



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR VÍZI KÖZMŰ ÉS KÖRNYEZETMÉRNÖKI  
TANSZÉK

**A letenyei szennyvíz tisztító telep környezeti hatása a Mura  
folyóra**

TDK DOLGOZAT

**Készítette:**

Mirkó Anna

Építőmérnöki kar

**Konzulens:**

Dr. Clement Adrienne egyetemi docens

**Kutatóhely:**

BME Vizi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék

Budapest, 2020. október

## Tartalomjegyzék

1	Bevezetés .....	4
2	Irodalomkutatás .....	6
2.1	Vízminőség fogalma, vízminőség-szabályozás feladata .....	6
2.2	Vízgyűjtőterület szabályozása, a Vízi Keretirányelv (VKI) .....	6
2.3	A víztestekbe jutó szennyeződések hatása a víz ökológiai egyensúlyára.....	9
3	Helyszín bemutatása .....	11
3.1	A 3-1. Mura tervezési alegység .....	11
3.1.1	A vizsgált vízgyűjtő.....	11
3.1.2	A vizsgált vízgyűjtő éghajlata .....	13
3.1.3	A Vízyűjtő terhelései .....	13
3.2	A letenyei szennyvíz tisztító telep.....	14
3.2.1	Rekonstrukció előtt alkalmazott technológia .....	15
3.2.2	Rekonstrukció után alkalmazott technológia.....	16
4	Célkitűzés .....	17
5	Vízminőségi értékelések.....	18
5.1	A Murára vonatkozó FEVISZ adatok értékelése.....	18
5.2	A Birkitői-árokra vonatkozó FEVISZ adatsorok értékelése.....	20
5.3	A letenyei szennyvíz tisztító telep kibocsájtott szennyvizének értékelése .....	22
6	A bevezetés hatása a Mura vízminőségére .....	24
6.1	Az elkeveredési zóna meghatározása .....	24
6.2	Számítás.....	27
6.2.1	Vízminőség változása a keveredési szakaszon.....	28
6.2.2	Saját mérések.....	32
6.2.3	Kialakuló szennyvíz csóva .....	35
7	Összefoglalás .....	35
8	Köszönetnyilvánítás.....	36
9	Irodalomjegyzék: .....	37

## Ábrajegyzék

1. ábra Magyarországi szennyvíz tisztító telepek.....	5
2. ábra A VKI felszíni vizekre vonatkozó minősítési módszere (OVF, 2015) [6].....	8
3. ábra Biológiai jellemzők folyásirány menti változása szennyvízzel terhelt folyószakaszon [6].....	11
5. ábra A 3-1 Mura tervezési alegység részvízgyűjtője [14].....	12
6. ábra A Mura alegységen található kommunális és ipari szennyvíz bevezetések (Vízgyűjtő Gazdálkodási Terv).....	14
7. ábra A letenyei szennyvíz tisztító telep felújítás előtt alkalmazott technológiai sorrendje.....	15
8. ábra A letenyei szennyvíz tisztító telep felújítás utáni technológiai sorrendje.....	16
9. ábra Az alábbi képeken néhány a telepen készült fotó látható.....	16
10. ábra A referencia pont és a letenyei szennyvíz tisztító telep egymáshoz viszonyított pozíciója.....	29
11. ábra Az NH <sub>4</sub> -N koncentrációjának változása a távolság függvényében.....	31
12. ábra A bevezetés környékén kialakuló koncentrációs terület 3D-ben.....	32
13. ábra Helyszíni mérés.....	33
14. ábra Az összes só értékének változása a távolság függvényében.....	34
15. ábra A kialakuló szennyvíz csóva keresztirányú terjedése.....	35

## Táblázat jegyzék

1. táblázat A FEVI 6_3-as alapján a 4-es típusnak megfelelő minősítési táblázat 1.rész.....	18
2. táblázat A FEVI 6_3-as melléklete alapján a 4-es típusnak megfelelő minősítési táblázat 2. rész...	18
3. táblázat A Mura FEVISZ adatainak kiértékelése.....	19
4. táblázat A FEVI 6_3-as melléklete alapján a 6-os típusnak megfelelő minősítési táblázat 1. rész...	20
5. táblázat A FEVI 6_3-as melléklete alapján a 6-os típusnak megfelelő minősítési táblázat 2. rész...	20
6. táblázat A Birkitói-árok FEVISZ adatainak kiértékelése.....	21
7. táblázat Az elfolyó szennyvízre vonatkozó határértékek 2015 előtt és 2015 után.....	22
8. táblázat Az elfolyó szennyvíz minőségének értékelése.....	22
9. táblázat Az elfolyó szennyvíz határértékeinek túllépése a koncentráció/határérték hányadosaként.	22
10. táblázat A befogadó víztest adatai.....	27
11. táblázat A vizsgált szelvény adatai.....	27
12. táblázat A vizsgált vízfolyás geometriai adatai.....	27
13. táblázat A vizsgált szakasz hidraulikai adatai.....	27
14. táblázat A szennyvíz tisztító telep kibocsátása (szennyező anyag).....	29
15. táblázat A háttér koncentráció értékei (referencia ponton mért értékek).....	29
16. táblázat A Mura vízfolyás jó állapotához tartozó határértékek.....	30
17. táblázat A határérték túllépés mértéke.....	30

