

Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar
Hidrogeológiai – Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék



Új típusú reaktív gátak méretezése, a méretezést segítő mérések

Szerző: Székely István

Szak megnevezése: Hidrogeológus mérnök MSc.

Évfolyam: 2. évfolyam

Beadás dátuma: 2011.11.05.

Témavezető: Dr. Madarász Tamás egyetemi docens

Tanszék: Hidrogeológiai- Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	1
2. Az új típusú reaktív gát rövid bemutatása	1
3. A gáttervezés folyamata	2
3.1. Előzetes ellenőrző lista	5
3.2. Anyagmérleg alapú megközelítés	6
3.3. Paraméteres méretezési protokoll	7
3.3.1. Környezetbe illesztés	10
3.3.2. Kémiai kompatibilitás	12
3.3.3. A gát geometriai méretének és élettartamának meghatározása	15
4. A méretezést segítő mérések (DKS- permeabiméter)	17
4.1. A DKS- permeabiméter bemutatása	17
4.2. A DKS- permeabiméter részei és működése	18
4.3. Diffúzió mérése DKS- permeabiméterrel	23
4.4. Adsorpció mérése DKS- permeabiméterrel	28
5. A méretezést segítő mérések fejlesztésére tett javaslatok, távlati célok	34
6. Összefoglalás	35
Irodalomjegyzék	37
Ábrajegyzék	39
Táblázatjegyzék	39
Mellékletek jegyzéke	39
Mellékletek	40

Eredetiségi nyilatkozat

„Alulírott Székely István, a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karának hallgatója büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és aláírással igazolom, hogy ezt a dolgozatot saját magam készítettem, a benne leírt vizsgálatokat – ha ezt külön nem jeleztem – magam végeztem el, és az ismertetett eredményeket magam értem el. Adatokat, információkat csak az irodalomjegyzékben felsorolt forrásokból használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával jelöltem.”

Miskolc, 2012.11.05.

Székely István

Konzulens nyilatkozata

Alulírott Dr. Madarász Tamás, a Miskolci Egyetem Hidrogeológiai- Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék, egyetemi docense a TDK dolgozatot beadásra alkalmasnak ítélem.”

Egyéb megjegyzések, ajánlás:

Miskolc, 2012.11.05.

Dr. Madarász Tamás
egyetemi docens

1. Bevezetés

A reaktív gátak alkalmazása a kármentesítési eljárásokban egy igen új és kevésbé ismert technológia. A PRB egy olyan felszín alatti műtárgy, amely jelentős felügyelet és energiaigény nélkül, a természetes talajvíz áramlását kihasználva elvégzi a szennyező csóva megtisztítását. Előnye a „pump-and-treat” eljárással szemben, hogy körültekintő tervezés után, viszonylag egyszerűen kialakítható és a korábban szennyezett terület mihamarabb használhatóvá válik. [1]

A reaktív gátak tervezése egy összetett és bonyolult munkafolyamat. Nem létezik és nem is lehet felállítani egy általános standard-et, ami bármely helyzetben alkalmazható reaktív gátak tervezésére. Azt viszont ismerjük, hogy melyek azok a környezeti hatások, amik befolyásolják a gát paramétereit és azt is tudjuk, vagy vizsgálatok segítségével igazolhatjuk, miként hatnak ezekre a paraméterekre. [2]

Ezen információk birtokában készítettem el egy elvi gáttervezési protokollt, ami végigviszi a tervezőt azokon a tervezési lépcsőkön, amelyek elengedhetetlenek az optimális gátműködés szempontjából.

Jelen dolgozat a fent említett méretezési protokoll bemutatása mellett egy új típusú DKS-permeabimeter ismertetését is tartalmazza. Ez a berendezés alkalmas olyan szennyezőanyag terjedési mechanizmusok laboratóriumban történő meghatározásához, mint adszorpció, advekció és diffúzió. A transzport értékek a későbbiekben hasznos adatokat szolgáltatnak az új típusú PRB transzport modellezési modul feladatainál.

2. Az új típusú reaktív gát rövid bemutatása

2009-ben a Miskolci Egyetemen a Hidrogeológiai- Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék, az Előkészítéstechnikai Intézeti Tanszék és a Kémiai Intézeti Tanszék közreműködésével indult egy kutatás a Három Kör Delta Kft. finanszírozásával, amely egy új típusú reaktív gát fejlesztését tűzte ki célul a talajvízszennyezések kármentesítésére.

A célkitűzés egy olyan új fejlesztésű reaktív gát volt, amely talajvízszennyezések kármentesítésénél jó hatásokkal alkalmazható és a következő elvárásoknak megfelel:

- újszerű töltetanyaga miatt rendkívül gazdaságosan alakítható ki és üzemeltethető

Új típusú reaktív gátak méretezése, a méretezést segítő mérések

- természetes alapanyagú töltetet tartalmaz (huminsav tartalmú természetes anyagok, például: lignit vagy tőzeg)
- a teljes életciklus minden fázisát figyelembe véve tervezett, azaz a töltet kimerülése után visszanyerhető és újrahasznosítható, például energetikai célokra
- megfelel a kármentesítéssel szemben támasztott szakmai és jogi követelményeknek

Tehát a kutatás célja az volt, hogy egy olyan műszaki beavatkozást fejlesszen ki, amely lényegesen alacsonyabb költségszinten és rövidebb idő alatt biztosíthatja a korábban elszennyezett területek használatbavételét, és költséghatékony üzemelés mellett teljesíti a humán hatásviselő, az ökoszisztéma és a környezeti elemek megfelelő védelmét.

A hagyományos PRB alkalmazásoknál elterjedten használnak a töltet anyagaként aktív szén, amelynek köztudottan jó a szennyezőanyag megkötő képessége és a legtöbb esetben jól regenerálható, viszont nagyon költséges eljárás.

A projektben alkalmazandó természetes anyagú töltetek (lignit vagy tőzeg) bekerülési költsége legalább egy nagyságrenddel kisebb az aktív szén töltetétől. Szennyezés visszatartó képessége (CRC) laboratóriumi kísérletek által igazolva körülbelül 30%-át éri el az aktív szenekének. A költségeket csökkenti még, hogy a költséges regenerálás helyett a töltetanyagot energetikai célokra, vagy más eljárásokban újra felhasználjuk (pl.: cementgyártás). Töltetanyag cseréje esetén olcsó és nagy mennyiségű ásványi szén és a szén tartalmazó hulladékok állnak rendelkezésre. Ezek az anyagok megfelelő kezelés és adalékok hozzáadása után reaktív permeabilis gáttá, illetve impermeabilis gáttá képezhetőek. Előzetes becslések alapján a kármentesítést végző számára ez a technológia 40-50%-kal olcsóbb, mint a „pump- and- treat” technológia.

Ezeknek az előnyöknek köszönhetően az új típusú reaktív gát jól alkalmazható eljárás lenne barnamező rehabilitációs projekteken, ahol a talajvízbe került nehézfémek kármentesítése szükségszerűvé válik. [3] [4] [5]

3. A gáttervezés folyamata

A gáttervezés folyamata egy 4 részből felépülő munkafázis, amit az **1. ábra** szemléltet. Ennek elemei:

- Ellenőrző lista
- Anyagmérleg alapú megközelítés

- Paraméteres méretezési protokoll
- Fél üzemi kísérlet

Az egyes részek időrendi sorrendbe haladva veszik figyelembe a gát tervezéséhez szükséges és rendelkezésre álló adatokat, valamint ezek egymásra hatását.

Minden részfolyamat elvégzése után választ kapunk egy nagyon fontos kérdésre, miszerint a gát az adott körülmények között alkalmazható, vagy sem. Amennyiben a kérdésekre kapott válasz igen, a gát alkalmazható az adott kármentesítési probléma megoldására. Ebben az esetben haladhatunk tovább a gát tervezésében.

A folyamatára első két része (az ellenőrző lista és az anyagmérleg alapú megközelítés) főként a gát megvalósíthatóságának kérdésére ad választ, míg az utolsó két része (a paraméteres méretezési protokoll és a fél üzemi kísérlet) a gát tervezéséhez szükséges paraméterekről ad információt (pl.: töltet szemcsemérete, a gát vastagsága, szivárgási tényezője, stb.)

A reaktív gát tervezése egy összetett és bonyolult munkafolyamat. Nem létezik és nem is lehet felállítani egy általános standard-et, ami bármely helyzetben alkalmazható reaktív gátak tervezésére.

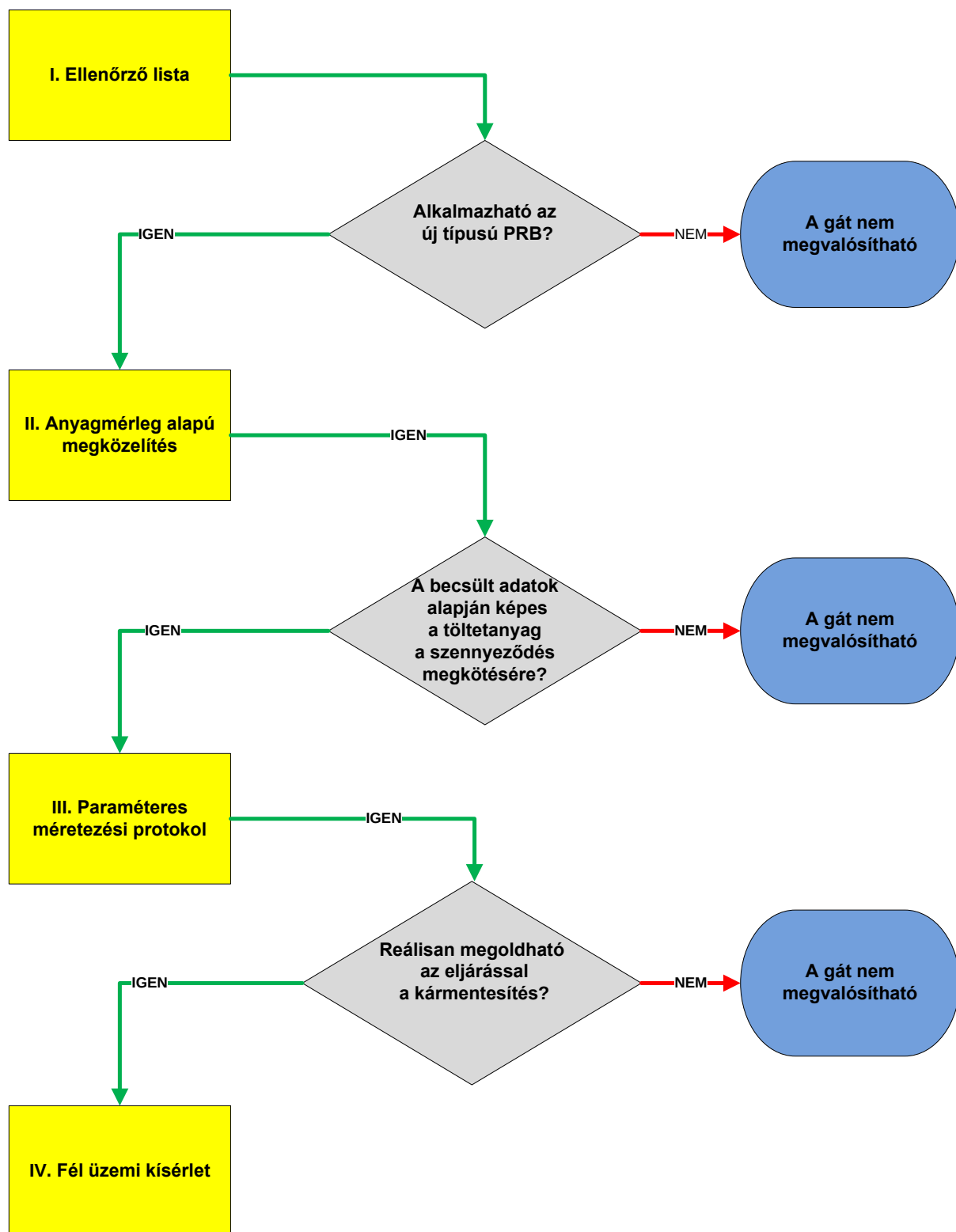
Azt viszont ismerjük, hogy melyek azok a környezeti hatások, amik befolyásolják a gát paramétereit és azt is tudjuk, vagy vizsgálatok segítségével igazolhatjuk, miként hatnak ezekre a paraméterekre. Ezt felhasználva készült el ez a méretezési füzet megkönnyítve a tervezési munkát.

A protokoll egyes elemei elkülöníthetőek, mint környezeti input paraméter, valamint gát paraméter (output). Az input paramétereket változtatni nem tudjuk, maximum csak mérsékelhetjük őket (pl.: pH változtatása egy puffer zóna kialakításával a gátfal előtt), ami viszont plusz költségeket jelent.

Ezzel szemben a gát paramétereit változtathatjuk, változtatnunk kell a környezeti adottságok miatt, mert egy output paraméter megváltozása is hatással van az egész rendszerre. Ennek következtében körültekintően kell eljárni és meg kell ismerni az output paraméterek egymásra gyakorolt hatását is.

Célszerű tehát egy iterációs folyamatként tekinteni a gáttervezésre és az adott input paraméterek mellé választani kell output paramétereket kezdő értéknek (pl.: gátvastagság, töltet szemcsemérete).

A továbbiakban bemutatásra kerülnek a fent említett pontok és részletes leírásuk, melyeket követve megkapjuk a reaktív gát tervezéséhez szükséges adatokat.



1. ábra A gáttervezés folyamata

3.1. Előzetes ellenőrző lista

A reaktív gát bonyolult és összetett mérnöki tervezése és az ehhez szükséges vizsgálatok megkezdése előtt egy gyors ellenőrzés elvégzése szükséges. Ez azért indokolt, mert meg kell, hogy győződjünk a költséges feladatok elkezdése előtt arról, hogy nincsenek az új fejlesztésű PRB-t kizáró, a megvalósítást ellehetetlenítő körülmények. Ennek kivitelezéséhez a szennyezett területről és a szennyeződés egyes tulajdonságairól információkkal kell, hogy rendelkezünk. Az ellenőrző lista ebben is nagy segítségünkre szolgál, mert célirányosan tudjuk, mely paramétereket kell meghatároznunk az előzetes tényfeltárás során.

