

Vízrekesztő rétegből történő szennyeződések rediffúziós jelenségének laboratóriumi vizsgálata

Laboratory investigation of the rediffusion of contaminants originated from the aquiclude

N. POCZOK¹, I. SZÉKELY², T. MADARÁSZ³

¹Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, MSc hallgató, poczoknoemi@gmail.com

²Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Környezetgazdálkodási Intézet, tudományos segédmunkatárs, hgszi@uni-miskolc.hu

³Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Környezetgazdálkodási Intézet, egyetemi docens, hgtem@uni-miskolc.hu

Absztrakt. Számos szerves szennyező anyag antropogén hatások (káros emberi reakciók láncolata) következtében kerül a talajba, és ezzel a felszín alatti vizekbe. Az alacsony átteresztőképességű, vízzáró rétegek (pl.: agyag) ezen szennyeződések útjának elzárásában fontos szerepet játszanak. Viszont a szorpciós és diffúziós tulajdonságaik miatt az ilyen vízzáró rétegek hosszútávú szennyeződésforrásként is szolgálhatnak. Ha a réteg egyszer elszennyeződött, már nagyon nehéz rekultiválni, és fennáll a lehetősége, hogy a szennyeződés lassú diffúziós folyamatok által a nagyobb átteresztőképességű rétegekbe is továbbterjed. Ezt a jelenséget úgynevezett rediffúziós folyamatként definiáljuk, amely során a vízrekesztő rétegből szennyeződés visszadiffundál a magasabb permeabilitású rétegbe. Jelen tanulmány célja ennek a rediffúziós folyamatnak a laboratóriumi méretekben történő modellezési lehetőségének bemutatása és a befolyásoló paramétereknek a szennyezőanyag transzportra gyakorolt hatásának számszerűsítése.

Abstract. Many organic pollutants are released into the soil and thus into the groundwater due to anthropogenic effects (a chain of harmful human activities). Layers with low permeability (e.g. clay) play an important role in blocking the path of these contaminants. However, due to their sorption and diffusion properties, such aquiclude layers can also serve as long-term sources of contamination. Once the layer is contaminated, it is already very difficult to recultivate, and there is a potential for the pollutant to spread to higher permeability layers by slow diffusion processes. This phenomenon is defined as a so-called rediffusion process, in which contaminants are retransferred from the aquiclude to the layer with higher permeability. The purpose of this study is to demonstrate the possibility of modeling this rediffusion process in a laboratory scale and to quantify the effect of influencing parameters on pollutant transport.

1. Bevezetés

A környezetvédelmi kárelhárítási munkálatok magas hatásfokkal történő elvégzéshez elengedhetetlen ismernünk a rediffúzió jelenségét. A szennyezett területeken rekultiváció céljából az úgynevezett „pump & treat” technológiát szokták alkalmazni, melynek lényege, hogy területre egy vagy több kutat fúrnak, amelyek segítségével kitermelik a szennyezett vizet, a felszínen megtisztítják, majd visszajuttatják a felszín alá (eredeti helyére). Ez a módszer szénhidrogén szennyeződések esetén nem mindig éri el a kívánt eredményt, hiszen a kitermelt víz és a vízáradó ugyan megtisztításra kerül, de vízzáró rétegekben vagy akár agyaglencsékben, ugyanúgy megtalálható lesz a szennyeződés, amely később (akár évtizedek alatt) visszaoldódik a megtisztított rétegekbe.

2. A rediffúzió folyamata

A szennyezők talajban történő terjedéséhez különféle transzportfolyamatok végbemenetele szükséges. Ezen folyamatok során az anyagkoncentráció változhat mind térben, mind időben. Alapvetően két folyamat befolyásolja a szennyezők terjedését: az advekción és a hidrodinamikai diszperzió. Diszperzió során az oldott anyag adott áramlási sebesség és irány mellett terjed a térben. A diszperziós folyamatok egyik legfontosabb fajtája a diffúzió, mely során a tömegáram a térbeli kémiai potenciálkülönbségek hatására jön létre. [1].