# 1 Bevezetés

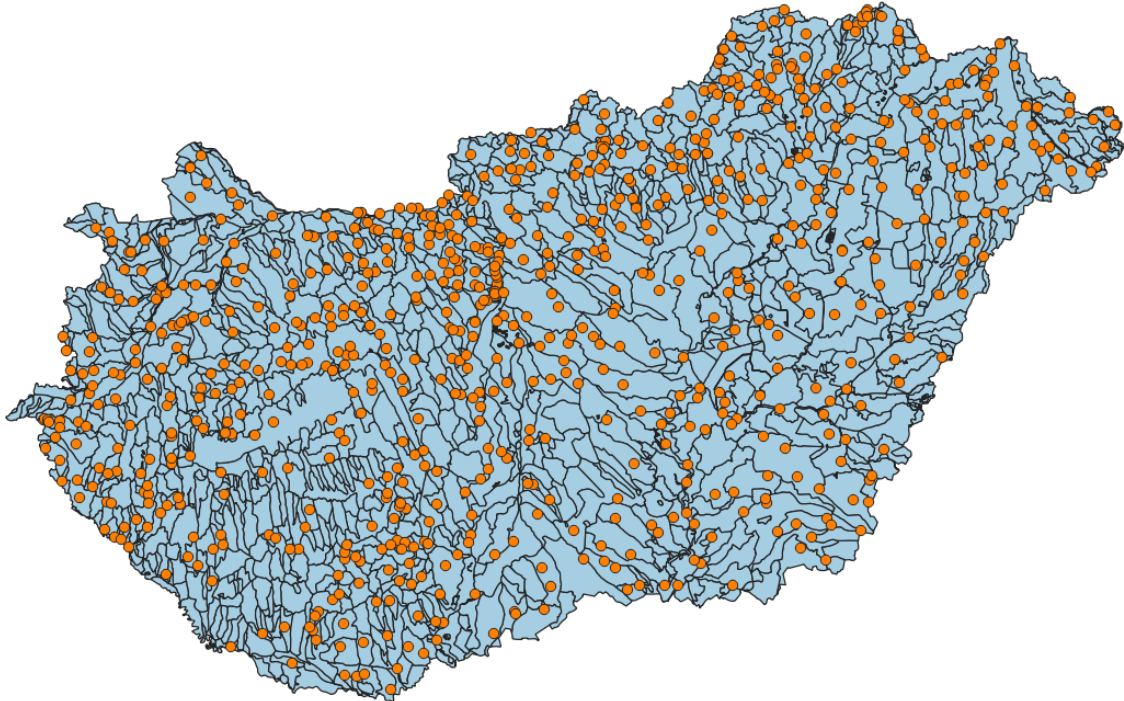
*„(1) A víz nem szokásos kereskedelmi termék, hanem örökség, amit annak megfelelően óvni, védeni és kezelni kell” [1]*

Vizeink szennyezettségi problémái kiemelt figyelmet érdemelnek. Az élővizek egyre nagyobb terhelésnek vannak kitéve, miközben egyre nagyobb mennyiségű és jó minőségű vízre lenne igény. Kiemelkedő szükség volt az Európai Unióban egy közös integrált vízpolitika kidolgozására. Ez meg is valósult a 2000/60/EK Irányelv kidolgozásával. Ezen irányelv célja a vízi környezet fenntartása és javítása, további célja, hogy hozzájáruljon a vízbe kerülő veszélyes anyagok fokozatos csökkentéséhez. Előírja a vizek jó kémiai és ökológiai állapotba hozását, a jó állapot fenntartását és az állapotromlás megakadályozását. A VKI (Vízkeret Irányelv) kötelezi a Tagállomokat saját vízgyűjtőgazdálkodási terv készítésére, mivel a különböző vízgyűjtő területek morfológiája sajátos. Magyarországon a VKI-ben foglalt vállalásokat 2027-ig kell megvalósítani, a Vízgyűjtő Gazdálkodási Terv alapján. [1]

A felszíni vizek minősége kiemelkedő fontosságú, a felszíni vízfolyásaink nagy része ország határunktól messze ered, ezért ezek minőségi javításához fontos a Tagállamok együttműködése. Magyarország vizeinek 95%-a szomszédos országokból érkezik, ezért is nevezik az országunkat a „lefolyó vizek” országának. Magyarországon jelenleg 1078 felszíni víztestet különböztetünk meg, 134 vízgyűjtőnk, pedig országhatárokon kívülre nyúlik. Ezen vízgyűjtők jó állapotának eléréséhez szükség van a szomszédos országok közreműködésére. Tehát vizeink minősége nagy mértékben függ a környező országok behatásaitól. [8]

Vízfolyásaink szennyezettség problémáinak nagy részét a szervesanyag és növényi tápanyagterhelés okozza, melynek jelentős része a kommunális szennyvízből származik, ugyanis a kommunális szennyvíz a tisztítási folyamatok után is tartalmaz szennyeződésekkel. A szennyvíz összetétele nagy mértékben eltér a természetes élővizekétől. Nagy mennyiségben található benne mikroorganizmus, és szerves anyag. Ezenfelül tartalmaz szerves eredetű szennyezőket, köztük elsősorban felvehető növényi tápanyagokat, valamint különféle mikroszennyezőket, például gyógyszermaradványokat is. A szennyvíz élővízbe jutása esetén a hatások sokfélék lehetnek, ezek függenek a szennyvíz összetételétől, mennyiségétől, és a befogadó vízfolyás vízhozamától, sebességétől. Sok esetben kimutatható a biodiverzitás csökkenése, a kémiai és fizikai környezet módosulása, mérgezés, vagy az ökológiai egyensúly felborulása. Magyarország településeinek 66%-án működik csatornahálózat és ehhez az ország

lakosságának több mint 81%-a csatlakozott a rendszerekre, amelyek végén szinte kivétel nélkül van szennyvíz tisztító telep. Tehát kimondható az, hogy az ország túlnyomó része csatornázott, így nem kerül nagyon nagy mennyiségű tisztítatlan szennyvíz az élővizeinkbe. [6]



*1. ábra Magyarországi szennyvíz tisztító telepek*

Az előző ábrán a Magyarországi kommunális szennyvíz tisztító telepek, elhelyezkedését ábrázoltam. Az országban a 2017-es adatok szerint 824 kommunális szennyvíz tisztító telep működik, ezek jelentős terhelést jelentenek az élővizeinkre nézve. Ezek alapján fontosnak tartom azt, hogy foglalkozzunk a szennyvíz tisztító telepek élővizekre gyakorolt hatásával.