Ilyen paraméterek:

- A terület geológiai tulajdonságai
- A talajvíz áramlási viszonyai
- A szennyeződés milyen formában van jelen, milyen eredetű és milyen komponensek alkotják
- A terület szivárgási tényezője

Amennyiben ezeket ismerjük, megválaszolhatjuk az ellenőrző lista kérdéseit. Az új fejlesztésű gát tervezésének megkezdése előtt az alábbi táblázat kérdéseire kell, hogy választ kapjunk.

	<i>Ellenőrző kérdések</i>
1.	Az eltávolítani kívánt szennyeződés a talajvízben van?
2.	A talajvíz áramlási iránya állandó a területen?
3.	A területen a talajvíz áramlási viszonyai lehetővé teszik a reaktív gáttal történő szennyező csóva befogását?
4.	A gát problémamentesen illeszthető a geológiai környezetbe?
5.	Előállítható olyan szivárgási tényezőjű gátanyag, ami megfelelően illeszkedik a környezetéhez?
6.	A szennyeződés komponensei megköthetők a gátanyagon?
7.	A szennyeződés komponensei olyan mennyiségben vannak jelen, ami indokoltá teszi a gát kiépítését?
8.	Az előzetes vizsgálatok alapján kizárható, hogy a szennyeződés nem tartalmaz olyan komponenseket (például Hg), amelyek a gát működését gátolják?
9.	A terület beépítettsége lehetővé teszi a gát kialakítását?
10.	A kármentesítéshez ez az elérhető legjobb technológia?

1. Táblázat Előzetes ellenőrző lista

A további tervezés csak akkor folytatódhat, ha ezekre a kérdésekre „IGEN” választ kaptunk és meggyőződünk róla, hogy megfelelő adatgyűjtés és feldolgozás áll a válaszadásunk háttérében.

3.2. Anyagmérleg alapú megközelítés

Az ellenőrző lista kiértékelése után következhet a gát tervezése. A tervezés megkönnyítése érdekében érdemes egy anyagmérleg alapú előzetes becslést elvégezni. Az így kapott közelítő adatok segítséget nyújthatnak a tervezés korai szakaszában az egyes változók kezdeti értékének megválasztásában, mint például a gátvastagság, amit az anyagmérleg alapján kapott töltetmennyiségből származtathatunk.

Első lépésben megközelítőleg meg kell határoznunk a környezetbe kijutott és a gát által megkötni kívánt szennyezőanyag mennyiségét komponensenként (V_{kijutott}). A következő feladatunk, hogy megbecsüljük a residens szennyezőanyag mennyiségét (V_{residens}). A kármentesítési célállapot határértékből (D) és a gátra érkező anyagmennyiségből ($V_{\text{gátra érkező}}$) kiszámolható a gáton átengedhető szennyező mennyisége ($V_{\text{átengedhető}}$).

Az előbbiekből alapján:

$$V_{\text{(kijutott)}} - V_{\text{(residens)}} = V_{\text{(gátra érkező)}}$$

$$V_{\text{(gátra érkező)}} - V_{\text{(átengedhető)}} = V_{\text{(megköthető)}}$$

Ahol: $V_{\text{(megköthető)}}$ az a szennyező anyag mennyiség, amit a gátnak meg kell tudnia kötni.

Ha ismerem azt az anyagmennyiséget körülbelül, amit a gátnak tudnia kell megkötni ($V_{\text{megköthető}}$) és a gát tömegegységre vonatkoztatott szennyező visszatartó képességét ($V_{\text{megköthető}}$), akkor ki tudom számolni milyen mennyiségű gátanyag (M) képes a kármentesítést elvégezni.

A kapott értékek egy közelítést adhatnak a gát vastagságára, illetve a töltet cseréjének idejére. De ki is zárhatják a gát megvalósítását ($V_{\text{megköthető}} > V_{\text{megköthető}}$). Nagyon fontos megjegyezni, hogy ez még nem a gát tényleges méretezése, hanem csak egy gyors anyagmérleg, melynek értékei nem pontosak. Elvégzése csak megvalósíthatóság értékelésre és a későbbi méretezési feladatokhoz nyújt kezdeti segítséget.

3.3. Paraméteres méretezési protokoll

A gát méretezési protokollja, megmutatja az egyes paraméterek közötti összefüggéseket és a tervezés során elvégzendő feladatokat. A könnyebb átláthatóság és értelmezhetőség érdekében a paraméteres méretezési protokollt több munkafolyamatra bontottam fel:

- Környezetbe illesztés
- Kémiai kompatibilitás
- Gát geometriai mérete, élettartamának meghatározása
- Egyéb a gátműködést befolyásoló tényezők

Ezek a részek külön-külön részletesen tárgyalják a reaktív gát tervezésének adott szakaszát.

A gát tervezésénél a **2. ábra** szerinti sorrendet kell betartani, elvégezve az alpontok által előírt vizsgálatokat.

Az előzetes ellenőrző lista, valamint az anyagmérleg alapú megközelítés elvégzése után következik a tényleges gáttervezési munka, aminek folyamatát a **2. ábra** szemléltet.

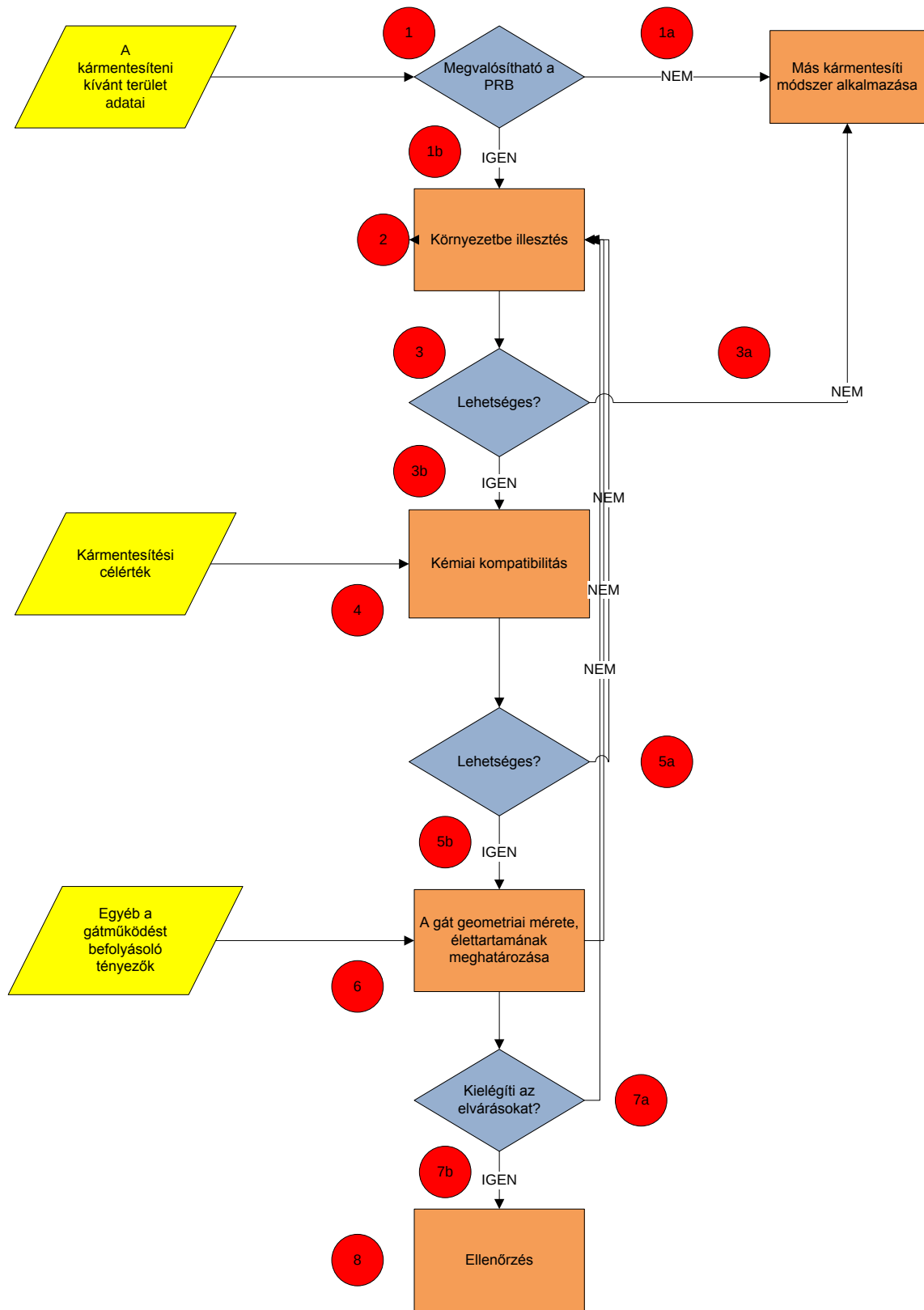
A 2. ábra értelmezése:

1. lépés: Az ellenőrző lista és az anyagmérleg alapú megközelítés elvégzése után el kell döntenünk, hogy a jelenlegi következtetések alapján a reaktív gát megvalósítható (1a eset), vagy nem kivitelezhető és más eljárást kell választanunk (1b eset).
2. lépés: A gát környezetbe illesztésének megoldása. Itt olyan szivárgási tényezőjű töltetanyag kialakítása a cél, amely 100%-os hatásfokkal képes befogni a szennyezett vizet. Az 1. számú mellékletben különböző lignit- homok keverékek szivárgási tényezői találhatók, ezek az eredmények segíthetnek nekünk a megfelelő szivárgási tényezőjű töltetanyag kiválasztásában.

Új típusú reaktív gátak méretezése, a méretezést segítő mérések

3. lépés: Dönteni kell, hogy lehetséges a környezetbeillesztés (3b) és haladhatunk tovább a tervezésben, vagy pedig nem megoldható (3a eset) és másik eljárást kell alkalmazni az adott szennyeződés felszámolásához.
4. lépés: A töltet kémiai kompatibilitásának meghatározása, a környezetbe illesztési paraméterek, valamint a kármentesítési célérték figyelembe vételével.
5. lépés: A kompatibilitás végeztével meg kell vizsgálni a kapott adatokat és eldönteni, hogy a kapott értékek kielégítik-e a gát szennyezőanyag visszatartó képességét. Amennyiben nem (5a eset), akkor vissza kell térni a 2. lépéshez és előről kezdeni a tervezési lépések elvégzését. Ha a kémiai kompatibilitás megfelelő, akkor haladhatunk tovább.
6. lépés: A gát geometriai méreteinek és élettartamának meghatározása a gátműködést befolyásoló egyéb tényezők figyelembe vételével.
7. lépés: a 2. 4. és 6. lépés eredményeit összegezve el kell tudni dönteni, hogy a gát működőképes-e az adott paraméterek mellett. Amennyiben nem (7a eset), akkor vissza kell mennünk az 1. lépéshez és előről kezdeni a tervezést, ha igen akkor is kötelezően el kell végezni az ellenőrzési fázist.
8. lépés: Ellenőrzés (transzportmodellezés)

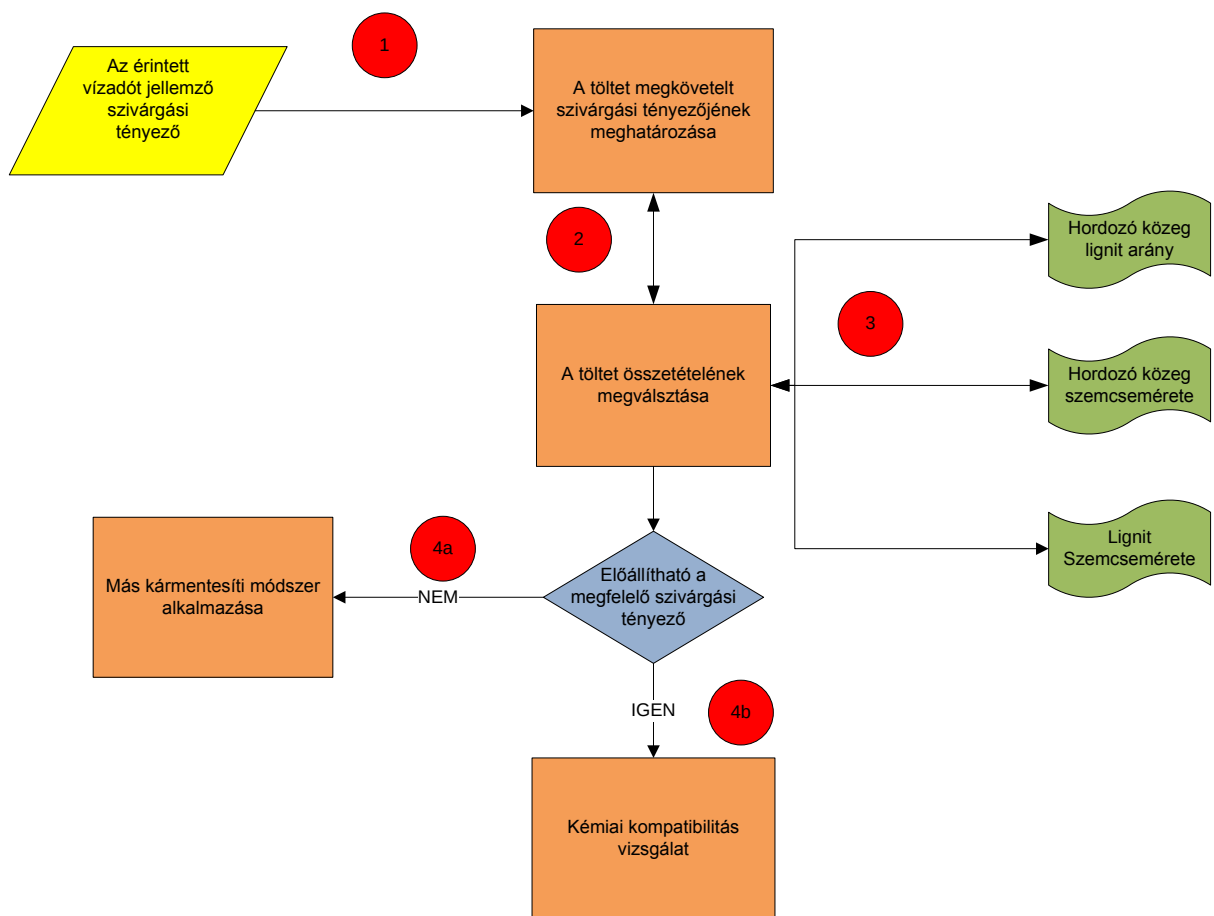
A paraméteres méretezési protokoll folyamatábrája



