08.05 10:50	0,833	36
2024.07.29 11:25	1	23,2	2024.08.05 11:00	1	37
2024.07.29 12:00	1,583	25,8	2024.08.05 12:00	2	39
2024.07.29 13:00	2,583	29	2024.08.05 13:00	3	39,4
2024.07.29 14:00	3,583	31,3	2024.08.05 14:00	4	41,3
2024.07.29 15:00	4,583	33	2024.08.05 15:00	5	42,2
2024.07.29 15:45	5,333	34	2024.08.05 15:35	5,583	42,6
2024.07.30 9:00	22,583	42,3	2024.08.06 9:00	23	47,8
2024.07.31 9:00	46,583	43	2024.08.07 9:00	47	51,2
2024.08.01 9:00	70,583	44,8	2024.08.08 9:00	71	52,5
2024.08.02 9:00	94,583	44,8	2024.08.09 9:00	95	53,2

Av 5.			Av(s) 6.		
idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]	idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]
2024.08.26 10:32	0	0	2024.08.26 10:32	0	0
2024.08.26 10:44	0,2	22,2	2024.08.26 10:44	0,2	20,7
2024.08.26 10:52	0,333	26,7	2024.08.26 10:52	0,333	26,2
2024.08.26 11:02	0,5	30	2024.08.26 11:02	0,5	30,1
2024.08.26 11:12	0,667	32,9	2024.08.26 11:12	0,667	32,9
2024.08.26 11:22	0,833	35	2024.08.26 11:22	0,833	35
2024.08.26 11:32	1	36,6	2024.08.26 11:32	1	37
2024.08.26 12:00	1,467	40	2024.08.26 12:00	1,467	41
2024.08.26 13:00	2,467	41,5	2024.08.26 13:00	2,467	43
2024.08.26 14:00	3,467	42,8	2024.08.26 14:00	3,467	43,9
2024.08.26 15:00	4,467	43,5	2024.08.26 15:00	4,467	44,2
2024.08.26 15:35	5,050	43,8	2024.08.26 15:35	5,05	44,5
2024.08.27 9:00	22,467	48	2024.08.27 9:00	22,467	47
2024.08.28 9:00	46,467	51,9	2024.08.28 9:00	46,467	49
2024.08.29 9:00	70,467	53,8	2024.08.29 9:00	70,467	49,9
2024.08.30 9:30	94,967	55,5	2024.08.30 9:30	94,967	49,9

Av 7.			Ae		
idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]	idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]
2024.09.02 9:40	0	0	2024.07.22 10:52	0	0
2024.09.02 9:50	0,167	27,2	2024.07.22 11:02	0,167	10
2024.09.02 10:00	0,333	28,7	2024.07.22 11:12	0,333	13
2024.09.02 10:10	0,5	32,9	2024.07.22 11:22	0,5	14
2024.09.02 10:20	0,667	36,6	2024.07.22 11:32	0,667	15
2024.09.02 10:30	0,833	37,9	2024.07.22 11:42	0,833	16
2024.09.02 10:40	1	38,7	2024.07.22 11:52	1	16,2
2024.09.02 11:00	1,333	40	2024.07.22 12:00	1,133	16,5
2024.09.02 12:00	2,333	42,5	2024.07.22 13:00	2,133	18
2024.09.02 13:00	3,333	44	2024.07.22 14:00	3,133	18,9
2024.09.02 14:00	4,333	45	2024.07.22 15:00	4,133	19,2
2024.09.02 15:00	5,333	45,8	2024.07.22 15:35	4,717	19,5
2024.09.02 15:35	5,917	46,1	2024.07.23 8:00	21,133	21,8
2024.09.03 9:00	23,333	50	2024.07.24 8:30	45,633	24
2024.09.04 9:00	47,333	52,7	2024.07.25 9:00	70,133	25
2024.09.05 9:00	71,333	54,3	2024.07.26 9:00	94,133	25,4
2024.09.06 9:00	95,333	55,2			

Ad			Aw		
idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]	idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]
2024.07.22 10:56	0	0	2024.08.05 10:00	0	0
2024.07.22 11:06	0,167	11,5	2024.08.05 10:10	0,167	0
2024.07.22 11:16	0,333	15,75	2024.08.05 10:20	0,333	
2024.07.22 11:26	0,5	16,5	2024.08.05 10:30	0,5	0,5
2024.07.22 11:36	0,667	17,5	2024.08.05 10:40	0,667	0,6
2024.07.22 11:46	0,833	18,25	2024.08.05 10:50	0,833	0,9
2024.07.22 11:56	1	19	2024.08.05 11:00	1	1,1
2024.07.22 12:00	1,067	20,2	2024.08.05 12:00	2	2
2024.07.22 13:00	2,067	21,5	2024.08.05 13:00	3	2,6
2024.07.22 14:00	3,067	22,5	2024.08.05 14:00	4	2,8
2024.07.22 15:00	4,067	23	2024.08.05 15:00	5	3
2024.07.22 15:35	4,65	23,5	2024.08.05 15:35	5,583	3,2
2024.07.23 8:00	21,067	27	2024.08.06 9:00	23	5,5
2024.07.24 8:30	45,567	28	2024.08.07 9:00	47	6,9
2024.07.25 9:00	70,067	30	2024.08.08 9:00	71	7,5
2024.07.26 9:00	94,067	31	2024.08.09 9:00	95	7,7