Ebben a dolgozatban a vizsgálataimat, egy konkrét szennyvíz telepet kiemelve végeztem. Helyszíniként a letenyei szennyvíz tisztító telepet választottam, mivel ez a telep a lakóhelyem környezetében található. Ezen telep befogadója a Mura folyó. A kutatás során a tisztító telep befogadóra gyakorolt hatását elemeztem. Az elfolyó szennyvízre vonatkozó adatokat a Délzalai Vízes Csatornamű Zrt. szolgáltatta. Statisztikát készítettem a szennyvíz tisztító telep elfolyó szennyvizének változásáról. A vizsgált időintervallumban a telepen felújítás, illetve technológia váltás is történt, továbbá a telep befogadója is megváltozott. A VKI-ben meghatározott osztályhatárok segítségével minősítettem a Birkitői- árkot, illetve a Murát. A szennyvíz tisztító telepről elfolyó szennyvíz elkeveredési hosszát is vizsgáltam, ezenfelül saját méréseket is

végeztem, ezen vizsgálatok segítségével azt elemeztem, hogy a szennyvíz tisztító telep hatása kimutatható-e a Murában.

## **2 Irodalomkutatás**

### **2.1 Víztisztítás fogalma, víztisztítás-szabályozás feladata**

A vízminőség a hétköznapi megfogalmazás szerint a víz kémiai, fizikai és biológiai tulajdonságainak összessége, viszont ez nem a teljes definíció. A víz nem csak fizikai közegként van jelen, fontos szerepe van a biológiai anyagforgalomban, és ökológiai létezőként is számottevő szerepet tölt be. A vizek minőségét különböző paraméterek határozzák meg ilyen paraméterek pl: kémiai, fizikai, mikrobiológia és radiológiai paraméterek. A vizek minősítése során ezeket a jellemzőket vesszük figyelembe. Ezen a jellemzők különböző mértékben befolyásolják egymást pl: a hőmérséklet emelkedése befolyásolja a nehézfémek oldhatóságát. A vízminőség-szabályozás feladata a megfelelő ökológiai állapot biztosítása, a vízfolyásaink terhelésének csökkentése és a vizek szennyezésének mérséklése. Ezek elérése érdekében különböző szabályozásokat és a „jó vízminőséget” jellemző határértékeket alkalmazunk. Élővizeink különböző mértékben terhelhetőek. A terhelés vízminőségi szempontból a víz ökológiai egyensúlyát befolyásoló tényező. A terhelés lehet pontszerű vagy diffúz jellegű. A szennyvíz tisztító telepeket pontszerű szennyezőként szokásos jellemezni. [6]

### **2.2 Vízgazdálkodás szabályozása, a Víztisztítási Keretirányelv (VKI)**

Az Európai Parlament és Tanács 2000 október 23.-án adta ki a Víztisztítási Keretirányelvet (VKI). A VKI kimondja azt, hogy az Európai Unió Tagállamainak 2015-ig jó állapotba kell hozniuk a felszíni, illetve és felszín alatti vizeiket ezenfelül biztosítaniuk kell a jó állapot fenntartásának feltételeit. [1]

A VKI hatálya kiterjed minden olyan antropogén befolyásoló tényezőre, közvetett és közvetlen vízhasználatra, melyek kedvezőtlen hatással lehetnek a vizeink állapotára, illetve amelyek gátolhatják a vizek jó állapotának elérését. [9] A VKI célja, hogy keretet adjon a szárazföldi felszíni vizek, az átmeneti vizek, a parti tengervizek és a felszín alatti vizek védelmének. Megakadályozza a vízi ökoszisztémák romlását, védje és javítsa azok állapotát. Elősegítse a vízkészletek hosszútávú fenntarthatóságát. Segítse redukálni a szennyező anyagok bevezetésének és kibocsátásának mértékét, biztosítsa a felszín alatti vizek szennyezettségének csökkentését. Hozzájáruljon az árvizek és az aszályok csökkentéséhez. [1]

A VKI lehetőséget kínál a kevésbé szigorú környezeti célkitűzések definiálására és a későbbi határidők kijelölésére. Ilyen kevésbé szigorú környezeti kitűzés akkor alkalmazható, ha pl: egy vízfolyás állapota olyan nagy mértékben befolyásolt, hogy annak jó állapotba hozása nagymértékű erőforrást venne igénybe, illetve, nehéz lenne a jó állapotot fent tartani. A megállapított megvalósítási határidő csak, indokolt esetben átléphető ilyen eset az, ha ezt a vízgyűjtő gazdálkodási terv igazolja. Ha a víztest állapota nem javítható, akkor a célkitűzés az, hogy megakadályozzák az állapotának romlását. A vízgyűjtő gazdálkodási tervet minden Tagállam magának kell, hogy kidolgozza, ennek indoka az, hogy a különböző vízgyűjtőknek sajátos adottságai vannak. [1]

