

Szintetikus szűrkevizek természetes eredetű koagulánsokkal történő kezelésnek vizsgálata

Készítette: Spisák Anna Környezetmérnöki Bsc hallgató

Témavezető: Dr. Bodnár Ildikó főiskolai tanár

Debreceni Egyetem, Műszaki Kar

Környezetmérnöki Tanszék

Budapest, 2026. március 4.

Áttekintés

1. Bevezetés, témafelvetés

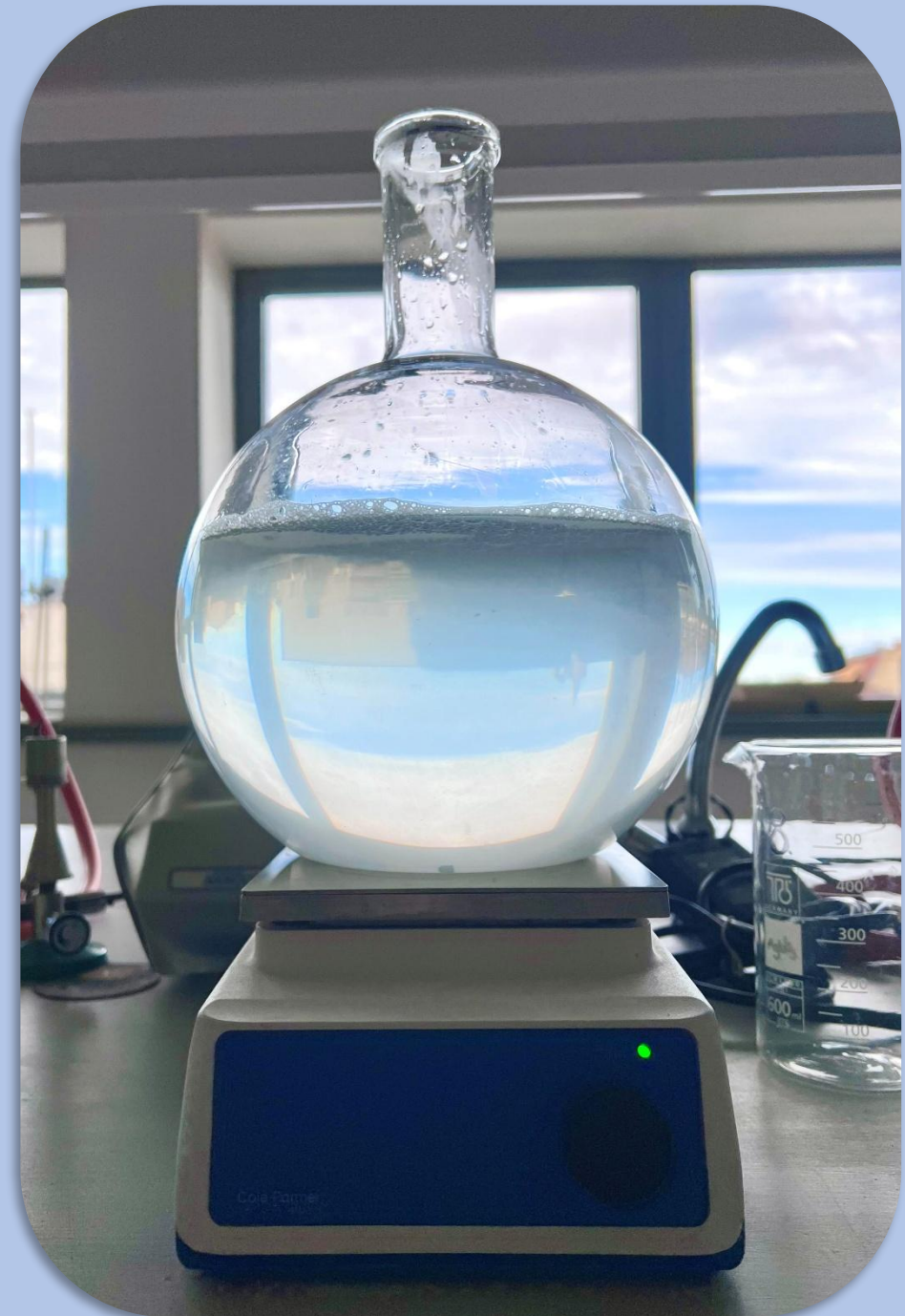
2. Szakirodalmi háttér

3. Anyag és módszer

4. Eredmények és kiértékelésük

5. Következtetések, javaslatok

6. Összefoglalás



1. Bevezetés, témafelvetés

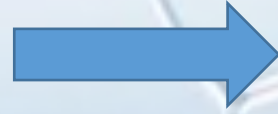
- A **víz az egyik legértékesebb erőforrásunk**, ám készletei korlátozottak, ezért fenntartható felhasználása kulcsfontosságú a környezet és a társadalom számára.
- A **háztartásokban keletkező szürkevíz újrahasznosítása** az utóbbi években egyre nagyobb figyelmet kap, mivel lehetőséget nyújt az ivóvíz használat csökkentésére és a környezeti terhelés mérséklésére.
- A szürkevíz azonban különböző **szennyezőanyagokat**, például detergenseket, olajokat és szerves anyagokat tartalmaz, akár patogéneket is így a **megfelelő kezelése** elengedhetetlen a biztonságos újrafelhasználáshoz.
- **Kutatás célja:** A hagyományos vegyi kezelőszerek alternatívájaként **természetes eredetű anyagokat** vizsgáljak a szürkevíz kezelésében, továbbá részletesen elemezzem a kezelt és kezeletlen szintetikus szürkevizek minőségi paramétereit, azok változását.



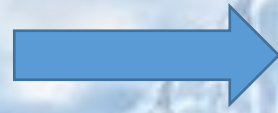
2. Szakirodalmi háttér

A szürkevíz (Greywater, GW) a háztartásokban keletkező használt víz, amely mosogatásból, fürdésből, mosásból, zuhanyzásból, kézmosásból és felmosásból származik.

Az a szennyvíz, amely a háztartásban keletkezik, és nem tartalmazza a WC öblítésére használt vizet.