Az alacsony áteresztőképességű, vízzáró rétegek (pl.: agyag) a szennyeződések útjának elzárásában fontos szerepet játszanak. Mintegy fizikai határvonalként funkcionálva elzárják a szennyezés útját a továbbterjedéstől a talajban. A szorpciós és diffúziós tulajdonságaik miatt az ilyen vízzáró rétegek hosszútávú szennyeződésforrásként is szolgálhatnak. Ha a réteg egyszer elszennyeződött, már nagyon nehéz rekultiválni, és fennáll a lehetősége, hogy a szennyeződés lassú diffúziós folyamatok által a nagyobb áteresztőképességű rétegekbe is továbbterjed. Ez végbemehet úgynevezett rediffúziós folyamatként, mely során a szennyeződés visszatér a magasabb permeabilitású rétegbe (ahonnan eredetileg érkezett) az alacsonyabból. A folyamat mértékét leginkább vízzáró réteg környezetének földtani tulajdonságai határozzák meg, pl.: rétegvastagság vagy a különböző rétegek szorpciós tulajdonságai (a hely függvényében). [2].

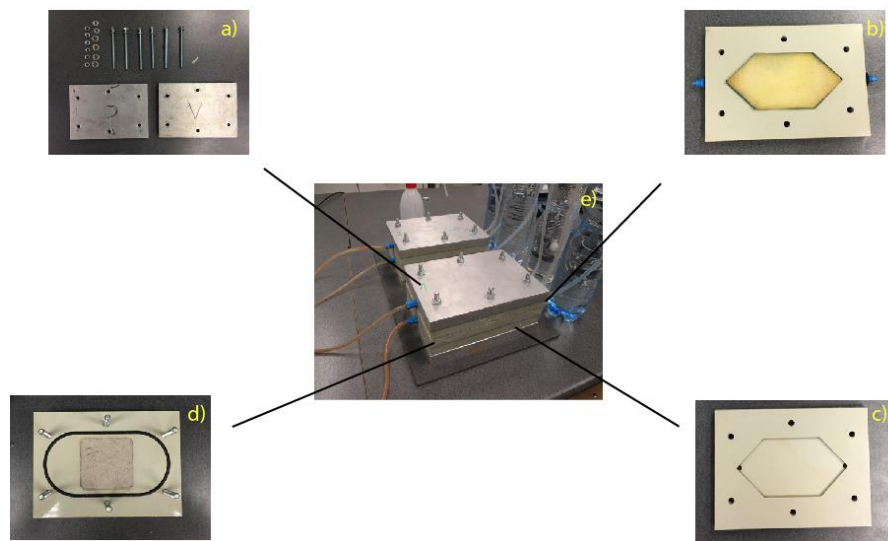
A rediffúzió jelenségét korábban számos tanulmány keretein belül vizsgálták, ilyen volt Tatti és társai 2017-ben végzett laboratóriumi mérésorozata, mely során a talajvíz és a rediffúzió közötti kapcsolatot vizsgálták. Egy mérő tartályban szimulálták a folyamatot, ahol a homokos réteg a vízáradó réteget, míg az agyagos réteg a vízzáró réteget volt hivatott bemutatni. Miután elszennyezték a vízáradó réteget, pihentették a rendszert, mely idő alatt a szennyeződés a koncentráció kiegyenlítés miatt bediffundált az agyagos lencsékbe. A pihentetés lejárta után több napon keresztül vízáramoltatás történt a mintán, ezáltal megtisztítva a homokos réteget. Ezalatt az idő alatt megfordult a szennyezés koncentráció-gradiensének iránya, a lencsékben volt magasabb a koncentráció értéke. [3].