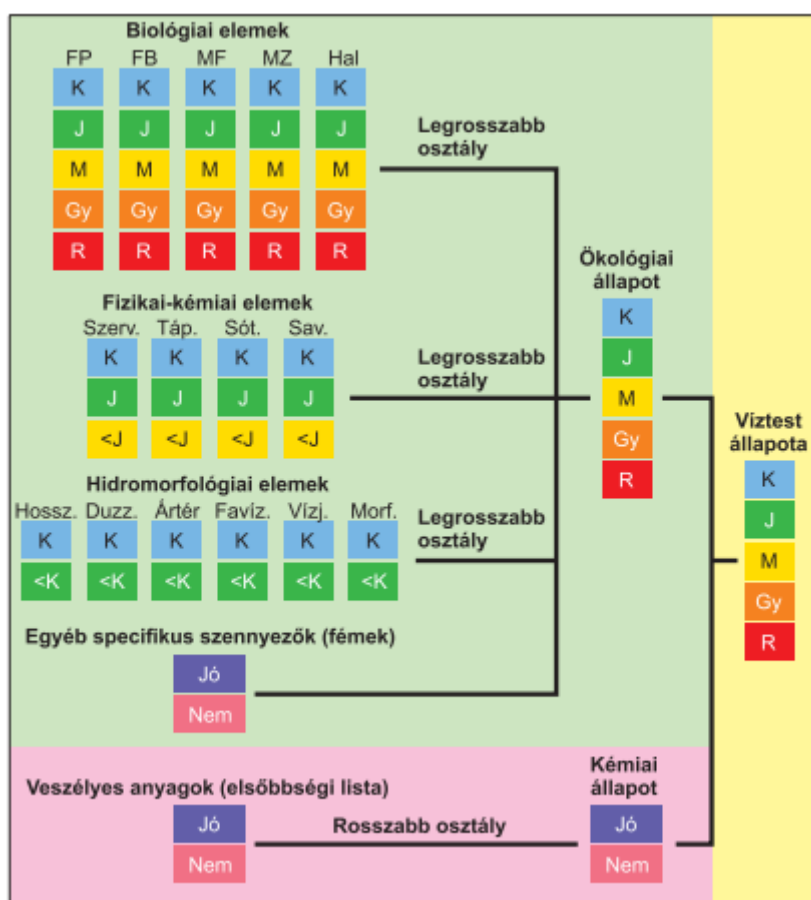
Magyarországon a Vízgyűjtő gazdálkodási terv 3 ciklusból épül fel az első ciklus teljesítési határideje 2015, majd 2021 és 2027. Magyarország Kormánya az első Vízgyűjtő-gazdálkodási tervet 2010. május 5.-én fogadta el, majd ezen terv felülvizsgálatát 2016. március 31.-én. Magyarországon a VKI-ben foglalt célkitűzéseknek 2027-ig meg kell valósulniuk. [7]

AVKI előírásait Magyarországon kiadott rendeletekbe is belefoglalták. A 221/2004. (VII. 21) Kormány rendelet, *a vízgyűjtő gazdálkodás egyes szabályairól* elnevezést kapta, célja az, hogy a jogszabályban meghatározott „jó állapot” elérése és fenntartása érdekében a szükséges intézkedéseket és intézkedési programokat egységes keretbe foglalja és meghatározza az összefoglaló vízgyűjtő-gazdálkodási terv tartalmát, valamint a tervezés szabályait. [2]

A 220/2004. (VII.21) Kormány rendelet *a felszíni vizek minősége védelmének szabályairól* elnevezésű rendelet, célja a vízhasználatok biztonsága, az emberi egészség és környezet megőrzése, felszíni vizek minőségének megóvása ezenfelül a víztestek jó állapotának elérése. [3]

A 219/2004. (VII.21) Kormány rendelet *a felszín alatti vizek védelméről*, ezen rendelet célja a felszín alatti vizek jó állapotának biztosítása és annak fenntartása, a szennyeződések fokozatos csökkentése, és megelőzése. [4]

A vízgyűjtő gazdálkodási terv, nem egy kiviteli vagy akár egy ágazat fejlesztési program, hanem a jó állapot elérése érdekében létrehozott stratégiai terv.[16] Az országban 4 Részvízgyűjtő-gazdálkodási Terv készült. Ezek a Duna, Tisza, Dráva, Balaton vízgyűjtő gazdálkodási tervei. 42 tervezési alegység esetében készítettek vízgyűjtő gazdálkodási tervet. Kutatásom során én a 3-1. tervezési alegységet (Mura alegység) fogom kiemelni, hiszen az általam vizsgált terület ezen a tervezési alegységen belül található. [17]



FP: fitoplankton, FB: fitobentosz, MF: makrofiton, MZ: makrozobentosz, Hal: halfauna, K: kiváló, J: jó, M: mérsékelt, Gy: gyenge, R: rossz; <J: jónál rosszabb; <K: jó, vagy annál rosszabb

2. ábra A VKI felszíni vizekre vonatkozó minősítési módszere (OVF, 2015) [6]

A VKI minősítési rendszere, a környezeti arány segítségével történik, a minősítés során a meglévő állapotot kell összehasonlítani a referencia viszonyokkal (antropogén hatás mentes állapot), a referencia állapot víztípusoként eltérő. A VKI alapján öt osztályt különböztetünk meg egymástól (kiváló, jó, mérsékelt, gyenge, rossz). A kiváló állapot a referencia viszonyokkal egyezik meg. Az öt osztályos skálán lefelé haladva egyre nagyobb eltérés tapasztalható a referencia állapothoz képest. A rossz osztályba kerülő víztestek már jelentősen szennyezettnek minősíthetők. A víztestek minősítése után szükséges meghatározni a minőségi romlást okozó terhelések forrását. Ezt követően intézkedéseket hozni, a vízminőség javításának érdekében. [6]

