

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITÚZÁS	3
1.1. SZENNYVÍZTISZTÍTÁS ÉS VÍZMINŐSÉGVÉDELEM.....	3
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	6
2.1. A HAZAI SZENNYVÍZTISZTÍTÁS RÖVID ÁTTEKINTÉSE	6
2.2. AZ ELEVENISZAPOS SZENNYVÍZTISZTÍTÁS BIOLÓGIÁJA	11
2.2.1. Az eleveniszap kialakulása	13
2.2.2. Nitrogén vegyületek átalakítása:	15
2.2.2.1. Nitrifikációt befolyásoló tényezők	15
2.2.3. Denitrifikáció.....	21
2.2.4. Foszfor eltávolítás	23
2.2.5. Lebontási aktivitás.....	24
2.3. ZEOLIT BEMUTATÁSA.....	25
2.3.1. A természetes zeolitok ásványtani besorolása, szerkezete	25
2.3.2. A hazai zeolitok jellemzése	28
2.4. ZEOLIT HASZNÁLATA A HAZAI ÉS KÜLFÖLDI SZENNYVÍZTISZTÍTÁSBAN	29
2.4.1. Zeolit használat a szennyvíziszap kezelésnél.....	39
2.4.3. Zeolit modifikáció.....	40
2.4.4. Modifikált zeolittal végzett laborkísérlet	43
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	45
3.1. MINTAVÉTELEZÉS, VIZSGÁLATI MÓDSZEREK ÉS ADATFELDOLGOZÁS	45
3.1.1. Vízkémiai paraméterek vizsgálata:.....	45
3.1.2. A kísérletek végrehajtásának elve:	45
3.2. AZ ÜZEMI KÍSÉRLETBEN RÉSZTVEVŐ TELEP RÖVID BEMUTATÁSA	47
3.2.1. Szobi szennyvíztisztító telep műszaki adatai	47
3.2.2. SZOBI SZENNYVÍZTELEPEN VÉGZETT KÍSÉRLET:	47
4. AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE	52
4.1. A SZOBI SZENNYVÍZTISZTÍTÓ TELEP TISZTÍTÁSI HATÁSFOKÁNAK ALAKULÁSA A VIZSGÁLT IDŐSZAKBAN	52
4.1.1. Dikromátos oxigénfogyasztás (KOI) mérési eredmények.....	53
4.1.2. Biológiai oxigénigény (BOI ₅) mérési eredmények.....	54
4.1.3. Nitrifikáció folyamatának alakulása.....	55
4.1.4. P tartalom vizsgálata:	60
4.1.5. Lebegőanyag tartalom vizsgálata.....	61
4.1.6. Iszapüledés vizsgálata	62
4.1.7. KOI adszorpció.....	64
4.1.8. Az eleveniszap lebontási aktivitás vizsgálata.....	66

4.2. A VIZSGÁLT PARAMÉTEREK ALAKULÁSA A GYÜMÖLCSFELDOLGOZÁS ESETÉBEN	70
4.3. MIKROBIOLÓGIAI VIZSGÁLATOK A SZOBI SZENNYVÍZTISZTÍTÓ TELEPEN.....	72
4.3.1. Pehelyszerkezet és mérete a vizsgált sorokon a szobi szennyvíztisztító telepen.....	72
4.3.2. Mikroszkópos vizsgálattal kimutatható fajok a szobi telepen.....	74
5. A ZEOLIT ADAGOLÁS ALKALMAZÁSÁNAK GAZDASÁGOSSÁGI SZÁMÍTÁSA.....	77
5.1. A TERVEZÉSI FELADAT ISMERTETÉSE	77
5.2. BERUHÁZÁSI KÖLTSÉGEK.....	77
5.2.1 Hagyományos technológia	77
5.2.2 Zeolit adagolással üzemelő technológia.....	78
5.3. ÜZEM KÖLTSÉGEK SZÁMÍTÁSA.....	79
5.3.1 Hagyományos technológia	79
5.3.2. Zeolit adagolással üzemelő technológia.....	80
6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	83
7. ÖSSZEFOGLALÁS.....	85
SUMMARY	87
IRODALOMJEGYZÉK:	89
1. SZ. MELLÉKLET	95
ÁBRAJEGYZÉK	95
TÁBLÁZATJEGYZÉK	97
2. SZ. MELLÉKLET	98
2.1 MINTAVÉTELEZÉS, VIZSGÁLATI MÓDSZEREK ÉS ADATFELDOLGOZÁS	98
2.1.1. Vízkémiai paraméterek vizsgálata:.....	98
2.1.1.1. Szennyvízminták előkészítése és laboratóriumi vizsgálata.....	98
2.1.1.2. pH mérés.....	98
2.1.1.3. Kémiai oxigén igény meghatározása	98
2.1.1.4. Ammóniumion meghatározása spektrofotometriális módszerrel	99
2.1.1.5. Összes foszfor meghatározás	99
2.1.1.6. Lebegőanyag tartalom meghatározása	99
2.1.1.7. Ülepedési jellemző számítása	100
2.2. AZ ELEVENISZAP LEBONTÁSI AKTIVITÁS MÉRÉSI MÓDSZERE:	101

1. Bevezetés és célkitűzés

1.1. Szennyvíztisztítás és vízminőségvédelem

Napjaink egyik legfontosabb környezetvédelmi kérdése a vízellátás és a csatornázottság megoldása településeinken. Ma már a víz sem korlátlan természeti erőforrás, mivel élő vizeink szennyezettségének mértéke növekszik, ennek csökkentése érdekében egyre nagyobb szükség van arra, hogy a felhasznált vizet, megfelelőképpen tisztítva juttassuk vissza a befogadókba. A hagyományos szennyvíztisztítási technológiák a csatornázottság következtében a növekvő szennyvízmennyiséggel, illetve töményebb szennyvízzel nehezebben birkóznak meg. Szükség van új technológiákra, melyek nem a kapacitás növelésével, hanem a lebontási hatásfok növelésével érnének el jobb eredményt, melynek egy lehetséges változatát a zeolit alkalmazása jelentheti.

A vízminőségvédelem fontos feladata, a vizeket érő terhelések olyan szinten tartása, amely még nem okoz visszafordíthatatlan változást a vizek minőségében és ezáltal még nem károsodik a vízi ökoszisztéma. Az EU Víz Keretirányelve az első közösségi jogszabály, ami a vizek védelmére vonatkozó környezeti célkitűzések közé bevette a felszín alatti vizek jó minőségi állapotának elérését és megőrzését. A vizek mennyiségi és minőségi célállapotát a Nemzeti Környezetvédelmi Program (NKP) tartalmazza. Az NKP magába foglalja a legfontosabb intézkedéseket, a szakterületi intézkedési programokat (nemzeti szennyvízelvezetési és –tisztítási, települési csatornázási és szennyvíztisztítási, ivóvízbázisok védelmét szolgáló országos, országos kármentesítési program, és a nitrát csökkentési program). Az állam környezetvédelmi tevékenysége keretében gondoskodik a környezeti elemek – így a vizek – állapotának rendszeres megfigyeléséről és értékeléséről. A vízgazdálkodásról szóló 1995. évi LVII.tv. a környezetvédelmi törvény keret jellegű szabályait kiegészíti néhány, a vizek hasznosíthatóságának biztosítását szolgáló vízvédelmi követelménnyel [Bándi, 2002].

A 25/2002. (II. 27) a Nemzeti Szennyvízelvezetési és –Tisztítási Megvalósítási programról, melyben az 91/271/EGK Irányelvben leírtak szerint (2–7. cikk) felméri az agglomerációkat, gyűjtőrendszereket, szennyvíztisztító telepeket, kijelöli a célállapotokat. A törvény értelmében, a kijelölt szennyvíz-elvezetési agglomerációk területén a települési szennyvizek közműves szennyvíz-elvezetését és a szennyvizek biológiai tisztítását, illetőleg a települési szennyvizek ártalommentes elhelyezését meg kell valósítani, legkésőbb:

a) 2008. december 31-ig a 10 000 lakosegyenértéknél nagyobb terhelést meghaladó szennyvízkibocsátású, külön jogszabály által kijelölt érzékeny területeken, a nitrogén- és

foszforeltávolítás egyidejű biztosításával ;

b) 2010. december 31-ig a 15 000 lakosegyenérték terhelést meghaladó szennyvízkibocsátású szennyvíz-elvezetési agglomerációk területén;

c) 2015. december 31-ig a 10 000-15 000 lakosegyenérték terheléssel jellemezhető szennyvízkibocsátású szennyvíz-elvezetési agglomerációk területén;

d) 2015. december 31-ig a 2000-10 000 lakosegyenérték terheléssel jellemezhető szennyvízkibocsátású szennyvíz-elvezetési agglomerációk területén.

A szennyvíztisztítási technológiák közül Magyarországon a legelterjedtebb az eleveniszapos (biológiai) szennyvíztisztítási technológia, illetve ennek különböző megoldásai, emellett megemlíthető a csepegtető- és forgó tárcsás csepegtető testek alkalmazása is. A biofilm rendszerek továbbfejlesztésében áttörésnek tekinthető a bioszűrők, mozgó áramló biotöltetek és az eleven iszapos rendszerbe adagolt szuszpenzió jellegű hordozóanyag örlemények (aktív szén, antracit, zeolit stb.) alkalmazása [Oláh, Princz 2002]. Valamennyi hordozóanyag felületén lejátszódó biológiai folyamatok azonosak. A hordozóanyagok közül a zeolit örleményekkel végzett laborkísérletek eredménye ígéretes megoldást kínál, ezért üzemi kísérletek keretében kerestem az eredmények igazolását. Az eljárások még sok megválaszolatlan kérdést vetnek fel. Kutatásom alapjául szolgál az új ZeoRap névvel ellátott zeolitos szennyvíztisztítási eljárás, mely felületkezelt zeolit örlemény adagolását jelenti, a levegőztetett medencébe.

A dolgozat célkitűzése az alábbiakban foglalható össze:

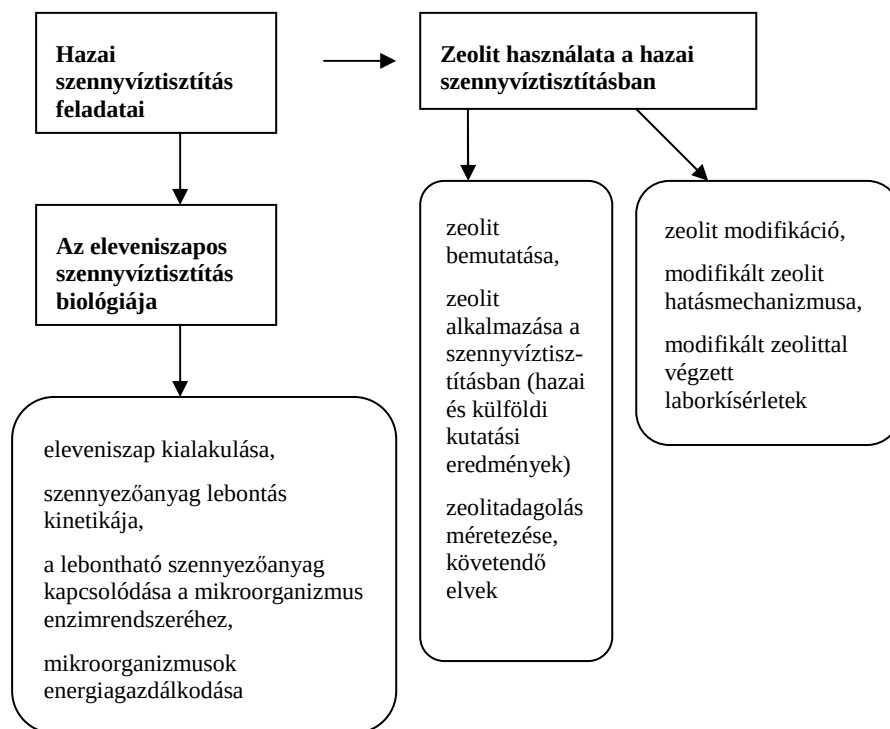
- A zeolit felületén megkötődő baktériumok vizsgálata, azon feltevés igazolása, hogy a zeolit megnöveli a baktérium populáció mennyiségét. Választ kerestem arra, hogy hogyan változik a fajdiverzitás a zeolit adagolás következtében a kontroll vizsgálati sorhoz képest.
- A zeolit adagolással üzemelő és a kontroll tisztítósortól származó eleveniszap – lebontási aktivitásának (mgKOI/g szervesanyag_h) összehasonlítása.
- Vizsgáltam az iszapülepedést, annak változását a zeolit adagolás függvényében.
- Keresetem a választ arra, hogy a zeolit felületén kialakult baktérium tömeg kiegyenlíti-e a szennyvíztisztítótelepet érő terheléseket?
- A zeolit ioncserélő kapacitását figyelembe véve vizsgáltam a nitrogén eltávolítás határfokának alakulását.
- A zeolit adagolású és a kontroll párhuzamos műtárgysorokon az elfolyó, tisztított

szennyvíz minőségének (KOI, BOI₅) összehasonlítását végeztem.

- A Szobi Szennyvíztisztító Telep sajátos problémája a beérkező ipari szennyvíz által okozott iszapelúszás. Kerestem a választ arra a kérdésre, hogy az iszapelúszást okozó fonalasodás zeolit adagolás esetében csökkenthető-e?

2. Irodalmi áttekintés

Miután a kapcsolódó szakirodalom igen szerteágazó, munkám irodalmi összeállításának tematikáját az alábbi ábra mutatja:



1. ábra Kutatásom logikai felépítése

2.1. A hazai szennyvíztisztítás rövid áttekintése

Összesen 540 szennyvíztisztító telep van hazánkban a Nemzeti települési Szennyvízelvezetési és tisztítási megvalósítási Program (NMP, 2006) szerint, melyek teljes kapacitása 1. 886. 541 millió m³/nap; 455 db > 2000 LE, 89 db < 2000 LE szennyvíz-terhelésű. A szennyvíztisztító telepek kapacitás-kihasználtsági, alulterheltségi mutatóinak megállapítása **átlagos szennyvízterhelések figyelembevételével** történt, a települési szennyvíztisztításról szóló 91/271 EKG Irányelvben foglaltakra is tekintettel a maximális heti terhelés alapján megállapítható átlagos szennyvízmennyiséget figyelembe véve a szennyvíztisztító telepek kihasználtsága a jelenlegi eredményeknél kedvezőbb is lehetne. A vizsgált szennyvíztisztító telepek kapacitásának értékelése során – eddigi szakmai tapasztalatokra, ismeretekre alapozottan – azokat a szennyvíztisztító telepeket tekintették **alulterhelteknek**, amelyeknek mind az átlagos hidraulikai, mind az átlagos szerves anyag (BOI₅) kapacitáskihasználtsága a 60% alatti értékre adódik, megfelelően terhelt, ahol a

kapacitás-kihasználtság legalább egyik értéke: 60-100% közötti, túlterhelt, ahol ez az érték > 100 %- nál. Ezek alapján az 540 db szennyvíztisztító telep közül 183 db (**34,0 %**) szennyvíztisztító telep Magyarországon **alulterheltnek** minősíthető, **megfelelően terhelt** 287 db (**53,1%**), a **túlterhelt** szennyvíztisztító telepek száma pedig 70 db (**12,9%**) [Miklósne Nagy, 2006].

A következő nehézségekkel kell szembenéznünk a telepeken:

1. A telepek kb. 12,9%-a túlterhelt. Több esetben az elfolyó szennyvíz minősége nem felel meg a 91/271 EGK rendeletben leírt követelményeknek.
2. A kommunális és ipari szennyvíz együttes kezelésénél toxikus anyagok a szennyvíziszap aktivitását csökkentik.
3. Alacsony a teljeskörű és a biológiai tisztítás aránya.
4. A tisztító-kapacitást 2010 végéig 2,9 millió m³/nap értékre kell növelni.
5. Különösen beruházás igényes a főváros és a 22 megyei jogú város szennyvíz-programjának megvalósítása.
6. Jövőben a szennyvíziszap EU direktíva szerinti elhelyezése, hasznosítása kérdéses.
7. A szennyvíztisztítás megoldását csak úgy tekinthetjük teljesnek, ha a szennyvíziszap ártalommentes elhelyezése, illetve hasznosítása is megoldott.

A szennyvíz-kezelésre és tisztításra vonatkozó 91/271 EGK direktíva előírja, hogy minden 2000 lakosegyenértéknél nagyobb szennyezőanyag kibocsátású agglomerációt csatornázni és az összegyűjtött szennyvizeket megfelelő mértékben tisztítani kell [Krempels, 2006]. Az EU direktíva bevezetésével a tisztított szennyvíz kibocsátási határértékei jelentősen változtak; BOI₅: 25 mg/l, illetve 70%-os csökkenés, KOI: 125 mg/l , illetve 75 %-os csökkenés, lebegőanyag: 35 mg/l, illetve 90 %-os csökkenés. Az érzékeny területeken, fentieken túlmenően az összes foszfor: 2 mgP/l 100.000 lakosegyenérték alatt, 1 mgP/l 100.000 lakosegyenérték felett, az összes nitrogén: 15 mgN/l 100.000 lakosegyenérték alatt, 10 mg/l és 100.000 lakosegyenérték felett.

A szennyvizek, szennyvíziszapok mezőgazdaságban történő felhasználásának szabályozására adták ki az 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendeletet. A Rendelet harmonizál az Európai Közösségek következő jogszabályával: a Tanács 86/278/EGK irányelve a környezet, és különösen a talaj védelméről a szennyvíziszap mezőgazdasági felhasználásával kapcsolatban. A szabályozás célja, hogy egyes szennyvizek és

szennyvíziszapok mezőgazdasági területen való szakszerű felhasználásával elkerülhetővé válnának a talajra, a felszíni és felszín alatti vizekre, valamint az emberek egészségére, a növényekre és az állatokra gyakorolt káros hatások. A Rendelet szabályozza a szennyvízelvezető művel összegyűjtött és szennyvíztisztító telepen tisztított szennyvíz, illetve kezelt szennyvíziszap mezőgazdasági területre történő kijuttatását, illetve felhasználásának szakmai feltételeit, ideértve a gyűjtött és kezelt települési folyékony hulladékok mezőgazdasági felhasználásának feltételeit is. A Rendeletben megfogalmazott kötelező adatszolgáltatás adataiból megállapítható, hogy hazánkban nőtt a szennyvízzel, szennyvíziszappal kezelt területek nagysága, viszont a szennyvíziszapba bekerült vagy megkötött toxikus elemek és káros anyagok mennyisége nem haladja meg a Rendelet mellékleteiben meghatározott határértékeket. [Horváth, 2000], [Bencze et al., 2002].

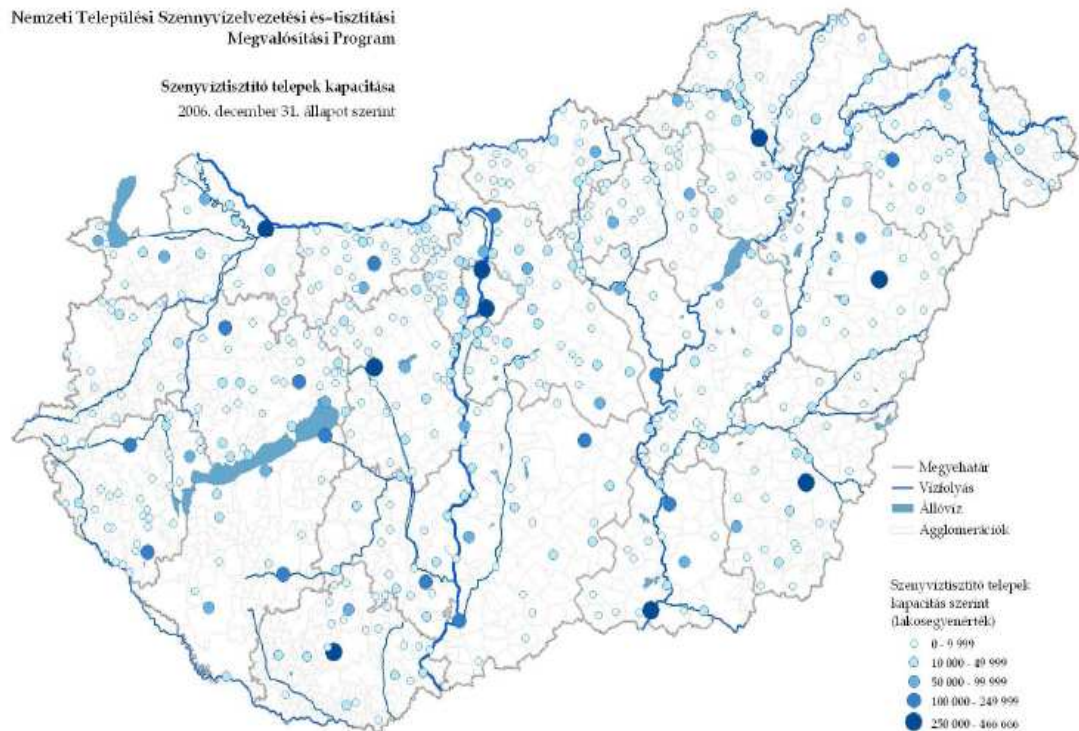
Az 1. táblázat régiók szerint mutatja be az ország jelenlegi szennyvízcsatornázottsági helyzetét, valamint a 2015-ig elérni szükséges jellemzőket.

1. Táblázat: Csatornázottság helyzete és 2015-re tervezett aránya Magyarországon

Régió neve	Lakásszám	2004. december 31.-én		2006. december 31.-én		Terv: 2015. december 31.-én	
		Csatorna-hálózatba kötött lakások száma	%	Csatorna-hálózatba kötött lakások száma	%	Csatorna-hálózatba kötött lakások száma	%
Dél-Alföldi	591 646	241 362	40,8	260 188	44,0	490 455	82,9
Dél-Dunántúli	398 582	213 983	53,7	232 814	58,4	338 744	85,0
Észak-Alföldi	604 742	274 937	45,5	299 131	49,5	533 950	88,3
Észak-Magyarországi	507 391	275 165	54,2	296 628	58,5	440 492	86,8
Közép-Dunántúli	437 930	293 122	66,9	315 986	72,2	390 242	89,1
Közép-Magyarországi	1 287 878	1 013 255	78,7	1 098 547	85,3	1 235 865	96,0
Nyugat-Dunántúli	410 283	273 343	66,6	297 397	72,5	352 416	85,9
Összesen:	4 238 452	2 585 167	61,0	2 800 691	66,1	3 782 164	89,2

Magyarországon a szennyvíztisztítás tekintetében még a csatornázottságnál is nagyobb az elmaradás. Ennek oka egyrészt, hogy a csatornán összegyűjtött szennyvizek mintegy harmada még mindig tisztítatlanul illetve csak mechanikai tisztítást követően kerül a befogadóba, másrészt, hogy a csatornázott településeinken kiépített biológiai szennyvíztisztító telepek sem működnek minden esetben megfelelően.

A 2. ábrán láthatók a magyarországi működő szennyvíztelepek.

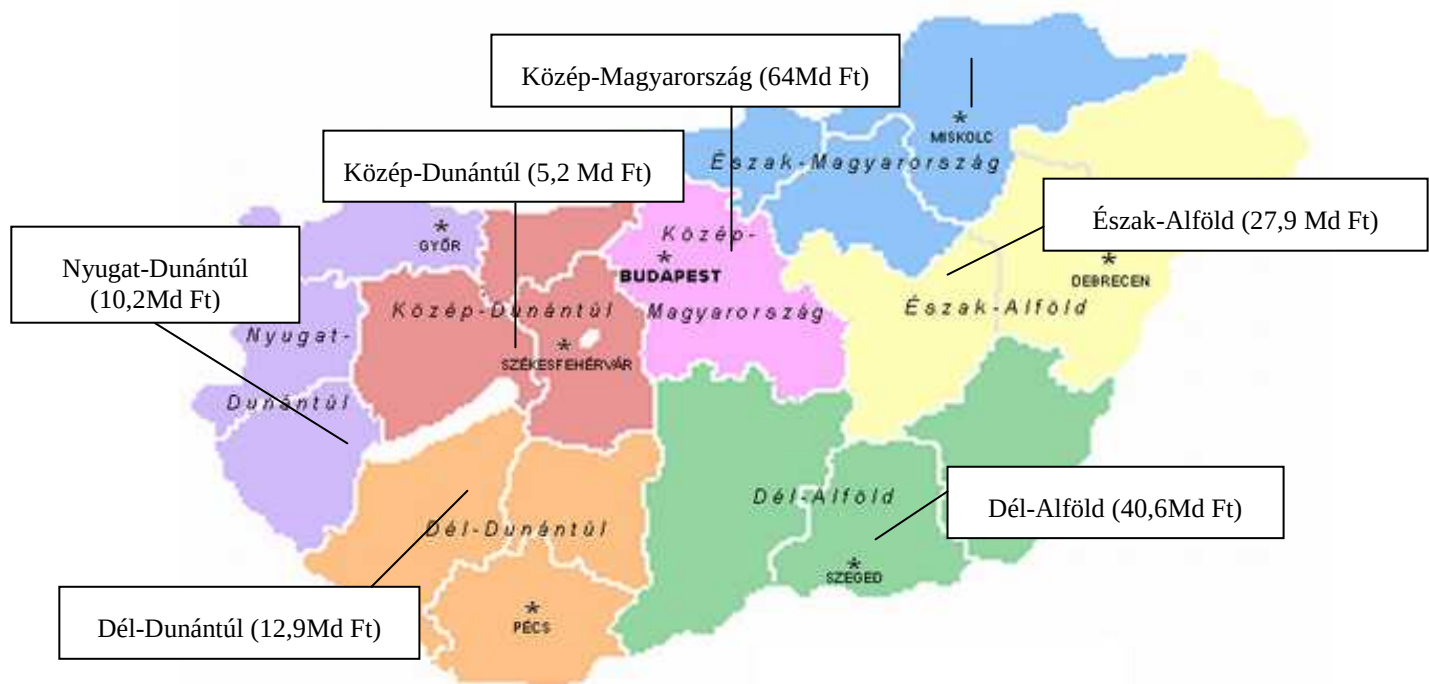


2. ábra: Szennyvíztisztító telepek Magyarországon (2006)

A szennyvízkezelés fejlesztéséhez európai uniós lehívható pénzügyi források is rendelkezésre állnak. A Kohéziós Alapból azok a tagállamok részesülhetnek, ahol az 1 főre eső Bruttó Nemzeti Termék (GNP) nem éri el a közösségi átlag 90%-át. Ez a feltétel a frissen csatlakozott országok mindegyikére teljesül. Egy-egy projekt támogatásának mértéke a kiadások 80-85 %-a. Magyarország a 2004-től 2006-ig terjedő két, két és fél évben évi 330 millió eurót kapott az infrastrukturális és környezetvédelmi beruházások támogatására. Ehhez a kedvezményezett tagállamoknak el kellett készíteniük egy ún. Kohéziós Alap Stratégiát, amely meghatározza a támogatásra ajánlott projekteket, kitűzi a középtávú stratégiai célokat. Brüsszel külön-külön döntött az egyes fejlesztésekre benyújtott támogatási kérelmekről.

A 2007-től kezdődő programozási időszakban a Kohéziós Alap környezetvédelemre fordítható forrásai a Környezet és Energia Operatív Program (KEOP) segítségével érhetők el megyei, regionális szintű hulladékgazdálkodási, szennyvízelvezetési, ivóvízminőség javítási projektekhez.

A szennyvíztisztításra lekötött forrás régiók szerinti megoszlását a 3. ábra mutatja.



3. ábra: KEOP 1.2.0. pályázatok

Magyarországon a szennyvíztisztítás jelenlegi helyzetében — tekintettel az ország gazdasági teljesítőképességére — az általánosan alkalmazott eleveniszapos technológia továbbfejlesztése, a már előnyös hatásaiban ismert zeolit adagoláson alapuló eljárásokkal ígéretes megoldásnak látszik. A zeolit hatására nemcsak a szennyvíztisztító telepek szerves szén lebontási hatásfoka emelkedik, hanem növekszik a nitrifikációs és denitrifikációs kapacitás és a nitrogén-eltávolítás sebessége. Javul a szennyvíziszap ülepíthetősége, ugyanakkor a zeolit tartalmú szennyvíziszap mezőgazdasági elhelyezése több szempontból előnyös lehet. A zeolit beszerzése a Magyarországon található bő készletek miatt könnyen megoldható.

2.2. Az eleveniszapos szennyvíztisztítás biológiája

A magas kolloidális szerves szennyeződést tartalmazó szennyvizet tisztítani kell mielőtt az élővízfolyásba, a befogadóba vezetnék. A tisztítási módszerek több változata ismeretes, a következőkben a legegyszerűbb technológiai változatot mutatom be: A levegőztető medencében, a komplex szerves anyagokban gazdag vízben a mikroorganizmusok jelenlétében és a környezeti faktoroknak is kedvező feltételeket kell biztosítani ahhoz, hogy az aerob lebontási folyamat meginduljon. A kedvező üzemi körülmények hatására a mikroorganizmusok elszaporodnak, majd később pelyhekké, helyi-agglomerátumokká állnak össze. Ez tulajdonképpen az eleveniszap, ami már kiüleptíthető, erről kapta ez a tisztítási eljárás a nevét [Kerényi, 1995]. Tehát az eleveniszapos szennyvíztisztításnál szükség van:

- Mikroorganizmusokra
- Tápanyagra
- Oldott oxigénre

A szennyvízben jelenlevő alacsony számú mikroorganizmus szaporodása a szennyvíz levegőztetésével megindul, mivel biztosított a tápanyagként szolgáló szerves anyag és a mikroelemek mennyisége is. Az eleveniszap nagy része baktériumokból épül fel, de mellettük protozoák, gombák, kerekcsigák és néha a fonálféreg is megtalálható. A szennyvizek attól függően, hogy milyen eredetűek, különböző minőségű és mennyiségű szerves anyagot tartalmaznak. A tápanyag jellegétől függően az eleveniszapban egy-egy faj uralkodóvá válhat attól függően, hogy adott ökológiai viszonyok mellett melyik fajnak lesz nagyobb a szaporodási készsége.

A szerves anyag oxidációja és hasznosítása a leggyorsabb folyamat, melyet az ilyen tápanyagra specializálódott heterotróf mikroorganizmusok végeznek. Ezzel egyidejűleg, a megfelelő oxigén ellátottságú levegőztető medencében kerülhet sor a baktérium szaporodás által fel nem használt nitrogén oxidációjára az autotróf baktériumok révén. Az iszap-pelyhek belsejében a heterotróf mikroorganizmusok a nitrátokat redukálhatják. Az ehhez szükséges oxigén koncentrációt $<0,5\text{mg/l}$ oxigén alatt kell tartani, mert egyébként a heterotrófok a szabad oxigént használják fel elektron – akceptorként, de ennek hiányában, a nitrát, mint oxigénforrás szerepel. A többletfoszfor immobilizálását is a heterotrófok bizonyos fajtái végzik, sejtbe történő akkumulálással [Kárpáti, 2006].

Biológiai átalakítás**mikroorganizmus fajok****szervesanyag beépítés és oxidáció**

heterotrófok

**Többletnitrogén eltávolítás**

autotrófok

**Többletfoszfor eltávolítás**

többletfoszfor akkumuláló heterotróf



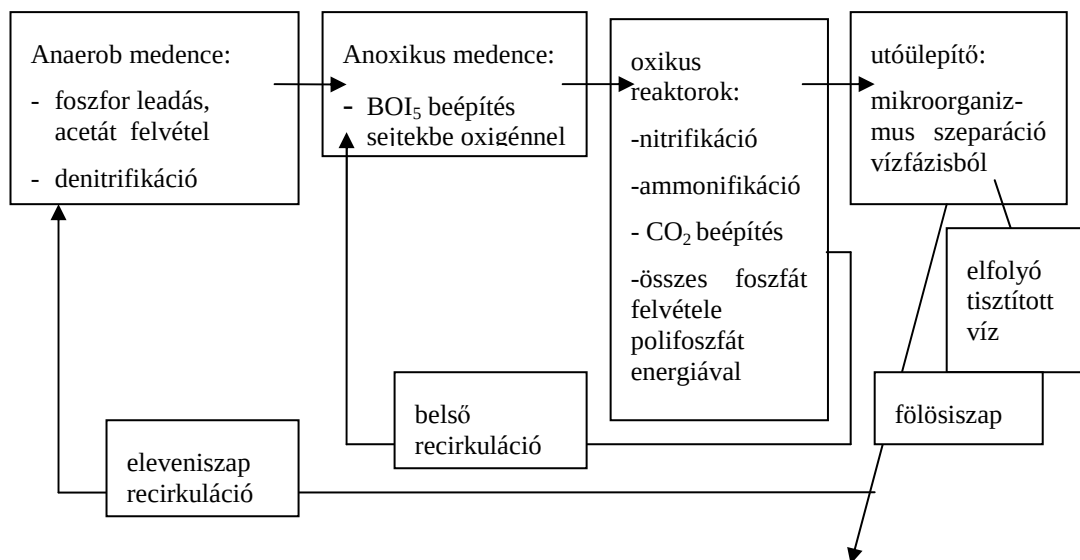
A szénhidrátokban gazdag szennyvizeknél a **Pseudomonas** fajok, a fehérjékben az **Alcaliges**, **Bacillus**, **Flavobaktérium** a jellemző, de a **Zooglea ramigera** is megtalálható. A pH jelentősen befolyásolja a populáció szaporodását. Az alacsony pH értéknél, ami főként az ipari szennyvizekre jellemző, a **Leptomitás**, a **baktériumok** a **gombák** és a **Fusaria nem fonalas gombák** is megtalálhatók.

A szaporodási készség az organizmus anyagcsere képességétől függ, vagyis a táplálékfeldolgozási kapacitásától. Majdnem minden eleveniszapban megtaláljuk a **Zooglea ramigera** baktériumot, amely mozgékony kapszulával rendelkező, nem spórás, **Gramnegatív baktérium**. A szénhidrátot oxidálja, a zselatinból, peptonból, kazeinből ammóniát termel. Életfeltételeinek megfelelő tápanyagban jól pelyhesedik. Általában a baktériumok felületi töltésük és energiaszintjük következtében kedvező ökológiai viszonyok mellett pelyhet képeznek. Az eleveniszap alkotói közé tartozik a fonalas baktériumok közül legismertebb **Sphaerotilus natans**. A szervesanyag eltávolításában a baktériumok, a gombák nélkülözhetetlenek, mivel jelenlétükkel indulhat csak be az eleveniszap képződési folyamata.

