



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

---

# A kávéfőzésből származó speciális háztartási hulladék felhasználásának lehetőségei

**- TDK dolgozat -**

**Készítette:**

Nagy Alexandra Dóra

Környezetmérnök MSc. 2. évfolyam

MSF7WB

**Konzulensek:**

Dr. Budai Péter, Adjunktus, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék

Dr. Kozma Zsolt, Adjunktus, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék

**Budapest, 2014.**

## Összefoglaló

A kávé a modern ember mindennapjainak szerves része. Kávézunk otthon, a munkahelyen a kollégákkal, kávézóknál barátokkal. Az elkészítés során azonban jelentős mennyiségű forrázási maradék - hétköznapi nevén kávézacc - keletkezik. A KSH adatai szerint az egy főre jutó kávéfogyasztás éves szinten átlagosan 2,8 kg, ami a lakosság 70 %-ának esetében napi 2-3 csésze kávé jelent. Ebből hozzávetőlegesen 25500 tonna zacc keletkezik Magyarországon.

A kávézacc felhasználási lehetőségeinek tárháza igen széles, az egyszerű háztartási felhasználástól (pl. talajjavítóként vagy sűrűsítésként), a bonyolultabb technológiát igénylő alkalmazásokig. Dolgozatomban a kávézaccot, mint szerves adszorber vizsgáltam, autóutakról lefolyó, nehézfémekkel szennyezett csapadékvizek jövőbeni tisztítása esetében.

A vizsgálatok kiterjedtek mind a hidraulikai, mind pedig az adszorpciós kapacitás megfigyelésére. Mindkét említett terület erősen befolyásolja a kialakított adszorber további felhasználási módját. A kávézacc adszorberként való alkalmazásának előnyei között említhető, hogy olcsó, könnyen hozzáférhető és viszonylag hatékony különböző nehézfém-ionok vízből való eltávolítása esetén.

Az autóutakról lefolyó csapadékvizekben jellemzően hatféle nehézfém fordul elő: a cink (Zn), a réz (Cu), ólom (Pb), a króm (Cr), a nikkel (Ni) és a kadmium (Cd). Ezek forrása változatos, jellemzően a fékbetét és a gumiabroncs kopása. Vizsgálataimat ezek közül három fémre: cinkre, rézre és krómra végeztem el.

A kísérleteket a szakirodalomban elterjedt áztatásos kivitelezésen túl több, eltérő méretű oszlopban is elvégeztem. A mérések során a megfelelő hidraulikai tulajdonságok biztosítása érdekében a zaccot homokkal keverve alkalmaztam. A tisztítandó közeget ismert koncentrációjú modelloldatokkal helyettesíttem.

Az adszorpciós adottságok meghatározása után egy konkrét felhasználási forma megvalósíthatóságát részletesebben is megvizsgáltam. Az autópályákról lemosódó csapadékvíz kezelésének egyik lehetséges módja, a szikkasztó medencékben történő tisztítás, hosszú tartózkodási idő mellett. Egy ilyen szikkasztó kialakítására tettem javaslatot úgy, hogy a medence alsó szűrőrétege az általam tesztelt 20% tf%-os zacckeverék legyen.

## Tartalomjegyzék

<b>1. A kávéfeldolgozás és kávéfogyasztás hulladékai .....</b>	<b>2</b>
1.1. A kávéról .....	2
1.2. A feldolgozás – szüreteléstől a zaccig.....	3
1.3. Keletkező melléktermékek .....	3
1.4. A keletkező hulladékok hasznosítási lehetőségei.....	4
1.5. A kávézacc fizika-kémiai tulajdonságai.....	6
<b>2. A kávézacc hasznosításának két fő iránya .....</b>	<b>9</b>
2.1. Talajjavító adalékként való felhasználás.....	10
2.2. Adsorbensként való felhasználás.....	11
2.2.1. <i>Az adszorpció.....</i>	<i>11</i>
2.2.2. <i>Adszorpciós csapadékvíz-kezelés.....</i>	<i>12</i>
<b>3. Az alkalmazhatóság tanulmányozására végzett saját méréseim .....</b>	<b>13</b>
3.1. Alkalmazhatóság - Hidraulikai vizsgálatok bemutatása .....	13
3.2. Alkalmazhatóság – Adszorpciós vizsgálatok.....	19
3.2.1. <i>Áztatásos poharas kísérletek .....</i>	<i>19</i>
3.2.2. <i>Átfolyásos oszlopos kísérletek .....</i>	<i>23</i>
<b>4. Konkrét alkalmazás adsorbensként csapadékvíz szikkasztásnál .....</b>	<b>26</b>
4.1. Szikkasztó tározó méretezési szempontjai .....	26
4.2. A szikkasztó tározó üzemeltetése és fenntartása.....	30
4.3. A kávézacc újrahasznosítás hazai lehetőségeinek vizsgálata.....	31
<b>5. Összegzés, következtetések .....</b>	<b>33</b>
<b>Források .....</b>	<b>34</b>

# 1. A kávéfeldolgozás és kávéfogyasztás hulladékai

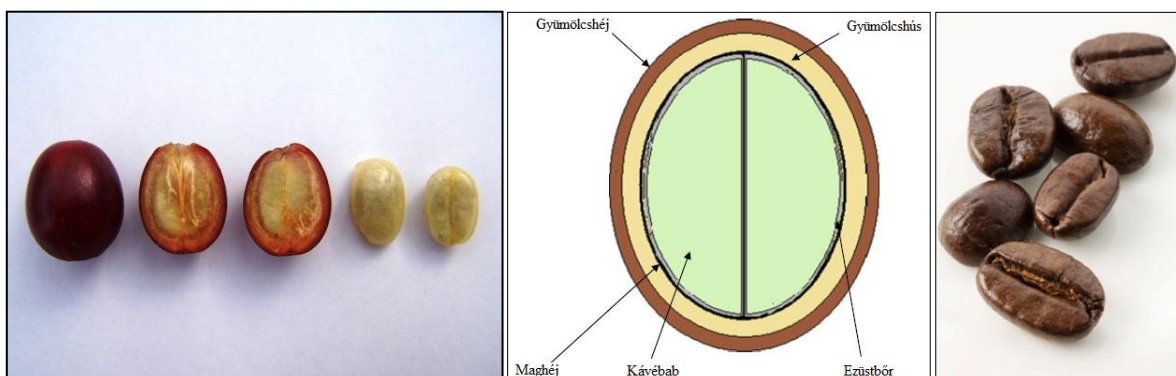
## 1.1. A kávéról

A kávéval leggyakrabban a boltok polcain találkozunk és nem is tudjuk pontosan, hogy a pörkölt kávébabok, vagy a csomagokban található őrölt kávé valójában hogyan is jut el a fogyasztókhoz. Történetéről, eredetéről, természetes megjelenéséről a csomagok nem árulnak el semmit és a világkereskedelemben elfoglalt fontos szerepe sem nyilvánvaló az egyszerű kávéfogyasztó számára.

Pedig a kávé már több mint 1000 éve fogyasztják világszerte. [8] A nyers kávébab napjaink egyik legnépszerűbb és legnagyobb mennyiségben forgalmazott árucikke (a kőolaj után a második). A globálisan megtermelt mennyiség éves szinten 7 millió tonnára tehető. A Nemzetközi Kávészervezet (ICO) adatai szerint 2011-12-ben az exportált kávé mennyisége 130 millió zsák volt (egy zsák súlya kb. 60 kg) és majdnem 2,25 milliárd csésze kávé fogyott világszerte naponta. [1]

A valóságban elfogyasztott mennyiségekről több forrásból is szerezhető adat. A kávéval kapcsolatos legtöbb nyilvánosan hozzáférhető statisztika a Nemzetközi Kávészervezet (International Coffee Organisation) honlapján található. Az itthoni viszonyokra alkalmazható adatok pedig a Központi Statisztikai Hivatal adatbázisában érhetők el.

A kávé 70 faja közül kettő termesztése terjedt el széles körben a világon, melyek különböző eredetűek. Az Arabica őshazája az etiópiai Kaffa, míg a Robusta feltehetőleg Közép-Afrika területéről származik. [1] Napjainkban intenzív termelése az egész világot behálózza, a legnagyobb termelők és exportőrök között megtalálható Mexikó, India, Etiópia, Kolumbia, a lista élén pedig évek óta Brazília áll. [8]



1. ábra A kávégyümölcs [8]

## 1.2. A feldolgozás – szüreteléstől a zaccig

A kávégyümölcsöket 5 évvel a fák elültetése után lehet először betakarítani. Felépítése az X. ábrán látható. A feldolgozás első lépése a zöld kávébabok kinyerése, ami a héj és a gyümölcshús eltávolításával történik, melynek két lehetséges módja a nedves vagy száraz eljárás. Az alkalmazott eljárás nagyban befolyásolja a kapott melléktermékek tulajdonságait.

A nedves eljárást Arabica fajta esetén alkalmazzák. Az eljárás terméke a mosott vagy pergamenhéjas kávébab. Általában kávébab hántoló gépet és fermentációt használnak. A végcél a pergament borító gyümölcshús és nyálkaréteg teljes eltávolítása. Túlfermentálást kerülni kell, nehogy dohos legyen a termék. A végső mosás történhet kézi vagy gépi úton. [1][8]

A száraz eljárás technológiája egyszerűbb. Leggyakrabban a Robusta esetében használják. A frissen leszedett kávécseresznyt kiterítve, 12-15 napig szárítják, és naponta keverik. A száraz cseresznyéket pedig zsákolva szállítják ügyelve arra, hogy ne találkozzon nedvességgel. [1][8]

A kinyert zöldkávét a feldolgozás első lépésétől függően két csoportba osztható: mosott vagy mosatlan. Egyaránt tartalmaz illékony és nem illékony komponenseket is. Főbb összetevői a szénhidrátok, fehérjék, lipidek és különböző ásványi anyagok.

A kávé, jellemző aromája és íze a pörkölés során lejátszódó reakcióknak köszönhető. A pörkölés három lépése: előmelegítés, pörkölés/pirolízis, hűtés. A második lépésben a természetesen előforduló polifenolok különböző reakciótermékekké alakulnak a Maillard reakció során.

A jól ismert ital elkészítésének utolsó lépése a forrázás. A főzet készítése többféle módon lehetséges, és a folyékony termék minősége a lágy főzettől az emulzióig bármilyen lehet. [1]

A feldolgozás több, mint 90%-a a fejlődő országokban történik, míg a fogyasztás jellemzően a fejlett országokban zajlik. [1]

## 1.3. Keletkező melléktermékek

A kávéfeldolgozás melléktermékei alatt általánosságban azt a szilád hulladékot értjük, ami az instant kávé előállítás extrakciós eljárásából, illetve a kávé otthoni, irodai vagy kávéházi lefőzéséből ered. [4] A keletkező hulladékok skálája azonban ennél sokkal színesebb, változatosabb. Vegyük sorra, mi távozik a teljes kávégyümölcsből, amíg végül a csésze a gőzölgő kávéval az asztalunkra kerül.

A *gyümölcshéj* jellemzően a száraz feldolgozási eljárás maradéka, ami száraz tömeg 12-18 %-át teszi ki. 1 tonna kávégyümölcs feldolgozásából 120-180 kg héj marad vissza.

Összetételét tekintve fehérjéket, lipideket és szénhidrátokat (cellulóz, hemicellulóz, lignin) tartalmaz. [1]

A feldolgozásból származó második melléktermék a *gyümölcshús*, ami a száraz tömeg 30-50%-a. A nedves eljárás során minden 2 tonna kávébabra 0,6-1 tonna gyümölcshús jut. A gyümölcshús gazdag szénhidrátokban, fehérjékben és ásványi anyagokban, ezek mellett nagy mennyiségű tannint, különböző polifenolokat és koffeint is tartalmaz. [1]

A *maghéj*, vagy más néven *ezüstbőr*, a kávébabot közvetlenül borító réteg, ami a pörkölési fázis mellékterméke. Nagy mennyiségű oldható étkezési rostot tartalmaz emellett nagy az antioxidás kapacitása (együttes szabadgyökfogó képessége), feltehetően a fenolos komponensek, illetve a pörkölés során lejátszódó Maillard reakcióból képződő egyéb komponensek miatt. Az ezüstbőr jellemzően cellulózt és hemicellulózt tartalmaz, de a monoszacharidok közül megtalálható benne a glükóz, galaktóz, mannóz és az arabinóz is. [1]

A *forrázási maradék*, vagy *kávézacc* nagy mennyiségben tartalmaz szerves összetevőket (pl.: zsírsavak, lignin, cellulóz, hemicellulóz és egyéb poliszacharidok), melyeknek köszönhetően hasznosításának lehetősége folyamatosan egyre népszerűbb. [2] Gazdag cukrokban (mannóz, galaktóz) és fehérjékben. Az összetétel azonban nagyban változhat ágról ágra és növényről növényre, amiben fontos szerepe van a termővidék elhelyezkedésének, a talaj minőségének és a klímának is. A fizikai-kémiai tulajdonságok pontos ismerete a jövőben vagy akár napjainkban is nagyban megkönnyítheti a kávézacc felhasználási lehetőségeinek kidolgozását. [1] A fizikai-kémiai tulajdonságokat bővebben az 1.5. fejezetben tárgyalom.