Aw(h)			Ao		
idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]	idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]
2024.09.17 9:00	0	0	2024.08.05 10:00	0	0
2024.09.17 9:10	0,167	6	2024.08.05 10:10	0,167	5,6
2024.09.17 9:20	0,333	8,2	2024.08.05 10:20	0,333	7,5
2024.09.17 9:30	0,5	9,8	2024.08.05 10:30	0,5	8,8
2024.09.17 9:40	0,667	10,6	2024.08.05 10:40	0,667	9,9
2024.09.17 9:50	0,833	11,3	2024.08.05 10:50	0,833	10,5
2024.09.17 10:00	1	11,9	2024.08.05 11:00	1	11
2024.09.17 11:00	2	13,5	2024.08.05 12:00	2	14,2
2024.09.17 12:00	3	14,6	2024.08.05 13:00	3	16,2
2024.09.17 13:00	4	15,4	2024.08.05 14:00	4	17,2
2024.09.17 14:00	5	15,8	2024.08.05 15:00	5	18
2024.09.17 15:00	6	16	2024.08.05 15:35	5,583	18,6
2024.09.17 16:00	7	16	2024.08.06 9:00	23	23,2
2024.09.18 8:00	23	16,4	2024.08.07 9:00	47	25,5
2024.09.19 8:00	47	17,1	2024.08.08 9:00	71	26,6
2024.09.20 8:00	71	17,5	2024.08.09 9:00	95	27,2
2024.09.23 8:00	143	18,3			
2024.09.24 8:00	167	18,3			

Ar			Bv		
idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]	idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]
2024.10.01 12:05	0	0	2024.07.22 10:47	0	0
2024.10.01 12:15	0,167	16,4	2024.07.22 10:57	0,167	18
2024.10.01 12:25	0,167	22	2024.07.22 11:07	0,333	24
2024.10.01 12:35	0,5	25,3	2024.07.22 11:17	0,5	28
2024.10.01 12:45	0,667	27,5	2024.07.22 11:27	0,667	30
2024.10.01 12:55	0,833	29,4	2024.07.22 11:37	0,833	31
2024.10.01 13:05	1	30,9	2024.07.22 11:47	1	32
2024.10.01 13:30	1,417	33,5	2024.07.22 12:00	1,217	33,3
2024.10.01 13:50	1,75	35,5	2024.07.22 13:00	2,217	37
2024.10.01 15:50	3,75	40,2	2024.07.22 14:00	3,217	39,4
2024.10.01 17:00	4,917	41,7	2024.07.22 15:00	4,217	41
2024.10.02 8:00	19,917	46,4	2024.07.22 15:35	4,967	41,8
2024.10.03 8:00	43,917	48,5	2024.07.23 8:00	21,217	49,5
2024.10.04 8:00	67,917	49,8	2024.07.24 8:30	45,717	54
2024.10.07 8:00	139,917	51,1	2024.07.25 9:00	70,217	57,5
2024.10.08 8:00	163,917	51,3	2024.07.26 9:00	94,217	59,5

Be			Bd		
idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]	idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]
2024.07.22 10:52	0	0	2024.07.22 10:56	0	0
2024.07.22 11:02	0,167	8	2024.07.22 11:06	0,167	10
2024.07.22 11:12	0,333	11,5	2024.07.22 11:16	0,333	13
2024.07.22 11:22	0,5	13	2024.07.22 11:26	0,5	15
2024.07.22 11:32	0,667	14	2024.07.22 11:36	0,667	16
2024.07.22 11:42	0,833	15	2024.07.22 11:46	0,833	17
2024.07.22 11:52	1	16	2024.07.22 11:56	1	18
2024.07.22 12:00	1,133	16,5	2024.07.22 12:00	1,067	18,1
2024.07.22 13:00	2,133	19	2024.07.22 13:00	2,067	20,75
2024.07.22 14:00	3,133	20,5	2024.07.22 14:00	3,067	22
2024.07.22 15:00	4,133	21,9	2024.07.22 15:00	4,067	23
2024.07.22 15:35	4,717	22,2	2024.07.22 15:35	4,650	23,8
2024.07.23 8:00	21,133	27,4	2024.07.23 8:00	21,067	29
2024.07.24 8:30	45,633	30,8	2024.07.24 8:30	45,567	32,5
2024.07.25 9:00	70,133	32	2024.07.25 9:00	70,067	34,8
2024.07.26 9:00	94,133	33	2024.07.26 9:00	94,067	36,2