A csillósok, örvényférgek szintén igen jelentősek a tisztítás folyamatában, azonban másodlagos szerepet töltenek be, ezek fogyasztják a szabadonúszó egysejtű baktériumokat és véglényeket. A tisztítási határfok optimalizálásához ezek a mikroszervezetek elengedhetetlenül szükségesek, a tisztítási folyamat zavartalanságát biztosítják azáltal, hogy a szabadúszó baktériumokat fogyasztják. Az eleveniszap oxigénszükségletét levegőztető rendszerek biztosítják. A tisztító rendszer általános kialakítása szerint a levegőztetőből a

szennyvizet átvezetik az ülepítőbe, ahol az iszap elválk a víztől. A tisztított állapotban lévő vizet elvezetik a befogadóba, amíg a szükséges mennyiségű iszapot vissza recirkuláltatják a levegőztetőbe [Orbán, 2005].

A mikroorganizmus populációk biológiai átalakítását az eleveniszapos szennyvíztisztítási technológiában a következő (4. ábra) folyamatábrán mutatom be:



4. ábra: Biológiai lebontás folyamata az eleveniszapos szennyvíztisztítási technológia műtárgyaiban.

2.2.1. Az eleveniszap kialakulása

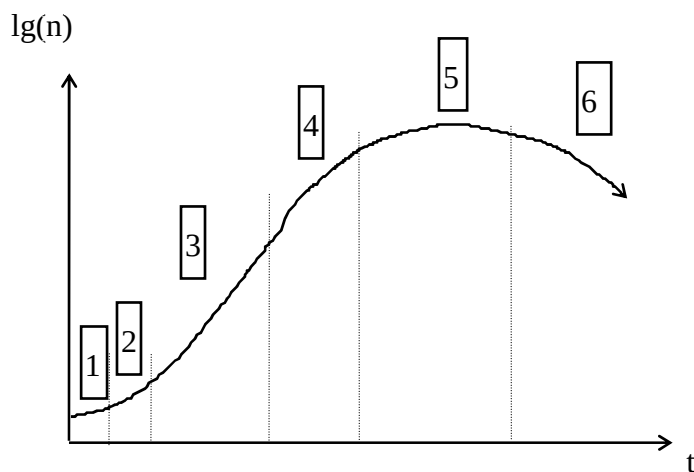
Új eleveniszapos berendezés üzembe helyezésénél a baktériumok gyorsan szaporodnak, ez érthető, mert a tápanyagfelesleg igen magas koncentrációban van jelen. A baktériumok száma kevés, ez a bedolgozási időszak. Ebben a fázisban a tisztítási hatásfok szinte nem mérhető. A tápanyag közben fogy, kisebb mértékű lesz a szaporodás és beindul a sejtek elhalása, kezdetét veszi a puhelyképződés folyamata, ez a fékezett fejlődés szakasza.

Az energetikai hátteret tekintve a medencében tápanyag van, ennek következtében a baktériumok szaporodása zavartalan. A szervezetek egy része endogén fázisba kerül, vagyis a saját sejtanyagaiknak felélésére kényszerül. A baktériumok mozgásképpessége korlátozott, az ütközéseik gyakoriak és az elektrosztatikus erők hatására, amely egymáshoz tapadásukat segíti, kialakulnak a pelyhek, amelyek szemmel már jól láthatóak. Ha a táplálék tovább csökken, a meglévőknek fennmaradásához nem elég, új egyedek nem jöhetnek létre, tehát beindul a sejtek pusztulása. Az endogén fázisban a sejtekben tárolt zsírok és szénhidrátok, majd a fehérjék felélése játszódik le. Ekkor kezdődik meg a baktériumokkal élő, szabadon

úszó csillósok pusztulása és az aljzathoz tapadó nyeles csillósok gyorsabb szaporodása [Gray, 1990].

A baktérium koncentráció növekedésével az endogén fázis meghatározó lehet. A levegőztető medencéket az egyszerűbb üzemeltetés érdekében átlagos térfogati és biológiai terhelésre ($\text{kgBOI}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ vagy $\text{kgBOI}_5/\text{kg} \cdot \text{d}$) méretezik. Az átlagos tartózkodási idő az átlagos térfogati terhelésből és a medence hasznos térfogatából adódik. A tartózkodási idő természetesen az üzemeltetés optimális körülményeitől függően a szennyvíz minőségét figyelembe véve általában 1 és 13 óra között választható meg [Henze, 1996].

A medencében visszamaradt sejtek maradványai inaktív részt képeznek. A terhelést úgy kell megválasztani, hogy a csúcsterhelésnél az érkező szennyvíz biológiai tisztítását biztosítsuk.



5. ábra: Baktériumok szaporodási görbéje

A tenyészet fejlődésének szakaszai:

1. Lappangási szakasz
2. Gyorsuló növekedés szakasza
3. Exponenciális növekedés szakasza, korlátlan, kiegyensúlyozott növekedés.
4. Lassuló, limitált vagy korlátozott szaporodás
5. Stacionárius, stagnáló szakasz
6. Hanyatló szakasz

A levegőztetésnél a szennyvízbe történő oxigénátadás mértéke függ:

- Az oxigéntelítettségtől
- A buborék és a folyadék érintkezési felületétől.

Az aerob szervezetek számára az oxigénellátás kérdése nagyon fontos. A gyakorlat azt igazolja, hogy az O_2 tartalom nem lehet kevesebb $0,5 \text{ mg/dm}^3$ -nél és $1,5\text{-}2,0 \text{ mg/dm}^3$ érték között kell tartani. Amennyiben ezt meg lehet valósítani, az bizonyos mértékben energia-megtakarítást is jelenthet [Ligetvári, 1999].

A levegőt az eleveniszapos medencébe légbefúvással vagy mechanikai úton, forgókefés eljárással viszik be. A nagy szennyezőanyag (KOI , BOI_5) koncentráció hatására organizmusok száma magas, az endogén fázis kialakulása gyorsabb lesz. Az üzemi egyensúly elérésekor a szubsztrát lebontásából keletkező fölös iszap szaporulat és a fölösizap elvétel közelítőleg egyensúlyba kerül.

2.2.2. Nitrogén vegyületek átalakítása:

Ebben a fejezetben a nitrogén vegyületek átalakulását, mutatom be részletesen, mivel a célkitűzéseim között szerepelt a nitrifikációs, denitrifikációs folyamatok alakulásának vizsgálata, a zeolit adagolás függvényében.

A nitrogén vegyületek egy részét a tisztítást végző heterotróf baktériumok testanyaguk felépítésére használják. Az átlagos kommunális szennyvizek tisztítása során az összes nitrogénre vonatkoztatott eltávolítási hatásfok $20 - 30 \%$ között mozog. Itt céltudatos technológiai beavatkozásról nem beszélhetünk. A konvencionális biológiai szennyvíztisztítás számottevő mértékű nitrogén eltávolításra nem alkalmas. Az ammónia vegyületek nitráttá történő oxidációját **nitrifikációnak** nevezzük. A folyamat oxidációs hatásfoka ammónia nitrogénre vonatkoztatva $90 - 95 \%$. Összes nitrogénre vonatkoztatott hatásfok $70 - 85 \%$ között változik. A nitrát vegyületek redukciója a **denitrifikáció**. Az elő-denitrifikációval $50 - 60 \%$, az utó-denitrifikációval pedig $70 - 85\%$ -os hatásfokot lehet elérni (nitrátra vonatkoztatva) [Barótfi, 2000].

2.2.2.1. Nitrifikációt befolyásoló tényezők

A nitrifikációs folyamat energia termelése: Az eleveniszapos tisztításban jelentős szerepet játszó aerob folyamatok energia hozamát az 1. táblázat tartalmazza. A táblázat adataiból kitűnik, hogy az általános biológiai lebontást végző heterotróf baktériumok energia hozama a legnagyobb. Ez azt jelenti, hogy az energia-termeléssel arányos a baktérium-szaporodás (iszap-szaporodás) és a szubsztrát lebontási sebesség. A nitrifikáció rész folyamatát képező nitrit képződés sebessége viszonylag kicsiny, de a nitrifikáció egész folyamatának a lebontási sebessége és a sejt szaporodást jellemző hozam konstans értéke mintegy harmada az aerob lebontási folyamat értékének. Az energia-termelés értékei alapján látható, hogy a nitrifikáció folyamata viszonylag kicsiny sebességgel megy végbe.

A kicsiny sebességgel lezajló kémiai és biológiai folyamatok mindig magukban hordozzák a reakció körülmények változásából adódó bizonytalanságokat. Ez azt jelenti, hogy a nitrifikáció bizonytalan, kényes egyensúlyi folyamat.

2. táblázat: A különböző aerob biokémiai folyamatok energia hozama

Folyamat megnevezése	Szubsztrát lebontás maximális sebessége (gKOI/giszap nap)	Sejt szaporodást jellemző hozam konstans (Y)	Energia hozam (kcal/mól)
Aerob lebontás (heterotróf)	2,0 – 17,0	0,38 – 0,75	208
Ammónia oxidációja nitritté (Nitrosomonas)	0,2 - 1,0	0,03 – 0,13	17,5
A nitrit oxidációja nitráttá (Nitrobacter)	0,28 – 1,44	0,02 – 0,08	-
A nitrifikációs folyamat egésze	0,3 – 0,8	0,12 – 0,15	66 - 84

Koncentráció-hatások: A folyamat sebességét – állandó hőmérsékletet feltételezve – elsősorban a rendszerben jelenlévő tápanyag és baktérium koncentráció határozza meg. A tápanyag szerepét az ammónia és az oxigén koncentráció tölti be. A baktérium koncentrációval a lebontási sebesség arányos. A baktérium koncentrációt az eleveniszap koncentráció megfelelő értéken történő tartásával lehet biztosítani.

pH: A nitrifikálás optimális pH értéke a szerzők zöme szerint 8,0 – 8,5 érték közé esik. Az alacsonyabb pH értéken a nitrifikálás során keletkező nitrát, ill. főképpen H^+ ionok a nitrifikáló baktériumokra gátló hatást fejtenek ki. A rendszer elsavanyodása a szabad széndioxid tartalom (bikarbonát csökkenése) a nitrifikálók szénforrásának csökkenésével is jár. A nagyobb pH értékeknél ($> 8,5$) a nitrifikálók energia forrása az NH_4^+ ion részben NH_3 formába van jelen és az ammónia a nitrifikálókra mérgező hatást fejt ki. A nitrifikálók szaporodási sebességét az alábbi összefüggésekkel lehet jellemezni:

$$h\mu = \mu_{\max} [1 - 0,833 (7,2 - pH)] \quad (6)$$

μ - aktuális szaporodási sebesség

$\mu_{\max}$ – maximális szaporodási sebesség

pH 7,2 – 8,5 között a zárójeles érték $\sim 1,0$

Oldott oxigén koncentráció: Az oxigén koncentráció a tápanyaggal együtt kettős Monod

összefüggést követi:
$$\frac{S_o}{K_N + S_o} \frac{DO}{K_o + DO} \quad (7)$$

$$\mu = \mu_{\max}$$

$$K_O \sim 1,3 - 1,5 \text{ mgO}_2/\text{l}$$

K_N féltelítési állandó az ammóniára vonatkoztatva

S_O az ammónia koncentrációja (mg/l)

DO oldott oxigén koncentráció (mg/l)

Tapasztalat azt mutatta, hogy ha az oldott oxigén koncentrációját 2,0 mg/l értékről 3,0 mg/l-re emelték a nitrifikáció sebessége megduplázódott. Gyakorlatban a nitrifikáló szennyvíztelepen az oldott oxigén koncentrációját legalább 2,0 mg/l értéken célszerű tartani.

Az iszapkor szerepe: Az eleveniszapos rendszerekben elegendő szervesanyag van ahhoz, hogy ott az eleveniszap mikroflórájának zömét képező heterotróf baktériumok intenzíven szaporodjanak. Ezt a szaporulatot fölősiszap formájában elveszik a rendszerből. Ugyanakkor, hogy a szervesanyag lebontással egy időben a nitrifikáció is végbemenjen a nitrifikáló baktériumok bizonyos koncentrációját is fenn kell tartani a rendszerben. A nitrifikáló baktériumok szaporodási sebessége lényegesen lassúbb, mint a szervesanyag bontóké, ugyanakkor a fölős-iszappal a nitrifikálók jelentős részét is eltávolítják. A nitrifikáció és a szervesanyag lebontás egyidejű lefolyásának biztosítása céljából az iszapkor értékét kommunális szennyvíz esetében 15 °C körüli hőmérsékleten legalább 5 – 7 nap értéken kell tartani. A téli időszakban + 5 – 7 °C víz hőmérséklet esetén az iszapkort (a 15 °C-os állapothoz képest) a legalább háromszorosára kell növelni.

Inhibitor anyagok hatása: Az ipari eredetű szervesanyagok (Tiourea, alil-tiourea, 8-hidroxi kinolin, fenol és klór-fenol származékok stb.) már kis koncentrációban ($\sim$ néhány) a nitrifikációt jelentősen gátolják. Miután a nitrifikációs folyamat halatlanul érzékeny a mérgező anyagokra, ez azt jelenti, hogy a kommunális szennyvízzel is érkehetnek olyan szerves anyagok (olaj-szennyeződés, növényvédő-szer, festék maradék stb.), amelyek mérgező hatást fejtenek ki a folyamatra. Nem ritka jelenség, hogy kommunális

szennyvíztelepen a nitrifikáció sebessége – a hőmérséklet csökkenéstől függetlenül – is jelentősen csökken. Ez inhibíciós hatásokra vezethető vissza. Ez az inhibíciós hatás gyakran csak átmenetileg jelentkezik, de elegendő ez a behatás arra, hogy a telep üzemét megzavarja.

A hőmérséklet hatása: A nitrifikációs folyamat maximális szaporodási sebessége és a hőmérséklet közötti kapcsolatra vonatkozóan több szerző közöl összefüggést. A legismertebb ezek közül Dowing összefüggése:

$$\mu_{\max} = 0,47 e^{0,098 (T-15)} \quad (8)$$

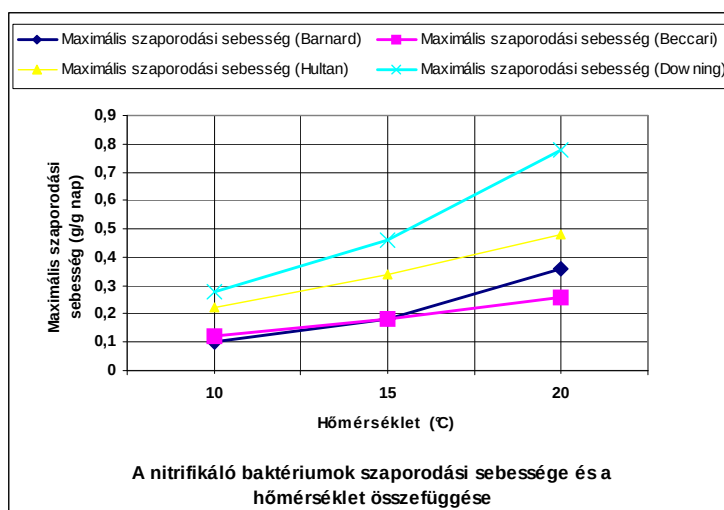
A maximális szaporodási sebesség és a hőmérséklet összefüggését különböző szerzők mérései alapján a 2. táblázat mutatja be. A táblázat adatai alapján megállapíthatjuk, hogy az egyes szerzők különböző hőmérsékleti értékeknél mért adatai jelentősen különböznek egymástól. Az egyes szerzők adatainál – azonos hőmérséklet esetében - sem ritka 2 – 3-szoros eltérés. Ez a tény rávilágít arra, hogy a nitrifikációs folyamatnál a leggondosabb kísérleti körülmények betartása esetén is bizonytalan sebesség értékek adódhatnak. A bizonytalanságok ellenére az adatok jó része azt mutatja, hogy a 10 °C-ról 20 °C-ra történő hőmérséklet növeléssel a szaporodási sebesség, vagyis a nitrifikáció sebessége 2,1 – 3,7-szorosára nő. Természetesen a téli üzemeltetés során fordított folyamat játszódik le, amikor a nitrifikáció sebessége 10°C hőmérséklet csökkenés hatására közel harmadára csökken. A hőmérséklet csökkenéssel egyidejűleg egyre növekvő aerob iszapkor beállítása válik szükségessé [Jobbágy, 2006].

3. táblázat: A nitrifikáló baktériumok maximális szaporodási sebessége és hőmérséklet közötti kapcsolat különböző szerzők adatai alapján

Szerzők	Függvény kapcsolat	$\mu_{\max}$ (nap ⁻¹)		
		10°C	15°C	20°C
Downing (1964)	$(0,47)e^{0,098(T-15)}$	0,29	0,47	0,77
Downing (1964)	$(0,18)e^{0,116(T-15)}$	0,10	0,18	0,32
Hultman (1971)	$(0,50)e^{0,033(T-20)}$	0,23	0,34	0,50
Barnard (1975)	$(0,18)e^{0,0729(T-15)}$	0,10	0,18	0,37
Painter (1983)		0,12	0,16	0,26
Beccari (1979)				0,27

Bidstrup (1988)				0,65
Hall (1980)				0,46
Lawrence (1976)				0,50

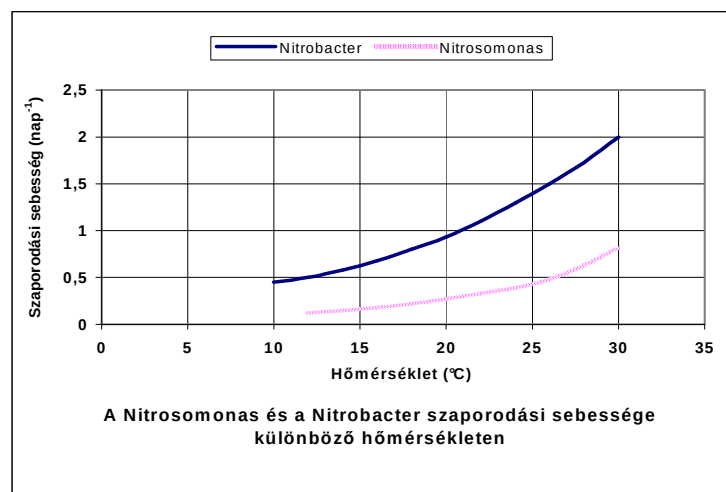
A 2. táblázat adatai alapján megszerkesztett diagram (6. ábra) az egyes hőmérsékleti értékekhez tartozó szaporodási sebesség értékek jól mutatják az egyes szerzők adatai között mutatkozó nagy eltéréseket. Ismeretes, hogy ha egy folyamat több egymást követő reakcióból tevődik össze, az eredő reakció sebességét a leglassúbb reakció sebessége szabja meg. A nitrifikálás összetett folyamatában a leglassúbb reakció a Nitrosomonasok által ammóniának nitritté történő oxidálása. Ennek következtében a tisztított szennyvízben a nitrit sohasem szaporodik fel, mivel a nitrátképző (Nitrobacter) baktériumok gyorsan nitráttá oxidálják.



6. ábra: Nitrifikáló baktériumok szaporodási sebessége a hőmérséklet függvényében

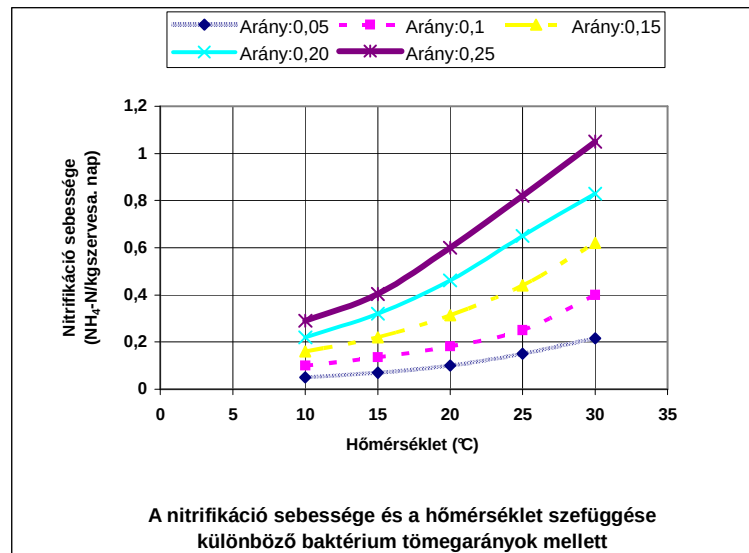
A 7. ábra a Nitrosomonas és a Nitrobacter nitrifikáló baktériumok szaporodási sebességét a hőmérséklet függvényében ábrázolja. Látható, hogy a Nitrosomonasok szaporodási sebessége lényegesen kisebb, mint a Nitrobacter baktériumoké. Ez egyértelműen jelzi, hogy a nitrifikációs folyamatban a nitrit ionok képződése a meghatározó lépés. Az eleveniszapban élő nitrifikáló baktériumok tömegének az összes iszap tömegéhez viszonyított aránya a függ a szennyvíz BOI_5 / összes-N arányától. Amennyiben a heterotróf baktériumok szaporodási sebessége (illetve az ezzel egyensúlyt tartó iszap eltávolítás) meghaladja a nitrifikálók maximális lehetséges szaporodási sebességét a nitrifikálók a fölösiszap eltávolítással kimosódnak a rendszerből. A heterotróf baktériumok szaporodását le kell csökkenteni, hogy a nitrifikáló baktériumok aránya ($> 0,1$) a heterotróf

baktériumokhoz képest kedvező legyen. Ezt két módon lehet kézben tartani, vagy az eleveniszapos telepre befolyó szennyvíz szerves tápanyag koncentrációját csökkentve, vagy a hidraulikus tartózkodási időt növelve. A tápanyag csökkentés hatására csökken a lebontási sebesség, azaz iszap eltávolítás sebessége, ugyanezt a hatást lehet elérni a hidraulikus tartózkodási idő növelésével is. Mind két esetben rövid, egy-két hetes üzem alatt beáll az egyensúly a teljes iszaptömeg, valamint a nitrifikálók tömegének szaporodási sebessége között. [Dulovics.,et al. 2007]



7. ábra: Nitrosomonas és Nitrobacter mikroorganizmusok szaporodása különböző hőmérsékleten

A 8. ábra a nitrifikáció sebessége és a hőmérséklet összefüggését különböző baktérium tömegarányok mellett mutatja be. A fentiekben elmondottak alapján, ha a nitrifikálóknak az eleveniszaphoz viszonyított tömegarányát növeljük (arány > 0,1) akkor a nitrifikáció sebessége (oxidált $\text{NH}_4\text{-N/kg}$ szervesa. nap) jelentősen növekszik. Pl. 15 °C hőmérsékleten 0,25 -ös tömegarány (nitrifikálók / heterotrófok) esetében a nitrifikáció sebessége négyszer nagyobb, mint 0,1-es tömegaránynál mért érték [Dobolyi - Farkas, 1982].



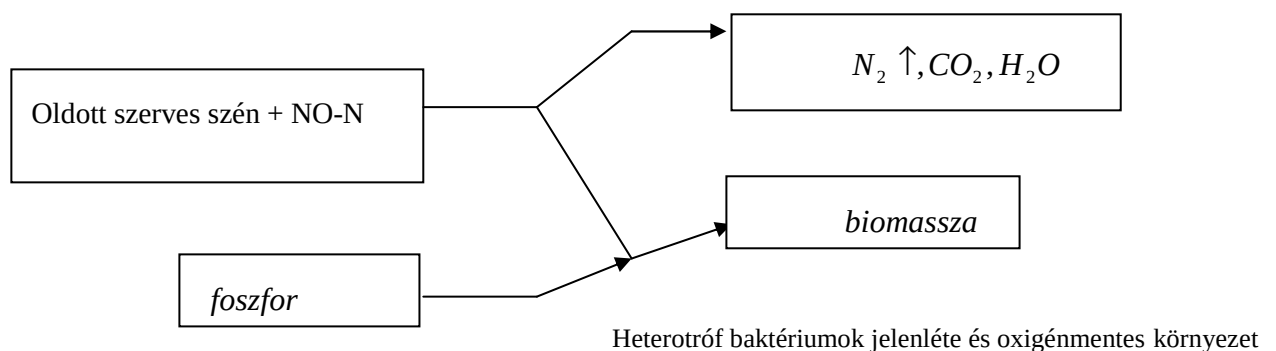
8. ábra: A nitrifikáció sebessége különböző tömegarányok mellett, hőmérséklet függvényében

2.2.3. Denitrifikáció

A 9. ábra a denitrifikáció folyamatait mutatja be. A denitrifikáció tulajdonképpen szerves szén felhasználása a nitrát oxigénjének a hasznosításával oxigénmentes környezetben. Oxigén hiányában a biológiai szennyvíztisztítás heterotróf baktériumainak nagyobb része képes a nitrát oxigénjének a hasznosítására. A denitrifikációnál a nitrogén a rendszerből nitrogéngáz formájában távozik. A denitrifikációt un. fakultatívan aerob mikroorganizmusok végzik, melyek ezimrendszerüket oxigén távollétében nitrát nitrogén gázzá alakítására módosítják. Oxigén jelenléte a denitrifikációt részben metabolikusan részben kinetikailag gátolja [Jobbágy, 2006].

A denitrifikációt a következő tényezők befolyásolják:

- 1) biológiailag könnyen bontható szerves szén rendelkezésre állása,
- 2) oxigén hiánya,
- 3) denitrifikáció sebessége (hőmérséklettől függő).



9. ábra: Denitrifikáció folyamata

Mivel a hidrolízis sebessége az anoxikus zónában csökken, a denitrifikációhoz (elődenitrifikáció) fontos a könnyen hasznosítható szerves tápanyag jelenléte az érkező szennyvízben. A denitrifikáció tápanyag-igényének a biztosítására azonban szilárd formájú szerves tápanyagokat is fel lehet használni szénforrásként. Ezeknél azok hidrolízisének a sebessége határozza meg a denitrifikáció sebességét. A szimultán nitrifikáció - denitrifikáció és az elődenitrifikáció kombinációja nyújtja a legkedvezőbb lehetőséget a maximális nitrogén eltávolításra. Ha a denitrifikáció jó hatásfokú, akkor az oxigén felvétel a levegőztetőben viszonylag állandó. A denitrifikáció folyamata a nitrát koncentrációjának az anoxikus zónában történő mérésével is ellenőrizhető. Ez a jel, vagy információ felhasználható ugyanakkor a nitrátos víznek a nitrifikációs zónából az anoxikus medencében történő visszavezetésének (belső recirkuláció), illetőleg a könnyen bomló segédanyag (külső szénforrás - metanol, acetát, etanol) adagolásának a szabályozására is. A nitrogén eltávolítás optimalizálásához egyértelműen meg kell határozni, hogy nitrifikáció (kicsiny tisztított víz ammónium-koncentráció) vagy az összes nitrogén-formák eltávolítása (kicsiny összes-nitrogén koncentráció az elfolyó vízben) a fontosabb. Minden esetben minimális MCRT (minimális, de mégis elegendő iszapkor) fenntartására kell törekedni a levegőztetett térben, de egyidejűleg biztosítani kell, hogy mégis elég nitrifikáló mikroorganizmus maradjon a rendszerben [Hanaki, 1980].

Az összes nitrogén eltávolításának a hatékonysága a tisztított szennyvíz nitrát (NO_3^- -N) koncentrációjának a mérésével ellenőrizhető. Magas szennyvízhőmérséklet esetén és ipari szennyvizeknél a nitrit, mint szükséges intermedier, a nitrifikáció és denitrifikáció terméke, szintén megjelenhet a tisztított elfolyó vízben. Ez problémát okozhat, mivel a nitrit nagyon toxikus a vízi élőlényekre.

A nitrifikáció, denitrifikáció optimalizálásánál a levegőztetés szabályozása igen fontos, mivel a heterotróf mikroorganizmusok az oxigént jobban preferálják elektron akzeptorként, mint a nitrát-oxigént (NO_3^- -N). A cél ezért a levegőztetőből az anoxikus térbe történő oxigén-bevitel minimalizálása. Ugyanakkor az anoxikus térben az anaerob viszonyok kialakulása is elkerülendő, mert az a nitrifikálókra már kedvezőtlen hatású (jelentős aktivitás csökkenés).

Az iszapkezelés, különösen a biológiai iszapstabilizálás, jelentős nitrogén visszaoldódást, többlet nitrogénterhelést eredményez a tisztítóban. Az elfolyóban a kicsiny ammónia és összes nitrogén koncentráció biztosítása végett, az iszapvíz nitrogén terhelését ellenőrizni célszerű. A jobb nitrogéneltávolítás céljából megfontolandó az iszapvíz szeparált kezelése, nitrifikációja [Juhász, 1989].

2.2.4. Foszfor eltávolítás

A többlet-foszfor eltávolítása a biológiai szennyvíztisztításnál történhet:

- (1) vegyszeres kicsapással,
- (2) biológiai többletfoszfor eltávolítással (EBPR- Extra Biological P Removal).

A két módszer könnyen kombinálhatón egymással. A lakossági szennyvíz átlagos foszfortartalmának mintegy 1/3-a (csak akkor, ha foszformentes mosóport használnak) kerül eltávolításra a szerves anyagok eltávolítása során keletkező fölösisszappal.

A foszfor fémsókkal (Fe, Al) történő kicsapítása nagyon egyszerű és olcsó eljárás. A vegyszeradagolással átlagosan a tisztított szennyvíznél 1 mg/l foszfor koncentrációt lehet elérni a fém-foszfor molarányt 1:1értéken tartják [Kroiss-Swardal, 2002]. A kicsapó-szer adagolása az elfolyó víz foszfor koncentrációja alapján szabályozható. Elő-kicsapás esetén (kombinálva az előülepítéssel) ellenőrizni kell, nehogy foszforhiány lépjen fel a biológiai tisztításnál.

A biológiai többletfoszfor eltávolítás hatékonysága számos szennyvíz-, és folyamat-jellemzőtől függ, és nem annyira megbízható, mint a kémiai kicsapás. Ilyenkor a baktériumokat ciklikusan, szigorúan anaerob, majd jól levegőztetett körülmények között kell tartani. Az oxigén és NO_x koncentrációját az anaerob zónában minimalizálni kell. Ha a többletfoszfort biológiai módszerrel távolítják is el, rendszerint kémiai kicsapószer adagolására is szükség van a biológia foszforeltávolítás kisebb hatásfoka miatt. Ilyenkor vegyszereket a nitrifikációs zóna végén kell adagolni, hogy el lehessen kerülni a kémiai és a biológiai folyamat zavarát. Redukált vas-só (Fe-II-só) használatakor természetesen azt a levegőztető medencébe kell adagolni. A biológiai többletfoszfor eltávolítási kapacitás alakulását az anaerob zóna elfolyó vize $\text{PO}_4\text{-P}$ koncentrációjának növekedése - csökkenése jellemezheti. Figyelembe kell venni a tisztítandó szennyvízzel, valamint az iszapvízzel érkező foszfor mennyiségét is [Schön – Jardin, 2001].

A vegyszeres foszfor-kicsapás viszonylagosan mérsékelt költsége miatt nem gazdaságos folyamatos monitoring alkalmazása a biológiai többletfoszfor eltávolítás optimalizálásánál, kivéve nagy szennyvíz-tisztítókat. A biológiai többletfoszfor-eltávolítás meghatározó elemei a jó kiépítettség (tervezés) és az optimalizált nitrogén eltávolítás, nitrifikáció / denitrifikáció. Minden esetben el kell kerülni, hogy az iszapban tárolt foszfor az iszapkezelés, vagy az utóülepítés során visszaoldódjon a vizes fázisba.

2.2.5. Lebontási aktivitás

Az MSZ EN ISO 8192 szabvány alapján felvett légzésgörbéből a biológiai lebontási sebesség vagy aktivitás értékét is meghatározhatjuk. Az eleveniszap lebontási sebességének mérésével nyomon követhetjük az eleveniszap aktivitását, azaz 1 kg eleveniszap időegység alatt mennyi szennyvíz KOI-t képes lebontani (lebontott $\text{kgKOI/kg}_{\text{iszap}}$ óra). Ennek alapján meghatározhatjuk a biológiai egység KOI lebontó kapacitását vagy teljesítő képességét. A szennyvíztelepeken az egyes biológiai tisztítósorokban a biológiai aktivitás változik ennek oka, lehet, pl. a különböző terhelés, különböző oxigén koncentráció, állandóan változó koncentrációban érkező ipari szennyvizek inhibíciós hatása. Ez a tény jelzi, hogy a tisztító sorok aktivitás változását az üzemeltetőnek ajánlatos nyomon követni. A rendszeres aktivitás mérések birtokában az üzemeltető el tudja dönteni, hogy az aktivitási értékek milyen tartományában biztosítható a zavartalan üzemelés.

A toxikus anyagok hatására a vonatkozási szubsztrát (műszennyvíz, kommunális szennyvíz) lebontási sebessége az eleveniszapos rendszerben csökken. Az EC 50 érték alatt a vizsgálandó anyagnak azt a koncentrációját értjük, amelynél a vonatkozási szubsztrát lebontási sebessége a vakpróba értéknek 50 %-a.

Az aktivitás-mérésnél a vizsgálandó eleveniszap mintához ismert mennyiségű és minőségű szubsztrátot (Na-acetát, műszennyvíz, kommunális szennyvíz) adunk, ennek következtében a légzésgörbe — a szubsztrátlégzés miatt — először esik, majd amikor a baktériumok a szubsztrátot lebontották, egy hirtelen töréssel emelkedni kezd. A légzésgörbe töréséig eltelt időből, a beadagolt szubsztrát mennyiségéből és az eleveniszap koncentrációjából a fajlagos lebontási aktivitás értékét ($\text{mgKOI g}^{-1}\text{óra}^{-1}$) számíthatjuk. A lebontási sebesség vagy lebontási aktivitás értékének százalékos csökkenéséből szintén következtethetünk a vizsgált szennyvíz toxikus hatására. A fentiekben bemutatott lebontási aktivitás meghatározás lényegesen gyorsabb, mint az eredeti MSZ EN ISO 8192 szerinti mérés.