HGW (High Pollutant Greywater):
mosogatás és a mosás során keletkezett vizek



LGW (Low Pollutant Greywater):
fürdésből, kézmosásból, zuhanyzásból és felmosásból származó vizek, ezeket gyakran fürdőszobai vizeknek is nevezik (BGW)

2. Szakirodalmi háttér

- A szürkevíz újrahasznosítása szorosan kapcsolódik az **ENSZ Fenntartható Fejlődési Céljaihoz**, különösen a tiszta víz és alapvető köztisztaság (**SDG 6**) megvalósításához.
- A víz hatékonyabb felhasználása és a környezetbarát kezelési technológiák alkalmazása hozzájárul a természeti erőforrások megőrzéséhez, valamint a vízhiány mérsékléséhez.
- A természetes koagulánsok vizsgálata összhangban van a **felelős fogyasztás és termelés (SDG 12) céljaival**, mivel csökkenti a vegyi anyagok használatát és minimalizálja a környezeti terhelést.
- A fenntartható megoldások alkalmazása a vízkezelésben hosszú távon támogatja a környezeti egyensúly fenntartását és a társadalmi jólét növelését.



Forrás: www.lucartgroup.com



Forrás: unis.unvienna.org

2. Szakirodalmi háttér

Mi befolyásolja a szürkevíz minőségét?

- Keletkezés helye (fürdő, mosogató stb.)
- Háztartásban élők száma, életkora
- Használt tisztítószer
- Tárolási idő
- Földrajzi, éghajlati, gazdasági tényezők

Főbb kezelési típusok:

- Fizikai: szűrés, üleptetés
- Kémiai: koaguláció, adszorpció, oxidáció
- Gyakran kombinált technológiák működnek a leghatékonyabban.

A szürkevíz újrahasználatához elengedhetetlen a megfelelő szabályozás, mivel a benne található szennyezőanyagok higiéniai és környezeti kockázatot jelenthetnek.

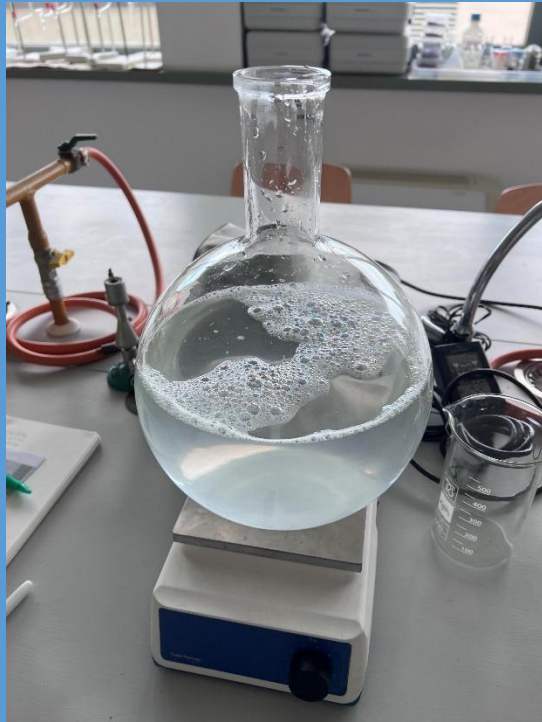
A nemzetközi irányelvek, például az US-EPA ajánlásai, részletesen meghatározzák az újrahasználatához szükséges vízminőségi követelményeket (pl. BOI, KOI, zavarosság, mikrobiológiai határértékek).



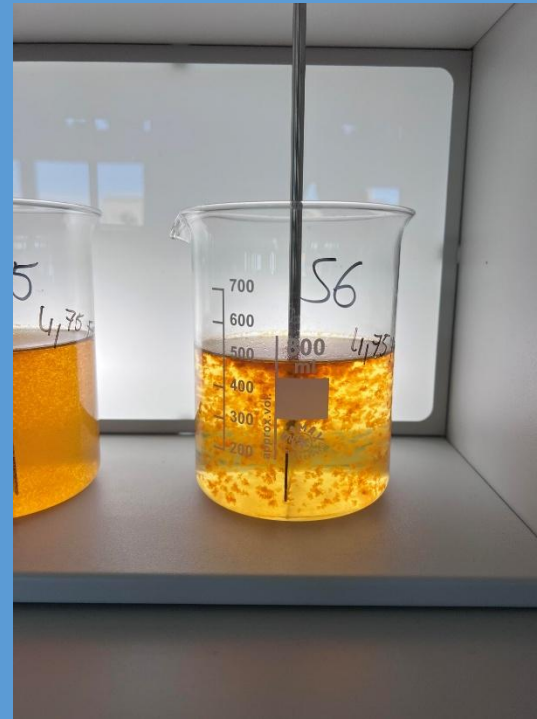
Forrás: www.epa.gov

3. Anyag és módszer

Kezeletlen szintetikus szürkevíz (szintetikus fürdővíz)



Vas-kloriddal kezelt szintetikus szürkevíz



Természetes eredetű koagulánsokkal kezelt szintetikus szürkevíz



3. Anyag és módszer

Természetes eredetű koagulánsok

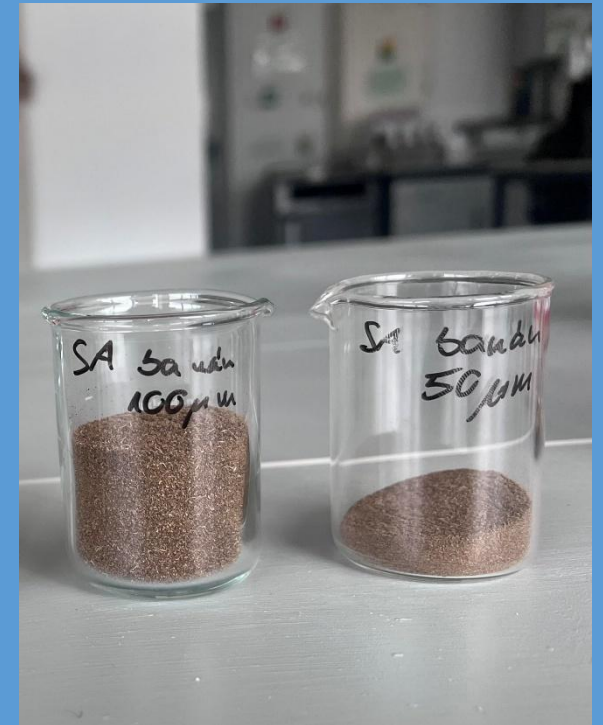
Kávézacc
(Coffee grounds)



Csicseriborsó
(Cicer arietinum)



Banánhéj
(Banana peel)



3. Anyag és módszer

Természetes eredetű koagulánsok jellemzői

Kávézacc (Coffee grounds)

A kávézacc olcsó és könnyen hozzáférhető alapanyag, amelyből hatékony adszorbens készíthető.

Nagy mennyiségben képes megkötni ammóniumot, nitrátot, nehézfémeket és szerves szennyezőket, ezért környezetbarát és hatékony alternatíva vízkezelési koagulánsként.