#### **1.4. A keletkező hulladékok hasznosítási lehetőségei**

Mivel a kávé világszerte igen népszerű, a feldolgozás során nagyon nagy mennyiségű mellékterméke keletkezik. A nagy kereskedelmi forgalomból adódóan, az egyre nagyon mennyiségben rendelkezésre álló hulladék anyagok újrahasznosítása környezetvédelmi és gazdasági szempontból is egyaránt nagyon fontos. [1]

A *1. táblázat* a 1.3. fejezetben felsorolt melléktermékek potenciális felhasználási lehetőségeinek áttekintésére szolgál. Jól látható, hogy a felhasználási lehetőségek tárháza igen széles. Az egyszerű háztartási felhasználástól (pl. talajjavítóként vagy súrolószerként), az összetettebb technológiát igénylő alkalmazásokig sokféle lehet. Ezek nagy része napjainkban még kiaknázatlan és jórészt a kutatás fázisában van.

**1. táblázat Melléktermékek nyersanyagként vagy adalékanyagként történő hasznosításának lehetőségei**

<b>Gyümölcshéj</b>	<b>Gyümölcshús</b>	<b>Kávézacc</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gombatermesztés</li> <li>- Citromsav és gibberellin sav előállítás</li> <li>- Gilisztakomposzt</li> <li>- Enzimek és szekunder anyagcsere termékek előállítása</li> <li>- Biogázelőállítás</li> <li>- Étkezési rostok forrása</li> <li>- Táptalajként fermentáció után aromaanyagok kinyerése</li> <li>- Rostlemez előállítás</li> <li>- Állati takarmány</li> <li>- Nehézfémet kivonása vizes oldatból</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gilisztakomposzt</li> <li>- Enzimek és szekunder anyagcsere termékek előállítása</li> <li>- Komposztálás</li> <li>- Antocianát alapú festékek kivonása</li> <li>- Dzsem, gyümölcslé, ízesítőanyag</li> <li>- Állati takarmány</li> <li>- Foszforsavas impregnálás és pirolízis után bioszorbens</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gombatermesztés</li> <li>- Bioetanolgyártás</li> <li>- Kationos festékek, nehézfémet kivonása szennyvízből</li> <li>- Étkezési rostok forrása</li> <li>- Fermentációs szubsztrát</li> <li>- Üzemanyag, biodízel, pellet előállítás</li> <li>- Állati takarmány</li> <li>- Olajkinyerés utáni maradék kationos festékek megkötésére</li> <li>- Aktívszén előállítás ZnCl<sub>2</sub>-os kezeléssel</li> </ul>

[1] alapján saját szerkesztés

A továbbiakban a kávézaccra fókuszálva fontos megjegyezni, hogy a tudományos cikkeken túl, a világhálón böngészve vagy ismerősöket végigkérdezve sok hétköznapi praktikával is találkozhatunk a felhasználási lehetőségekkel kapcsolatban. Ebből néhányat az 2. táblázatban gyűjtöttem össze [17]-[20]:

**2. táblázat Hétköznapi praktikák a kávézacc hasznosítására**

<b>Súrolószerként, tisztítószerként</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ultra dermhez keverve kerékpárszerelés utáni olajos foltok eltüntetéséhez</li> <li>- Zsíros, rozsdás felületek tisztításához</li> <li>- Lefolyótisztításhoz</li> </ul>
<b>Szagsemlegesítőként</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kellemetlen szagot átvett edények tisztításához vízzel keverve</li> <li>- Filtertasakba téve hűtőbe, hűtőládákba</li> </ul>
<b>Szépségápolásban</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Narancsbőr ellen vagy bőrradírként olivaolajjal keverve</li> </ul>
<b>Kiskertekben</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sárgarépa és retekmagokhoz keveréséhez az elvetést megelőzően</li> <li>- Rózsatövek, hortenzia, kamélia, azálea alá</li> <li>- Csigák ellen</li> </ul>

	- Komposztáláshoz
<b>Horgászat</b>	- Giliszták életben tartása zaccal kevert földben
<b>Házi kedvenceknél</b>	- Bolha szőrzetből való kiűzéséhez, kutyáknál

A továbbiakban a hasznosítási lehetőségek két fő irányával foglalkozom. A *talajjavító-szerként való hasznosítás*ról szóló bővebb áttekintés keretében azt tárgyalom, hogy ez a megoldás miért is működik, és hatékonyságát milyen eredmények támasztják alá. Az adszorbensként való felhasználásról szóló fejezetben pedig az irodalomból kiinduló, majd tovább fejlesztett saját méréseimből kapott eredményeket mutatom be, vízből való nehézfém-eltávolítás esetében.

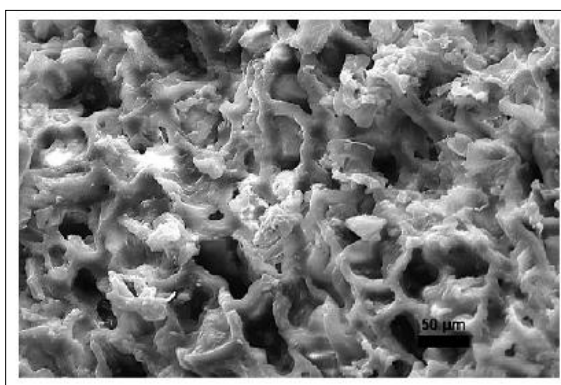
### 1.5. A kávézacc fizika-kémiai tulajdonságai

Mielőtt elkezdenénk alkalmazni ezt a háztartási hulladékot, fontos megismerni annak fizikai és kémiai tulajdonságait. A fellelhető cikkekben több vizsgálatot is végeztek az alaptulajdonságok felderítésére, melyek a későbbi alkalmazást alapvetően meghatározzák.

A fizikai tulajdonságok vizsgálatában az első lépés a szerkezet feltérképezése. Szabad szemmel a kávézacc sötétbarna, liszthez hasonló finom szemcsés, porózus, jellegzetes szagú anyag (2. ábra). Ha behatóbban akarunk vizsgálni és a finomszerkezetet akarjuk láthatóvá tenni, speciális eszközökre van szükségünk. Adszorberként való alkalmazás előtti, fizikai vizsgálataik során SEM/EDX (Scanning Electromicroscope), módszert alkalmazva *Azouaou et. al.* képet is készítettek a zacc felépítéséről (3. ábra).



2. ábra A kávézacc megjelenése



3. ábra A kávézacc fizikai szerkezete

A szerkezetre vonatkozó röntgen fluoreszcens spektrometriás vizsgálatok alapján megállapított paramétereket az 3. táblázatban gyűjtöttem össze.



**3. táblázat Kezeletlen kávézacc fizikai és kémiai tulajdonságai (Azouaou et. al.)**

		[6] szerint	[10] szerint
Átlagos részecske átmérő	[ $\mu\text{m}$ ]	389,2	389,18
Nedvességtartalom	[%]	1,71	1,89
Szervesanyag tartalom	[%]	97,13	96,15
Ásványi anyag tartalom	[%]	1,16	1,96
Fajlagos felület	[ $\text{m}^2/\text{g}$ ]	298,60	n.a.

[6] és [10] alapján saját szerkesztés

A kémiai jellemzők között első lépésben fontos áttekinteni a kávézaccban megtalálható nagyobb vegyületcsoportok tömegszázalékos megoszlását.

**4. táblázat Kávézacc tömeg%-os összetétele**

Hemicellulóz	$36,7 \pm 5,0$	Összes polifenol	$1,5 \pm 1,0$
Fehérje	$13,6 \pm 3,8$	Lignin	$0,05 \pm 0,05$
Cellulóz	$8,6 \pm 1,8$	Koffein	$0,02 \pm 0,1$
Összes cukor	$8,5 \pm 1,2$	Tannin	$0,02 \pm 0,1$
Klorogén sav	$2,3 \pm 1,0$	Pektin	$0,01 \pm 0,005$
Összes rost és összes zsír	$28,6 \pm 13,9$		

[1] alapján saját szerkesztés

Az 4. táblázatból jól látható, hogy a kávézacc nagy mennyiségben tartalmaz szerves összetevőket (cellulóz, lignin, hemicellulóz, poliszacharidok), hasznosításának felértékelődése nagyrészt ezeknek köszönhető. [2]

A felsorolt összetevők közül kis mennyiségük ellenére fontos kiemelni a polifenolokat és a tannint, mivel a tannin tartalmú anyagok, mint a kávézacc tartalmaznak olyan poli-hidroxi és polifenol funkciós csoportokat, melyek alkalmasak különböző nehézfémek megkötésére. (pl.: Cink, Réz, Ólom) [11]

*Pujol et al.*, részletesebben is tanulmányozták a kávézacc kémiai összetételét. A vizsgálatok során elvégezték a teljes elemanalízist, a savas karakterű funkciós csoportok, az elemi összetétel, a hamutartalom, az összes-polifenol tartalom (különös tekintettel a tannin) és a lipidek mennyiségének meghatározását a különböző folyékony extraktumokban. [2] Eredményeiket az 5. táblázat tartalmazza.

**5. táblázat Kávészacc elemi összetétele és atomarányai (Pujol et. al.)**

Elemi összetétel		Atomarány	
C	58,5	C/N	54,67
H	7,4	H/C	1,52
N	1,3	O/C	0,42
		(O+N)/C	0,45

[2] alapján saját szerkesztés

A fő alkotó elemek tömegszázalékos mennyisége összhangban van más irodalmi adatokkal. [2][27] Az alacsony nitrogéntartalom és magas C/N arány miatt kevésbé alkalmas komposztálásra, de más nitrogéntartalmú anyagok bekeverésével javítható a komposzt minősége.

A H/C arány a zacc alifás karakterére utal. Az aromás karakter mutatószáma (H/C) és a polaritási együttható ((O+N)/C) egymással fordított arányban áll. A polaritási együttható értéke a zacc esetében közel esik a ligninhez, amelynek a kitinhez és cellulózzal szemben nagy az affinitása hidrofób szennyezők adszorpciójára. Ezek alapján a kávézacc hatékony adszorber lehet hidrofób szennyezők eltávolítására. A savas karakterű összetevők közül a fenol-csoportok találhatóak meg legnagyobb mennyiségben, jellemzően ligninhez kapcsolódva.

A kávézacc viszonylag alacsony hamutartalma, magas szén és hidrogéntartalommal párosul, így energiaforrásként való alkalmazása is lehetséges. Fűtőértékét különböző számítások alapján 26 MJ/kg-ra becsülik. [2] Ez az érték közel van a fekete kőszén fűtőértékéhez, ami 29,3 MJ/kg és 33,5 MJ/kg közé tehető, típusától függően. [29]

Ásványi összetételre vonatkozó további adatokat mutatnak be a 6-8. táblázatok Pujol et. al., Azouaou et. al. és Chun et al. XRF-fel (X-ray Fluorescens Analysis) végzett mérései alapján. A pontos arány mintánként változó, nagyban függ a termesztésre használt területek talajának összetételétől, az alkalmazott trágyázástól és a termesztett kávéfajtától.

**6. táblázat A kávézacc ásványi összetétele (Pujol et. al.)**

Elem	Mennyiség [g/kg]	Elem	Mennyiség [g/kg]
Ca	0,63	Fe	0,24
Mg	0,13	Cu	0,042
K	0,23	Zn	0,011
Na	0,48	Mn	0,031

[2] alapján saját szerkesztés

**7. táblázat Kezeletlen kávézacc kémiai összetétele I. (Azouaou et. al.)**

Összetevő	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MgO	CaO	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	Cl	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO
[m%]	33,98 34,40	22,98 23,21	15,32 15,89	12,51 12,62	3,98 4,27	3,22 3,54	2,92 3,09	1,76 1,84	0,89 0,98	0,82 0,95	0,18 0,19
Összetevő	Sr	Mn	Zn	Pb	Ti	Ni	Rb	Nb	Co	Cr	Ba
[m%]	0,016 0,011	0,06 0,08	0,058 0,084	0,03 0,05	0 0,03	0,02 0,04	0,024 0,03	0 0,01	-	0 0,0063	-

[6][10] alapján saját szerkesztés

**8. táblázat Kezeletlen kávézacc kémiai összetétele II. (Chun et al.)**

Összetevő	CaO	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
[m%]	52,9	11,40	8,45	8,25	3,69	3,52
Összetevő	Cl	MgO	K <sub>2</sub> O	ZnO	CuO	MoO <sub>3</sub>
[m%]	3,30	2,71	2,51	1,17	1,06	0,98

[7] alapján saját szerkesztés

Az ásványi/kémiai összetétel nagyban függ a feldolgozási eljárás típusától (nedves vagy száraz). Emiatt a két elemi összetételt tárgyaló táblázat adatai között nagyságrendi eltérések is megfigyelhetők.

## 2. A kávézacc hasznosításának két fő iránya

A dolgozat írása során számos, a mindennapokban alkalmazott praktikáról hallottam és olvastam. A keresőoldalak bármelyikén több tíz oldalnyi ötlet olvasható, melyek a legkülönbözőbb területeken, köztük a háztartásokban jól alkalmazhatók. [17]-[20] A fellelhető praktikák azonban jórészt csak a kis volumenű, egyedi felhasználást fedik le.

A keletkező mennyiség azonban ennél sokkal nagyobb, a világon összesen 6 millió tonnára becsülik az éves keletkező mennyiséget. [8] Ha csak Magyarországot vesszük alapul, a statisztikai adatok alapján évente 25500 tonna zacc termelődik országos szinten.[28] Ennek a mennyiségnek a kezelésében az egyedi megoldások csak egy kis hányadot képesek felhasználni. A maradék kávézacc hasznosítása azonban nagyobb léptékű megoldások segítségével valósulhatna meg.

A továbbiakban bővebben foglalkozom két olyan felhasználási iránnyal, melyek esetében érdemes megvizsgálni a nagyobb léptékű hasznosítás lehetőségeit, megvalósíthatóságát és költséghatékonyságát.