2.3. Zeolit bemutatása

Az első zeolitot egy svéd mineralógus, *Cronstedt* fedezte fel 1756-ban. Vulkáni kőzetek üregeiben talált rájuk kristályok formájában. Mivel ezek az ásványok a víztartalmukat hevítés hatására a forráshoz hasonló módon elveszítik, a zeolit nevet kapták. A szó görög eredetű, Zeon azt jelenti, forni, lithos pedig követ, kőzetet jelent. Sokáig csak ásványtani érdekességként, ritkaságként tartották őket számon. Ma már tudjuk, hogy nemcsak kőzetek üregeiben fordulnak elő nagy kristályok formájában, hanem tömegesen is, nagy mennyiségben, bár ekkor mikroszkópi méretű kristályok sokaságaként. Ma az ásványtan ötvennél is több ásványfajt tart számon a zeolitok kategóriájában, nem beszélve a mesterségesen előállított zeolitok több, mint száz változatáról. A zeolitok kutatása igazából csak az 1950-es években kezdődött el. Főleg az Amerikai Egyesült Államok és Japán fordított sok pénzt és energiát ezen ásványok tulajdonságainak és a mesterséges előállítás lehetőségeinek részletes megismerésére. Ebben az időben állították elő az első mesterséges zeolitokat. Hazánkban is ekkor indultak az első kutatások. Az 1960-as években fedezték fel a Tokaj-hegységi előfordulásokat, de még nem ismerték fel annak gazdasági jelentőségét. 1964-ben már nemcsak laboratóriumi, hanem ipari méretekben is megindult a mesterséges zeolitok előállítása hazánkban (A- és X-zeolit). Ezzel párhuzamosan fejlődött a természetes zeolitok felhasználhatósági lehetőségeinek kutatása, hiszen Magyarországon olcsóbb a gazdag természetes előfordulás kitermelése és felhasználása, mint a szintetikus zeolitok előállítása. Napjainkban világviszonylatban és hazánkban is egyre több területen hasznosítják ezt az ásványi nyersanyagot.

2.3.1. A természetes zeolitok ásványtani besorolása, szerkezete

A zeolitok csoportja a szilikátok osztályába tartozik, azon belül is a tekto- (térhálós vagy állvány-) szilikátok alosztályába. A szilikátok az összetett (komplex) anionos kristályszerkezetek közé tartoznak. Ezeket az jellemzi, hogy a kristályrácsban az anion-helyeket nem egyszerű, hanem összetett anionok foglalják el, jelen esetben a szilikát-anion. A szilícium kis rádiuszú, nagy töltésű ion, amely az őt körülvevő négy oxigénnel egy tetraédert formál. A rácsban az oxigén szorosabb kapcsolatban van a központi kationnal, mint a komplexen kívüli más kationnal. Ezért szerepelnek a tetraéderek önálló szerkezeti egységként a rácsban.

A szilikátásványoknak igen nagy jelentősége van az ásványtanban, geológiában. Ezekből az ásványokból épül fel a földkéreg 75%-a. Emellett az ismert ásványoknak

mintegy az egyharmada ebbe az osztályba tartozik.

A szilikátok vázát a már előbb említett SiO_4 -tetraéderek összekapcsolódása adja. Milyen módon és mértékben kapcsolódnak össze az egyes tetraéderek, ez adja a további osztályozás, az egyes alosztályok elkülönítésének alapját.

A. alosztály: mezo- vagy szigetszilikátok

B. alosztály: szoro- vagy csoportszilikátok

C. alosztály: ino- vagy lánc- és szalagszilikátok

D. alosztály: fillo- vagy réteg- (lemezes) szilikátok

E. alosztály: tekto- vagy állványszilikátok

Itt már a SiO_4 -tetraéderek a tér mindhárom irányában hálózattá kapcsolódnak össze. Ideális esetben minden oxigén közös a szomszédos tetraéderrel. Ilyen a kvarc rácsa. Az igazi tektoszilikátok esetében a Si^{4+} -ot a hozzá közelálló méretű Al^{3+} helyettesítheti. Így viszont negatív töltésfelesleg lép fel, amelynek semlegesítésére másodrendű kationok (általában alkáli- és alkáliföldfémionok) lépnek a rácsba. Ezek a kationok nagyban befolyásolják a zeolitok tulajdonságait, felhasználhatóságát. Vannak olyan szilikátok, amelyekben a másodrendű kationok túlkompensálnak és további (inaktív) anionok beépülésére van szükség a rács semlegesítése végett (pl. OH^- -ion). A tágabb térkitöltésű, csatornákat tartalmazó szilikátok vázába (ilyenek a zeolitok) molekuláris víz is beilleszkedhet. Ezek hevítéssel kiűzhetők anélkül, hogy a szerkezetben változás történne.

Ebbe az alosztályba tartozó csoportok:

- Földpátok
- Földpátpótlók
- Szodalitok
- Szkapolitok

Zeolit csoport

Részletesebben a zeolit csoporttal foglalkozom a továbbiakban:

A zeolitok túlnyomórészt hidratált Na-Ca-Al-szilikátok, amelyeknek jellegzetessége az előbb említett, könnyen kiűzhető víztartalom (zeolitos víz). Általános képletük a következő:



ahol $\text{M}=\text{Na}^+, \text{K}^+$

$\text{D}=\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Sr}^{2+}, \text{Ba}^{2+}$

A dehidratált ásvány vízben vagy pára dús légkörben újra felveszi víztartalmát. Ez a folyamat reverzibilis, bár egyes zeolitoknál hosszas használat után megfigyeltek némi szerkezeti degradációt. A dehidratált ásvány nemcsak vizet, hanem más folyékony vagy illékony anyagot is képes megkötni a víz helyén. Az ásvány fennmaradó víztartalma a

szerkezetileg kötött ún. kristályvíz, amely csak határozott hőmérsékleten távozik el és ebben az esetben a kristályszerkezet megsemmisül, ill. más kristályszerkezet jön létre. A zeolitok másik jellegzetessége, hogy a csatornában levő inaktív kationok kivonhatóak, lecserélhetőek. A kevés számú oldalkapcsolódás miatt könnyen hasadnak a láncokkal párhuzamosan. Színtelenek vagy enyhén színezettek. Keménységük nem túl nagy (3-5), sűrűségük alacsony (2,1-2,2), lángban könnyen megolvadnak, sósavban kocsonyásan oldódnak [Hlavay, 1982].

Kezdetben a zeolitokat a morfológiai jellemzőik alapján csoportosították. Ez volt az első csoportosítás. Három fő csoportot különböztettek meg. Az első a szálas zeolitok csoportja. Ebben az esetben az egyes ásványok kinézete hosszúkas, szálas, tűs. Ebből kiindulva úgy gondolták, hogy a szerkezetben a tetraéderek először négytagú gyűrűket alkotnak, majd ezek láncokká fűződnek, az inaktív kationok és a vízmolekulák pedig a láncok közötti térben helyezkednek el. A második csoport a leveles zeolitoké, ahol a gyűrűk már két irányban kapcsolódnak egymással. A harmadik csoport pedig a kockás zeolitoké, amelyek esetében a kapcsolódás már a tér mindhárom irányába történik. Azokat a zeolitokat, amelyeknek a szerkezetét nem ismerték, az egyebek közé sorolták. Ma már tudjuk, hogy minden zeolit rácsa háromdimenziós. A kristálmorfológiát pedig nemcsak a szerkezet, hanem a képződési körülmények is jelentősen befolyásolják.

Napjainkban már egy másik felosztást használnak, amely elsősorban a szerkezeti tulajdonságokat veszi figyelembe. A zeolitok rácsát alegységek építik fel, amelyek a szilikát és alumínát ionok összekapcsolódásával jönnek létre. Az egy csoportba tartozó ásványok rácsát ugyanazon egységek építik fel [Koch-Sztrókay 1967, Kiss 1994].

Az általam elvégzett kísérletekben a *klinoptilolit tartalmú zeolitot* választottam, ami Magyarország - világviszonylatban is jelentős - zeolitkészletének fontos ásványa. A Zempléni-hegység déli előterében Tállya és Rátka között riolit-tufa összletben mordenit társaságában található. A rátkai zöldes elszíneződésű tufa törmelékben széles pásztákban található 40-60% klinoptilolit tartalom, melyből korlátozottan termelés is folyik. A Nemti község határában található zeolit fő ásványa is klinoptilolit.

A *klinoptilolit*, káliumalapú víztartalmú alumíniumszilikát, monoklin kristályrendszerű. Nevezik lúgos fémek és földfémek hidratált alumíniumszilikátjának is. Csoportos kristályai gumószerűen, csoportosan találhatóak. Fehér színváltozattól a vörösön át a liláig ismertek kristályai, többnyire üregkitöltésekben, hasadékokban. Dehidratált tömege fontos ipari nyersanyag. Belső szerkezeti felépítése miatt alkalmas vízmolekulák és hasonló méretű molekulák (pl: CO₂) szorpciójára. A kationok a tetraéder gyűrűn belül, a környezet szabad

kation koncentrációjától függően cserélődnek.

Képlete: $(\text{Na}, \text{K}_2, \text{Na}_2\text{Mg})_4\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96} \times 24\text{H}_2\text{O}$.

Egyes elemzők szerint: $(\text{NaK})_6(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \times 20\text{H}_2\text{O}$

Szimmetriája: a monoklin kristályrendszerben dómos, prizmás kristályai kevés szimmetriaelemet tartalmaznak.

Sűrűsége: 2,2-2,4 g/cm³.

Keménysége: 3,5-4,0 (a Mohs-féle keménységi skála szerint).

Hasadása: rosszul hasad.

Törése: kagylós, egyenetlen.

Színe: fehéres, halványabban és erősebben színezett vöröses és lilába hajlóak kristályai.

Fénye: üveg fényű.

Átlátszósága: átlátszó vagy áttetsző, tömeges megjelenésben opak (fényelnyelő).

Pora: színtelen vagy kissé barnás.

Különleges tulajdonsága: hevítésre kristályvizét könnyen leadja, abszorbens anyaggá válik.

2.3.2. A hazai zeolitok jellemzése

A magyarországi üledékes zeolit-előfordulások szárazföldi üledékképződéssel jöttek létre. Az eredeti tufa, amely később zeolitosodott, alacsony Na₂O és magas K₂O tartalmú volt. Az átalakult riolittufák zeolittartalma ugyan kisebb, mint a leggazdagabb külföldi előfordulásoké, de ezt ellensúlyozza a kőzet nagy mennyisége, az olcsó kitermelhetőség és a kőzet szilárdsága.

A Tokaji-hegységben található riolitos és andezites piroklasztikumok és lávák a Kárpát-medence miocén vulkánizmusa során keletkeztek több ciklusban. A riolitos piroklasztikumok találhatók nagyobb mennyiségben.

Ez a kőzet eredetileg túlnyomóan üveges tufa volt, amely a későbbiek folyamán agyagászványokká (montmorillonit, kaolinit, dickit, illit, rectorit), kálföldpáttá és zeolitokká (klinoptilolit és mordenit) alakult át autohidratáció, hidrotermális aktivitás és felszíni mállás során. Az így átalakult riolittufák ásványos összetételéről a következőket lehet elmondani: a klinoptilolitos kőzet átlagosan több fajta ásványt tartalmaz, mint a mordenites. Vannak olyan ásványok, amelyek csak mordenitet nem tartalmazó kőzetekben jelennek meg (pl. csillámok, kaolinit). A két zeolit, a klinoptilolit és a mordenit csak ritkán fordul elő együtt és akkor is egyikük csak kis mennyiségben van jelen. Először alakul ki a mordenit a mállási folyamatok során, majd az alkáli földfémek kilugzódásával és a Ca²⁺ ionok

mobilizálódásával kerül sor a klinoptilolit képződésére. A két ásvány térbeli elkülönülése horizontálisan jelentkezik. Rátka és Mád térségében klinoptilolitos, Bodrogszegi és Bodrogkeresztúr térségében pedig már mordenites a kőzet [Juhász, 1983]. A klinoptilolit tartalmú zeolitra jellemző a magasabb CaO-koncentráció (1%<) [Mátyás, 2005].

A zeolitásványok eloszlása és egyik megjelenési módja a kőzetben az, amikor az ásványok pórusokat töltenek ki, abba nőnek bele. Ebben az esetben valódi oldatokból kristályosodtak ki. Ez mind a két kőzetben megtalálható, de a mordenitesre sokkal jellemzőbb. A klinoptilolit ilyenkor mindig táblás megjelenésű, a mordenit pedig hosszú és igen vékony tűk halmaza. Van, amikor csillag alakú, sugaras halmazokat alkot.

A zeolitásványok másik megjelenési módja a tömött, pátos típus. Ebben az esetben az egyes ásványokat sem szabad szemmel, sem fény- vagy elektronmikroszkóppal nem lehet elkülöníteni az alapanyag más ásványaitól. A zeolitok képződése: a kiindulási anyag a riolittufa, annak is az üveges részei. Az üveg alkálikus oldatokkal érintkezik, amelyek hatására elkezd oldódni. Az így keletkezett oldatokból pedig kikristályosodnak a zeolitok. Ami elindítja a zeolitosodási folyamatot, az a tufa saját víztartalma, ill. a csapadékvíz abban az esetben, ha a tufa eredeti hőtartalma hosszabb időn át magasabb hőmérsékletet volt képes fenntartani a piroklasztikumban.

2.4. Zeolit használata a hazai és külföldi szennyvíztisztításban

A zeolitos kőzeteknek a szennyvíztisztításban általában használt anyagokkal (pl. homok) szemben kedvezőbbek a tulajdonságaik. A zeolitos kőzetből készített őrlemény szemcséi nem kompaktak, mint a kvarchomok szemcséi. Mivel az egyes zeolitásványok csak néhány mikrométer nagyságúak, az őrlemény szemcséiben (legyenek bármilyen kicsik is azok) mindig sok ásvány van egymás mellett. Ennek révén az egyes szemcséknek jóval nagyobb a fajlagos felülete, mint egy kvarc szemcsének. A szelektív adszorpció, ill. ioncsere a zeolitnak szintén olyan tulajdonsága, ami alátámasztja a szennyvíztisztításban való alkalmazhatóságát. A szennyvízhez adagolt zeolitos anyagokban a klinoptilolit és a mordenit a két jellemző zeolitásvány, hiszen ezek azok, amelyek az ammóniumionra szelektívek. A zeolit felületén való ion megkötődés következő sorrendben következik be: $K^+ > NH_4^+ > Na^+ > Ca^{2+} > Fe^{3+} > Mg^{2+}$ [Sarioglu 2005, Reynold, 1996, Hodi et al, 1995].

A zeolit ammónium eltávolító tulajdonságát, legrégebb óta (25 éve) Tahoe – Truckee (California) Szennyvíztisztító telepén használják a klinoptilolit tartalmú zeolitot, hatékonyabbá téve a szennyvíztisztítást [Horvathova, 1996]. Klinoptilolit tartalmú zeolitot koaguláló szerrel együtt alkalmazva a természetes az előtisztítás során, - ahol ammónia

eltávolítás következik be -, melynek hatására a KOI értékek tekintetében, magas, 83 %-os javulás volt mérhető [Dae-Hee et al, 2002.].

Egy harmadik fontos tulajdonság, ami már nem a szennyvíztisztításhoz, hanem az iszapkezeléshez kötődik, a következő: az iszapok víztelenítését nagymértékben megkönnyítheti, ha az iszap kellő mennyiségben zeolitot is tartalmaz [Erdey-Grúz, 1963; Atkins, 1992; Berecz, 1991]. Ennek az oka, hogy a zeolitkristályokban csatornák találhatók és emellett magának a kőzetnek is (tufákról lévén szó) nagy a porozitása. Ezek a csatornák, pórusok a szennyvíziszap víztelenítésekor, mint természetes dréncsövek, elősegítik a víz távozását az iszaptól. A víztelenítés hatékonyabb és egyben gyorsabb is lesz, ezáltal. Természetes zeolitoknak az eleveniszapos szennyvíztisztításban való alkalmazására először Magyarországon 1984-ben került sor. 35-100 mg/l koncentrációban 10-180 nm szemcseméretű klinoptilolit tartalmú riolittufát adagoltak a szennyvízhez a biológiai reaktorban. A tapasztalatok kedvezőek voltak a foszfor, a nitrogén eltávolítás, az iszapülepedés, lebegőanyag és az elfolyó víz minőségének javulása tekintetében. Az eleveniszap tápanyag-lebontási hatásfoka 15-25%-kal javult. A tisztított szennyvíz minőségi javulása alapvetően arra vezethető vissza, hogy a zeolit-részecskék iszap-pehelybe való beépülésével javul az eleveniszap ülepedése csökken az utóülepítőből elúszó iszap mennyisége [Kalló, 1992, 1995]. A zeolit-tartalmú szennyvíziszap mezőgazdasági elhelyezés szempontjából több előnyös tulajdonsággal rendelkeznek a hagyományos eleveniszaphoz képest. A zeolit javítja a talaj vízgazdálkodását, kedvezően befolyásolja a talajok kémhatását és hőgazdálkodását, javítja a gyökérlélegzés feltételeit, és csökkenti a műtrágyák kioldódását [Papp, 1995].

A zeolit adagoláson alapuló eleveniszapos szennyvízkezelési technológiák csak szűk körben terjedtek el. Ez elsősorban azzal magyarázható, hogy a szerves anyagok bontását végző baktériumok, zeoliton történő megtelepedése lassú folyamat, következésképpen a zeolit adalék előnyös hatásai is csak hosszabb idő után jelentkeznek. A zeolitok biológiai aktivitásra gyakorolt kedvező hatása csak hosszabb idő elteltével, 5-10 nap után mutatható ki. Ez az idő, amennyiben a telepzet toxikus hatások érik, tovább növekedhet, elérheti a 4-6 hetet, vagy a kedvező hatás jelentkezése elmaradhat [Oláh, 1999]. Oláh és munkatársai (1989/b) aktiválás nélküli, természetes eredetű zeolit örleményt (szemcse átmérő: 10 – 180 µm) szimultán adagoltak különböző szennyvíz telepeken az eleveniszapos medencébe. A mérések alapján megállapították, hogy az eleveniszap lebontási hatásfoka 15 – 25 % - kal javult a kontrollhoz képest. A lebontási hatásfok növekedése a tisztított, elfolyó szennyvíz minőségében is egyértelműen jelentkezett: KOI értéke a kontroll elfolyónál 40 – 110 mg/l, a

zeolit adagolás esetében pedig 28–49 mg/l volt. A BOI_5 a kontroll elfolyónál 10 – 38 mg/l, a zeolit adagolás esetében pedig 5 – 13 mg/l értékek között változott.

Valamennyi zeolittal üzemelő magyarországi szennyvíztelepnél (Dunakeszi, Zánka, Balatonberény, Tapolca, Zalaegerszeg, Sármellék) az elfolyó szennyvíz minőségének javulása egyértelműen kimutatható volt. A vizsgált szennyvíz telepeken az elfolyó víz minőséget jellemző KOI és BOI_5 értékek a kontrollhoz képest 30 - 60 %-os javulást mutattak. A hazai üzemi kísérletek eredményeit a 3. táblázat mutatja.

1984-ben a Vízépítőipari Tröszt, a Központi Kémiai Kutató Intézet és Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Központ dolgozói szolgálati szabadalmat jelentettek be. A szabadalmat több európai országban (Németország, Svájc, Nagy Britannia, Franciaország, Olaszország, Hollandia) bejelentették és értékesítették. A szabadalom címe: Process and Equipment for Removal of Suspended Material, Biogenetic Nurrients and Dissolved Metal Compounds from Sewage Cotaminated with Organic and/or Inorganic Substances. (Application NB: 85901544.8, Date of Filling: 01.04.85, Priority: HU/02.04.84/HU 131984). A szabadalom alkalmazása az eleven iszapos szennyvíz tisztítás számos gondjának (iszapülepedés, foszfor és nitrogén tápanyag eltávolítás, elfolyó vízminőség javítása) megoldásához jelentékenyen hozzájárult. Az alábbiakban a szabadalom alkalmazása során elért hazai és nemzetközi eredményeket foglalom össze.

A "Zeoflocc"®szabadalmat más európai államokban (Németország, Ausztria, Svájc) is alkalmazzák. A külföldi alkalmazások során mért eredmények a 4. táblázatban láthatók. A vizsgálati eredmények azt bizonyítják, hogy jó minőségű elfolyó szennyvíz minőségét (40 - 70 mgKOI/l) az eleveniszapos levegőztetőbe történő zeolit adagolással még tovább lehet javítani (25 - 40 mgKOI/l). Az eleveniszapos telepeknél a por formájú zeolit adalékok hatására tisztított szennyvíz minőségében bekövetkező javulást az ausztrál tapasztalatok is alátámasztották [Charuckyj, 1997, 1998]. Ausztráliában a zeolitot por formában a Brisbane Water Sewerage Auhorities területén lévő eleveniszapos telepeken alkalmazták. A tápanyag (KOI, N, P) eltávolítás mellett jelentősen javult az iszapülepedés is.

**4. táblázat: Zeolit adagolással üzemelő hazai eleveniszapos szennyvíz telepeken végzett mérések
összefoglalása**

Szennyvíztelep megnevezése	Szennyvízre vonatkoztatott zeolit és Fe ³⁺ adagolás (g/m ³)	iszapterhe lés	KOI	BOI ₅	Összes -P	Ammónia-N	Nitrát-N	Lebegőanyag	SVI
	zeolite	Fe ³⁺	(kgBOI kg ⁻¹ d ⁻¹)	(mg/L)					(ml/g)
<u>Dunakeszi (30 m³/d): 1986</u>	65	17,5	1,2						
-Befolyó				235	110	13.7	29.7	1.2	185
-Elfolyó				40	9	1.4	12.6	19.5	12
-Elfolyó kontroll				69	19	8.6	19.5	8.5	40
<u>Zánka (400 m³/d): 1987</u>	30	13,0	0,04						
-Befolyó				110	51	4.1	17.7	2.5	32
-Elfolyó				28	5	1.1	1.8	91.3	6
-Elfolyó kontroll				40	10	3.3	0.3	60.6	14
<u>Balatonberény (120 m³/d): 1988</u>	43	26,0	0,04						
-Befolyó				306	155	12.6	38.8	0.7	144
-Elfolyó				36	8	0.8	2.6	57.5	9
-Elfolyó kontroll				54	15	5.0	21.5	24.9	17
<u>Tapolca (2 000 m³/d): 1988</u>	40	20,0	0,03						
-Befolyó				360	157	12.3	35.5	0.6	178
-Elfolyó				45	6	1.1	1.3	75.4	11
-Elfolyó kontroll				67	16	8.5	8.5	51.2	22
<u>Zalaegerszeg (15 000 m³/d): 1990</u>	44	11,0	0,08						
-Befolyó				686	298	10.2	41.2	1.1	214
-Elfolyó				49	13	1.5	3.3	65.5	10
-Elfolyó kontroll				108	25	4.8	5.6	38.6	40
<u>Sármellék (100 m³/d): 1994</u>	80	16	0,10						

-Befolyó				977	456	52.4	109.5	1.1	233	
-Elfolyó				41	13	1.7	4.1	20.3*	18	120
-Elfolyó kontroll				110	38	16.5	36.2	50.6*	66	180

* A szennyvíz telepen denitrifikációt alkalmaznak

A "Zeofloc"® szabadalmat a lefolytatott üzemi kísérleteket követően két szennyvíz telepen - Zalaegerszeg, Sármellék - alkalmazták üzemszerűen. A tisztított szennyvíz minőségének javulása alapvetően arra a tényre vezethető vissza, hogy a zeolit részecskék iszap pehelybe történő beépülésével javul az eleven iszap ülepedése és az utó-ülepítőből csökken az elúszó iszap mennyisége.

5. táblázat: Zeolit adagolással üzemelő külföldi eleveniszapos szennyvíz telepeken végzett mérések összefoglalása

Megjegyzés: Az adatokat Weinstock & Siebert Chemische Produkts, a KA – Breitebs – Info és az Anwendung von KLINO 80/100 Datenblätter: Zulauf. Ablauf. ARA CHUR, jelentések alapján állítottam össze. Az adagolt zeolit aktiválás nélküli, természetes eredetű készítmény volt.

Szennyvíztelep megnevezése	Szennyvízt elep kapacitása	Adagolt zeolit mennyiség	KOI	BOI ₅	Összes - P	Ammónia - N	iszapterhelés	SVI
	(m ³ /d)	(g/m ³)	(mg/L)				(kgBOI kg ⁻¹ d ⁻¹)	(ml/g)
A (Németo.)								
Elfolyó	4 000	30	40	-	-	8.6		
Elfolyó kontroll	4 000	-	70	-	-	40		
B (Németo.)								
Elfolyó	2 500	15	20 - 40	-	-	8.0		
Elfolyó kontroll	2 500	-	60	-	-	25 - 35		
C (Németo.)								
Elfolyó	1 000	15	30 - 40	-	3.0	2.5		
Elfolyó kontroll	1 000	-	50 - 60	-	5.0 - 6.0	25 - 30		
D (Németo.)								
Elfolyó	1 000	15	30	-	-	18		
Elfolyó kontroll	1 000	-	40	-	-	20 - 25		
Königswiesen (Ausztria)	1 500	15	-	-	0.3 – 0.8	0.5 - 1.8	0.16	82
Elfolyó	1 500	-	-	-	.3.0	4.7	0. 16	313
Elfolyó kontroll								

Chur (Svájc)								
Elfolyó	17 000	30	25	5.0 - 9.0	0.25	8.0 - 10.0		
Elfolyó kontroll	17 000	-	70	25.0	0.8	15.0 - 20.0		

Oláh és munkatársai (1989/a) a "Zeoflocc"® eljárás alkalmazása során azt tapasztalták, hogy az eleveniszapos medencébe történt por- formájú zeolit adagolás (50 – 100 mg/l) hatására az ammónia eltávolítás (nitrifikáció) sebessége 3 – 5x-sére növekedett a kontrollhoz képest. A nitrifikáció növekedését a natur és a vassal aktivált zeolitok adagolásánál egyaránt tapasztalták. Ezeket a tapasztalatokat a magyarországi és a külföldi mérések (3. és 4. táblázat) egyaránt alátámasztják. Zeolit adagolással a teljes nitrifikációs tisztító berendezéseknél (<0,1 kgBOI/kg nap terhelés) a szükséges levegőztető térfogatot kb. 25 - 30 %-kal lehet csökkenteni. A rész nitrifikációs rendszereknél (0,1 - 0,2 kgBOI/kgnap terhelés) még nagyobb reaktor térfogat csökkentés (30 - 35 %) realizálható. A Sármellék (5. táblázat) szennyvíztisztító telepére befolyó nagy ammónia- N tartalmat (109,5 mg/l) zeolit adagolással az elfolyó vízben 4,1 mg/l -re lehetett csökkenteni. A kontroll elfolyónál 36,2 mg/l ammónia-N értéket mértek. Tehát bizonyos befolyó ammónia koncentráció felett (>50 mgN/l) zeolit adagolás nélkül a teljes oxidációs rendszerben sem lehet tartani a tisztított szennyvízre vonatkozó ammónia határértéket (5 mgN/l). A teljes oxidációs telepeknél zeolit adagolással a tisztított szennyvíz ammónia koncentrációja 1,3 - 3,3 mgN/l volt. A telepek nagyon stabilan tartották az 1. táblázatban megadott elfolyó ammónia értékeket. A Königwiesen (Austria) és a németországi szennyvíz telepek (4. táblázat) csak zeolit adagolással tudták a tisztított szennyvíznél az ammónia határértéket tartani. Zeolit hatására a tisztított szennyvízben más telepeknél is kb. harmadára csökkent az ammónia koncentráció.

A zeolit örlemény ammónia eltávolító hatása azzal magyarázható, hogy a zeolit szemcséken megtelepedő nitrifikálók számára az ioncsere révén közvetlenül a szemcse felületén rendelkezésre áll az ammónia, mint szubsztrát és oxigén. Zeolit adagolás nélkül képződő, korlátozott tápanyag és oxigén ellátású nagyobb (> 300 µm) iszap-pelyhekben lévő nitrifikáló baktériumok kisebb hatásfokkal végzik a nitrifikációt.

A "Zeoflocc"® eljárás hazai alkalmazása során a foszforeltávolítás is feladat volt, mivel az 3. táblázatban feltüntetett telepek - Dunakeszi telep kivételével - a Balaton vízgyűjtő rendszerébe bocsátják a tisztított szennyvizeiket. Ezeknél a szennyvíz telepeknél vas (III) ionokkal aktivált zeolitot adagoltunk az eleven iszapos medencékbe.

Oláh és munkatársai (1986, 1989/a, 1991) zeolit por (szemcseméret: 10 – 180 μm) vizes szuszpenziójához vas (III) só oldatot adtak. Az ily módon készült szuszpenzióból olyan mennyiséget adagoltak a nyers szennyvízhez vagy az eleveniszapos medencébe (35 - 80 mg/l zeolit + 10 - 26 mg Fe^{3+} /l), hogy a foszfor eltávolítás végbemenjen. A zeolit + Fe^{3+} rendszer segítségével hatékony foszfor eltávolítást lehetett megvalósítani: 15 - 52 mgP/l befolyó koncentráció mellett az elfolyó vízben az összes foszfor koncentrációja 1,1 - 1,9 mg/L értékek között változott. A hazai szennyvíz telepeknél a befolyó szennyvíz 10 – 15 mg/L -es foszfor koncentráció tartományában 30 - 40 mg/l zeolit adagolás elegendő. A zeolit + vas(III) ionok együttesen nagyon hatékony foszfor eltávolítást biztosítanak. A tisztított szennyvízre vonatkozó foszfor határértéket (1,8 mgP/l) mindenesetben tartani lehetett. Az elfolyóban ennél még kisebb foszfor koncentráció értékeket lehet elérni, ha a zeolit adagolást 50 - 60 -re növelték. Sármellék (Magyarország) községi szennyvíztelep próbaüzemi mérései során 80 mg/l zeolitot + 16 mg Fe^{3+} /l adagoltak az eleveniszapos medencébe. A befolyó szennyvíz foszfor koncentrációja igen nagy (52,4 mgP/l) volt, ennek ellenére az elfolyó, tisztított szennyvízben < 1,7 mgP/l értékeket mértek [*Oláh*, 1994]. Külföldi telepeknél pl. Chur (Svájc) város szennyvíz telepe (4.táblázat), csak zeolit adagolással tudta a tisztított szennyvízre vonatkozó foszfor határértéket (0,3 mgP/l) tartani. A hazai mérések egyértelműen bizonyították, hogy az eleveniszapos rendszerbe beadagolt vas ionokkal dotált zeolit őrlemény (10 – 180 μm szemcse méret) a foszfor eltávolítására nagyon jól alkalmazható.

Holman és *Hopping* (1980) "A"(mesterséges készítmény) típusú zeolitot eleveniszaphoz adagoltak (lebegőanyag koncentrációra vonatkoztatva 20 %-os mennyiségben) és az ülepedési sebesség megduplázódott. Javult az iszap víz-leadó képessége is.

A magyarországi [*Oláh et al.*, 1986, 1989/b, 1991] tapasztalatok azt mutatták, hogy az eleveniszapos szennyvíztisztításban a natur és a vas (III) ionokkal aktivált zeolit adagolás hatására az eleveniszap ülepedése lényegesen megjavult: a 200 – 300 ml/g értékű Mohlmann index zeolit adagolás során 80 – 100 ml/g értékre csökkent. A hazai szennyvíz telepeken zeolit adagolással az eleven iszap ülepedését jellemző Sludge Volume Index (SVI) értékét 100 vagy 100 ml/g érték alá lehetett szorítani. Egyes esetekben még 60 ml/g érték alá lehetett menni (4. táblázat). A Königwiesen (Austria) város szennyvíz telepén a hús-ipari szennyvíz hatására kialakult nagy SVI értéket (SVI: 313 ml/g) zeolit adagolással (15 mg/l) vissza lehetett szorítani (SVI: 82 ml/g). Az iszap ülepedés javulásával egyidőben

az iszap-víztelenítésnél flokkuláló szerben megtakarítást (~10 %) tapasztaltak. A külföldi telepek hasonló eredményekről számolnak be (5. táblázat).

Horváthová (1986) szlovákiai Nizny Hrabovecről származó zeolitot aktivált. Az aktiválást Na ion bevitellel, savazással és hőkezeléssel végezte. A zeolit ioncserélő kapacitása nátrium ionok bevitelével 5%-kal, a sav- és a hő-kezeléssel kb. 30%-kal nőtt.

Corrando és munkatársai (1980) "A" típusú zeolitot alkalmaztak az eleveniszapos szennyvíztisztításban fém ionok eltávolítása céljából. A kalciumra vonatkoztatott 75 %-os ioncsere-kapacitású zeolit nem kötötte meg a nehéz fém ionokat, a 25- %-os Ca ioncsere-kapacitás mellett jól kötötte a rézet és cinket.

Rustanov és munkatársai (1988) természetes eredetű zeolitokat (klinoptilolit, mordenit) metil-amin-hidrokloriddal modifikáltak és modifikált terméket klórozott szénhidrogének (triklór-etilén, diklór-etán, diklóretilén, kloroform) eltávolítására használták. A modifikált termékek szorpciós kapacitása 35 - 40 %-kal nőtt a természetes eredetű, nem modifikált anyagokéhoz képest.

Oláh és munkatársai (1989) "Zeoflocc"® eljárás alkalmazása során a természetes eredetű zeolitokat a következő módszer szerint aktiválták: "Ongroflocc" (vas kloro-szulfát: FeSO_4Cl ; Fe^{3+} : 160 kg/m³) oldathoz, zeolit lisztet (< 180 µm) adagoltak. Az aktiváló oldatban hígítással a vas koncentrációját 40 kg/m³ és a zeolit koncentrációját pedig 133 kg/m³-re állították be. A vas só oldat - zeolit szuszpenzió pH-ja 1,0 - 2,0 volt. A szuszpenziót 24 órán keresztül keverték, hogy az adszorpció és ioncsere nagyobb hatásfokkal menjen végbe. A 24 órás keverést követő napon kezdték el az adagolást a szuszpenzióból. A fentiekben leírt folyamatban a vas (III) ionok a zeolit szemcsék járataiba ioncsere és adszorpció révén beépültek (45 – 55 mg Fe^{3+} /g_{zeolit}). A szuszpenzióból a foszfor eltávolítás céljából az eleven iszapos medencébe vas ionokból 12 mg/l a zeolitból pedig 40 g/l mennyiséget adagoltak.

Mucsy (1992) a zalaegerszegi (Magyarország) eleveniszapos szennyvíz telepen bevezetett "Zeoflocc"® eljárás üzemi tapasztalatairól számol be. Az elfolyó, tisztított szennyvízben a foszfor koncentrációja 1 mg/l érték alatt volt. Az iszapüledést jellemző Mohlmann index 200 ml/g értékről 100 ml/g értékre lecsökkent, azaz jelentősen javult az iszap üledése. A tisztított, elfolyó szennyvíz KOI értéke (50 – 60 mg/l) 20 %-os csökkenést mutatott.

Papp (1992) a zeolitok eleveniszapos rendszerbe történő adagolási lehetőségeit, elért hatásokat (tisztított szennyvíz minőségének javítása, iszapüledés javulás, foszfor eltávolítás), és a zeolitok hatásmechanizmusát foglalja össze. A zeolit szemcsék nagy

felületén a vas (III) ionok hatására gyorsan és hatékonyan válik ki az oldhatatlan vas-foszfát. A vas-foszfát és a zeolit szemcse az iszap pelyhekhez kapcsolódva az iszap ülepedését javítják.

