Különböző szennyeződések hatása agyagos talajok konszolidációjára és szivárgási tényezőjére

Szász N.[1], Kolencsikné Tóth A.[2]
[1] Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, hgszn@uni-miskolc.hu
[2] Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, hgandi@uni-miskolc.hu

Absztrakt

A talajba kerülő antropogén szennyeződések két jelentős csoportja a szénhidrogének és a detergensek (más néven tenzidek). Ezek az anyagok hatással vannak a talaj szerkezetére, annak kőzetfizikai, mechanikai és szivárgáshidraulikai tulajdonságaira. A vizsgálatok során a laboratóriumi méréssorozatok szennyeződésmentes és szennyezett agyagos talajmintákon történtek. A talajok 50 m/m%-os töménységű oldatokkal (szénhidrogén és detergens) kerültek elszennyezésre. Az alapfeltételezés az volt, hogy a szennyezőanyagok jelenléte mellett a talaj szivárgási tényezője megváltozik, korábbi szakirodalmi kutatások alapján a szivárgási tényező értéke csökken, a konszolidáció foka megnő. Előbbi esetében a mérések egy flexibilis falú permeabiméter, míg a konszolidáció vizsgálata ödométer segítségével történt. Az eredmények feldolgozása során úgynevezett egyszempontos varianciaanalízis alkalmazására is sor került. A módszer segítségével lehatárolhatóvá válnak azok a szisztematikus tényezők, amelyek statisztikailag ténylegesen befolyásolják az adott adatsort, míg ezzel a szemben a véletlenszerű tényezők nem. Gyakorlatilag ez azt jelenti, hogy a módszer segítségével különböző csoportok közötti kapcsolat azonosítására adódik lehetőség. A kapott adatok egytényezős variancia analízise (ANOVA) megerősítette, hogy a tiszta és a szennyezett minta közötti különbséget a szennyezőanyag jelenléte okozza, nem pedig az adatsort befolyásoló véletlenszerű tényező.

1 Bevezetés

A talajok összetett rendszereket alkotnak, amelyek ásványianyag-, szervesanyag- és folyadéktartalma nagy mértékben eltérő lehet. Természetes állapotukban szennyeződésmentes formában találhatók meg a litoszféra felső szegmensében. Az emberi tevékenységek (pl. ipar, mezőgazdaság) következtében különböző minőségű és mennyiségű szennyezőanyagok kerülhetnek a talajba (a jelenséget a terminológia antropogén szennyezésnek nevezi). Ezen szennyeződések nemcsak magát a talajrendszert, hanem a környező bioszférát is jelentősen veszélyeztethetik (pl. növények, vízkészletek, állatok, emberek). A talajszennyezések leginkább a városokban és az ott, vagy azok agglomerációjában elhelyezkedő ipari létesítményekben fordul elő. Utóbbi hazánkban is komoly probléma, hiszen számos olyan ipari terület van az országban, ahol komoly talajszennyezés történt a létesítmény nem megfelelő üzemeltetése miatt. Ezeknek a területeknek az újrahasznosítása csak komplex kármentesítési (és gazdasági) folyamatok révén valósítható meg, amely kármentesítés után -az esetek túlnyomó részében- sem nyerhető vissza a talaj természetes állapota.

A 219/2004. (VII.21.) Kormányrendelet a felszíni vizek védelméről meghatározza a (D) kármentesítési célállapot határértéket, amely kimondja, hogy a „*hatósági határozatban előírt koncentráció, amit a kármentesítés eredményeként kell elérni az emberi egészség és az ökoszisztéma, illetve a környezeti elemek károsodásának megelőzése érdekében; meghatározása a kármentesítési eljárás keretében végzett komplex értékelésen, a szennyező*

anyagnak a környezeti elemek közötti megoszlására, viselkedésére, terjedésére vonatkozó méréseken, modellszámításokon, kármentesítési mennyiségi kockázatfelmérésen alapul a területhasználat figyelembevételével". [1]