## 2.1. Talajjavító adalékként való felhasználás

A kávé lefőzéséből visszamaradó zacc még nagy mennyiségben tartalmaz szerves anyagot és ásványi anyagokat, melyek révén akár talajjavító anyagként is hasznosítható lehet.

A szervesetlen műtrágyák mezőgazdaságban történő intenzív használata napjainkban együtt jár több negatív változással is, melyeknek végső soron direkt hatása lehet az emberi egészségre is. Ezek között említhető a talaj termőképességének csökkenése, a térfogatsúly növekedése, a talaj és a talajvíz egyre nagyobb mértékű szennyeződése illetve a termelt zöldségek szennyezőanyag-tartalmának növekedése. Ezzel egy időben megfigyelhető az egészséges ételek iránti növekvő igény.

A műtrágyák megfelelő alternatívái lehetnek a különböző mezőgazdasági vagy élelmiszeripari hulladékok, mert segítségükkel elősegíthető a talaj eredeti szerkezetének visszanyerése és termőképességének további fenntartása. A kávézacc – mint élelmiszeripari vagy háztartási hulladék – ebből a szempontból értékes erőforrásként is értékelhető: merev mikroszerkezetének köszönhetően szerepe lehet a talajszerkezet visszaállításában, elősegítheti az átlevégőzést, növeli a víz- és tápanyag-visszatartást.

A lefőzés után megmaradó szerves komponensek növelhetik a talajban a szervesanyag-tartalmat, különös tekintettel a N-re, melynek nagy szerepe van termőképességben. [21] A tudományos bizonyítékok alapján vagy ezektől függetlenül, a kávézacc háztartási használatának gyakorlata egyre népszerűbb. [21] Erre több mód is adódik: kis mennyiségben rakható közvetlenül a talajra, keverhető a talajba vagy komposztba. Komposztálás után, lassan felszabaduló N-forrásként alkalmazható. [22]

A kémiai összetételt tekintve az ásványi anyagokon túl egyes biológiailag aktív komponenseknek, mint például a koffein vagy a klorogénsav, előnyök és hátrányok egyaránt tulajdoníthatók. Ezek az összetevők toxikusak lehetnek bizonyos mikroorganizmusok számára. Csökkenthetik a talaj N-felvevő képességét és számolni kell azzal, hogy a koffein felvételére képes fajok esetében járulékos fiziológiai változásokat okoz. Mindezek mellett természetes növényvédő-szerként is működhet, csökkentve a pótlólagos vegyszerfelhasználást. [21]

*Cruz et. al.* több cikkben is vizsgálták az alkalmazás létjogosultságát. Első kísérleteikben azt figyelték meg, hogy a bekeverés tf% aránya hogyan befolyásolja a saláta (*Lactuca sativa L.*) klorofill és karotin tartalmát. További kutatásaikban a zöldségek tápanyagháztartását és bioaktív tulajdonságait tanulmányozták komposztált és nem komposztált kávézacc esetén.

Eredményeik azt mutatták, hogy maximum 10 tf%-os arány mellett a zaccal kevert termőtalaj növeli a növény klorofill és karotin tartalmát a biomassa növekedésével együtt.

Ezek mellett azonban megfigyelhető a levelek N-tartalmának csökkenése is. Ezt valamilyen tápanyag hiánya/megléte miatt kialakuló stresszhatás vagy bizonyos komponensek (pl.: koffein) toxikus hatása okozhatja. [21]

A komposztálás hatását vizsgálva megállapították, hogy a friss kávézaccal szemben, melyben a tápanyagok hozzáférhetősége kicsi és stresszt okozó komponensek vannak jelen (koffein), a komposztált forma már kis mennyiségben adagolva is nagymértékben emelte a levelek esszenciális makroelem-tartalmát (Ca, Mg, N, P, K, S, Fe), javítva ezzel a minőségüket.

Rávilágítottak arra is, hogy az élelmiszeripar szempontjából a kávézacc hasznosítása – mint egyszerű, olcsón alkalmazható talajjavítószer – vonzó lehetőséget kínál magas tápértékű termékek termelésére és előállítására. [22]

A további irányok és válaszok keresése költséges, összetett és jelentős időigényű mérések kivitelezésével lett volna lehetséges és a kapott eredmények vélhetően érdemben nem járultak volna hozzá az eddig is meglévő tudás gyarapításához. Emiatt kutatásom során a talajjavító-szerként való alkalmazás helyett a szerves adszorberként való felhasználást vizsgáltam részletesen.

## **2.2. Adszorbersként való felhasználás**

A kávézacc, mint adszorbens, alkalmas különböző halmazállapotú anyagok megkötésére. Ilyen a házi praktikák között korábban említett felhasználás a kellemetlen szagok semlegesítésére (szárazon, tasakba töltve vagy vízben elkeverve).

Műszaki/mérnöki és gazdasági szempontból jóval meghatározóbb, hogy a zacc képes egyes szerves és szervetlen vegyületek vizes közegből való eltávolítására is, kezdve a különböző szerves komponensektől (reaktív festékek, peszticidek, herbicidek) [23]-[25], egészen a nehézfémekig (Zn, Cu, Pb, Cr, Cd, Ni). [3]-[9]; [10]-[13]

### **2.2.1. Az adszorpció**

Az adszorpció alapvető eljárás a szennyezett folyékony és légnemű közegek fizikokémiai kezelésében. Az adszorpció egyfajta szeparációs eljárás, melynek során a folyékony/légnemű fázis egyes alkotói a szilárd adszorbens felületére kémiai vagy fizikai elven kötést létesítenek. Folyékony fázissal érintkező szilárd felület esetében megfigyelhető a folyékony főtömeg molekuláinak megkötődése vagy feldúsulása a szilárd felületen. Az elválasztás az eltérő molekulatömegnek, alaknak, vagy polaritásnak köszönhető. Az említett tulajdonságokból fakadóan egyes molekulák sokkal erősebben kötődnek meg a felületen mint mások, és a kis

átmérőjű pórusokba a kisebb molekulák vagy ionok könnyebben bejutnak és megkötődnek, míg a nagyobbak nem. A folyamat eredményeképpen kialakuló egyensúly több tényezőtől függ, melyek közül legfontosabb a rendelkezésre álló tartózkodási.

Az adszorpciónak több típusa ismert, alapja a felület és a megkötendő vegyület között molekuláris szinten fellépő többféle vonzó kölcsönhatás.

- fizikai adszorpció: fizikai kölcsönhatások, főként Van der Waals erők eredménye reverzibilis jelenség, aktiválási energia nem szükséges hozzá
- kémiai adszorpció/kemisorpció: kémiai kölcsönhatások eredménye, lehet exoterm vagy endoterm, kezdő lépése gyakran nagy aktiválási energia igényű [3]

Az adszorpciót számos területen alkalmazzák, ezek közül a továbbiakban a csapadékvíz-kezelés egyik lehetséges eszközeként tárgyalom.

### **2.2.2. Adszorpció csapadékvíz-kezelés**

Az adszorpciót a csapadékvíz-kezelésben sokféle alkalmazzák, melyhez többféle adszorbenst használnak. Bár a legelterjedtebb anyagok, mint az aktív szén, a kitozán, a zeolit, a szilikagél vagy az agyag nagy adszorpció kapacitásuk miatt nagyon népszerűek, de ezzel együtt nagyon költségesek is. [12]

A fémadszorpció csapadékvíz-kezelési eljárások esetén egyre nagyobb az igény valamilyen elegendően hatékony, olcsó és könnyen hozzáférhető alternatív adszorbens alkalmazására. Környezeti szempontból külön előnyös, ha ez valamilyen hulladék hasznosításával is együtt jár.

Ezért a kutatók figyelme az utóbbi években az olcsó adszorbensek felé fordult. [6] Ezek között említhetőek tipikusan a növényi hulladékok, úgy mint a tealevél-maradék, a fűrészpor, a fakéreg, az olívaolaj maradéka, a narancslékészítés maradéka, a narancshéj, az algák, a szárított növények és az olívamag. [10] A kávéfeldolgozás melléktermékeinek lehetséges alkalmazásával foglalkozó szakirodalom ugyanakkor ma még korántsem nevezhető teljesnek.

A kávézacc adszorbensként való alkalmazásának előnyei között említhető, hogy olcsó, könnyen hozzáférhető és viszonylag hatékony különböző nehézfém-ionok vízből való eltávolítása céljára.

A csapadékvizek egyre nagyobb hányadban szorulnak valamilyen kezelésre, különösen abban az esetben, ha valamilyen nagy forgalmú autóútról származnak. Az autóutakról lefolyó csapadékvizekben jellemzően hatféle nehézfémet szoktak vizsgálni, melyek előfordulási gyakoriság szerint a következők: cink (Zn), réz (Cu), ólom (Pb), króm (Cr), nikkel (Ni) és kadmium (Cd). Ezek forrása változatos, jellemzően a fékbetét és a gumiabroncs kopása. [14]

### **3. Az alkalmazhatóság tanulmányozására végzett saját méréseim**

A kávézaccot, mint szerves adszorbenst autútutakról lefolyó, nehézfémekkel szennyezett csapadékvizek tisztításának lehetséges eszközeként laboratóriumi kísérletek segítségével tanulmányoztam.

A vizsgálatok kiterjedtek mind a hidraulikai, mind pedig az adszorpciós kapacitás megfigyelésére. Mindkét említett terület erősen befolyásolja a kialakított adszorber további felhasználási módját. A szűrőközeg útpályák menti telepítésére két lehetőséget vettem számban: a belterületi csatornaszemekben, illetve a külterületi szikkasztó medencékben kialakított szűrőágyat. Vizsgálataimat a fent említett hatféle nehézfémről háromra: cinkre, rézre és krómra végeztem el. A tisztítandó közeget ismert koncentrációjú modelloldatokkal helyettesítettem.

A szakirodalomban elterjedt áztatásos kísérletek mellett, átfolyásos kísérleteket is végeztem, különböző méretű töltött oszlopok segítségével eltérő tartózkodási idők biztosításával. Mivel a szakirodalomban megtalálható eredmények zömét áztatásos mérések segítségével nyerték, az átfolyásos kialakítások esetében kevés volt a korábbi, mintául szolgáló gyakorlati megoldás. Emiatt kutatásom során az egymásra épülő kísérletekből nyert információk, tapasztalatok és következtetések felhasználása a módszer további javítása érdekében kulcsfontosságú volt.

#### **3.1. Alkalmazhatóság - Hidraulikai vizsgálatok bemutatása**

A hidraulikai vizsgálatok során arra a kérdésre kerestem a választ, hogy melyek lehetnek azok az alkalmazási területek, ahol a zaccal kevert homok töltet folyamatos átfolyású kialakítás mellett jól alkalmazható. Két lehetséges alkalmazást vizsgáltam: a belterületi csatornaszemekbe való telepítést, illetve a külterületi szikkasztó medencékben kialakított szűrőágyként való elhelyezést.

A belterületi alkalmazást megvalósíthatóságának vizsgálatokor kiindulásként a csatornaszem méretezésben alkalmazott elvárt terhelhetőségre kerestem adatokat, melyeket *Sali Emil: Csatornázás* című könyvében találtam meg (9. táblázat).

9. táblázat Különböző kiképzésű és méretű víznyelők vízvezető képessége (Sali)

Vízborítás a víznyelórácson [cm]	Méret		
	32 x 32	48 x 48	30 x 10
	Függőleges beömlés [L/s]		Oldalbeömlés [L/s]
5	15,8	29,6	4,3
8	26,8	50,1	8,7

[26]

Az elvárt kapacitás meghatározása után a zaccal kevert homoktöltetek viselkedését több eltérő keverési arány és szakaszos vízátengedés mellett vizsgáltam. A méréseket a keverési százalékon túl aszerint is megkülönböztettem, hogy (i) szárazon betöltött, (ii) nedvesen betöltött, (iii) minimum egy napig víz alatt tartott vagy (iv) legalább 3 napig száradni hagyott töltetről volt-e szó. A mérések során a vízáteresztő-képesség javítása érdekében a zaccot homokkal keverve alkalmaztam.

A kísérleteket egy 8-cm átmérőjű, alul összeszűkülő üvegcsőben végeztem, amelybe minden alkalommal 1 liter térfogatú töltetet tettem. A töltet kimosódását szűrőpapírral akadályoztam meg. A töltött oszlopon minden méréskor 300 ml víz átfolyásának időtartamát jegyeztem fel.



4. ábra 8 cm átmérőjű oszlop

Az oszlopban (4. ábra) vizsgált zaccal kevert homok töltetek közül 0%-os tiszta homok, illetve 10%-os és 20%-os keverékek áteresztőképességét tanulmányoztam. Az oszlopba elsőként referencia gyanánt 0%-os keveréket, azaz homokot töltöttem és később ehhez viszonyítottam a 10 tf%, és 20 tf% keverékekre kapott eredményeket. 100 % homok esetében a kedvező anyagi tulajdonságoknak köszönhetően az átmedvesedés egyenletességével nem



volt probléma, csatornák nem képződtek, az oszlop megbontásakor a töltet a cső teljes keresztmetszetében nedves volt.

A 10%-os keverék tesztelésekor azonban gyakorlati problémák és megoldandó kérdések merültek fel. Már ebben a minimális keverési arányú esetben is biztosítani kell a keverék homogenitását, ami két eltérő sűrűségű és szerkezetű szilárd anyagról lévén szó nehezen megoldható.

A töltet szárazon történő betöltésekor jelentkezik valamilyen mértékű tömörödés. De, ha száraz állapotban történik a feltöltés, nem biztosítható a töltet teljes keresztmetszetben való átnedvesedése (5. ábra), mert a folyadék inkább a kisebb ellenállás felé fog áramlani. Ez a kisebb ellenállás a kiskeresztmetszet miatt jellemzően a töltet szélén jelentkezik a falhatásból adódóan. Az átnedvesedés javítása nedves betöltéssel javítható lehet, de így a tömörödés gátolt és már kezdeti áramlás nélküli állapotban is csatornák és áramlási terek alakulhatnak ki.