A minősítés során elemek szempontjából is szükséges minősíteni a víztesteket itt öt élőlény csoport alapján kell meghatározni a besorolás. Ezek az „indikátor” élőlénycsoportok a fitoplanktonok, fitobentonok, makrofitonok, makrozobentoszok, illetve a halak. Az



élőlénytípusoként engedélyezett faj szerinti darabszámot, a tagállamoknak kell megállapítaniuk. A VKI értelmezése szerint, a legrosszabb osztályba sorolás tekinthető mérvadónak. A minősítés további részében azt szükséges vizsgálni, hogy a fizikai-és kémiai elemek besorolása igazolja-e a biológiai minősítést. A biológia mutatók felmérésére jelenleg nincs elég észlelési pont, ennek okán a tervezés sikere megkérdőjelezhető. A minősítés közben szükséges hidromorfológiai elemek szempontjából, is osztályba sorolnunk víztesteket. Az ökológiai állapotot az egyéb specifikus szennyezők is befolyásolják, ilyen specifikus szennyezők a fémek. A fémekre vonatkozó engedélyezett határértékeket a 10/2010. (VIII.18) VM rendelet 1. melléklete tartalmazza, ezek a környezetminőségi határértékek (EQS). [6]

### **2.3 A víztestekbe jutó szennyeződések hatása a víz ökológiai egyensúlyára**

A kommunális szennyvíz tisztító telepek nagymennyiségű növényi tápanyagot juttatnak az élővizekbe. Ezek a növényi tápanyagok elősorban foszfor és nitrogén vegyületek. A foszfor és a nitrogén élővizekbe jutása esetén hirtelen tápanyag feldúsulást eredményez, amit a növények előszeretettel hasznosítanak. Ez a folyamat eutrofizációhoz vezethet, amely növényi túlburjánzást jelent. Az eutrofizáció mértékét mindig a legkisebb mennyiségben jelen lévő elem mennyisége szabályozza, ezáltal ez az elem az eutrofizáció limitáló tényezője. A megjelenő növényi tápanyag hatására a növényzet elszaporodik és elzárja az oxigént a vízben élő élőlényektől, ezáltal a víz ökológiai egyensúlya felborul. A bekerülő foszfor és nitrogén vegyületek hatására az alga fajok is tápanyaghoz jutnak és megnő a vízben a mennyiségük, ezt a jelenséget vízvirágzásnak nevezzük, ennek okán a víz esztétikai értéke is csökken. Amikor az algák elhalnak, a lebontásukhoz nagymennyiségű oxigén szükséges, ami a vízben az oxigénszint jelentős csökkenését okozza. [10]

Az élővizekben a nitrogén több formában is előfordulhat: ammónia, nitrit, nitrát és molekuláris nitrogén formájában is fellelhető. Az elemi nitrogén kivételével a többi nitrogén forma káros a vizeinkre nézve. A levegőből a nitrogén beoldódása a vizekbe természetes folyamat. A vízben lévő nitrogént elősorban a nitrogén megkötő baktériumok és a kék algák képesek hasznosítani. A kibocsájtott kommunális szennyvíz nagymennyiségű nitrogént tartalmaz, ez a szennyvízben lévő fehérjékből és aminosavakból kimutatható. A nitrogén formák közül a nitrát egészség károsító hatással rendelkezik, a csecsemőknél a nitrát az okozója a „kék halálnak”. Ha a vízben található nitrát mennyisége meghaladja a  $40 \text{ mg/m}^3$ -t, akkor az adott víz emberi fogyasztásra alkalmatlan. Csecsemők esetében ez az érték alacsonyabb mindössze  $20 \text{ mg/m}^3$ . Ennél magasabb nitráttartalmú víz fogyasztása egészség károsító hatással bír. Az ammónium ion

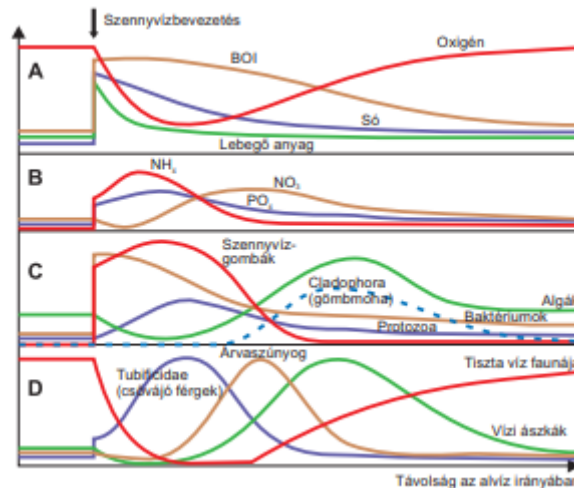
(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) jelenléte a vizekben nemrég bekövetkezett szennyezésre utal, az ammónium ion jelenléte gyakori a szennyvíz tisztító telepek kivezetésénél.

A kommunális szennyvízből a vízfolyásokba bekerülő szervesanyag egy része könnyen más része nehezen bontható le biológiai úton. A szerves anyag lebontása az élővizekben természetes úton is lejátszódik, ez elsősorban egy aerob folyamat, amelyhez a mikroorganizmusok a vízben lévő oldott oxigént használják fel. Tehát a szerves anyag kibocsájtása csökkenti a víz oldott oxigén tartalmát. A szennyvíz bevezetésénél általánosságban elmondható, hogy az oxigén szint mindig csökken, mivel egyik technológia sem működik 100%-os biztonsággal. A kibocsájtott szennyvíz minőségét határértékekkel szabályozzák.