2. ábra A paraméteres méretezési protokoll folyamatábrája

3.3.1. Környezetbe illesztés

A környezetbeillesztés paraméteres meghatározása



3. ábra Környezetbe illesztés

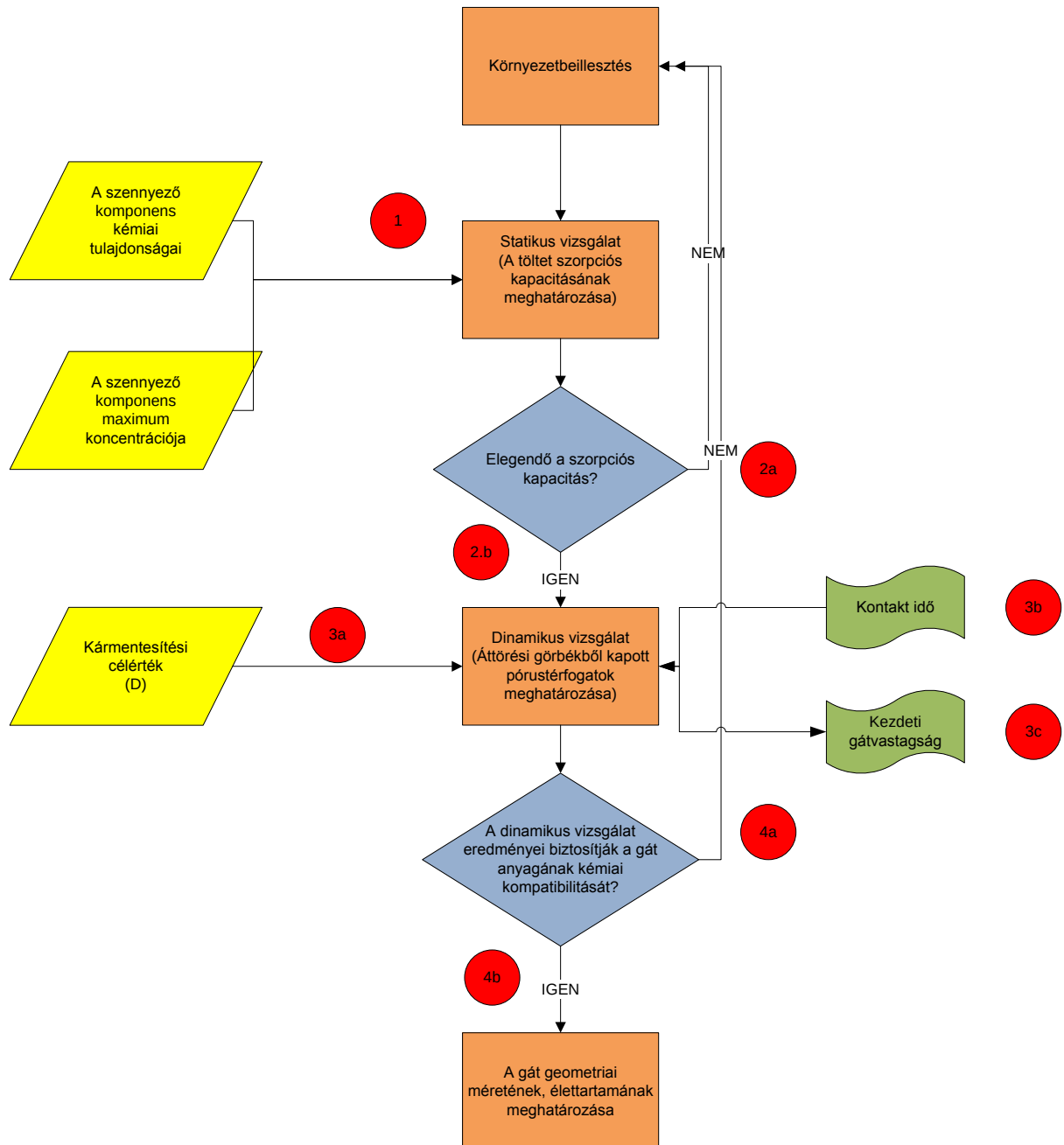
A paraméteres méretezési protokoll első lépcsőfoka a környezetbe illesztés (**3. ábra**). Ez alatt értendő olyan szivárgási tényezőjű töltetanyag megválasztása, amely nem változtatja meg a környezet hidrogeológiai viszonyait és 100%-os befogási hatásfokkal rendelkezik. A környezetbe illesztés a tervezési feladat sarokpontja, mivel ha ezt nem tudjuk megvalósítani, a PRB alkalmazása lehetetlenné válik az adott területen.

A környezetbe illesztés lépései:

1. lépés: Az érintett vízadót jellemző szivárgási tényező ismeretében meg kell választanunk a reaktív gát anyagának szivárgási tényezőjét. A hidrodinamikai modellezések eredményei azt mutatják a töltet szivárgási tényezőjének minimum fél nagyságrenddel nagyobbnak kell lennie az érintett vízadótól, hogy a gát 100%-os hatásfokkal működhessen. A 2. számú melléklet egy 100%-os hatásfokkal működő gát ábráját mutatja, míg a 3. számú melléklet egy nem megfelelően működő gátat szemléltet. Amennyiben a modellezés során ilyen eredményeket kapunk, akkor változtatnunk kell a töltetanyag összetételén. [6]
2. lépés: A töltet megválasztott szivárgási tényezőjének megfelelő szemcseösszetétel megválasztása.
3. lépés: A szivárgási tényezőnek megfelelő töltetanyag összetételét szabályozhatjuk: a töltetanyag-lignit arányával, a hordozó közeg szemcseméretének és a lignit szemcseméretének változtatásával. Ennek jelentősége nem csak a töltet környezetbe illesztésénél, hanem a kémiai kompatibilitás elérésénél is fontos.
4. lépés: Lehetséges a megfelelő szivárgási tényező előállítása (4. számú melléklet segítséget nyújt a kérdés megválaszolására)? Ha nem (4a eset), akkor más kármentesítési módszert kell választani, ha igen, akkor továbbléphetünk a kémiai kompatibilitási vizsgálatok elvégzésére.

3.3.2. Kémiai kompatibilitás

A kémiai kompatibilitás paraméteres meghatározása



4. ábra A kémiai kompatibilitás paraméteres meghatározása

A paraméteres méretezési protokoll 2. szakasza a gát kémiai kompatibilitásának meghatározása (**4. ábra**), legalább annyira fontos, mint a környezetbe illesztési kérdés megoldása, mert a gátnak elsődleges célja a szennyezőanyag visszatartása. A kompatibilitási vizsgálatokat az 1. szakaszban meghatározott töltetösszetétel mellett kell meghatározni.

A méretezési protokoll egy szennyező komponenst vesz figyelembe a könnyen értelmezhetőség miatt. A valóságban ritkán fordul elő olyan kármentesítési probléma, ahol csak egy szennyező komponens eltávolítása a cél. Ezért minden egyes komponensre el kell végezni a kémiai kompatibilitási vizsgálatokat és a legkevésbé megkötődő anyaghoz igazítani a gát tervezését. Kivételt képez, ha a gát töltetanyagát kifejezetten egy szennyező komponens eltávolítására alkalmazzuk (többrétegű töltettel rendelkező PRB, amelynek minden egyes rétege más komponens eltávolítására szolgál, itt a rétegek helyes sorrendjének megválasztása fontos).

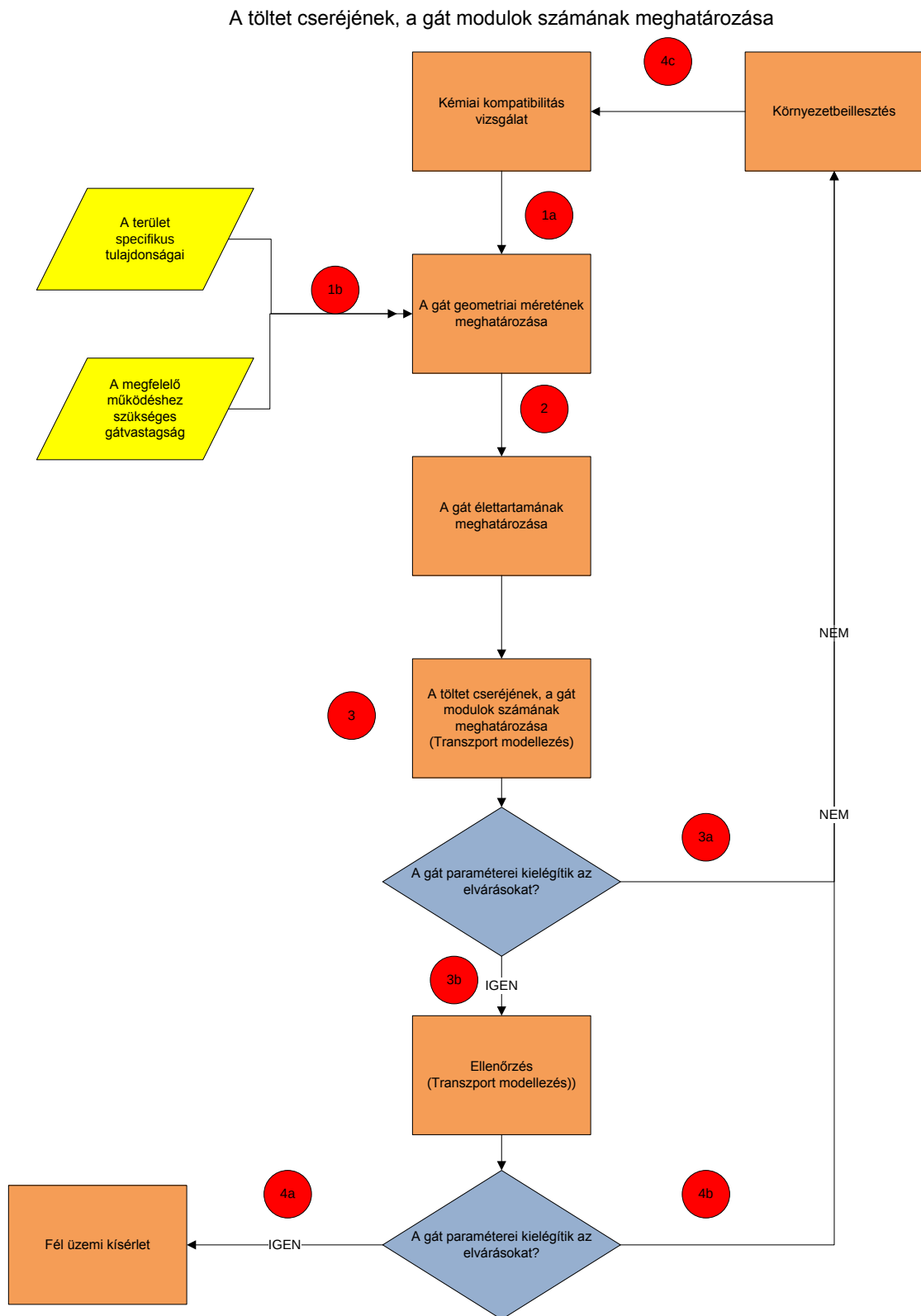
A kémiai kompatibilitás meghatározásának lépései:

1. lépés: A kármentesíteni kívánt területen meg kell határozni a szennyező komponens kémiai tulajdonságait (az adott földtani környezetben) és maximális koncentrációját. Ezután statikus kísérletek segítségével meg kell határozni a töltet szorpciós kapacitását.
2. lépés: Ki kell számolni, hogy elegendő-e a szorpciós kapacitás a szennyezőanyag megkötéséhez. Az alábbi számítást kell elvégezni, ahol $C_{\text{megkötött}}$ a töltetanyagon megkötődött szennyezőanyag koncentrációja, C_{max} a szennyezőanyag maximum koncentrációja, D a kármentesítési célérték. Mindegyik mennyiség mg/l egységben meghatározva. Az alábbi egyenlőtlenségnek kell teljesülnie: $C_{\text{megkötött}} > C_{\text{max}} - D$. Amennyiben nem elegendő a szorpciós kapacitás (2a eset), akkor vissza kell térni a tervezés kezdetéhez és a szemcseösszetételen változtatni úgy, hogy a töltet anyaga nagyobb fajlagos felülettel rendelkezzen (szemcseméret csökkentés), viszont szivárgási tényezője ne változzon. Ez megoldható, ha az adszorbeáló anyag fajlagos felületét növelem, a hordozó közeg fajlagos felületét pedig csökkentem. Hátránya viszont az, hogy ez által nőni fog a töltetanyag térfogata. Ha a statikus vizsgálat igazolja, hogy a töltet képes az adott szennyező komponens megkötésére, akkor

haladhatunk tovább és elkezdhetjük a töltetanyagon a dinamikus vizsgálatok elvégzését.