5. ábra Szárazon betöltött keverék szétszedés után



6. ábra Szétváló fázisok

Ha mégis a nedves betöltést választjuk a töltet előnedvesítése önmagában problémát jelent. Egyrészt a kismértékű nedvesítés (pl.: permetezéssel) nehézkes és a gyakorlatban, későbbi terepi felhasználás során túl komplikált. Másrészt a pohárba vagy keverőedénybe töltött keverék egyszerű vízzel való felengedése nem megvalósítható, mert sűrűségkülönbség miatt a kisebb sűrűségű zacc szemcsék felúsznak a felszínre és a két fázis egyszerűen szétválék (6. ábra).

A fázisok ilyenformán történő szétválása viszont rávilágít arra a lehetőségre, hogy a későbbiekben, a kimerült töltetektől a zacc jól elválasztható és a homokot újra fel lehet használni.

Többszöri vízátengedés után a töltet bizonyos mértékű kolmatációja figyelhető meg, ami miatt az átteresztőképesség romlik, az áramlási sebesség pedig lecsökken. Mivel a zacc szemcsék átmérője kisebb a homokénál, azok a tölteten belül el tudnak mozdulni és alsóbb részekben feldúsulnak. Ez az alsó részben való dúsulás szabad szemmel is jól látható.

Ezekből az észrevételekből okulva a továbbiakban az áramlási keresztmetszet növelése – a csatornaszemek méretét jobban megközelítve – és a falhatás mértékének csökkentése céljából a vizsgálatokat nagyobb, 17 cm átmérőjű csőben vizsgáltam (8. ábra), melyben a töltet térfogata már 3,5 l volt, az egyszeri átengedett víz mennyisége pedig 500 ml.

A töltettípusokat újabb két keverési aránnyal egészítettem ki, így összesen négyféle töltetet vizsgáltam (0%, 10%, 20%, 30%). A töltet tetejére pedig Petri csészét raktam, ami gátolta az újbóli feltöltések hatására történő tölcserképződést.



7. ábra Homokkal feltöltött kúpész

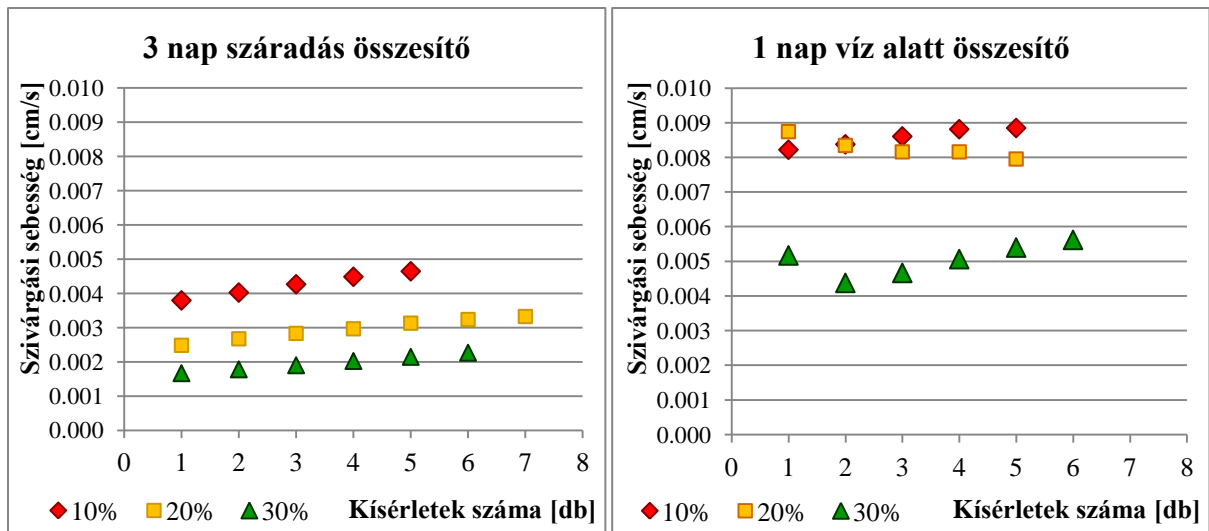


8. ábra 17 cm átmérőjű oszlop

A rendelkezésre álló oszlop geometriájából adódóan a berendezés alsó 25 cm magas, kúpos részét tiszta homokkal töltöttem fel, melynek a későbbiekben csak tartószerpe volt (7. ábra). Ez alá és fölé is elválasztó réteget helyeztem, hogy a töltet ne mosódjon ki, illetve a hengeres részben a töltet cseréje könnyebben kivitelezhető legyen. A méréseket a feltöltött kúpos rész külön vizsgálatával kezdtem.

A vízáteresztő-képességet a száraz betöltést követően minden töltet esetén 3x500ml víz átengedése után kezdtem mérni, minden alkalommal legalább 5 párhuzamost feljegyezve. Ezután a cső alját elzárva egy napra víz alatt hagytam a töltetet (későbbiekben *1 nap vízborítottság*), majd három nap száradás után (későbbiekben *3 nap száradás*) újramértem az időket.

Az adott áteresztett vízmennyiségekhez tartozó időtartamokból a keresztmetszet ismeretében származtatott szivárgási sebességeket az 9. ábrapár szemlélteti.



9. ábra Hidraulikai mérések eredményei

Az adatokból jól látható, hogy a kiindulási átnedvesítést követő száradás után, az újbóli nedvesedés sokkal lassabb és a szivárgási sebesség kisebb, mint a jól átnedvesedett töltet esetén. A javulás azonban nem számottevő, nagyságrendileg még így is az un. gyenge vízvezetőknél/vízfogóknál tapasztalt szivárgási tényezőkkel egyezik meg:  $10^{-5}$ - $10^{-9}$  m/s (finom homok, iszap, lösz) [31].

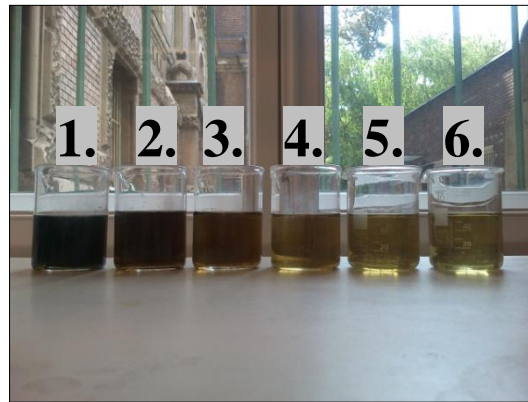
20% zacc mellett az egy napi ázást követően az eredmények közel egyezők voltak az ugyanilyen állapotú 10%-os keverékkel összehasonlítva. Emellett a 30%-os keverési arány a 20%-os töltethez képest nagyobb ellenállás-növekedést eredményezett, mint a 20%-os a 10%-oshoz hasonlítva. Ezért a későbbi gyakorlati megfontolások alapján a 30%-os töltetet a továbbiakban nem vizsgáltam.

A falhatás csökkentésére tett kísérlet sikeres volt, hiszen a töltet megbontásakor jól látszódt, hogy az átnedvesedés a teljes keresztmetszetében megtörtént, bár a falnál még mindig intenzívebb volt az áramlás. (10. ábra)



10. ábra A 20%-os töltet nedvesedtsége 3 nap száradás utáni újbóli méréskor

A hidraulikai mérések során az egynapos vízborítás után áteresztett 500 ml-es mintákból kapott mintasor színéből jól látszik, hogy egy nap víz alatt nagy mennyiségű szerves anyagot old ki a töltetből, ami azután gyorsan ki is mosódik. (11. ábra)



11. ábra 1 nap vízborítás után kifolyó minták sorozata

A fentiek szerint elvégzett hidraulikai vizsgálatokból kapott eredmények és az elvárt térfogatáram elvezetését kiszolgáló sebesség értékek párhuzamba állítását mutatja az 10. táblázat. A számított értékeimet Sali Emil fentebb tárgyalt táblázata (9. táblázat) alapján a 8 cm-es vízborításhoz tartozó adatokkal állítottam párhuzamba, mivel saját méréseim során a vízborítás átlagban 10 cm volt. A feltüntetett értékek a vizsgált változatok közül a legnagyobb szivárgási sebességet biztosító 10%-os, egy napos vízborítottság után mért töltetre vonatkoznak.

10. táblázat Az elvárt és a valóságban teljesített szivárgási sebességek összehasonlítása

Vízborítás a víznyelőrácson [cm]	Méret					
	32x32 cm		48x48 cm		30x10 cm	
	Függőleges beömlés sebessége [cm/s]				Oldalbeömlés sebessége [cm/s]	
8-10	26.17	<b>1.90E-03</b>	21.74	<b>8.44E-04</b>	29.00	<b>6.49E-03</b>

A táblázatból jól látható, hogy a lehető legnagyobb számított sebességértékek sem elégitik ki az támasztott követelményeket. Ezek alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a töltet egyetlen tesztelt keverési arány mellett sem képes teljesíteni a csatornaszemektől elvárt terhelést. Tehát a folyamatos átfolyású kialakítás belterületi telepítése nem megvalósítható. A továbbiakban ezt a lehetőséget elvetve a szikkasztókban való felhasználást vizsgálok részletesen.

A töltet állapotát tekintve gyakorlati szempontból az újranedvesedő töltet vizsgálatának van jelentősége, hiszen a tározók esetében a valóságban is nedves és száraz időszakok váltakozása figyelhető meg. A keverési arányt illetően a továbbiakban a 20%-os keverék

vizsgálatával foglalkoztam, mert hidraulikai adatai hosszú tartózkodási idő biztosítását teszik lehetővé és viszonylag nagy az adszorbensként működő zacc adott térfogatra jutó mennyisége.

### 3.2. Alkalmazhatóság – Adszorpciós vizsgálatok

A szakirodalomban található adszorpciós vizsgálatokat alapvetően két csoportba lehet sorolni: az áztatásos/poharas mérések és a ritkán alkalmazott átfolyásos/oszlopos kísérletek. Laborkísérleteim során mindkét módszert használtam a kávézacc tulajdonságainak tanulmányozására. A mérések megtervezését és kivitelezését az 11. táblázatban összefoglalt irodalmi eredményekre alapoztam.

11. táblázat Fémadszorpciós körülmények és eredmények kávézaccal (áztatásos kísérletek esetén)

Fém	Kontaktidő	Adszorber koncentráció	Fémoldat kezdeti koncentrációja	Eltávolítási hatásfok	Adszorpciós kapacitás	Forrás
	[h]	[g/l]	[mg/l]	[%]	[mg/g]	
Zn	1,5	0,1	0,1	86,14	0,087	[7]
	n.a.	3	13	80	3,76	[11]
	12	8,74	18,9	n.a.	0,57	[13]
Cu	1	0,5	3	92	0,55	[3]
	24	1	50	n.a.	70	[4]
	1,5	3	12,7	75	1,94	[11]
	12	8,74	18,9	n.a.	9,01	[13]
Pb	1	0,5	3	91,5	0,55	[3]
	24	0,1	0,3	61	n.a.	[5]
	n.a.	3	41,5	85	49,4	[11]
	12	8,74	18,9	n.a.	3,83	[13]
Cr	24	1	50	n.a.	45	[12]
Cd	3	9	100	n.a.	15,65	[10]
	n.a.	3	22,5	90	11,56	[11]
	12	8,74	18,9	n.a.	1,05	[13]

#### 3.2.1. Áztatásos poharas kísérletek

Az átfolyás során várható adszorpciós tulajdonságok becslésére először tiszta homok, majd zaccal kevert homok töltetek felhasználásával áztatásos poharas kísérleteket végeztem (12.-13 ábra). A kísérletek során a töltetekre a vizsgált fémek sójából készített modelloldatokból egy-egy sorozat került a rázógépre. Ezekből rendre 15, 30, 60 és 120 perc elteltével vettem mintát. Az utolsó mintavételi pontot az irodalomban olvasható kinetikai vizsgálatok alapján határoztam meg, melyek szerint az adszorpciós egyensúly beállása ehhez hasonló rendszerekben általában 120 perc alatt történik meg. [4][10][12]

Az előzetes mérések alapján meghatároztam a két anyag átlagos sűrűségét. Homokra ez az érték 1,51 g/ml, zaccra 0,35 g/ml volt. A zacc bekeverése a hidraulikai mérésekhez hasonlóan térfogatarányosan történt. A fenti értékekkel számolva a bemérés után minden lombikba 6,62 ml adszorbent tettem. Tiszta homok esetén ez 10 g homokot, keverék esetén 8 g homokot és 0,5 g zaccot jelet. A lombikokba az adszorbens mellé 100 ml 10 mg/L koncentrációjú fémoldat került. A rázatás összesen 120 percig zajlott, 125 rpm fordulatszám mellett.

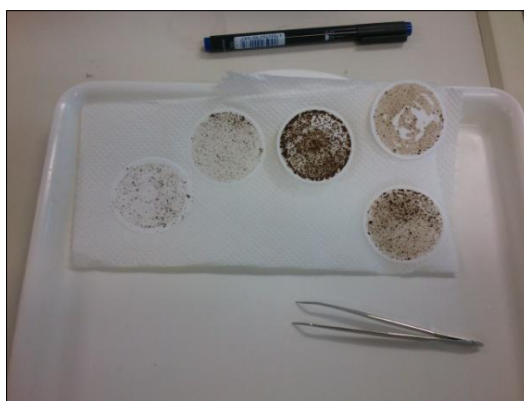


**12. ábra Ráztatás tiszta homokkal**



**13. ábra Ráztatás homok-zacc keverékkel**

A tiszta homokkal végzett kísérlet során a mintavétellel együtt megvalósult az adszorbens és az oldat elválasztása is, míg a zaccos mérések esetében ehhez külön le kellett szűrni minden mintát (14. ábra), lehetőleg a mintavétel után azonnal, hogy az érintkezési idő valóban csak 15, 30, 60 illetve 120 perc legyen. A szűrés az adszorpció megállítása mellett a további fotometriás mérések zavartalansága miatt is szükséges volt.