A kibocsájtott szennyvíz szervesanyag tartalmát különböző mérőszámokkal tudjuk jellemezni, ilyen a BOI<sub>5</sub> (biokémia oxigén igény), KOI<sub>d</sub> (kémiai oxigén igény), TOC (összes szerves széntartalom). Az elfolyó szennyvízben jellemzően mérni szokták még például: az ÖN (összes nitrogén), ÖP (összesfoszfor) mennyiségét is. [12]

A következő ábra azt mutatja be (3.ábra), hogy a szennyvíz terhelés hatására, hogyan változnak a biológiai jellemzők, a bevezetési ponttól folyásiránynak megfelelően. A letenyei telep hatása is hasonló változásokat okoz a Mura folyóban a szennyvíz bevezetésénél. A szennyvíz bevezetésénél jellemzően csökken az oxigén szint, mivel a víz ilyenkor még nagyobb mennyiségben tartalmaz szerves anyagot, és ezt a mikroorganizmusok elkezdik lebontani, viszont ehhez a folyamathoz a vízben oldott állapotban lévő oxigént használják fel. A bevezetés helyénél az össze só és a lebegőanyaga tartalom jelentősen nagyobb koncentrációjú. Ez a koncentráció a hossz mentén folyamatosan csökken. Jellemzően a nitrogén és foszfor formák mennyisége is emelkedett a szennyvíz bevezetésénél, viszont ezen paraméterek koncentrációja is redukálódik a hossz mentén.

A szennyvíz bevezetés környékén a vízben élő magasabb rendű élőlények száma is kisebb, mivel ezek a lények a vízből veszik magukhoz az oxigént, így a szennyvíz bevezetés környezetében ehhez, nehezebben jutnak hozzá. A szennyvíz kitorcollás közelében a baktériumok és szennyvíz gombák csíraszámuk emelkedett. A vízben lévő algák száma ezen a területen kisebb, viszont a bevezetéstől távolabb gyarapodik a számuk és elkezdik a vízben oldott növényi tápanyagokat hasznosítani.



3. ábra Biológiai jellemzők folyásirány menti változása szennyvízzel terhelt folyószakaszon [6]

### 3 Helyszín bemutatása

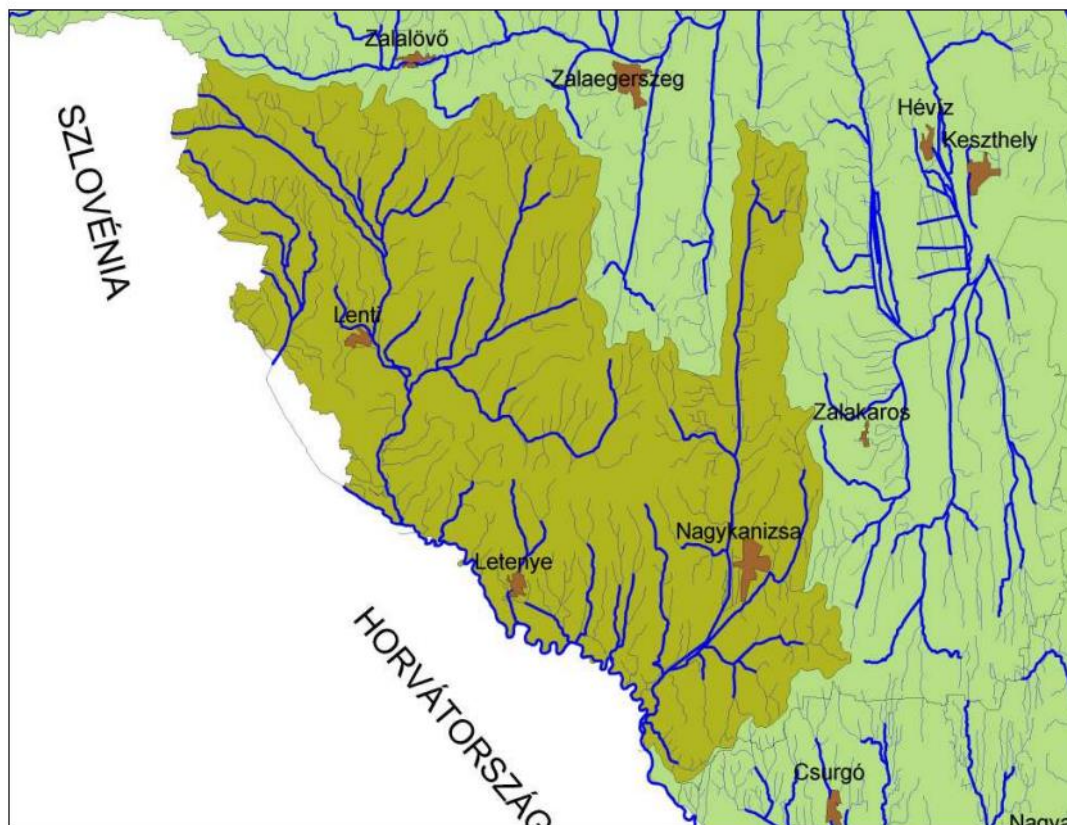
#### 3.1 A 3-1. Mura tervezési alegység

##### 3.1.1 A vizsgált vízgyűjtő

Az általam vizsgált tervezési alegység a 3-1 Mura elnevezést kapta. A vizsgált vízgyűjtő a Dráva részvízgyűjtőjének nyugati határán a Zala és a Rinya-mente tervezési alegységek között található. A 3-1-es tervezési alegység a Mura folyó vízgyűjtőjének Magyarországi szakaszát öleli fel, ez a terület mintegy 2040 km<sup>2</sup> nagyságú. [14]