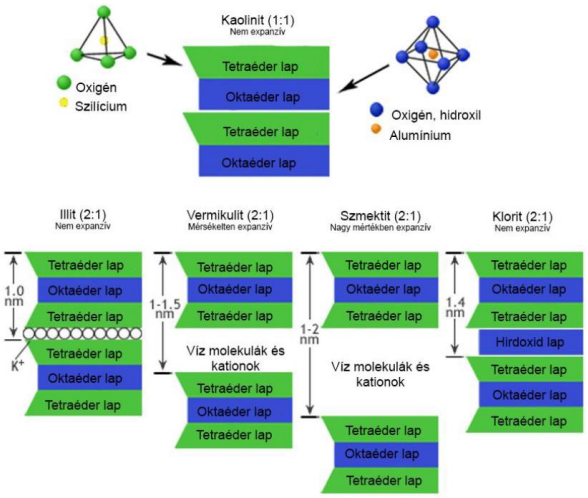
A kármentesítési munkálatok során ez a célérték gyakran nem felel meg az eredeti környezet által adott háttérértékeknek. Ennek oka egyrészt a terület és a szennyezőanyag sajátosságai, a kármentesítési módszer hatékonysága és nem utolsósorban a költséghatékonyság biztosításának kérdése. Az így meghatározott célérték ezért sok esetben egy területspecifikus érték lesz, ami akár többszöröse is lehet az iménti kormányrendeletben meghatározott (B) szennyezettségi határértéknek: „*jogszabályban, illetve ennek hiányában hatósági határozatban meghatározott olyan szennyezőanyag-koncentráció, illetve egyéb minőségi állapotjellemzők olyan szintje a felszín alatti vízben, a földtani közegben, amelynek bekövetkeztekor a földtani közeg, a felszín alatti víz szennyezettnek minősül, figyelembe véve a felszín alatti víznél az ivóvízminőség és a vízi ökoszisztémák, továbbá a felszín alatti víztől függő szárazföldi ökoszisztémák igényeit, földtani közeg esetében pedig a talajok többes rendeltetését és a felszín alatti vizek szennyezéssel szembeni érzékenységét*". [1]

Mindezek mellett a kármentesítési technológia során a kívánt cél elérése érdekében gyakran használnak további mesterséges anyagokat, mint például oldószereket, felületaktív anyagokat. Egyre elterjedtebb kármentesítési folyamat a szennyeződés koncentrációjának természetes csökkenése folyamatos kontroll mellett. Természetesen ez az eljárás csak akkor alkalmazható, ha az adott szennyeződés nem jelent környezeti kockázatot.

Az antropogén szennyeződések jelenléte miatt a talajok kémiai, fizikai és biológiai tulajdonságai megváltozhatnak. Ezek a változások a talaj számos tulajdonságában megfigyelhetők, legyen szó a talajban lévő szerves anyagok mennyiségi és minőségi változásairól, vagy akár a talaj szivárgási tényezőjéről. Jelen tanulmány célja a szennyeződés hatására az agyagos talajok hidraulikai tulajdonságaiban bekövetkező módosulások megértése, különös tekintettel a szivárgási tényező változásaira. A változások megértése, számszerűsítése és rendszerbe foglalása nagyban segítheti a kármentesítési munkálatok mind technológiai, mind finanszírozhatósági hatékonyságát. Stratégiaként. A 219/2004.(VII.21.) Korm. rendelet a felszín alatti vizek védelméről meghatározza a kármentesítési célállapot (D) határait: „*a hatósági határozatban előírt koncentráció, amelyet a kármentesítés eredményeként el kell érni. , hatással lesz az emberi egészségre, az ökoszisztémára és a környezetre, hogy megelőzze az elemek károsodását.*" [1]

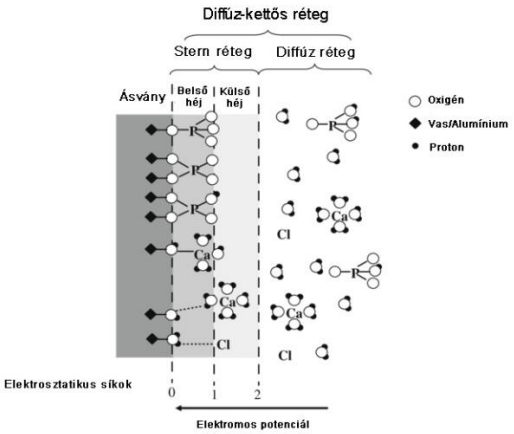
2 Az agyagásványok fontosabb tulajdonságai

Néhány szót érdemes ejteni az agyagásványok felületi tulajdonságairól, ugyanis ezek jelentősen befolyásolják az agyagos talajok viselkedését a szennyeződésekkel szemben. Az agyagásványok számos egyedi tulajdonsággal rendelkező anyagcsoportot alkotnak. Rétegszerkezetük (egy dimenzióban) a nanométeres tartományba esik, az 1:1 (TO) szerkezet vastagsága (agyagásványokra jellemző) körülbelül 0,7 nm, míg a 2:1 (TOT) szerkezet vastagsága 1 nm, ahol a rétegek és a részecskék anizotróp elrendezése figyelhető meg. [3] Az egyedi attribútumokra példaként hozhatóak fel a 2:1-es rétegszerkezetű csoport ásványai, amelyek a következő egyedi tulajdonságokkal rendelkeznek: a részecskék kolloid méretűek; jelentős fajlagos felülettel rendelkeznek; nagy a kicserélhető anionok száma (ami kevésbé függ a környezet pH-jától); mérsékelt a töltés a rétegek között; víz hatására rétegközi duzzadás figyelhető meg. Nem csak az ásványok szerkezetét, de azok felületi sajátosságait is fontos kiemelni. Ezen felületi sajátosságokat elsősorban a kémiai összetétel, az ásványszemcséken található atomok jellege (oxigén és hidrogén), a felületi hibák típusa és mértéke, valamint a réteg töltése és a kicserélhető kationok típusa határozza meg.