A folyamatot terepi körülmények között is számos alkalommal vizsgálták, ilyen volt a Chapman és Parker által végzett mérésorozat 2005-ben, Connecticutban. A vizsgált terület úgynevezett DNAP-el szennyezett ipari terület volt. A Dense-Non-Aqueous-Liquids (DNAPL-ek) egyik legfőbb tulajdonsága,

hogy sűrűbbek a víznél, ezáltal a vízáradó réteg aláig képesek eljutni. [4]. Jelen esetben is ez volt megfigyelhető, a porózusabb vízáradón keresztül, egészen a vízzáróig jutott a szennyeződés. A vizsgálatokhoz tesztcellákat helyeztek el a talajban, amelyekből magminta elemzésre került sor, valamint a területen található monitoring kutak adataiból numerikus adatfeldolgozás segítségével modellezték a transzportfolyamatokat. A kísérlet eredményeiből azt a következtetést vonták le, hogy a szennyeződés mozgási időtartama a következő 5-10 évben lesz a legaktívabb, továbbá a terjedési alakja csóva-szerű alakot fog felvenni. [5].

3. DKS-permeabiméter

A laboratóriumi mérésekre a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar Környezetgazdálkodási Intézet laboratóriumában került sor. A DKS-permeabimétert a Ruhr Egyetem Talajmechanikai Tanszéke fejlesztette anyagtranszport folyamatok modellezése céljából. A műszer a diffúzió jelensége mellett, konvekciós és szorpciós folyamatok meghatározására is alkalmas. A permeabiméter segítségével többek között meghatározható a hidraulikus vezetőképesség (K) a szennyeződés megjelenése előtt és után, az effektív diffúzió-állandó (D_{eff}) valamint a szorpciós paraméter. A mérések során használt minták a legtöbb esetben alacsony vezetőképességgel rendelkeznek (agyagos talajminták). A műszer segítségével lehetőségünk adódik megvizsgálni (laboratóriumi körülmények között) a rekultivált területen megjelenő rediffúziós folyamatokat. [6].



1. ábra. A DKS-permeabiméter részei

(a: Alaplemez, hátlapfejű csavarokkal, b: Felső áramlási lemez, c: Alsó áramlási lemez, d: Talajminta elem, e: komplett műszer)

Az eszköz négy főbb részre bontható fel (1. ábra): felső áramlási lemez (b), alsó áramlási lemez (c), talajminta elem (d) és az alaplemez (a). Az alaplemez anyagát tekintve alumínium, míg a talajminta elem és az áramlási lemezek műanyagból készültek. Utóbbi azért fontos, mert így nem kerülnek kémiai reakcióba az áramoltatott közeggel. Az alaplemez feladata a műszer merevítése, melyről továbbá a 6 hátlapfejű csavar is gondoskodik, amelyek az eszköz vázát adják. Az áramlási lemezekon történik a

folyadék áramoltatása egy szűrőlemezen keresztül, amely feladata a minta kimosódásának megakadályozása, valamint az oldatok egyenletes eloszlása. [7].

Az alsó áramlási lemezen a szennyeződésmentes folyadék áramlik, míg a felsőn a szennyezett. A talajminta elem a vizsgálandó talajminta tárolására szolgáló egység (méretei: 80 x 20 x 20 mm). [4].

A rediffúziós mérések során a desztillált víz csupán a felső áramlási lemezen került áramoltatásra, az alsó áramlási lemez nem került használatra. A DKS-permeabiméterben történő folyadék áramoltatását egy perisztaltikus pumpa segítségével végeztük, amely kimeneti ágára egy átfolyó spektrofotométer küvetta csatlakozott. Az átfolyó spektrofotométer segítségével tetszőleges időintervallumban határozhattuk meg a kifolyó ágon a szűrőlemezbe visszadiffundáló szennyezőanyag koncentrációkat.

