

Miskolci Egyetem
Műszaki Földtudományi Kar
Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék

VÍZVEZETŐ KÉPZŐDMÉNYEK MESTERSÉGES KOLMATÁCIÓJÁNAK VIZSGÁLATA

OTDK Dolgozat

Készítette:
Czinkota Zsuzsanna
Hidrogeológus mérnöki MSc

Konzulens:
Dr. Kovács Balázs
Intézetigazgató egyetemi docens
Környezetgazdálkodási Intézet

2013. november. 4.

TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK	1
1. BEVEZETÉS	2
2. ELŐZMÉNYEK, MESTERSÉGES KOLMATÁCIÓ ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI 2	
3. KOLMATÁCIÓS FOLYAMATOK.....	3
3.1. A KOLMATÁCIÓS FOLYAMAT TERMÉSZETES RENDSZEREKBE	3
3.2. BOLYGATÁS HATÁSA A KOLMATÁCIÓS FOLYAMATOKRA	4
3.2.1. Kolmatáció kiülepedés hatására	4
3.2.2. Kolmatáció kicsapódás hatására	4
3.2.2.1. Kémiai háttér: vas és mangán a talajvízben	4
3.2.2.2. Vas és mangán megjelenése a vizes rendszerekben	6
3.3. A KOLMATÁCIÓ A TALAJOSZLOPOKBAN	7
4. A MÉRÉSI MÓDSZER	7
4.1. A MÉRÉSHEZ HASZNÁLT BERENDEZÉS	7
4.1.1. A berendezés elvi alapja	7
4.1.2. A berendezés felépítése	9
4.1.3. A talajmintát tartó oszlopok felépítése	10
4.2. A TALAJOSZLOPOK FELOSZTÁSA	11
5. KOLMATÁCIÓS TESZTEK.....	11
5.1. ELŐKÍSÉRLETEK	11
5.2. MÉRÉSEK ÉS EREDMÉNYEK	13
5.2.1. Mérés tömény oldatokkal	14
5.2.2. Mérés híg oldatokkal	17
5.2.3. Mérések összehasonlítása	19
6. MÉRÉSI GÖRBÉK ELEMZÉSE	21
6.1. A GÖRBÉK VÁLTOZÓI	21
6.2. SZIVÁRGÁSI SEBESSÉGEK	24
7. FÉNYKÉPFELVÉTELEK ELEMZÉSE	25
7.1. OXIDÁLT – REDUKÁLT ÁTMENETI ZÓNA FÉNYKÉPÉNEK ELEMZÉSE	25
7.2. REDUKÁLT ZÓNA FÉNYKÉPÉNEK ELEMZÉSE	27
7.3. OXIDÁLT ZÓNA FÉNYKÉPÉNEK ELEMZÉSE	27
7.4. OXIDÁLT, REDUKÁLT ÉS ÁTMENETI ZÓNA ÖSSZEHASONLÍTÁSA	29
8. ÖSSZEGZÉS	30
9. IRODALOMJEGYZÉK	31

1. Bevezetés

A jó vízvezető képződmények vízáteresztő képessége (permeabilitása) eliszapolódás (kolmatáció) során lecsökkenhet. Az átáramló vagy beszivárgó vízben lévő szemcsék kiülednek a talajban és eltömítik a pórusteret, ezáltal csökken a hatékony pórustérfogat, ami addig biztosította a víz áramlásának útját. Ez egy kedvező állapot, ha a képződményben vízmentes területet (bányagödör) vagy valamilyen áramlást csökkentő, szigetelő rendszert szeretnénk létrehozni (szennyeződés visszatartás). Ennek megfelelően a kolmatáció mesterséges előidézése megoldás lehet, ha a víz szivárgásának mértékét csökkenteni szeretnénk egy talajrétegben. A mesterséges kolmatáció laboratóriumi vizsgálata során úgy modellezem a folyamatot, hogy egy talajoszlopon átáramló vízhez olyan anyagot adagolok, amely az áramlás során kiválik a talajszemcsék felületén, és ez által fokozatosan eltömíti a pórusteret. Az eltömődés mértéke arányos az időegység alatt átáramló víz mennyiségével, amit a kísérlet során mérek, ebből pedig kiszámíthatom a szivárgási tényező értékét az adott pillanatban, ami a képződmény vízvezető képességét jellemzi.

2. Előzmények, mesterséges kolmatáció alkalmazási lehetőségei

Többféle módszert alkalmaznak a víztelenítési és a víz-szigetelési folyamatok során. Az egyik ilyen általános módszer a víztelenítő kutak használata. Bányaterületeken, vagy bármilyen egyéb munkagödörben a száraz körülmények biztosítása érdekében kútsorokat telepítenek, amelyek folyamatosan biztosítják a megfelelő depressziót ahhoz, hogy a víz ne szivároghasson be a munkaterületre. A módszer megbízható és széles körben alkalmazott, azonban a terület nagyságával a kutak számát is növelni kell, ami növeli a költségeket, a kutak által kitermelt víz elhelyezési kérdése is probléma lehet, továbbá a kitermelés hatására létrejött nyomásváltozás a talajban konszolidációt okozhat (Kovács, 2011).

Egy másik módszer, hogy a vízteleníteni kívánt terület körül egy jég-köpenyt alakítanak ki, úgy, hogy fagyasztócsöveket helyeznek a talajba, amin keresztül hűtőfolyadékot áramoltatnak (pl.: folyékony nitrogén), így a cső környezetében a lehűlt talajban megfagy a víz, és a létrejött fagyott réteg vízzáró falként funkcionál (Hanna et al, 1999). Ez azért előnyösebb a víztelenítő kutas módszernél, mert nincs akkora mértékű vízkivétel (elhelyezés,

nyomáscsökkenés). Viszont ez is elég költséges eljárás, valamint a megfagyott területen sokkal nagyobb nehézséget okoznak a földmunkálatok (Földesi, 1988).

Szennyezőanyag terjedés megakadályozásánál is használható mindkét módszer, például hulladéklerakók szivárgása ellen a belső térben kutakkal biztosítható a környező területekhez képest alacsonyabb nyomás, így a szivárgás a szennyeződés irányába fog mutatni, vagy nagyobb állóvizek területén bekövetkezett szennyezéseknél, ahol a víztelenítés nem lehet megoldás, a fagyasztásos eljárás jól alkalmazható szigetelő réteg kiépítésére (König, 2013).

Ezek az eljárások elég költségesek, valamint elég nagy a berendezések hely és energiaigénye. A mesterséges kolmatáció ezeket a módszereket válthatná ki, mivel vízkivétel nélkül, alacsonyabb költségen kivitelezhető lenne. A folyamat a természetben is lejátszódik, a felhasználandó anyagok természetes körülmények között is megtalálhatók a talajban vagy a talajvízben, tehát egészségre vagy környezetre káros adalékanyagok nélkül kivitelezhető eljárás.

3. Kolmatációs folyamatok

3.1. A kolmatációs folyamat természetes rendszerekben

A kolmatációs folyamat természetes körülmények között is lejátszódik. Egyik módja, hogy a pórustérben áramló víz által szállított finom szemcsék (iszap) adszorbeálódnak, vagy az áramlási viszonyok megváltozása miatt kiülednek a talajszemcsék felületén, és így fokozatosan eltömítik a rendszert.

Egy másik változata, amikor az áramló vízben nem lebegő, hanem oldott állapotban jelenlévő anyagok kicsapódnak a pórustérben. Ez utóbbi jelenség az oldott anyagok függvényében és a közeg fizikai-, kémiai tulajdonságainak változékonysága miatt különböző formákban megfigyelhető.

3.2. Bolygatás hatása a kolmatációs folyamatokra

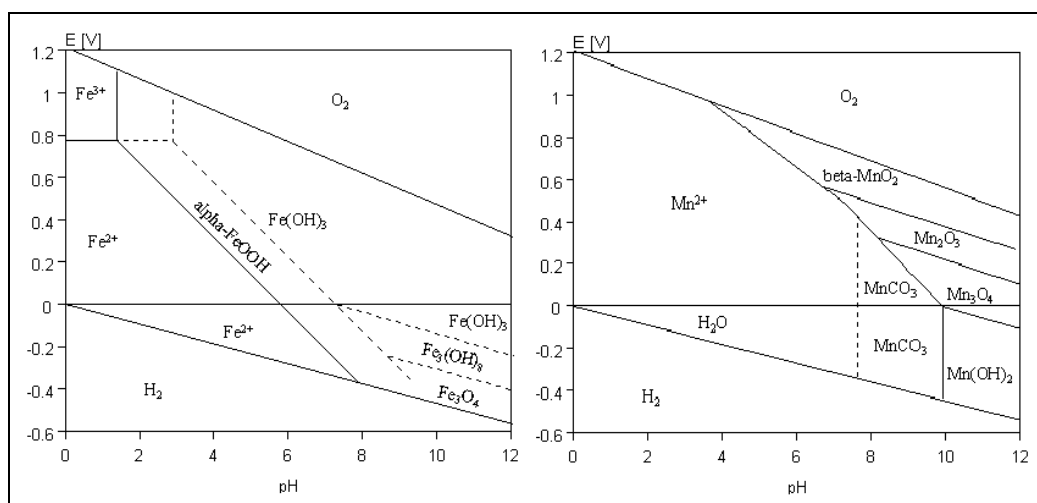
3.2.1. Kolmatáció kiülepedés hatására

A természetes körülmények között lejátszódó kolmatációs folyamatok bolygatás, beavatkozás hatására felerősödnek, a kolmatáció folyamata sokkal intenzívebben zajlik le. Ha egy folyóban a lassuló áramlás hatására a finom szemcsék kiülepednek a mederfenékre, akkor fokozatosan csökken a hidrodinamikai kapcsolat a mederben áramló és a környező talajrétegben lévő víztest között. De ha egy partiszűrészű vízkivétel során a szivattyúzás hatására az áramlás megindul a folyó felől, a kiülepedett finom szemcsék beszűrődnek a talajrétegbe és ott kiülepednek, ami a póruster folyamatos szűkülését majd eltömődését okozhatja (Rózsa, 2000).

3.2.2. Kolmatáció kicsapódás hatására

3.2.2.1. Kémiai háttér: vas és mangán a talajvízben

A vízben oldott állapotban szállított anyagok kicsapódását is előidézhethi valamilyen mesterséges beavatkozás. A vegyületek vízoldhatósága függ a pH-tól, redox-potenciáltól, hőmérséklettől, stb. Ha ezek megváltoznak, a kicsapódási vagy oldódási folyamatok megindulnak (Filep, 1988). A leggyakrabban ezeket a jelenségeket a talajvíz vas-, illetve mangán tartalma okozza.