Zeolit adagolás hatására bekövetkező ülepedés javulásáról számol be *Charuckyj* (1997) is. A Brisbane Water Authorities területén üzemelő Fairfield szennyvíztelepen zeolit adagolás hatására 200 ml/g ülepedési index 100 ml/g érték alá csökkent. Az ülepedési index (SVI) csökkenése jelzi az iszap ülepedés jelentős javulását.

Songip (1997) összefoglaló tanulmányában kiemeli a zeolitok adszorpció képességét, amely különösen alkalmas parafin, xilol és más olefin származékok eltávolítására.

Bowman (1998) klinoptilolit tartalmú zeolitot HDTMA-Br – hexadecyl-trimetil ammónium-bromiddal modifikált, mellyel a gázolaj komponenseit (benzol, toluol) kötötte meg, illetve a baktériumokat is megkötötte.

Panayotova (1999) természetes eredetű zeolitokat savval kezelt (NaOH, CH₃COONa, NaCl), melynek eredményeként, 1:100 arányban szennyvízhez adagolva, 5,5-7 pH mellett a zeolit réz ion abszorpció képességét növelte.

Heinzel (2000) annak érdekében, hogy meggyorsítsa a zeolit-adagolás előnyös hatásainak jelentkezését, a zeoliton előzetes mikrobiológiai, enzimátikus és szubsztrát dotálást alkalmazott. A szabadalmi leírás szerinti módszer csak kis mértékben csökkenti az időigényt. Ennek oka abban keresendő, hogy a vizes szuszpenzióban, vagy aeroszol formájában a zeolittal kontaktusba hozott baktériumok (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, stb.) ugyan magas baktérium-koncentrációt biztosítanak a zeolit felületén, a baktériumok és a zeolit között azonban nincs stabil kapcsolat. Ennek következtében vizes oldatban – a biológiai reaktorban végbemenő mechanikai hatások következtében – a baktériumok jelentős része lemosódik a zeolit felületéről. A gyorsítóhatás elsősorban a reaktorba vitt többlet-mikroorganizmussal magyarázható, bár azoknak adaptálódniuk kell az adott szennyvízhez. Az enzimmel dotált zeolit enzimtartalma – az eleveniszapos szennyvíztisztítás körülményei között – szubsztrátként funkcionál, és hasonlóan a szubsztráttal kezelt zeolithoz elsősorban a tápanyag-hiányos rendszerekben fejthet ki előnyös hatást. A gyorsítóhatás ebben az esetben sem jelentős, ami azzal magyarázható, hogy a zeolit-adagolás előnyös hatásainak megjelenésénél, nem a zeolit-szubsztrát adszorpció időigénye, hanem a baktériumok zeolit felületén történő megkötésének ideje a limitáló tényező [*Heinzel*, 2000; *Prinz*, 2005].

Ezüsttel dotált zeolittal a patogén baktériumokat a el lehetett távolítani [Rivera-Garza, et al., 2000].

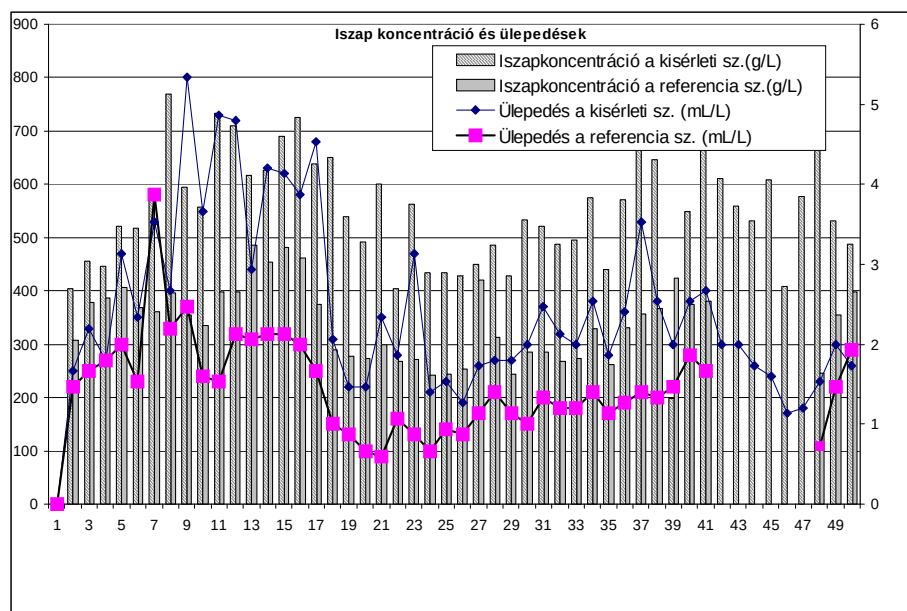
Faghighlan (2005) zeolit modifikálása után a kromát-ion adszorpciót vizsgálta. Az anionadszorpció, az ólom-kromát vizsgálatokkor érte el a maximumot.

Zeolit és agyag, mint bioreaktor töltettel végeztek összehasonlító kísérleteket. A kísérlet három lépésből állt, mely során a hőmérsékletet változtatatták, illetve a befolyó szennyvíz ammónia N tartalmát növelték lépésenként a kiindulási N mennyiség duplájára. A hidraulikai terhelés 2-3 m³/h változatlan volt mindhárom esetben. A két töltet (zeolit – agyag) összehasonlító értékelése azt mutatta ki, hogy a zeolit töltet sokkal rugalmasabban reagál a hőmérséklet csökkenésre és a NH₃-N növekedésre, mint az agyagos töltet. A heterotróf baktériumok és a nitrobaktériumok nagyobb mennyiségben voltak jelen a zeolitos töltet esetében, ami szintén a nitrifikációs teljesítmény növekedését vonja maga után [Sheng-Bing et al., 2006].

Prinz és Oláh (2001) a 2001-ben induló üzemi kísérleteknél alkalmazott zeolit modifikációja megtartja a fent leírt eljárás pozitív tulajdonságait, mindemellett meggyorsítja a baktériumok megkötődését a zeolit felületén. A zeolit felületén bekövetkező töltés változást *speciális szerves anyagokkal való aktiválás során érik el*. Az aktiválás során egymás után kétszer kationaktív polimerrel kezelik a természetes eredetű zeolitot. Ezáltal a zeolit kationcserélő kapacitását anioncserélő kapacitásra cserélik, a kapacitás mintegy megötszörözésével. A felületkezelt zeolit kationcserélő képességének mintegy 10%-át köti le a szerves polimer, így megtartható annak mindkét ionra szelektív ioncserélő tulajdonsága.

Az Északpesti Szennyvíztisztító telepen végeztek kísérleteket (2007), aktiválás nélküli, természetes zeolittal. A Szennyvíz Telep normál esetben 150-160 ezer m³/d szennyvíz megtisztítására képes. 30-40 g/m³ zeolit adagolásával 240 ezer m³ szennyvizet is képes megtisztítani, a határértékek és a technológiai biztonság betartása mellett.

Ehhez az utóülepítők felületi lebegőanyag és iszapterhelését kellett megemelni. A zeolit adagolás legfőbb hatása abban jelentkezik, hogy megnöveli az iszapszemcsék ülepedési sebességét, így az iszap ülepedőképességét is. Mivel az utóülepítők iszapterhelése erősen függ az iszap ülepedőképességétől (félórás ülepedés), ezért lehetővé vált a zeolit adagolás mellett, hogy az iszapterhelést a névleges érték kétszeresére is emeljék.



10. ábra: Iszapülepedés mértéke az Észak Pesti Szennyvíztisztító Telepen

Havária esetben normál terhelés mellett az előző zeolit dózis negyede (10 g/m^3) felhasználásával, a fent említett folyamatok, továbbá a fonalas pehely nagyobb zeolit megkötő képessége folytán uralni tudták az iszapfelúszást, és a telep folyamatos üzemmenet közben a határtértékek betartása mellett képes volt regenerálódni.

2.4.1. Zeolit használat a szennyvíziszap kezelésnél

A szennyvíziszap zeolittal történő keverése utáni dezintegrációs kezelés során vizsgálatok kimutatták, hogy az iszap rothaszthatóságát és az iszap stabilitását javítja és a keletkező biogáz mennyiségét növeli. A zeolit, mint baktériumhordozó anyagok a lebontási folyamatokat felgyorsítják, kb. 8 %-kal növeli a gázkihozataalt. A zeolit jobb szerkezeti struktúrát ad az iszapnak, ezáltal jobban vízteleníthető, így csökkenthető az adagolt polielektroit mennyisége is.

Szikkasztó ágyas víztelenítésnél a párolgási tényező téli időszakban csökken, viszont a zeolit vízfelvevő kapacitása időjárástól kevésbé függ, így a hűvösebb időben is zajlik a vízfelvétel. A víztelenítés így a szezonális változásoktól kevésbé lesz függő. Hosszan tartó fagyos időszakban áll le a víztelenítési mechanizmus.

Szolár szárításnál, és szikkasztó ágyak esetében is az iszap felső rétege megkérgesedik. Ennek a felső rétegnek a porhanyósodása a kihelyezés után, természetes körülmények között 2 év is lehet, melyhez a talaj víztartalmát használja fel. A zeolit tartalmú szennyvíziszap esetében a kérgesedés nem lenne ilyen mértékű, mivel a felvett víz, a száraz körülmények között immobilizálódik, így a talaj vízháztartását ez a folyamat nem befolyásolná negatívan.

A zeolit adagolás növelésével nő a N megkötés is, de csak a telítési határig, vagy „kimerítésig”. A zeolit felületén bekövetkező ammónium adszorpció igen gyorsan végbe megy, már 90-120 perc alatt eléri a 90-95 % -os arányt. A N megkötődés hatására a csurgalékvíz N tartalma, a megkötődés mennyiségével csökken, tehát adott esetben a szennyvíztelepet, nem éri nagy mennyiségű N terhelés, ami a csurgalékvízből minden esetben éri a telepet. A megkötött N-t, vizes közegben az egyensúlyi koncentráció eléréséig a zeolit leadja, azaz deszorbeálódik a N, mely a növénynek fontos tápanyagforrás lehet, egyben elkerülhető a talaj kimosódási vesztesége, tömörödése.

Hasonlóan a N megkötés vizsgálatához P tekintetében is jó eredményeket lehet elérni a zeolit használatával. Átlagosan 40-50%-os P csökkenéssel lehet számolni. Ez az arány mindenképp mutatja a csurgalékvíz általi terhelés csökkenését, valamint, így a P mint tápanyag jelenik meg a mezőgazdasági hasznosítás esetén.

2.4.3. Zeolit modifikáció

A zeolitok felhasználási lehetősége a víz és a szennyvíztisztítás területén nagyon sokrétű lehet. A víz és a szennyvíztisztítás területén különösen a modifikált zeolit (továbbiakban MZ) termékek használhatók. A természetes zeolitok aktiválásának különböző módjai ismeretesek. Ezek a modifikálási eljárások tulajdonképpen a zeolit alaptulajdonságainak növelését illetve új tulajdonságok kialakítását célozzák. Pl. ismeretes a zeolitok kiváló hidrofilitása (a vízmolekulákkal hidrogénkötés létesítése), ha bizonyos esetben organofil (vizes oldatból a szerves vegyületeket megkötése) hatást akarunk elérni, ezt dealuminálással egybekötött pórus szerkezet változtatással lehet kialakítani. A zeolitok modifikációs módszerei közül meg kell említeni hő-és savkezelést, szervetlen ionok (Fe^{3+} , Al^{3+}) beépítését. Ezekkel a modifikációs módszerekkel a zeolitok ammónium ioncsere, foszfát - és általános adszorpciós megkötő és flokkulációs képességeit jelentősen lehet fokozni. A baktériumok lassú immobilizációja a zeolit felületén a következőkkel magyarázható:

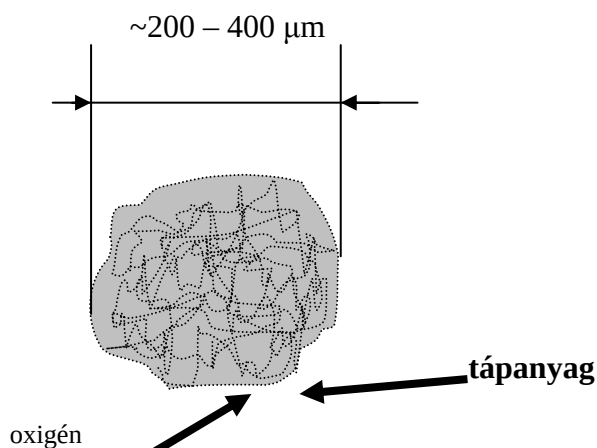
A természetes zeolitok – kation-cserélő sajátságainak következtében – vizes közegben negatív felületi töltéssel disszociálnak:



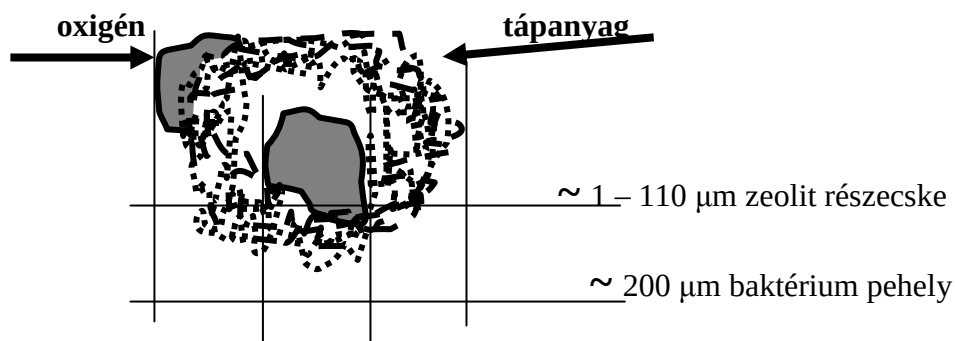
ahol $M=Na^+, Ca^{2+}$

n =ezen elemek kationjainak töltése

Vizes fázisban a baktériumok felületi töltése szintén negatív. Közismert, hogy az azonos töltésű részecskék taszítják egymást, ezért könnyű belátni, hogy a baktériumok megtapadása a zeolit felületén nem gyors folyamat.

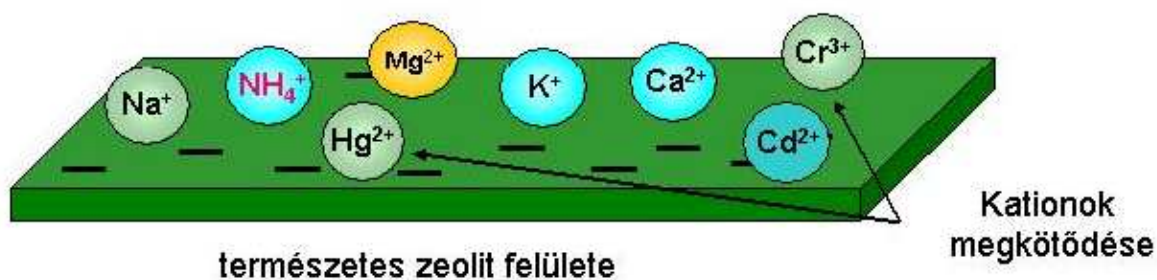


11. ábra: Eleveniszap pehely

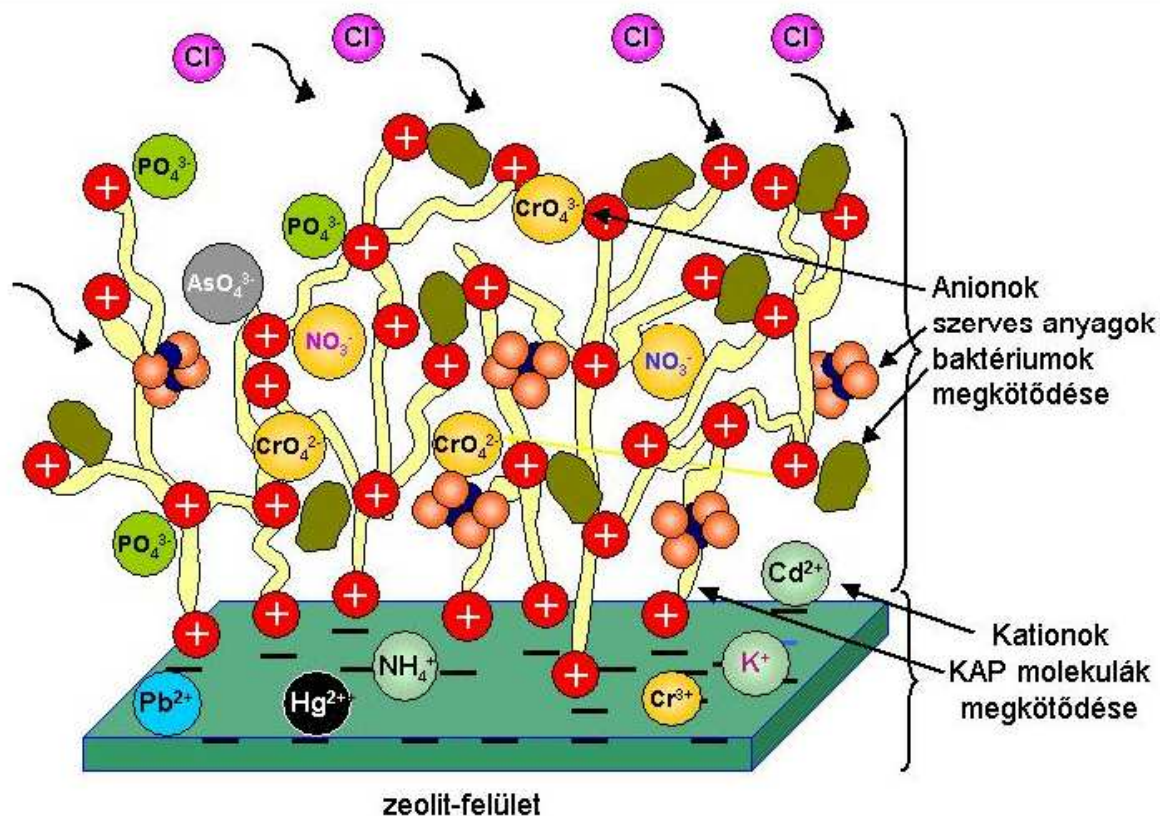


12. ábra: A zeolit részecske felületén megkötött baktériumok

A zeolit-baktérium kapcsolat létrejötte, a baktériumok által termelt, extracellurális polimereknek (ECP) köszönhető [Quarmby, 1999]. Az ECP molekulák ugyanis hidat képeznek a baktériumok és a zeolit szemcséi között. A biopolimer kialakulása azonban lassan megy végbe, amelynek kialakulását a toxikus lökések tovább gátolhatják.



13. ábra: A természetes zeolit felülete [www.living-planet.hu]



14. ábra: A modifikált zeolit felülete [www.living-planet.hu]

A zeolit modifikálásával ezt a folyamatot kívánták felgyorsítani. A zeolit-kezelési eljárás azon alapszik, hogy a zeolitot kationaktív polimerrel kezelve, stabil zeolit-polimer kötések alakítanak ki. A baktériumok ezek után a kationaktív polimer szabad pozitív töltésein keresztül néhány perc alatt immobilizálódnak a kezelt zeolit részecske felületén. Ezzel az eljárással a modifikált zeolit felületére fajlagosan nagyobb számú baktérium vihető fel, mint ha a baktériumok csupán a biopolimer kialakításával kötődnének a zeolit szemcséhez. A nagyméretű kationaktív polimer-molekulák nem tudnak a zeolit belső üregeibe behatolni, ezért csak a külső felületi töltéseket változtatják negatívról pozitívrá. Ez azt jelenti, hogy a zeolit mind az anion-, mind a kationcserélő tulajdonságát megőrzi. A MZ

jelenlétében rövid idő alatt nagyszámú és kisebb méretű - mintegy feleakkora átmérőjű (~ 200-300 μm) - baktérium flokk keletkezik, mint a természetes úton kifejlődött eleveniszap pelyhek (~ 200-500 μm) esetében. Az újonnan kialakult zeolit pehely méretéből és szerkezetéből adódóan jobb oxigén és tápanyagellátást biztosít a zeolit felületén megkötött baktériumok számára. A zeolit modifikálása légfázisban, száraz eljárással történt a jobb homogenitás elérése érdekében.

2.4.4. Modifikált zeolittal végzett laborkísérlet

NATO Science for Peace (SFP) programja keretében támogatott laborkísérletek során bebizonyosodott, hogy a zeolit adagolás következtében nem egyszerűen az eleveniszapos folyamat intenzifikálásáról van szó, hanem ammónia adszorptív-ioncsere képességgel (18 mg $\text{NH}_4/\text{g}_{\text{zeolit}}$) és nagy fajlagos felülettel bíró zeolit hordozó anyag felületén megkötött (részecskeméret: 10-120 μm , $f_k > 100 \text{ m}^2/\text{g}$) baktérium rendszer végzi a biológiai lebontást. A hordozóanyag nagy felületén külső beavatkozással olyan polimer kötések hoztak létre, amelyek elősegítik a baktériumoknak a hordozó anyag szemcsére történő gyors feltelepítését. A hordozó anyag baktérium rendszer az eleveniszapos medencében lebegő a diszperz eleveniszapos pehely szerkezetet megtartja.

A heterotróf és autotróf baktériumok szaporodását alapvetően befolyásolja az iszapkor, hőmérséklet, pH, toxikus anyagok, tápanyag koncentráció, oxigén koncentráció. A polimerrel aktivált zeolit részecskék beadagolása során a hordozóanyag nagy fajlagos felülettel rendelkezik. Ennek következtében megnő az ioncserélő és adszorpciós felület és ez kedvezően hat a lebontást végző populáció elszaporodására. Az eleveniszapos medencében sok millió zeolit - baktérium flokk részecske képződik. A hatékony tápanyag lebontás és nitrifikáció, a nagy fajlagos felület hatásán túlmenően magyarázható azzal a ténnyel is, hogy az ioncsere és az adszorpció révén az ammónia és a szén forrás a hordozóanyagon közvetlenül a baktériumok rendelkezésére áll. A polimerrel aktivált zeolit részecskén a baktériumok megkötése gyorsan végbemegy. *Az aktiválás nélküli természetes eredetű zeolit részecskén a baktériumok megkötése lassú folyamat, mert a baktériumok a zeolit részecskéhez csak az általuk termelt biopolimerek segítségével tudnak kötődni.*

A modifikált zeolittal természetesen az üzemi kísérleteket megelőzően számos laborkísérletet végeztek. A laborkísérletek és a modifikált zeolit tulajdonságai alapján az eleveniszapos technológiában történő felhasználás során várható eredmények [Princz, 2003]:

- nő a szervesanyag lebontási sebessége,
- nő a nitrifikációs és denitrifikációs sebesség,
- nő szerves nitrogén vegyületek lebontási sebessége,
- javul az iszap ülepedése, ezáltal az utóülepítőből kevesebb szennyvíziszap úszik el, ami tovább javítja a tisztított víz minőségét,
- a szennyvíziszap víztelenítéséhez szükséges vegyszerigény csökken,
- a szennyvíztisztító telep jobban viseli a toxikus lökéseket.

A projekt célja volt, egy új zeolit-modifikációs eljárás és egy új - alacsony beruházás - és üzemeltetési költségigényű - szennyvíz-kezelési technológia kidolgozása, melyek alkalmazása révén, az eleveniszapos technológiával működő szennyvíztisztító telepeken:

- a szervesanyag - KOI-ban kifejezett- lebontási sebessége 20 - 25 %-kal növelhető.
- a nitrifikációs és denitrifikációs sebesség 50 -100 %-kal növelhető,
- a szerves nitrogén vegyületek biológiai lebontási sebessége 30 - 50 %-kal növelhető,
- a foszfor-eltávolításhoz szükséges vegyszerigény 20 - 30 %-kal csökkenthető.
- az iszap ülepedést jellemző Mohlmann index értéke 100 ml/g alá csökkenthető,
- a biológiai tisztító rendszerből kikerülő szennyvíziszap víztelenítéséhez felhasználásra kerülő polielektrolit mennyiségét 10-15 %-kal csökkenthető.

(A felsorolásban szereplő százalékos értékek a hagyományos eleveniszapos szennyvíz-kezelési eljáráshoz viszonyított értékek.)

3. Anyag és módszer

3.1. Mintavételezés, vizsgálati módszerek és adatfeldolgozás

3.1.1. Vízkémiai paraméterek vizsgálata:

A NATO „Science for Peace” programja keretében fiatal kutatóként vettem részt. A programon belül modifikált zeolittal történő eleveniszapos szennyvíztisztítás hatásfokát vizsgáltam.. A tisztítási folyamatot heti rendszerességgel, a vízkémiai jellemzőkre (KOI, BOI₅, lebegőanyag, N, P) vonatkozólag vizsgáltam.

3.1.2. A kísérletek végrehajtásának elve:

A kísérleti munkánál az alábbi munkarendet követtem:

- A vizsgálandó szennyvíztelepről nyers, előülepített szennyvizet és a recirkulációs körből eleveniszapot kellett a laboratóriumba beszállítani.
- Az eleveniszapból és a szennyvízből el kell készíteni levegőztetéshez a szükséges keveréket. A keverék elkészítése a következőképpen történt: a leülepedett recirkulációs iszap iszap-vizét leöntjük, majd az iszapot összerázással homogenizáljuk. Ebből a homogenizált iszapból 250 ml-t menzurába kimérünk, és szennyvízzel 1literre feltöltjük. A fentiekben ismertetett keverési arány mellett ajánlatos elkészíteni a levegőztetési kísérletnél felhasználásra kerülő kiindulási keverékét. Előzetes számítással mindig tisztázni kell a levegőztetési minták alapján, hogy hány liter keverékre van szükség és ezt a keveréket egy nagyobb edényben, együtt kell elkészíteni, majd az 1 literes menzurákba szétmérjük a mintákat. A szétmérésnél és minta vételnél vigyázni kell, mert az iszap, ülepedésre hajlamos, ezért mintavételezés közben és mintavevő edény bemejtése előtt a keveréket mindig alaposan össze kell keverni. A keverék elkészítése után a kiindulási mintának meghatározzuk az iszap koncentrációját (lebegőanyag) és a zeolit adagolást erre a koncentrációra vonatkoztatjuk.
- A levegőztetési kísérleteknél mindig szükséges egy vegyszer nélküli mintának (kontroll) a kísérleti sorba történő beállítása.
- A zeolit adagolást az eleveniszap lebegőanyag koncentrációjára vonatkoztatva 5; 8 és 10 % -ban adtuk meg.
- A kiindulási keverékből és a levegőztetés után a szűrt mintákból mérni kell: KOI-t, ammóniát, nitrátot, szerves-N-t, pH-t.
- Szakaszos kísérleteknél a levegőztetési időt, a szennyvíztelep levegőztetőjében beállított átlagos tartózkodási idővel azonosnak vettük.

- Az ülepedési jellemzőt a Molhmann térfogati index segítségével határoztam meg.

A következő szabványok szerint végeztük a kísérleteket:

6. táblázat: A kísérletek során használt szabványok és vizsgált jellemzők

vizsgált jellemző, vizsgálat típusa, alsó méréshatár	mérési módszer azonosítója
össz. oldott és lebegő anyag gravimetria 2 mg/l	MSZ 260-3:1973
pH potenciometria	MSZ ISO 10523:2003
oldott oxigén jodometria 0,2 mg/l	MSZ ISO 5813:1992
BOI₅ jodometria 0,4 mg/l	MSZ EN 1899-1:2000
ammoniumion spektrofotometria 0,02 mg/l	MSZ ISO 7150:1992
nitrition spektrofotometria 0,007 mg/l	MSZ 260-10:1985
szerves N spektrofotometria 1,0 mg/l	MSZ EN 25663:1998
Összes nitrogén Kemilumineszcencia 0,5 mg/l	MSZ EN 12260:2004
nitrácion spektrofotometria 0,4 mg/l	MSZ 12750-18:1974
ortofoszfácion spektrofotometria 0,02 mg/l	MSZ 12750-17:1974
összes foszfor spektrofotometria 0,02 mg/l	MSZ 260-20:1980
KOI kromatometria 30 mg/l	MSZ ISO 6060:1991

Az elemzést számítógépes adatbázis készítésével és az összefüggések vizsgálatával végeztem. Az eredmények megbízhatóságát statisztikai próbával 95%-os valószínűség mellett vizsgáltam.

3.2. Az üzemi kísérletben résztvevő telep rövid bemutatása

3.2.1. Szobi szennyvíztisztító telep műszaki adatai

A modifikált zeolit adagoláson alapuló eleveniszapos szennyvíztisztítási technológia hazai próbaüzemi vizsgálatára elsőként a DMRV Rt. Szobi szennyvíztisztító telepén került sor. A tisztított szennyvíz befogadója a Duna, annak 1.705 + 150 km szelvénye, sodorvonali bevezetéssel. A telep az üzemi kísérlet alatt csak Szob és Márianosztra régebben csatornázott részei kommunális szennyvizeinek fogadását, mechanikai és biológiai tisztítását és a tisztított szennyvíz élővízi befogadóba vezetését biztosította, a már régebben kiépült szippantott szennyvízfogadás mellett. A tisztítótelepen a technológia folyamat során keletkező iszapok előkezelése is történik.

A tisztított szennyvíz minőségi követelményeit jelenleg a 33/1993.(XII.23.) KTM rendelettel módosított 3/1984.(II.7.) sz. OVH rendelkezés és a 2003.01.01-től életbelépő 203/2001. (X.26.) előírás szabályozza. A szennyvíztisztító telep jelenlegi átlagos és tervezett maximális mértékadó terhelési értékei:

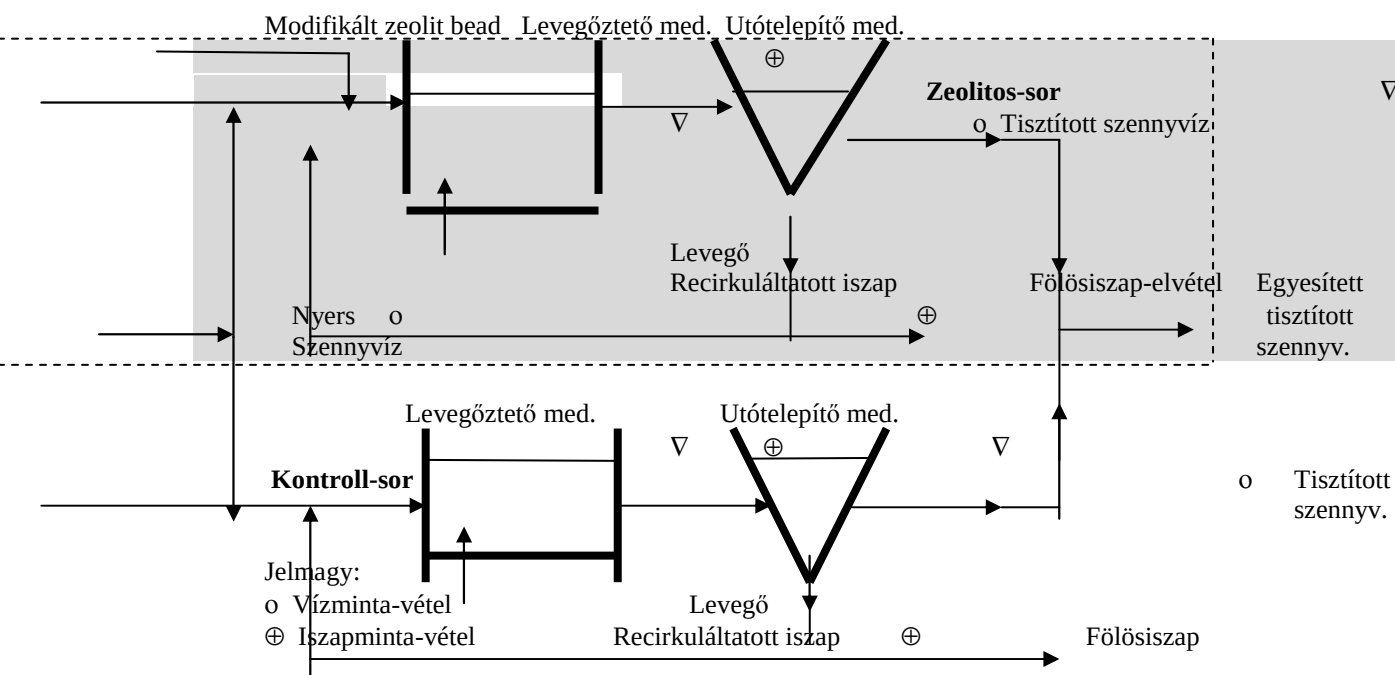
	átlagos	tervezett
Napi vízmennyiség	1.000 m ³ /d	1.300 m ³ /d
Óracsúcs vízhozam	68 m ³ /h	88 m ³ /h
Átlag vízhozam	42 m ³ /h	54 m ³ /h
Éjszakai minimum	28 m ³ /h	36 m ³ /h

A szennyvíztisztító telepre a szennyvizek egyrészt a régi Arany J. u-i I. sz. MOBA átemelőtől D 225 mm-es KM PVC nyomóvezetéken érkeznek, valamint a szippantott szennyvízfogadóba tartálykocsikkal szállítják be a hígfekál szennyvizeket. A technológia során a szennyvíz gravitációs úton halad végig a befogadó Duna folyamba. A telep fő műtárgyai, berendezései úgy vannak kialakítva, hogy esetleges mérgezés, havária esetén azok megkerülése biztosított.

3.2.2. Szobi szennyvíztelepen végzett kísérlet:

Az 1000 m³/nap hidraulikus kapacitású telepre háztartási és élelmiszeripari szennyvizek érkeznek, melyek a nyári és az őszi hónapokban – a gyümölcs feldolgozása idején – okoznak víz- és iszapminőségi problémákat, ami magas elfolyó KOI-ban (200-400 mg/l) és iszapelúszásban nyilvánul meg.

A DMRV Rt. vezetősége a technológiai beavatkozás hatásainak megbízható vizsgálata érdekében a telepet két, egyenként 470 m³/nap kapacitású tisztítósorra választotta szét. A kísérletek ideje alatt az egyik sor a hagyományos technológia, a másik pedig modifikált zeolit adagolásával kialakított technológia szerint üzemelt.