A Mura folyó Ausztriában az Alacsony Tauern déli lejtőjén ered. Ausztriát elhagyva Szlovénián keresztül éri el hazánkat, ezután tovább halad a magyar és a horvát határ mentén, majd Órtilosnál a Drávába torkollik. A Mura vízgyűjtője a vizsgált szakaszon a Zalai-dombsághoz tartozik. A vizsgált részvízgyűjtő területén található kistájak: Kerka-vidék (Hetés), Közép-Zalai-Dombság (Göcsej), Egerszeg-Letenyei dombság, Principális-völgy, Zalaapáti hát, Mura-balparti sík. A vízgyűjtő NY-i részén az Ős-Mura és a Kerka hordalékkúpja található. A Kerka-vidék É-i, illetve D-i térségében a kavicsstakarós tanúhegyek helyezkednek el, melyek az ópleisztocén kavics takaró maradványait őrzik. Ilyen pl: a Haricsa hegy 287 m-es magasságával. A tanúhegyek között egy újpleisztocén süllyedék terület található, ez a Lenti-medence. A Lenti medence a mai napig is változik, folyamatosan süllyed, a területet az Ős-Mura hordalékkúpjából származó folyóvízi üledék tölti ki. A terület középső részét jellemzően a jégkorszakban kialakult vályog fedi. A térség felszíne D-NY-i irányban lejtősödik, ezen a területen dombok és völgyek párhuzamos sorozata látható. A Principális-völgyét szerkezeti mozgások és eróziós folyamatok alakították. A völgyet

számottevően felsőpleisztocén kereszttrétegzett folyóvízi homok, illetve a jégkorszakban képződött vályog alkotja. A Pacsai-süllyedéktől délre a lejtők meredeksége fokozatosan csökken. A vízgyűjtő K-i része É-D-i irányba nyúló erózió sújtotta dombság. A vízgyűjtőre jellemző jégkorszaki vályog mellett megtalálható itt lösz, illetve löszös üledék is. A terület Déli részén helyezkedik el a Mura medre. A Kerka torkalától Molnári térségéig a letenyei-dombság peremét követi a folyó teraszrendszere. A Mura vízszintje felett 30-40 m-es magasságban fellelhető kavics maradványai arra utalnak, hogy a folyó egy régebben kialakult terasza itt volt fellelhető. Murarátkától egyenletesen szélesedő sík terület található, ezt a völgsíkot a Mura újpleisztocén terasz rendszere, illetve óholocén ártere tölti ki. Az itt a fellelhető alapkőzet kavicsbordalék, melyet a folyó rakott le. A Mura medre folyamatos változásban van a mai napig. A Mura által lerakott kavicsbordalékon különböző vastagságú és tömött szerkezetű öntés talajok alakultak ki. [14]



4. ábra A 3-1 Mura tervezési alegység részvízgyűjtője [14]

A vízgyűjtő területre jellemző talajfajta a barna erdőtalaj, ez lefedi a terület 86%-át. Ezenfelül a vízfolyások völgyeiben megtalálhatóak réti öntés, és lápos réti talajok is. A talajok sok esetben több területen lúgosak, vagy savasak. [14]

A területen több vízfolyás is megtalálható: Kerka, Lendva-patak, Kebele patak, Szentgyörgyvölgyi patak, Cupi patak, Cserta patak. Alsó-Válicka patak, Principális csatorna,

Kütös patak, Bakónaki patak, Szentadorjáni patak, Béci patak, Borsfai patak, Rigyáci patak. Ezek mindegyike a Murába torkollik. [14]

### **3.1.2 A vizsgált vízgyűjtő éghajlata**

A vízgyűjtő terület a mérsékelt övben helyezkedik el, ennek megfelelően az időjárásra nem jellemzőek a rendkívüli éghajlati szélsőségek. A nyugati területekre a mérsékelt hűvös, és a mérsékelt nedves éghajlati körzet a jellemző. A vízgyűjtő középső, északi, és a dél-keleti részén a mérsékelt meleg és a mérsékelt nedves éghajlati körzet az uralkodó. A januári középhőmérséklet a vízgyűjtő nyugati területén -1,5 és -2 °C között mozog, amíg keleti területeken ritkán közelíti meg a -1 °C-ot. A júliusi középhőmérsékelt nyugatról keletre haladva növekedést mutat. A Mura vízgyűjtőjére a csapadékos időjárás a jellemző. Az éves csapadék összeg átlagosan 730-780 mm. A csapadék minimum január vagy február hónapokra datálható, még a csapadék maximális értékét a június vagy júliusi hónapokban éri el. [14]