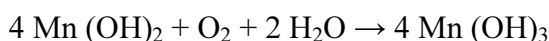
1. ábra

Vas- és mangán-vegyületek stabilitása a redox-potenciál és a pH függvényében

(<http://www.soils.wisc.edu>, 2013)

Az 1. ábrán láthatóak a vas és mangán különböző megjelenési formái illetve azok stabilitása a pH függvényében. Látható, hogy a kémhatás változásával más-más vegyületeket alkotnak, így a vízzoldhatóságuk is változik. A vízben nem oldódó vegyületeik kicsapódnak a talajszemcséken vagy bármilyen felületen, ami a talajvíz áramlásának útjába esik (Beranger et al, 2006).

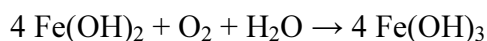
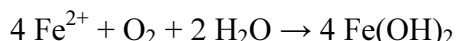
A mangán sokféle vegyértékű formában jelen van vegyületeiben (II, III, IV, V, VI, VII). A Mn^{2+} átalakulása Mn^{3+} -á a levegő oxigénjével is lejátszódik:



Magasabb vegyértékkel általában mangán-dioxid 4-es oxidációs számmal, manganát-ion (MnO_4^{2-} , ahol +6-os oxidációs számmal), vagy permanganát-ion (MnO_4^- , ahol +7-es) formában fordul elő. Ezek közül a legfontosabbak a káliummal alkotott vegyületei: a kálium-manganát (K_2MnO_4), ami savas közegben diszproporcionálódik, azaz egy része oxidálódik kálium-permanganáttá (KMnO_4), miközben másik része mangán-dioxiddá (MnO_2) redukálódik:



A vas(II)-vegyületek vizes oldatai oxidálószer nélkül, a levegő oxigénjével is reakcióba lépnek és lejátszódik az oxidációs folyamat:



Oxidálószer jelenlétében viszont pillanatok alatt végbemegy a reakció:



3.2.2.2. *Vas és mangán megjelenése a vizes rendszerekben*

Az egyik kellemetlen hatása a vegyületek kicsapódási folyamatának az ivóvíz felhasználás során jelentkezik. A 6/2009. (IV. 14.) KvVM–EüM–FVM együttes rendelet a földtani közegre és a felszín alatti vizekre nem ad meg (B) szennyezettségi határértéket sem vasra sem mangánra, de a 201/2001. (X.25.) Kormányrendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről már tartalmazza a megengedhető koncentrációt. Habár itt sem a szennyező anyagok csoportjában van felsorolva a két komponens, hanem az „Indikátor vízminőségi jellemzők” között szerepelnek (Fe: 200 g/l, Mn: 50 g/l), amelyek a rendeletben szereplő definíció szerint: „A vízfelhasználást zavaró, de az emberi egészséget nem veszélyeztető anyagok”.

De nemcsak a fogyasztás során keletkező kellemetlen íz vagy szag okoz problémát, az oxidált vegyületek kiválnak a csövekben, kutakban és eltömítik azokat. Így csökkentik az áramlási felületet, ami miatt nagyobb energia szükséges az azonos mennyiségű víz szivattyúzásához (McFarland and Dozier, 2013). Az ivóvíz-ellátáson kívül egyéb vízelosztó vagy –gyűjtő rendszerben is károkat okozhat, például csatornahálózatokban vagy hulladéklerakók csurgalékvíz gyűjtő rendszerében is észlelhető a jelenség, amikor is szárazabb, csapadékhiányos időszakokban a drékekben, vezetékekben kikristályosodnak ezek a vegyületek. Amellett, hogy eltömítik a rendszert, később, egy nagyobb csapadékmennyiség lehullása esetén újra kioldódhatnak és az esetleges tisztítási folyamat során egy nagyobb koncentrációt kell eltávolítani (Vasarevicius and Baziene, 2011).

Mivel a vas és a mangán természetes körülmények között is különböző vegyületekként fordulnak elő a talajban/talajvízben, nem csak az oldott állapotban lévő vegyületek kicsapódása figyelhető meg, hanem a vízzoldhatatlan, kivált anyagok is újra oldatba kerülhetnek, ha a közeg tulajdonságai a redukzív körülmények felé tolódnak el. Partiszűrészű vízkivétel során észlelt jelenség, hogy a leszívás megkezdése előtt a folyó és a vízkivételi mű között, a felszín közelében általában egy hidraulikailag telítetlen, átmeneti zóna található. Azzal, hogy a vizet a folyótól egy adott távolságra megkezdjük szivattyúzni, ez a zóna telítetté válik, mivel a folyó felőli áramlás hatására megemelkedik a talajvízszint, és az újonnan kialakult anaerob környezetben az oxigénfogyasztás megugrik (mikrobiális tevékenység, szerves anyagok bomlása). Ezek a körülmények kedvezőek a denitrifikáló- és szulfát redukáló baktériumok számára, amelyek a vízben disszociált vas és mangán ionokat redukálják, majd ezek az alacsonyabb oxidációs állapotú ionok oldatba kerülnek és bejutnak az ivóvíz ellátó rendszerbe. Ezt a problémát meg lehet szüntetni, ha a vízkivétel helyét

távolabbra helyezik a folyótól, így a megnövekedett vízfelületen a telítetlen zónából több oxigén tud beoldódni a rendszerbe, ezáltal visszafordítva a folyamatot és az oxidált vegyületek újra kiülepednek a pórustérben (Jaramillo, 2011).

Nemcsak a számos esettanulmány, de a jelenség okozta károsodások elhárítására vagy megelőzésére készült szűrő- és tisztító berendezések sokasága is azt bizonyítja, hogy ez igen gyakori jelenség. A KvVM által kiadott Kármentesítési Kézikönyv is külön említést tesz egyes eljárások alkalmazhatóságánál a talaj(víz) vas és mangán tartalmára. Egyrészt olyan berendezések nem használhatók magas vas- vagy mangán-koncentráció mellett, amelyeknél a kiülepedő vegyületek eltömíthetik a rendszert (pl.: szűrőberendezések, vízadagoló/elvezető rendszerek). Másrészt bioremediációs eljárás esetén, ahol a mikrobiális lebontó folyamatokhoz oxigénre van szükség, a magas vas-tartalom elvonhatja az oldott oxigént a rendszerből, ezáltal nagymértékben csökkentve az eljárás hatásfokát és a hatásterületet. (KvVM, 2001)

3.3. A kolmatáció a talajoszlopokban

A kolmatációs tesztek során a vegyületek oxidációs-redukciós folyamatait modellezem, úgy, hogy telített közegben a levegő oxigénjét valamilyen oxidálószer hozzáadásával helyettesítem. Ebben az esetben anaerob körülmények között az irányított reakció során ugyanaz az oxidációs folyamat játszódik le, mint természetes környezetben.

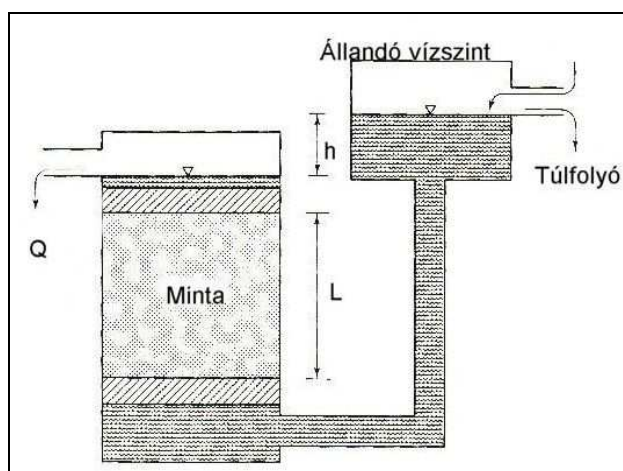
A tesztekhez felhasznált vegyületek a természetben alapvetően előfordulnak viszonylag magas koncentrációban, valamint a kísérletek során modellezett reakciók szintén természetes körülmények között is lezajlanak. Ennek megfelelően kijelenthető, hogy a kísérlet, ugyan mesterséges módon, de mégis egy természet-közeli folyamatot modellez.

4. A mérési módszer

4.1. A méréshez használt berendezés

4.1.1. A berendezés elvi alapja

A berendezés elvi alapja megegyezik az állandó nyomáskülönbségű permeabiméter működési elvével (2. ábra), ez alapján állítottam össze a berendezést.



2. ábra

Az állandó nyomáskülönbségű permeabiméter elvi vázlata (Szabó és Szűcs, 2012)

Q – a mintán átfolyó vízhozam [m^3/s], L – a minta magassága [m], h – a nyomáskülönbség [m], A – a minta keresztmetszete [m^2]

Mérjük a mintán átfolyó állandósult hozamot (Q), így ezen paraméterek ismeretében felírható a Darcy-egyenlet alapján az alábbi összefüggés:

$$Q = A \cdot v = A \cdot k \cdot \frac{h}{L} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

A szivárgási tényező ez alapján megadható:

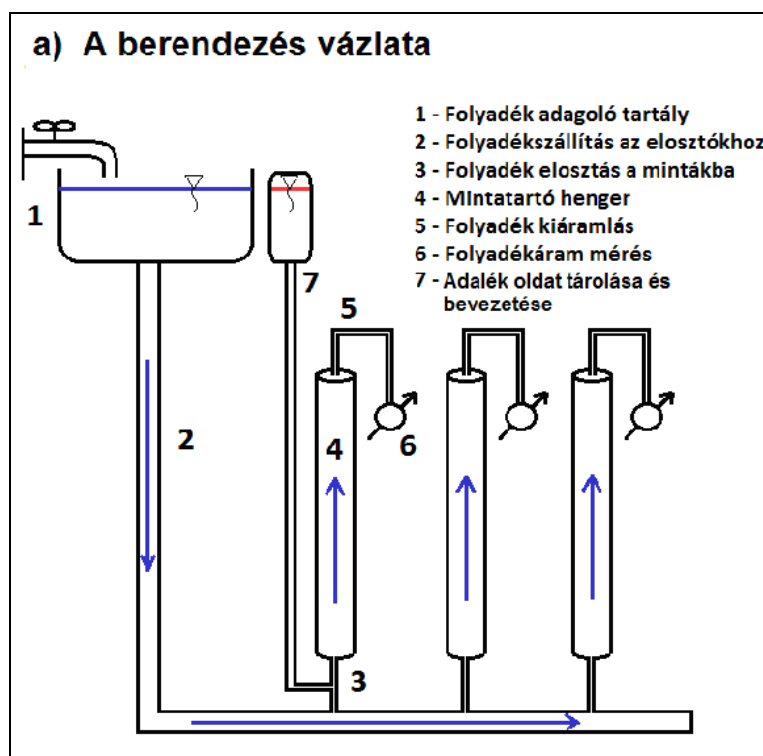
$$k = \frac{Q}{A} \cdot \frac{L}{h} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Ha a Darcy-féle egyenlet alapján felírt összefüggést elosztjuk a cső keresztmetszetével, akkor megkapjuk az áramlási intenzitást, vagyis a fluxust (q):

$$q = k \cdot \frac{h}{L} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

4.1.2. A berendezés felépítése

A berendezést úgy állítottam össze, hogy több mintát párhuzamosan kötöttem az állandó vízszintű tartályhoz. Az áramlás elindításakor az összes oszlopon ugyanazon tartályból áramlik a víz, így megegyezik a nyomásszint.