15. ábra: A Szobi szennyvíztisztító telep elvi technológiai sémája, /párhuzamos technológiai sorok/

A Szobi Szennyvíztisztító telepre érkező szennyvíz kommunális hányada annyira alacsony, hogy a nitrogén- és foszfor-tartalmú vegyületek koncentrációja nem éri el a biokémiai folyamatokhoz szükséges optimális értéket. Ez azt jelenti, hogy a telep nem ideális a zeolitok nitrifikációt és foszfor-eltávolítást intenzifikáló hatásainak vizsgálatára. A kísérlet alapján a modifikált zeolitok alkalmazhatóságát kívántam megvizsgálni, elsősorban a szobi szennyvíztisztító telepen jelentkező problémák kezelésének a tekintetében. Az aktivált zeolit hatását a savas, alacsony pH-jú szennyvizek, magas KOI és magas cukortartalmú szennyvizek kezelésénél elszaporodó fonalas szervezetek visszaszorítása, csökkentése céljából vizsgáltam.

A szobi telep vizsgálatával tehát arra kerestem a választ, hogy a zeolitos technológia számára az eddigi tapasztalatok szerint „kedvezőtlen” körülmények között a modifikált zeolit bizonyíthatóan jobb eredményeket mutat-e. A modifikált zeolit hatását, és alkalmazhatóságát az üzemi kísérlet során különböző terhelési viszonyok között is meghatároztam. Ennek megfelelően a kísérleti időszak három szakaszra bontható, mely

szakaszok a telep hidraulikus terhelésében és az adagolt modifikált zeolit mennyiségében tér el egymástól. A kísérlet indításához aktivált zeolitot 5 %-os koncentrációban adagolták a levegőztetőbe. Az egyensúly elérése után az eleveniszapban a zeolit koncentráció elérte az 5 %-ot.

Szükséges zeolit igény számítási menete a következő:

A zeolit adagolását a levegőztető medencében fenntartott iszap koncentrációra vonatkoztattuk.

7. táblázat: A szobi SzennyvízTelepen végzett kísérlet zeolit igényének számítása

A párhuzamos tisztító sorokhoz tartozó műtárgy térfogatok:	
• Levegőztetők térfogata (V_1):	470 m ³
• Iszapkoncentráció a levegőztetőben (S_A):	~ 4.3 kg/m ³
• A levegőztetőben lévő összes iszap mennyiség (G_A): (470 m ³ * 4,3 kg/m ³)	~ 2021 kg
• Utóülepítő térfogata (V_2):	235 m ³
• Iszapkoncentráció az utóülepítőben (G_S):	~10.6 kg/m ³
• Az utóülepítőben lévő összes iszap mennyisége (G_S): (235 m ³ * 10,6 kg/m ³)	2491 kg
5%-os zeolit koncentráció beállításához szükséges zeolit mennyiség: (G_A) + (G_S):= ~ 2,021 kg + ~ 2,491 kg = ~ 4,512 kg	225 kg
5%-os zeolit koncentráció megtartásához szükséges zeolit mennyiség: Az iszapelvétele átlagosan 14 kg/nap, iszap szárazanyagtartalma 10kg/nap → 140 kg/nap (aminek az 5 %-a 7 kg)	7 kg/day 210 kg/month
8 %-os zeolit koncentráció beállításához szükséges zeolit mennyiség:	135 kg
8%-os zeolit koncentráció megtartásához szükséges zeolit mennyiség: Az iszapelvétele átlagosan 14 kg/nap, iszap szárazanyagtartalma 10kg/nap → 140 kg/nap (aminek az 8 %-a 11.2 kg)	11.2 kg/day 336kg/month
10 %-os zeolit koncentráció beállításához szükséges zeolit mennyiség:	90 kg
10%-os zeolit koncentráció megtartásához szükséges zeolit	14 kg/day

menyiség:	420 kg/month
Az iszapelvétel átlagosan 14 kg/nap, iszap szárazanyagtartalma 10kg/nap → 140 kg/nap (aminek az 8 %-a 14 kg)	
A kísérlet során adagolt zeolit mennyiség összesen = (225kg + (210*2) kg +135 kg + (336*4) kg +90 kg+ (420*4 kg))	<u>3894 kg.</u>

A porszerű zeolit őrlemény fontosabb jellemzői: zeolit tartalom 61 %, szemcse méret <110 µm, ioncserélő kapacitás 1,47 meq/g, az anyag fajlagos külső felülete 60 m²/g.

A zeolit szemcse hordozóanyagnak tekinthető, amelynek nagy fajlagos felületén aktiválási beavatkozással olyan kémiai kötések alakulnak ki, amelyek az elektromos töltéssel elősegítik a zeolit külső felületén (20 – 60 m²/g) a baktériumoknak a megkötődését és a hordozóanyag szemcsére történő gyors fellepipítését. A fenti folyamat eredményeképpen javul az elfolyó, tisztított szennyvízminősége, azaz a tisztított szennyvíz KOI, ammónia és szerves-N koncentrációja csökken. A modifikált zeolit porszerű, világossárga anyag. Az indítómennyiséget egyszerűen a levegőztető medencébe adagoltuk. Ezután már csak a fölösiszap elvétellel a rendszerből eltávozó zeolit mennyiséget kellett pótolni a megfelelő zeolit-koncentráció szintentartásához. Ehhez egy kifejezetten erre a célra épített adagolóberendezést állítottunk üzembe.(16. ábra).



16. ábra: Zeolit adagoló berendezés (Kucsák 2001)

Az adagolóberendezés alkalmazásával lehetővé vált, hogy a zeolit adagolása folyamatos legyen és a kívánt zeolit –koncentráció mindig azonos mértékű maradjon. A szennyvíz és szennyvíziszap mintavételre heti két alkalommal került sor. A telepre befolyó, nyers és az egyes technológiai sorok tisztított vizéből napi átlagmintákat gyűjtöttünk. Az iszapminták vétele mindkét technológiai sor levegőztető medencéjéből és a recirkulációs rendszeréből történt. A vízminta-vizsgálat paraméterei a következők voltak: pH, dikromátos KOI, BOI₅,

NH₄-N, NO₃-N, összes P és lebegőanyag, mikroszkópos vizsgálat. A zeolit adagolás az 5. táblázatban bemutatott adatok szerinte három mennyiségen történt, a szennyvízterhelési időszakoknak megfelelően. Kisterhelésű időszakban 5 % (7kg/nap, 2001. március 30 – június 18.), közepes terhelés esetén 11,2 kg/nap, azaz 8% zeolit adagolást alkalmaztunk (2001. június 21 - szeptember 26-ig), a nagy terhelésű időszakban, ami 2001 októberétől tartott 2002. január 14-ig, - egyben a kísérlet utolsó szakaszát is jelentette, - 10 %, 14 kg zeolit adagolással végeztük a kísérletet.

4. Az eredmények értékelése

4.1. A Szobi Szennyvíztisztító Telep tisztítási hatásfokának alakulása a vizsgált időszakban

Az egyes időszakokban a szennyvíztisztító telepre befolyó és a két párhuzamos sorról a - zeolitos sor (Z), és a kontroll sor (K) - elfolyó kezelt szennyvizek mennyiségi és minőségi jellemző értékeinek alakulását, összefüggéseit mutatom be.

A Szobi Szennyvíztisztító Telep elfolyó vízminősége a vizsgált időszakban az egyéb védett területi kategóriába (Duna 1692–1708 fkm, szelvények közötti szakasza és vízgyűjtő területe) tartozó vízminőségi határértékeknek kellett, hogy megfeleljen, melyet a következő táblázatban a 28/2004. (XII. 25) KvVM rendeletben foglalt melléklet szerint mutatok be.

8. táblázat: A felszíni vízi környezetbe közvetlenül bevezetett szennyvizek országos területi kibocsátási határértékei és a vízminőség-védelmi területi kategóriák

Sorszám	Megnevezés	1. Balaton és vízgyűjtője	2. Egyéb védett területek	3. Általános
1.	pH	6,5-8,5	6,5-9	6-9
	Szennyező anyagok	Határérték mg/l		
2.	Dikromátos oxigénfogyasztás, KOI _k	50	75	150
3.	Biokémiai oxigénigény, BOI ₅	15	25	50
4.	Összes nitrogén, N _{összes}	15	30 ⁽¹⁾	50
5.	Összes foszfor, P _{összes}	0,7	2 ⁽¹⁾	10
6.	Összes lebegőanyag	35	100	200
7.	Összes vas	10	10	20
8.	Összes mangán	2	2	5
9.	Szulfidok	0,01	0,01	2
10.	Aktív klór	2	2	2
11.	Szerves oldószer extrakt (olajok, zsírok) ⁽²⁾	2	5	10
12.	Ammónia-ammónium-nitrogén	2	5	10

¹ A Velencei-tó és a Fertő tó és vízgyűjtője területén a 240/2000. (XII. 23.) Korm. rendelet alapján az 1. kategória határértéke érvényes.

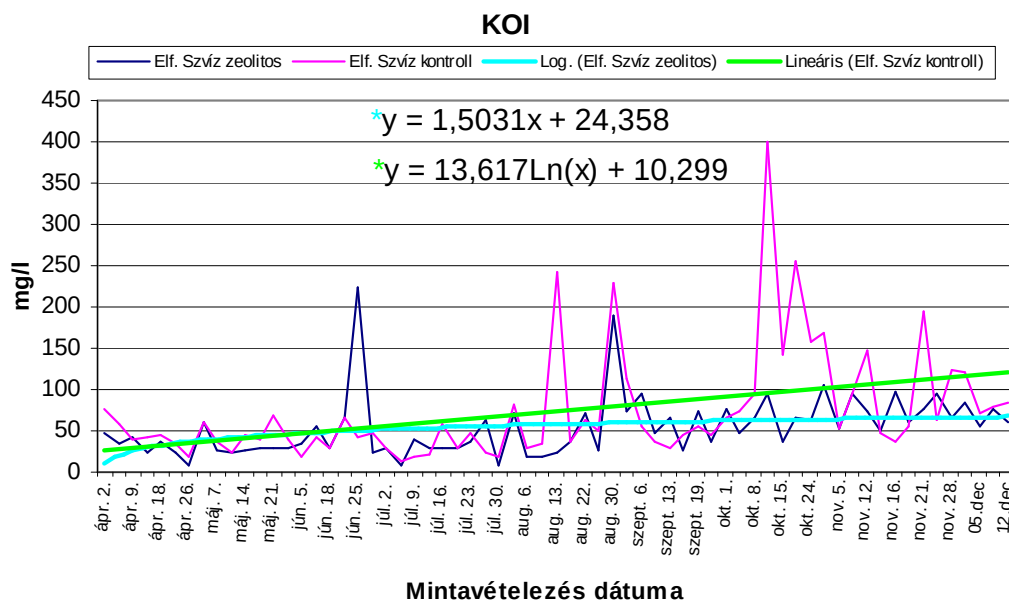
² Állati és növényi zsíradék esetén a határérték háromszoros.

³ A közegészségügyi hatóság által fertőtlenítésre kötelezett üzemek esetében előírandó határérték.

⁴ A hőterhelt víz felszíni befogadóba való vezetésére előírt kibocsátási határérték megállapítása során a befogadóra vonatkozó ökológiai vízhasználatához kötődő határértékek betarthatóságát kell figyelembe venni

4.1.1. Dikromátos oxigénfogyasztás (KOI) mérési eredmények

A kisterhelésű időszakban a szennyvíztisztító telep mindkét tisztító sora általában a megadott paraméterek tekintetében megfelelő tisztítást végzett, a tisztított víz paraméterei nem haladták meg az előírt elfolyó víz határértékeit. A szennyvíztisztító telepre érkező szennyvizek összetételére a kommunális jelleg volt meghatározó, a nyári időszakban az ipari jellegű szennyezések hatására, mely a Szobi Szörpüzem előkezelt gyümölcstartalmú szennyvizéből származott, 1000 mg/l körüli KOI értékkel és magasabb cukortartalom volt jellemző.



17. ábra: KOI alakulása a szobi kísérletnél

A szennyvíztelepre érkező befolyó szennyvíz minőségétől függően változott a KOI is. A 17. ábrán jól látható, hogy a zeolit adagolású sor kiegyenlítettebben reagál a terhelésekre, mint a kontroll sor. Határérték túllépések a szeptember eleji, illetve októberi, novemberi időszakokban figyelhetők meg. A beérkező szennyvíz összetétele az előbbieken említett időszakokban az alma feldolgozás következtében magas cukor tartalmú, savas (~5 pH), alacsony lebegőanyag tartalmú volt.

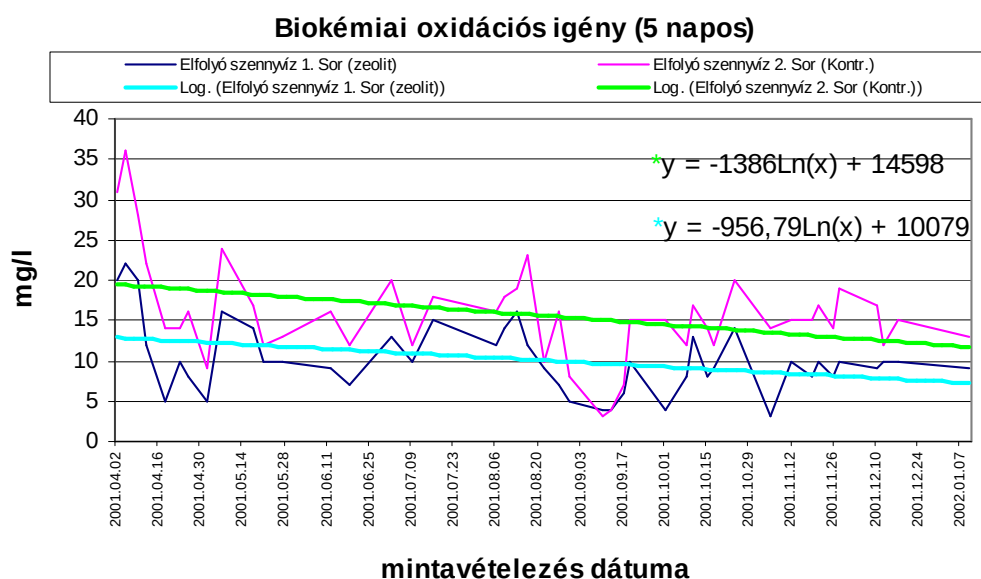
9. Táblázat: vizsgálat során mért KOI értékek szórásnégyzetének összehasonlítása

n=74	minimum	maximum	átlag	szórás(s)	Szórásnégyzet(s ²)	F próba
Elfolyó víz KOI Zeolitos	9	190	54,153	37,10384	1376,695	3,3798
Elfolyó víz KOI kontroll	19	519	73,961	68,21292	4653,002	

A statisztikai elemzés során is megállapítható, hogy $\alpha=0,05$ valószínűség mellett ($F^*<F$; $1,64<3,3798$) a zeolit adagolású műtárgysornál, a változó terhelés esetén is, a zeolitos tisztító sor hatékonyabb tisztítási hatásfokot mutat KOI tekintetében.

4.1.2. Biológiai oxigénigény (BOI₅) mérési eredmények

A tisztított szennyvíz BOI₅ értékeiben, ebben az időszakban szintén eltérés mutatható ki a két tisztítósor között. A 16. ábrán jól látszik, hogy a zeolittal alacsonyabb értékek voltak elérhetők, ahogy a zeolit koncentrációt növeltük, annál jobb lebontási hatásfokot mutatnak az eredmények a bejövő terhelés ellenére is.



18. ábra: BOI₅ alakulása a szobi kísérletnél

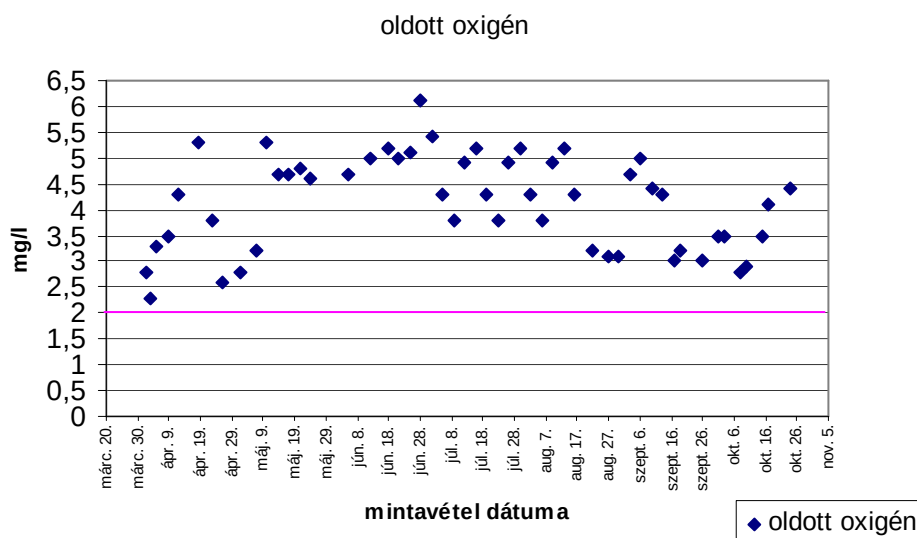
A vizsgálati értékek alapján mindkét soron a szervesanyag lebontás jó hatásfokkal megtörtént. A két sor között a szórásnégyzetek összehasonlításával az alábbi következtetésekre jutottam: a zeolitos sor kiegyenlítettebben tudja tartani a tisztítási hatásfokot BOI₅ esetén, mivel az F próba értéke, 95 %-os ($\alpha=0,05$) valószínűség mellett az F eloszlás kritikus értékétől ($F^*<F$; $1,64<2,05257$) nagyobb értéket mutat.

10. táblázat: a vizsgálat során mért BOI_5 értékek szórásnégyzetének összehasonlítása

n=51	minimum	maximum	átlag	szórás(s)	Szórásnégyzet(s^2)	F próba
Elfolyó víz BOI_5 Zeolitos sor	3	31	10,18	4,336	18,80332	2,0257
Elfolyó víz BOI_5 Kontroll sor	3	36	15,77	6,2127	38,59831	

4.1.3. Nitrifikáció folyamatának alakulása

Az eleveniszapos medencék biológiai kultúrájára folyamatos, de kézben tartható fonalas szervezetek jelenléte volt jellemző. A telepen bekövetkező isszaplazulást tekintve megvizsgáltam az iszapokban lévő mikroorganizmusok dominanciáját (ld. részletesen 4.5. 2. fejezet), valamint az oxigénkoncentrációt, ami a mindenkori iszapterheléstől is függ, mert nagyobb iszapterhelés esetén csak nagyobb oxigénkoncentrációval biztosítható az iszappelyhek belsejének megfelelő oxigénellátása. Az előzetes laborvizsgálatok alapján vizsgáltam a nitrifikáció sebességének alakulását a zeolit adagolás függvényében. Az oxigén koncentráció értékeit a következő ábrán mutatom be, az értékek 2 mg/l alá nem estek, inkább ez érték felett vannak, tehát az oldott oxigén koncentráció megfelel a nitrifikációhoz szükséges oldott oxigén tartalomnak.

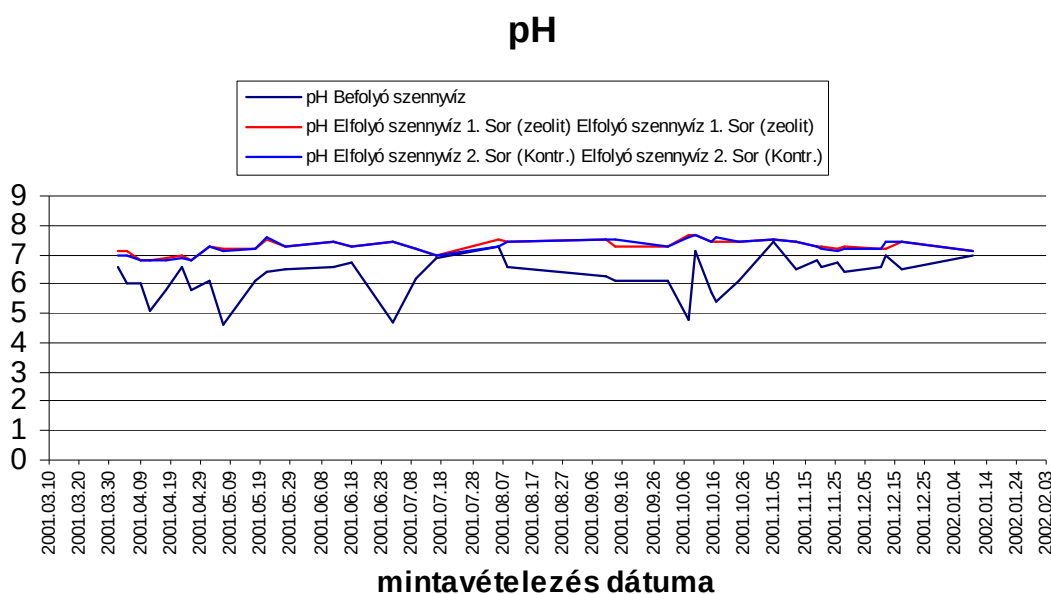


19. ábra: oldott oxigén koncentráció a kísérlet ideje alatt

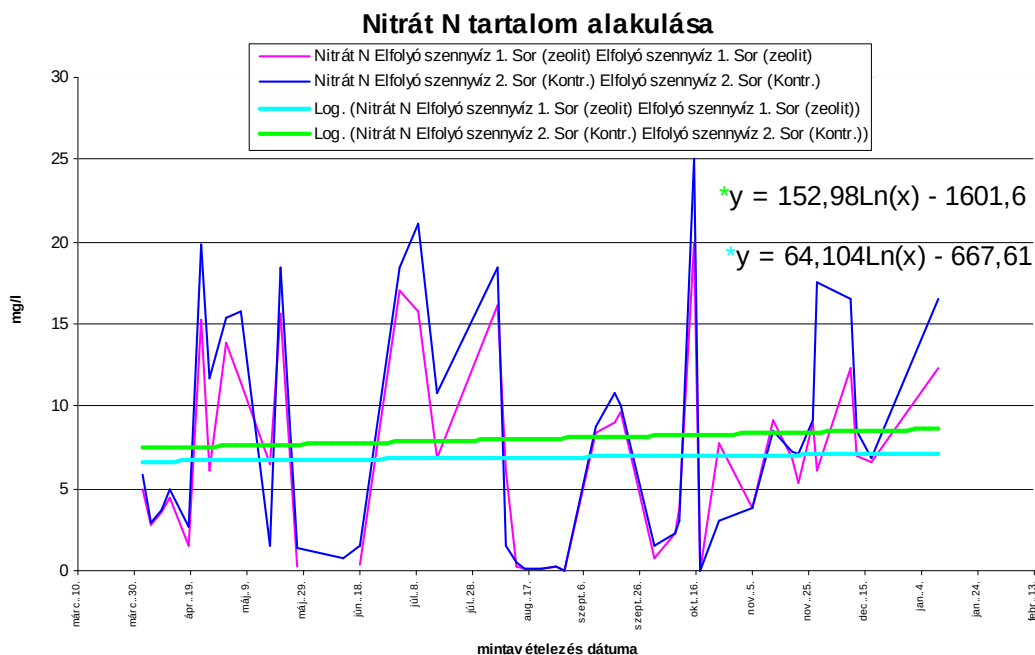
A befolyó szennyvíz pH tartalma a vizsgálati idő folyamán (20. ábra) általában a savas tartományban található, néha igen savas (pH 4,6) lökések érték a telepet. Az elfolyó

szennyvíz mindkét műtárgysoron semleges pH értéket mutatott. A nitrifikálás optimális pH értéke a 8,0 – 8,5 érték közé esik. A szennyvíz telepen a pH értékek a semleges 7 érték alá az esetek 1 %-ban kerültek. Mint ismeretes a H^+ ionok nitrifikáló baktériumokra gátló hatást fejtenek ki.

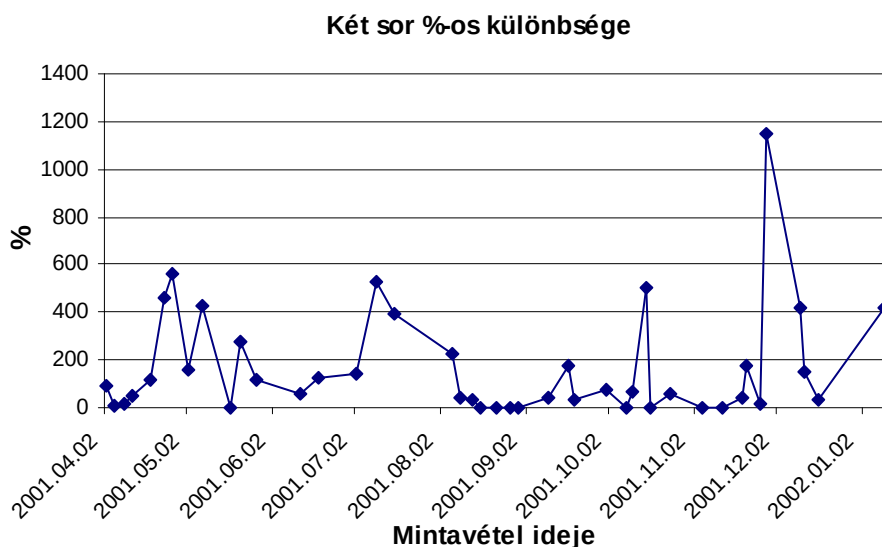
A zeolitos sornál a levegőztetőben a pH értéke 7,0 körül volt. A kontroll sornál a pH érték 7,0 alá esett. Megállapítható, hogy a pH értéke egyik sornál sem volt ideális (~8), sőt a kontroll sornál mért 6,0-7,0 közötti érték határozottan kedvezőtlen a nitrifikációs folyamatra nézve. A zeolitos soron a zeolit puffer hatása miatt a pH 7,0 körül ingadozott. Ez ugyan kedvezőbb, mint a kontroll sornál mért pH érték, de ez sem tekinthető ideálisnak.



20. ábra: pH tartalom alakulása a vizsgált időszakban



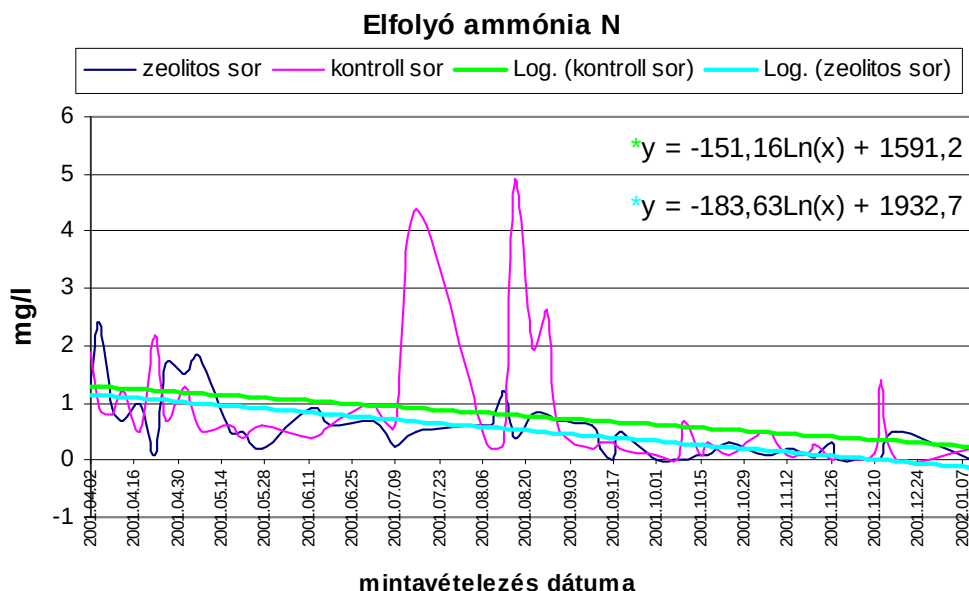
21. ábra: Nitrát-N koncentráció a szobi kísérleteknél



22. ábra: Az elfolyó szennyvíz nitrát N koncentrációjának %-os különbsége

Az „ugráló” értékek miatt elkészítettem a két vizsgálati sor százalékos különbségének görbét, ami alapján kimutatható, hogy a zeolit adagolású sor, a vizsgálati idő folyamán jobb vagy ugyanolyan értékeket mutat, mint a kontroll sornál mért értékek, hiszen a görbe nem kerül negatív tartományba. A nitrát nitrogén eltávolítás mutatja a denitrifikáció jelenlétét, annak alakulását. A denitrifikáció létrejön a zeolit belső felületén, hiszen a modifikáció csak a külső felület töltését változtatta meg. Az anioncserélő kapacitás

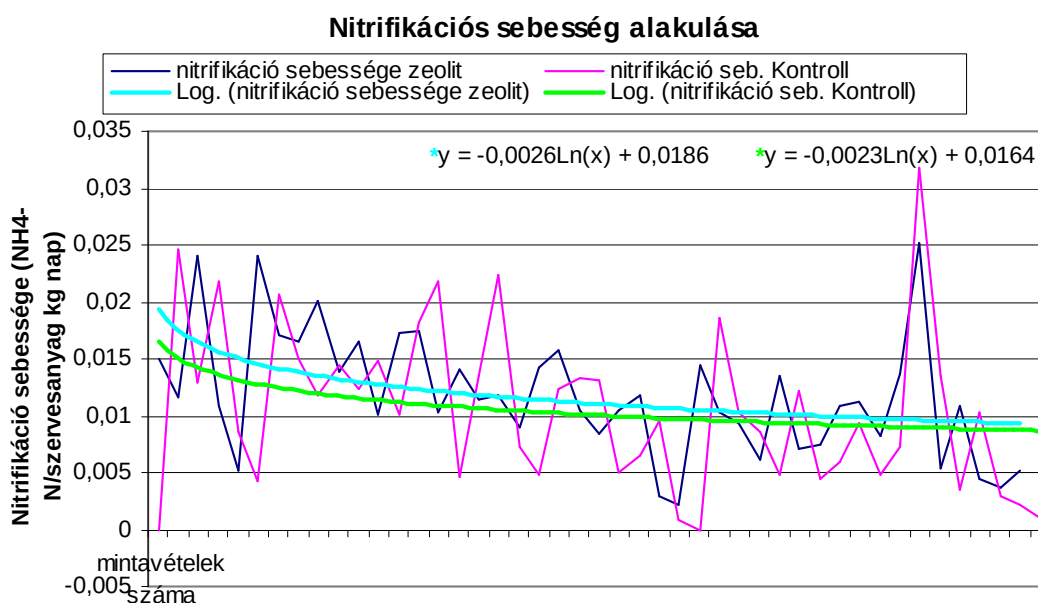
a belső felületen megmaradt. A kiugró értékeket a beérkező szennyvíz minősége okozza, a kevesebb C-et tartalmazó szennyvíz, ami a denitrifikáló baktériumok működéséhez nem biztosítja a megfelelő szénforrást, így azok működése lelassul, a nitrát N eltávolítás mértéke csökken.



23. ábra: Az elfolyó szennyvíz ammónia-N koncentrációjának alakulása

Az elfolyó vízben mért $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentráció a zeolit adagolású sor esetében kiegyensúlyozottabb értékeket vesz fel (23. ábra).

A nitrifikáció sebességének időbeni változását a 24. ábra mutatja a kontroll, illetve zeolit adagolású sornál.



24. ábra: Nitrifikáció sebessége a Szobi kísérleteknél

A nitrifikáló baktériumok aktivitása a hőmérséklet csökkenésével csökken. A 24. ábra logaritmikus trendvonalai jellemzik a nitrifikáció tendenciáját. A terhelés és hőmérséklet változás miatt mindkettő tisztítósornál nagy ingadozások tapasztalhatók. A hidegebb időszakban az baktérium aktivitás csökkenését lehetett észlelni. A két tisztítási sor közti különbségeket vizsgálva jól látni, hogy a zeolit adagolású sor nitrifikálási sebessége, a nagyobb számú baktérium tömegarány miatt a hőmérséklet csökkenés ellenére is magasabb értékeket mutat.

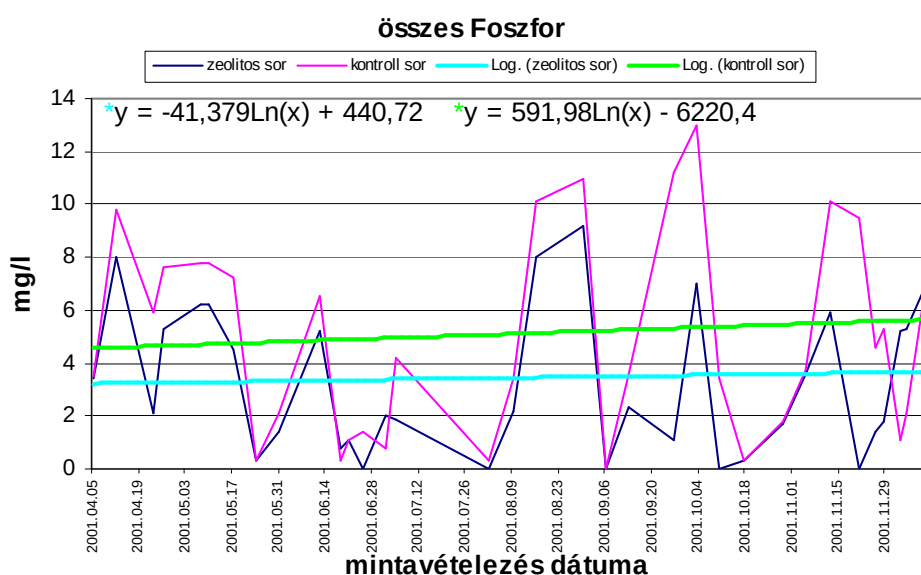
11. táblázat: Az elfolyó NO₃, a NH₄ koncentráció és a nitrifikációs sebességi értékek statisztikai vizsgálata

n=74	minimum	maximum	átlag	szórás(s)	Szórásnégyzet(s ²)	F próba
Elfolyó víz NO ₃ Zeolitos sor	0	20	7,25388	4,740269	22,42015	1,8148
Elfolyó víz NO ₃ Kontroll sor	0	25	9,1222	6,3589	40,78079	
Elfolyó víz NH ₄ Zeolitos sor	0	2,4	0,234348	0,27553	0,075917	5,842203
Elfolyó víz NH ₄ Kontroll sor	0	4,9	0,447391	0,665973	0,44352	
Elfolyó víz Nitrifikáció sebessége Zeolitos sor	0,0022	0,0251	0,01199	0,0557	3,1082	1,5965
Elfolyó víz nitrifikáció sebessége Kontroll sor	0,00095	0,0245	0,01092	0,0074	4,962	

A 11. táblázat alapján megállapítható, hogy az elfolyó NO₃, NH₄ mért értékei alapján végzett vizsgálat, mindkét esetben a zeolit adagolással végzett tisztítási hatások kiegyenlítettebb értékeire utal. A feltételezés, hogy származhat-e azonos tisztítási vízminőségű sorból a két szórásnégyzet,- a válasz, hogy a két mechanikai tisztító sorból származó minták nem származnak azonos varianciájú sorból, a MZ adagolású sor jobb tisztítási hatásfokot mutat.