Csicseriborsó (Cicer arietinum)

A növényi magfehérjék olcsó, bőséges és természetes biokoagulánsok.

Fehérjéik és poliszacharidjaik hatékonyan összevonják és leülepítik a zavarosságot okozó részecskéket, így javítják a víz minőségét.

Biológiailag lebomlók, nem mérgezők, olcsón hozzáférhetőek, nem okoznak másodlagos szennyezést, a keletkező iszap pedig komposztálható.

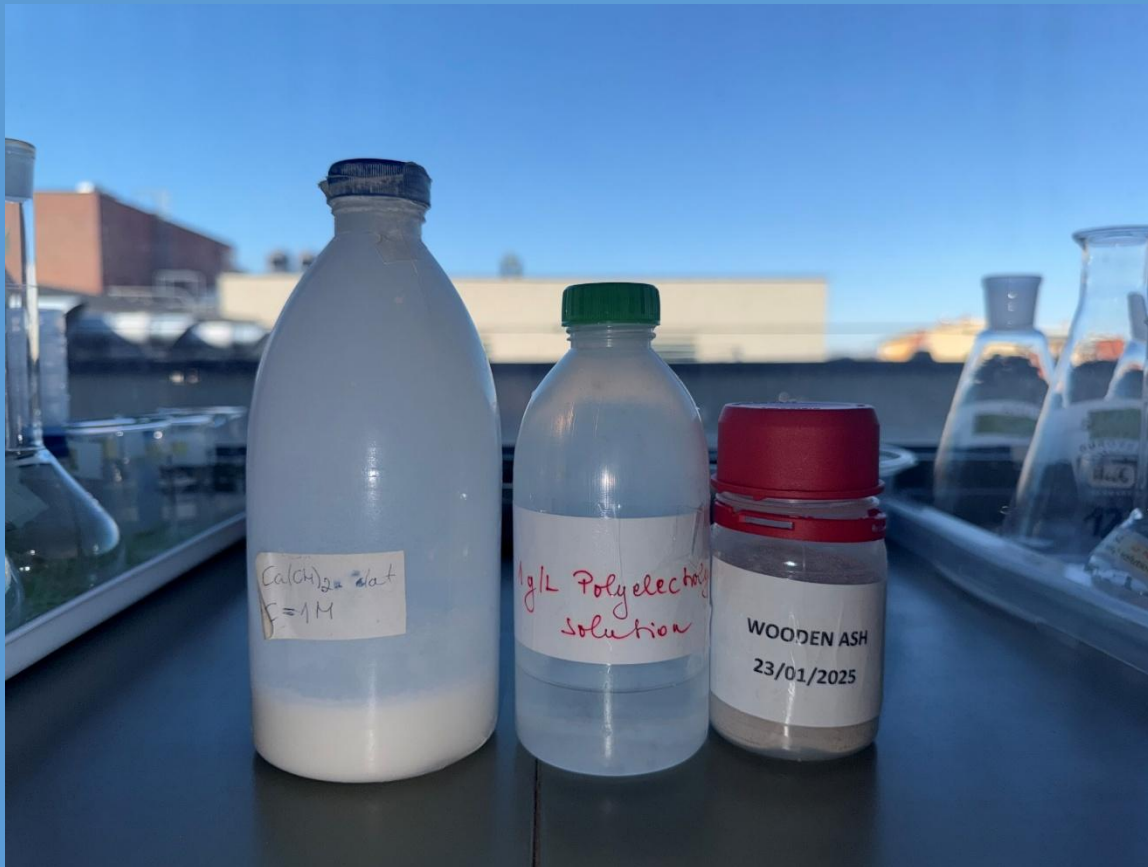
Banánhéj (Banana peel)

A banánhéj olcsó, könnyen hozzáférhető növényi hulladék, amely cellulóz-, lignin- és polifenoltartalma miatt hatékonyan semlegesíti a vízben lévő negatív töltésű részecskéket.

A belőle készült koaguláns akár 95%-kal csökkentheti a zavarosságot, miközben nem toxikus, biológiailag lebomló, nem okoz másodlagos szennyezést.

3. Anyag és módszer

További kezelőszerek (hatékonyságnövelés; koagulánsok, flokkulánsok) jellemzői



Mésztej 1 mol / l konc.

- pH-beállítás és lúgosság növelése
- Vízlágyítás
- Nehézfémek kicsapatása
- Iszapstabilizálás

Polielektrolit

kationos típus (Acefloc), 1 g/l törzsoldat

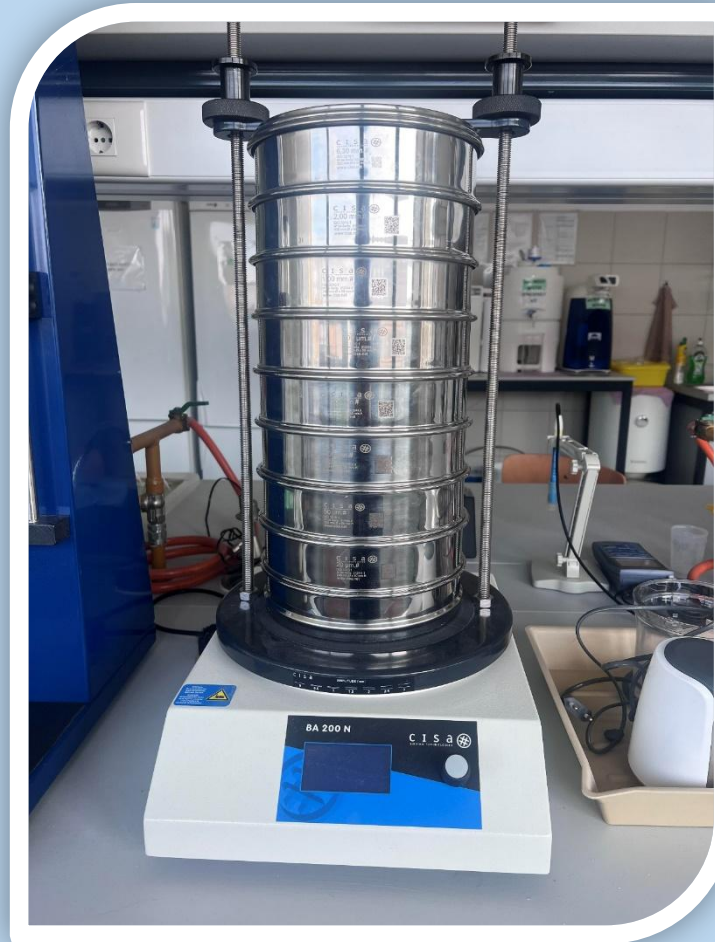
- Pelyhesítés (Flokkuláció)
- Iszapvíztelenítés
- Lebegőanyag-eltávolítás