1. ábra: Agyagásványok jellegzetes szerkezettípusai [2]

Kiemelendő befolyásoló tényező az úgynevezett „diffúz kettős réteg" határfelület jelenség, amely az agyagrészecskék és a folyadékok határán alakul ki. Az agyagok szemcseméretük miatt a kolloidok közé sorolhatók, amelyek a kolloid micellák felületén folyamatos átmenetet képeznek a szilárd (micelláris mag) és a folyékony fázis (diszpergált réteg) között. [4] Ez a határréteg eltérőbb tulajdonságokkal rendelkezik, mint a folyékony és a szilárd fázis, és fontos szerepet játszik a határfelületeken zajló ioncsere- és adszorpciós folyamatokban. A kolloid részecskéktől távolodva az adszorbeálható kationok koncentrációja csökken, míg az anionkoncentráció nő. Ebből arra lehet következtetni, hogy a részecske felületéhez közelebb eső kationok erősebb kötéssel kötődnek a felülethez, rendezettebb réteget alkotva (Stern réteg). A távolabbi rétegek rendezetlenebbek, diffúz réteget alkotnak. A kolloid részecske felületén erősen irányított vízmolekula réteg található, a külső kationokkal, amelyek a Stern réteget alkotják. Ennek eredményeként a talajoldat és a részecske felületén potenciálkülönbség képződik, amely ettől a határfelülettől távolodva exponenciálisan csökken, és a szolvátréteg külső határára érve 0-val válik egyenlővé. Ezt az eloszlástípust diffúz-kétrétegűnek nevezik.



2. ábra: A kettős diffúz réteg vastagsága (ami több tényező függvénye) jelentősen befolyásolja az adott talaj viselkedését [5]

Mivel a kettős diffúz réteg vastagsága alapjaiban befolyásolja az agyagok viselkedését így, a geotechnikai gyakorlatban felhasználható a talajok szennyezőanyagokkal szembeni várható viselkedésének megértésére és becslésére [6].

Az így létrejövő talajszerkezet több tényező együttes eredménye, amely függ az agyagásvány rácsszerkezetétől, felületi töltésétől, ioncseréjétől, adszorpciójától, másrészt összetételétől, koncentrációjától, a jelenlévő ionok töltésétől, a permittivitástól, a hőmérséklettől továbbá egyéb külső körülményektől (pl. terhelés).

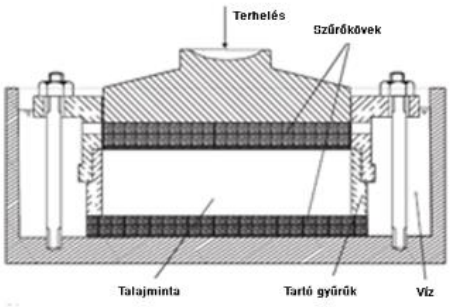
3 Detergens szennyezők hatása a konszolidációra

A talajszilárdítás egy redukciós folyamat, amelynek során a teljesen telített, alacsony vízáteresztő képességű talajminta térfogata effektív terhelés hatására fokozatosan csökken. Ennek egyik oka lehet a talajszemcsék közötti pórusokban elhelyezkedő pórusvíz jelenléte és annak elvezetése. A folyamat addig tart, amíg a teljes feszültség növekedéséből adódó többlet pórusvíznyomás teljesen el nem oszlik. Konszolidáció történhet a pórusvíz nyomásának csökkenése okán is, például talajvíz szivattyúzásból vagy kúttal történő kitermelésből. A konszolidáció legegyszerűbb esete az úgynevezett egydimenziós konszolidáció, ahol a feszültségnövekedést csak egy irányban (általában függőlegesen) alkalmazzuk, és az oldalirányú elmozdulás értéke 0. Érdemes megemlíteni az agyagos talajok esetében gyakran előforduló jelenséget, a duzzadás folyamata, amely tulajdonképpen a konszolidáció inverzének tekinthető.