4. Laboratóriumi mérések

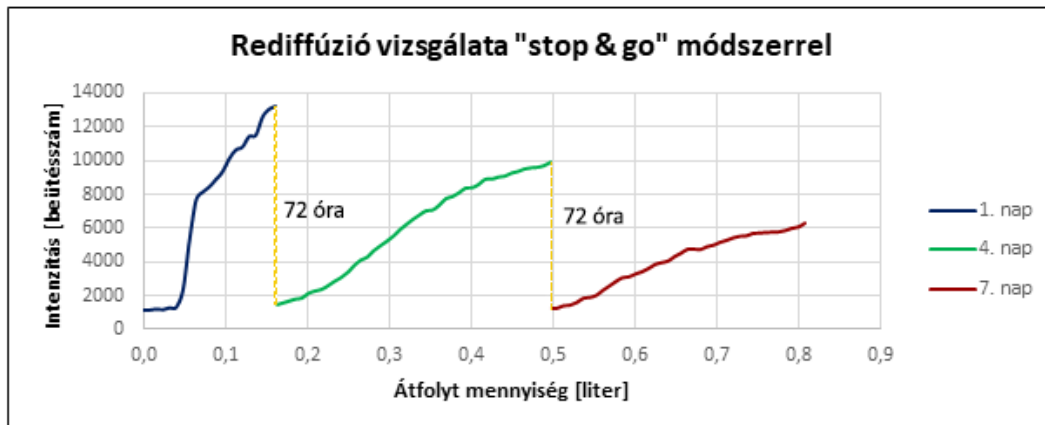
A DKS- permeabiméter mintatároló részének alsó rétegében agyag, míg a felsőben homok került beépítésre. Előbbi a vízzáró réteget, utóbbi a vízáadó réteget volt hivatott demonstrálni. A szennyezőanyag dimetil-szulfid volt (DMSO), amely egy szerves kénvegyület. Továbbá a DMSO-hoz fluoreszcein került hozzáadásra (123 ml DMSO-hoz, 30,75 mg fluoreszcein), amely a spektrofotometriás mérések indikátora volt. [8]. A hozzáadott fluoreszcein és a spektrofotométer segítségével meghatározható a talajmintából kioldott szennyezőanyag mennyisége.

Mint azt már a bevezetésben is elhangzott a mérésorozat célja a rediffúziót befolyásoló paraméterek szennyezőanyag transzportra gyakorolt hatásának számszerűsítése. A vizsgálatok során fontos paraméter volt a pumpa által biztosított áramlási sebesség, amellyel a folyadék áramlott át a rendszeren. A pumpa fordulatszáma 10 RPM volt, amely 0,0016 l/perc-es hozamnak felel meg. Az adatok feldolgozása során az átfolyt vízmennyiséget ábrázoltuk a spektrofotométer által mért intenzitás értékek függvényében.

4.1. Mérési eredmények - 1. fázis

A mérések megkezdése előtt a mesterségesen elszennyezett talajminta közel 2 hónapot állt zavartalan állapotban a DKS-permeabiméterben, amely célja a két réteg közötti kémiai egyensúly beállása volt. A rétegek közötti koncentráció kiegyenlítődést követően, a perisztaltikus pumpa segítségével áramlást hoztunk létre a szűrőlemezben és a spektrofotométer segítségével detektáltuk a cellából kilépő szennyezőanyag koncentrációkat. Az első vizsgálat során 5 óra üzemeltetést követően a perisztaltikus pumpát leállítva 3 napig állni hagytuk (az ábrán szaggatottal jelölve) a rendszert, majd újabb 3 óráig üzemeltettük még egyszer megismételve. Ennek az úgynevezett "stop & go" vizsgálatnak az eredményét a 2. ábra szemlélteti, ahol a mért intenzitás értékek láthatóak az átfolyt vízmennyiség függvényében. A grafikus ábrázoláson jól látható, hogy perisztaltikus pumpa üzemelése során a szűrőlemezről kilépő oldat intenzitás értékei folyamatosan nőnek, azaz a szennyezőanyag koncentráció folyamatosan csökken, addig a "stop" fázisban a rediffúzió hatására a vízzáró rétegből a szűrőlemezbe a koncentráció értékek megnövekednek. Az is jól megfigyelhető, hogy egy rövid üzemeltetési fázis során a szűrőlemezben található szennyeződés szinte teljes mértékben

eltávolítható, de a kevésbé transzmisszív rétegből 3 nap alatt ismét jelentős mennyiségű szennyező képes vissza diffundálni a megváltozott koncentráció gradiens hatására.