Fahamu

- pH-emelés és semlegesítés
- Adszorpció
- Foszformegkötés

3. Anyag és módszer

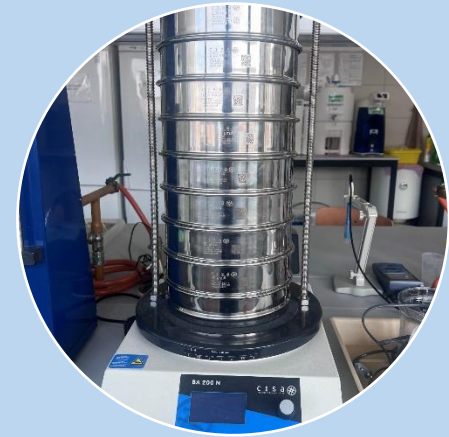
Természetes koagulánsok előkészítése és frakcionálása



3. Anyag és módszer

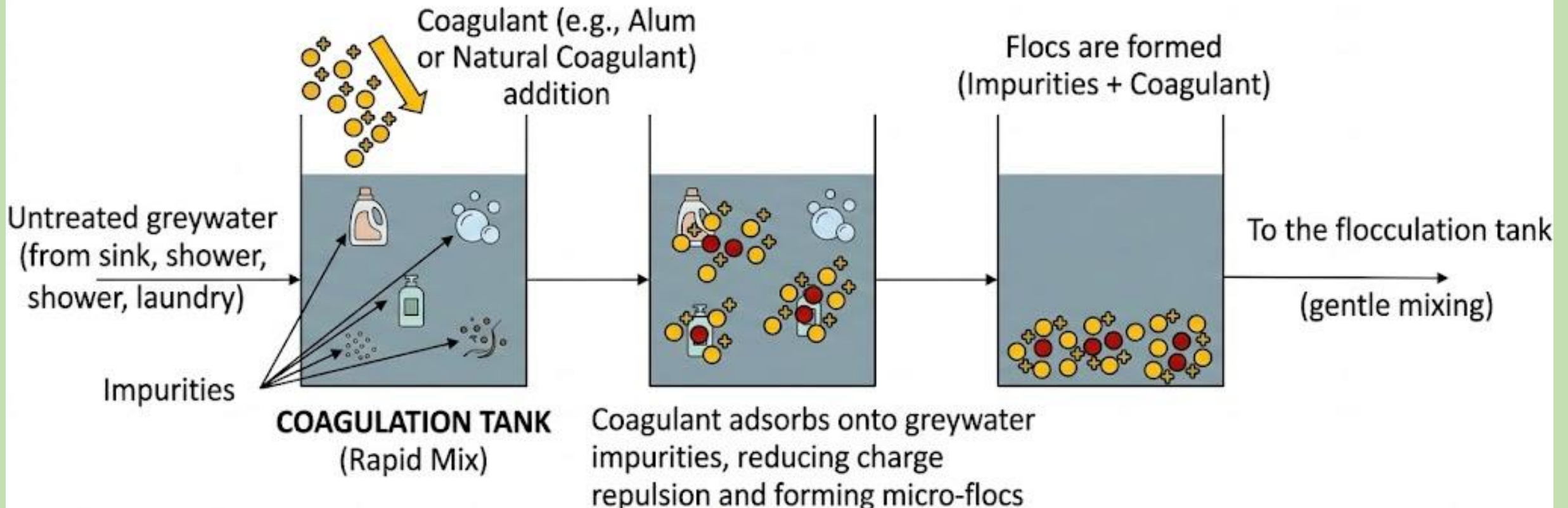
Alkalmazott vizsgálati módszerek, mért vízanalitikai paraméterek:

- pH-érték mérése
- Zavarosság mérése
- Biológiai oxigénigény (BOI) vizsgálata
- Kémiai oxigénigény (KOI) vizsgálata
- Összes szerves széntartalom (TOC) meghatározása
- Anionaktív detergens meghatározása
- Szemcseméret analízis (szitaanalízis)
- Fajlagos elektromos vezetőképesség és zéta-potenciál mérése



4. Eredmények és kiértékelésük

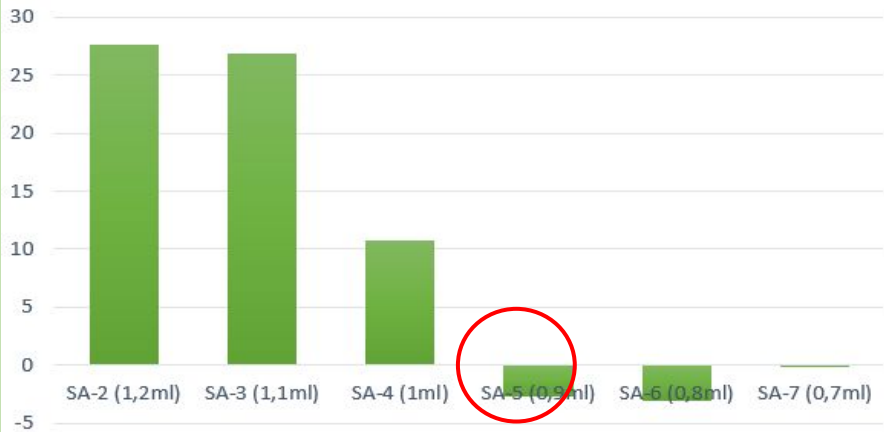
GREYWATER TREATMENT: COAGULATION STAGE (Prior to Flocculation).