A konszolidáció okozta süllyedés a talaj függőleges elmozdulását eredményezi, a folyamat során térfogatváltozás is megfigyelhető. Ezt a fajta süllyedést okozhatják agyagos talajra épített létesítmények (amelyek plusz igénybevételt jelentenek egy adott rétegre), vagy akár az agyagos réteg feletti talajvízszint tartós csökkenése is. Konszolidáció olyan esetekben is megfigyelhető, amikor a talajegyüttesben jelentős oldalirányú feszültség lép fel, ilyenkor már a talaj deformációja is hozzájárul a talaj tömörödéséhez. A talaj konszolidációja egy in situ jelenség, amely piezométerekkel nyomonkövethető. [7]

3.1 Talajkonszolidáció vizsgálata laboratóriumi körülmények között

A talajok egydimenziós tömörítése vagy duzzadása során a változó paraméterek laboratóriumi körülmények között jellemezhetők egy ödométer nevű készülékkel vizsgálható.



3. ábra: Az ödométer frontális metszete [7]

A vizsgálathoz korong alakú talajmintát használunk, amelyet a határoló gyűrűk közé helyezünk. Ezek a gyűrűk biztosítják a minta oldalsó keretét, megakadályozva annak vízszintes elmozdulását (a gyűrűk belsejét úgy tervezték, hogy az oldalsó súrlódást minimalizálja). A talajminta alján és tetején 1-1 szűrőkő (vagy a célnak megfelelő geotextília) található, amely megakadályozza a talaj kimosódását. A terhelés okozta összenyomódást a

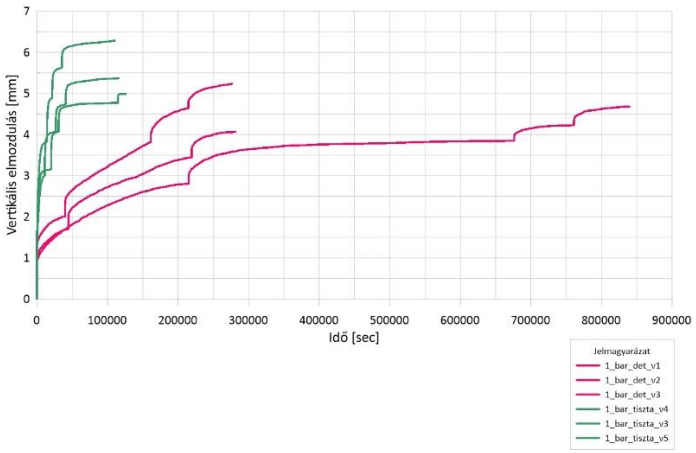
teherfedélen lévő elmozdulásérzékelő rögzíti. A terhelést fokozatosan adjuk a próbatestre, és azt a növekedési periódus megszűnéséig tartjuk fenn (a pórusvíz túlnyomása teljesen eloszlik, és az alkalmazott összfeszültség megegyezik a tényleges függőleges feszültséggel).

A vizsgálatokhoz egy Mályi melletti agyagbányából származó "szürke agyag" került felhasználásra. Az elnevezést a konzisztencia, valamint a szemeloszlási vizsgálatok alapján később pontosításra került, és sovány, iszapos-agyag elnevezést kapta. A talaj szervesanyag-tartalma alacsony, vízfelvevő képessége 50-53% körüli, ami az iszapos talajokra jellemző érték. A röntgendiffrakciós mérések (X-Ray Diffraction - XRD) alapján megállapíthatóvá vált, hogy a minta legnagyobb arányban kvarcot, illitet, muszkovitot és albitot tartalmaz. A vizsgálati sorozatok az előző részben leírtak szerint történt, 3 tiszta és 3 szennyezett mintán.

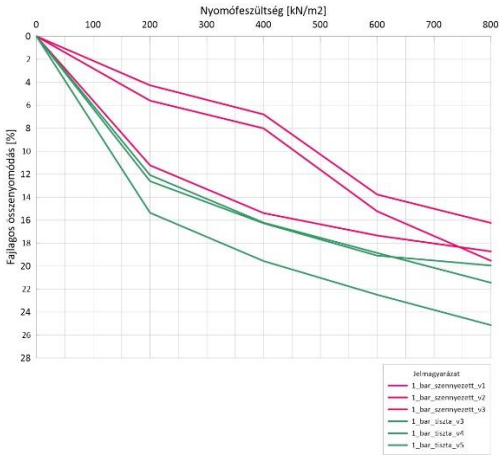
A szennyezőanyagként használt modellanyag anionos detergens volt (50 m/m%-os koncentráció). A vizsgálat alapkoncepciója szerint, a talajminták konszolidációs foka a tisztítószer jelenléte miatt változik. A talajmintát a mesterséges szennyezés után 1 hónapig légmentesen lezárt tárolódobozokban kerültek eltárolásra.