Bw			Bw(h)		
idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]	idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]
2024.08.05 10:00	0	0	2024.09.17 9:00	0	0
2024.08.05 10:10	0,167	0,3	2024.09.17 9:10	0,167	3
2024.08.05 10:20	0,333	0,9	2024.09.17 9:20	0,333	3,8
2024.08.05 10:30	1	1	2024.09.17 9:30	0,5	4,4
2024.08.05 10:40	0,667	1,1	2024.09.17 9:40	0,667	4,8
2024.08.05 10:50	0,833	1,1	2024.09.17 9:50	0,833	5
2024.08.05 11:00	1	1,2	2024.09.17 10:00	1	5,3
2024.08.05 12:00	2	1,6	2024.09.17 11:00	2	6,3
2024.08.05 13:00	3	1,8	2024.09.17 12:00	3	6,9
2024.08.05 14:00	4	1,9	2024.09.17 13:00	4	7,2
2024.08.05 15:00	5	2	2024.09.17 14:00	5	7,5
2024.08.05 15:35	5,583	2,1	2024.09.17 15:00	6	8
2024.08.06 9:00	23	3,2	2024.09.17 16:00	7	8,1
2024.08.07 9:00	47	4,2	2024.09.18 8:00	23	10
2024.08.08 9:00	71	5	2024.09.19 8:00	47	11
2024.08.09 9:00	95	5,8	2024.09.20 8:00	71	11,5
			2024.09.23 8:00	143	12,6
			2024.09.24 8:00	167	12,8

Bo			Br		
idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]	idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]
2024.08.05 10:00	0	0	2024.10.01 12:05	0	0
2024.08.05 10:10	0,167	4,5	2024.10.01 12:15	0,167	12
2024.08.05 10:20	0,333	6	2024.10.01 12:25	0,333	16
2024.08.05 10:30	0,5	7,4	2024.10.01 12:35	0,5	18,6
2024.08.05 10:40	0,667	8,2	2024.10.01 12:45	0,667	20,7
2024.08.05 10:50	0,833	9	2024.10.01 12:55	0,833	22
2024.08.05 11:00	1	9,8	2024.10.01 13:05	1	23,5
2024.08.05 12:00	2	12,9	2024.10.01 13:30	1,417	26
2024.08.05 13:00	3	14,8	2024.10.01 13:50	1,75	27,9
2024.08.05 14:00	4	16	2024.10.01 15:50	3,75	34
2024.08.05 15:00	5	17,5	2024.10.01 17:00	4,917	34,8
2024.08.05 15:35	5,583	18	2024.10.02 8:00	19,917	39,9
2024.08.06 9:00	23	25,3	2024.10.03 8:00	43,917	43
2024.08.07 9:00	47	28,7	2024.10.04 8:00	67,917	45,3
2024.08.08 9:00	71	30,6	2024.10.07 8:00	139,917	48,7
2024.08.09 9:00	95	32	2024.10.08 8:00	163,917	49

Cv			Ce		
idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]	idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]
2024.07.29 10:25	0	0	2024.07.29 10:25	0	0
2024.07.29 10:35	0,167	12	2024.07.29 10:35	0,167	8
2024.07.29 10:45	0,333	17,4	2024.07.29 10:45	0,333	11
2024.07.29 10:55	0,5	20,2	2024.07.29 10:55	0,5	12,8
2024.07.29 11:05	0,667	23	2024.07.29 11:05	0,667	14,2
2024.07.29 11:15	0,833	25,2	2024.07.29 11:15	0,833	15,4
2024.07.29 11:25	1	27	2024.07.29 11:25	1	16,5
2024.07.29 12:00	1,583	31,8	2024.07.29 12:00	1,583	19
2024.07.29 13:00	2,583	37,2	2024.07.29 13:00	2,583	21,4
2024.07.29 14:00	3,583	41,2	2024.07.29 14:00	3,583	23
2024.07.29 15:00	4,583	44,6	2024.07.29 15:00	4,583	24,3
2024.07.29 15:45	5,333	45	2024.07.29 15:45	5,333	25,1
2024.07.30 9:00	22,583	51,2	2024.07.30 9:00	22,583	32,3
2024.07.31 9:00	46,583	56	2024.07.31 9:00	46,583	36,5
2024.08.01 9:00	70,583	-	2024.08.01 9:00	70,583	38,1
2024.08.02 9:00	94,583	61,5	2024.08.02 9:00	94,583	39