A zeolit ammónia ioncserélő kapacitása 1,47 meq/g ez az ioncserélő-kapacitás aktiválást követően is megmarad. Az ammónia megkötésben a belső és külső felület egyaránt részt vesz. Az ammónia ioncsere egy dinamikus folyamat szerint megy végbe, amely azt jelenti, hogy a szemcsén megkötött autotróf nitrifikálók számára a kötött ammónia, mint szubsztrát közvetlenül rendelkezésre áll a külső felületen. A zeolit belső járataiba (7 – 10Å) a baktériumok nem tudnak behatolni így első lépésben a külső felület által megkötött ammóniát nitrifikálják. Viszont a zeolit szemcse belső járataiban, a szennyvízben jelenlévő lévő, Na⁺ és K⁺ ionok a megkötött NH₄⁺ ionokat lecserélik és az ioncsere következtében közvetlenül a szemcse felületén lévő baktériumok számára a belső járatokban felszabadult ammónia rendelkezésre áll.

4.1.4. P tartalom vizsgálata:



25. ábra: A P tartalom alakulása a szobi tisztított szennyvizeknél

A kémiai foszfor eltávolítás esetében a 25. ábrán is látható, hogy az aktivált zeolit adagolás csökkentette a foszforeltávolításhoz (elfolyó $<1,8$ mgP/l) szükséges Fe^{3+} ion mennyiségét. Zeolit adagolás esetén az eddig szokásos Fe/P arányt 1,5 – 1,7 érték helyett 1,1 – 1,2 érték között kellett csak tartani, hogy az elfolyó víz az 1,8 mg/l határérték alatt maradjon.

A folyamat azzal magyarázható, hogy a porszerű zeolit szemcséken a beadagolt Fe^{3+} ionok azonnal adszorbeálódnak és a szemcse nagy felületén megy végbe az oldhatatlan FePO_4 csapadék kiválása. A zeolit szemcsék aktív csapadék leválasztó gócként működnek. Ez a mechanizmus az aktivált zeolit esetében is működik, mert az aktiválással a zeolit kristály aktív helyeinek csak kb. 10 %-át lehet lekötöni.

A foszforeltávolítás a modifikált zeolit adagolásának hatására szintén javult, a referencia mintákhoz képest átlagosan 1,3 mg/l értékkel jobb eredményt értünk el.

P esetében is megvizsgáltam, hogy a mért értékek származhatnak-e azonos varianciájú populációból, azaz azonosnak tekinthető-e statisztikailag a két sor elfolyó vízminősége.

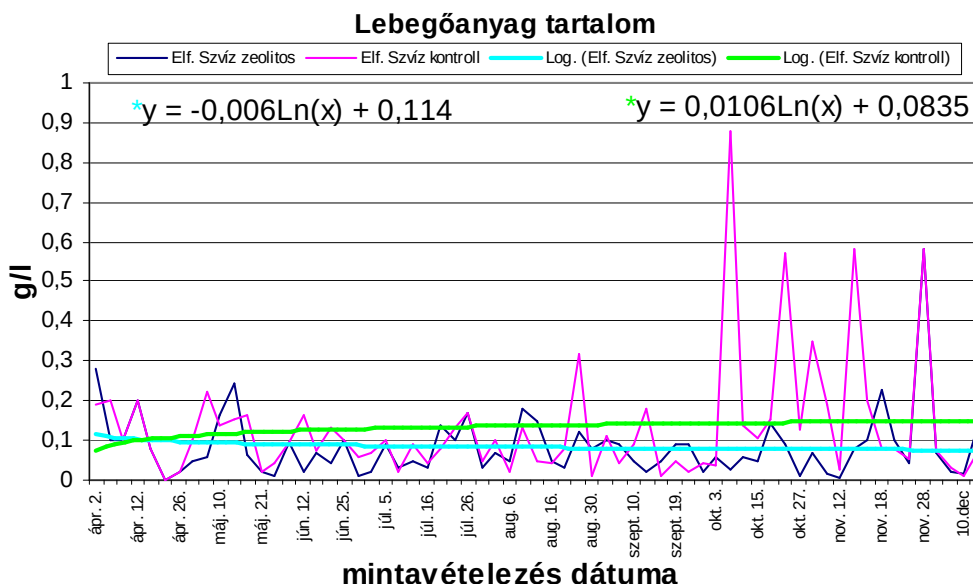
A 12. táblázatban foglalom össze az értékelést:

12. táblázat: A mért P értékek szórásnégyzetének összehasonlítása

n=35	minimum	maximum	átlag	szórás(s)	Szórásnégyzet(s^2)	F próba
Elfolyó víz P Zeolitos sor	0	11	3,46	3,022	9,137	1,745
Elfolyó víz P Kontroll sor	0	13	5,1428	3,993	15,946	

A statisztikai próba alapján megállapítható, hogy a két alap populáció nem azonos varianciájú, az elfolyó víz minősége nem tekinthető azonosnak P eltávolítás tekintetében ($\alpha=0,05$). Az MZ adagolással működő tisztító sor P eltávolítása hatékonyabb az elemzés alapján.

4.1.5. Lebegőanyag tartalom vizsgálata



26. ábra: Lebegőanyag tartalom eltávolítása a szobi kísérletnél

A lebegőanyag mérésnél is megfigyelhető a zeolitos soron bekövetkező kiegyenlítettebb eltávolítási hatások (26. ábra). Az értékeken megfigyelhető, hogy különböző terhelések esetén a zeolit adagolású sor jobban tudja tartani az megadott határértéket, mint a kontroll tisztítási sor. A 13. táblázatban a szórásnégyzetekre vonatkozó összehasonlítás paramétereit mutatom be:

13. táblázat: a vizsgálat során mért lebegőanyag eltávolítási értékek szórásnégyzetének összehasonlítása

n=69	minimum	maximum	átlag	szórás(s)	Szórásnégyzet(s^2)	F próba
Elfolyó víz lebegőanyag zeolitos sor	0	0,246	0,08516	0,0869	0,00756	3,182
Elfolyó víz lebegőanyag kontroll sor	0	0,58	0,13278	0,1551	0,02406	

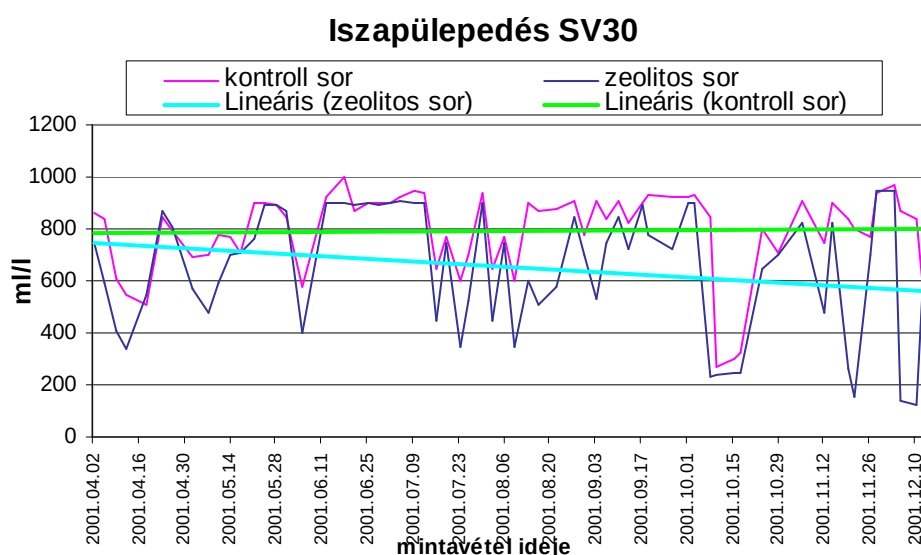
A lebegőanyag eltávolítási értékek statisztikai elemzése alapján szintén bizonyítható 95 %-os valószínűség mellett, hogy a MZ adagolású sor eltávolítási hatásfoka jobb, statisztikailag igazolt.

A lebegőanyag tartalom növekedése rendszerint együtt jár a BOI_5 és az összes foszfor koncentráció növekedésével, ugyanakkor nem jelzi előre a várható iszapplazulási folyamatot az eleveniszapos szennyvíztisztítóknál.

4.1.6. Iszapüledés vizsgálata

Az iszapperyhek szerkezete tömör, szabályos, mérete 150-500 μm közötti, rosszul ülepedő, fonalások által átszőtt. Ezt az iszapot nagyobb hidraulikus lökések könnyen „széttörik” és kismértékű iszapelúszásra lehetett számítani.

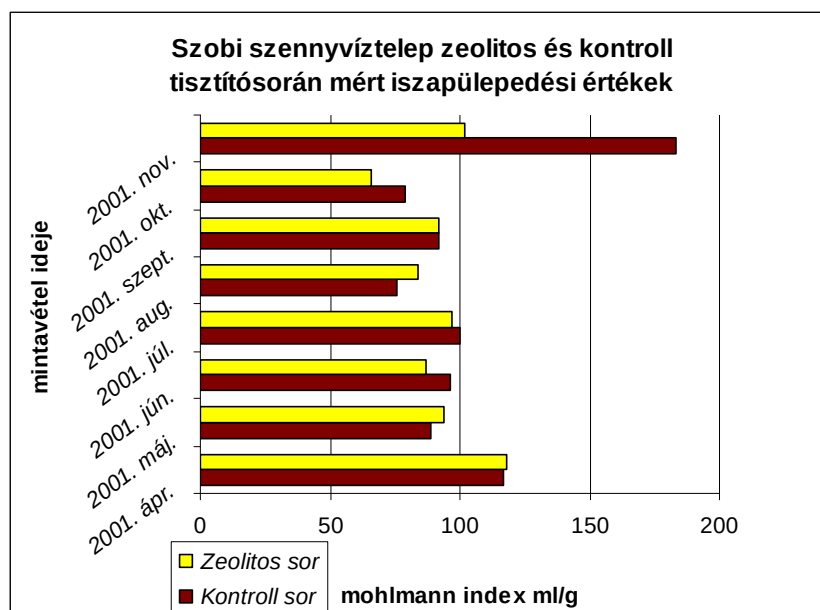
A zeolit adagolásától azt az eredményt vártuk, hogy az a pelyhek szerkezetét megváltoztatja, súlyát növeli, ezáltal a 30 perces ülepedés és a lebegőanyag tartalom csökken, valamint a tisztított víz KOI tartalmát tekintve is javulást eredményez. Az előzőekben (4.1.1.) láthattuk a KOI értékek elemzésénél, a MZ által okozott tisztítási hatásfokjavulást. A következőkben az iszap üledésének vizsgálatát mutatom be:



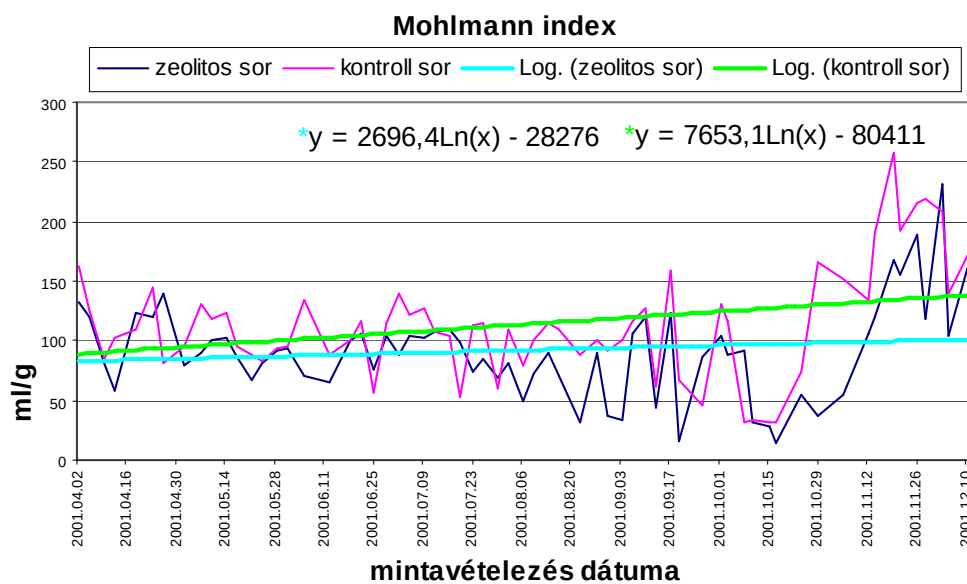
27. ábra: Iszapüledés alakulása a szobi kísérleteknél

Az eleveniszapos medencékből vett minták ülepitési vizsgálatokor kapott iszapterfogati értékek egyértelműen mutatják, hogy a zeolitos sor mintái jobban ülepitethetők, ami jelzi, hogy az iszapszerkezet tömörebb felépítésű, mint a referencia sor iszapja. A levegőztető medencék eleveniszapjának szárazanyag tartalma magas, 7 g/l volt. Az iszap ülepitethetőségét jellemző 30 perces Mohlmann index (1 dm^3 iszap 30 perces ülepitése után kapott iszapterfogat és a kezdeti szárazanyagtartalom hányadosa) vonatkozásában, a szakirodalomban javasolt 100 ml/g körüli értéket tartani lehetett, csupán a harmadik

kísérleti szakaszban növekedett meg az SVI 250 ml/g értékre, ami iszapfelfúvódást jelezett. A zeolitos és kontroll sor SVI értékének alakulását a 28. ábra mutatja.



28. ábra: Mohlmann index, havi bontásban



29. ábra: Szobi Szennyvíztisztító Telepen a Mohlmann index (SVI) alakulása

A 29. ábra alapján megállapítható, hogy a MZ adagolású sor alacsonyabb iszapelúszási tendenciát mutat, mint a kontroll sor. A kontroll sor $\ln(x)$ függvényének meredeksége mutatja az alacsonyabb ülepedési képességet. A MZ zeolit egy jól ülepedhető iszapstruktúrát alkot, 80 %-ban 100 ml/g alatt lehetett tartani az SVI értéket a zeolitos sornál. A 150-200 ml/g közti érték már nagyobb mennyiségben utal a fonalasok jelenlétére, ami a magas

cukortartalmú víz következtében, azok felszaporodásához vezetett és ez okozta az iszap fonalasodását.

14. Táblázat: A mért SVI értékek szórásnégyzetének összehasonlítása

n=51	minimum	maximum	átlag	szórás(s)	Szórásnégyzet(s ²)	F próba
Elfolyó víz SVI Zeolitos sor	14,3	188	92,3897	40,105	1608,47	1,327
Elfolyó víz SVI Kontroll sor	32,3	258	114,3811	46,205	2134,931	

Az iszap ülepedés javulását egyértelműen ki lehetett mutatni a mért adatok elemzése kapcsán is, ennek ellenére az iszapelúszás bekövetkezett a MZ adagolású soron, ugyanúgy, mint a kontroll soron. Az iszapfelúszásnál több szempontot meg kellett vizsgálni, hogy, hogyan lehetne javítani a helyzeten. Az oxigén ellátás a vizsgálat egész folyamán 2 mg/l feletti értéken mozgott, ami megfelel a biológiai lebontáshoz szükséges koncentrációnak. A mikrobiológiai vizsgálat során (ld. 4.3. fejezet) nem jelent meg a fonalasok Myothrix Parvicella típusa, mely az üzemeltetés hiányosságaira utalna. A vizsgálatok során egyértelműen lehetett következtetni az alacsony szervesanyagtartalmú befolyó szennyvíz miatti iszapfelúszásra.

4.1.7. KOI adszorpció

A zeolit szemcsékhez kötődött baktériumok tápanyag ellátásában a zeolit általános (KOI) tápanyag adszorpciója is részt vesz. Az adszorpciót illetően a zeolit szemcse felületén egy dinamikus egyensúly alakul ki, amely azt jelenti, hogy a szemcse felületéről elfogyasztott tápanyag (KOI) adszorpciós kapacitása megújul, és a vizes oldatból az egyensúly beállításának megfelelően újra KOI-t köt meg a zeolit szemcse. A vázolt folyamat ismétlődik mindaddig, amíg a zeolit részecske a levegőztető medencében tartózkodik. Az eleveniszap KOI adszorpcióját meg lehet határozni a 2.2. számú mellékletben ismertetett módszerrel. A lényege, hogy egy szűrőn átbocsátott víz KOI koncentrációjának és az eredeti a KOI koncentráció differenciája alapján kapjuk meg az adszorpció értékét.

15. táblázat: Folyamatos szűrés kísérlet eredményei:

Megnevezés	Szűrőanyag tömege (g)	A tölteten átvezetett víz mennyisége (l)	Szűrési sebesség (m/óra)	KOI (g/l)	A zeolit fajlagos KOI megkötő képessége (mgKOI/g _{zeolit})
Szűrés indításától eltelt idő:					
▪ Indítás	613	-	-	1 221	~ 60 (becsült)
▪ 3 óra	613	15	5,0	20	-
▪ 6 óra	613	30	5,0	57	> 57
▪ 8 óra	613	40	5,0	255	> 73

A zeolit által megkötött fajlagos KOI megkötő képessége 70-120 mg KOI/g_{zeolit}, kommunális szennyvíz esetén. A szobi szennyvíz KOI adszorpció méréseit a 16. táblázat tartalmazza:

16. táblázat: KOI adszorpció értékei (Szob)

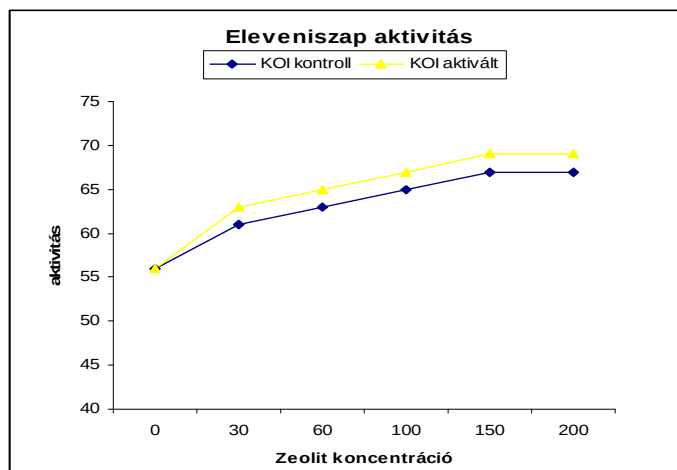
Szennyvíz típusa (0,45 µm-es membránnal szűrve)	Adszorbeált KOI (mgKOI/g _{zeolit}) Natur zeolit	Adszorbeált KOI (mgKOI/g _{zeolit}) Modifikált zeolit
Nyers, szennyvíz	160	190
	175	170
	185	185
	120	135
	140	160
	150	156
	155	175
	138	150
átlag	152,875	165,125
szórás	20,8836	18,442

A modifikált zeolit töltettel elvégzett kísérletek alapján a KOI adszorpció nagyobb hatásfokkal ment végbe. Átlagosan 15%-os adszorpció növekedés volt megfigyelhető a natur zeolit töltethez képest. Az adszorpcióval megkötött KOI a szemcsére telepített baktériumoknak közvetlenül rendelkezésére áll. Az eleveniszapos rendszerben a 400 – 600 µm nagy pelyhek számára a diffúzió nem tudja biztosítani tápanyag és oxigén ellátást és a lebontási hatásfok némileg csökken. A szemcse felületén lejátszódó adszorpciós folyamat állandóan dinamikus egyensúlyban van: amilyen mértékben a megkötött KOI-t a baktériumok lebontják, az adszorpciós egyensúlynak megfelelően az oldatból újabb szervesanyag (KOI) molekulákat köt meg. Tehát ez a mechanizmus biztosítja a közvetlen tápanyag ellátást a zeolit szemcse felületén. Természetesen a zeolit szemcséhez kötött baktériumokon túlmenően a baktérium pehely szerkezet is jelen van a rendszerben és az ammónia és a szubsztrát lebontásában jelentős szerepet játszik. A „zeoflokk” (zeolit +

eleveniszap) rendszer az eleveniszap és a biofilm rendszer között foglal helyet. Minél jobban közelítjük a biofilm rendszert annál nagyobb szerepet kap a hordozóanyag felületen megkötött baktérium film a lebontási folyamatban.

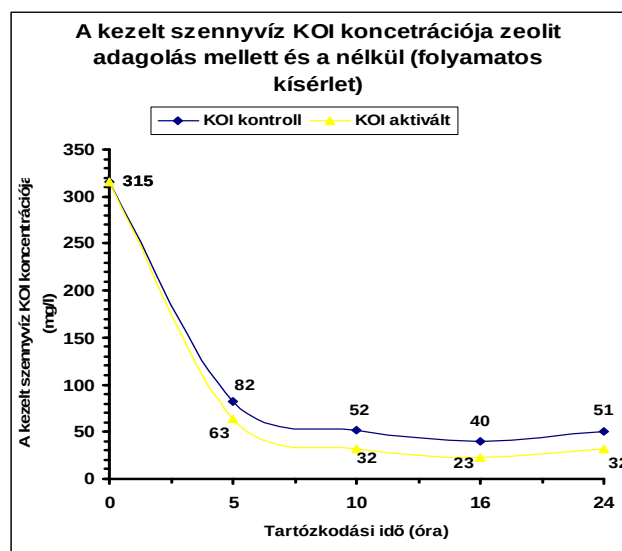
4.1.8. Az eleveniszap lebontási aktivitás vizsgálata

A Szobi Szennyvíz Telepen az eleveniszap aktivitását is mértem. A kontroll sorból vett eleveniszap minták átlagos aktivitása (a szennyvízre vonatkoztatva) $56 \text{ mg KOI g}^{-1} \text{ órá}^{-1}$ érték volt. A 150 mg/dm^3 zeolit adagolásnál az aktivitás már $69 \text{ mg KOI g}^{-1} \text{ órá}^{-1}$ ami 23 %-os növekedésnek felel meg. Az aktivitási görbe a jól ismert telítési görbékhez hasonlítható, ami azt jelenti, hogy 150-200 mg/dm^3 zeolit adagolás felett az aktivitás már nem növekszik.



30. ábra: A szobi eleveniszap aktivitásának növekedése a zeolit koncentráció függvényében

A tartózkodási idő és az elfolyó tisztított szennyvíz KOI koncentrációja közötti összefüggést a 31. ábra mutatja. Az aktivált zeolithoz tartozó elfolyó vízminőség jobb, mint a kontroll kísérlet vízminősége. A különbség különösen a nagyobb tartózkodási idő (> 5 óra) esetében szembetűnő.



31. ábra: A szobi eleveniszap aktivitásának növekedése a tartózkodási idő függvényében

Az eleveniszap aktivitásának növekedését az elfolyó tisztított szennyvíz minősége is alátámasztja. Az elfolyó BOI_5 értéke átlagosan 10,58 mg/l a zeolit adagolású sornál, ugyanakkor a kontroll sorátlagértéke 15,77 mg/l volt. A lebontási aktivitás növekedés alátámasztható a térfogategységre számított baktrétiumszám növekedésével.

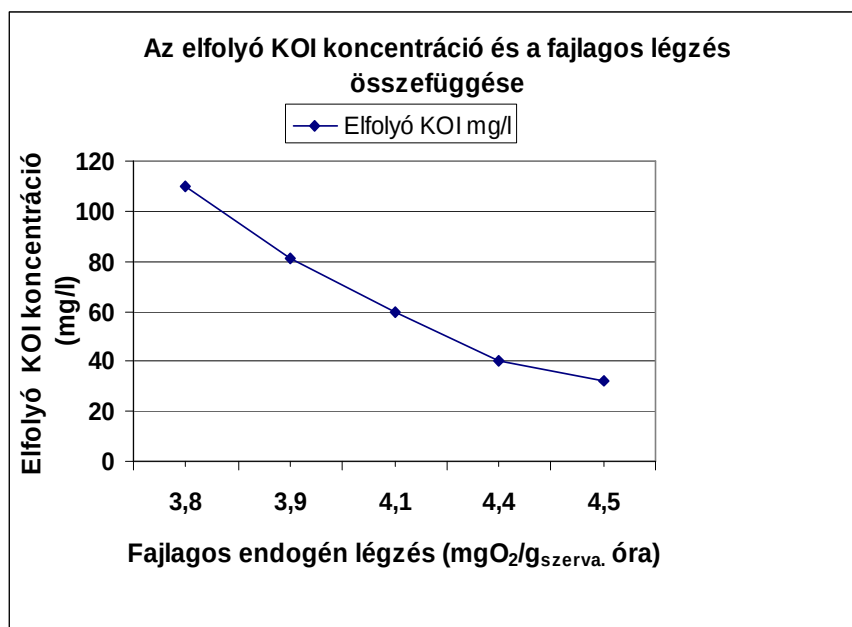
Az aktivitás-növekedés azzal magyarázható, hogy a zeolit aktiválásával a zeolit szemcse negatívan töltött felülete pozitív töltésűre változott, amely a negatív töltéssel rendelkező baktériumoknak megkötődését a szemcse felületén elősegíti. Az új pozitív zeolit részecskén a baktérium megkötődése nagyon gyors folyamat. A baktériumok a zeolit szemcsék megkötődése következtében a heterotróf és autotróf baktériumok tápanyag és oxigén ellátása jelentősen javul, aminek következtében a fajlagos szaporodási és ezzel arányosan a szubsztrát lebontási sebesség növekszik.

17. táblázat: Zeolit adagolás és az endogén légzés kapcsolata

Zeolit adagolás az iszap koncentrációra vonatkoztatva (%)	Izap koncentráció (g/l)	Endogén légzés ($mgO_2/l \times \text{óra}$)	Fajlagos endogén légzés ($mgO_2/g \times \text{óra}$)	Légzés növekedés a vegyszernélküli kontroll sorhoz képest (%)
3	2,4	9,5 (9,1)	3,9 (3,8)	2,6
6	2,6	9,9 (8,9)	3,8 (3,4)	11,7
10	2,3	10,3 (8,9)	4,5 (3,8)	18,4
13	2,6	10,8 (9,2)	4,1 (3,5)	17,1

20	2,5	11,2 (8,8)	4,5 (3,5)	28,5
30	2,7	11,2 (8,8)	4,1 (3,2)	28,1
40	2,7	11,9 (9,1)	4,4 (3,4)	29,4

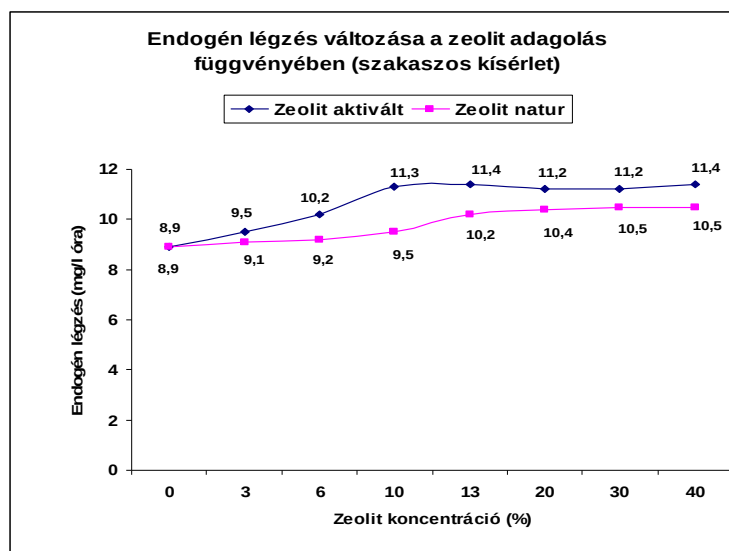
Megjegyzés: zárójeles értékek a kiindulási, vegyszernélküli mérések



32. ábra: Az elfolyó KOI és a fajlagos légzés összefüggése

Az 32.ábra jól szemlélteti, hogy a fajlagos légzés vagy aktivitás növekedésével csökken az elfolyó szennyvíz KOI koncentrációja. Ez azt jelenti, hogy a fajlagos légzés növekedés hatására a lebontás és az elfolyó szennyvíz minősége javul. Az aktivitás növekedés következtében az eleveniszap egységnyi tömege (szervesanyag tartalommal jellemzett baktérium) több KOI-t tud lebontani, mint a kisebb aktivitású iszap és lebontási kapacitás növekedése miatt az elfolyó, tisztított szennyvíz minősége javul. Az aktivitás növekedése a 30.ábra szerint alapvetően az eleveniszapba beépült zeolit tartalomnak köszönhető. A zeolit adagolás következtében kialakuló eleveniszap - zeolit flokk-szerkezet fajlagos felülete jelentősen nő és ezzel együtt a szubsztrát lebontási hatások is javul.

Az endogén légzés növekedése összefügg a zeolit adagolásával (17. táblázat és 32. ábra). Minél nagyobb koncentrációban adagolom a zeolitot, annál magasabb az endogén légzés %-os növekedése. Az endogén légzés is csak egy ideig növelhető, bizonyos koncentráció elérése után, már az érték lassan növekszik, 35%-os zeolit koncentráció körüli értéknél éri el a telítettségi értéket, mely után a növekedés megáll.

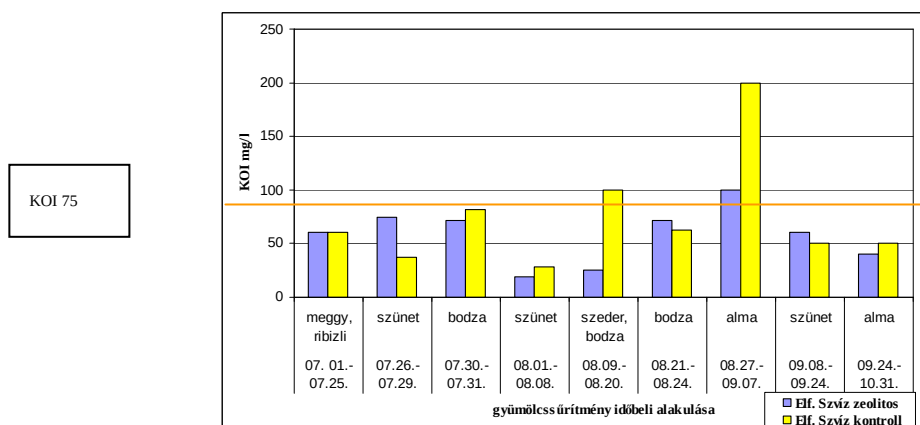
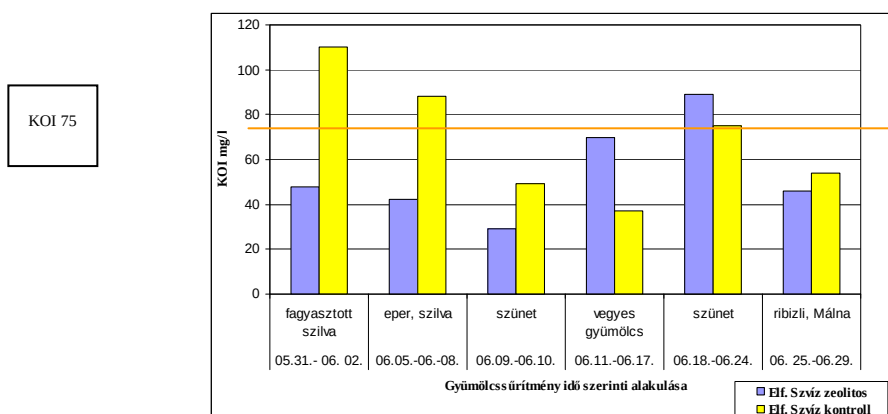


33. ábra: Az endogén légzés és a zeolit koncentráció kapcsolata

Az aktivált zeolit esetében az ammónium ioncsere, a baktérium megkötés, az oldott KOI adszorpciója és a foszfát csapadék leválasztás folyamata együtt fut le. Egyik folyamatot sem lehetett kizárólagossá tenni és a másik folyamatok gátlását sem lehetett, kimutatni. Ez azzal magyarázható, hogy az egy időben futó párhuzamos folyamatok számára a zeolit részecskék felületén bőven rendelkezésre áll aktív felület. A zeolit ásványok sokoldalú hasznosságát (ioncsere, adszorpció, baktérium-hordozó) a zeolit részecskék reakcióképes, nagy külső ($20 - 60 \text{ m}^2/\text{g}$) és belső ($100 - 200 \text{ m}^2/\text{g}$) felülete biztosítja.

4.2. A vizsgált paraméterek alakulása a gyümölcsfeldolgozás esetében

A következő diagrammokon a KOI értékek alakulását mutatom be a Szobi Szörpüzemben feldolgozott gyümölcsök, illetve gyümölcs sűrítmények okozta terhelés függvényében. A mért adatokat tekintve a kémiai oxidációs igény értékei azok, melyek a legnagyobb változékonyságot mutatják. Mivel a Szobi telepre gyümölcsfeldolgozásból származó, magas cukortartalmú, előtisztított szennyvíz is kerül, ezért tartottam fontosnak a gyümölcs-terhelés és a KOI összevetését (33-34. ábra).



34-35. ábra: Kémiai oxidációs igény alakulása a gyümölcsfeldolgozás függvényében

A nagyterhelésű időszakban már jelentősebb vízminőség romlás is megfigyelhető volt. A kísérlet ezen befejező szakaszában tapasztalható a legnagyobb különbség a zeolitos sor és a referencia sor között. Ebben az időszakban a Szobi Szörpüzemben megkezdődött az almafeldolgozás. Az almafeldolgozás során első ütemben vegyi hámozást végeznek, melynek lényege, hogy a gyümölcs bőrszövege és a lédús alapszövet közötti pektin és nyálkaanyag tartalmú részt megbontják és a pektinmolekulába beépülő, Na^+ és K^+ ionok

segítségével vízzoldhatóvá teszik. Ebből a technológiából származó lúgos szennyvíz koncentrációja (NaOH, vagy KOH) 8-20%-os. A gyümölcs felületén visszamaradó lúg közömbösítését 0,03 %-os kénessavval, vagy 0,4%-os citromsavval közömbösítik. Ezután a gyümölcsöt cukros közegben előfőzik, melynek célja az eredeti szárazanyag tartalom növelése, valamint oldatcserével a cukortartalom növelése erősen savas (pH 3) közegben. Az almafeldolgozás e szakaszából kikerülő szennyvizek SO₂ tartalma 0,02% körüli értéket mutatott. Az így előkészített gyümölcsöt préselik, a préselésre jellemző kémhatás pH 3-4,5 körüli. A feldolgozógépeket rendszeresen átmossák és öblítik, így a telepre nagy mennyiségű savas kémhatású és magas cukor és KOI koncentrációjú, és alacsony lebegőanyag tartalmú szennyvíz érkezett, amit a háztartási szennyvizek nem tudtak ellensúlyozni. [Molnár, 2005]

Tehát a szilva és almafeldolgozás időszakában a bejövő szennyvízben mérhető KOI koncentráció, jelentős mértékben megnőtt, amelyet a telep megfelelően lebontani nem tudott. Az elfolyó KOI értéke referencia soron a korábbi 74 mg/l átlagértékhez viszonyítva közel kétszeresére, 147 mg/l -re emelkedett a határértéket (75 mg/l) mintegy 100 %-kal meghaladva. A kísérleti soron a modifikált zeolit adagolás mellett a korábbi 47 mg/l, 77 mg/l-re változott, ami kb.65 %-os emelkedést jelent, de a határérték túllépés nem jelentős.