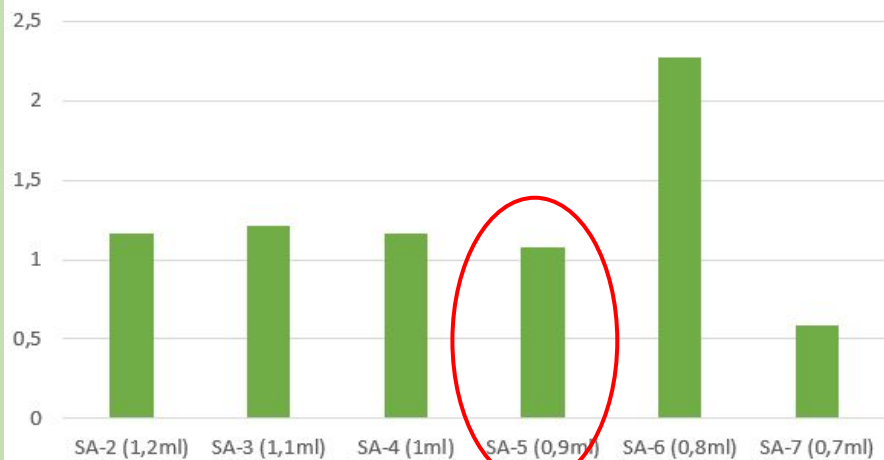
4. Eredmények és kiértékelésük

4.1. Vas(III)-kloridos kezelés, előkísérletek

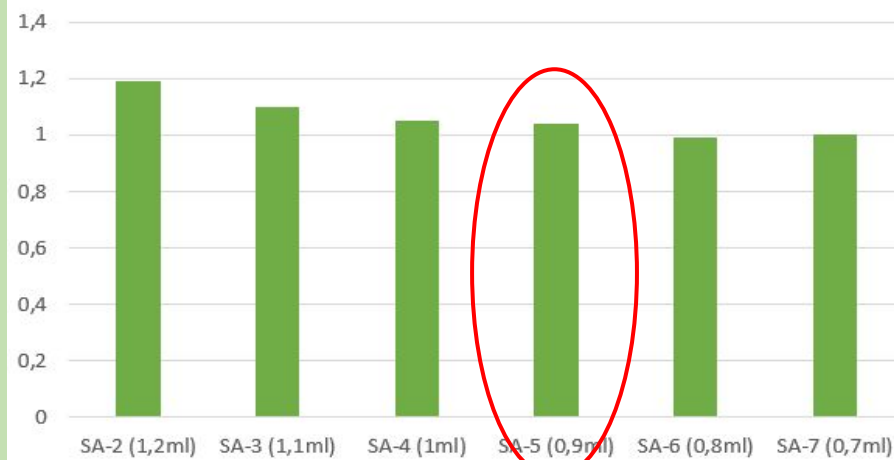
ZP (mV)



ZP,SD



EC (mS/cm)



- A mért zéta-potenciál és vezetőképességi (EC) értékek alapján a 100 ml-es GW mintára számított optimális **kezelőszerszám-dózis 0,9–0,95 ml (25 g/l konc. törzsoldatból)** között határozható meg.
- A kontrollminták lehetővé teszik, hogy pontosan meghatározható legyen, a különböző koagulánsok — például a vas(III)-klorid és a természetes eredetű anyagok — miként befolyásolják a víz fizikai és kémiai paramétereit.

4. Eredmények és kiértékelésük

4.2. Vas(III)-kloriddal végzett flokkulátoros kísérletek eredményei



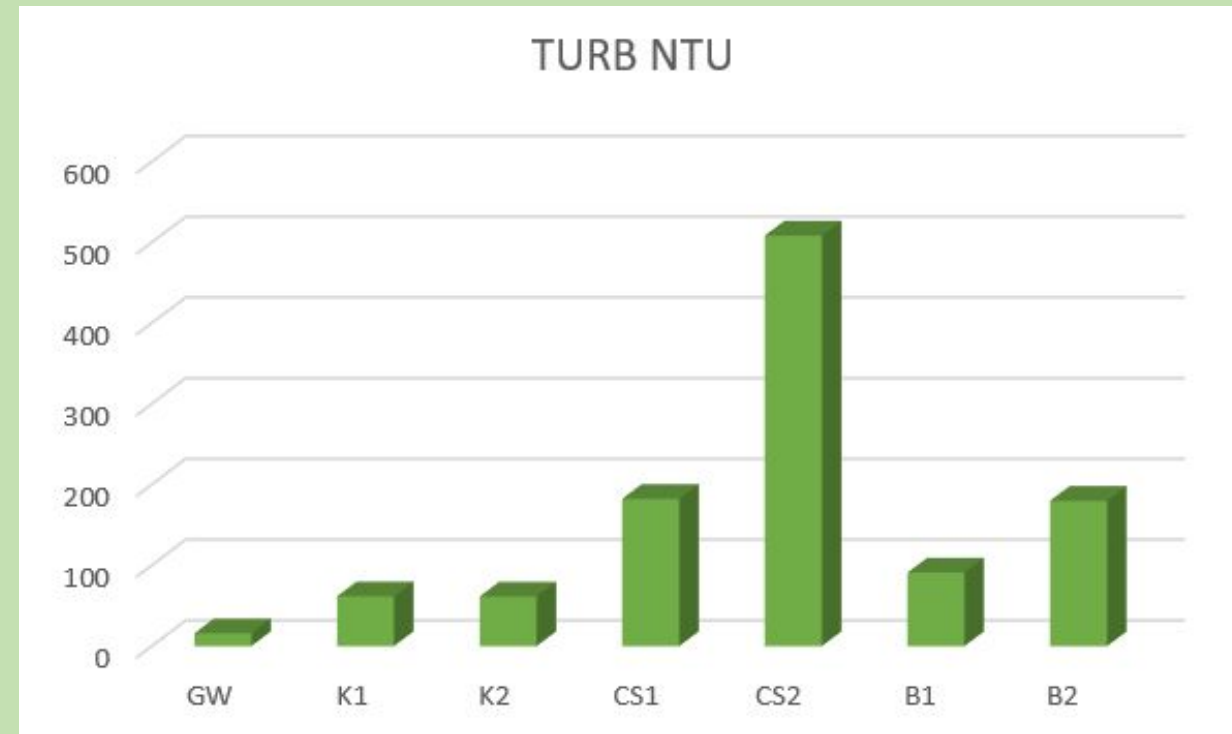
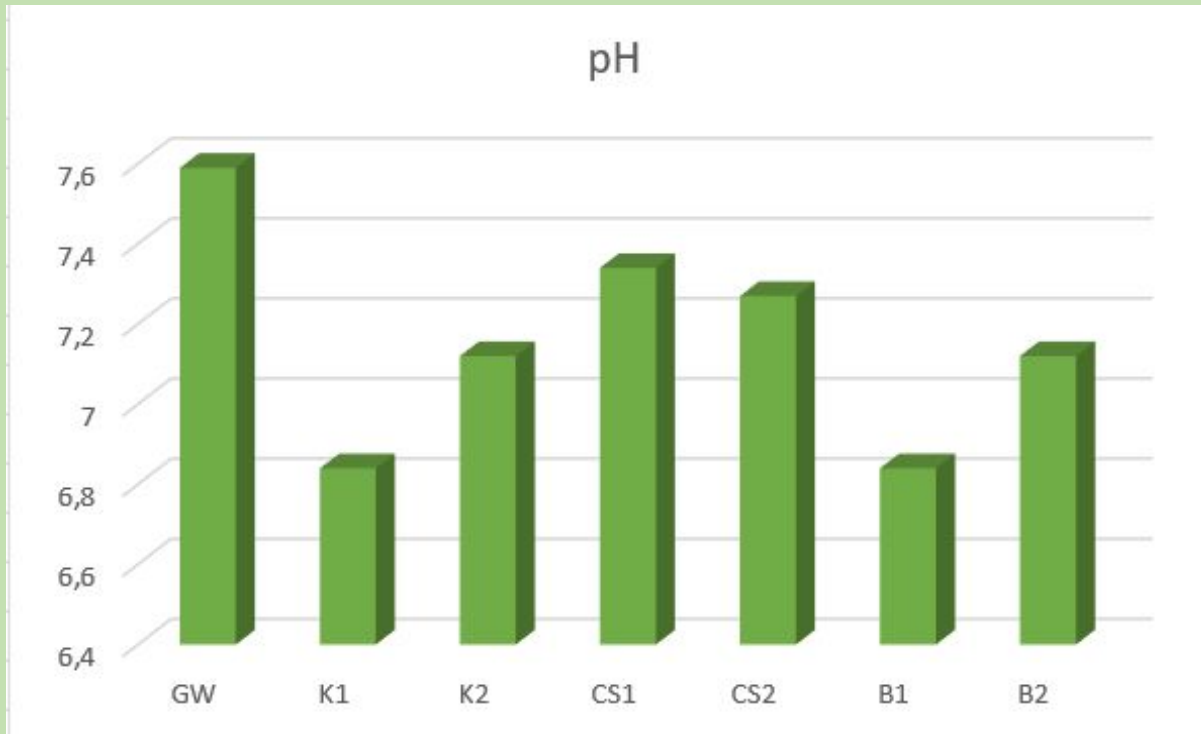
	GYORS KEV.	GYORS KEV.	LASS Ú KEV.	LASSÚ KEV.	FeCl ₃ dózis	MENNYI SÉG
	min	rpm	min	rpm	ml/törzs oldat	ml
S1	3	300	15	90	4,5	500
S2	3	300	15	60	4,5	500
S3	3	300	15	10	4,5	500
S4	3	300	15	90	4,75	500
S5	3	300	15	60	4,75	500
S6	3	300	15	10	4,75	500