Cd			Cw		
idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]	idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]
2024.07.29 10:25	0	0	2024.08.12 10:35	0	0
2024.07.29 10:35	0,167	9	2024.08.12 10:45	0,167	0
2024.07.29 10:45	0,333	13	2024.08.12 10:55	0,333	0,1
2024.07.29 10:55	0,5	14,8	2024.08.12 11:05	0,5	0,2
2024.07.29 11:05	0,667	16	2024.08.12 11:15	0,667	0,4
2024.07.29 11:15	0,833	17,1	2024.08.12 11:25	0,833	0,6
2024.07.29 11:25	1	17,2	2024.08.12 11:35	1	0,8
2024.07.29 12:00	1,583	20,9	2024.08.12 12:00	1,417	0,9
2024.07.29 13:00	2,583	23,3	2024.08.12 13:00	2,417	1
2024.07.29 14:00	3,583	25,3	2024.08.12 14:00	3,417	1
2024.07.29 15:00	4,583	27	2024.08.12 15:00	4,417	1
2024.07.29 15:45	5,333	28	2024.08.12 15:35	5	1
2024.07.30 9:00	22,583	35,5	2024.08.13 9:00	22,417	1,1
2024.07.31 9:00	46,583	38	2024.08.14 9:00	46,417	1,3
2024.08.01 9:00	70,583	39	2024.08.15 9:00	70,417	1,4
2024.08.02 9:00	94,583	40,2	2024.08.16 9:00	94,417	1,5

Cw(h)			Co		
idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]	idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]
2024.09.17 9:00	0	0	2024.08.12 10:35	0	0
2024.09.17 9:10	0,167	1,5	2024.08.12 10:45	0,167	3,5
2024.09.17 9:20	0,333	1,7	2024.08.12 10:55	0,333	5
2024.09.17 9:30	0,5	1,9	2024.08.12 11:05	0,5	6
2024.09.17 9:40	0,667	2,1	2024.08.12 11:15	0,667	6,9
2024.09.17 9:50	0,833	2,3	2024.08.12 11:25	0,833	7,7
2024.09.17 10:00	1	2,5	2024.08.12 11:35	1	8,3
2024.09.17 11:00	2	3	2024.08.12 12:00	1,417	9,7
2024.09.17 12:00	3	3,6	2024.08.12 13:00	2,417	12
2024.09.17 13:00	4	4,2	2024.08.12 14:00	3,417	13,8
2024.09.17 14:00	5	4,5	2024.08.12 15:00	4,417	15
2024.09.17 15:00	6	4,8	2024.08.12 15:35	5	15,9
2024.09.17 16:00	7	5	2024.08.13 9:00	22,417	25,3
2024.09.18 8:00	23	7,8	2024.08.14 9:00	46,417	30,1
2024.09.19 8:00	47	9,8	2024.08.15 9:00	70,417	32,7
2024.09.20 8:00	71	11	2024.08.16 9:00	94,417	34,4
2024.09.23 8:00	143	12,8			
2024.09.24 8:00	167	13			

Cr			Dv		
idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]	idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]
2024.10.01 12:05	0	0	2024.09.02 9:40	0	0
2024.10.01 12:15	0,167	9	2024.09.02 9:50	0,167	8,6
2024.10.01 12:25	0,333	12,2	2024.09.02 10:00	0,333	12,3
2024.10.01 12:35	0,5	14,5	2024.09.02 10:10	1	15
2024.10.01 12:45	0,667	16,3	2024.09.02 10:20	0,667	17
2024.10.01 12:55	0,833	17,6	2024.09.02 10:30	0,833	19
2024.10.01 13:05	1	18,8	2024.09.02 10:40	1	20,8
2024.10.01 13:30	1,417	22	2024.09.02 11:00	1,333	23,9
2024.10.01 13:50	1,75	23,4	2024.09.02 12:00	2,333	30
2024.10.01 15:50	3,75	30,6	2024.09.02 13:00	3,333	35,3
2024.10.01 17:00	4,917	33,7	2024.09.02 14:00	4,333	39
2024.10.02 8:00	19,917	48,4	2024.09.02 15:00	5,333	41,5
2024.10.03 8:00	43,917	55,6	2024.09.02 15:35	5,917	43,2
2024.10.04 8:00	67,917	59,4	2024.09.03 9:00	23,333	63,5
2024.10.07 8:00	139,917	67,5	2024.09.04 9:00	47,333	68
2024.10.08 8:00	163,917	67,8	2024.09.05 9:00	71,333	69
			2024.09.06 9:00	95,333	69,8