**14. ábra Szűrés utáni maradék**

A mintavétel után szükséges volt mintákat megfelelő arányú hígítása, hogy az így kapott koncentrációk fotometriás fémtesztek méréstartományába essenek (réz és cink esetén 10x, króm esetén 20x). A hígítások után a fémkoncentrációt fotometriásan mértem.

Készülék: Universalphotometer NANOCOLOR 400D

Universalphotometer NANOCOLOR 500D

Küvetthossz: 5 mm

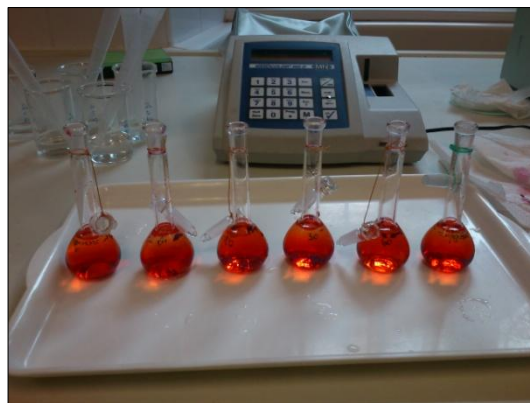
Módszer: Cink: Teszt 1-95 méréstartomány: 0,02-1,50 mg/L

Réz: Teszt 1-53 méréstartomány: 0,01-2,00 mg/L

Kromát: Teszt 1-25 méréstartomány: 0,01-0,45 mg/L Cr(VI)



15. ábra Réz mérése fotometriásan



16. ábra Cink mérése fotometriásan

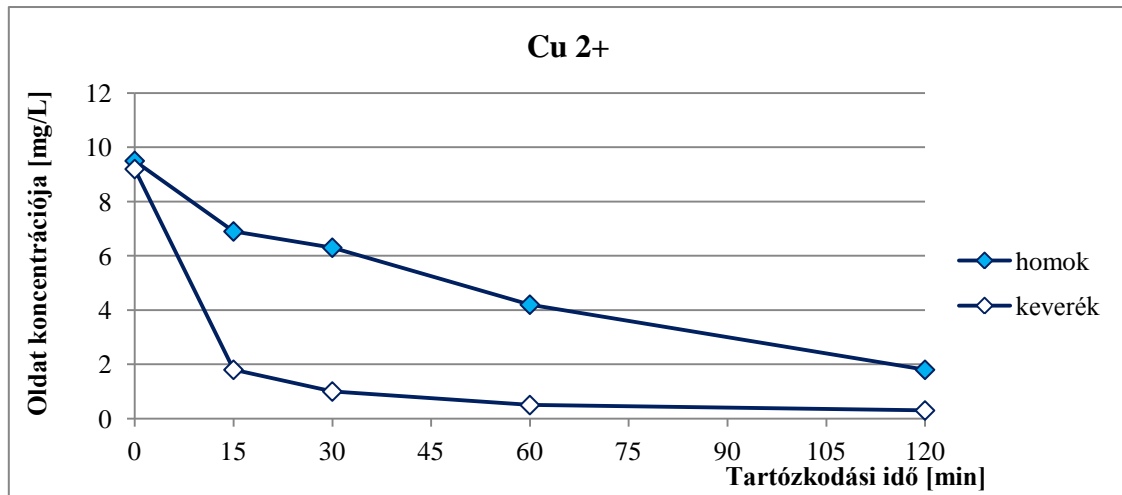


17. ábra Króm mérése fotometriásan

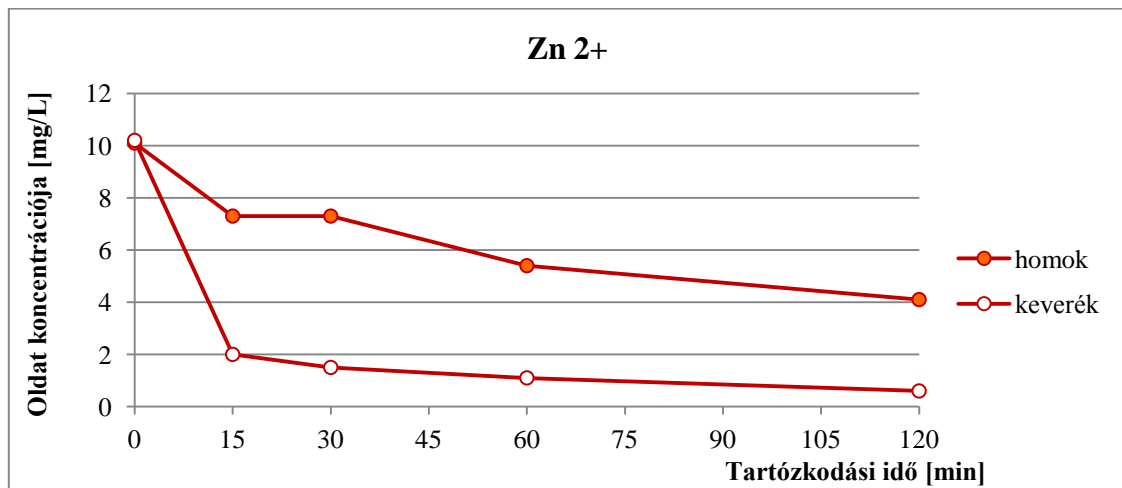
A rázatásos kísérletek eredményeit az 18-20. ábrák szemléltetik. A réz-, és cinkionok – feltehetőleg hasonló szerkezetüknek köszönhetően – közel azonos adszorpciós viselkedést mutatnak, bár a réz esetében rendre alacsonyabb eredményeket kaptam, ami nagyobb affinitásra utal. 120 perc elteltével az oldatokban mért cinkkoncentráció 0,6 mg/L, a rézkoncentráció 0,3 mg/L volt.

A króm hatértékű ionként a szilikátos szerkezetű homokhoz szinte egyáltalán nem kötődött. A szakirodalom alapján a zacc képes a krómot is megkötni, ezért arra számítottam, hogy keverék esetén a króm visszatarthatás a homokhoz viszonyítva jobb lesz. Azonban a szakirodalmi adatokkal ellentétben a króm(VI) koncentráció még 20 tf% zaccarány mellett is szinte alig változott. Tehát méréseim nem támasztották alá az irodalomban található megfigyeléseket, adatokat. Feltételezésem szerint ez azért lehetséges, mert a króm – cinkhez és rézhez képest – eltérő tulajdonságából ered, hiszen a króm hatértékű fém.

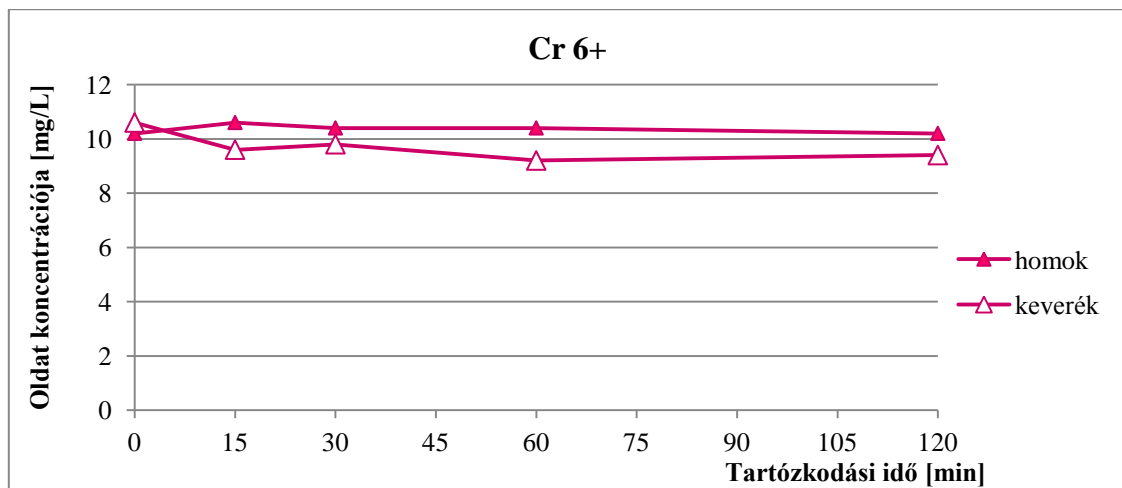
18. ábra Rézadszorpció alakulásának összehasonlítása áztatásos kísérletekben



19. ábra Cinkadszorpció alakulásának összehasonlítása áztatásos kísérletekben



20. ábra Krómadszorpció alakulásának összehasonlítása áztatásos kísérletekben



Mivel a króm esetében nem tapasztaltam számottevő visszatartást a zaccal kevert homok esetén sem, az átfolyásos kísérleteket a továbbiakban csak cinkre és rézre végeztem el.

A mérésekből kapott eredmények segítették a későbbiekben kivitelezett átfolyásos kísérletek megtervezését. A kapott adatok jó kiindulási alapot képeztek az adszorbensek



(homok, homok-zacc) adszorpciós kapacitásának, az adszorpciós-görbék kiméréséhez szükséges átengedendő oldatok mennyiségének és koncentrációjának előzetes becsléséhez. Bár fontos kiemelni, hogy a két mérés az eltérő alapelv és a kivitelezési körülmények miatt nem hasonlítható össze, és a kapott információk átfolyásra történő alkalmazása is megfelelő körültekintést igényel.

### 3.2.2. Átfolyásos oszlopos kísérletek

A töltött oszlopokon végzett átfolyásos kísérletek keretében arra a kérdésre kerestem a választ, hogy folyamatos terhelés esetén milyen a zaccal kevert homok adszorpciós teljesítőképessége. A méréseket a rázatáshoz hasonlóan itt is a tiszta homok adszorpciós tulajdonságainak vizsgálatával kezdtem. A kísérletek során a tiszta homok töltetet ebben az esetben is 20 tf% zacc-homokkal hasonlítottam össze. A kis (45 ml) térfogatú tölteten a folyamatos terhelés melletti adszorpciós viselkedés és a telítődés kimérése volt a cél.

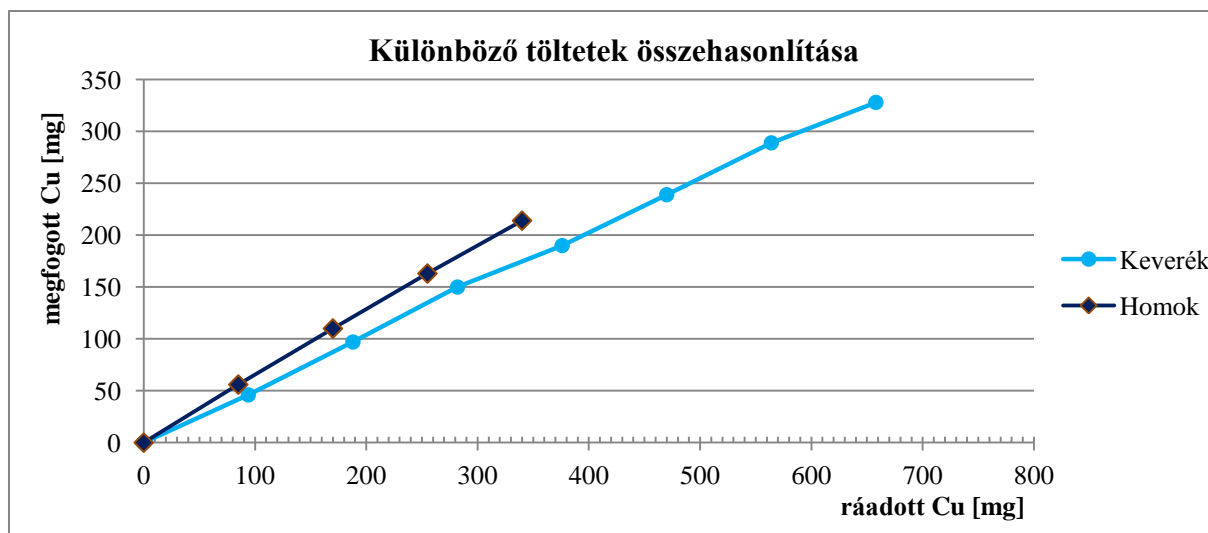
Első lépésben a modelloldat áramoltatását vízsugárszivattyúval segítetttem annak érdekében, hogy fajlagosan minél több oldat juthasson át a tölteten és így a telítődés belátható időn belül bekövetkezzen.