	TOC	TURB	pH	ZP	ZP, SD	EC
	mg/l	NTU		mV		mS/cm
S0	48,64	17,96	8,01	-26,1	1,4	0,98
S1	22,43	2,24	5,78	-13,9	3,17	1,12
S2	24,21	1,08	5,81	-4,29	1,88	1,04
S3	22,02	3,06	5,62	4,29	0,0794	1,08
S4	20,51	1,50	5,45	-3,43	3,17	1,1
S5	24,91	3,07	5,42	8,4	1,42	1,06
S6	20,97	3,36	5,09	15,8	0,306	1,08

- A flokkulációs vizsgálatok alapján a 4,5 ml FeCl₃ dózis/500 ml GW + 60 rpm lassú keverés bizonyult a legkedvezőbb beállításnak.
- Ennél az üzemparaméternél a zéta-potenciál -4,29 mV értéket vett fel, ami a töltéssemlegesítéshez közeli tartományt és így hatékony pelyhesedést jelez.
- A legalacsonyabb EC (1,04 mS/cm) és zavarosság (1,08 NTU) szintén ezt az ideális kezelési körülményt támasztotta alá, a TOC érték jelentős csökkenésével együtt.

4. Eredmények és kiértékelésük

4.2. Természetes anyagokkal végzett vizsgálati eredmények



Jelmagyarázat:

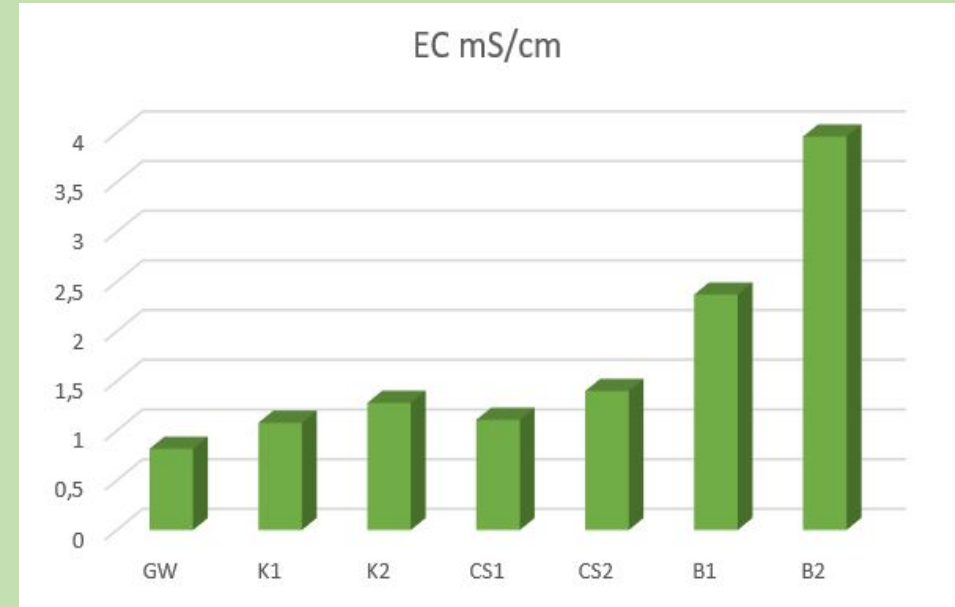
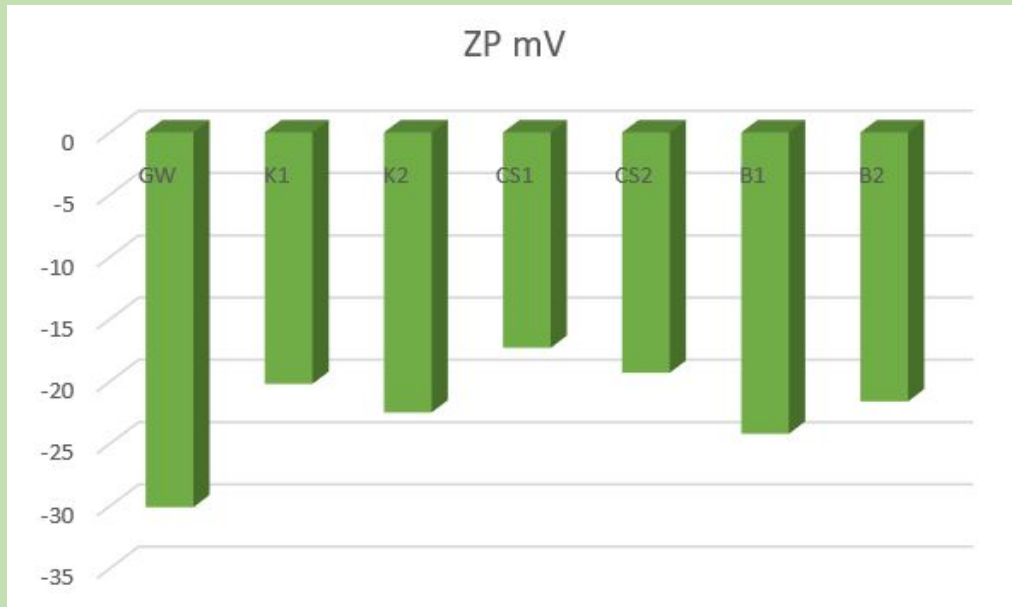
K: kávé, Cs: csicseriborsó, B: banánhéj; 500 ml GW/4 g ill. 8 g koaguláns