3. lépés: A töltetanyagon dinamikus kísérletek elvégzése. A gát viselkedését jól szimulálhatjuk, ha ezeket a dinamikus kísérleteket oszlopkísérletek formájában végezzük. A vizsgálat során befolyásoló tényezők: a kármentesítési célérték (3a eset), a kontaktidő (3b), a kezdeti gátvastagság (3c eset). A kezdeti gátvastagság alatt azt kell érteni, hogy még a kísérlet megkezdése előtt választanunk kell egy kiindulási vastagságot (ez határozza meg a szennyezett víz tartózkodási idejét), amit nem megfelelő eredményű kísérlet esetén növelve újra elvégezzük. Itt is fent áll az a lehetőség, hogy csak nagy térfogatú töltetanyag lesz elegendő a gát megfelelő működéséhez, ami viszont gazdaságtalanná, vagy egyszerűen kivitelezhetetlenné teszi a PRB megvalósítását. [7]
4. lépés: A dinamikus vizsgálatok eredményeit ki kell elemezni és eldönteni, hogy a kapott eredmények megfelelőek-e a gátműködés szempontjából. Abban az esetben, ha az eredmények nem megfelelőek, vagyis az adott vastagságú gátfal adott kontaktidő mellett nem képes a szennyeződés mértékét a kármentesítési célérték alá csökkenteni, akkor vissza kell térni a környezetbeillesztés ponthoz és változtatni a töltet összetételén és újra kezdeni a paraméteres méretezési protokoll egyes feladatainak elvégzését. Előfordulhat, hogy nem lesz olyan töltetösszetétel, ami mellett a gát megfelelően működne, ilyenkor új kármentesítési eljárást kell alkalmazni a szennyeződés felszámolására. Amennyiben a dinamikus kísérlet eredményei igazolják a gát optimális működését, akkor következhet a 3. fázis (a gát geometriai méretének és élettartamának meghatározása).

3.3.3. A gát geometriai méretének és élettartamának meghatározása



5. ábra A töltet cseréjének, a gát modulok számának meghatározása

A paraméteres méretezési protokoll utolsó szakasza a gát geometriai méretének, valamint a töltet cseréjének meghatározása (5. *ábra*). Ez a két paraméter külön fejezetben is tárgyalható lenne, de ezek annyira szorosan kapcsolódnak egymáshoz, hogy sokkal ésszerűbb lenne a két gát tulajdonságot egyszerre kezelni.

Az új fejlesztésű gát egyik nagy előnye, hogy töltetanyaga könnyen beszerezhető és anyaga később újra felhasználható. Tehát nem szükséges nagy vastagságú gátfalak építése (nem is mindig lehetséges), hanem a gátvastagság és a töltet cseréjének megfelelő kombinálásával kiküszöbölhetővé válik ez a probléma.

A gát geometriai méretének és cseréjének meghatározó lépései:

1. lépés: A gát geometriai méretének meghatározása. A PRB geometriai méretét a terület specifikus tulajdonságai (beépítettség, talaj rétegviszonyai, talajvíz áramlási viszonyok stb.) és a dinamikus vizsgálatokkal meghatározott, az optimális működést biztosító minimális gátfalvastagság (1b eset) határozza meg. Tehát az adott területi viszonyok szabta határ függvényében kell meghatározni, hogy mekkorák lesznek a gát geometriai paraméterei.
2. lépés: Az 1. lépés során meghatározott gátparaméterek után ki kell számolni, hogy a kivitelezni kívánt gáttest mennyi ideig képes a kármentesítési céloknak megfelelően működni. Amikor a gát már nem képes ellátni rendeltetését, a töltetet ki kell emelni és új töltetanyaggal helyettesíteni. Ezt a lépést legegyszerűbben transzportmodellezéssel hajthatjuk végre. Annak érdekében, hogy a valóságot legjobban tudjuk közelíteni, ismernünk kell a szennyezőanyag transzport jellemzőit.
3. lépés: A PRB elégséges geometriai méretének és szükséges csere intervallumának meghatározása után mérlegelni kell az adott körülmények közötti fenntarthatóságát. Amennyiben ez az opció nem áll fent (3a eset), akkor vissza kell mennünk a tervezési fázis legelejére és újból elkezdni a tervezési „iterációt”, ha az összes paraméter biztosítja az optimális működőképességet (3b eset) és a gazdaságosságot, akkor kötelezően el kell végezni az ellenőrzési/utóellenőrzési feladatokat. Ellenőrzési/utóellenőrzési feladatok során ismételten célszerű elvégezni mind a hidraulikai, mind a transzportmodellezést.

4. lépés: Az ellenőrzés végeztével jelentkezhetnek a gát működését negatívan befolyásoló tényezők (pl.: nem 100%-os hatásfokkal működik, nem köti meg mégse a kívánt szennyezőanyag-mennyiséget stb.), ilyenkor ismét vissza kell térni a tervezés legelejére és minden vizsgálatot a fentiekben leírt sorrendben újra elvégezni (4b, 4c eset). Ha nem merül fel probléma (4a eset), akkor ajánlott egy fél üzemi kísérlet elvégzése a gát kivitelezése előtt, hogy megbizonyosodjunk teljes mértékig a PRB működtetésének biztonságáról. A többszörös ellenőrzés célja, hogy a gát üzembe helyezése előtt a legkisebbre minimalizáljuk a felmerülő hibalehetőségeket.

A gát geometriai méretének és élettartamának meghatározása részben jól látszik, mennyire nagy szerepe van a gát tervezés folyamatában a transzportmodellezésnek. Annak érdekében, hogy a modellel a legjobban meg tudjuk közelíteni a valóságot, nem elegendő csak a környezet tulajdonságait ismernünk (talajvízjárás, földtani felépítés, szivárgási tényezők, stb.), hanem a szennyezőanyag tölteten való áthaladásakor fellépő transzportfolyamatokat (adszorpció, diffúzió és advekció) is ismernünk kell. A DKS-permeabiméter megoldást jelenthet e paraméterek pontos meghatározásában. A következő fejezetben részletesen bemutatom a működését, a mérés menetét, valamint a kapott adatokat.

4. A méretezést segítő mérések (DKS- permeabiméter)

4.1. A DKS- permeabiméter bemutatása

A DKS- permeabiméter egy teszt cella (6. *ábra*), amely az anyagtranszport folyamatok, mint diffúzió, advekció és szorpció meghatározására szolgál. Az egyedi és innovatív kísérleti módszer lényege, hogy laboratóriumi méretekben meg lehessen határozni a talajminták transzport paramétereit.

A mérési cellát azzal a céllal fejlesztették ki a Ruhr Egyetem Talajmechanikai Tanszékén, hogy vizsgálják a hulladéklerakók ásványi szigetelő rendszerén át történő anyagtranszport folyamatokat.[8]

A reaktív gát transzportmodellezése során az anyagtranszport folyamatok megismerése szintén nélkülözhetetlen. Ebből adódóan jött az elképzelés, hogy a DKS-permeabiméter

segítségével a gát töltetanyagán, valamint a töltetanyag hordozóközegén keresztül különböző szennyező anyagoknak meg lehetne határozni a transzportfolyamatait.

A teszt cellát rövid időre kapta kölcsön a Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézete, azzal a konkrét célkitűzéssel, hogy megvizsgáljuk, hogy az eszköz használható-e reaktív gátak méretezésének laborvizsgálatai során. Ez az időtartam arra volt elegendő, hogy a berendezés működését megismerjem, valamint tesztméréseket végezhessenek. [8]



6. ábra DKS- permeabiméter

4.2. A DKS- permeabiméter részei és működése

A DKS- permeabiméter fő részei:

a. Alaplemez

Feladata a DKS-permeabiméter részeinek rögzítése. Alumíniumból készült lemez, amely 6 darab furatot tartalmaz. A furatokba helyezzük bele a hátlapfejű csavarokat, ezek adják a vizsgálati cella vázát. [8]

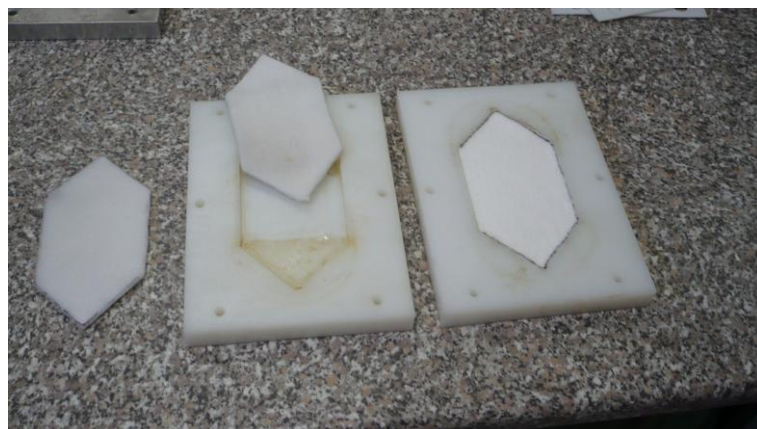


7. ábra Alaplemez

b. Alsó áramlási elem

Ez a rész az úgynevezett „tisztá” áramlási zóna. Elnevezése abból ered, hogy a mérés során ezen elemen keresztül történik a szennyeződést nem tartalmazó oldat átáramoltatása (desztillált víz). Műanyagból készült, így teljesíti azt az alapvető feltételt, hogy a vizsgálati cella egyetlen eleme sem befolyásolja a kémiai és fizikai reakciókat.

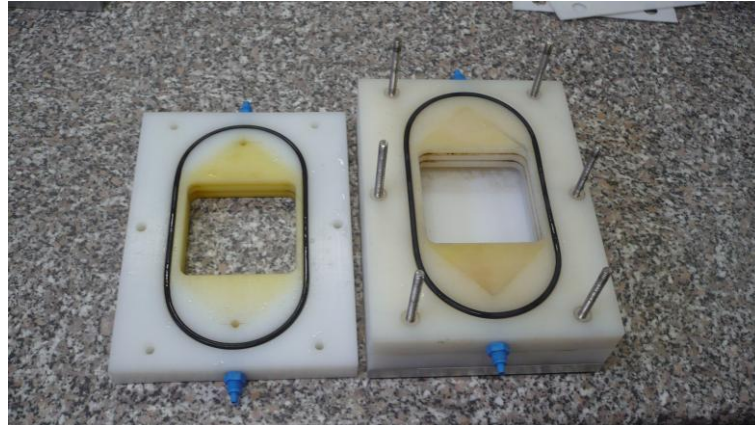
Az alsó áramlási elemben található egy szűrőlemez. Fő feladata az oldat egyenletes eloszlata, valamint megakadályozza az áramlás hatására a minta kimosódását, változtatva ezzel a töltetanyag struktúráját és az áramlás egyenletességét. [8]



8. ábra Alsó áramlási elem

c. Talajminta elem

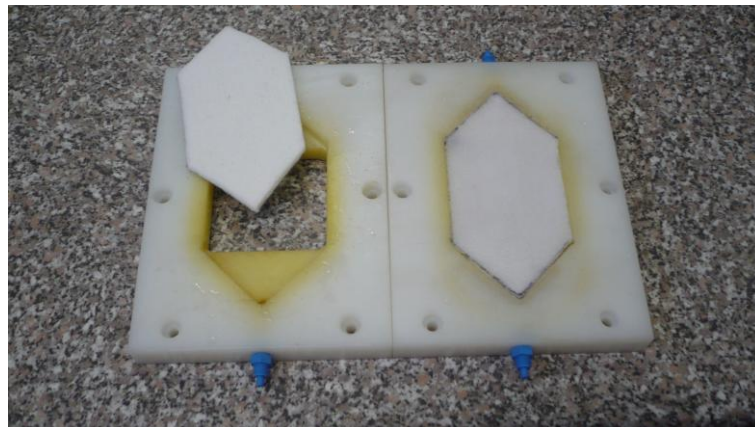
A talajminta elem, mint a nevében is benne van, a vizsgálni kívánt minta elhelyezésére szolgál. Kialakítását tekintve egy 80mm x 80mm x 20mm-es térfogatú kazetta. A mérések során ezen a térrészen belül valósul meg az alsó és felső áramlási lemez közötti kommunikáció. [8]



9. ábra Talajminta elem

d. Felső áramlási elem

Funkciója megegyezik az alsó áramlási elemével. Eltérés csupán annyi van, hogy a felső áramlási elemen keresztül történik a „szennyezett” oldat átáramoltatása. Szintén található ebben az elemben is egy szűrőlemez, amely ugyanazokat a feladatokat látja el akárcsak a fentebb már említett szűrőlemez. [8]

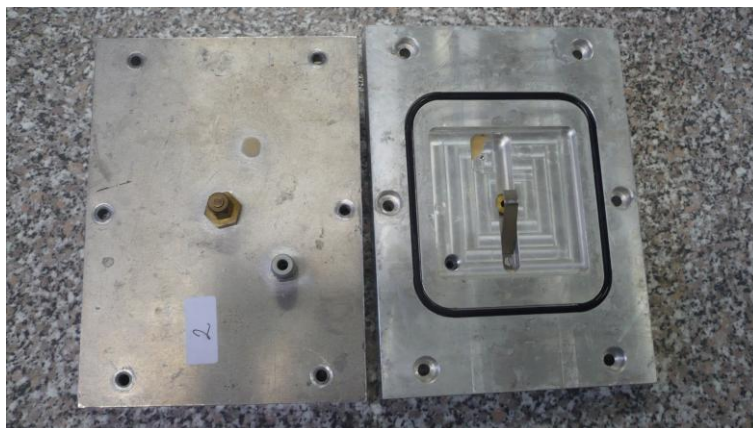


10. ábra Felső áramlási lemez

e. Nyomóelem

Rendeltetése a többi elem rögzítésének biztosítása, a DKS-permeabiméter légmentesen való zárhatósága. A nyomóelemen található továbbá egy szelep is, amin keresztül egy

kompresszor segítségével akár nyomásfokozást is előidézhethetünk a cellában, ha a mérés úgy kívánja. Az alaplemezhez hasonlóan ez is alumíniumból készült.