3.2 Eredmények I.

Ha csupán a nyers adatok, a tiszta és a szennyezett minták idő-elmozdulás görbéit ábrázoljuk (*4. ábra*) egy rendszerben, akkor egyértelműen látható, hogy sokkal több időre van szükség ahhoz, hogy a szennyezett mintákban lévő nagymértékű pórusvíznyomás megszűnjön. A *5. ábrán* látható, hogy az előbb hangsúlyozott változások a fajlagos alakváltozási görbéken is megfigyelhetők. A tiszta mintáknál magasabb fajlagos tömörítési értékek jelennek meg, mint a szennyezett mintáknál. Ez arra utal (korábbi irodalmi kutatások alapján is), hogy a detergens kenőanyagként viselkedik a részecskék felületén, ami a szennyezett minták fokozott konszolidációját eredményezi. (Itt érdemes megjegyezni, hogy *Safehian és társai (2018)* által végzett, szénhidrogén szennyeződések vizsgáló-méréseiben, ezt a konszolidációnövekedést a részecskék fajlagos felületének csökkenésével és az azokon a szénhidrogén okozta héjszerű réteg kialakulásával magyarázták. [9] Mindezt egy pásztázó elektronmikroszkóp (SEM) vizsgálatok alapján állapították meg, így feltételezhető, hogy a detergens szennyeződésnél is hasonló jelenség figyelhető meg, de jelen esetben is egy utólagos SEM vizsgálat után biztosabb megállapítás születhetne.



4. ábra: A vertikális elmozdulás, eltelt idő függvényében, tiszta és szennyezett minták esetében



5. ábra: Fajlagos deformációs görbék tiszta és szennyezett minták esetében

Az eredmények értelmezése során felrajzolt fajlagos deformációs görbék segítségével értelmezhető a talaj összenyomódási modulusa, amellyel az egységspecifikus összenyomódáshoz kapcsolódó feszültség válik értelmezhetővé. Az összenyomódási modulus kiszámítása a grafikonból a következőképpen történik:

$$E_s = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}; \qquad (1)$$

ahol,

$\Delta\sigma$: vertikális feszültségváltozás [kN/m^2]

$\Delta\varepsilon$: fajlagos összenyomódás változás [-]

Ennek az összenyomódási modulusnak a későbbi egyváltozós varianciaanalízis elvégzése során lesz nagyobb jelentősége, ahol az ezekből képzett adathalmaz alapján hasonlítjuk össze az egyes mintákat.

1. táblázat: Összenyomódási modulus értékek összefoglalása tiszta és szennyezett minták esetében

Minta ID	(E_s) Összenyomódási modulus [kN/m^2]	(E_s) Összenyomódási modolus [MPa]
Tiszta_1	1666	1,666
Tiszta_2	1298	1,298
Tiszta_3	1595	1,595
*Tiszta_4	1630,5	1,630
Det_1	3937	3,937
Det_2	3296	3,296
Det_3	1781	1,781
*Det_4	3616,5	3,616

A táblázatból látható, hogy mind a tiszta, mind a szennyezett minták között van „kiugró érték”, ami feltehetően a mintatest előkészítéséből adódó különbségéből adódik. Bár a mintatestek ugyanabból a mintaanyagból készülnek, és maga a mérési módszertan is ugyanaz, azonban a minta manuálisan kerül beépítésre a műszerbe, így előfordulhat, hogy itt adódhatnak különbségek (térfogat, tömeg). Így a későbbi varianciaanalízis futtatásakor adódó hiba elkerülése érdekében a mérést még egyszer ismétlésre került (*Tiszta_4/Det_4), és a kiugró értékek figyelmen kívül kerültek. Ennek az újramérésnek a tömöríthetőségi értékeit az 1. táblázat tartalmazza.

4 Detergens szennyezők hatása a szivárgási tényezőre

A talajokban a vízmozgás gravitáció hatására megy végbe, amely mozgás megközelítőleges jellemzésére a Darcy-féle törvényt szokás megadni:

$$Q = k * A * \frac{dh}{L} = k * A * \frac{h_A - h_B}{L}; \quad (2)$$

ahol,

Q: az egységnyi idő alatt átáramló vízmennyiség [m^3/d]

h_A-h_B: A,B pont mért vízoszlop magasság [m]

L: A-B pontok közötti távolság [m]

k: szivárgási tényező [m/d]

A szivárgási tényező segítségével mind a fluidum, mind a közeg is jellemezhető, amelyben áramlik a folyadék:

$$k = \frac{K}{\mu} * \rho * g; \quad (3)$$

ahol,

k: szivárgási tényező [m/s; m/d]

K: permeabilitás [m^2 vagy Darcy]

ρ: folyadék sűrűsége [kg/m^3]

g: gravitációs gyorsulás [m/s^2]

μ: hidrodinamikai viszkozitás [Pas]

A szivárgási tényező laboratóriumi körülmények között alapvetően 2 módon mérhető, állandó és változó víznyomás mellett. Előbbi esetében a mintán, adott időegység alatt átfolyó vízmennyiség kerül mérésre, míg utóbbinál a vízoszlop magasság csökkenés vizsgálata történik.