Az ülepedés és lebegőanyag paraméterek változása megmutatja, hogy kismértékű iszapelúszás is volt. Az iszapelúszás a kontroll tisztítósorra volt inkább jellemző, de - bár eltérő mértékben - mindkét soron jelentkezett. Miután a felfúvódás mértéke a zeolit adagolásával nem volt csökkenthető. Ezért lehetséges egy másik feltételezés is, miszerint a levegőztető medencében a víz felszínén mutatkozó iszap, „slime” is lehet, ami az iszap elnyálkásodását jelenti [Jobbágy, 2002]. Ennek a jelenségnek vizsgálatára a glükózakkumuláló baktériumokkal történő kísérletek adhatnak megoldást.

Szennyvíztelep túlterhelés létrejöhet esetenként időszakosan, megnövekvő szennyezőanyag kibocsátás miatt, amely a biológiai rendszer hatásfokának jelentős csökkenéséhez, a telep működésének zavarához, felborulásához vezet. Az előtisztított élelmiszer-, konzervgyártásból származó szennyvizek által okozott tisztítási hatásfok csökkenést zeolit használatával a -fent ismertetett kísérleti eredmények alapján- tompítani lehet.

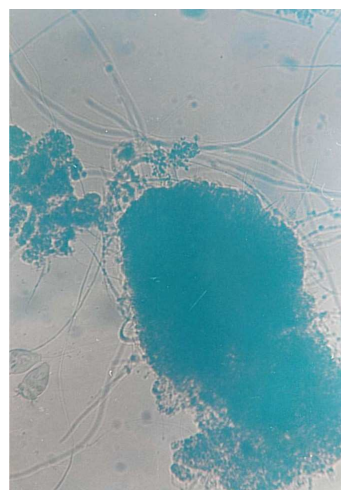
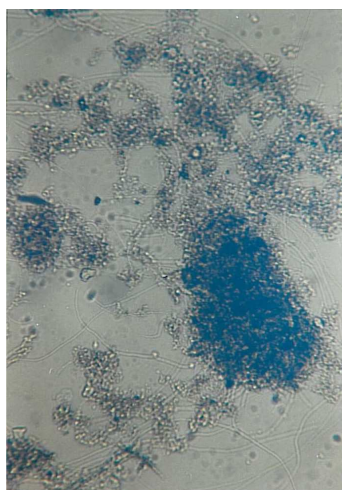
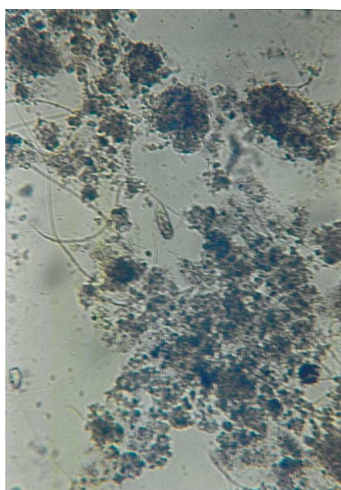
Számos üzemeltetési problémánál, úgymint az iszappehely szétesés, gyenge iszapülepedés, nitrifikáció hatásfokának csökkenése eredményesen használható a zeolit. Iszapfelúszás esetében a zeolit nem ad megoldást annak csökkentésére.

4.3. Mikrobiológiai vizsgálatok a szobi szennyvíztisztító telepen

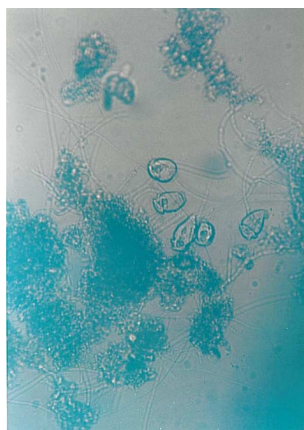
A mikrobiológiai vizsgálatoknál a célom az volt, hogy felmérjem, a zeolitos és kontroll sor között van-e különbség. Mivel a zeolit felületén már előzőleg vizsgálatokkal bizonyították, hogy sok baktérium megkötődik, ezért felmerült a kérdés, hogy faj összetételben valamint az előfordulás gyakorisága hogyan változik.

4.3.1. Pehelyszerkezet és mérete a vizsgált sorokon a szobi szennyvíztisztító telepen

Az iszappehelyek alakja a közel gömb alakú és szabálytalan forma között változhat. Teljesen gömb alakú pelyhek nincsenek, ezért minden pelyhely többé-kevésbé annak tekinthető, ha különböző kinövések vannak rajta akkor szabálytalan formájú. A fonalas baktériumok eredményezhetik az ilyen pelyhek kialakulását [Gulyás, 1990]. Laza szerkezetű (36. ábra) és tömör szerkezetű (37. ábra) pelyhet különböztetünk meg. A terhelés növelésével egyre tömörebb pelyhek alakulnak ki. A jól működő berendezésekben a nagy pelyhek aránya nagy.

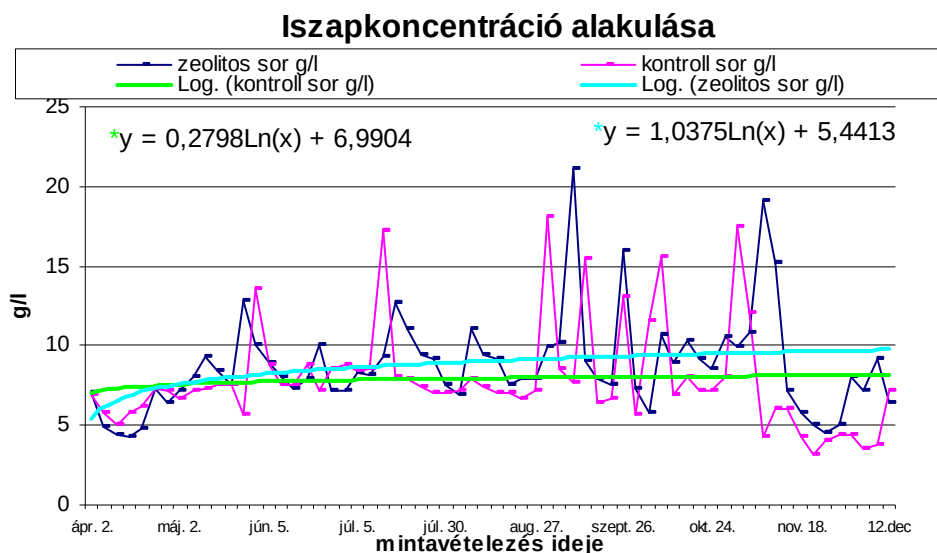


36. ábra: laza szerkezetű pelyhely, 37. ábra: Tömör szerk.-ű pelyhely, 38. ábra: Nagy méretű, tömör pelyhely
zeolitos sor (Kucsák 2001) zeolitos sor (Kucsák 2001) kontroll sor (Kucsák 2001)



**39. ábra: Tömör pehely és Vorticella convallaria
kontroll sor (Kucsák 2001)**

A pelyhek mérete kicsi, 150 µm és 500 µm közötti, szerkezete tömör, alakja szabályos volt mindkét tisztítósoron. Eltérés kismértékű volt, a kontroll sor iszappelyhei nagyobbak voltak (38., 39. ábra). Az iszapkoncentráció mértéke a levegőztető medencében jelzi a baktérium tömeg nagyságát. Az iszapkoncentráció alakulása a 40. ábrán látható. A zeolit adagolású eleveniszapos medencében mért iszapkoncentráció értékek magasabbak, mint a kontroll soron mért értékek, így az iszapban levő baktériumok mennyisége is nagyobb, mint a zeolit adagolás nélküli medencében.



4035. ábra: Iszapkoncentráció alakulása a vizsgált időszakban

Az iszapkoncentráció a zeolit adagolás kezdetével növekvő tendenciát mutatott, ez a növekedés a 4. hónap elejére átlagosan, 8g SS/l iszapkoncentreációt ért el, ami kedvező biológiai aktivitást mutatott. Az iszapkoncentrációnál a zeolit mennyiségét levonva,

bebizonyítható, hogy a baktérium tömeg a zeolitos sornál nagyobb mennyiségben van jelen, mint a kontroll sornál.

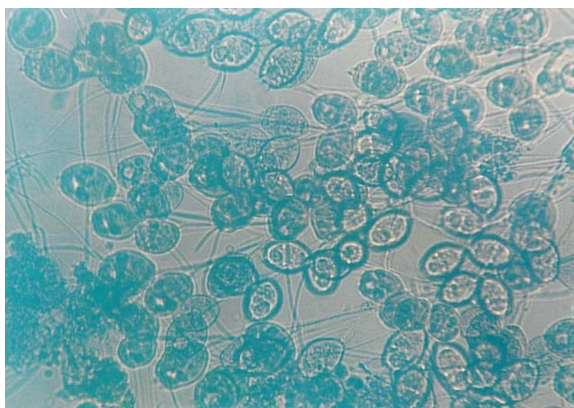
4.3.2. Mikroszkópos vizsgálattal kimutatható fajok a szobi telepen

A telepre érkező szennyvíz, időszakosan ipari, gyümölcsfeldolgozásból eredő szennyvízzel terhelt. A szennyvíz nagy széntartalommal rendelkezett, ennek hatására az iszapfelúszás, és iszapfelfúvódás (sludge bulking), jelentkezett.

A szennyvíztisztító telep két párhuzamos sorának eleveniszapjának mikroszkópos vizsgálata alapján megállapítható hogy a telepen fonalas szervezetek a kísérlet teljes időtartama alatt jelen voltak, a harmadik, nagy terhelésű szakaszban, amikor a Szobi Szörpüzem is elkezdte az almafeldolgozást, jelentősen felszaporodtak. Mind a hosszú nem elágazó, mind a rövid elágazó morfológiájú szervezetek megtalálhatóak voltak. Az iszapelyheket átszőtték, és felfúvódást eredményeztek.

Az iszap biológiai kultúrája egészséges, színes, diverz képet mutat, csillósok, ostorosok egyaránt megtalálhatóak benne, toxikus hatást nem jeleznek. A csillósok jelenléte nagyon fontos, megmutatja az iszap állapotát. Ha a csillósok nincsenek jelen, akkor, toxikus hatásra, vagy oxigén lehet következtetni. A telepen az *Aspidisca* fajok fordultak elő, ezek közül is *Aspidisca sulcata*, és *Aspidisca costata*, melyek hátán bordasorok láthatók.

Ezek a nitrifikációs folyamatok indikátorai. A csillósok közül megtalálható még az *Epistilis plicatilis* mely a jó minőségű iszapot jelzi. Ezek az élőlények kis terhelés és optimális oxigénellátottság mellett jelennek meg. *Vorticella convallaria* is megjelent helyenként, amely szintén az eleveniszap egészséges voltára utal, a jól működő tisztítótelep indikátora.

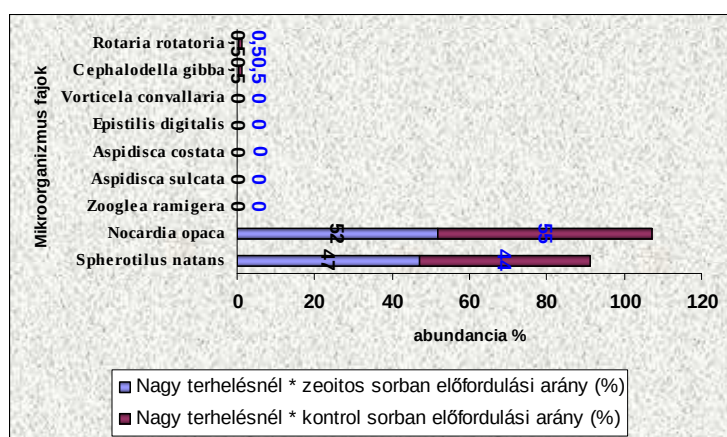


41. ábra: *Epistilis* telep a zeolitos soron (Kucsák 2003)

Többsejtű szervezetek is előfordulnak, amely magasabb iszapkorra utal. A többsejtű élőlényeket főleg kerekessérgek képviselték, túlnyomórészt *Rotaria rotaria* és *Cephalodella*

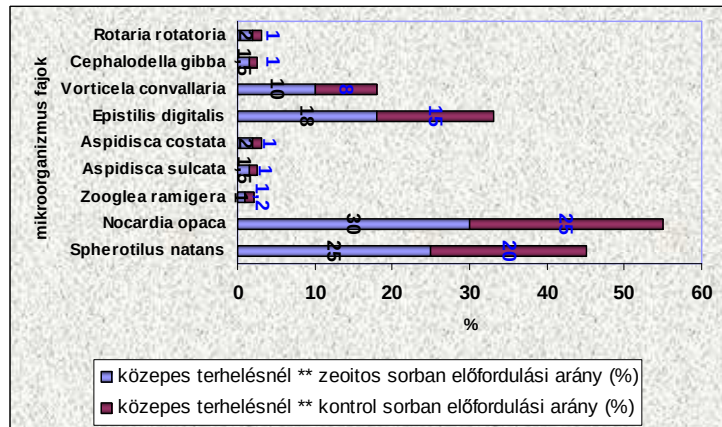
gibba. Ezen baktériumfogyasztó többsejtű élőlények jelenléte stabilizálódott iszapra utalnak. Szűrő táplálkozásuk miatt csökkentik a folyadékfázisban a pelyhen kívüli baktériumok számát, miáltal szabályozzák a pelyhek méreteit. [Gulyás, 1990]

A 36-38, 39. ábrákon a megtalálható fajokat és azok százalékos arányban való megjelenését mutatom be a szennyvíztelep terhelésének függvényében, mind a két soron.



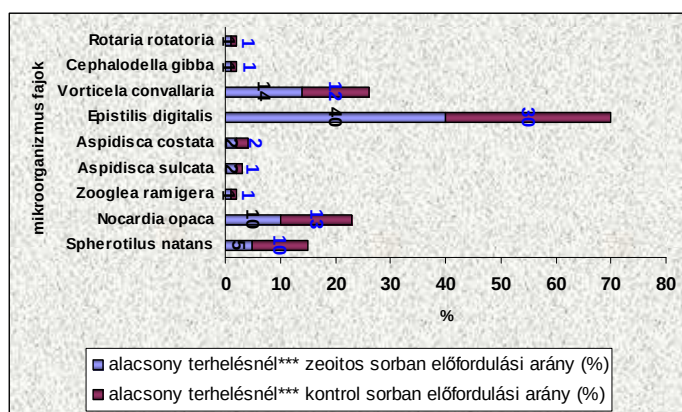
42. ábra: Mikroorganizmusok %-os megjelenése nagy terhelés esetén, kontroll és zeolitos soron

*2001. 10. 01. – 2002. 01. 14.



4336. ábra: Mikroorganizmusok %-os megjelenése közepes terhelés esetén, kontroll és zeolitos soron

**2001. 06. 21. – 09. 26.



44. ábra: Mikroorganizmusok %-os megjelenése alacsony terhelés esetén, kontroll és zeolitos soron

***2001.03. 30. - 06. 18.

A nagy terhelés esetén, ami a szörpüzemből kikerülő, magas glükóz tartalmú, savas szennyvíz okoz, megjelennek a fonalas baktériumok, melyek iszapfelúszást okoznak. A Sphaerotilus és Nocardia fajok elszaporodásával a biocönózis kiegyensúlyozatlansága következik be. A fonalak tömegesen megjelennek, az oldott oxigénért való verseny miatt, kinyúlnak a pehelyszerkezeten kívüli szennyvíztérbe, mely következtében a szuszpendált lebegő részecskék az elfolyó vízzel együtt távoznak a rendszerből. A rendszernek ez törést jelent, mivel az eleveniszap újbóli kialakulása időigényes (42. ábra).

A zeolit nem segített az iszapfelúszáson, viszont a terhelés csökkenésével a baktériumok megkötődését elősegítette és közepes terhelésnél átlagosan 3-5 %-kal nagyobb gyakorisággal fordulnak elő a mikroszervezetek (43. ábra).

Összességében a diagramok alapján elmondható, hogy a két sor között a mikroflóra tekintetében nem mutatható ki szignifikáns különbség a fajok előfordulási arányának tendenciájában sem, viszont javulást lehet észrevenni a zeolit adagolású soron az előfordulási gyakoriság tekintetében. Maximum 10-15%-os különbségek fordulnak elő az indikátor szervezetek előfordulásai aránya között. A nagy terhelésű időszakban még kisebb a különbség, ugyanazok a fonalas szervezetek (Nocardia sp., Sphaerotilus sp.) jelennek meg tömegesen. A fajok előfordulása közepes terhelésnél is nagyon hasonló. Itt már megjelennek a csillósok (Vorticella sp., Epistilis sp.), 2-3 %-os különbséggel. Gyönyörű telepeket alkotva a másodlagos szennyvíztisztítás szempontjából fontos lebontó tevékenységük eredményeképp tisztább, tükrösebb az elfolyó szennyvíz. Alacsony terhelésnél szintén azonosak a fellelhető fajok és előfordulási arányuk (44. ábra).

5. A zeolit adagolás alkalmazásának gazdaságossági számítása

5.1. A tervezési feladat ismertetése

A gazdaságossági számítást egy konkrét példán mutatjuk be. Tételezzük fel egy gyakran előforduló tervezési feladatot: egy lépcsős eleveniszapos rendszerben oldjuk meg a tápanyag (ammóniaoxidáció, denitrifikáció, foszfor eltávolítás) eltávolítást és biztosítuk az elfolyó, tisztított szennyvíznél az II. területi kategóriának megfelelő vízminőséget. A gazdaságossági számításnál felhasznált adatokat a DMRV ZRT. tájékoztatása alapján vettem fel.

Az alábbiakban a hagyományos egylépcsős eleveniszapos technológia biológiai lépcsőjét (levegőztető + utóülepítő) az egylépcsős zeolitos technológia biológiai lépcsőjével hasonlítjuk össze. Tehát a két technológia azonos, csak abban különbözik egyik a másiktól, hogy egyiknél nem alkalmazunk zeolit adagolást, míg a másiknál aktivált zeolitot adagolunk.

Tisztítandó szennyvíz mennyisége: $10\,000\text{ m}^3/\text{d}$

Tisztítandó szennyvíz minőségét átlagosnak tételezzük fel ($\text{NH}_4\text{-N}$: 20, összes-N: 60, összes-P: 10, KOI: 450 mg/l).

A tisztított, elfolyó szennyvíz vízminőségi követelményei, jelen számításnál a 2. területi kategóriába tartozó értékeket vettem figyelembe (4.1. fejezet, 8. táblázat)..

5.2. Beruházási költségek

5.2.1 Hagyományos technológia

A hagyományos egy lépcsős eleveniszapos technológia (biológiai nitrifikáció és denitrifikáció, szimultán vegyszeres foszfor eltávolítás) alapján a szükséges tartózkodási idő a levegőztetőben: 15 óra

A fajlagos beruházási költség $180\,000\text{ Ft}/\text{m}^3$ tisztítandó szennyvízre vonatkoztatva.

A biológiai egység (levegőztető + utóülepítő) fajlagos beruházási költsége (55%-a az összes beruházási kts.-nek): $99\,000\text{ Ft}/\text{m}^3$ tisztítandó szennyvízre vonatkoztatva.

Összes beruházási költség: $10\,000 \times 180\,000 = 1\,800\text{ MFt}$

A biológiai egység (levegőztető + utóülepítő) beruházási költsége:

$10\,000 \times 99\,000 = 990\text{ MFt}$

5.2.2 Zeolit adagolással üzemelő technológia

Zeolit alkalmazása (30 g/m^3) esetében a nitrifikációs sebesség 2 – 3 –szorosra növekszik ennek megfelelően zeolit adagolás mellett 12 óra tartózkodási idő elegendő. A $t = 15$ óra tartózkodási idő helyett 12 órával számolva ez 20 %-os reaktor térfogat megtakarítást, azaz beruházási megtakarítást jelent.

A várható beruházási megtakarítás: $990 \times 0,20 = 198 \text{ MFt}$

Zeolit tároló siló építésének költsége: 6 MFt

Zeolit adagoló berendezés költsége: 4 MFt.

A tényleges beruházási megtakarítás: $198 - 10 = 188 \text{ MFt}$

A biológiai egység (levegőztető + utóülepítő) tényleges beruházási költsége zeolit adagolás alkalmazása mellett: $990 - 188 = 802 \text{ MFt}$

A biológiai egység fajlagos beruházási költsége zeolit adagolás mellett: 802 MFt

A zeolit adagolásával a biológiai egység beruházását 19 %-kal, az összes beruházási költséget pedig 10,5 %-kal lehet csökkenteni.

A telep fajlagos beruházási költsége zeolit adagolás esetében $180\,000 \text{ Ft/m}^3$ értékről $161\,000 \text{ Ft/m}^3$ értékre csökken.

18. táblázat: A hagyományos egy-lépcsős tápanyag eltávolítási technológia beruházási költsége zeolit adagolás nélkül és zeolit adagolási üzemmód mellett

Megnevezés	Biológiai tisztító egység beruházási költsége	A technológia járulékos beruházási költségei	Beruházási megtakarítás	A biológiai egység fajlagos beruházási költsége
	(MFt)	(MFt)	(MFt)	(eFt)
Hagyományos egy-lépcsős eleveniszapos technológia	990	-	-	99,0
Hagyományos egy-lépcsős eleveniszapos technológia zeolit adagolással	802*	10	188	80,2
• zeolit tároló siló		6		
• zeolit adagoló		4		

* Megjegyzés: A zeolit adagolással üzemelő technológia tartalmazza a tároló siló és az adagoló berendezés költségeit

5.3. Üzem költségek számítása

5.3.1 Hagyományos technológia

Nitrogén (nitrifikáció + denitrifikáció) - és foszfor eltávolítás

A hagyományos egy-lépcsős tápanyag eltávolítással üzemelő technológiánál tételezzük fel, hogy a tisztítás fajlagos üzemköltsége (a tisztított szennyvízre vonatkoztatva) 65 Ft/m³. A nitrifikáló, denitrifikáló és foszforeltávolítás esetében ez az összeg reálisnak mutatkozik.

Az üzem költség megoszlása:

Mechanika 16 %	10,3 Ft/m ³
Biológia 46 %	30,0 Ft/m ³
Iszapkezelés 38 %	24,7 Ft/m ³
Összesen	65,0 Ft

Az elfolyó, tisztított szennyvíz minősége

A hagyományos egy-lépcsős technológia az elfolyó, tisztított szennyvízre vonatkozóan az 50 mgKOI/l és 2 mg/l –es ammónia-N határértéket biztosítani tudja.

Az elfolyó víznél összesN-re a 15 mgN/l -es határértéket a hagyományos telep kb. 80 %-os valószínűséggel tudja biztosítani.

Vegyszeres foszfor eltávolítás

A 10 mg/l összes foszfor tartalom kicsapathoz szükséges vas mennyiségét a sztöchiometria Fe/P (1: 1) arány (18 mgFe/l) helyett a gyakorlatban 2 :1 arányt (36 mgFe/l) kell tartani. Ilyen vas mennyiséggel szimultán adagolása mellett az elfolyó szennyvíznél az 1,8 mgöP/l –es határértéket tartani lehet.

Vegyszer (Fe) felhasználás: $0,036 \times 10\,000 \times 365 = 131\,400$ kgFe/év

Vegyszer (Fe) költség: $(131\,400/0,118) \times 26 \sim 29$ MFt

Iszapkezelés vegyszer költsége

A 10 000 m³/nap szennyvíz tisztítása során 2 200 kg/nap (30 kg/m³, 73 m³/nap) szárazanyag mennyiségű iszap keletkezik.

Az iszap mennyisége éves viszonylatban: 2,2 t/nap x 365 nap = 803 t/év. Ez megfelel víztelenített állapotban (32 % szárazanyaggal) 2 510 m³/év mennyiségnek

Centrifugás víztelenítésnél a felhasznált polimer mennyisége éves viszonylatban $0,25 \text{ kg/m}^3 \times 73 \text{ m}^3/\text{nap} \times 365 \text{ nap} = 6661 \text{ kg}$

A polimer ára éves viszonylatban: $6\,661 \text{ kg/év} \times 900 \text{ Ft/kg} \sim 6,0 \text{ MFt}$

Iszapelhelyezés költsége

Az iszap elhelyezés költsége szállítással és elhelyezéssel, kezeléssel 5000 Ft/m^3 (32 % szárazanyag tartalmú iszapra vonatkoztatva)

Éves iszap elhelyezési költség: $2510 \text{ m}^3/\text{év} \times 5000 \text{ Ft/m}^3 = 12,6 \text{ MFt}$

5.3.2. Zeolit adagolással üzemelő technológia

Nitrogén (nitrifikáció + denitrifikáció) - és foszfor eltávolítás

A zeolit adagolás következtében a biológiai egység beruházásánál 20 %-os megtakarítást lehetett elérni, ez a megtakarítási arány közelítőleg a biológiai egység üzem költségében (amortizáció, energia, karban tartás) is jelentkezik

A biológia egységnél elérhető üzem költség megtakarítás: $30 \times 0,20 = 6,0 \text{ Ft/m}^3$.

A várható megtakarítás a beruházásnál: $6,0 \times 10\,000 \times 365 = 21,9 \text{ MFt}$.

A várható megtakarítást csökkentő elemek:

- A zeolit adagolás költsége. A zeolit ára ($30\,000 \text{ Ft/t}$ zeolit helyszínre szállítva, $0,03 \text{ kg/m}^3$ adagolás): $10\,000 \times 0,03 \times 365 \times 30 = 3,3 \text{ MFt/év}$
- A zeolit adagolás egyéb (adagoló karbantartás, kiszolgálás) költségei: 2 millió Ft
- A ZEORAP technológia használati joga: $0,35 \text{ Ft/m}^3 \times 10\,000 \text{ m}^3/\text{nap} \times 365 \text{ nap} \sim 1,3 \text{ MFt/év}$

Vegyszeres foszfor eltávolítás

A zeolit adagolás esetében a foszfor eltávolítás céljából a szükséges 2 : 1 Fe/P arányt 1,3 : 1 értékre lehet csökkenteni. A csökkentést az teszi lehetővé, hogy a mikrométeres zeolit szemcsék felületén az oldhatatlan vasfoszfát csapadék kiválása lényegesen hatékonyabb, mint a nélkül. A zeolit adagolás következtében csak 23 mgFe/l vegyszert kell adagolni.

Vegyszer (Fe) felhasználás: $0,023 \times 10\,000 \times 365 = 83\,950 \text{ kgFe/év}$

Vegyszer (Fe) költség: $(83\,950/0,118) \times 26 \sim 18,5 \text{ MFt}$

Az éves vegyszer (Fe) megtakarítás: $(0,036 - 0,023) \times 10\,000 \times 365 = 47\,450 \text{ kgFe}$

Az éves viszonylatban megtakarított vas só ára (a folyékony vasszulfát ára: 26 Ft/kg és 11,8% Fe tartalom): $47\,450/0,118 \times 26 \sim 10,5$ MFt

A foszfor eltávolításra alkalmazott zeolit + vas(III) só esetében az elfolyó szennyvízben az 1,0 – 1,2 mgP/l koncentráció tartható. Ez lényegesen jobb, mint a megkövetelt határérték, azonban ezt a javulást a hagyományos technológiával szemben költség csökkenés formájában számszerűsíteni nem lehet.

Az elfolyó, tisztított szennyvíz minőségének javítása

Az elfolyó, tisztított szennyvíz minőségének az előírás szerint KOI 50 mg/l értéket kell kielégítenie. Mindkét technológia ezt a határértéket teljesíteni tudja. A zeolitos technológia esetében 15 –20 %-kal jobb az elfolyó, tisztított szennyvíz minősége, mint a hagyományos egy-lépcsős technológiáé. Ez a vízminőség javulás úgymond a telep tisztítókapacitását növeli, de ezt a szintén jól működő hagyományos technológiával szemben ezt számszerűsíteni nem lehet.

Iszapkezelés

Zeolitos technológiából származó iszap víztelenítésénél kb. 20 %-kal kisebb polielektrolit igénnyel és kb. 3 %-kal nagyobb iszaplepeny szárazanyag tartalommal (35 %) számolhatunk, mint a hagyományos technológiánál.

A polielektrolit ára zeolit alkalmazása esetében éves viszonylatban:

$6,0 - 6 \times 0,2 = 4,8$ MFt, azaz a megtakarítás 1.2 MFt

Iszapelhelyezés költsége

A zeolit adagolással az iszapba beépült zeolit szárazanyag mennyisége éves vonatkozásban: $0,03 \text{ kg/m}^3 \times 10\,000 \text{ m}^3/\text{nap} \times 365 \text{ nap} \sim 110\,000 \text{ kg/év}$, azaz 110 t/év

A zeolitos technológiából származó iszap szárazanyag mennyisége: 803 t/év + 110 t/év = 913 t/év. Ez megfelel víztelenített állapotban (35 % szárazanyaggal) $2\,608 \text{ m}^3/\text{év}$ mennyiségnek.

A zeolitos iszap elhelyezésének költsége: $2608 \times 5000 \text{ Ft/m}^3 \sim 13,0$ MFt

A zeolitos iszap elhelyezésének költség növekménye a hagyományos technológiához képest: $2608 - 2510 = 98 \text{ m}^3/\text{év} \times 5000 \text{ Ft/m}^3 \sim 0,4$ MFt

19. Táblázat: hagyományos egy-lépcsős és zeolitos technológia üzemeltetési költség és a tisztított szennyvíz paramétereinek összehasonlítása

Megnevezés	Üzem költség	Fajlagos üzem költség	KOI	NH ₄ -N	Összes-N	Összes-P
	(MFt/év)	(Ft/m ³)	Elfolyó, tisztított szennyvíz jellemzői (mg/l)			
Hagyományos egy-lépcsős eleveniszapos technológia	237	65,0	50	< 2,0	~15 vagy >15	1,8
• A foszfor eltávolítás vegyszer (Fe) költsége	29					
Hagyományos egy-lépcsős eleveniszapos technológia zeolit adagolással	230	63	40	< 2,0	10 - 13	1,0 – 1,2
• A foszfor eltávolítás vegyszer (Fe) költsége	18,5					
Iszap kezelés vegyszer költsége:						
• Hagyományos egy-lépcsős	6,0					
• Hagyományos egy-lépcsős zeolit adagolással	4,8					
Iszap elhelyezés költsége:						
• Hagyományos egy-lépcsős	12,6					
• Hagyományos egy-lépcsős zeolit adagolással	13,0					

A fenti számítások alapján a zeolit adagolású technológia beruházási költsége 10,5 %-kal csökkent, a fajlagos üzemeltetési költség pedig 3 %-kal csökkenthető m³-enként.

6. Új tudományos eredmények

1. A laboratóriumi és az üzemi kísérletek és vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy az eleveniszapos rendszer levegőztető reaktorában $30 - 100 \text{ g/m}^3$ mennyiségben adagolt, $1 - 110 \text{ }\mu\text{m}$ szemcseméretű aktivált zeolit hatására a szervesanyag eltávolítási hatékonyság referencia rendszerbeli ($50 - 60 \text{ mg KOI g}^{-1}\text{óra}^{-1}$) értékhez képest 15–20 %-kal nő.
2. Kimutattam, hogy a zeolit adagolással a nitrifikáció hatásfoka a kontrollhoz képest 20 – 40 %-kal növelhető, mivel a zeolit részecskék felületén ioncserével megkötött ammónium ionok közvetlenül rendelkezésre állnak szintén a részecskék felületen kialakuló a bio-filmet alkotó nitrifikáló baktériumok számára. Az ammónium ioncsere egy dinamikus folyamat, amelyet a kialakult biofilm felület nem befolyásol, mert a vizes fázisban diffúzió az ioncserét folyamatosan biztosítja. Az endogén légzés mérésével bizonyítható a baktérium tömeg aktivitásának növekedése, ez egyben jelzi a baktérium tömeg növekedését is.
3. Laboratóriumi kísérletekben kimutattam, hogy a modifikált zeolit esetén a KOI adszorpció 165 mg/KOI/g modifikált zeolit esetén, ez 15 %-os KOI adszorpció növekedést jelent a natúr zeolit KOI adszorpciójához képest.
4. Kimutattam az iszapüledés mértékét. Az eleveniszap Mohlmann indexe zeolit adagolás mellett $100 \text{ cm}^3/\text{g}$ érték alatt tartható, szemben a referencia rendszerben kapott értékekkel. A mért SV_{30} értékek alapján is bizonyítható volt, hogy a zeolitos sor átlagosan 18-20 %-kal jobb üledést mutat, mint a kontroll sor.
5. A kémiai foszfor eltávolítás esetében az aktivált zeolit adagolás csökkentette a foszforeltávolításhoz (elfolyó $<1,0 \text{ mgP/l}$) szükséges Fe^{3+} ion mennyiségét. Szimultán vegyszer adagolás esetében a szokásos Fe/P arányt 1,5 – 1,7 érték között kell tartani, hogy az elfolyó, tisztított szennyvíz foszfor koncentrációja az $1,0 \text{ mgP/l}$ érték alatt maradjon. Zeolit adagolás esetében a fenti elfolyó vízminőségi követelményt 1,1 – 1,2 Fe/P arány mellett lehetett elérni.
6. A két mechanikai tisztító sor közötti vizsgálataim eredményeképpen 9 fajt különböztettem meg, melyek előfordulási gyakorisága között volt eltérés. A fajdiverzitás tekintetében mindkét sor azonosnak tekinthető. Az előfordulási gyakoriság a jó tisztítási hatásfokot jelző baktériumok között is megfigyelhető. A zeolitos sor baktérium populáció előfordulási aránya minden terhelésnél (alacsony, közepes, magas)

2-10 %-kal magasabb, mint a kontroll sornál. Ezeket a vizsgálatokat értékelve is hasonló következtetésre jutottam, mint a vízkémiai paraméterek tekintetében, azaz összességében jobb minőségű mikroflóra alakult ki a zeolittal kezelt tisztítósor elveniszapjában.