2. ábra. A három naponta végzett mérésorozat eredményei

4.2. Mérési eredmények - 2. fázis

A második mérés során, az előzőtől eltérően folyamatos volt az áramlás a szűrőlemezben, és naponként történt egy-egy 3 órás szennyezőanyag detektálási fázis, 3 napon keresztül (3. ábra). A folyamatos üzemű vizsgálat grafikonján a szennyezőanyag intenzitás és a mérés során átfolyt oldat mennyiségek kerültek szintén ábrázolásra, azzal a különbséggel, hogy a szaggatott vonallal jelölt részeknél 2,016 l folyadék került átáramoltatásra a szűrőlemezre. Az első mérési nap, akár a "stop & go" üzemű vizsgálatnál kis mennyiségű átáramoltatott folyadékmennyiség mellett is jelentős a koncentráció változás a szűrőlemezben, de idővel nagymértékben lecsökken és egyre kisebb a szennyezőanyag kihozatal.



3. ábra. A naponta végzett mérések eredménye

5. Összegzés, kutatási célok a jövőre tekintve

A DKS-permeabiméter a fentebb leírt mérési elrendezés mellett laboratóriumi környezetben jól modellezi a szennyezett területek kárelhárítása során alkalmazott „pump & treat” technológiát, valamint a transzmisszív és a kevésbé transzmisszív rétegek közötti transzportfolyamatokat. A különböző üzemű mérések igazolták, hogy a „pump & treat” technológiák az idő előrehaladtával egyre kisebb hatásfokkal működtethetők, de szakaszos üzemeltetéssel szennyezőanyag kihozatali hatásfokuk megfelelő időintervallum megválasztással növelhető.

A kialakított mérési elrendezés mellett a jövőben laboratóriumi körülmények között, megfelelő modellezési lehetőség nyílik a rediffúziós jelenség további vizsgálatára, amelyekkel a kármentesítési technológiák és a szennyezőanyag transzport modellező szoftverek paraméterei pontosíthatóak.

6. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem Innovatív Tudásváros a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként a Széchenyi 2020 keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

A kutatómunka a Miskolc Egyetemen Műszaki Földtudományi Karának GINOP-2.3.2-15-2016-00031 jelű „Innovatív megoldások a felszín alatti vízkészletek fenntartható hasznosítása érdekében” című projektjének részeként a Széchenyi 2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Strukturális és Beruházási Alapok társfinanszírozásával valósul meg.

Hivatkozások

- [1] http://www.biofizika.aok.pte.hu/data/2015/0902/298/DIFF%C3%9AZI%C3%93_handout.pdf
- [2] Liu C. - Ball W. P., *Back Diffusion of Chlorinated Solvent Contaminants from a Natural Aquitard to a Remediated Aquifer Under Well-Controlled Field Conditions: Predictions and Measurements*, Ground Water, Vol. 40, No. 2, 175-184
- [3] Fabio Tatti - Marco Petrangeli Papini - Giuseppe Sappa – Massimo Raboni - Firoozeh Arjmand - Paolo Viotti, *Contaminant back-diffusion from low-permeability layers as affected by groundwater velocity: A laboratory investigation by box model and image analysis*, Science of the Total Environment 622–623 (2018) 164–171
- [4] Prof B.H. Kueper, Dr G.P. Wealthall, J.W.N. Smith, Prof S.A. Leharne & Prof D.N. Lerner, *An illustrated handbook of DNAPL transport and fate in the subsurface*, 1.
- [5] Chapman S. W. – Parker B. L. – Sale T. C. – Doner L. A. 2012, *Testing high resolution numerical models for analysis of contaminant storage and release from low permeability zones*, Journal of Contaminant Hydrology, Vol. 136-137, 106-116.
- [6] Koll A., *Anwendug von DKS- Permeametern zur Untersuchung von chromkontaminiertem Boden*, Masterarbeit, Leoben, 33-41.

- [7] H.L. Jessberger, K. Onnich, *Determination of pollutant transport parameters by laboratory testing*, XIII ICSMFE, 1994, New Delhi, India / XIII CIMSTF, 1994. New Delhi, India
- [8] Demián Szabolcs, *Laboratory testing of rediffusion from contaminated double porosity layers*, Diplomateriv 2018, 37.