11. ábra Nyomóelem

A fő részekén kívül több kisebb, ám funkciójukat tekintve fontos kiegészítő elemek is tartoznak még:

- tömítőgyűrűk (légmentesség)
- szilikon csövek (oldatok szállítása)
- tömítő lemez (légmentesség)

A mérések egy nélkülözhetetlen eszköze még a perisztaltikus pumpa, amely a DKS-permeabiméterhez csatlakoztatva biztosítja az oldatok átáramoltatását a kísérleti cellán. A perisztaltikus pumpa működésének alapja a cső összenyomódásának és elernyedésének váltakozása, amely mozgás során a csőben lévő anyagot maga előtt tolva szállít. A finom rugalmas csövet papucsok préselik a rotorhoz. A rotációs mozgás során az anyagot csúszásmentesen állandó elmozdulással tolja keresztül a csövön, ami a perisztaltikus pumpát különösen alkalmassá teszi pontos adagolási alkalmazásokra. [9]



12. ábra Perisztaltikus pumpa

A perisztaltikus pumpa fordulatszáma (RPM)	A perisztaltikus pumpa hozama (cm ³ /s)	A perisztaltikus pumpa hozama (l/s)
20	0,15	$1,5 \cdot 10^{-4}$
15	0,11	$1,125 \cdot 10^{-4}$
10	0,075	$7,5 \cdot 10^{-5}$
5	0,0375	$3,75 \cdot 10^{-5}$
2,5	0,018	$1,8 \cdot 10^{-5}$

2. Táblázat A perisztaltikus pumpa hozamai

A DKS- permeabiméter működésének elve:

A kísérleti cella közepén található a vizsgálni kívánt minta. Alatta és felette található egy- egy áramlási elem, amelyekbe más- más koncentrációjú oldatokat vezetünk be. A felső áramlási elembe a „szennyezett” oldat (koncentrációja ismert), míg az alsó áramlási elembe pedig az úgynevezett kontroll oldat kerül bevezetésre, az esetek többségében ez desztillált víz.

Annak érdekében, hogy a kísérleti cellán az oldatok egyenletes áramlással haladjanak keresztül, a cellát egy perisztaltikus pumpához kell csatlakoztatni. Így nem csak az áramlások egyenletességét, hanem azok sebességét is lehet szabályozni. A mérés során tehát mindkét ágon ismert koncentrációjú oldat fog belépni a cellába folyamatosan. A kimenő ágakon tehát két mintavételi tartályra van szükség, hogy mérni tudjuk a DKS-permeabiméteren átáramlott oldatok koncentráció változását.

A kísérleti cella elhelyezéséből adódóan, vagyis a belépő ágak hidraulikus gradiens értékének megfelelően más transzport jelenségeket mérhetünk. Abban az esetben, ha a

hidraulikus gradiens ($i=0$) nulla, akkor a DKS- permeabiméter „tisztá” diffúzió mérésére alkalmas. Az oldott anyagok szállítását a talajmintán keresztül a diffúciónak köszönhetjük, amely a koncentráció különbségek miatt lép fel és mindaddig tart, míg kiegyensúlyozza a koncentrációkülönbségeket.

Ha a hidraulikus gradiens ($i > 0$) értéke nem nulla, akkor már nem csak diffúzió, hanem konvekció is fellép és a számításoknál ezt is figyelembe kell venni. [8]

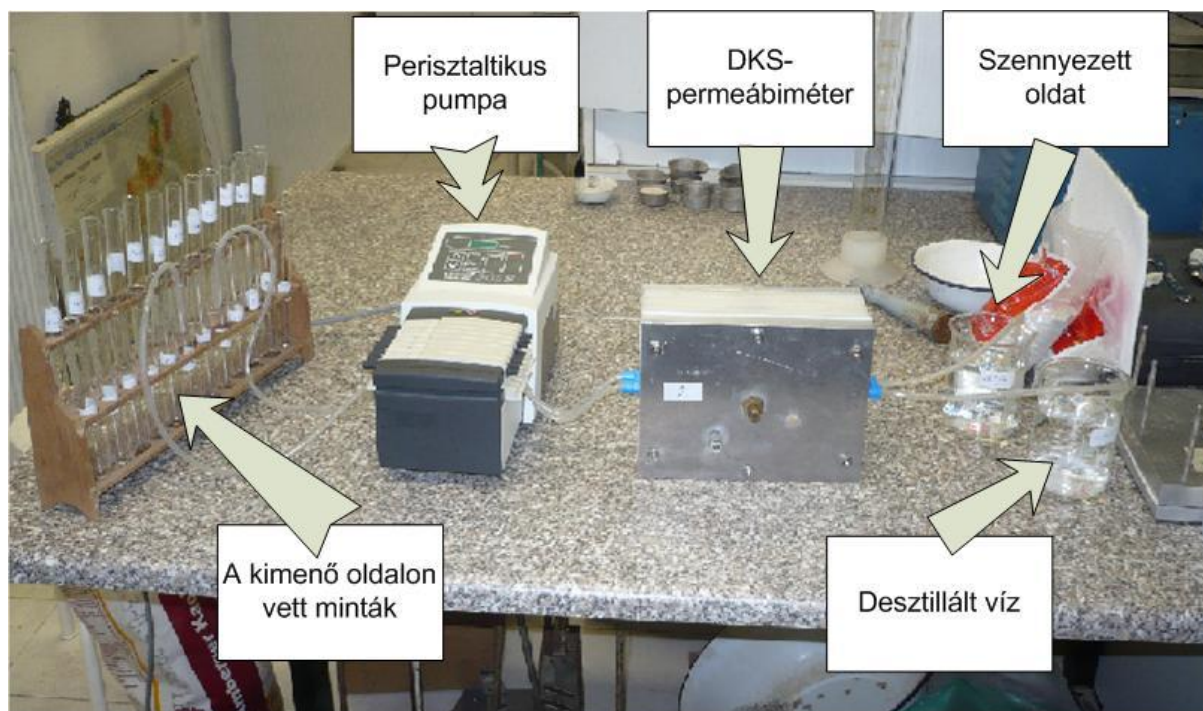
4.3. Diffúzió mérése DKS- permeabiméterrel

A reaktív gátak tervezésénél, mint már említettem a transzport folyamatok megismerése elengedhetetlen feladat. Hulladéklerakók aljzatszigetelő rendszerein sikeresen végeztek korábban a DKS-permeabiméter segítségével diffúziós méréseket. Ebből származott az ötlet, hogy tesztmérésekkel igazoljam, hogy a kísérleti cella alkalmas lehet az új típusú reaktív gát töltetanyagán diffúziós mérések elvégzésére.

A méréseket különböző szemcseméretű ligniteken valamint ezek homokkal kevert különböző súlyarányú keverékein terveztem elvégezni.

A DKS-permeabiméter működésének megismerése, valamint tesztmérések elvégzése során nyilvánvalóvá vált, hogy a perisztaltikus pumpa alacsony fordulatszáma mellett végezhetőek eredményesen. Az is világossá vált, hogy a vizsgálatokat elsőre csak tiszta homok tölteteken kell elvégezni, mert így később ezek az értékek referenciaként fognak szolgálni a lignit- homok keverékek estében.

Mivel a célom a „tisztá” diffúzió meghatározása volt, ezért a berendezést úgy kellett elhelyeznem, hogy a hidraulikus gradiens értéke nulla legyen a belépő ágak között.



13. ábra A DKS- permeabiméter elhelyezése diffúzió mérése során

Az elvégzett mérések:

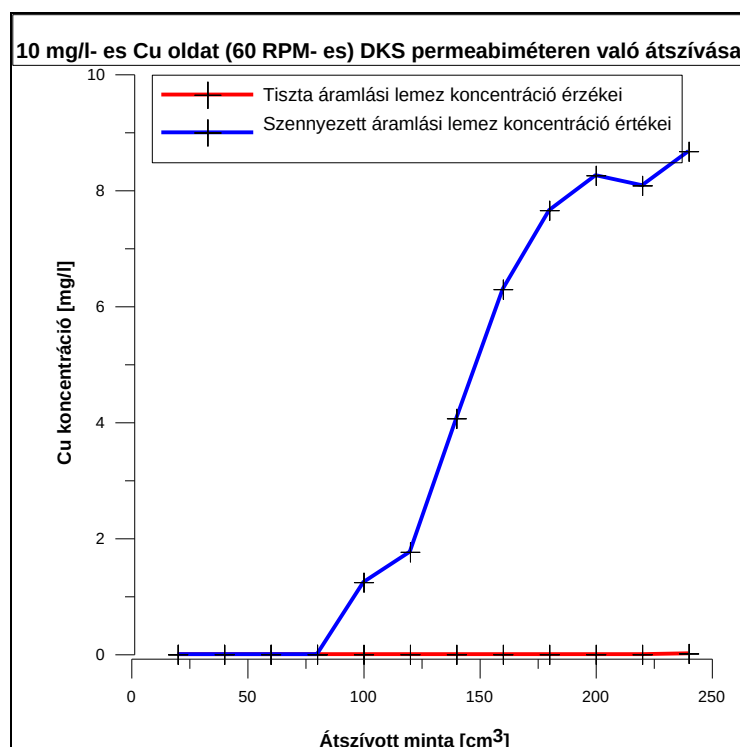
1. mérés

Az első mérés során 10mg/l- es Cu-oldatot szívtam át 60 RPM- es fordulatszám mellett a permeabiméteren. A vizsgált minta tiszta homok (0,3-0,9 mm) volt. Mindkét kilépő ágon 20cm^3 - en ként vettem mintát, melyek réz koncentrációját spektrofotométer segítségével mértem.

Fontos megjegyezni, hogy a mérés megkezdése előtt mindkét ágon desztillált vizet szívtam keresztül, míg a rendszer teljesen légmentessé nem vált és mind a belépő, mind a kilépő áramok hozama ki nem egyenlítődt. A kísérleti cella üzembe helyezése során ugyanis rengeteg gondot okozott, hogy a minta pórusaiban lévő levegő, míg nem távozott a rendszerből, addig az áramok nem egyenlítődt ki. Ezt csak úgy lehetett elkerülni, ha a mintatestet teljesen vízzel telítettem.

Az ábrán is jól látszik, hogy a perisztaltikus pumpa elindítása után a szennyezett ágon az első 80cm^3 átszívása esetén a Cu-koncentráció zérus. Ennek oka, hogy az első 4 mintánál még a DKS-permeabiméterben maradt desztillált vizet szívta csak át. A további mérési pontokban jól látszik a réz koncentráció folyamatos növekedése, viszont a törzsoldat koncentrációját a mérés során nem éri el (10mg/l). Tehát nem elegendő 240cm^3

minta átszívása a törzsoldat koncentrációjának eléréséhez az áramlási elemben. Valamint az is látszik, hogy a tiszta ágon sem jelent meg a réz oldat.



14. ábra 1. diffúzió mérés eredményei

2. mérés

A vizsgálat során 520cm^3 10mg/l-es Cu-oldatot szívtam át a DKS-permeabiméter egyik áramlási ágán (a másik ágon ugyanilyen mennyiségű desztillált vizet). A minta akárcsak az előző mérés során tiszta homok volt (0,3-0,9 mm). A perisztaltikus pumpa fordulatszámát 2,5 RPM-re csökkentettem

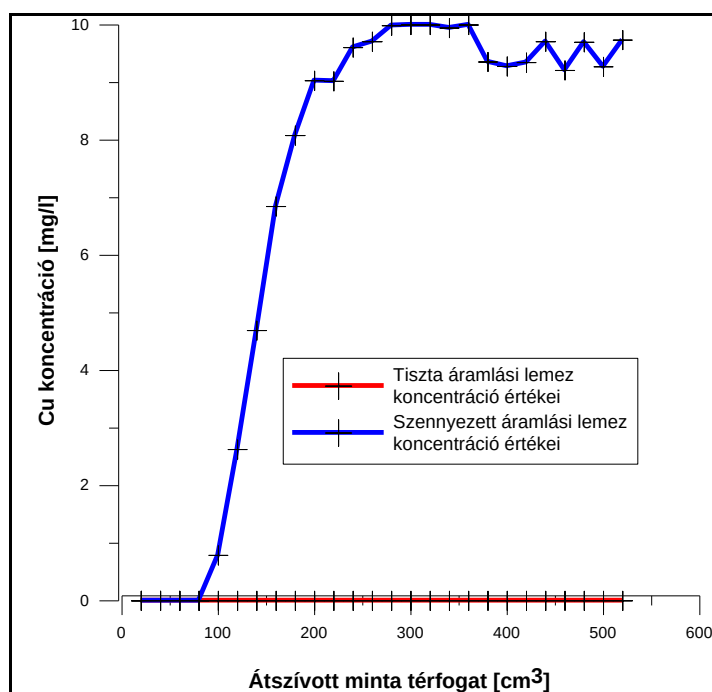
Ennél a mérésnél is fokozatosan növekedett a „szennyezett” ágon a Cu-koncentráció és el is érte a törzsoldatnak megfelelő értéket. A „tiszta” ágon ismételtelen nem jelent meg a réz, viszont 360cm^3 átszívása után a szennyezett ágon a réz koncentráció ismételtelen csökkeni kezdett. Ez több kérdést is felvetett:

- A diffúzió hatására történt-e a koncentráció csökkenés?
- Valamilyen műszaki probléma okozhatja-e a koncentrációcsökkenést?

A mérések ezen fázisában ezekre a kérdésekre még nem kaptam választ, továbbá többször előfordult, hogy a mérések nem voltak reprodukálhatóak, a folyamatosan

felmerülő műszaki problémák miatt. Legtöbbször az áramok kiegyenlítetlensége okozta a fő problémát.

Annak érdekében, hogy ezeket a problémákat kiküszöböljem, valamint a diffúzió kialakulásához több időt biztosítsak, egy új mérési eljárást próbáltam meg alkalmazni. Az új mérések annyiban eltérőek az előzőektől, hogy magasabb hozammal mindkét áramlási ágon addig szívattam át az oldatokat, míg azok a kellő koncentrációt el nem érték. Ezután a perisztaltikus pumpát leállítottam és adott időig az áramlásokat megszüntetve hagytam a rendszert. Majd bizonyos idő után mintát vettem mindkét ágból.