7. Összefoglalás

A feltárt irodalom és az elvégzett kísérletek alapján megállapítható, hogy a zeolit adagolású technológia alkalmazható minden kommunális és élelmiszeripari szennyvizet tisztító eleveniszapos telepen. A zeolit örleményt minden esetben a levegőztető berendezésbe kell adagolni, ahol az zeolit részecskék a szabadon úszó és a kisebb pehely-társulásokat alkotó baktériumokat megkötik. Az eleveniszapos medencébe adagolandó zeolit mennyiségét mindig a rendszerben (levegőztető + utóülepítő) lévő eleveniszap mennyiségére vonatkoztatjuk. A zeolit-adagolás mértéke az elérendő céltól - biológiai bonthatóság javítása, nitrifikáció, denitrifikáció fokozása stb. - függően változhat. Az elérendő célok és a szükséges zeolit koncentráció közti összefüggés az alábbi:

- iszapüledés javítása: 2 – 5%,
- iszapelúszás megakadályozása: 2 – 12%,
- pehelystruktúra javítása: 3 – 5%
- KOI-ban kifejezett biológiai bonthatóság javítása: 5 – 12 %
- nitrifikáció, denitrifikáció hatásfokának javítása: 8 – 10 %,

Az eljárás alkalmazható, amennyiben:

- az eleveniszap pehelyszerkezete nem megfelelő, pehely-szétesés következtében a pehelystruktúra 50 µm alatti méretet mutat. (A zeolit-adagolás a pehelyméretet 150 µm fölé emeli.)
- a rosszul ülepedő iszappelyhek hatására az utóülepítőben iszap elúszás (> 40 mg/l) és ezzel együtt a kezelt szennyvíz minőségének romlása tapasztalható
- a telep túlterhelt, az elfolyó, tisztított szennyvíz minősége nem megfelelő
- a telepen kémiai foszfor eltávolítás igénye merül fel, akkor az aktivált zeolit alkalmazásával a vas/foszfor mól arány 1,2 – 1,5 értékek között tartható (Ez 20 – 25 %-os vegyszer megtakarítást jelent.)

A zeolit eleveniszapos szennyvíztisztítási technológiában való alkalmazása kommunális, vagy ipari szennyvizekkel terhelt kommunális szennyvizek tisztításánál a kis-, és a nagyobb kapacitású telepeknél is beváltották a hozzá fűzött reményeket.

- A rendszerbe történő beadagolástól kezdődően rövid időn belül jelentős kedvező változást okozott a technológiai rendszer szervesanyag-, ill. hidraulikai terhelésében, a szervesanyag lebontás hatékonyságában, az utóülepítő terhelésében, a nitrogén és a foszfor eltávolítás hatásfokában. Az iszap kisebb mennyiségben keletkezett és tulajdonságai

kedvezőbbek a felhasználást illetően. Elősegíti a műtárgyak jobb kihasználását, stabilá teszi a technológiát a terhelés-változásokkal szemben. Az aktivált zeolit alkalmazása következtében a keletkezett fölösiszap víztelenítése jelentősen javul. A víztelenítésnél kb. 20 %-os polielektrolit megtakarítást lehet elérni.

Kedvező kihatással van a telep energia és vegyszer felhasználására. Az üzemeltetés költségeit az adalékanyag csak igen kis mértékben emeli. Komplex hatása révén azonban más költségteleknél csökkenést idéz elő, összességében, így a fajlagos üzemeltetési költség csökkenése tapasztalható.

Bármilyen beavatkozás előtt elengedhetetlenül szükséges egy részletes helyszíni adatfelvétel, a helyi adottságok, előírások, feltételek megismerése.

Summary

Zeolite has large pores, high surface area of more favorable polarity and has ion exchange ability which is playing an important role in the decomposition of organic compounds. The bacteria immobilized are accessible in high concentrations for the utilization of substrates and oxygen. The specific gravity of bacteria flocks adhere to zeolite is higher than that usual flocks. The settling rate of flocks, therefore, increases and the effluent contains less suspended matter. During the modification development of the bacteria layer on surface of zeolite particles is few minutes, it is decreased from several days.

COD values show the largest difference between the two lines, in particular in the big loaded term when the WTP gets industrial water (from fruit processing factory), mainly in fruit season. In this time the zeolite-line average COD value was 57mg/l, the reference line had 91 mg/l. Phosphor removal is increased to 20-30%. In generally the effluent BOD content is always more 5 mg/l in the reference line than the zeolite line. Sludge volume index also gets better, during the high activity of the fruit-processing factory, too. On the average the SVI 84-109 ml/g in the zeolite line against the control where it is 105-132 ml/g. Our research shows that the microorganism population are similar both of lines. Every case there is long thread bacteria (*nocardia sp.*) which shows not good quality, but it depends on the mass of this type of bacteria. If this bacteria number increase connect with each other and come up to the surface. That is why it is not popular in the aerobic biological technology. On the basis of research visible, big compact flocks because of the short thread bacteria, which make the flocks in spite of long thread bacteria. The *021 N* thread bacteria appeared in both cases. This is motionless bacteria and this long can be 1 mm. In Szob these bacteria number decrease only when the factory preserve apple. It may be caused by low pH. *Ciliata* being is important, because it shows a good work. If they disappear, it shows a low oxygen concentration. There are *Vorticella convallaria*, *Epistilis digitalis* from *Ciliata* sp. On the flocks there are *Aspidisca* sp. Among this especially *Aspidiosca sulcata*, - *costata*, on its back there are arches of the ribs that show good nitrification. This kind of microorganism is appeared in bigger number in zeolite line. They appear only beside optimal oxygen concentrate.

Modified zeolite addition increased the nitrification, the COD values, BOD values, biodegradation of organic coal compound, increased the biodegradability of bacteria. The level of the nitrification did not reach the what is defined 50% in the 30/2006. (II/8) statutory order about the National Wastewater Treatment and sewage disposal but the

cleaning efficiency was increased by using zeolite. With 10% zeolite addition the variable efficiency could be decreased.

Summarized in the biological wastewater treatment in case of efficiently working can be use zeolite addition to eliminate the effluent water quality.

Irodalomjegyzék:

ATKINS, P.W. (1992): Fizikai kémia III. Tankönyvkiadó, Budapest

BARÓTFI ISTVÁN (2000): Környezettechnika Mezőgazda kiadó, Budapest, <http://www.hik.hu/tankonyvtar/site/books/b108/>

BÁNDI, GY. (2002): Környezetjog, Osiris Kiadó, Budapest

BÁNDI, GY., ERDEY, GY., HORVÁTH, ZS., POMÁZI, I. (2002): Az Európai Unió környezetvédelmi szabályozása, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest

BENCZE, L., GELLÉRTHEGYI, I., KOCSIS-KUPPER, ZS. (2002): Környezetvédelmi jogi útmutató gazdálkodó szervezetek részére, HVG Lap- és Könyvkiadó Kft., Budapest, 2002 - szerkesztette: Dr. Gellérthegyi István

BERECZ E. (1991): Kémia műszakiaknak Tankönyvkiadó, Budapest

CHARUCKYJ, L.(1997, 1998): Brisbane Water Zeoflocc Performace Report. Zeoflocc Process Selected by Queensland Goverment. Zeolite Australia Limited.

CHUMBLEY, C. G. (1971): Permissible levels of toxic metals in sewage used on agricultural land, A.D.A.S. Advisory Paper No. 10. Wolverhampton 136. p.

CORRANDO, M.J.T., PERRY, R., LESTER, J.N. (1980): Type A zeolite in activated sludge process. Journ. Wat. Pollut. Cont.Fed. 52, (11), 2796 - 2806. p.

DAE-HEE, A., YUN-CHUL, C. (2002): Use of coagulant and zeolite to enhance the biological treatment efficiency of high ammonia leachate, Journal of Environmental Science and Health, Part A. volume 37. Issue 2. January, 163-173. p.

DMRV RT. 1. (2001): Szobi szennyvíztisztító telepkezelési, karbantartási utasítása Belső utasítás

DMRV RT. 2. (2001): Dunakeszi szennyvíztisztító telepkezelési, karbantartási utasítása Belső utasítás

DULOVICS D., JUHÁSZ E., KÁRPÁTI Á., NÉMEDI L., ORBÁN V., SZILÁGYI F. (2007): Alkalmazott hidrobiológia, Magyar Szennyvíz és Víziközmű Szövetség

ERDEY-GRÚZ T. (1963): A fizikai kémia alapjai Műszaki Könyvkiadó, Budapest

EUROPEAN COMMISSION (2001): Disposal and recycling routes for sewage sludge – Part 1 – Sludge use acceptance report, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

FAGHIHIAN, H., AND R.S. BOWMAN (2005): Adsorption of chromate by clinoptilolite exchanged with various metal cations. Water Res. 39:1099-1104. p.

GRAY N. F. (1990): Activated Sludge. Theory and Practice. Oxford Science Publications.

GULYÁS P. (1990): Az eleveniszap nagyító alatt (Üzemeltetési segédlet, Budapest, 1990.)

HANAKI, K., WANTAWIN, C. AND OHGAKI, S. (1980): Effects of the activity of heterotrophs on nitrification in a suspended growth reactor. Water Resources 24 (3) 289-296 p.

HENZE, M., HARREMOËS, P., LA COUR JANSEN, J. AND ARVIN, E. (1996): Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes. 2nd edn, Springer, Heidelberg

HLAVAY J. – JÁNOSSY A. (1982): Hazai természetes zeolitok kutatása és felhasználása MTA Veszprémi Akadémiai Bizottsága, Veszprém

HOLMAN, W.F. AND HOPPING, W.D. (1980): Treatability of Type A Zeolite in Wastewater – Part II. Journ. Wat. Pollut. Cont.Fed. 52, 2887 – 2905. p.

HORVÁTHOVÁ, E. (1986): Ionselektiver Austausch an slowakischem Klinoptilolith – Tuffit. Acta hydrochim. hydrobiol. 14, 6, 495 – 502. p.

HORVÁTHOVÁ, E (1996): Advanced wastewater treatment using clinoptilolite, Environmental Protection Engineering no. 1-2. 15-22. p.

JOBÁGY A., LITERÁTHY B., TARDY G. (2002): Implementation of glycogen accumulating bacteria in treating nutrient-deficient wastewater Water Science and Technology Vol. 46 No 1-2, 185-190. p.

JOBÁGY A., BAKOS V. (2006): A szennyvízminőség szerepe a technológia megválasztásában Hírcsatorna Magyar Szennyvíztechnikai Szövetség lapja 2006 május-június 5-15. p.

JUHÁSZ, E. (1989): A szennyvíztisztítás, a szennyvíziszap kezelés és elhelyezés helyzete és fejlesztési irányai, Magyar Vízgazdálkodás 8., Bp.

KALLÓ, D. (1992): Natürliche Zeolithe - Herkunft und Wirkungsmechanismen. awt.abwassertechnik. Heft 2., 40 - 43. p.

KALLÓ, D (1995): Wastewater purification in Hungary using natural zeolites: In Natural Zeolites '93 Occurrence, Properties, Use, eds: DW Ming, F.A. Mumpton. Intern. Committee on Natural Zeolites, Bockport, Newyork, 1995, 437-445. p.

KÁRPÁTI Á. (2006): A szennyvíztisztítás környezetbarát lehetőségei ritkábban lakott térségekben, Vízügyi Közlemények, LXXXIII (2) 237-249.p.

KÁRPÁTI Á. – HAJÓS G. (2006): A szennyvíztisztítás biokinetikai problémái a gyakorlatban, Hírcsatorna, 2006 júl.-aug. 3-8. p.

KERÉNYI, A. (1995): Általános környezetvédelem, MOZAIK Kiadó, Budapest, 181 p.

KISS J. (1994): Ásvány-kőzettani alapismeretek Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 45-52 p.

KOCHS. – SZTROKAY K. (1967): Ásványtan Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 85 p.

KREMPELS G. (2006): Merre tart a hazai csatornázás és szennyvíztisztítás., „Csatornázás és szennyvíztisztítás európai és hazai műszaki-gazdasági kérdései” VII. előadóülés, MASZESZ, Lajosmizse, 2006. május 9-11. p.

Kroiss - Swardal (2002):

MÁTYÁS E. (2005): A tokaji hegység geológiája és ásványi nyersanyagai egy geológus életútja tükrében 606-619 p.

LI, Z., C. WILLMS, J. ALLEY, P. ZHANG, AND R.S. BOWMAN. (2006): A shift in pathway of iron-mediated perchloroethylene reduction in the presence of sorbed surfactant—a column study, Water Res. 40: 3811-3819 p.

LI, Z., C. WILLMS, S. ROY, AND R.S. BOWMAN (2003): Desorption of hexadecyltrimethylammonium from charged mineral surfaces. Environ. Geosci. 10: 37-45. p.

LIGETVÁRI F (szerk. 1999) : Környezetünk és védelme. 1. kötet Szarvas: Ökológiai Intézet a Fenntartható Fejlődésért Alapítvány, 2000. 181-183 p.

MIKLÓSNÉ NAGY A. (2006): A települési szennyvíztisztító telepek felülvizsgálatának országos értékelése Hírcsatorna, 2006. január-február, Bp. 3-10 p.

MOLNÁR GY. (2005): Gyümölcsfeldolgozás a Szobi szörpüzemben. Szóbeli tájékoztatás

MUCSY, GY. (1992): Großtechnischer Einsatz von Zeolith auf Kläranlagen in Ungarn. awt.abwassertechnik. Heft 2., 48 - 54. p.

OLÁH, J., SZLÁVIK, I., SZŐNYI, I. (1984): Települési szennyvíziszap-kezelési technológia fejlesztése, Vízgazdálkodási Intézet, Budapest, 80-101. p.

OLÁH, J. (1994): Ammonium and Phosphorous removal using activated zeolites in Sármellék wastewater treatment plant. OZON Kft. Jelentése. 12/1994

OLÁH, J., PAPP, J., MÉSZÁROS - KIS, A., MUCSY, GY., KALLÓ, D. (1989): Simultaneous Separation of Suspended Solids, Ammonium and Phosphate Ions from Waste by Modified Clinoptilolite. Zeolites as Catalysts, Sorbents and Detergent Builders. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.

OLÁH, J., PAPP, J., KALLÓ, D. (1991): Upgrading the efficiency of biological sewage treatment with zeolites. Hidrológiai Közlöny 71, 2, 70 - 76. p.

OLÁH, J., PAPP, J., MÉSZÁROS - KIS, Á., MUCSY, GY., KALLÓ, D. (1989): Removal of Suspended solids, Phosphate Ions from Communal Sewage Using Clinoptilolite Derivates. Occurence, Properties and Utilization of Natural Zeolites. 511 - 520.p.

OLÁH, J., MUCSY, GY. (2002): A tápanyag-eltávolítási és az utóülepítési folyamatok hatásfoka a téli üzemi viszonyok között, MHT XX. Vándorgyűlés, Mosonmagyaróvár, 2002. Július 4. 3/14.

ÖLLŐS G. (1992): Szennyvíztisztítás I. Budapesti Műszaki Egyetem Mérnöktovábbképző Intézet Budapest 8-12.p. 18-38. p.

PAPP J. (1995): A zeolitok ioncserélő tulajdonságai és fiziológiai hatása (kézirat)

PAPP, J. (1992): Einsatzmöglichkeiten von Zeolith in der Abwassertechnik. awt.abwassertechnik. Heft 2., 44 - 47.p.

PRINCZ P. (2003): www.living-planet.hu

PRINCZ P. (2004): Modifikált zeolitok a szennyvíztisztításban. Előadás Hidrológiai társaság

PRINZ P. - OLÁH J. (2005): A biológiai szennyvíztisztítás módszerei és az eleveniszapos szennyvíz tisztítás hatásfokának növelése természetes, valamint felületkezelt zeolitok felhasználásával Hidrológiai közlöny 85. évf. 2.sz. 21.-31. p.

P. PRINCZ, J. OLÁH, S. SMITH, D. KALLÓ, K. HATFIELD, M. KUCSÁK (2002): Improvement of the biological degradability of wastewater using modified zeolites, Book of abstract, 6th

International Conference on the occurrence, properties and utilization of natural zeolites, Thessaloniki, 1-15. p.

REICH, L. G. (1980): Low-maintenance, mechanically simple wastewater treatment systems. Mc. Graw-Hill series in Water Resources and Environmental Engineering. USA 212. p.

REYNOLDS, T, RICHARDS, P (1996): Unit operations and processes in environmental engineering, PWS Publishing, 327-394. p.

RIVERA-GARZA, M. OLGUIN, M. T. GARCIA-SOSA, I., ALCANTARA, D., RODRIGEZ, G. (2000): Silver supported on natural MEXican zeolite as an antibacterial material, Microporous and Mesoporous Materials, Volume 39. Issue 3. 431-444. p.

RUSTANOV, S.M., BASHIROVA, Z.Z., NASIRI, F.M., YAGUBOV, A.I., MURADOVA, S.A. (1989): Use of Zeolites for Purification Wastewaters from Toxic Organic Chlorine Compounds. Occurrence, Properties and Utilization of Natural Zeolites. 521 - 528.p.

Sarioglu, M. (2005): Removal of ammonium from municipal wastewater using natural Turkish (Dogantepe) zeolite, Separation and Purification Technology 41 pp.1-11.

SHENG-BING HE, GANG XUE, HAI-NAN KONG (2007): Journal of Hazardous Materials Volume 143, Issues 1-2, 8 May 2007, 291-295. p.

SONGIP, A.R. (1997): Malaysian Technology Online. Zeolite: A Mineral of Wonder. Malaysian Technology Development Corporation (MTDC) Internet: webmaster@mtdc.com.my

STEFANOVICS P. (1992): Talajtan, Mezőgazda kiadó, Bp.

TIAN C. ZHANG – BISHOP, P.L. (1996): Evaluation of substrate and pH effects in a nitrifying biofilm. Water Environmental Research, Vol. 68, No 7, 1107-1115. p.

YUN CHANG FU – BISHOP P. L. (1995): The evaluation of respiration rate in fixed-film system under various organic loading rates. Water Environmental Research, Vol. 67. No.7, 1036-1043. p.

1994. évi LV. törvény a termőföldről

10/2000. (VI. 2.) KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendelet a felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékekről

49/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet a vizek mezőgazdasági eredetű nitrátszennyezéssel szembeni védelméről

50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet a szennyvizek, szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól

25/2002. (II. 27.) Korm. Rendelet A Nemzeti Települési Szennyvíz-elvezetési és –tisztítási megvalósítási programról

Nemzeti szennyvíziszap elhelyezési és feldolgozási tanulmány 2006. április, Innosystem kft. Bp.

<http://gtk.wigner.bme.hu/jegyzet/jegyzetmm/VegyipariBiomernoki1/biomrnki1.doc>

1. sz. melléklet

Ábrajegyzék

1. ábra	Kutatásom logikai felépítése	6
2. ábra:	Szennyvíztisztító telepek Magyarországon (2006)	9
3. ábra:	KEOP 1.2.0. pályázatok	10
4. ábra:	Biológiai lebontás folyamata az eleveniszapos szennyvíztisztítási technológia műtárgyaiban.....	13
5. ábra:	Baktériumok szaporodási görbéje	14
6. ábra:	Nitrifikáló baktériumok szaporodási sebessége a hőmérséklet függvényében.....	19
7. ábra:	Nitrosomonas és Nitrobacter mikroorganizmusok szaporodása különböző hőmérsékleten.....	20
8. ábra:	A nitrifikáció sebessége különböző tömegarányok mellett, hőmérséklet függvényében	21
9. ábra:	Denitrifikáció folyamata	21
10. ábra:	Iszapüledés mértéke az Észak Pesti Szennyvíztisztító Telepen.....	39
11. ábra:	Eleveniszap hely	41
12. ábra:	A zeolit részecske felületén megkötött baktériumok.....	41
13. ábra:	A természetes zeolit felülete [www.living-planet.hu]	42
14. ábra:	A modifikált zeolit felülete [www.living-planet.hu]	42
15. ábra:	A Szobi szennyvíztisztító telep elvi technológiai sémája, /párhuzamos technológiai sorok/	48
16. ábra:	Zeolit adagoló berendezés (Kucsák 2001)	50
17. ábra:	KOI alakulása a szobi kísérletnél	53
18. ábra:	BOI ₅ alakulása a szobi kísérletnél	54
19. ábra:	oldott oxigén koncentráció a kísérlet ideje alatt.....	55
20. ábra:	pH tartalom alakulása a vizsgált időszakban.....	56
21. ábra:	Nitrát-N koncentráció a szobi kísérleteknél	57
22. ábra:	Az elfolyó szennyvíz nitrát N koncentrációjának %-os különbsége	57
23. ábra:	Az elfolyó szennyvíz ammónia-N koncentrációjának alakulása	58
24. ábra:	Nitrifikáció sebessége a Szobi kísérleteknél	58
25. ábra:	A P tartalom alakulása a szobi tisztított szennyvizeknél	60
26. ábra:	Lebegőanyag tartalom eltávolítása a szobi kísérletnél	61
27. ábra:	Iszapüledés alakulása a szobi kísérleteknél	62
28. ábra:	Mohlmann index, havi bontásban	63
29. ábra:	Szobi Szennyvíztisztító Telepen a Mohlmann index (SVI) alakulása.....	63
30. ábra:	A szobi eleveniszap aktivitásának növekedése a zeolit koncentráció függvényében.....	66
31. ábra:	A szobi eleveniszap aktivitásának növekedése a tartózkodási idő függvényében.....	67
32. ábra:	Az elfolyó KOI és a fajlagos légzés összefüggése	68
33. ábra:	Az endogén légzés és a zeolit koncentráció kapcsolata	69
34-35. ábra:	Kémiai oxidációs igény alakulása a gyümölcsfeldolgozás függvényében.....	70
36. ábra:	Laza szerkezetű hely.....	72
37. ábra:	Tömör szerkezetű hely.....	72

38. ábra: Nagy méretű pehely.....	72
39. ábra: Tömör pehely és <i>Vorticella convallaria</i>	73
40. ábra: Iszapkoncentráció alakulása a vizsgált időszakban.....	73
41. ábra: <i>Epistilis digitalis</i> telep a zeolitos soron.....	74
42. ábra: Mikroorganizmusok %-os megjelenése kis terhelés esetén, kontroll és zeolitos soron.....	75
43. ábra: Mikroorganizmusok %-os megjelenése közepes terhelés esetén, kontroll és zeolitos soron	75
44. ábra: Mikroorganizmusok %-os megjelenése nagy terhelés esetén, kontroll és zeolitos soron.....	76

Táblázatjegyzék

1. Táblázat: Csatornázottság helyzete és 2015-re tervezett aránya Magyarországon.....	8
2. táblázat: A különböző aerob biokémiai folyamatok energia hozama.....	16
3. táblázat: A nitrifikáló baktériumok maximális szaporodási sebessége és hőmérséklet közötti kapcsolat különböző szerzők adatai alapján	18
4. táblázat: Zeolit adagolással üzemelő hazai eleveniszapos szennyvíz telepeken végzett mérések összefoglalása	32
5. táblázat: Zeolit adagolással üzemelő külföldi eleveniszapos szennyvíz telepeken végzett mérések összefoglalása	33
6. táblázat: A kísérletek során használt szabványok és vizsgált jellemzők	46
7. táblázat: A szobi SzennyvízTelepen végzett kísérlet zeolit igényének számítása.....	49
8. táblázat: A felszíni vízi környezetbe közvetlenül bevezetett szennyvizek országos területi kibocsátási határértékei és a vízminőség-védelmi területi kategóriák.....	52
9. Táblázat: vizsgálat során mért KOI értékek szórásnégyzetének összehasonlítása	54
10. táblázat: a vizsgálat során mért BOI ₅ értékek szórásnégyzetének összehasonlítása.....	55
11. táblázat: Az elfolyó NO ₃ , a NH ₄ koncentráció és a nitrifikációs sebességi értékek statisztikai vizsgálata	59
12. táblázat: A mért P értékek szórásnégyzetének összehasonlítása	60
13. táblázat: a vizsgálat során mért lebegőanyag eltávolítási értékek szórásnégyzetének összehasonlítása	61
14. Táblázat: A mért SVI értékek szórásnégyzetének összehasonlítása	64
15. táblázat: Folyamatos szűrés kísérlet eredményei:	65
16. táblázat: KOI adszorpció értékei (Szob)	65
17. táblázat: Zeolit adagolás és az endogén légzés kapcsolata.....	67
18. táblázat: A hagyományos egy-lépcsős tápanyag eltávolítási technológia beruházási költsége zeolit adagolás nélkül és zeolit adagolási üzemmód mellett	78
19. Táblázat: hagyományos egy-lépcsős és zeolitos technológia üzemeltetési költség és a tisztított szennyvíz paramétereinek összehasonlítása	82

2. sz. melléklet

2.1 Mintavételezés, vizsgálati módszerek és adatfeldolgozás

2.1.1. Vízkémiai paraméterek vizsgálata:

A NATO „Science for Peace” programja keretében fiatal kutatóként vettem részt. A programon belül modifikált zeolittal történő eleveniszapos szennyvíztisztítás hatásfokát vizsgáltuk. A kísérletek, mint már az előzőekben említettem három telepen folytak. A tisztítási folyamatot heti rendszerességgel vizsgáltuk, a vízkémiai jellemzőkre (KOI, BOI, lebegőanyag, N, P) vonatkozólag.

2.1.1.1. Szennyvízminták előkészítése és laboratóriumi vizsgálata

Mintaelőkészítés: Mintavételezés, csomagolás, szállítás

A szennyvízmintákat a szobi telepen hetente egyszer, mindkét sorból vettük, az eleveniszapos medencékből. Ez heti négy mintavételt jelentett. A szennyvízminták az MSZ ISO 56667-10:1995 Vízhőmérséklet Mintavétel 10. rész: A szennyvízből végzett mintavétel előírásai c. szabványnak megfelelően műanyag palackba kerültek.

A vízminták szállítása a Váci szennyvíztisztító telep Szennyvízminősítési laboratóriumába történt.

2.1.1.2. pH mérés

MSZ ISO 10523:2003 szabvány szerint

A víz kismértékben ugyan, de disszociál a következő egyenlet szerint:



$$K_v = [\text{H}^+] [\text{OH}^-] / [\text{H}_2\text{O}] = [10^{-7}] [10^{-7}] / (1-10^{-7}) \quad (11)$$

Ha 1 mólnyi vízből 10^{-7} disszociál, akkor ez azt jelenti, hogy 10^{-7} mól H^+ ion és 10^{-7} OH^- ion fog képződni, a bomlatlan víz móljainak száma pedig közelítően 1 marad.

Tehát mivel a H^+ és OH^- ionok koncentrációjának szorzata állandó így elegendő az egyik koncentráció érték megmérése, abból a másik már következik. A pH a vízben mért H^+ ion koncentráció 10-es alapú negatív logaritmus.

Alkalmazott pH mérő készülék: WTW 340i

2.1.1.3. Kémiai oxigén igény meghatározása

2001/58/EC utasítás szerint, küvettás módszerrel

Készítmény azonosítása: LCK 514 CSB/COD/DCO

Készítmény összetétele: vonatkozó adatok: Ag_2SO_4 ezüst szulfát <0,5%, H_2SO_4 90%, Hg_2SO_4

<1,5%, kálium dikromát $K_2Cr_2O_7$

Meghatározás menete:

Az adott tesztcsőben lévő reagenshez hozzáadtam a vízmintát, azt összerázva a LANGE HT 200S roncsolóba helyeztem 15 percre. A roncsolás után LASA 100 fotométerbe helyeztem, ahol a méréshatár kiválasztása után a TESZT gomb nyomásával leolvasható volt a KOI érték -ben.

2.1.1.4. Ammóniumion meghatározása spektrofotometriális módszerrel

2001/58/EC utasítás szerint, küvettás módszerrel

Készítmény azonosítása: LCK 303 Ammonium

Készítmény összetétele: vonatkozó adatok: $H_2O > 95\%$, $NaOH < 0,2\%$

Meghatározás menete:

Az adott tesztcsőben lévő reagenshez hozzáadtam a vízmintát, azt összerázva a LANGE HT 200S roncsolóba helyeztem 15 percre. A roncsolás után LASA 100 fotométerbe helyeztem, ahol a 670 nm méréshatár kiválasztása után a TESZT gomb nyomásával leolvasható volt az ammónium érték -ben.

2.1.1.5. Összes foszfor meghatározás

2001/58/EC utasítás szerint, küvettás módszerrel

Készítmény azonosítása: LCK 350 Phosphate

Készítmény összetétele: vonatkozó adatok: $H_2O > 95\%$, $NaOH < 0,2\%$

Meghatározás menete:

Első lépésként a szennyvízben található foszfor fajták ortofoszfáttá való alakítása történik, majd az előzetes elkészítés után küvettás módszerrel a megfelelő szennyvízmennyiséget a reagenshez adagoltam, amíg az el nem színeződött, végül a fotométerbe tettem. Az analízisi idő elteltével (15 sec) az értéket leolvastam.

2.1.1.6. Lebegőanyag tartalom meghatározása

MSZ 260/3-73 szabvány szerint

Az ülepíthető lebegőanyag meghatározását Imhoff-kehelyben végeztem. A 10 perc alatt leülepedő lebegőanyag tömegét határoztam meg.

Eszközök:

Imhoff – kehely, porcelán csésze, gumicső, 5-7mm belső átmérőjű, 1 m hosszú, szárítószekrény, vízfürdő

Meghatározás menete:

Az Imhoff – kehelybe 1 liter alapos felrázással homogenizált vízmintát töltöttem. 10 perc után leolvastam a leülepedett anyag térfogatát. Amikor a térfogat meghaladta az 5 cm³-it, akkor a leülepedett anyagról le kellett szívni az oldat tisztáját. A visszamaradó üledéket kétszer 500 cm³ desztillált vízzel (dekantálással) mostam. Az üledéket előzőleg 105°C hőmérsékleten tömegállandóságig szárított és lemért porceláncsészébe átmostam, a csészét vízfürdőre helyeztem, a szuszpenziót szárazra pároltam és szárítószekrényben 105°C hőmérsékleten tömegállandóságig szárítottam (kb. 5 óra). Szárítás után a porcelán csészét exikátorban lehűlni hagytam, majd mértem.

Számítás menete:

Lebegőanyag tartalom () = b * a

a = porcelán csésze tömege mg-ban

b = üledéket tartalmazó porcelán csésze tömege mg-ban

Az eredményt 1000 mg alatt egész mg-okra, 1000mg felett 10 mg-okra kerekítjük.

2.1.1.7. Ülepedési jellemző számítása

Az ülepedési képesség számszerűsítését a Mohlmann térfogati index segítségével határoztam meg. Az érték megmutatja 1 g iszap ülepedési térfogatát.

$SVI (ml/g) = SV_{30} (ml/l) / MLSS (g/l)$

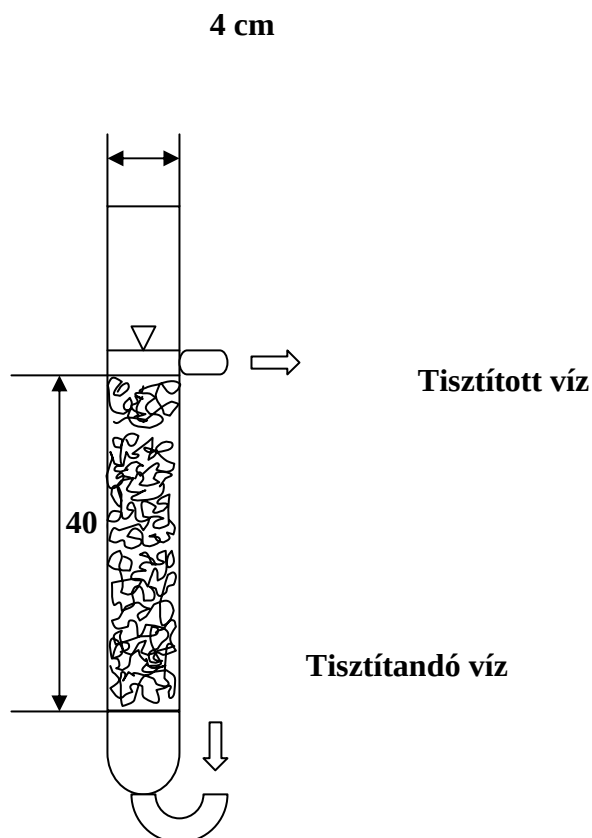
SVI = Molhmann index (Sludge Volumen Index)

SV₃₀ = 30 perc ülepedési idő után kialakult iszaptérfogat

MLSS = iszapkoncentráció

2.2. Az eleveniszap lebontási aktivitás mérési módszere:

Laboratóriumi méretű zeolit-szűrő elvi vázlata



Zeolit töltet szemcse átmérője: 1,5 – 2,5 mm

A töltött cső hossza: 40 cm

A töltött cső átmérője: 4 cm

A töltött cső belső keresztmetszetének felülete: 0,00125 m²

A rátáplálás sebessége: 5,0 l/óra (0,005 m³/óra)

Szűrési sebesség: 4,0 m/óra

A tisztítandó víz KOI koncentrációja: 1221

Só koncentráció: 4 g/l (NaCl)

Szennyező anyag: Gázolaj (1000) + 2 csepp felület aktív anyag (mosószer)

Folyamatos szűrési kísérletet végeztünk

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetemet fejezem ki témavezetőimnek, Dr. Bardóczyné Dr. SzékelyEmőkének és Dr. Gyulai Ferencnek szakmai irányításukért és áldozatkész segítségükért.

Köszönetemet fejezem ki Dr. Barczy Attilának a lehetőségért, hogy P.hD.tanulmányaimat a Környezettudományi doktori Iskola keretében folytathattam.

Köszönöm Dr.Oláh Józsefnek a tanulány elkészítésében nyújtott magas szakmai segítségét.

Köszönöm Dr. Pécsi Kálmánnak a DMRV zrt. műszaki igazgatójának, hogy lehetőséget biztosított számomra mindalaborkísérletek, mind az üzemi kísérletek elvégzéséhez.

Köszönöm Dr. Stefanovics Pálnak és Dr. Patziger Miklósnak a dolgozat javításában nyújtott segítségét.

Köszönetemet fejezem ki Dr. Jobbágy Andreának és Dr. Juhász Endrének az értekezés elkészítéséhez és beadásához nyújtott segítséget.

Köszönöm Molnár Györgynek a DMRV zrt.munkatársának önzetlen baráti segítségét, valamint Dr. Urbányi Andrásnak a mikrobiológiai vizsgálatokhoz nyújtott segítségét.

Köszönetemet fejezem ki a Természetvédelmi-és Tájökológiai Tanszék vezetőjének, Dr. Penksza Károlynak, és dolgozóinak bátorítását és önzetlen segítségét.

Végül, de nem utolsó sorban köszönöm családomnak, a sok türelmet, kitartást, biztatást, és azt, hogy mellettem álltak és biztosították a lehetőséget munkámhoz.