De			Dd		
idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]	idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]
2024.09.02 9:40	0	0	2024.09.02 9:40	0	0
2024.09.02 9:50	0,167	7	2024.09.02 9:50	0,167	9,2
2024.09.02 10:00	0,333	9,8	2024.09.02 10:00	0,333	12,5
2024.09.02 10:10	0,5	11,5	2024.09.02 10:10	0,5	14,7
2024.09.02 10:20	0,667	12,9	2024.09.02 10:20	0,667	16,5
2024.09.02 10:30	0,833	14	2024.09.02 10:30	0,833	18
2024.09.02 10:40	1	15,3	2024.09.02 10:40	1	19,3
2024.09.02 11:00	1,333	17	2024.09.02 11:00	1,333	21,3
2024.09.02 12:00	2,333	20,2	2024.09.02 12:00	2,333	25,5
2024.09.02 13:00	3,333	22,7	2024.09.02 13:00	3,333	28,3
2024.09.02 14:00	4,333	24,5	2024.09.02 14:00	4,333	30,2
2024.09.02 15:00	5,333	25,7	2024.09.02 15:00	5,333	31,1
2024.09.02 15:35	5,917	26,3	2024.09.02 15:35	5,917	32
2024.09.03 9:00	23,333	35,5	2024.09.03 9:00	23,333	39,4
2024.09.04 9:00	47,333	39,2	2024.09.04 9:00	47,333	44,3
2024.09.05 9:00	71,333	41,4	2024.09.05 9:00	71,333	47,2
2024.09.06 9:00	95,333	42,9	2024.09.06 9:00	95,333	49,4

Dw			Dw(h)		
idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]	idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]
2024.09.02 9:40	0	0	2024.09.17 9:00	0	0
2024.09.02 9:50	0,167	0	2024.09.17 9:10	0,167	1
2024.09.02 10:00	0,333	0,1	2024.09.17 9:20	0,333	1,2
2024.09.02 10:10	0,5	0,4	2024.09.17 9:30	0,5	1,3
2024.09.02 10:20	0,667	0,7	2024.09.17 9:40	0,667	1,4
2024.09.02 10:30	0,833	0,8	2024.09.17 9:50	0,833	1,5
2024.09.02 10:40	1	0,9	2024.09.17 10:00	1	1,6
2024.09.02 11:00	1,333	1	2024.09.17 11:00	2	1,9
2024.09.02 12:00	2,333	1	2024.09.17 12:00	3	2,2
2024.09.02 13:00	3,333	1	2024.09.17 13:00	4	2,5
2024.09.02 14:00	4,333	1	2024.09.17 14:00	5	2,8
2024.09.02 15:00	5,333	1	2024.09.17 15:00	6	3
2024.09.02 15:35	5,917	1	2024.09.17 16:00	7	3,1
2024.09.03 9:00	23,333	1	2024.09.18 8:00	23	5
2024.09.04 9:00	47,333	1	2024.09.19 8:00	47	6
2024.09.05 9:00	71,333	1	2024.09.20 8:00	71	6,4
2024.09.06 9:00	95,333	1	2024.09.23 8:00	143	7,4
			2024.09.24 8:00	167	7,5

Do			Dr		
idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]	idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]
2024.09.02 9:40	0	0	2024.10.01 12:05	0	0
2024.09.02 9:50	0,167	3,2	2024.10.01 12:15	0,167	6
2024.09.02 10:00	0,333	4,5	2024.10.01 12:25	0,333	8
2024.09.02 10:10	0,5	5,4	2024.10.01 12:35	0,5	9,4
2024.09.02 10:20	0,667	6,1	2024.10.01 12:45	0,667	10,5
2024.09.02 10:30	0,833	7	2024.10.01 12:55	0,833	11,6
2024.09.02 10:40	1	7,3	2024.10.01 13:05	1	12,6
2024.09.02 11:00	1,333	8,2	2024.10.01 13:30	1,417	14,8
2024.09.02 12:00	2,333	10,5	2024.10.01 13:50	1,75	16,2
2024.09.02 13:00	3,333	12,2	2024.10.01 15:50	3,75	22,3
2024.09.02 14:00	4,333	13,6	2024.10.01 17:00	4,917	25
2024.09.02 15:00	5,333	14,7	2024.10.02 8:00	19,917	44,7
2024.09.02 15:35	5,917	15,5	2024.10.03 8:00	43,917	55,4
2024.09.03 9:00	23,333	25,3	2024.10.04 8:00	67,917	61,8
2024.09.04 9:00	47,333	30,3	2024.10.07 8:00	139,917	70
2024.09.05 9:00	71,333	32,5			
2024.09.06 9:00	95,333	34,8			