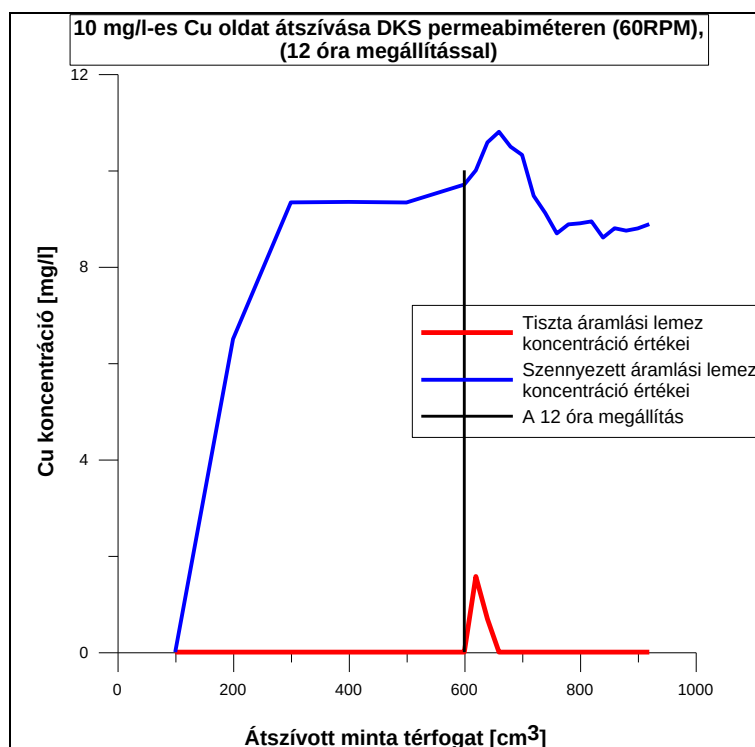
15. ábra 2. diffúzió mérés eredményei

3. mérés

Az első eredményes mérés 12 órás megállítás után volt tapasztalható. A szennyezett ág koncentrációja 10mg/l-es rézoldat volt. A mintavételt 60 RPM-es fordulatszámnál vettem. Jól látható, hogy a perisztaltikus pumpa újraindítása után a „tisztá” ágon vett mintában megjelenik a réz, míg a „szennyezett” ágon a Cu-koncentrációja csökkent.

Tehát a mérési módszer így már sikeresnek bizonyult, mindaddig, míg a további minták koncentráció értékeit meg nem ismertem. A „tisztá” ágon a további minták vétele során a réz koncentrációja ismételten zérus lett, viszont a „szennyezett ágon várt Cu-koncentráció

növekedése nem következett be, sőt folyamatosan csökkenni kezdett. Ez többszöri ismételt mérések során sem változott.



16. ábra 3. diffúzió mérés eredményei

A műszaki problémák lehetőségének kizárása után más szempontokat vettem figyelembe és a következő megállapításra jutottam. A hulladéklerakók aljzatszigetelő rendszerének vizsgálata során vízzáró, kötött anyagokat vizsgáltak, míg én jó vízvezető képességű szemcsés anyagokat. A legnagyobb problémát rendszerint a mintavétel során a „szennyezett” ágon történő oldathígulások okozták. Ennek oka, mint kiderült nem más, minthogy a perisztaltikus pumpa újraindításakor nem csupán az adott áramlási elemben lévő oldatot, hanem a minta pórusaiban lévő oldatot is megszívta. Az így fellépő hígulás a „szennyezett” ágon, vagy egyes esetekben a „tisztá” ágon megjelenő, nem várt szennyezőanyag koncentráció megjelenés, mind- mind arra a következtetésre vezetett, hogy a DKS-permeabiméter a diffúzió mérése nem alkalmas.

4.4. Adszorpció mérése DKS- permeabiméterrel

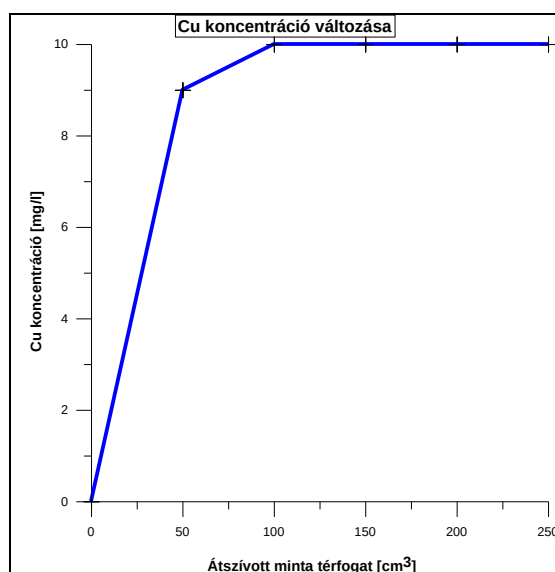
Miután a DKS-permeabiméterrel történő diffúziós mérések nem vezettek eredményre, megvizsgáltam, hogy kihasználva a kísérleti cella előnyeit, miként lehetne az új típusú reaktív gát méretezését segítő mérések szolgálatába állítani.

Végül arra a megállapításra jutottam, hogy kisebb átalakításokkal a DKS-permeabimétert fel lehet használni adszorpció mérésére, ha a bemenő ágakon lezárjuk az alsó áramlási lemez bemenetét, valamint a kimenő oldalon lezárjuk a felső áramlási lemez kimenetét. Így csatlakoztatva a perisztaltikus pumpához a kimeneti ágat az oldat áramlása a mintán vertikálisan fog átáramolni, egy úgynevezett oszlopkísérletet hozva ez által létre. Az alábbi mérési eredmények még csak teszt jellegűek, amelyek bizonyítják a DKS-permeabiméter alkalmazhatóságát az adszorpció mérésére.

A mérési eredmények:

1.mérés

Az első mérés során homokot helyeztem a kísérleti cellába, majd 10mg/l-es Cu-oldatot szívattam át rajta 20 RPM-es perisztaltikus pumpa fordulatszám mellett. Az átszívott minta térfogata 250cm^3 volt, a kimenő oldalon 50cm^3 -es mintákat vettem.

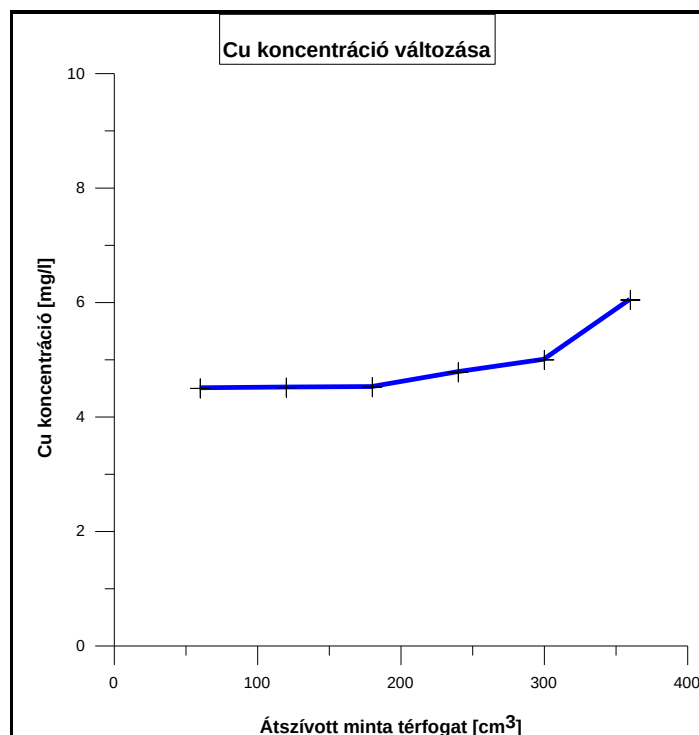


17. ábra 1. adszorpciós mérés eredményei

A diagramon jól látható, hogy az oldat koncentrációja megegyezik a törzsoldatével és a homokban semmilyen olyan anyag nem található, amely megkötné a rezet.

2.mérés

A mérés során lignit (5%) - homok (95%) keveréket (súlyszázalék megoszlásban) helyeztem a kísérleti cellába, majd 10mg/l-es Cu-oldatot szívattam át rajta 20 RPM-es perisztaltikus pumpa fordulatszám mellett. Az átszívott minta térfogata 360cm^3 volt, a kimenő oldalon 60cm^3 -es mintákat vettem.



18. ábra 2. adszorpciós mérés eredményei

Az első lignit- homok keveréken végzett adszorpciós mérés azt mutatta, hogy az adott fordulatszám mellett a töltetanyag a vizsgálat során több mint 50%-os hatékonysággal működik.

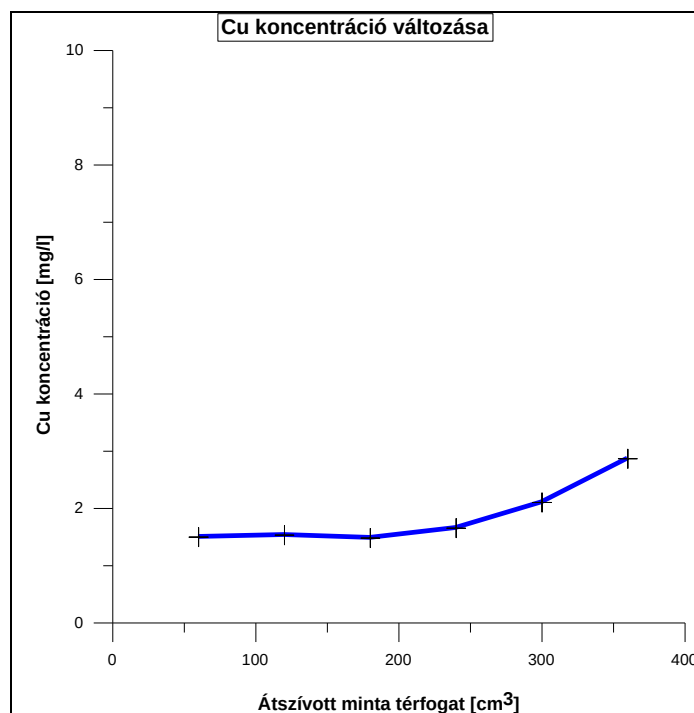
A továbbiakban ezért nem is változtattam a keverési arányokon, hanem a kontaktidőt növelve vizsgáltam, hogy az adott töltetanyag adszorpciós kapacitása mennyire változik.

3. mérés

A mérés során lignit (5%) - homok (95%) keveréket (súlyszázalék megoszlásban) helyeztem a kísérleti cellába, majd 10mg/l-es Cu-oldatot szívattam át rajta 10 RPM-es

perisztaltikus pumpa fordulatszám mellett. Az átszívott minta térfogata 360cm^3 volt, a kimenő oldalon 60cm^3 -es mintákat vettem.

Az előző méréshez képest, itt a perisztaltikus pumpa fordulatszáma már csak fele akkora volt, ezáltal a kontaktidő a duplájára emelkedett. A kontaktidő emelkedésével az adszorpciós kapacitás is duplázódott.

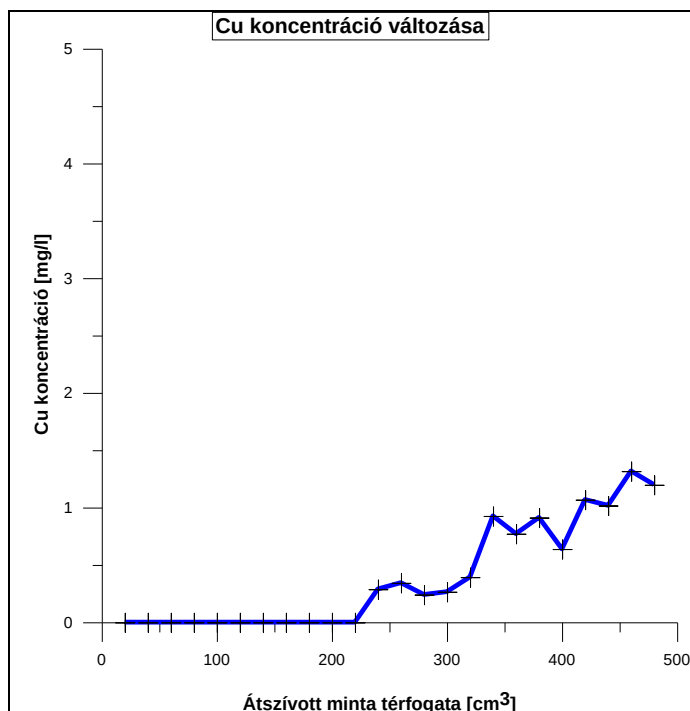


19. ábra 3. adszorpciós mérés eredményei

4. mérés

A mérés során lignit (5%) - homok (95%) keveréket (súlyszázalék megoszlásban) helyeztem a kísérleti cellába, majd 10mg/l -es Cu-oldatot szívattam át rajta 5 RPM-es perisztaltikus pumpa fordulatszám mellett. Az átszívott minta térfogata 480cm^3 volt, a kimenő oldalon 20cm^3 -es mintákat vettem.

Ennél a fordulatszámnál már a kontaktidő olyan nagy volt, hogy a töltetanyag az első 200cm^3 átszívott mintát teljesen megtisztította. Később elkezd lassan kimerülni, de még így is több mint 75%-os hatásfokkal képes volt megkötni a 480cm^3 térfogatú minta 10mg/l -es Cu-koncentrációját.