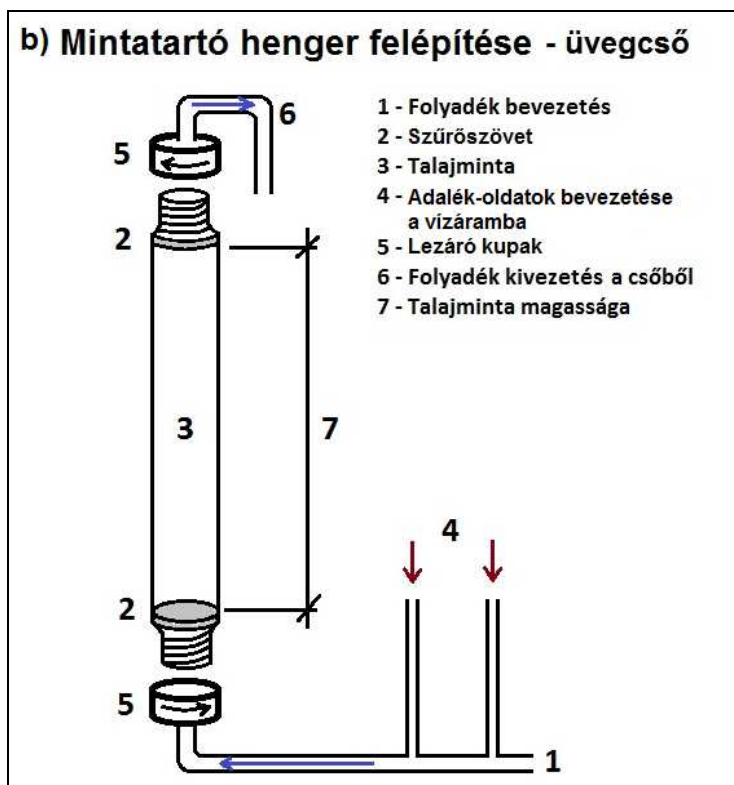
3. ábra

A berendezés vázlata

A mintákhoz külön bevezető csövek tartoznak (6 mm Ø), amelyek egyenként elzárhatóak, így, ha valamelyik oszlopban szivárgás vagy egyéb probléma merül fel, akkor a többitől függetlenül elzárható. A kolmatációs folyamat (kicsapás) modellezéséhez használt adalékanyagok (vas-oldat és hidrogén-peroxid) bevezetése szintén egymástól elkülönülve történik, a külön bevezető csövekhez csatlakoztatva. Ezekhez az oldatokhoz infúziós berendezést használtam, a folyadékot betöltöttem az infúziós tasakba, a vízáramba pedig az infúziós csövön keresztül, állítható intenzitással adagolhatóak az oldatok. A talajoszlopok felső kivezetésénél mérhető az átáramló folyadék mennyisége. (3. ábra).

4.1.3. A talajmintát tartó oszlopok felépítése

A talajminta egy 120 cm hosszú, 2,5 cm belső átmérőjű üvegcsőben helyezkedik el. Ezáltal végig láthatóvá válik a folyadék áramlása, a talajszemcsék mozgása és nem utolsósorban az esetlegesen kicsapódó, megkötődő vas-vegyületek. Továbbá könnyebben észlelhetőek a rendszeren belül keletkező esetleges hibák - például a levegősődés -, valamint folyamatában is követhető az áramlás iránya, annak változása, egyenletlensége.



4. ábra

A talajoszlopok felépítése

A talajminta alján és tetején menetes csatlakozás található, ennek segítségével könnyen zárható vagy nyitható a cső és így cserélhető a benne lévő talajminta. A kupakokhoz átlátszó pvc csöveket csatlakoztattam, ezeken keresztül történik a be- és kiáramlás. A kupakokba vezettem be az infúzióscsöveket, amiken keresztül a vas- és hidrogén-peroxid oldatokat adagoltam a rendszerbe. Így a lehető legközelebb lehet elhelyezni a bevezetést a minta aljához. Közvetlenül a kupakok belsejében geotextil szűrő van elhelyezve több rétegben, hogy az egészen apró talajszemcséket is megfogja, hogy azok ne kerülhessenek a csővezeték rendszerbe. (4. ábra).

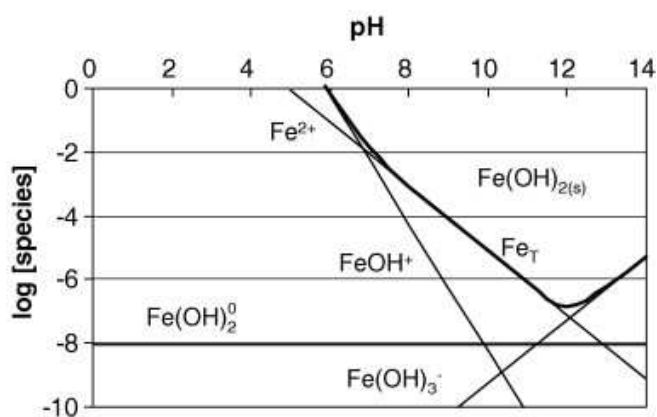
4.2. A talajoszlopok felosztása

A kísérlet során párhuzamosan 6 darab mintát állítottam fel. Alaphelyzetben az összes mintán keresztüláramlik a víz, majd amikor állandósul az áramlás az adott, vizsgálni kívánt oszlopokba bevezetem az adott koncentrációjú adalékanyagot. Egy kísérlet során a 6 darab mintát úgy osztottam fel, hogy 3 csőben csak a víz áramlik, a másik 3 csőben pedig adalékoldatot is hozzáadok. Így egy kísérlet során egyszerre figyelhető meg az alapállapotú és a mesterségesen kolmatált csövekben az áramlás, könnyebben észlelhetők a kezdetben árnyalatnyi színbeli különbségek, illetve, ha a tiszta vizes áramlásban is változás történik (pl.: nem kívánt anyagok bejutása a vízáramba vagy szivárgás az illesztéseknél módosítja azt), akkor feltételezhető, hogy a kolmatálni kívánt oszlopok eredményei is hasonlóképpen változnak meg.

5. Kolmatációs tesztek

5.1. Előkísérletek

A két elem (vas és mangán) közül a kísérletek elvégzéséhez a vasat használtam, mivel az valamivel nagyobb koncentrációban fordul elő a természetben, valamint a vas vegyérték váltása ($\text{Fe}^{2+} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+}$) könnyebben előidézhető folyamat az adott vizsgálati körülmények (hőmérséklet, pH, stb.) között. Az 5. ábrán látható, hogy a vas-vegyületek oldhatósága milyen érzékenyen reagál a pH változásra.



5. ábra

Víz-oldható vas-oxidok koncentrációja pH függvényében
(Morgan and Lahav, 2011)

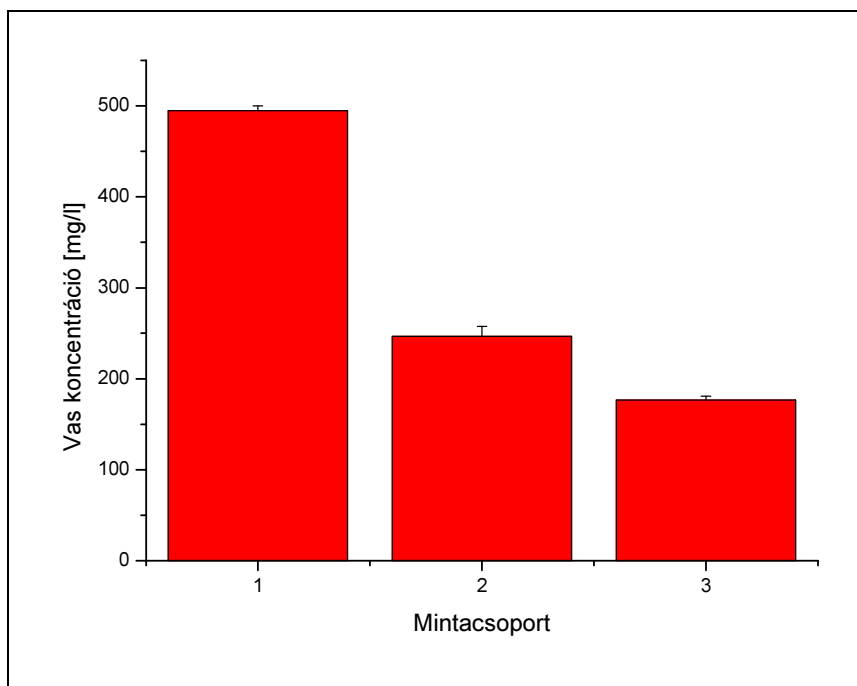
Továbbá jól követhető, észlelhető (oxidáció során vöröses-barnás szín, redukált formában kékes-zöldes) folyamat, és erős oxidáló-/redukálószer hatására könnyen átalakulnak egymássá a különböző oxidációs állapotú vegyületei (Pataki, Zapp, 1974). Vas ammónium szulfát felhasználása mellett azért döntöttem, mert ez elsősorban szilárd formájában, de kisebb mértékben oldataiban is stabilabb, jobban ellenáll a levegő oxidáló hatásának, ezért az oxidáció hatására bekövetkezett vas II ion koncentrációcsökkenés kisebb mértékű.

A kolmatációs tesztek megelőzően kémiai labor kísérletek elvégzése volt szükséges arra vonatkozóan, hogy a vizsgált talaj milyen mértékben veszi fel a vasat adott körülmények között a különböző oxidálószer jelenlétében, illetve azok hiányában. Továbbá a különböző kicsapódást elősegítő oxidálószer közül melyik bizonyul hatékonyabbnak, hogy annak hatására a talaj pórusaiban milyen mértékben következik be a kicsapódás.

A kísérlethez felhasznált talajmintából vas(II)-ammónium-szulfát hozzáadásával talajoldatot készítettem. Három féle mintát mértem be az oldatból (1. táblázat), mindegyiket két ismételéssel. Az első csoportban tiszta vas-oldattal készült minta tartozik (1-es mintacsoport), a második esetben az alap talajoldathoz hipót (NaOCl) kevertem (2-es mintacsoport), a harmadiknál hidrogén-peroxidot (H₂O₂) adagoltam az oxidációs folyamat felgyorsításához (3-as mintacsoport). A mintákat egy napig rázattam, majd azokat leszűrtem. Az így elkészített szűrletek vas-koncentrációját atomabszorpciós spektrométerben mértem.