Az ily módon nyert adatok ennél a nagy térfogatáramnál (0,25 L/min) a töltet kis térfogata miatti nagyon kicsi tartózkodási időből adódóan (0,1 perc), nem mutattak nagy eltérést, a görbék egymáshoz közel haladnak a homok és a keverék esetén. Illetve a telítődést csak a cink esetében sikerült elérni. (21-22. ábra)

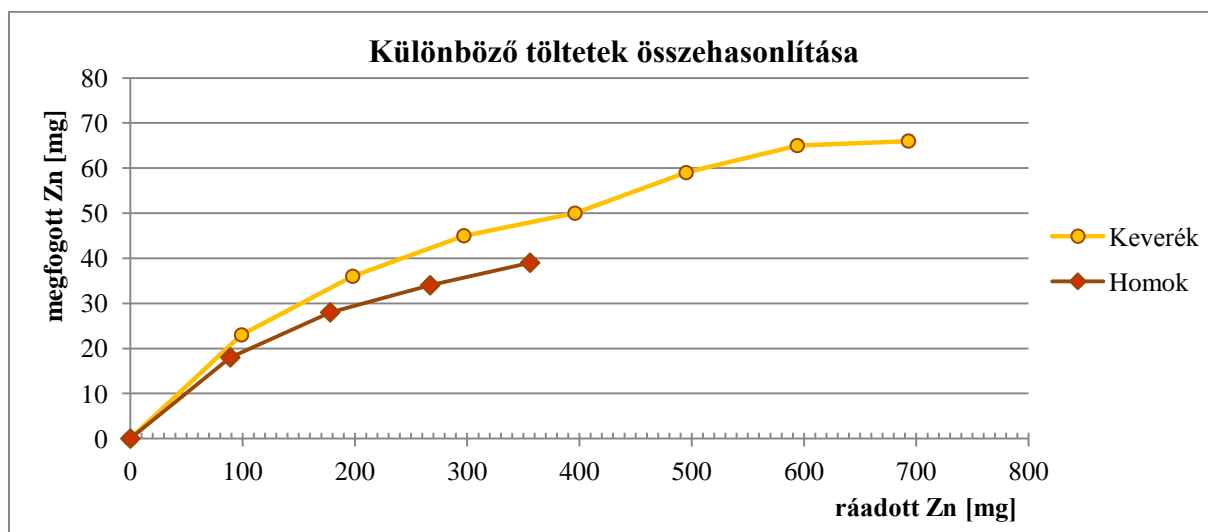
Érdemes kiemelni, hogy réz esetében a homoktöltet – az előzetes várakozásokkal ellentétben – jobban teljesített, mint a zaccos keverék. Ennek magyarázata feltételezésem szerint az, hogy a gyors áramlás miatt az ionoknak nem állt rendelkezésre megfelelően hosszú tartózkodási idő a megkötődéshez. Az ionoknak az adszorbens felületén való megkötődéséhez ugyanis időre van szükség, amihez képest a 0,1 perc nagyságrendű tartózkodási idő valószínűleg kevésnek bizonyult.

A keverékkel végzett rövid, 0,1 perces tartózkodási idő mellett végzett átfolyásos méréseknél is megjelent a réz esetén a korábbi áztatásos kísérletek során megfigyelt nagyobb affinitás. Míg a cinkoldatnál a ráadott 700 mg környékén már telítődésbe hajlik a görbe, réznél vizsgálva ugyanezt a pontot a görbe még lineárisan halad felfelé, tehát mérés során nem sikerült elérni a telítődést, tehát még van rendelkezésre álló kapacitás az adszorbens felületén.

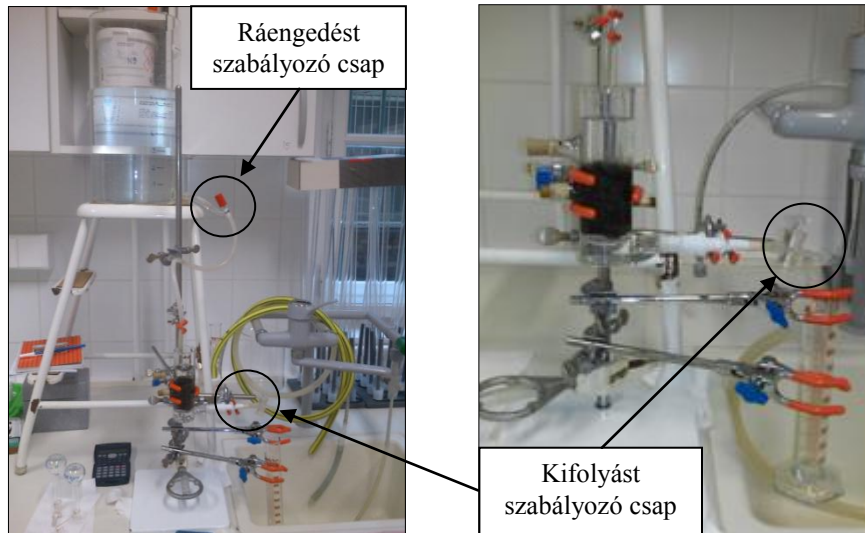
21. ábra Gyors, átfolyásos kísérletek eredményei rézoldal esetén



22. ábra Gyors, átfolyásos kísérletek eredményei cinkoldal esetén



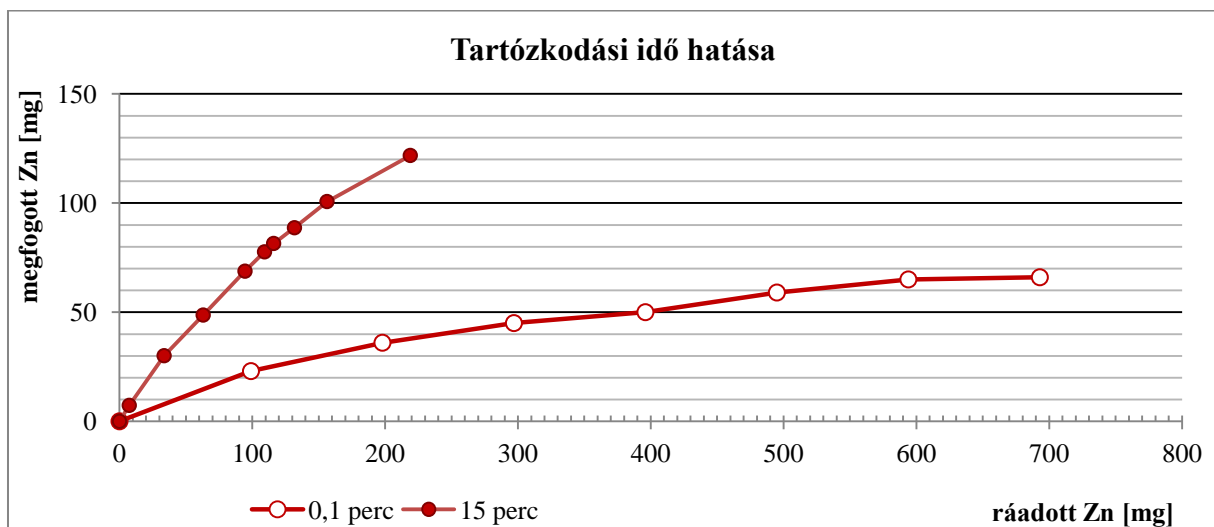
Mivel rövid tartózkodási idő mellett az eredmények nem szemléltették a kétféle töltet közötti – áztatás során korábban tapasztalt – különbséget, a kísérleteket megnövelt, 15 perces tartózkodási idővel is elvégeztem 10 mg/L koncentrációjú cinkoldatot alkalmazva. A 15 percet ebben az esetben az áztatásos kísérletek első mintavételi pontja alapján határoztam meg. A kísérleti berendezést felépítését az 23. ábra szemlélteti. A megfelelő tartózkodási idő és az áramlás folyamatosságának biztosítása érdekében a mintaoldat ráengedését és kifolyását is csappal szabályoztam.



23. ábra Átfolyásos kísérletek

Nagyobb, 15 perces tartózkodási idő biztosításakor a 0,1 perc esetén kimért összes megfogott fém mennyiségére kapott 66 mg-nál jóval nagyobb érték várható. A számottevő különbség – közel duplázódás (121 mg) – oka vélhetően többféle jelenség együttes hatására vezethető vissza.

24. ábra A tartózkodási idő hatása átfolyásos kísérletekben



A hidraulikai magyarázat szerint gyors átfolyásnál a nagy sebesség miatt az áramlási tér heterogénné vált, és így a szivárgás bizonyos térrészekben (pl.: az üvegfal mentén) intenzívebb volt. Ennek következtében az oldat a töltetnek csak bizonyos részével érintkezett számottevően, így az adszorpciós kapacitás jelentős része kihasználatlanul maradt.

Egy másik elképzelhető magyarázat inkább a kinetika felől közelíti meg a jelenséget. Eszerint a nagy tartózkodási idő lehetőséget ad az ionoknak olyan kötőhelyekre is eljutni, amelyek gyors áramlás esetén nem vagy csak nehezen hozzáférhetőek.

12. táblázat Becsült adszorpciós kapacitás cinkre és rézre

Kapacitás [kg/t]		
	0,1 perc	15 perc
Zn	1,20	2,22
Cu	5,96	nincs mérve

#### 4. Konkrét alkalmazás adszorbensként csapadékvíz szikkasztásnál

Az elvégzett hidraulikai és adszorpciós kísérletekből kapott eredmények segítségével már részletesen vizsgálható a csapadékvíz szikkasztására szolgáló folyamatos átfolyású töltetkialakítás megvalósíthatósága. A számításokat ebben a fejezetben minden esetben 20%-os töltetre vonatkozó adatokkal végzem el.

##### 4.1. Szikkasztó tározó méretezési szempontjai

A hidraulikai vizsgálatokból kiderült, hogy a városi csatornaszemekbe helyezhető adszorber töltésként való alkalmazás nem valósítható meg, mivel a mértékadó csapadékból származó vízhozamból adódó terhelést a zaccos töltet nem képes elvezetni. Emiatt a továbbiakban egy olyan lehetőséget ismertetek, ahol nem követelmény a beérkező víz gyors elvezetése, gyors tisztítása, és a hatékony adszorpcióhoz szükséges nagyobb tartózkodási idők is biztosíthatók.

Lakott területen kívül, főleg gyorsforgalmi utak, autópályák esetében az úttest gyors vízmentesítésekor lefolyó csapadékvizet jellemzően tározzák, párologtatják, illetve szikkasztják. Erre általában megfelelő műtárgyakban vagy természetes/mesterséges árkokban kerül sor. [9] Ezekben a létesítményekben elegendően nagy tartózkodási idő biztosítható a zaccal történő nehézfém adszorpcióhoz.

A töltetmennyiség meghatározásánál két szempontot kell szem előtt tartani.

1. a töltet képes legyen elvezetni a mértékadó csapadékmennyiséget
2. elegendő mennyiségű legyen a befolyó csapadékvíz megtisztításának hosszútávú (pl.: egy év) kiszolgálására.

Ezen két cél összehangolása – a szikkasztó méretezésekor – az alábbi négy paraméter ismeretében lehetséges:

1. a kezelendő csapadékvíz mennyisége (mértékadó/elvezetendő; éves összes)
2. az összegyülekező csapadékvíz nehézfém-koncentrációja
3. az alkalmazandó töltet egyes nehézfémekre vonatkoztatott adszorpciós kapacitása
4. az elfolyó víz minőségére vonatkozó előírások

A hidraulikai méretezéshez figyelembe veendő mértékadó csapadékvíz lefolyás megbecsüléséhez *Kállai* diploma dolgozatát vettem alapul. A számítás átlagosan 50-80 cm mélységű szikkasztókar vonatkozik. Alapja ebben az esetben egy átlagosnak mondható fiktív pályaszakasz, melynek hossza 5 km, teljes keresztmetszete pedig 35 m. Az egyszerűség kedvéért feltételezzük, hogy a domborzati viszonyokból adódóan a tározó csak a kisajátítási terület vizeit gyűjti, a külső területről származó vizeket nem. Átlagos lefolyási tényezővel ( $\alpha=0,7$ ) és 0,5 méteres tározómélységgel elvégezve a számítást az 13. táblázatban látható értékeket kapjuk. [9]

13. táblázat Tározandó csapadék mennyisége [m<sup>3</sup>]-ben egy fiktív útszakaszon

Időtartam [min]	2 éves	4 éves	10 éves	20 éves
10	<b>1490</b>	1980	2575	3226
20	1822	2405	3247	3890
30	2050	2694	3638	4340
60	2506	3271	4417	5233
120	3064	3971	5363	6310
180	3446	4449	6008	7040
360	3748	4815	6382	7909
480	3981	5129	6818	8475
720	4335	5608	7485	9341
1080	4720	6131	8216	10296
1440	5014	<b>6532</b>	<b>8778</b>	11032

[9]

A jelenleg érvényes műszaki irányelv (MI 10 167-1) szerint külterületen az útfelületre hulló csapadékból származó vízmennyiség számításához a *tízperces időtartamú és kétéves gyakoriságú* záporintenzitás értékét használják.

Ezzel szemben alternatív méretezési eljárások szerint a belvizes, erősen veszélyeztetett területeken 4 éves visszatérésű, 1 napos csapadéokra, a közepesen és mérsékelt veszélyes területeken pedig 10 éves visszatérésű, 1 napos csapadéokra lenne érdemes méretezni. [9] Számításaimat a továbbiakban csak a jelenleg érvényes irányelvben meghatározott mértékadó csapadékindenzitásra végzem el.

Azt vizsgálva, hogy milyen hatással lesz a szűrőréteg elhelyezése a szikkasztó működésére a következő megállapítások tehetők. Ha fent említett 0,5 m-es vízborítást feltételezzük a tározó területe átlagosan 2980 m<sup>2</sup>. A mértékadó 1490 m<sup>3</sup>-es értéket 10 perccel osztva 2,48 m<sup>3</sup>/s-os térfogatáramot ad. Ha ezt az átlagos mérettel leosztjuk, megkapjuk a szivárgási sebességet, ami  $8,32 \cdot 10^{-4}$  m/s.

Ezt összevetve az hidraulikai méréseknél 20%-os, 3 napos száradás utáni töltetre vonatkozó  $2,95 \cdot 10^{-5}$  m/s szivárgási sebességgel azt kapjuk, hogy a tározóba érkező víz harmincszor lassabban fog elszivárogni, mint a beérkezési sebesség.