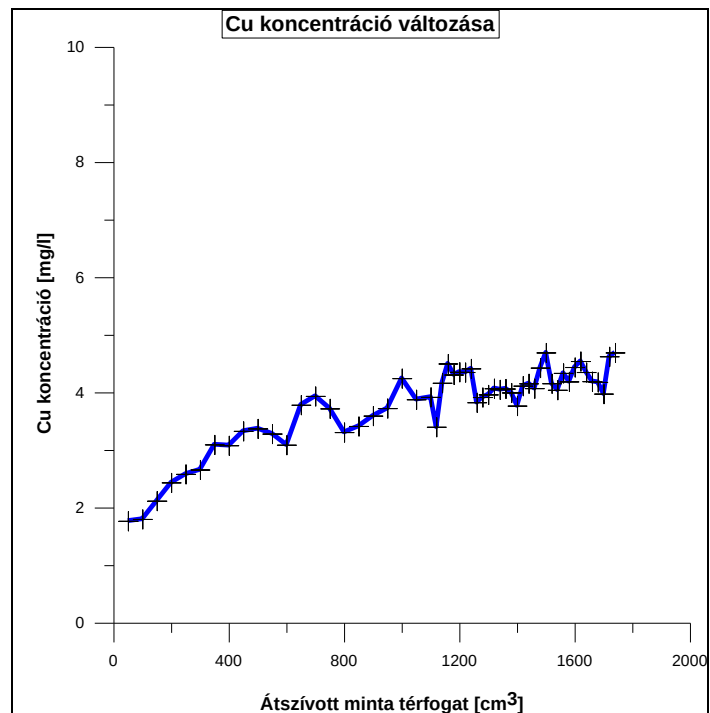
20. ábra 4. adszorpciós mérés eredményei

5. mérés

Az előző mérések igazolják, hogy a lignit mennyire jó adszorpciós képességekkel rendelkezik kis térfogatú oldatok átáramoltatásakor. Annak érdekében, hogy megvizsgáljam mennyi ideig képes az adott töltetanyag erre az adszorpciós kapacitásra, nagyobb térfogatú oldatokat áramoltattam át rajta.

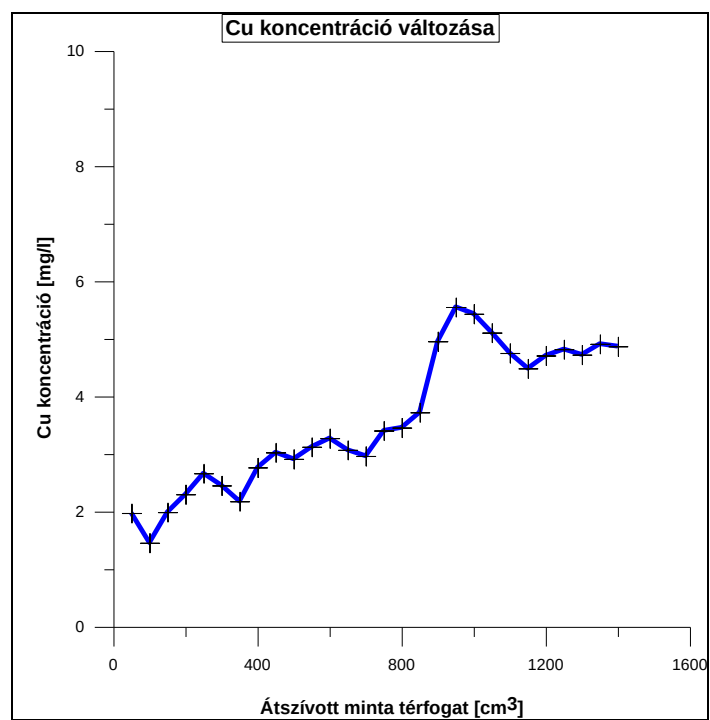
A mérés során lignit (5%) - homok (95%) keveréket (súlyszázalék megoszlásban) helyeztem a kísérleti cellába, majd 10mg/l-es Cu-oldatot szívtam át rajta 20 RPM-es perisztaltikus pumpa fordulatszám mellett. Az átszívott minta térfogata 1740cm³ volt, a kimenő oldalon 20cm³-es mintákat vettem.

A kapott eredmények még mindig azt igazolták, hogy az adott hozam mellett, a lignit 50%-át legalább megköti, fokozatosan látszik a töltet kimerülése, de meg sem közelíti a törzsoldat koncentrációját (10mg/l).



21. ábra 5. adszorpciós mérés eredményei

6. mérés

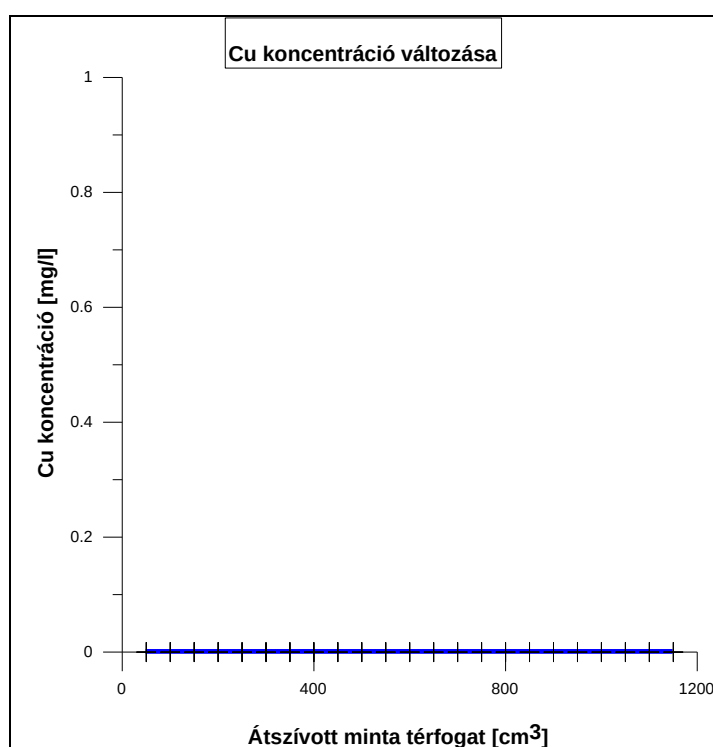


22. ábra 6. adszorpciós mérés eredményei

A kimerülési időt megvizsgáltam az előző méréshez hasonlóan alacsonyabb hozam esetén is. A mérés során lignit (5%) - homok (95%) keveréket (súlyszázalék megoszlásban) helyeztem a kísérleti cellába, majd 10mg/l-es Cu-oldatot szívattam át rajta 5 RPM-es perisztaltikus pumpa fordulatszám mellett. Az átszívott minta térfogata 1400cm^3 volt, a kimenő oldalon 50cm^3 -es mintákat vettem.

A töltet az alacsonyabb hozam mellett, de körülbelül ugyanolyan nagyságrendű oldat átáramoltatásakor hamarabb kezd kimerülni, mint nagyobb fordulatszám esetén, viszont a kezdeti adszorpciós kapacitása is nagyobb (nagyobb szennyezőanyag terhelést vesz fel).

7. mérés



23. ábra 7. adszorpciós mérés eredményei

A mérés során lignit (5%) - homok (95%) keveréket (súlyszázalék megoszlásban) helyeztem a kísérleti cellába, majd 5 mg/l-es Cu-oldatot szívattam át rajta 5 RPM-es perisztaltikus pumpa fordulatszám mellett. Az átszívott minta térfogata 1150cm^3 volt, a kimenő oldalon 50cm^3 -es mintákat vettem.

Az 5mg/l-es Cu-oldat 5 RPM-es fordulatszámnál történő átszívásakor a kilépő oldalon nem volt mérhető a Cu-koncentráció. Ez a mérés tovább igazolta, hogy a kontaktidő és az oldat töménysége között lineáris összefüggés fedezhető fel.

A mérési eredményekből levont következtetések:

- A tesztmérések igazolták, hogy a DKS-permeabiméter a gát töltetanyagán történő diffúziós mérésekre jelen kialakítás mellett nem alkalmas.
- A kísérleti cella apróbb módosításokkal jól alkalmazható adszorpciós kapacitás meghatározására.
- A reaktív gát töltetanyagán átáramló szennyezőanyag megkötődése különböző áramlási sebességeknél jól modellezhető.
- A mért értékek egy anyagmérleg becslésre is alkalmasak egy tervezendő gát esetében, amennyiben ismerjük a szennyeződés terhelését adott keresztmetszetre.
- A különböző keverési arányok és szennyezőanyag hozamok mellett végzett kísérletekből egy jól használható adatbázis létrehozása megkönnyítené az új típusú reaktív gát méretezését.
- További mérések szükségesek, melyek a töltetanyag pontos kimerülési idejét is meghatározzák egyes koncentrációk és hozamok mellett.

5. A méretezést segítő mérések fejlesztésére tett javaslatok, távlati célok

1. A DKS-permeabimetert célszerű lenne nagyobb méretekben is legyártatni, ezáltal nagyobb mintatesteken is elvégezhetőek lennének az adszorpciós vizsgálatok.
2. Az adszorpciós méréseket más nehézfém tartalmú oldatokon is el kell végezni. Valamint több komponenst tartalmazó nehézfémoldatokra is ki kell terjeszteni a vizsgálatokat.
3. Különböző pH beállítások mellett vizsgálni a nehézfém-szennyeződések megkötődését a tesztcellában.
4. A korábban végzett gátméretezést segítő mérések és a DKS-permeabiméterrel végzett mérések szinkronizálása.
5. A reaktív gát töltetanyagán a diffúziós mérések problémájának megoldása.
6. A méréseket összefoglaló adatbázis létrehozása.

6. Összefoglalás

A TDK dolgozat elkészítése során bemutattam az új típusú reaktív gát fejlesztésének indokoltságát és előnyeit. A kutatásból a rendelkezésemre álló adatok alapján, valamint a PRB- ékről szerzett ismereteim alapján elkészítettem a gát tervezésének folyamatábráját.

Az így készült méretezési protokoll négy lépcsőben veszi figyelembe azokat a paramétereket, amiket a tervezés során figyelembe kell venni. A könnyebb értelmezhetőség érdekében a paraméteres méretezési protokoll további 3 részre osztottam és lépésenként leírtam, hogy a gáttervezés adott szakaszában milyen feladatokat kell elvégezni, milyen problémák merülhetnek fel és milyen kiegészítő, mérések szükségesek.

A dolgozat második részében egy új innovatív mérési eljárást teszteltem, aminek célja a szennyezőanyagok transzportparamétereinek meghatározása volt. A DKS-permeabiméterrel elsősorban a gát töltetanyagán történő diffúziót szerettem volna mérni, ám a felmerülő problémák arra a következtetésre vezettek, hogy az adott konstrukció nem alkalmazható az adott mérésekre.

Miután a diffúziós mérések nem vezettek eredményre, további vizsgálatokkal megállapítottam, hogy kihasználva a kísérleti cella előnyeit a DKS-permeabiméter kisebb átalakításokkal jól alkalmazható a töltetanyag adszorpciós kapacitásának meghatározására és a különböző szennyező áramok mellett a reaktív gát modellezésére.

A jövőbeli célom, tovább folytatni a DKS-permeabiméterrel végzett adszorpciós vizsgálatokat, olyan megoldásokat eszközölni a tesztcellán, amelyek még jobban modellezik a reaktív gát működését. Továbbá olyan mérési technológiát kidolgozni, aminek segítségével a reaktív töltetanyagon a diffúzió mérése is megoldható.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton ragadnám meg az alkalmat, hogy köszönetet mondjak mindazoknak, akik szakmai felkészültségükkel, és segítőkészségükkel hozzájárultak a dolgozatom elkészüléséhez.

Hálás vagyok Dr. Madarász Tamás témavezetőmnek, hogy idejét nem sajnálva lehetőséget biztosított munkám sikeres elvégzéséhez és a dolgozatom megírásához. Köszönöm segítőkész támogatását a dolgozatom alapos és kritikus átnézéséért, gondolataim helyes út felé való tereléséért.

Külön meg szeretném köszönni a segítségét Tóth Mártonnak, hogy segédkezett a laboratóriumi mérések végrehajtásában, illetve kérdéseimmel, bizalommal fordulhattam hozzá.

A diplomamunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként - az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében - az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Filep Gy.- Kovács B.- Lakatos J.- Madrász T.- Szabó I. (2002) Szennyezett területek kármentesítése (Miskolci Egyetemi kiadó 2002)
- [2] Geomechanics Kutató, Fejlesztő, Szolgáltató és Tanácsadó Betéti Társaság (2007) Passzív kezelések: reaktív falak
http://www.mokkka.hu/db1/get_pic.php?db_type=mysql&table=elolap&col=rec_id&id=163&pic=pict (2011.03.17.)
- [3] Tóth Renáta (2008) Újszerű reaktív falak alkalmazása és komplex vizsgálata szennyezett talajvizek kármentesítésében (TDK dolgozat 2008)
- [4] Lakatos J.- Gombkötő I.- Csőke B.- Zákányi B.- Szűcs P.- Madarász T.- Böhm J. (2009) Új generációs reaktív falak fejlesztése talajvíz szennyezések kármentesítésére (Munkaterv)
- [5]] Lakatos J.- Gombkötő I.- Csőke B.- Zákányi B.- Szűcs P.- Madarász T.- Böhm J. (2009) Új generációs reaktív falak fejlesztése talajvíz szennyezések kármentesítésére (I. Szakmai beszámoló az INNO_08_EM-INNO-PRB projekt keretében végzett kutatási munkákról)
- [6]] Lakatos J.- Gombkötő I.- Csőke B.- Zákányi B.- Szűcs P.- Madarász T.- Böhm J. (2010) Új generációs reaktív falak fejlesztése talajvíz szennyezések kármentesítésére (II. Szakmai beszámoló az INNO_08_EM-INNO-PRB projekt keretében végzett kutatási munkákról)
- [7] Lakatos J.- Gombkötő I.- Csőke B.- Zákányi B.- Szűcs P.- Madarász T.- Böhm J. (2011) Új generációs reaktív falak fejlesztése talajvíz szennyezések kármentesítésére (III. Szakmai beszámoló az INNO_08_EM-INNO-PRB projekt keretében végzett kutatási munkákról)
- [8] Anita Koll (2011) Anwendug von DKS- Permeameteren zur Untersuchung von chromkontaminiertem Boden (Masterarbeit, Leoben, Juni 2011)

[9]

http://www.verder.hu/Szivatty%C3%BAk/T%C3%B6ml%C5%91szivatty%C3%BAk/M%C5%B1k%C3%B6d%C3%A9si_elv_Verderflex (2012.11.04.)