1. táblázat: Az előkísérlethez használt minták

A minták felosztása								
1-es mintacsoport			2-es mintacsoport			3-as mintacsoport		
Minta 1	Minta 2	Minta 3	Minta 4	Minta 5	Minta 6	Minta 7	Minta 8	Minta 9
vas-oldat			vas-oldat + NaOCl-oldat			Vas-oldat + H ₂ O ₂ oldat		



6. ábra

A leszűrt talajoldatok vas-koncentrációja

A mérési eredmények alapján (6. ábra) abban a szűrletben maradt magasan a legtöbb vas, amelyikhez nem adtam oxidálószeret (1). A maradék 2 mintacsoport átlagkoncentrációja közelebb áll egymáshoz, de ezek között is jól látható a különbség, a hipós (2) minták koncentrációinak átlaga valamivel magasabb, mint a hidrogén-peroxidos minták (3) csoportjában mért koncentrációk átlaga. Ha nem is nagy az eltérés az előző csoporthoz képest, de ebben az esetben kötötte meg a talaj a legtöbb vasat, így ennek megfelelően az oszlopkísérletek során a hidrogén-peroxidot alkalmaztam oxidálószerként.

5.2. Mérések és eredmények

Az első mérés sorozatban kétféle adagolással futtattam le a tesztek. Az első alkalommal magasabb koncentrációjú oldatokat adtam az oszlopokhoz, hogy egyértelműen láthatóak legyenek a változások, majd a második körben hígabb oldatokat vezettem be, hogy lássam, alacsonyabb koncentráció mellett is bekövetkezik-e az eltömődés.

5.2.1. Mérés tömény oldatokkal

Az első verzióban tehát viszonylag tömény oldatokat használtam. Ezeket, valamint az adott kolmatációs teszthez használt beállítások adatait a 2. táblázat tartalmazza.

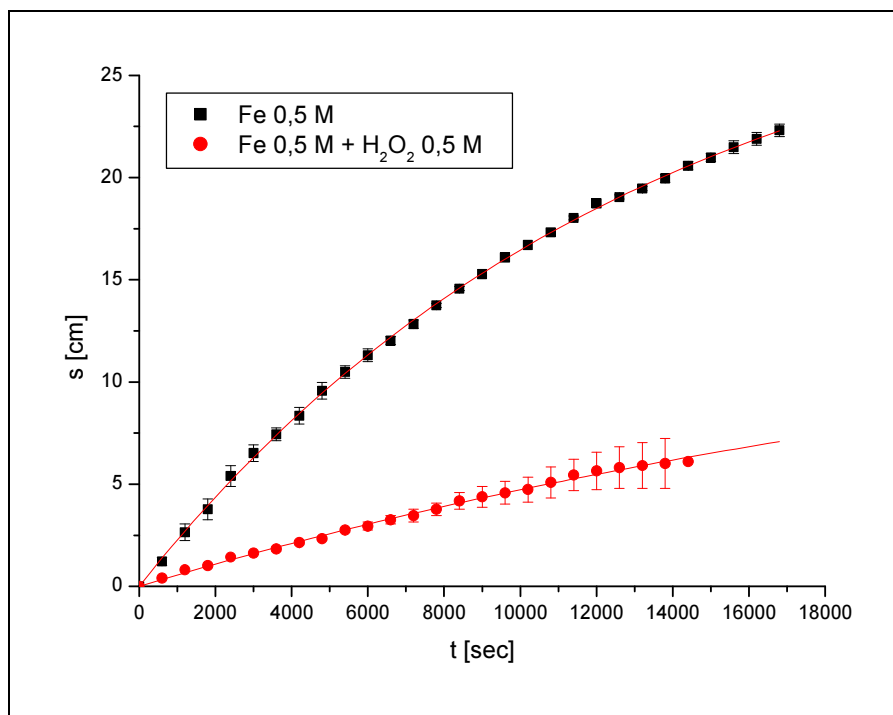
2. táblázat: A tömény-oldatos mérés adatai

Hozzáadott oldatok	Koncentráció	Nyomáskülönbség	Ismétlések száma
Fe	0,5 mól	32 cm	3
H ₂ O ₂	0,5 mól		

Ezekkel a beállításokkal elindítottam a tesztet. Az áramlás beindulása után csak rövid idő elteltével kezdtem el adagolni az oldatokat, mivel addig még mutatkozhat eltérés az ismétlések között az áramlás állandósulása után is, így mindegyik oszlopnál tudható volt a kiindulási áramlás mértéke. Ez esetben az ismétlések közötti eltérés elhanyagolható mértékű volt, ezért az ábrázolás során ezt a kezdeti szakaszt nem tüntettem fel.

A görbéken ábrázolt adatokat úgy kaptam meg, hogy a mért kiáramló folyadék mennyiségét (Q) elosztottam a cső átmérőjével (A), így megkaptam a folyadék csőben megtett útját (s) és azokat ábrázoltam az idő (t) függvényében.

Az ismétlések eredményeit átlagolva kaptam meg a 7. ábrán látható görbét. A „Fe 0,5 M” jelű görbe mutatja a mérés azon szakaszát, amikor csak a vas-oldatot vezetem be az átáramló vízbe. Ezen látható, hogy ilyen koncentrációban a redukált állapotú vas önmagában is csökkenti a szivárgás mértékét, ez észlelhető volt a kiáramló folyadékon is, amelyben egy idő után pelyhek formájában leülepedett a vas^{II}-hidroxid (Fe(OH)₂), valamint a csövekben is látható volt a kékes színű kiválások helye (8. ábra).



7. ábra

A tömény oldatos mérésből kapott görbék

Miután a vas-oldat láthatóan megjelent a kiáramlási oldalon és a csövek egészében is látható volt a kékes szín, hozzáadtam az áramláshoz a hidrogén-peroxid oldatot is (7. ábra 'Fe 0,5 M + H₂O₂ 0,5 M'). Látható, hogy ebben a koncentrációban hirtelen, nagymértékben lecsökkent az átáramló folyadék mennyisége. Ez valószínűleg annak az oka, hogy a hozzáadást követően az oszlop alján azonnal oxidációval Fe³⁺ ionok keletkeztek, melyek részben adszorbeálódtak, de nagyrészt vas^{III}-hidroxid ((Fe(OH)₃), formájában kicsapódotak és ez eltömte a talajminta belépési szakaszát. Ez észlelhető volt, amint a talp-résznél kialakult egy vöröses-barnás réteg. Majd egyenletesen csökkent az áramlás mértéke, amíg teljesen el nem tömődött a talajoszlop. A görbén feltüntetett szórás-értékek mutatják, hogy a mérés vége fele egyre inkább eltértek egymástól az ismételések, ez feltehetően annak a következménye, hogy a hidrogén-peroxid bevezetése után az oldatok fogyása egyre inkább eltért.



8. ábra

Redukált vas kiülepedése az átáramlott folyadékban (balra) és
a talajoszlopokban (jobbra)

A kifolyási oldalon mért térfogatok alapján kiszámítottam a szivárgási tényezőket. A kiszámított értékekből óránként átlagot számoltam, melyek értékeit a 3. táblázat tartalmazza. Ezen értékeken is egyértelműen megfigyelhető, hogy az idővel csökkennek, habár eltérő mértékben. Csak a vas-oldat hozzáadásával körülbelül harmadára csökkent, az oxidálószer hozzáadása után a mérés végére a kezdeti érték tizedére esett vissza.

3. táblázat: A szivárgási tényező alakulása a tömény oldatos mérés során

idő [óra]	k [m/d] (Fe 0,5 M)	k [m/d] (Fe 0,5 M + H ₂ O ₂ 0,5 M)
1	6,44	1,65
2	4,86	1,47
3	3,85	1,32
4	2,66	0,92
5	2,38	0,3

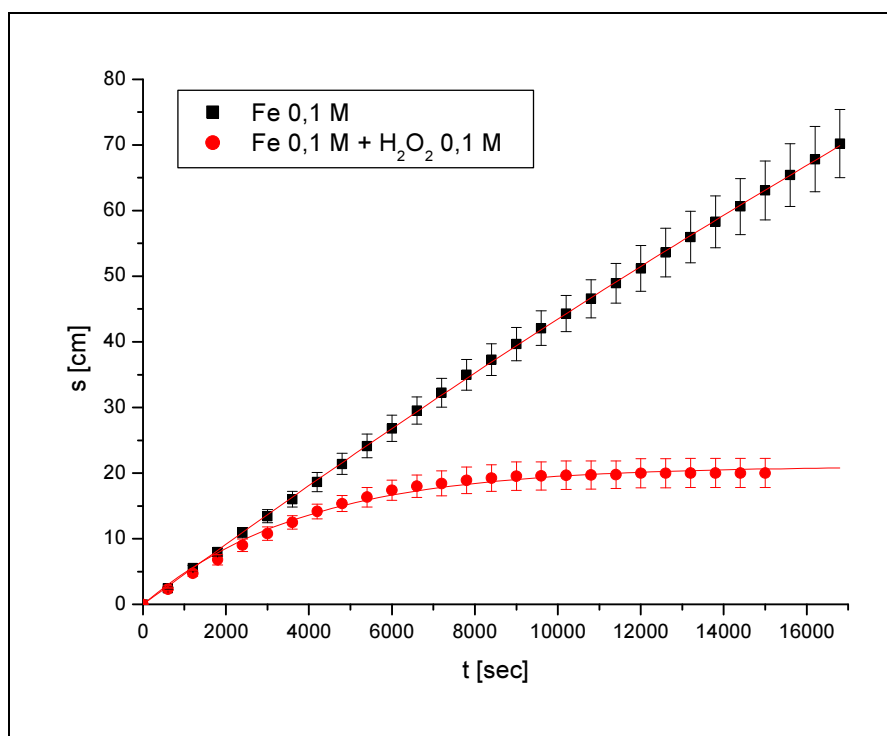
5.2.2. Mérés híg oldatokkal

Az első mérés alapján, ahol látható, hogy a 0,5 mólos oldatok elég hirtelen és nagymértékben eltömítették a talajmintákat, a második mérés során alacsonyabb koncentrációjú oldatokat használtam, hogy a folyamat fokozatosabban menjen végbe és a bevezetett vas-, illetve hidrogén-peroxid egyenletesebb eloszlásban jelenjen meg. Továbbá a hígabb oldatok mellett nagy valószínűséggel nem jelenik meg közvetlenül a minta alján egy erős, nagymértékű eltömődött réteg, így a reakció a felsőbb részekben is végbe mehet. A második mérés során alkalmazott beállításokat a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat: A híg-oldatos mérés adatai

Hozzáadott oldatok	Koncentráció	Nyomáskülönbség	Ismétlések száma
Fe	0,1 mól	32 cm	3
H ₂ O ₂	0,1 mól		

Ebben a tesztben (9. ábra) az állandósult áramlás után hozzáadtam a 0,1 mólos vas-oldatot. A kiáramló folyadék mennyiségének csökkenése igen kis mértékben jelentkezett még akkor is, amikor a kiáramlási oldalon ismét megjelentek a redukált vas^{II}-hidroxid (Fe(OH)₂) pelyhek. Tehát ebben az esetben az alacsonyabb koncentráció miatt a vas-oldat önmagában nem okozott szignifikáns változást (9. ábra „Fe 0,1 M”). Azonban a hidrogén-peroxid hozzáadásakor szintén azonnal észlelhető volt (9. ábra „Fe 0,1 M + H₂O₂ 0,1 M”) a szivárgás csökkenése, viszont ez esetben sokkal enyhébben mutatkozott, egy finomabb átmenet volt észlelhető. Majd a kezdeti esés után (görbe első szakasza) a kolmatáció intenzitása csökkenni kezdett és egy idő után az áramlásban csak nagyon finoman volt észlelhető a változás, ez a görbe egyre inkább vízszinteshez közelítő alakján látható.