Az éves tisztítandó mennyiség ugyanerre a feltételezett útszakaszra az éves csapadékmennyiség ismeretében határozható meg. Magyarországon az éves átlagos csapadékmennyiség 500-750 mm. [33] Ez éves szinten  $\alpha=0,7$  lefolyási tényezővel számolva  $76\,562\text{ m}^3$  kezelendő csapadékvizet jelent.

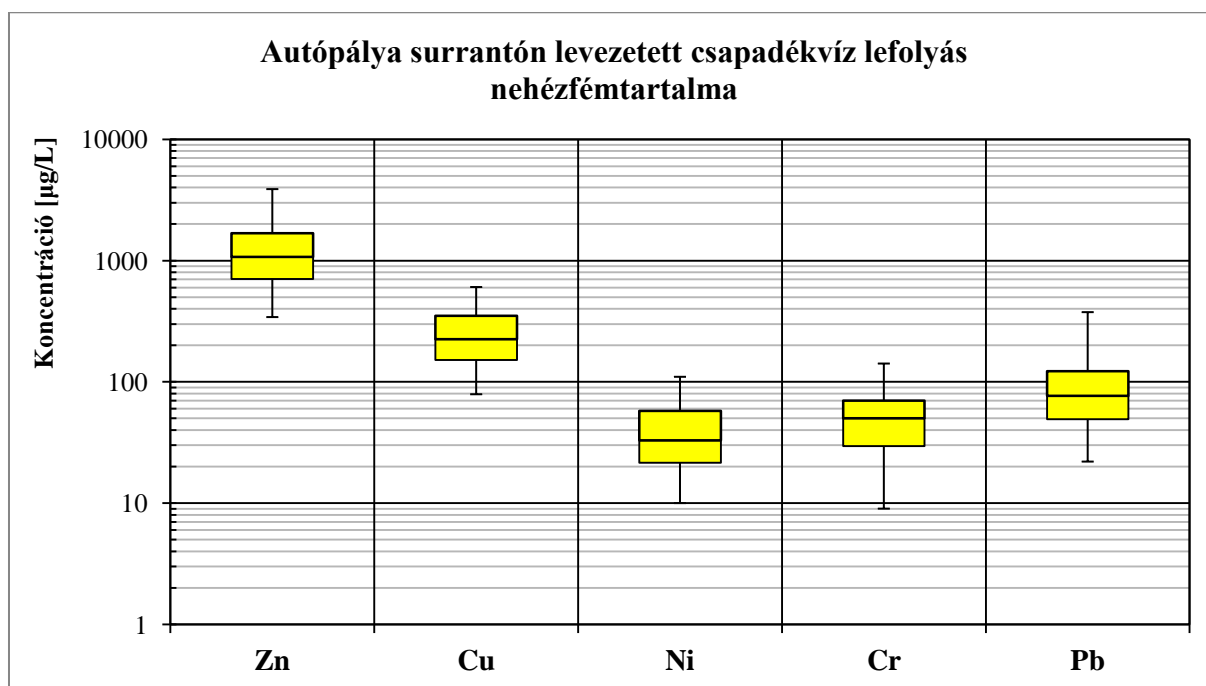
A közúti közlekedésből származó, csapadékvizekben megtalálható nehézfémek mennyiségére hazai viszonyok között számszerű adatok *Budai* doktori értekezésében található. [14] A dolgozatban szereplő városi és közterületi utacról, illetve autópálya surrantókból vett vízminták adatai közül az utóbbiakat használtam fel. Ezeket az értékeket a

14. táblázat és a 25. ábra összegzi.

**14. táblázat Autópálya surrantón levezetett csapadékvíz lefolyás nehézfém-tartalma (Budai)**

[ $\mu\text{g/L}$ ]	Zn	Cu	Ni	Cr	Pb
Minimum	342	79	10	9	22
25 %-os percentilis	707	152	22	30	49
Medián	1001	205	31	41	74
75 %-os percentilis	1606	331	56	61	120
Maximum	3812	585	108	132	373

**25. ábra Autópálya surrantón levezetett csapadékvíz lefolyás nehézfém-tartalma**



[14] alapján saját szerkesztés

A tározóba érkező lefolyó csapadékvíz koncentrációja azonban nem egyenletes, időben változó. Kezdetben – a beérkező teljes térfogat első kb.10%-ban – nagyobb koncentrációértékek figyelhetők meg az ún. „First flush” jelenség miatt. A kezelés szempontjából ennek a csapadékvíz folyamatos utánpótlása esetén a koncentrációkiegyenlítő hatás miatt nincs nagy hatása.

Az éves vízmennyiség és koncentráció adatokból a továbbiakban egy éves időszakban tapasztalható átlagos viszonyok feltételezése mellett a mediánnal számolva megkaphatjuk az összes megköthető nehézfém mennyiséget kilogrammban:

**15. táblázat Összes megköthető fém mennyisége kilogrammban**

[kg]	Zn	Cu	Ni	Cr	Pb
Medián	76,64	15,66	2,37	3,1	5,66

Csapadékesemény idején a szikkasztó tározóba érkező csapadékvíz nem egyenletes sebességgel halad át a tölteten. A folyadék főtömege kezdetben gyorsabban majd – a csökkenő vízszlopmagasság miatt – egyre lassabban jut át a szűrőrétegen, emiatt a tartózkodási időben a teljes mennyiséget tekintve nagy eltérések lehetnek. Ezért a csapadékvíz tisztításához szükséges töltetmennyiség meghatározására vonatkozó számításaimat, a rövid (0,1 perc) és hosszú (15 perc) tartózkodási időhöz tartozó kapacitásértékekkel egyaránt elvégeztem.

Az általam vizsgált töltet cinkre és rézre vonatkozó adszorpciós kapacitásának becsléséhez mérési adataimból indulok ki. A rövid és hosszú tartózkodási időhöz tartozó adatokat a kísérletek során maximálisan elért adszorbeált fém mennyiségek és a töltet tömegének ismeretében számítottam ki.

Az éves vízmennyiség, a koncentráció és a töltet egyes fémekre vonatkoztatott adszorpciós kapacitásának ismeretében becsülhető az a töltetmennyiség (17. táblázat), amely képes lesz az előírásoknak megfelelő mértékben kivonni a csapadékvízben megtalálható nehézfémeket. A felszíni vizekre érvényes határértékeket „A felszíni víz vízszennyezettségi határértékeiről és azok alkalmazásának szabályairól” szóló **10/2010. (VIII. 18.) VM rendelet** 3. melléklete” tartalmazza. (16. táblázat)

**16. táblázat Egyéb specifikus szennyező anyagok környezetminőségi határértékei**

[µg/L]	(90%-os tartósság alapján)
Oldott cink	75
Oldott réz	10
Oldott króm	20

**17. táblázat Előírásoknak megfelelő fémmentesítéshez szükséges töltet mennyisége egy éves időszakra**

	Teljes töltet tömege [t]			Töltetben a zacc tömege [kg]		
	Zn		Cu	Zn		Cu
	min	max	min	min	max	min
Medián	59,08	31,96	2,50	3240	1750	140

Az anyagmennyiség ismeretében pedig a geometriai elrendezésre, azaz a szikkasztó tározó kialakítására már készíthető irányadó javaslat. Mivel a számított töltetmennyiség fajlagosan az amúgy is legnagyobb koncentrációban előforduló cink eltávolítása esetén a legnagyobb a kialakítás során a cinkre vonatkozó anyagmennyiséget veszem mértékadónak. Ha a tározó területét továbbra is 2980 m<sup>2</sup>-nek feltételezzük, ez a közel 59 tonnás töltetmennyiség kb. 15 cm-es rétegvastagsággal teríthető kis a teljes felületre.

Mivel a kísérleteket az idő rövideje miatt csak cink és réz esetében végeztem el, a töltet további három nehézfémre (Ni, Cd, Pb) vonatkoztatott teljesítményének megállapítása a további kutatási feladatok között említhető.

Miután kiszámítottam az egy tározóban felhasznált töltet, ezen belül, zacc mennyiségét, a teljes magyar gyorsforgalmi úthálózat hosszának ismeretében felső becslés adható az összes felhasználható kávézacc mennyiségére vonatkozóan is. Az hazai gyorsforgalmi úthálózat (autópályák, autótutak) hossza 1 272,6 km. [34] Ha feltételezzük, hogy a csapadékvíz-kezelés szikkasztók segítségével történik a teljes útszakaszon, összesen 255 db szikkasztóra van szükség. Ha minden szikkasztóba a meghatározott mennyiségű töltet kerül elhelyezésre összesen 14200 tonna homokra és 826 tonna zaccra van szükség évente.

#### **4.2. A szikkasztó tározó üzemeltetése és fenntartása**

A tározó fenntartása szempontjából fontos kérdés, hogy mennyi idő után merül ki a töltet fémfelvevő-képessége, illetve hogy a nagy szervesanyag-tartalmú töltetben a sorozatos átnedvesedés-száradás nyomán milyen degradációs folyamatok indulnak el és ez hogyan hat a töltet és az elfolyó víz minőségére. A töltet cseréjének szükséges gyakoriságát e két jelenség fogja meghatározni, de egyelőre még nem tisztázott, hogy melyik lesz közülük a korlátozó tényező.

Dolgozatomban csak a hidraulikai és az adszorpciós tulajdonságokat tanulmányoztam részletesen. A kávézaccban – nagy szervesanyag tartalma miatt – bomlás indulhat meg. Az ebből eredő hatások, változások vizsgálatára munkám során nem tértem ki. Az ilyen irányú további vizsgálatok azonban több szempontból is szükségesek lehetnek. Egyrészt fontos megismerni az adszorpciós tulajdonságok – biológiai folyamatokból eredő – változásának



dinamikáját. Másrészt a működés leírásában lényeges az elfolyó szikkasztott víz nehézfém és szervesanyag terhelésének meghatározása.

Az adszorber kimerülésének becsült időtartama a kezelendő vízmennyiség, a szennyezőanyag-koncentráció és az egyes fémekre vonatkoztatott adszorpciós kapacitás ismeretében határozható meg figyelembe véve a felszíni befogadókra vonatkozó hatályos jogszabályban szereplő határértékeket. A kapott eredmény jellemzően alsó, konzervatív becslés lesz, mivel feltételezi a csapadékvíz és a töltet közötti tökéletes érintkezést. A kimerülési pontot akkor érjük el, amikor az elszivárgó víz már nem felel meg a jogszabályban rögzített határértékeknek.

A kimerült töltetet cserélni és kezelni kell. A termikus hasznosítás a nagy homoktartalom berendezés-károsító hatása miatt nem lehetséges. Emellett megoldás lehet a lerakóra történő szállítás. Még jobb lehetőség a további hasznosítás részben vagy teljes egészében.

A tározó aljáról felszedett töltet begyűjtés és elszállítás után bizonyos fokig regenerálható. Erre megoldás lehet a sűrűségkülönbségből adódó, hidraulikánál már tárgyalt, előnedvesítésnél problémaként tapasztalt jelenség. Ha a töltetet vízzel engedik fel megfelelő keverés mellett, elegendő ülepedési időt hagyva az egyes mosási lépcsők között, a zacc a homok szemcsék közül kimosható, és a homok friss zaccal újra bekeverhető és visszahelyezhető a tározó aljába.

A kimosott zacc azonban a megkötött nehézfémek miatt veszélyes hulladéknak számít, így kezelésére két mód adódik. Mindkét esetben a zaccon kötött fémekből eredő környezeti hatások minimalizálása. Egyrészt megvalósítható a termikus hasznosítás, ügyelve a kibocsátásokban megjelenő nehézfémekre. Másrészt lehetséges veszélyeshulladék-lerakóba történő elszállítása, mivel a fémek visszanyerése ma még nem megvalósítható.

### **4.3. A kávézacc újrahasznosítás hazai lehetőségeinek vizsgálata**

Az előzőekben megbecsültem évente átlagosan mennyi zacc szükséges a teljes gyorsforgalmi úthálózatról származó csapadékvíz töltetes-szikkasztókkal történő kezeléséhez. Ezzel megkaptam a „kávézacc-kereslet” nagyságát. A kereslet kiszolgálásához azonban szükség van megfelelő nagyságú „kávézacc-kínálatra is.

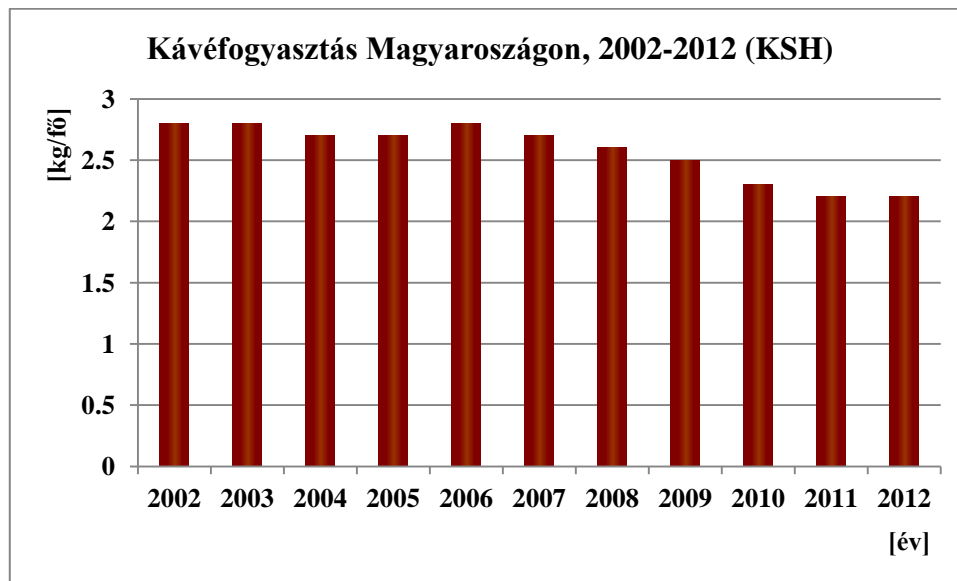
A kávézacc keletkezési mennyiségének becsléséhez először érdemes megnézni, hogy mennyi kávé fogyasztanak Magyarországon, azaz mekkora az a kávé mennyiség, melynek lefőzéséből a felhasználható zacc keletkezik.