4.1 Szivárgási tényező vizsgálata laboratóriumi körülmények között

A laboratóriumi vizsgálatok elvégzéséhez a Mályi mellett található bányából származó szürke agyag (ugyanaz mint a konszolidációs mérések esetében) került felhasználásra. A szivárgási tényező laboratóriumi körülmények között történő méréséhez egy ún. flexibilis falú permeabiméter használatára került sor (*6.ábra*). Az eszközt alacsony áteresztőképességű, finomszemcsés anyagok esetén célszerű alkalmazni. A minta egy triaxiális, folyadékkal töltött cellában helyezkedik el, ahol az oldalnyomást maga a folyadék biztosítja. A mintán a folyadékot az oldalnyomásnál kisebb nyomással (0,1-0,2 MPa különbség) préseljük át, tehát egy tetszőleges hidraulikus gradiens érték állítható be. A szivárgási tényező méréséhez használt mintákat (100 mm átmérőjű és 20 mm magasságú agyag „korongok”) a vizsgálat megkezdése előtt előkonszolidáljuk ödométer segítségével (1 bar-on). Ez a konszolidációs folyamat megegyezik az előző, konszolidációs vizsgálatokról szóló fejezetben leírt folyamattal.

6. ábra: A mérések során használt flexibilis falú permeabiméter

A szivárgási tényező mérése során leolvasott víznívó süllyedések értékéből az alább leírt egyenlet segítségével határozható meg a minta szivárgási tényezője:

$$k = \frac{f*l}{F} * \frac{1}{h_w} * \frac{\Delta h}{\Delta t}; \quad (4)$$

ahol,

f: a nyomócső keresztmetszete [mm]

F: a talajminta keresztmetszete [mm]

l: a talajminta hossza [mm]

h_w: vízoszlop magasság, amely változó érték [mm]

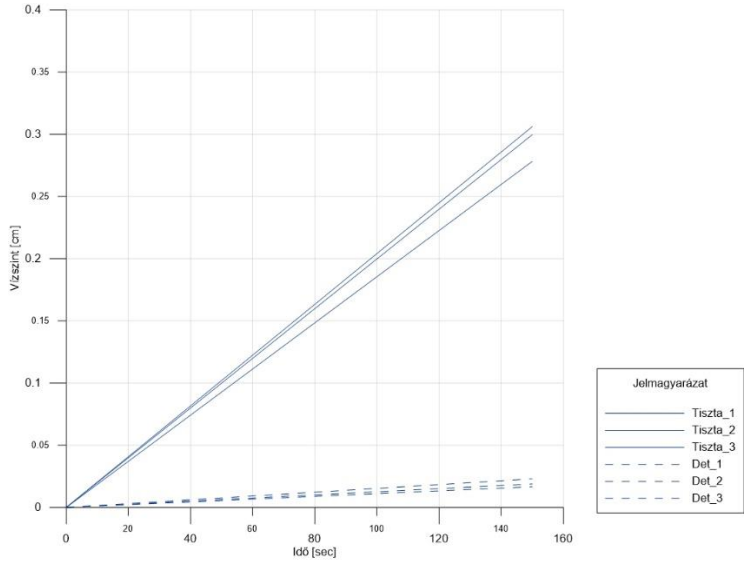
4.2 Eredmények II.

A vizsgálat alapkoncepciója itt is az volt miszerint a detergens szennyezőanyag jelenlétének hatására megváltozik a talaj szivárgási tényezőjének értéke. A talajminták a manuális elszennyezést követően 1 hónapot álltak légmentesen zárt tárolódobozokban.

2. táblázat: A flexibilis falú permeabiméterrel mért szivárgási tényező értékek összefoglalása

Minta típusa	Tiszta	Detergenssel szennyezett
Szivárgási tényező [m/s]	1,47E-09	7,47E-11
	1,61E-09	6,58E-11
	1,58E-09	9,07E-11

A tiszta mintákon mért értékek nagyságrendileg megegyeznek a gyakorlatban jegyzett [8] alacsony szervesanyag tartalmú, kis plaszticitású, iszapos agyagokéval (5.00E-10 és 5.00E-08 m/s közötti tartomány). A szennyezett minták műszerbe építése után szükségessé vált megnövelni a minta telítődési idejét. Általában ez egy 24 órás intervallum, azonban itt 48 órát vett igénybe, ugyanis korábbi mérések során 1 nap alatt nem tudott végbe menni a telítődés, így a szivárgási tényező mérése nem volt lehetséges.