9. ábra

A híg oldatos mérésből kapott görbék

Az áramlás mértékéből számított szivárgási tényezők (5. táblázat) sokkal magasabb értéket mutatnak a kezdetben, mivel itt nagyon alacsony volt az eltömődés mértéke, de az oxidálószer hozzáadásánál itt is látszik a hirtelen értékcsökkenés. Itt szinte teljesen leállt a szivárgás. Hidrogén-peroxid adagolást megelőzően a szivárgási tényező alig csökkent.

5. táblázat: A szivárgási tényező alakulása a híg-oldatos mérés során

idő [óra]	k [m/d] (Fe 0,1 M)	k [m/d] (Fe 0,1 M + H ₂ O ₂ 0,1 M)
10	14,71	11,26
20	14,39	5,32
30	12,72	1,02
40	12,54	0,26
50	12,43	0,1

5.2.3. Mérések összehasonlítása

A két mérésből kapott görbéken is látszik, hogy az első alkalommal a magasabb vas-koncentráció önmagában is észlelhető eltömődést okozott, a második, alacsonyabb koncentrációjú oldatokkal végzett mérésben pedig szükséges volt a hidrogén-peroxid hozzáadása, hogy a kiáramló folyadék mennyisége csökkenni kezdjen.

Mindkét esetben jól láthatóan visszaesett a kiáramlás mértéke, de az alacsonyabb koncentráció esetén inkább fokozatosan tömődött el a talajoszlop, ez látható a két minta alján kialakult vöröses rétegből is, az első esetben ugyanis egy dugószerű vékonyabb oxidált réteg figyelhető meg (10. ábra, baloldal), a második teszt során pedig a nagyobb kiterjedésű vöröses talprész átmenettel tűnik el a felsőbb kékes részek felé (10. ábra, jobboldal).



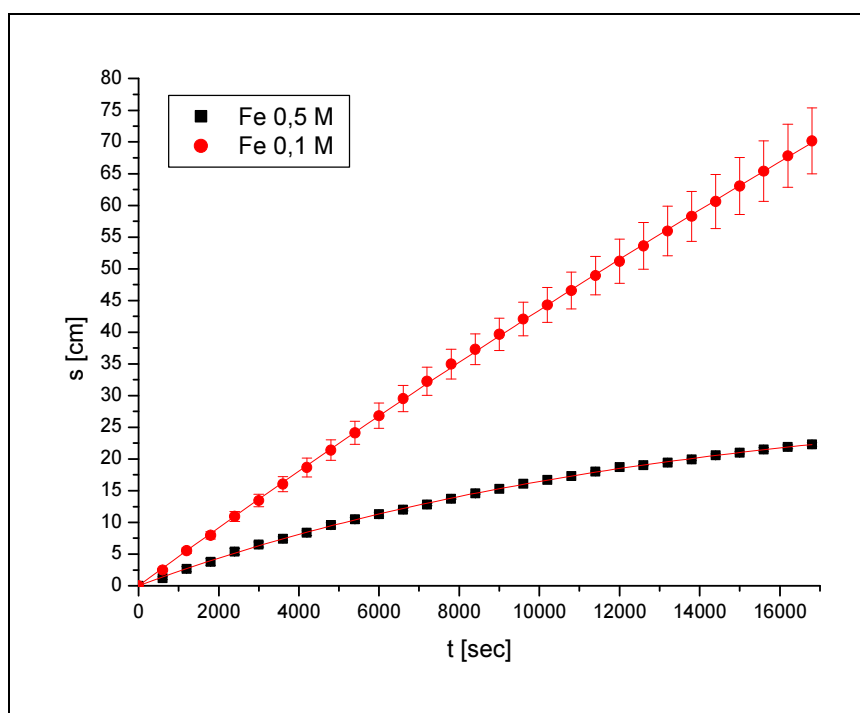
10. ábra

Vaskiválás a talajoszlopok alján

Az alábbi 11. ábrán látható a két mérés görbéje hidrogén-peroxid hozzáadása előtt. A második esetben, ugyan nagyobb volt a szórás, de az átlag értékekre ráillesztett görbe megközelítőleg lineáris, a 0,5 mólos vas-oldat hozzáadása mellett viszont jól láthatóan, már a kezdetben alacsonyabbak az áramlási értékek és két mérési időpont között egyre kisebb térfogati különbségek adódnak, habár a kolmatáció viszonylag alacsony intenzitással zajlott.

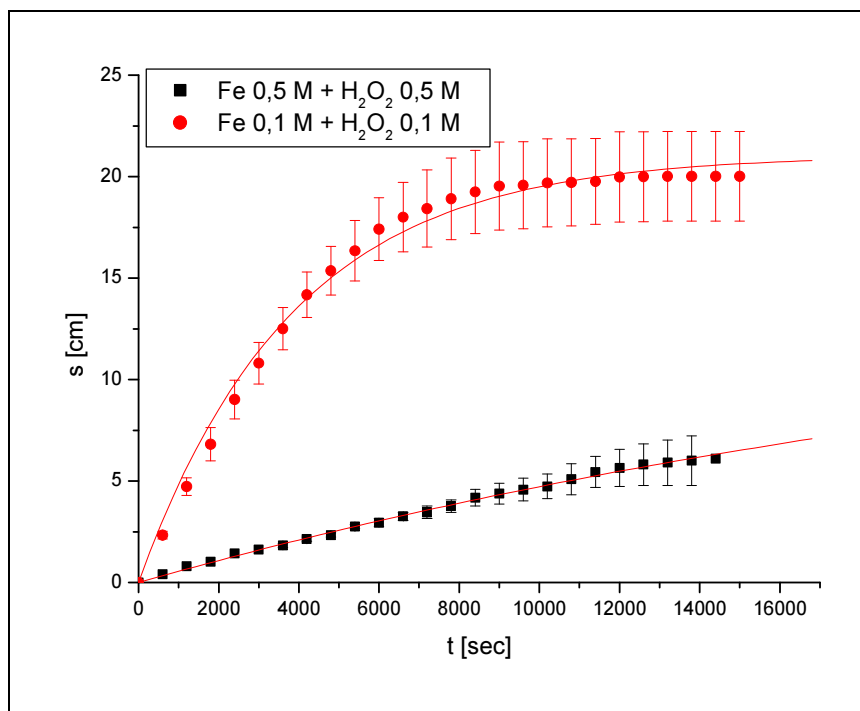
Az oxidálószer hozzáadása után a 12. ábra alapján szembetűnő különbség a két mérés között, hogy a 0,5 mólos oldat esetében sokkal kisebb mértékű a szivárgás már a kezdetben és az eltömődés közel azonos intenzitással zajlik, míg a hígabb oldat esetében a kezdeti érték nagyobb intenzitással egy fokozatos esés során csökken le. Ez a különbség feltehetően abból

adódik, hogy a nagyobb koncentráció esetében már a vas-oldat önmagában előidézett egy nagy mértékű kolmatációt, és az oxidálószer hozzáadásával ez csak fokozódott, továbbá a talajoszlop alján kialakult „dugó” hirtelen eltömte a rendszert. A hígabb oldat hatására viszont szinte csak a hidrogén-peroxid hozzáadása után indult meg az eltömődés és a minta alján a kiválás is fokozatosan alakult ki.



11. ábra

A két mérés vas-oldatos szakaszainak összehasonlítása



12. ábra

A két mérés hidrogén-peroxid-oldatos szakaszának összehasonlítása

6. Mérési görbék elemzése

6.1. A görbék változói

A fenti mérésekből kapott pontokra, külön az oldatok hozzáadása szerint, görbéket illesztettem. Ezek a görbék egységesen leírhatók az alábbi egyenlettel:

$$y = a + b \cdot (1 - e^{(-c \cdot x)}),$$

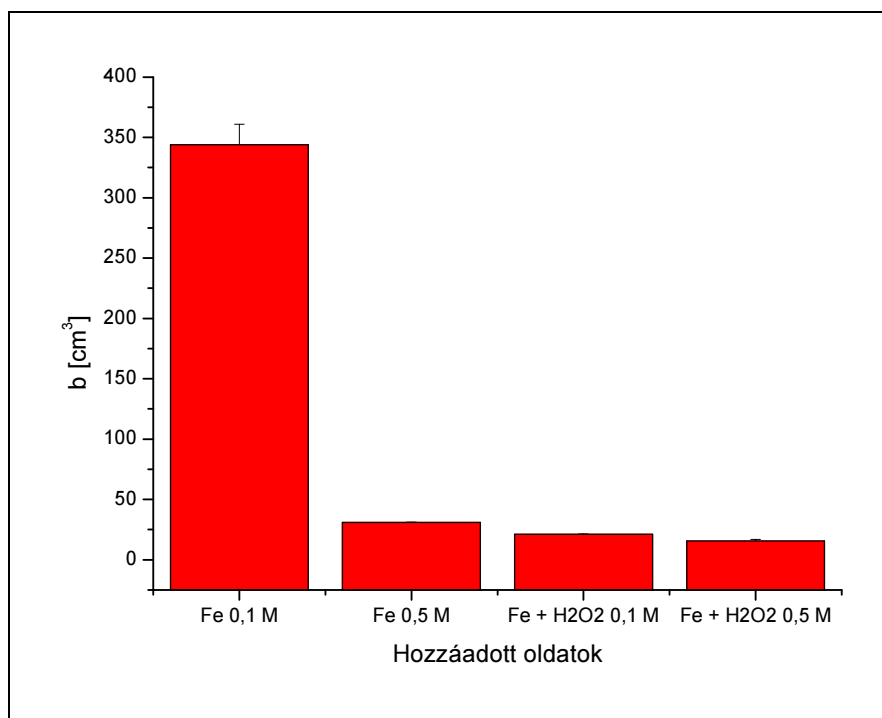
amelyben az egyes görbékre jellemzően a, b és c értékek eltérnek:

- Az „a” változó a indulási értéket mutatja (ez esetben mindenhol $a = 0$)
- A „b” változó az az érték, amihez a görbe tart a végtelenben, tehát azt fejezi ki, hogy a végtelen ideig áramlás alatt hagyott talajoszlopon összesen mennyi folyadék áramolhatna keresztül.
- A „c” érték az eltömődésre jellemző, a kolmatáció mértékét adja meg (milyen intenzitású a folyamat).