Fogyasztási adatok több forrásból állnak rendelkezésre. A KSH „*Élelmiszer-fogyasztás alakulásáról*”, ezen belül az „*Égetett szeszes italok, kávé, tea, dohány fogyasztása, 1970–*

2012” címszó alatt közölt adatait, szűkítve a 2002 és 2012 közötti időszakra az éves fogyasztás a 26. ábrán látható. Átlagos értéke 2,57 kg/fő-re tehető, ami a lakosság 70 %-ának esetében napi 2-3 csésze kávé jelent. Magyarország teljes lakossága 2014-ben 9 877 365 főre tehető. [30] Ennek megfelelően hozzávetőlegesen 25500 tonna zacc keletkezik évente.

Egy másik forrás a Nemzetközi Kávészervezet (International Coffee Organisation), amely az egész világra közöl fogyasztási adatokat, országonkénti lebontásban. Magyarország esetében azt látjuk, hogy a fogyasztás átlagosan 1,08 kg/fő volt 2011-es adatok alapján. Ha ezt vesszük alapul, a képződő zacc mennyisége éves szinten közel 10600 tonna.

**26. ábra Kávéfogyasztás Magyarországon, 2002-2012**



**KSH adatai alapján, saját szerkesztés**

A keletkező mennyiség azonban korántsem egyezik meg a rendelkezésre álló mennyiséggel. A zacc egy része a háztartásokban keletkezik, másik része pedig különböző vendéglátó ipari egységekben (kávézó, cukrászda, étterem), munkahelyeken (irodaházak, üzemek) és a nagyobb forgalmat lebonyolító közintézményekben (hivatalok, kórházak, oktatási intézmények), valamint az ezeket kiszolgáló kávéautomatákat üzemeltető tevékenysége nyomán. Az említett szektorok között nagy lehet az átfedés.

Mivel a zacc sokféle forrásból eredhet a keletkezés területi eloszlását a begyűjtés és újraelosztás megszervezése érdekében a továbbiakban részletesebben érdemes vizsgálni, a kávézacc-hasznosítás logisztikájának pontos megtervezéséhez.

Az azonban a területi eloszlás pontos ismerete nélkül is megállapítható, hogy a statisztikai adatok alapján becsülhető kínálat (25500 tonna) mintegy harmincszorosan meghaladja a keresleti igényeket (826 tonna). Tehát a zacc szikkasztókban történő alkalmazásának nyersanyaghiányból fakadó akadálya nincs.

A megoldás gazdaságosságának vizsgálata azonban még további kutatást igényel. Kitérve a keletkezés helyéről való elszállítás az azt követő előkészítés, tárolás és újraelosztás, illetve az így kialakított szikkasztók fenntartásának költségvonzatára is.

## 5. Összegzés, következtetések

Dolgozatom során arra kérdésre kerestem a választ, hogy a kávéfogyasztás melléktermékének hasznosítása milyen formában lehetséges. A talajjavítás és az adszorpciós vízkezelés – mint a hasznosítás két főiránya – közül az utóbbit vizsgáltam részletesen utakról származó csapadékvizek későbbi tisztításának esetében.

A folyamatos átfolyós kialakítást megcélozva két lehetséges telepítési megoldást vizsgáltam: a belterületi csatornaszemekbe való telepítést, illetve a külterületi szikkasztó medencékben kialakított szűrőágyként való elhelyezést.

A hidraulikai vizsgálatok azt mutatták, hogy a töltet egyetlen keverési arány mellett sem képes kiszolgálni a belterületi csatornalefolyóktól elvárt terhelést. Ennek megfelelően ezt a lehetőséget kizárva a gyorsforgalmi utak csapadékvizének kezelésére alkalmazott szikkasztók szűrőágyaként való elhelyezést tanulmányoztam

Áztatásos és átfolyós adszorpciós kísérleteim alátámasztották, hogy a kávézacc alkalmas nehézfémek vízből való megkötésére. Az útpályáról lefolyó csapadékvízben jellemzően tanulmányozott hatféle nehézfém közül háromra végeztem méréseket (cink, réz és króm).

A cink és a réz – mint kétértékű fémek – esetében az áztatás hasonló eredményeket hozott, bár az adszorbens tiszta homok és keverék alkalmazásakor is nagyobb affinitást mutatott rézre. A króm(VI) koncentráció azonban, az irodalmi adatokkal ellentétben nem változott érdemben.

Kísérleti eredményeimet és a szikkasztók méretezéséhez használt adatokat felhasználva meghatároztam az utakról lefolyó csapadékvíz fémmentesítéséhez szükséges töltet mennyiségét. Ehhez szükség volt a mértékadó csapadékból származó vízmennyiség, az elfolyó csapadékvizek fémkoncentrációjának, a töltet egyes fémekre vonatkozó adszorpciós kapacitására és a hatályos vízminőségi előírásokra.

A megvalósíthatóság tanulmányozásakor pedig fontos szempont volt a „kávézacc-kereslet” meghatározása után a rendelkezésre álló „kávézacc-kínálat” feltérképezése, kitérve a keletkezés területi eloszlására, a begyűjtés és az újraelosztás lehetséges megoldásaira.

## Források

- [1] **P. S. Murthy, M. M. Naidu:** Sustainable management of coffee industry by-products and value addition – A review; *Resources, Conservation and Recycling* 66 (2012) 45–58
- [2] **D. Pujol, C. Liu, J. Gominho, M.A. Olivella, N. Fiol, I. Villaescusa, H. Pereira:** The chemical composition of exhausted coffee waste; *Industrial Crops and Products* 50 (2013) 423–429
- [3] **J. Seniunait, R. Vaiškunait, V. Bolutien:** Coffee grounds as an adsorbent for copper and lead removal from aqueous solutions, The 9th International Conference “ENVIRONMENTAL ENGINEERING” 22–23 May 2014, Vilnius, Lithuania SELECTED PAPERS eISSN 2029-7092 / eISBN 978-609-457-640-9
- [4] **G. Z. Kyzas, D. N. Bikiaris, M. Kostoglou, N. K. Lazaridis:** Copper removal from aqueous systems with coffee wastes as low-cost materials, *E3S Web of Conferences* DOI: 10.1051/ Owned by the authors, published by EDP Sciences, 2013, /2013012500 1 e3sconf 25004 (2013)
- [5] **T. Tokimoto, N. Kawasaki, T. Nakamura, J. Akutagawa, S. Tanada:** Removal of lead ions in drinking water by coffee grounds as vegetable biomass, *Journal of Colloid and Interface Science* 281 (2005) 56–61
- [6] **N. Azouaou, Z. Sadaoui, H. Mokaddem:** Removal of Lead from Aqueous Solution onto Untreated Coffee Grounds: a Fixed-bed Column Study, *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS VOL. 38, 2014* ISBN 978-88-95608-29-7; ISSN 2283-9216
- [7] **H. Chun and A. B. A. Kadir:** Application of Coffee Waste in Removing Zinc of River Water, *International Journal of Zero Waste Generation Vol.1,Ooi: No.1, 2013;* ISSN 2289 4497
- [8] **S. I. Mussatto, E. M. S. Machado:** Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues, *Rewiev paper, Food Bioprocess Technol* (2011) 4:661–672
- [9] **Kállai K. G.:** Autópályáról származó vizek elhelyezésének problematikája belvíz-veszélyes területeken, *Záródolgozat, Széchenyi István Egyetem* (2013)

- [10] **N. Azouaou, Z. Sadaoui, A. Djaafri, H. Mokaddem**: Adsorption of cadmium from aqueous solution onto untreated coffee grounds: Equilibrium, kinetics and thermodynamics, *Journal of Hazardous Materials* 184 (2010) 126–134
- [11] **H. Djati Utomo, K. A. Hunter**: Adsorption of heavy metals by exhausted coffee grounds as a potential treatment method for waste waters, *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology* Vol. 4 (2006) 504-506
- [12] **George Z. Kyzas**: Commercial Coffee Wastes as Materials for Adsorption of Heavy Metals from Aqueous Solutions, *Materials* (2012), 5, 1826-1840, ISSN 1996-1944 [www.mdpi.com/journal/materials](http://www.mdpi.com/journal/materials)
- [13] **H. D. Utomo, K. A. Hunter**: Particle concentration effect: Adsorption of divalent metal ions on coffee grounds, *Bioresource Technology* 101 (2010) 1482–1486
- [14] **Budai P.**: A közúti közlekedés nehézfém kibocsátásainak hatása a csapadékvizek szennyezettségére, Doktori (PhD) értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar Víz- és környezetmérnöki alprogram, Budapest, 2011
- [15] <http://www.munkajog.hu/rovatok/munkahely/kevesen-tartanak-ebedszunetet> 2014.10.05.
- [16] [http://drcoffee.hu/italautomata.html#a\\_daralos](http://drcoffee.hu/italautomata.html#a_daralos) 2014.10.05.
- [17] <http://www.edenkert.hu/elet-mod/legjobb-otthon/hogyan-hasznositsuk-a-kavezaccot-/3145/> 2014.10.11.
- [18] [http://blog.xfree.hu/myblog.tvn?n=lovaszmarika&pid=101878&blog\\_cim=A%20k%E1v%E9-zacc%20felhaszn%E1%E1sa](http://blog.xfree.hu/myblog.tvn?n=lovaszmarika&pid=101878&blog_cim=A%20k%E1v%E9-zacc%20felhaszn%E1%E1sa) 2014.10.11.
- [19] <http://www.kiskegyed.hu/kiskegyed-otthona/kiskegyed-otthona/kavezacc-sikalhatsz-vele-es-megszepulhetsz-tole-105130> 2014.10.11.
- [20] <http://thesecretyumiverse.wonderhowto.com/how-to/11-amazing-ways-reuse-used-coffee-grounds-0139758/> 2014.10.11.
- [21] **R. Cruz, P. Baptista, S. Cunha, J. A. Pereira, S. Casal**: Carotenoids of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Grown on Soil Enriched with Spent Coffee Grounds, *Molecules* (2012) 17, 1535-1547; doi:10.3390/molecules17021535
- [22] **R. Cruz, S. Morais, E. Mendes, J. A. Pereira, P. Baptista, S. Casal**: Improvement of vegetables elemental quality by espresso coffee residues, *Food Chemistry* 148 (2014) 294–299

- [23] **G. Z. Kyzas**: A Decolorization Technique with Spent “Greek Coffee” Grounds as Zero-Cost Adsorbents for Industrial Textile Wastewaters, *Materials* (2012), 5, 2069-2087; doi:10.3390/ma5112069
- [24] **M. D. Pavlovic, A.V. Buntic, K. R. Mihajlovski, S. S. Siler-Marinkovic, D. G. Antonovic, Z. Radovanovic, S. I. Dimitrijevic-Brankovic**: Rapid cationic dye adsorption on polyphenol-extracted coffee grounds—A response surface methodology approach, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, Volume 45, Issue 4, July 2014, Pages 1691–1699
- [25] **J. Roh, H. N. Umh, C. M. Yoo, S. Rengaraj, B. Lee, and Y. Kim**: Waste coffee-grounds as potential biosorbents for removal of acid dye44 from aqueous solution, *Korean J. Chem. Eng.*, 29(7), 903-907 (2012) DOI: 10.1007/s11814-011-0260-9
- [26] **Sali E.**: Csatornázás, tervezési segédlet, Budapesti Műszaki Egyetem Építőmérnöki Kar, Műegyetemi kiadó, 1990. 79.o.
- [27] **Bizzo W.**: Generation, Distribution and Use of Steam [Geração, Distribuição e Utilização de Vapor] (in Portuguese), (2003) Apostila de Curso, UNICAMP, Brasil.
- [28] [http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat\\_hosszu/elm13.html](http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_hosszu/elm13.html) 2014-10-15
- [29] <http://www.euronuclear.org/info/encyclopedia/coalequivalent.htm>
- [30] <https://www.ksh.hu/interaktiv/korfak/orszag.html> 2014-10-19
- [31] <http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/hidrogeologia/ch04s03.html> 2014-10-19
- [32] <http://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/gyor/fog/fog21408.pdf> 2014-10-19
- [33] [http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag\\_eghajlata/altalanos\\_eghajlati\\_jellemzes/csapadek/](http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/csapadek/) 2014-10-19
- [34] [http://internet.kozut.hu/szakmai/orszagos\\_kozutak\\_adatai/kozutakfojellemezoi/Lapok/default.aspx](http://internet.kozut.hu/szakmai/orszagos_kozutak_adatai/kozutakfojellemezoi/Lapok/default.aspx) 2014-10-19

#### Képek

<http://www.indukcios.com/feltoltesek/kepek/kavezacc.jpg> 2014-10-11

<http://www.thecoffeebeanshop.com/images/CoffeeBeanCloseup6beansR.jpg> 2014-10-12

[http://s1.hubimg.com/u/5279710\\_f260.jpg](http://s1.hubimg.com/u/5279710_f260.jpg) 2014-10-12