7. ábra: A szivárgási tényező mérések során bekövetkező vízszint változások a különböző mintatípusokra vonatkoztatva (DET=Detergens)

Látható, hogy az amúgy agyagos talajokra jellemzően alacsony szivárgási tényező értékét a detergens jelenléte két nagyságrenddel lecsökkentette. Az bizonyos, hogy mivel a víznél sűrűbb, viszkózusabb anyagról van szó, már önmagában emiatt is hatással lehet a szivárgási tényező csökkenésére.

5 Egyváltozós varianciaanalízis (ANOVA)

Az eredmények feldolgozása során az ún. egyszempontos varianciaanalízis (one-way ANOVA) került alkalmazásra. A varianciaanalízis módszer segítségével lehatárolhatóvá válnak azok a szisztematikus tényezők, amelyek statisztikailag ténylegesen befolyásolják az adott adatsort (míg ezzel a szemben a véletlenszerű tényezők nem befolyásolják azt). Gyakorlatilag ez azt jelenti, hogy, a módszer segítségével különböző csoportok közötti kapcsolat azonosítására adódik lehetőség. Az analízis eredménye az ún. F-arány, amely lehetővé teszi a minták, valamint a mintákon belüli különbségek értelmezését. A varianciaanalízis során fontos, hogy a minták függetlenek legyenek egymástól, normál eloszlású sokaságból származzanak és a sokaságok varianciája azonos legyen.

Mivel az elvégzett varianciaanalízis egyváltozós, így két csoport került lehatárolásra a számítások során: tiszta és szennyezett minták. Tehát két kezelésszámmal (v) és három ismétlésszámmal (r) – amely az adott mintacsoporton belüli mérések ismétlésének száma – történt az analízis lefuttatása. Az analízis során az úgynevezett F-próba alkalmazásával a szórásnégyzetek egyenlősége vizsgálható, amely segítségével megtudható, hogy a két csoport (tiszta és szennyezett) között szignifikáns-e az eltérés. Ennek vizsgálata úgy történik, hogy az F-arány és az F-eloszlásinverz függvény 5%-os hibavalószínűséghez tartozó értéke kerül összehasonlításra

(gyakorlatban általában az F5%-ost szokták választani), és az ezek között fellépő különbség szignifikanciáját vizsgálják. Ez arra enged következtetni, hogy a rendszerben olyan szisztematikus tényező – jelen esetben a detergens és szénhidrogén jelenléte – van, amely statisztikailag ténylegesen befolyásolja az adatsort (2. táblázat) és nem pedig csupán egy véletlenszerű tényezőről van szó. [10]

3. táblázat: A varianciaanalízis során használt adatok összefoglalása

Ismétlés	**ism_1**	**ism_2**	**ism_3**
Tiszta – szivárgási tényező [m/s]	1,47E-09	1,61E-09	1,58E-09
Szennyezett – szivárgási tényező [m/s]	7,47E-11	6,58E-11	9,07E-11
Tiszta – összenyom. modulus [MPa]	1,667	1,595	1,630
Szennyezett – összenyom. modulus [MPa]	3,937	3,296	3,616
Kezelésszám (v)	2		
Ismétlésszám (r)	3		
	F-arány	**F5%**	
Tiszta / szennyezett – sziv. tényező	1 046,20	7,70	
Tiszta / szennyezett – összenyom. modulus	113,80	7,70	

Mindkét esetben (szivárgási tényező és konszolidáció) végzett analízis eredményeiből látható, hogy a az összehasonlítás tárgyát képző értékek (F-arány és F5 %) között nagyságrendbeli különbségek vannak, így ennek alapján az a konklúzió vonható le, hogy az eredmények között szignifikáns differencia figyelhető meg, és nem csupán egy véletlenszerűen jelentkező tényező befolyásolja az adatsort. Továbbá említésre méltó lehet az is, hogy az adatsor alapján a szivárgási tényezőre szignifikánsabb hatást gyakorol a szennyeződés jelenléte, mint a konszolidációra.

6 Összefoglalás

A talajba kerülő antropogén szennyeződések egyik fő csoportja a detergensek. Bár vízben való oldhatóságuk miatt a kármentesítés folyamata talán kevésbé összetett probléma, mint például a szénhidrogének esetében, mégis jelentős változásokat okozhatnak a talaj különböző tulajdonságaiban. A méréssorozat célja egy adott mosószer-modell jelenlétének agyagos talaj konszolidációjára, valamint szivárgási tényezőjére gyakorolt hatásának vizsgálata.