Ev			Fv		
idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]	idő	eltelt idő [h]	magasság [cm]
2024.09.17 9:00	0	0	2024.09.17 9:00	0	0
2024.09.17 9:10	0,167	10,5	2024.09.17 9:10	0,167	4
2024.09.17 9:20	0,333	14,6	2024.09.17 9:20	0,333	5,5
2024.09.17 9:30	0,5	17	2024.09.17 9:30	0,5	6,7
2024.09.17 9:40	0,667	19	2024.09.17 9:40	0,667	7,8
2024.09.17 9:50	0,833	21	2024.09.17 9:50	0,833	8,6
2024.09.17 10:00	1	22,7	2024.09.17 10:00	1	9,4
2024.09.17 11:00	2	30	2024.09.17 11:00	2	13,3
2024.09.17 12:00	3	34,7	2024.09.17 12:00	3	16,4
2024.09.17 13:00	4	37	2024.09.17 13:00	4	18,8
2024.09.17 14:00	5	40,1	2024.09.17 14:00	5	20,5
2024.09.17 15:00	6	42	2024.09.17 15:00	6	22
2024.09.17 16:00	7	44,6	2024.09.17 16:00	7	24,6
2024.09.18 8:00	23	59,7	2024.09.18 8:00	23	40,8
2024.09.19 8:00	47	69,7	2024.09.19 8:00	47	55,1
2024.09.20 8:00	71	75	2024.09.20 8:00	71	64,1
2024.09.23 8:00	143	78	2024.09.23 8:00	143	79,6
			2024.09.24 8:00	167	83,4
			2024.09.25 8:00	191	86,6
			2024.09.26 8:00	215	89

Eredetiségi nyilatkozat

Alulírott Czákó Eszter Napsugár, a Miskolci Egyetem Műszaki Föld-és Környezettudományi Karának hallgatója büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és aláírással igazolom, hogy ezt a dolgozatot saját magam készítettem, a benne leírt vizsgálatokat - ha ezt külön nem jelzem - magam végeztem el, és az ismertetett eredményeket magam értem el. Adatokat, információkat csak az irodalomjegyzékben felsorolt forrásokból használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Miskolc, 2024. 11. 11.

Czákó Eszter Napsugár
a hallgató aláírása

Konzulensi nyilatkozat

Alulírott Dr. Tóth Andrea, a Miskolci Egyetem Víz- és Környezetgazdálkodás Intézetének [egyetemi docens] a TDK dolgozatot beadásra alkalmasnak ítélem.

Egyéb megjegyzések, ajánlás:

Miskolc, 2024. 11. 11.

Tóth Andrea
a konzulens aláírása

12. Forrásjegyzék

- [1] Marton Lajos (2009): Alkalmazott hidrogeológia. (ELTE Eötvös Kiadó Kft., Budapest, 2009) 140.
- [2] Felületi feszültség
https://hu.wikipedia.org/wiki/Fel%C3%BCleti_fesz%C3%BClts%C3%A9g
- [3] A felületi feszültség fogalma, a felületi feszültséget befolyásoló tényezők
<https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/vegypar/fizikai-kemia/a-folyadekok/a-feluleti-feszultseg-fogalma-a-feluleti-feszultseget-befolyasolo-tenyezok>
- [4] Hajszálcsovesség
<https://hu.wikipedia.org/wiki/Hajsz%C3%A1lcs%C3%B6vess%C3%A9g#Irodalom>
- [5] Juhász József (2002): Hidrogeológia (Akadémia Kiadó, Budapest, 2002) 366, 384-389.
- [6] Mádné Dr. Szőnyi Judit, Dr. Czauner Brigitta, Dr. Simon Szilvia, Dr. Erőss Anita, Zsemle Ferenc, Pulay Eszter, és Havril Tímea (2013): Hidrogeológia (Eötvös Loránd Tudományegyetem, 2013) 44. <https://ttk.elte.hu/dstore/document/868/book.pdf>
- [7] Hartman Mátyás (2010): Fizika, kémia és biológia a talajban, (Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, Budapest, 2010) 9-10, 16.
https://www.nive.hu/Downloads/Szakkepzesi_dokumentumok/Bemeneti_kompetenciak_meresi_ertekelesi_eszkozrendszerenek_kialakitasa/20_2203_014_101030.pdf
- [8] dr. Szepesházi Róbert (2008): Geotechnika (Széchenyi István Egyetem, Győr, 2008) 17.
https://se.sze.hu/images/lgm_se012_1/Szepeshazi_Geotechnika-konyv.pdf
- [9] Filep György, Kovács Balázs, Lakatos János, Madarász Tamás és Szabó Imre (2002): Szennyezett területek kármentesítése (Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2002) 70-71, 75-76, 97, 104, 231.
- [10] Dr. madara Kreybig Lajos, Dr. Endrédy Endre, Dr. Csiky János, Prettenhoffer Imre, Dr. Mados László, Dr. Arany Sándor, Dr. Fehér Dániel, Dr. Telegdy Kovács László és Dr. Di Gléria János (1944): Talajvizsgáló módszerek (M. Áll. Földtani Intézet, Budapest, 1944) 55-56.
- [11] Biztonsági adatlap Etanol 96% https://molar.hu/storage/bizonylatok_hu/bt02911.pdf
- [12] Etanol <https://hu.wikipedia.org/wiki/Etanol>
- [13] Az etil-alkohol <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termesztudomanyok/kemia/szerves-kemia/hidroxivegyuletek/az-etil-alkohol>
- [14] Etanol <https://hu.wiktionary.org/wiki/etanol>