6. táblázat: Görbék változói

	b [cm³]	b hiba	c [1/sec]	c hiba	R²
Fe 0,1 M	344,00	16,85	$1 \cdot 10^{-5}$	$7,22 \cdot 10^{-6}$	0,999
Fe 0,5 M	30,89	0,29	$8 \cdot 10^{-5}$	$1,14 \cdot 10^{-6}$	0,999
Fe + H₂O₂ 0,1 M	21,06	0,26	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$	0,992
Fe + H₂O₂ 0,5 M	15,47	1,45	$4 \cdot 10^{-5}$	$4,18 \cdot 10^{-6}$	0,997

Ha megnézzük az illesztett görbék fent említett értékeit (6. táblázat) a „b” változókat összehasonlítva (12. ábra) kimagaslóan eltérő értéket a híg vas-oldatos áramoltatásnál láthatunk, amikor is a görbe megközelítőleg lineáris futású, tehát a végtelen hosszú ideig folyó áramlás során nagyságrenddel több a maximálisan áteresztendő folyadék mennyisége, mint a többi esetben. A hidrogén-peroxid használata nélkül a töményebb vas-oldatos áramoltatás is megközelítőleg kétszeres mennyiséget enged át összességében, a két hidrogén-peroxidos adagolás esetében a különbség sokkal kisebb.

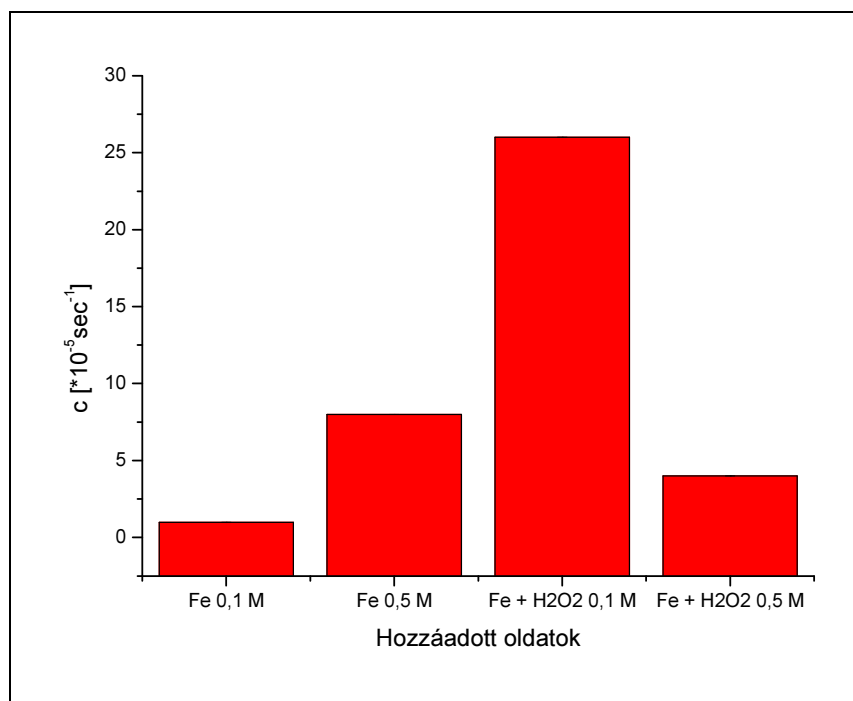


13. ábra

A görbék „b” értékei

Ha a „c” értékeket nézzük (14. ábra), láthatjuk, hogy az eltömődés különböző intenzitással zajlik le az egyes adagolások során. Kiugróan magas az érték a híg oldatos hidrogén-peroxid adagolása esetén, amint az látható volt a 10. ábrán is, itt az oldat hozzáadását követően a kolmatáció intenzitása hirtelen megnövekedett, majd az intenzív szakasz után beállt a szivárgás egyenletesen alacsony értéke. A többi esetet összehasonlítva sokkal kisebb az eltérés. A két vas-oldatos szakaszt nézve, az eltömődés mértéke a töményebb vas-oldat esetében volt a magasabb, mivel ott a kezdetben rögtön elindult a szivárgás mértékének csökkenése. A legalacsonyabb „c” érték a híg vas-oldat esetében figyelhető meg, ami önmagában alig befolyásolta a szivárgás mértékét.

A szórás értékeket itt is feltüntettem az ábrán, azonban azok annyira alacsonyak, hogy a megjelenítéskor nem láthatóak.



14. ábra

A görbék „c” értékei

6.2. Szivárgási sebességek

A görbékre felírt egyenletet lederiválva az idő szerint, megkaptam a szivárgási sebességet a kolmatáció függvényében:

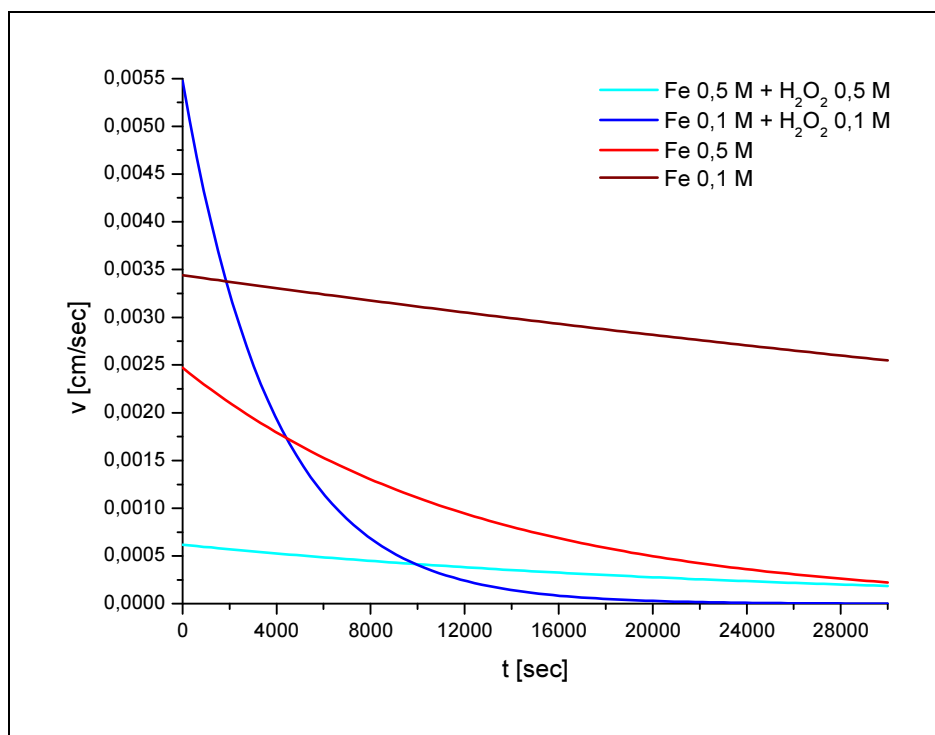
Eredeti egyenlet:

$$y = a + b \cdot (1 - e^{(-c \cdot x)})$$

Idő (x) szerinti derivált:

$$y'(x) = c \cdot b \cdot e^{(-c \cdot x)}$$

Ebbe a derivált képletbe behelyettesítettem az egyes méréseknek megfelelő változókat (b és c értékek), ekkor ezeket ábrázolva a 15. ábrán látható görbéket kaptam.



15. ábra

Szivárgási sebességek az eltömődés függvényében

A fenti görbék azt mutatják, hogy a szivárgás sebessége minden esetben csökken az idő elteltével, ahogy azt a fentebbi eredmények is mutatták. Azonban látható, hogy a különböző mérések esetében elég nagymértékben eltér a csökkenés intenzitása. A legalacsonyabb intenzitás ez esetben is a híg vas-oldat esetében mutatkozik, a legnagyobb esésű görbe pedig szintén a híg oldatos méréshez tartozik, de már a hidrogén-peroxid hozzáadása után.

7. Fényképfelvételek elemzése

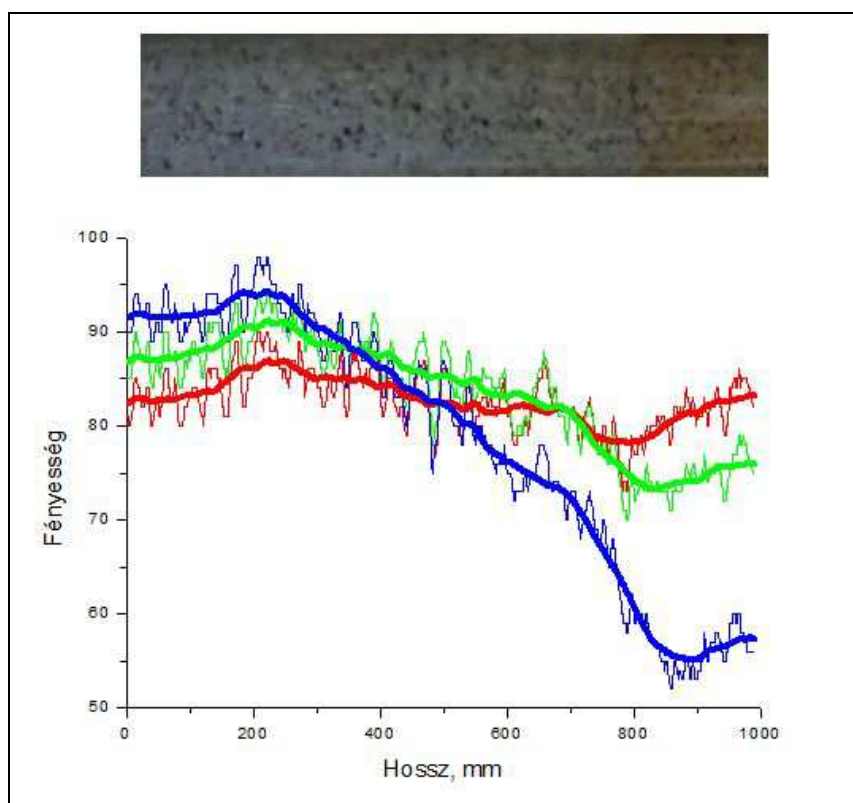
Ahogy a dolgozat elején is említettem, a vas használata abból a szempontból is célszerű volt a tesztek futtatásakor, hogy a vegyérték váltás során egy erős színbeli különbség is megfigyelhető a Fe^{2+} és a Fe^{3+} között. Ugyanis a redukált állapotú vasnál egy kékes-zöldes árnyalat figyelhető meg, míg az oxidált vas ettől igen eltérő, vöröses-barnás árnyalatot mutat. Ez a különbség szabad szemmel is könnyen észlelhető, de a finom átmenetek, a halványabb árnyalatok már nehezebben észrevehetőek. Ebben az esetben külön zavaró tényező, hogy az üvegcső, ahogy visszaveri a fényt, némileg becsapós is lehet, másrészt a csövek és a műanyag záróvég találkozásánál, az illesztési ponton szintén nehezen megfigyelhető a színbeli eltérés.