- A pH értéke mindegyik esetben a semleges tartományban maradt, ami kedvező a természetes koagulánsok alkalmazásához.

- A kezelt mintákban tapasztalt **zavarosságnövekedés** annak tulajdonítható, hogy a természetes eredetű koagulánsok egy része a **vízben részlegesen feloldódott**.
- Ez a kolloid mérettartományba eső oldott vagy finoman diszpergált komponensek megjelenéséhez vezetett, ami a zavarosság mérhető emelkedését okozta.

4. Eredmények és kiértékelésük

4.2. Természetes anyagokkal végzett vizsgálati eredmények



- Mindhárom természetes koaguláns esetében a zéta-potenciál végig negatív tartományban maradt (-17 és -24 mV között), ami arra utal, hogy a **részecskék felületi töltése nem semlegesítő**dött, így a flokkuláció csak részben valósult meg.
- A vezetőképesség növekedése minden mintánál megfigyelhető volt, ami a kávézaccból, csicseriborsóból és banánhéjból kioldódó ionos, oldható komponensek jelenlétét jelzi.
- Ezek az eredmények összességében azt mutatják, hogy a természetes anyagok nem biztosítottak teljes destabilizációt, és egyben hozzájárultak az oldott anyagtartalom emelkedéséhez.

4. Eredmények és kiértékelésük

4.3. Kombinált kezelési eljárások vizsgálati eredményei

4.3.1. Kávézacc dózis optimalizálása és kombinálása vas(III)-kloriddal:

MINTA	DÓZIS	pH	TURB (NTU)	ZP (mV)	ZP,SD	EC (mS/cm)	KOI (mg/l)
S0	-	8	15,42	-26,9	1,53	0,914	536
S1	4g kv	7,08	84,51	-21,5	0,709	1,05	1023
S2	8g kv	6,77	124,80	-22,8	0,557	1,29	2107
S3	12g kv	6,59	179,84	-20,9	1,01	1,41	2570
S4	4g kv + 4ml vasklorid	5,66	41,18	-21,2	0,693	1,30	992
S5	8g kv + 4ml vasklorid	5,57	83,53	-19,7	0,721	1,56	1429
S6	12g kv + 4ml vasklorid	5,48	130,97	-19,2	0,493	1,79	2135



Kávézacc önmagában:

- Turbiditás és KOI jelentős növekedése
- Enyhe zéta-potenciál változás
- Nem eredményezett hatékony koagulációt

Kávézacc + FeCl₃:

- Turbiditás csökkenés
- KOI érték csökkent
- Javuló destabilizáció (ZP változás)
- Az adagolt kezelőszertől miatt EC érték növekedés

4. Eredmények és kiértékelésük

4.3. Kombinált kezelési eljárások vizsgálati eredményei

4.3.2. Koaguláció optimalizálása: három új kezelőszer összehasonlító vizsgálata:

MINTA	pH	TURB (NTU)	ZP (mV)	ZP,SD	EC (mS/cm)
S1	7,28	140,08	-20,9	0,751	1,04
S2	11,99	72,63	-12,7	0,458	3,91
S3	10,34	442,02	-33,8	1,07	3,48
S4	7,88	121,89	-19,3	0,300	1,12



- 0,8 g kávé + 2 ml **mésztej**
- 0,8 g kávé + 2 g **fahamu**
- 0,8 g kávé + 4 ml **kationos polielektrolit**

- **Hatékonyság:** A kávé alapú kísérletsorozat leghatékonyabb kombinációja a zavarosság csökkentésében.
- **Zavarosság (TURB):** Jelentős javulás az alapmintához képest; a kiindulási 140,08 NTU értéket közel a felére, 72,63 NTU-ra szorította le. ★
- **Töltésközömbösítés:** A mésztej adagolása látványosan elmozdította a Zéta-potenciált a destabilizációs tartomány felé. Ez igazolja a kalcium ionok koagulációt segítő szerepét. ★
- **Mellékhatás:** A mésztej miatt a pH lúgos irányba tolódott (11,99), az elektromos vezetőképesség (EC) pedig megugrott (3,91 mS/cm), ami a megnövekedett ionkoncentrációt jelzi.

4. Eredmények és kiértékelésük

4.3. Kombinált kezelési eljárások vizsgálati eredményei

4.3.2. Koaguláció optimalizálása: három új kezelőszerszám összehasonlító vizsgálata:



MINTA	pH	TURB (NTU)	ZP (mV)	ZP,SD	EC (mS/cm)
S5	7,66	196,34	-18,9	1,12	0,995
S6	12,24	117,87	-0,183	0,353	5,01
S7	10,53	383,38	-28,0	1,23	3,95
S8	7,81	51,75	-13,5	0,529	1,01

→ 0,8 g csicseriborsó + 2 ml **mésztej**

→ 0,8 g csicseriborsó + 2 g **fahamu**

→ 0,8 g csicseriborsó + 4 ml **polielektrolit**

A csicseriborsó alapú koaguláns mutatta a legígéretesebb eredményeket a három alapanyag közül. Legjobb eredmény: Az S8 minta (polielektrolittal) kiemelkedő kezelőhatás.