A konszolidációs vizsgálatokat egy ödométer nevű mérőeszköz segítségével került elvégzésre, 3 tiszta és 3 szennyezett mintán. A „valós idejű” időeltolódási grafikon már a konszolidációs folyamat során azt mutatta, hogy a szennyeződés jelenléte a talajmintában hatással bír a talajkonszolidációra (ez mind a görbék jellegéből, mind

magából a konszolidáció idejéből levonható következtetés). Amely különbség később, a számított kompressziós modulus értékekben is megjelent.

A szivárgási tényező vizsgálatok egy flexibilis falú permeabiméter segítségével zajlottak, a mérési metodika az előzőhöz vizsgálathoz hasonlóan történt (3 tiszta és 3 szennyezett mintán (50 m/m%-os töménységű detergenssel oldattal szennyezve)). Már a konszolidációs során rögzített adatokból feltétezhetővé vált, hogy a szennyeződés hatására megváltozott a talajminta szerkezete a tiszta állapothoz képest. Ennek megfelelően a szivárgási tényezőben is változásokra lehetett számítani. Az adatok feldolgozása és értelmezése után kijelenthető, hogy a szennyeződés szivárgási tényező csökkenését okozta, két nagyságrendi eltéréssel, a sűrűbb szennyezett oldat, az agyagszemcsék felületéhez erősebben kötött, így megnő az áramoltatott folyadék viszkozitása, valamint feltételezhetően megjelenik a szemcsék körül egy szennyező burok, amely gátolja a folyadék természetes módon történő áramlását a talajpórusok között.

A méréseket követő egyváltozós varianciaanalízis (ANOVA) tovább erősítette azt a tényt, hogy a különbség (szignifikáns eltérés) inkább a detergens jelenlétéből adódik, mintsem egy adatsort befolyásoló véletlenszerű tényező hatására.

Az eredmények pontosabb értelmezése érdekében a jövőben a strukturális, mikroszkopikus szintű változások vizsgálata lenne célszerű. Ehhez az úgynevezett SEM (Scanning Electron Miscroscope) mérések elvégzése bizonyulhat célravezetőnek, ugyanis ennek segítségével vizsgálhatóvá válnának a talajszemcsék felületén végbemenő változások, legyen szó akár a fajlagos felület csökkenéséről, vagy akár a héjszerű szennyezőrétegburok képződéséről. Továbbá a tervek között szerepel a vizsgálatok kiterjesztése eltérő típusú (kövér és soványabb agyagok) illetve keverék talajokra (homokos-agyagok, agyagos-homok) is. A különböző szennyezések által kifejtett hatásmechanizmusok vizsgálata fontos támpontul szolgálhat szennyezett területek rekultivációja, vagy a talajok pl. hulladéklerakók aljzatszigetelő rétegként történő felhasználása során.

7 Köszönetnyilvánítás

A tématerületi kutatás a Miskolci Egyetem „Társadalmi hasznosság növelő fejlesztések a hazai felszín alatti természeti erőforrások hatékonyabb kiaknázása és hasznosítása területén” című, az Innovációs és Technológia Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal által kibocsátott támogatói okirat (Támogatói Okirat ikt. száma: TKP-17-1/PALY-2020) alapján zajló projektje részeként valósult meg.

8 Irodalomjegyzék

[1] 219/2004. (VII.21.) Kormányrendelet a felszíni vizek védelméről

[2] https://news.soilobservation.com/claymineralogy

[3] F. Bergaya, G. Lagaly (2006): General handbook of clay science, General introduction: clays, clay minerals, and clay science, Elsevier Ltd., pp. 1-18.

[4] Stefanovits P., Filep Gy., Füleky Gy. (1999): Talajtan (Mezőgazda kiadó, Budapest), pp.72-74.

[5] Devau, N., Le Cadre, E., Hinsinger, P., Jaillard, B., Gérard, F. (2009). Soil pH controls the environmental availability of phosphorus: Experimental and mechanistic modelling approaches, Applied Geochemistry. 24. pp. 2163-2174.

[6] Szabó I., K. Tóth A. (2019): Környezetvédelmi geotechnika, Miskolci Egyetem, ISBN 978-963-358-188-9, Miskolci Egyetmi Kiadó – GEON System Kft., pp.109-113.

[7] J.A. Knappett, R.F. Craig (2012): Soil mechanics, 8th Edition, pp.101-104.

[8] https://structx.com/Soil_Properties_007.html

[9] H. Safehian, A. M. Rajabi, H. Ghasemzadeh (2018): Effect of diesel-contamination on geotechnical properties of illite soil, Engineering Geology 241 (2018) pp. 55–63.

[10] http://www.agr.unideb.hu/~baloghp/PhD%20anyagok/varianciaanal%EDzis_elmelet.pdf