Előbbi okokból kifolyólag a mintáról készült fényképekről is elemzést készítettem. A mérések során folyamatosan készültek felvételek a talajoszlopokról a különböző oldatokkal átjárt állapotaikban és ezek közül választottam ki az adott állapotot legjellemzőbben bemutató képeket.

7.1. Oxidált – redukált átmeneti zóna fényképének elemzése

Ehhez a talajoszlop alján található koncentrált kiválási zónát választottam, valamint az átmeneti részt egészen a reduktív zónáig. Továbbá, az elemzés során a második, híg oldatos mérésből származó eredményt használtam, mivel az első mérés során keletkezett „vas-dugó” beleesik a fent említett üveg-műanyag találkozási pontba, így nehezebben elemezhető.

Az oxidált-redukált zóna átmenetének képelemzése során kapott görbék a 16. ábrán láthatóak.



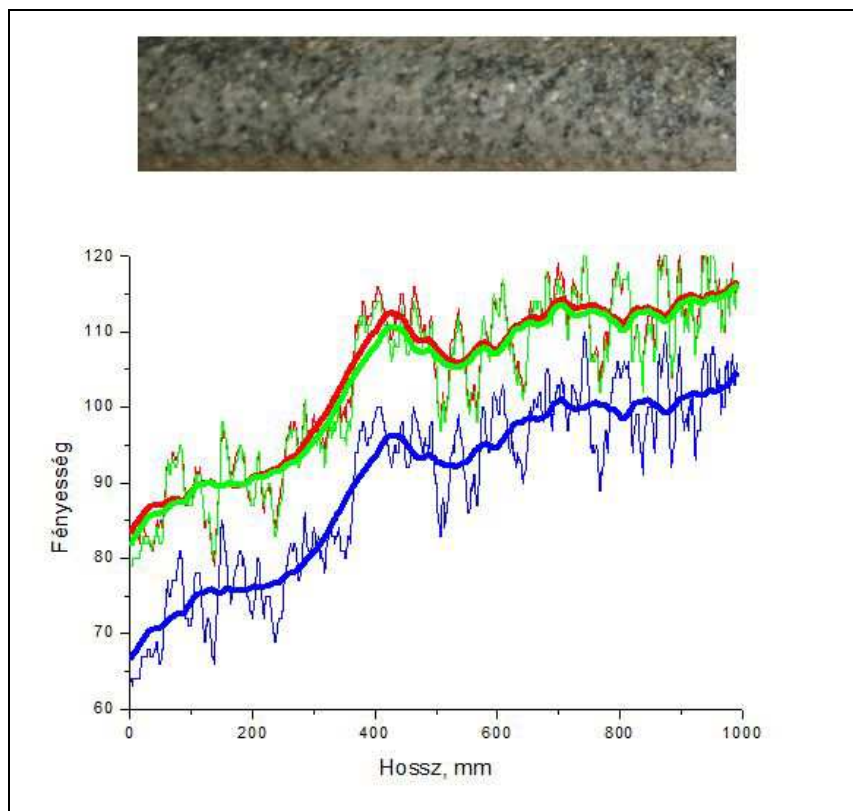
16. ábra

Oxidált – redukált zóna fényképének elemzése

A talajminta fektetett állapotban van, jobboldalt az oszlop alja látható a vöröses kiválási zónával. Ennek megfelelően helyezkedik el alatta a diagram, amin a fektetett képnek megfelelően a függőlegesen húzott síkokban mért értékek összegei vannak ábrázolva. A vékony vonalak a tényleges értékek, a vastagabb görbék már a kiugró értékek kihagyásával keletkezett eredményt ábrázolják. Jól látható, hogy bal oldalt, a redukatív zónában, magasabbak a kék értékek (Fe^{2+} jelenléte), majd az oxidációs zónához közelítve egy erőteljes csökkenés következik be és egy viszonylag alacsony szinten állandósul, ahol a vöröses árnyalat már egyenletesnek látszik. Ugyanez látható a zöld szín esetén is, csak sokkal kisebb mértékű a csökkenés. A vörös az elején némileg csökken, de az oszlop aljához érve megugrik, és szintén állandósul egy magasabb értéken. Azon kívül, ami szabad szemmel is látható, az elemzés alapján elmondható, hogy az oxidált vas-kiválások feljebb is megjelennek már, mivel a kék szín aránya hamarabb elkezd egyértelműen csökkenni, mint ahogy az a mintán látható. Ebből kifolyólag az is feltételezhető, hogy a felsőbb szakaszokon is előfordulhatnak kisebb mértékű Fe^{3+} kiválások, csak éppen szabad szemmel nem észlelhetőek.

7.2. Redukált zóna fényképének elemzése

Az elemzéshez egy olyan szakaszt választottam az oszlopnak, amelyen látható a kékes árnyalatú vas-oldat megjelenése, valamint a kép azelőtt készült, hogy az oxidálószer hozzáadtam volna az áramló oldathoz (17. ábra).



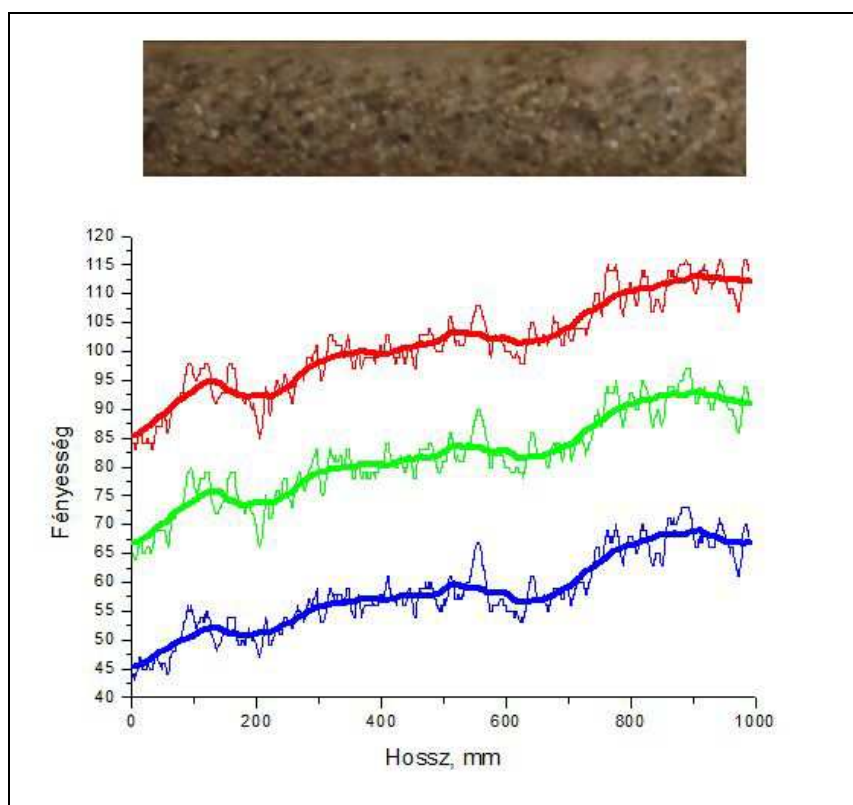
17. ábra

A redukált zóna fényképének elemzése

Látható, hogy a színeket jelölő görbék egyenletesen emelkednek a jobban megvilágított terület felé (jobb oldal) viszonylag egyenletesen. A görbék egymáshoz viszonyított távolsága szignifikánsan nem változik, tehát itt a színeképelemzés alapján sem azonosítható oxidált állapotú vas megjelenése. Ez az összes mintán megfigyelhető volt abban az esetben, amikor csak a vas-oldatot adtam hozzá.

7.3. Oxidált zóna fényképének elemzése

Itt egy olyan minta részletet elemeztem, amelyen már látható volt teljes mértékben a vöröses kiválás és feltehetőleg nincs átmenet a redukált terület felé (18. ábra).



18. ábra

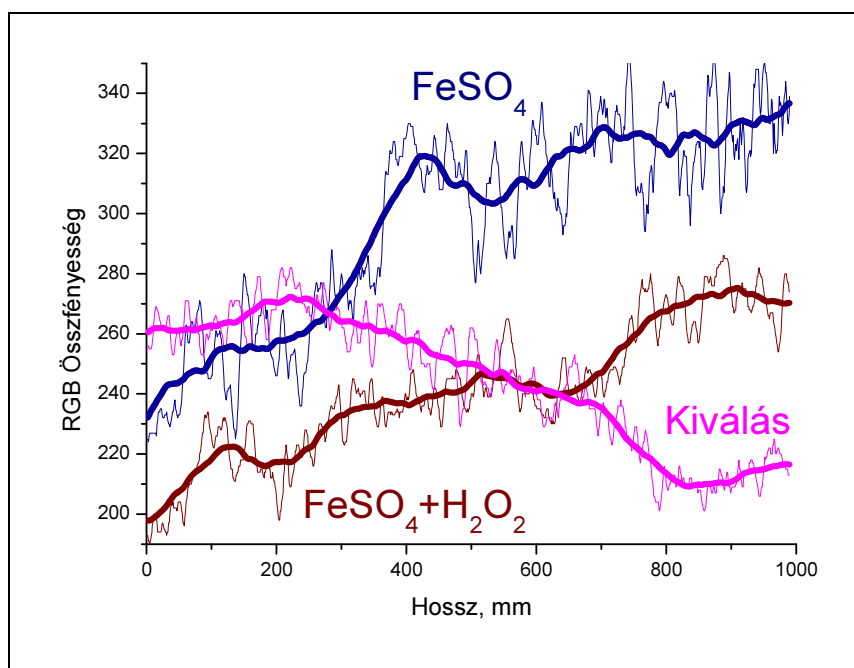
Az oxidált zóna fényképének elemzése

Itt is egyenletesen növekszik a három szint jelölő görbe a fényesebb rész felé, arányuk szintén nem változik és nincsenek különösebben kiugró részek, tehát ebben az esetben is látható, hogy az oxidált zóna homogén jelleget mutat az oxidált vas jelenlétének tekintetében. Ezt a felvételt arról a mérésről készítettem, amikor a hígabb oldatokat adtam hozzá az áramláshoz, mivel csak ebben az esetben volt megfigyelhető egy egyenletesebb oxidált vas-kiválás.

Látható még, hogy a tényleges értékeket jelző görbék igen nagy és gyakori kiugrásokkal tűzdeltek (vékonyabb vonalak), ezért ezek kiszűrésére egy-egy simított görbét (vastagabb vonalak) illesztettem. Ezeknek a kiugrásoknak valószínűleg a fő oka, hogy a mintában lévő szemcsék színe nagyon változatos, ahogy a képen is látszanak a kis fekete talajszemcsék, ezek váltakozó sűrűbb-ritkább előfordulása okozza a kiugró eltéréseket. Ilyen szempontból célszerű lehet a kísérletet megismételni egy finomabb szemű, homogénebb talajmintával, hogy a színbeli elváltozások könnyebben megfigyelhetők legyenek.