- [15] Boduroglu S., Bashir R. (2022): Review of Capillary Rise Experiments for Surface-Active Solutes in the Subsurface. *Geotechnics* 2022, 2, 706–730. <https://doi.org/10.3390/geotechnics2030034>
- [16] Biztonsági Adatlap Woolite Delicate, Wool
[https://www.colibri90.hu/adatlapok/Woolite%20Delicate,%20Wool%20foly%C3%A9kony%20mos%C3%B3szer%20k%C3%A9nyes%20ruh%C3%A1khoz%20\(CLP\)%202017.04.10.pdf](https://www.colibri90.hu/adatlapok/Woolite%20Delicate,%20Wool%20foly%C3%A9kony%20mos%C3%B3szer%20k%C3%A9nyes%20ruh%C3%A1khoz%20(CLP)%202017.04.10.pdf)
- [17] Szürkevíz <https://hu.wikipedia.org/wiki/Sz%C3%BCrke%C3%ADz>
- [18] Dunasol 180/220, Aromásanyag mentesített lakkbenzin Biztonsági Adatlap
<https://molgroupchemicals.com/userfiles/certificates/Biztonsagi-adatlap-DS180-220.pdf>
- [19] Dunasol
https://mol.hu/images/pdf/kenoanyag_es_autoapolas/Vegyipari_termekek/Kiszerelt_termek/Dunasol.pdf
- [20] Dunasol 180/220 (aromás mentes) <https://molracing.hu/hu/termekcsoportok/vegypari-termek/dunasol-180220-aromas-mentes>
- [21] Zákányi B., Szűcs P. (2019). Víznel sűrűbb, nem vizes fázisú szennyező anyagok transzportfolyamatainak szimulációja felszín alatti közegben. *Földtani Közlöny*, 144(1), 63-70.
- [22] MOL DOT fékfolyadékok <https://mol.hu/hu/kenoanyag-es-autoapolas/autosok/termekeink/fekfolyadekok>
- [23] Biztonsági Adatlap MOL DOT 4+ fékfolyadék
<https://www.hungarolube.hu/custom/hungarolube/image/data/srattached/3618-msds-mol-dot-4-hu.pdf>
- [24] MOL DOT 4+ fékfolyadék
https://mol.hu/images/content/LUB_repo/TDS_MOL%20DOT%204+_HU.pdf
- [25] Réz-szulfát <https://hu.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9z-szulf%C3%A1t>
- [26] Sávoly Zoltán: Talajszennyező mikroelemek felvételének, eloszlásának és speciációjának vizsgálata fonálférgekben mikroanalitikai módszerekkel (Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 2013) 11.
https://teo.elte.hu/minosites/ertekezes2013/savoly_z.pdf
- [27] Szabó Árpád: sokarcú réz – nélkülözhetetlen mikroelem, szennyező nehézfém, fontos hatóanyag (2017. 03.) <https://www.agroinform.hu/szantofold/a-sokarcu-rez-nelkulozhetetlen-mikroelem-szennyezo-nehezfem-fontos-hatoanyag-32010-001>

- [28] Dr. Bidló András, Dr. Bíró Borbála, Csákiné Dr. Tombácz Etelka, Dr. Füleky György, Kristófné Dr. Horváth Erzsébet, Dr. Michéli Erika, Dr. Pápay László és Tóthné Dr. Farsang Andrea (2011): 3. kötet Talajvédelem, talajtan (Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet, Veszprém, 2. bővített kiadás – 2011) 114.
<https://tudastar.mk.uni-pannon.hu/anyagok/03-Talajtan-talajvedelem.pdf>
- [29] Qiang Liu, Noriyuki Yasufuku, Jiali Miao, Jiaguo Ren: An approach for quick estimation of maximum height of capillary rise (Soils and Foundations 2014;54(6):1241–1245)
- [30] Steiner F.: A geostatistika alapjai (Tankönyvkiadó, Budapest, 1990)
- [31] Noémi Szász, Andrea Tóth: Analysis of Atterberg limits of clayey soils exposed to pollutants (The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin UDC: 624 DOI: 10.17794)
- [32] Non-aqueous phase liquid https://en.wikipedia.org/wiki/Non-aqueous_phase_liquid
- [33] Keresztényi István: Kőolajipari termékek és előállításuk során képződő szennyvizek biológiai tisztításának ökotoxikológiai jellemzése (Szent István Egyetem , Gödöllő, 2008) 51.
1. kép https://www.simply.science/images/content/physics/mechanics/fluid_mechanics/Concept_map/Surface_Tension.html
2. kép <https://floravita.superwebaruhaz.hu/gyogyszertari-alkohol-etanol-1000-ml-tiszta-szesz-96--os-gyogyszerkonyvi-minosegu-t268091>
3. kép Saját kép
4. kép <https://megagoods.hu/dunasol-petroleumkalyha-futoanyag-zibro-kalyhahoz-5-liter-653>
5. kép <https://mol.hu/hu/kenoanyag-es-autoapolas/autosok/termekeink/fekfolyadekok>
6. kép <https://hu.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9z-szulf%C3%A1t>
7. kép Saját kép
8. kép Saját kép
9. kép Saját kép
10. kép Saját kép
1. ábra <https://hu.wikipedia.org/wiki/Hajsz%C3%A1lcs%C3%B6vess%C3%A9g>
2. ábra Dr. Bidló András, Dr. Bíró Borbála, Csákiné Dr. Tombácz Etelka, Dr. Füleky György, Kristófné Dr. Horváth Erzsébet, Dr. Michéli Erika, Dr. Pápay László és Tóthné Dr.