Ábrajegyzék

1. ábra A gáttervezés folyamata	4
2. ábra A paraméteres méretezési protokoll folyamatábrája	9
3. ábra Környezetbe illesztés.....	10
4. ábra A kémiai kompatibilitás paraméteres meghatározása.....	12
5. ábra A töltet cseréjének, a gát modulok számának meghatározása	15
6. ábra DKS- permeabiméter	18
7. ábra Alaplemez	19
8. ábra Alsó áramlási elem	19
9. ábra Talajminta elem	20
10. ábra Felső áramlási lemez.....	20
11. ábra Nyomóelem.....	21
12. ábra Perisztaltikus pumpa.....	22
13. ábra A DKS- permeabiméter elhelyezése diffúzió mérése során	24
14. ábra 1. diffúzió mérés eredményei	25
15. ábra 2. diffúzió mérés eredményei	26
16. ábra 3. diffúzió mérés eredményei	27
17. ábra 1. adszorpciós mérés eredményei	28
18. ábra 2. adszorpciós mérés eredményei	29
19. ábra 3. adszorpciós mérés eredményei	30
20. ábra 4. adszorpciós mérés eredményei	31
21. ábra 5. adszorpciós mérés eredményei	32
22. ábra 6. adszorpciós mérés eredményei	32
23. ábra 7. adszorpciós mérés eredményei	33

Táblázatjegyzék

1. Táblázat Előzetes ellenőrző lista	6
2. Táblázat A perisztaltikus pumpa hozamai.....	22

Mellékletek jegyzéke

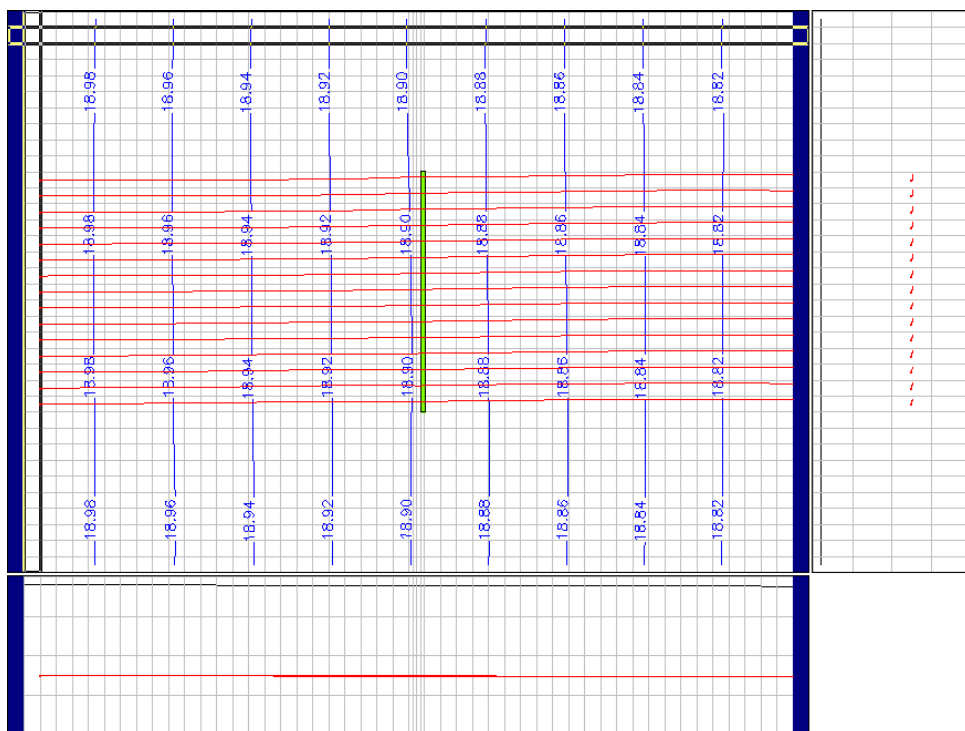
1. melléklet Szivárgási tartományok összesítése [6]	41
2. melléklet A modellgát működése 100%- os befogási határfok mellett [6]	42
3. melléklet A modellgát működése nem 100%-os határfok mellett [6].....	42
4. melléklet A befogási határfok változása a gát és a környezet szivárgási tényezőjének függvényében [6]	43
5. melléklet Az 1. adszorpciós mérés eredménye.....	43
6. melléklet Az 2. adszorpciós mérés eredményei.....	43
7. melléklet A 3. adszorpciós mérés eredményei	44
8. melléklet A 4. adszorpciós mérés eredményei	44
9. melléklet Az 5. adszorpciós mérés eredményei.....	44
10. melléklet A 6. adszorpciós mérés eredményei	45
11. melléklet A 7. adszorpciós mérés eredményei	46
12. melléklet A 8. adszorpciós mérés eredményei	47

Mellékletek

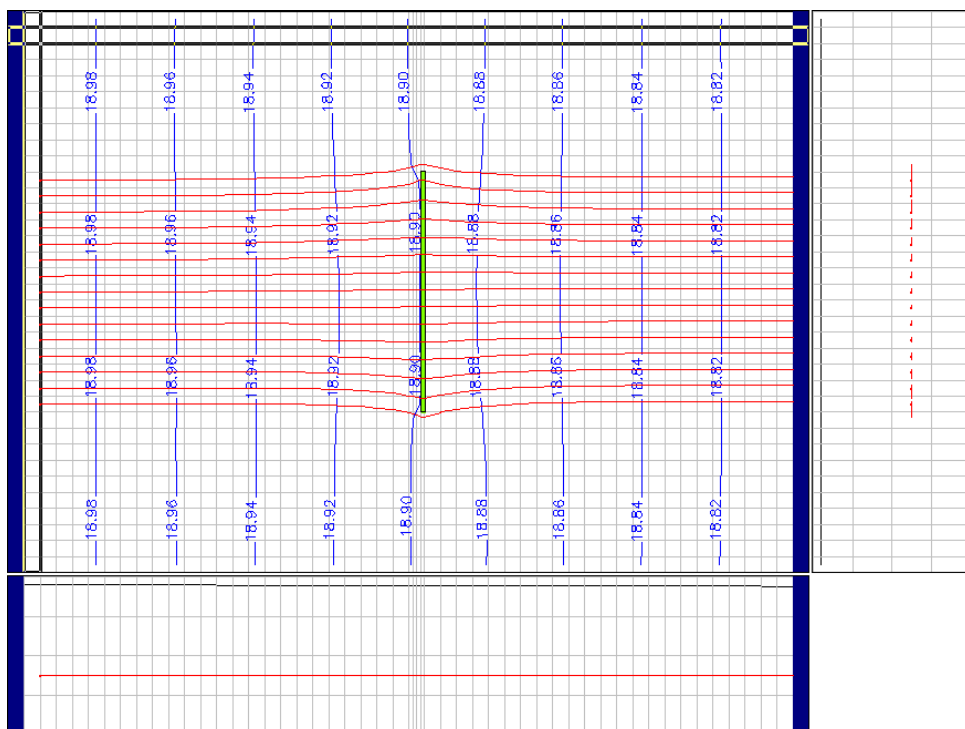
1. melléklet Szivárgási tartományok összesítése [6]

Szivárgási tényező (k) [m/s]		Lignit-0,1-es homok keverési arányok			
		90%:10%	50%:50%	30%:70%	10%:90%
Lignit minták szemcsemérete (d)	1-3 mm	2,11E-04	8,08E-05	6,25E-05	5,44E-05
	0,5-1 mm	1,40E-04	1,35E-04	1,27E-04	1,08E-04
	0,25-0,5 mm	4,79E-05	5,32E-05	5,54E-05	5,83E-05
	0-0,25 mm	3,60E-06	4,55E-06	7,71E-06	9,05E-06
Szivárgási tényező (k) [m/s]		Lignit-aszódi homokliszt keverési arányok			
		90%:10%	50%:50%	30%:70%	10%:90%
Lignit minták szemcsemérete (d)	1-3 mm	9,40E-05	2,50E-06	1,29E-06	6,21E-07
	0,5-1 mm	2,20E-05	1,57E-06	1,24E-06	7,43E-07
	0,25-0,5 mm	6,50E-06	2,00E-06	1,59E-06	8,19E-07
	0-0,25 mm	3,40E-06	1,27E-06	8,00E-07	6,66E-07

2. melléklet A modellgát működése 100%- os befogási hatásfok mellett [6]



3. melléklet A modellgát működése nem 100%-os hatásfok mellett [6]



4. melléklet A befogási hatások változása a gát és a környezet szivárgási tényezőjének függvényében
[6]

η (%)		1,5 m széles teljes gát, szivárgási tényezői (k_{PRB} [m/s])							
		$5 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}	$5 \cdot 10^{-4}$	10^{-4}	$5 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}	$5 \cdot 10^{-6}$	10^{-6}
Közeg, szivárgási tényezője (k_h [m/s])	10^{-3}	100	100	93	73	46	20	6	6
	10^{-4}	100	100	100	100	93	73	46	20
	10^{-5}	100	100	100	100	100	100	93	73
	10^{-6}	100	100	100	100	100	100	100	100

5. melléklet Az 1. adszorpciós mérés eredménye

Minta sorszáma	Minta térfogata (cm^3)	A minta koncentrációja (mg/l)	A törzsoldat koncentrációja (mg/l)
1	50	9	10
2	50	10	10
3	50	10	10
4	50	10	10
5	50	10	10

6. melléklet Az 2. adszorpciós mérés eredményei

Minta sorszáma	Minta térfogata (cm^3)	A minta koncentrációja (mg/l)	A törzsoldat koncentrációja (mg/l)
1	60	4,5	10
2	60	4,513	10
3	60	4,522	10
4	60	4,782	10
5	60	4,999	10
6	60	6,045	10

7. melléklet A 3. adszorpciós mérés eredményei

A minta sorszáma	A minta térfogata (cm ³)	A minta koncentrációja (mg/l)	A törzsoldat koncentrációja (mg/l)
1	60	1,5	10
2	60	1,534	10
3	60	1,483	10
4	60	1,656	10
5	60	2,105	10
6	60	2,869	10

8. melléklet A 4. adszorpciós mérés eredményei

Minta sorszáma	Minta térfogata (cm ³)	Minta koncentrációja (mg/l)	A törzsoldat koncentrációja (mg/l)
1	60	2,179	10
2	60	2,545	10
3	60	2,527	10
4	60	3,002	10
5	60	2,859	10
6	60	2,942	10

9. melléklet Az 5. adszorpciós mérés eredményei

Minta sorszáma	Minta térfogata (cm ³)	Minta koncentrációja (mg/l)	A törzsoldat koncentrációja (mg/l)
1	20	0	10
2	20	0	10
3	20	0	10
4	20	0	10
5	20	0	10
6	20	0	10
7	20	0	10
8	20	0	10
9	20	0	10
10	20	0	10
11	20	0	10
12	20	0,289	10
13	20	0,344	10
14	20	0,241	10
15	20	0,266	10
16	20	0,394	10
17	20	0,927	10
18	20	0,772	10
19	20	0,913	10
20	20	0,639	10
21	20	1,069	10
22	20	1,018	10
23	20	1,318	10
24	20	1,199	10

10. melléklet A 6. adszorpció mérés eredményei

Minta sorszáma	Minta térfogata (cm ³)	A minta koncentrációja (mg/l)	Törzsoldat koncentrációja (mg/l)
1	50	1,77	10
2	50	1,803	10
3	50	2,12	10
4	50	2,437	10
5	50	2,585	10
6	50	2,661	10
7	50	3,097	10
8	50	3,082	10
9	50	3,332	10
10	50	3,375	10
11	50	3,285	10
12	50	3,092	10
13	50	3,786	10
14	50	3,939	10
15	50	3,723	10
16	50	3,311	10
17	50	3,417	10
18	50	3,597	10
19	50	3,728	10
20	50	4,248	10
21	50	3,881	10
22	50	3,923	10
23	20	3,404	10
24	20	4,168	10
25	20	4,502	10
26	20	4,311	10
27	20	4,358	10
28	20	4,354	10
29	20	4,417	10
30	20	3,829	10
31	20	3,92	10
32	20	3,965	10
33	20	4,073	10
34	20	4,054	10
35	20	4,068	10
36	20	3,999	10
37	20	3,771	10
38	20	4,117	10
39	20	4,158	10
40	20	4,074	10
41	20	4,431	10
42	20	4,694	10
43	20	4,159	10
44	20	4,046	10

Új típusú reaktív gátek méretezése, a méretezést segítő mérések

45	20	4,339	10
46	20	4,191	10
47	20	4,441	10
48	20	4,545	10
49	20	4,354	10
50	20	4,195	10
51	20	4,182	10
52	20	3,979	10
53	20	4,627	10
54	20	4,694	10

11. melléklet A 7. adszorpciós mérés eredményei

Minta sorszáma	Minta térfogata (cm ³)	A minta koncentrációja (mg/l)	Törzsoldat koncentrációja (mg/l)
1	50	1,977	10
2	50	1,461	10
3	50	1,993	10
4	50	2,303	10
5	50	2,667	10
6	50	2,456	10
7	50	2,181	10
8	50	2,769	10
9	50	3,03	10
10	50	2,917	10
11	50	3,127	10
12	50	3,277	10
13	50	3,074	10
14	50	2,968	10
15	50	3,41	10
16	50	3,461	10
17	50	3,726	10
18	50	4,96	10
19	50	5,555	10
20	50	5,438	10
21	50	5,11	10
22	50	4,756	10
23	50	4,489	10
24	50	4,713	10
25	50	4,822	10
26	50	4,728	10
27	50	4,915	10
28	50	4,872	10

12. melléklet A 8. adszorpciós mérés eredményei

Minta sorszáma	Minta térfogata (cm ³)	A minta koncentrációja (mg/l)	Törzsoldat koncentrációja (mg/l)
1	50	0	10
2	50	0	10
3	50	0	10
4	50	0	10
5	50	0	10
6	50	0	10
7	50	0	10
8	50	0	10
9	50	0	10
10	50	0	10
11	50	0	10
12	50	0	10
13	50	0	10
14	50	0	10
15	50	0	10
16	50	0	10
17	50	0	10
18	50	0	10
19	50	0	10
20	50	0	10
21	50	0	10
22	50	0	10
23	50	0	10