7.4. Oxidált, redukált és átmeneti zóna összehasonlítása

A 19. ábrán látható görbék a három színeképelemzés görbéi által adott összfényességi értékeket ábrázolják. Ez azt mutatja meg, hogy míg az oxidált ($\text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$) és a redukált (FeSO_4) minta görbéi egyenletesen emelkednek a fényesebb, nagyobb megvilágítást kapott terület (jobb oldalt) felé, a vas-oxid kiválást mutató minta esetén pedig a fényesebb rész felé esik a görbe, ahol a vöröses elváltozás volt látható. Tehát egyértelműen mutatkozik az eltömített terület egy sötétebb árnyalatként.



19. ábra

A különböző képelemzések összeggörbéi

8. Összegzés

A vizsgálatok alapján tehát elmondható, hogy a kezdeti feltevés, miszerint a vas oxidációjának következtében keletkező kiválások csökkentik a talaj áteresztő-képességét, laboratóriumi körülmények között teljesült. Az elvégzett kísérletek alapján az is látható, hogy a vas koncentrációja a hozzáadott oldatban egyenesen arányos az eltömődés mértékével, valamint, hogy a levegő oxigénjének hiányában valamilyen oxidálószer jelenléte megnöveli a folyamat sebességét. Abban az esetben is, amikor a hígabb vas-oldat önmagában nem befolyásolta szignifikánsan a szivárgás mértékét, a hidrogén-peroxid hozzáadása után tapasztalható volt a folyadék átáramlásának egyértelmű csökkenése, így tehát alacsonyabb vas-koncentráció esetén is elérhető az eredmény.

A fényképfelvételek elemzésénél tapasztalható volt a szabad szemmel is látható elváltozások kimutatása. Azonban, vannak olyan színbeli elváltozások, amelyek egyébként nem észlelhetők, leginkább az átmeneti részekben, ezért a színképelemzés során ezek részletesebben vizsgálhatóak, olyan elváltozásokat is ki lehet mutatni, amik elsőre nem észlelhetők.

Annak vizsgálatára, hogy a vas koncentrációtól függetlenül a hidrogén-peroxid koncentrációja miként befolyásolja a folyamatot még további kísérletek elvégzésére van szükség. Továbbá nagyobb tisztaságú, homogén finomszemcsés talajmintában történő áramlás színképelemzése pontosabb és tisztább értékeket adna, mivel a szemcsék inhomogenitása, ami színben is jelentkezik, némileg zavarja ezt a típusú elemzést.

A folyamat visszafordíthatósága az eddig elvégzett kísérletek során nem volt megvalósítható, mivel az eltömődés mértéke olyan nagy volt, hogy az áramlás szinte teljesen leállt, de a további kísérletek során dolgozom egy olyan teszt megvalósításán, ahol ez a folyamat is vizsgálható lehet.

9. Irodalomjegyzék

Berager, G., Descostes, M., Dillmann, P. and Neff, D. (2006): Corrosion of iron archaeological artefacts in soil: Estimation of the average corrosion rates involving analytical techniques and thermodynamic calculations. *Corrosion Science* 48, 2947-2970.

Filep Gy. (1988): *Talajkémia* (Akadémiai kiadó, Budapest, 1988)

Földesi J. (1988): *Bányászati robbantástechnika II. Kézirat* (Tankönyvkiadó, Budapest, 1988).

Hanna, T. M.; Howell, R. L.; McCarter, J.; Ternes, T.; Ugorets, V. (1999): Use of a Frozen-Earth Wall to Reduce Effects of Dewatering on Alluvial Aquifer in Vicinity of the Proposed Aquarius Open Pit Mine. A „Mining and the environment II” c. konferenciára írt tanulmány, Sudbury, 1999. szeptember 13-17.

Jaramillo, M. (2012): Riverbank Filtration: An Efficient and Economical Drinking-Water Treatment Technology. *Dyna* 79, 148-157.

Kovács Ferenc (2011): Víztelenítő kutak hozamváltozása lignitkülfejtésekben. *A Miskolci Egyetem Közleményei, A sorozat, Bányászat* 80, 197-203.

Morgan, B. and Lahav, O. (2007): The effect of pH on the kinetics of spontaneous Fe(II) oxidation by O₂ in aqueous solution – basic principles and a simple heuristic description. *Chemosphere* 68, 2080-2084.

Náray-Szabó I. (1973): *Kémia. (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973)* 560-581.

Németh T. (szerk)(2001): *Kármentesítési kézikönyv 4. Kármentesítési technológiák* (Környezetvédelmi Minisztérium, 2001).

Pataki L. és Zapp E. (1974): *Analitikai kémia. (Tankönyvkiadó, Budapest, 1974).*

Rózsa A. (2000): Beszivárgási vizsgálatok a Szentendrei-Duna medrében. *Hidrológiai Közlöny* 2000/2.

Vasarevicius, S. and Basiene, K. (2011): Effect of Precipitation on Leachate Parameters Causing Colmatation of Landfill Drainage Layer. Az „8th International Conference on Environmental Engineering” c. konferenciára írt tanulmány, Vilnius, 2011. május 19-20.

Wildi, W. (2010): Environmental hazards of dams and reservoirs. *Natural Environmental Science* 88, 187-197.

6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről (2009).

201/2001. (X.25.) Korm. Rendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről

Kőnig R. (2013): Dermesztő védelem.

http://www.ng.hu/Tudomany/2013/09/dermeszto_vedelem letöltés időpontja: 2013.11.02.

McFarland, M. L. and Dozier M. C.: Drinking Water Problems: Iron and Manganese

<http://soiltesting.tamu.edu/publications/L-5451.pdf> letöltés időpontja: 2013.10.17.

Szabó I. és Szűcs P.: Felszín alatti hidraulika.

http://www.hidrotanszek.hu/Eloadasanyagok/Szucs_Peter-

[Hidrogeologia_alapjai/FAVhidraulikav3.pdf](http://www.hidrotanszek.hu/Eloadasanyagok/Szucs_Peter-Hidrogeologia_alapjai/FAVhidraulikav3.pdf) letöltés időpontja: 2012.10.28.

<http://www.soils.wisc.edu/courses/SS325/oxides.htm> letöltés időpontja: 2013.10.19.

1. Függelék

A konzulenzstól kapott feladat a mesterséges kolmatációs tesztek összeállítása, kivitelezése majd ennek segítségével vízvezető képződmények vizsgálata laboratóriumi körülmények között. A talajok lecsökkent vízáteresztő-képessége az adott talajréteg felhasználásától függően lehet kedvezőtlen (pl. vízkitermelés), de bizonyos esetekben éppen kedvező (pl. szennyeződés migrációjának csökkentése (immobilizálása), víztelenítés).

Porózus közegben a folyadék áramlása függ a szabad hézagterfogatától, a hidraulikus gradienstől és az áramlási keresztmetszettől. A kolmatációs tesztek során azt vizsgálom, hogy egy adott talajminta víz-áteresztőképessége hogyan változik az áramló vízben lévő bizonyos adalékanyagok, szennyeződések hatására (kémiai és fizikai reakciók), ezáltal a rendszer mesterséges módon milyen mértékben kolmatálható el, így akadályozva a folyadék további áramlását a rendszerben.

A kísérleteknél vas-ammónium-szulfát oldatot adagolok a talajmintán átáramló vízhez, hogy az a pórustérben kicsapódva eltömítse azt. A talajoszlopok azonban vízzel telítettek és az átáramlás során végig ez a kétfázisú állapot van jelen. Ezen anaerob körülmények között sokkal kisebb intenzitással megy végbe a reakció, ezért megvizsgálom oxidálószernek a folyamatra gyakorolt hatását is, ezért egyes talajmintákba a vas-oldattal egy időben hidrogén-peroxidot is adagolok a vízáramba, amely felgyorsítja a kicsapódást.

Mivel a kísérlet során a víz átszivárgásának mértékét figyelem a pórustér változásának függvényében, az egy időben megfigyelt mintákba azonos nyomású vízoszlop vezet be a folyadékot és a minták keresztmetszete megegyezik, így csak a talaj szabad-hézagterfogatának függvénye lesz az egységnyi idő alatt kiáramló folyadék mennyisége, amely alapján tehát lehet következtetni az eltömődés mértékére.

A dolgozatban felvázolom az ivóvíz-technológiában széles körben alkalmazott, így kevésbé környezetidegen adalékanyagok mesterséges kolmatációt okozó hatásának gyakorlati alkalmazási lehetőségeit, azok előnyeit és hátrányait is.

2. Függelék

A TDK dolgozatomban feltüntetett eredmények és következtetések a mesterséges kolmatációs tesztek első laboratóriumi mérésein alapszanak. Ebben a szakaszban összeállítottam a megfelelő körülményeket a kísérletekhez majd ez alapján a kezdeti megfigyelések valamint ezek elemzése került bemutatásra a dolgozatban. A tesztek során azt vizsgáltam, hogy a különböző adalékanyagok (vas-oldat, hidrogén-peroxid) bejuttatása az átáramló vízbe miként befolyásolja a közeg vízvezető képességét, valóban csökkenthető-e a szivárgási tényező ezzel a módszerrel, továbbá, hogy milyen elemzési módszerekkel figyelhető meg részletesebben és pontosabban a folyamat.

A diplomatervemben szereplő kutatás a TDK dolgozatban bemutatott kezdeti méréseken és megfigyeléseken alapszik, azonban a további vizsgálatok során a képződményekben az adalékanyagok koncentrációjának változtatásával a folyamat vas-koncentráció illetve hidrogén-peroxid-koncentráció függését vizsgálom, több különböző teszt során figyelem meg az egyes körülmények megváltoztatásának hatását (pl.: adagolás módosítása, bevezetés helye). A további kutatásban szerepelnek az esetleges gyakorlati alkalmazások szempontjából fontos reverzibilitásra vonatkozó tesztek is, a kolmatáció lejátszódását követően az eredeti állapot visszaállításának lehetőségei és ennek a folyamatnak a megfigyelése.

TDK dolgozat

Cím: Vízvezető képződmények mesterséges kolmatációjának vizsgálata

Konzulens: Dr. Kovács Balázs, intézetigazgató egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Hidrogeológiai – Mérnökgeológiai Intézeti tanszék

Diplomaterv

Cím: Felszín alatti vízáadó képződmények szivárgási tényezőjének mesterséges csökkentése és ennek alkalmazási lehetőségei

Konzulens: Dr. Kovács Balázs, intézetigazgató egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Hidrogeológiai – Mérnökgeológiai Intézeti tanszék