Farsang Andrea (2011): 3. kötet Talajvédelem, talajtan (Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet, Veszprém, 2. bővített kiadás – 2011) <https://tudastar.mk.uni-pannon.hu/anyagok/03-Talajtan-talajvedelem.pdf>

3. ábra Tananyag „A környezetvédelem alapjai” című tárgyhoz, Szerkesztette: Zákányi Balázs (Miskolc, 2019) https://www.hidrotanszek.hu/files/8509/Kornyved_jegyzet_2019.pdf
4. ábra Juhász József (2002): Hidrogeológia (Akadémia Kiadó, Budapest, 2002)
5. ábra Juhász József (2002): Hidrogeológia (Akadémia Kiadó, Budapest, 2002)
6. ábra Zákányi B., Szűcs P. (2019). Víznél sűrűbb, nem vizes fázisú szennyező anyagok transzportfolyamatainak szimulációja felszín alatti közegben. Földtani Közlöny, 144(1), 63-70.
7. ábra Zákányi B., Szűcs P. (2019). Víznél sűrűbb, nem vizes fázisú szennyező anyagok transzportfolyamatainak szimulációja felszín alatti közegben. Földtani Közlöny, 144(1), 63-70.

Képletek:

- (1) <https://hu.wikipedia.org/wiki/Hajsz%C3%A1lcs%C3%B6vess%C3%A9g#Irodalom>
- (2) Juhász József (2002): Hidrogeológia (Akadémia Kiadó, Budapest, 2002) 384.
- (3) Juhász József (2002): Hidrogeológia (Akadémia Kiadó, Budapest, 2002) 387.
- (4) Juhász József (2002): Hidrogeológia (Akadémia Kiadó, Budapest, 2002) 387.
- (5) Juhász József (2002): Hidrogeológia (Akadémia Kiadó, Budapest, 2002) 388.
- (6) Juhász József (2002): Hidrogeológia (Akadémia Kiadó, Budapest, 2002) 388.
- (7) Dr. madara Kreybig Lajos, Dr. Endrédy Endre, Dr. Csiky János, Prettenhoffer Imre, Dr. Mados László, Dr. Arany Sándor, Dr. Fehér Dániel, Dr. Telegdy Kováts László és Dr. Di Gléria János (1944): Talajvizsgálati módszerkönyv (M. Áll. Földtani Intézet, Budapest, 1944) 56.
- (8) Dr. madara Kreybig Lajos, Dr. Endrédy Endre, Dr. Csiky János, Prettenhoffer Imre, Dr. Mados László, Dr. Arany Sándor, Dr. Fehér Dániel, Dr. Telegdy Kováts László és Dr. Di Gléria János (1944): Talajvizsgálati módszerkönyv (M. Áll. Földtani Intézet, Budapest, 1944) 56.
- (9) Dr. madara Kreybig Lajos, Dr. Endrédy Endre, Dr. Csiky János, Prettenhoffer Imre, Dr. Mados László, Dr. Arany Sándor, Dr. Fehér Dániel, Dr. Telegdy Kováts László és Dr. Di Gléria János (1944): Talajvizsgálati módszerkönyv (M. Áll. Földtani Intézet, Budapest, 1944) 56.

- (10) Dr. madara Kreybig Lajos, Dr. Endrédy Endre, Dr. Csiky János, Prettenhoffer Imre, Dr. Mados László, Dr. Arany Sándor, Dr. Fehér Dániel, Dr. Telegdy Kováts László és Dr. Di Gléria János (1944): Talajvizsgálati módszerkönyv (M. Áll. Földtani Intézet, Budapest, 1944) 56.