- **Különlegesség:** Az S6 kísérlet (mésztejjel) szinte teljesen közömbösítette a részecskék töltését (-0,183 mV), ami az ún. izoelektromos pont elérését igazolja, ugyanakkor a mésztej jelentősen megemelte a pH-t (12,24) és a vezetőképességet (EC), ami környezetvédelmi szempontból korlátozó tényező lehet.
- **Konklúzió:** A csicseriborsó polielektrolittal kombinálva a leghatékonyabb a tisztítási hatások tekintetében.

4. Eredmények és kiértékelésük

4.3. Kombinált kezelési eljárások vizsgálati eredményei

4.3.2. Koaguláció optimalizálása: három új kezelőszerszám összehasonlító vizsgálata:



MINTA	pH	TURB (NTU)	ZP (mV)	ZP,SD	EC (mS/cm)
S9	7,09	67,52	-18,1	0,755	2,17
S10	11,98	95,12	-11,2	0,231	4,77
S11	9,90	431,02	-22,2	1,81	4,87
S12	7,19	161,96	-16,7	0,950	2,30

→ 0,8 g banánhéj + 2 ml **mésztej**

→ 0,8 g banánhéj + 2 g **fahamu**

→ 0,8 g banánhéj + 4 ml **polielektrolit**

- **Reakció:** A banánhéjjal végzett kezelések közül ez mutatta a legjobb flokkulációs (pelyhesedési) hajlamot. A zavarosság (TURB) értékek alapján a segédanyagok közül egyedül a mésztej tudta érdemben 100 NTU alá csökkenteni a zavarosságot (95,12 NTU).
- **Elektrokémiai stabilitás:** A Zéta-potenciál értéke itt került a legközelebb a az izoelektromos ponthoz (-11,2 mV). Ez a legalacsonyabb abszolút érték ebben a sorozatban, ami a részecskék sikeres destabilizációját jelenti.
- **Megfigyelés:** A banánhéj poliszacharidjai és a mésztej közötti kölcsönhatás erősebbnek bizonyult, mint a polielektrolitos vagy a fahamu alapú kísérletnél tapasztalt.

4. Eredmények és kiértékelésük

4.3. Kombinált kezelési eljárások vizsgálati eredményei

4.3.3. Természetes koagulánsok dózisoptimalizálása a kiválasztott adalékanyagok mellett:

MINTA	DÓZIS 1.	DÓZIS 2.	pH	TURB	ZP	ZP,SD	EC	KOI
K1	4 g kávézacc	10 ml mésztej	12,01	124,24	-13,1	0,709	5,07	1025
K2	2 g kávézacc	10 ml mésztej	12,21	75,10	-15,0	1,67	5,60	677
CS1	4 g csicseriborsó	20 ml polielektrolit	8,57	5,01	-18,4	0,907	1,13	1096
CS2	2 g csicseriborsó	20 ml polielektrolit	7,96	12,22	-14,2	0,929	0,94	1041
B1	4 g banánhéj	10 ml mésztej	12,00	14,39	-5,95	1,13	4,93	1460
B2	2g banánhéj	10 ml mésztej	12,01	6,10	-4,10	0,536	4,12	1072



5. Következtetések, javaslatok

Következtetések:

- **Optimális alapanyag kiválasztása:** A vizsgálatok igazolták, hogy a csicseriborsó és a banán alapú koagulánsok hatékonysága felülmúlja a kávézaccét, különösen alacsonyabb dózis mellett.
- **Dózisoptimalizálás jelentősége:** A mérések bebizonyították, hogy a 2 g-os koaguláns adagolás hatékonyabb a 4g-osnál; a túladagolás (K1, CS1, B1 minták) minden esetben rontotta a zavarosságot és növelte a szervesanyag-terhelést (KOI).
- **Segédanyagok szerepe:** A mésztej kiváló töltésközömbösítő (Zéta-potenciál javulás), de jelentősen növeli a pH-t és a vezetőképességet. A polielektrolit a csicseriborsóval kombinálva (CS2) biztosította a legstabilabb, semleges közeli kémhatást és a legalacsonyabb ionkoncentrációt.
- **Zéta-potenciál és stabilitás:** A legerősebb destabilizációt a B2 minta érte el (-4,10 mV), ami közvetlen összefüggésben állt a mért legalacsonyabb zavarossági értékkel (6,10 NTU).

Javaslatok:


- **Dózis-, pH- és keverési paraméterek** további optimalizálása természetes koagulánsok esetén.
- A természetes anyagok **kémiai vagy fizikai aktiválásának** vizsgálata.
- A kioldódás csökkentése érdekében **szűrés vagy mosás** a természetes anyagok előkezelésekor.
- **Kombinált technológia:** A banánhéj-mésztej (B2) vagy csicseriborsó-polielektrolit (CS2) kombinált kezelőszerek alkalmazása javasolt a tisztítási folyamatban a zavarosság és a KOI egyidejű csökkentése

6. Összefoglalás

- A háztartási szürkevíz kezelése egyre fontosabb a növekvő vízigény és az édesvízkészletek csökkenése miatt.
- A koaguláció–flokuláció hatékony módszer a szürkevíz tisztítására, de a hagyományos kémiai koagulánsok környezetterhelést okozhatnak.
- Emiatt előtérbe kerültek a **természetes eredetű, biológiailag lebomló koagulánsok**, amelyek háztartási és élelmiszeripari hulladékból is előállíthatók.
- Kutatásomban három természetes anyag – kávézacc, banánhéj és csicsereborsó – koagulációs hatását vizsgáltam további segédkezelőszerek alkalmazása mellett.
- Célom **fenntartható, gazdaságos vízkezelési alternatívák azonosítása volt szürkevíz újrahasznosításához.**

Köszönetnyilvánítás

- Köszönöm **Dr. Bodnár Ildikó**, főiskolai tanár, témavezetőmnek a dolgozat kialakításában, a kutatómunka irányításában, valamint a mérések és laboratóriumi vizsgálatok elvégzésében nyújtott szakmai segítségét és támogatását.
- Hálás vagyok továbbá, hogy lehetőséget kaptam a minták vizsgálatának elvégzésére a **Környezetmérnöki Tanszék Vízhigiénés Laboratóriumában**.
- Köszönöm **Dr. Buzetky Dóra Beáta**, adjunktusnak a szitarázó berendezés használatában, valamint a szitaanalízis elvégzésében nyújtott segítségét és támogatását.

A microscopic view of plant cells, showing a network of cell walls and various organelles. The cells are arranged in a somewhat regular pattern, with some showing prominent nuclei and others showing more granular cytoplasm. The overall color is a light green, typical of chloroplasts.

*Köszönöm a megtisztelő
figyelmüket!*