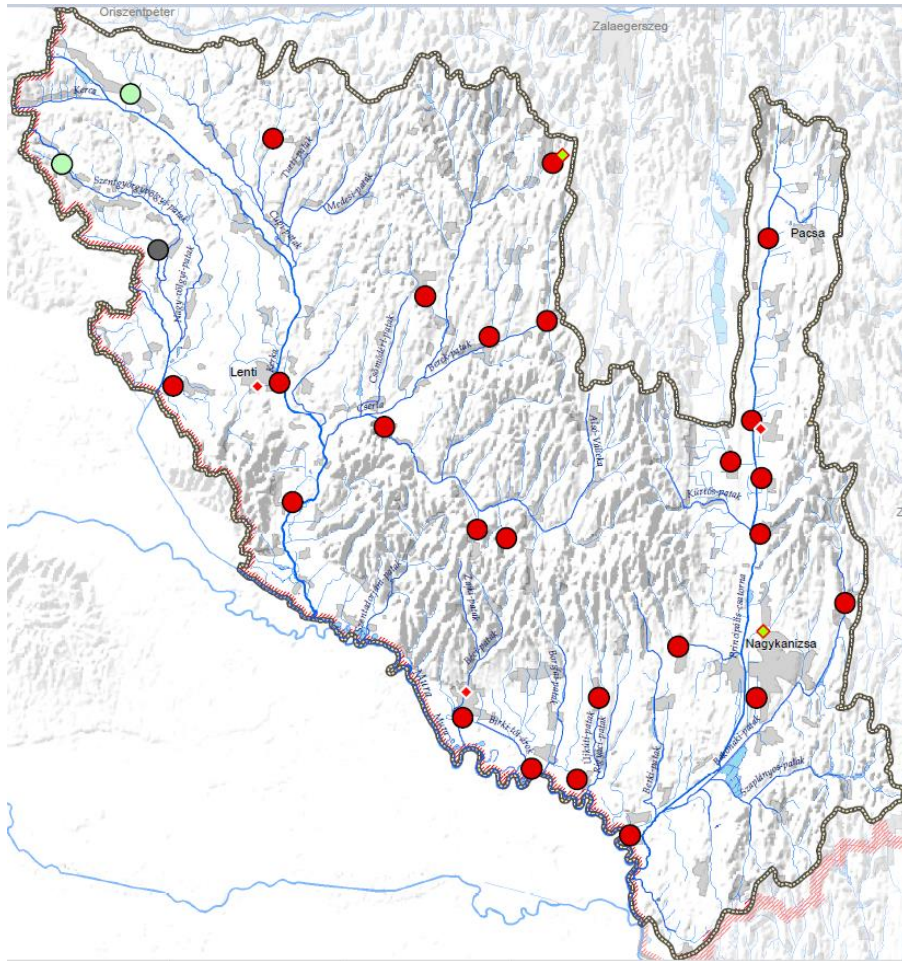
### **3.1.3 A Vízgyűjtő terhelései**

A Mura vizsgált területén jelenleg a felszíni víztestek minőségének megfigyelését hét monitoring ponton végzik, ezek VKI jelentési monitoring helyek. Ezenfelül a NYUDU-KÖVIZIG együtt működésében még 23 vízrajzi állomás is működik. [14]

A vízgyűjtő területen 27 db kommunális szennyvíztisztító telep található. A Mura vízminőségét a vízgyűjtő területéről érkező, bele torkolló vízfolyások nagy mértékben befolyásolják. [15] Ezen vízfolyások közül a Bakónaki-pataknak és vízrendszerének, a Birkitői-árokknak, a Lendva pataknak, a Mántai-pataknak, és a Principális csatornának számottevő a tápanyag és szerves anyag terhelése (2015-ös adatok alapján). Ezek a tápanyag és szerves anyag terhelések a kommunális szennyvízből származnak. [17]

A vízgyűjtő területen bevezetett termálvizek jelentősen hozzájárulnak az összes sótartalom növekedéséhez. [17]

A tervezési alegység terület nem található releváns veszélyes anyag kibocsájtó. A veszélyes anyag meghatározó kibocsájtói a kommunális szennyvíz tisztító telepek, viszont a szennyvizek veszélyes anyag tartalma nem haladja meg a határértékeket. A vízfolyásokba vezetett városi csapadékvíz is tartalmaz kis mennyiségben veszélyes anyagot, pl.: olaj és nehézfémek formájában. [17]



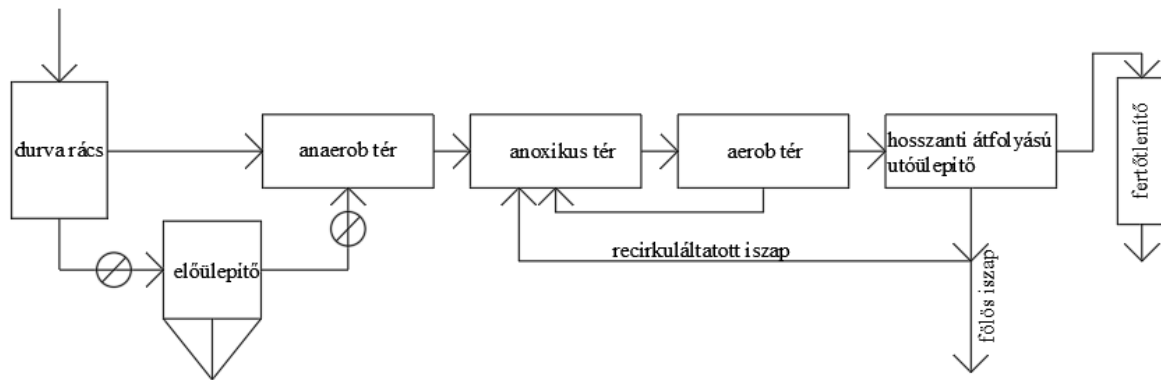
5. ábra A Mura alegységen található kommunális és ipari szennyvíz bevezetések (Vízgyűjtő Gazdálkodási Terv) [18]

### 3.2 A letenyei szennyvíz tisztító telep

Letenye Magyarország dél-nyugati részén a Horvát határ mellett található kisváros. Lakossága a KSH (Központi Statisztikai Hivatal) 2018-as népszámlálás alapján 4001 fő. A településen szennyvíz tisztítás 1975 óta zajlik. A szennyvíz tisztító telep a város határától kb 200m-re található.

A 2012-es mérések alapján a szennyvíz tisztító telep terhelése túllépte a telep teljesítő képességét ezáltal az elfolyó víz egyes paraméterei nem feleltek meg az üzemeltetési engedélyben meghatározott értékeknek. Ezen okból kifolyólag a telep rekonstrukcióra szorult, amely 2015-ben valósult meg. A telep hidraulikai kapacitása  $Q_d = 1000 \text{ m}^3/\text{nap}$ , a szerves anyag eltávolító kapacitása  $12 \text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékletre vonatkoztatva 3450 LE volt.

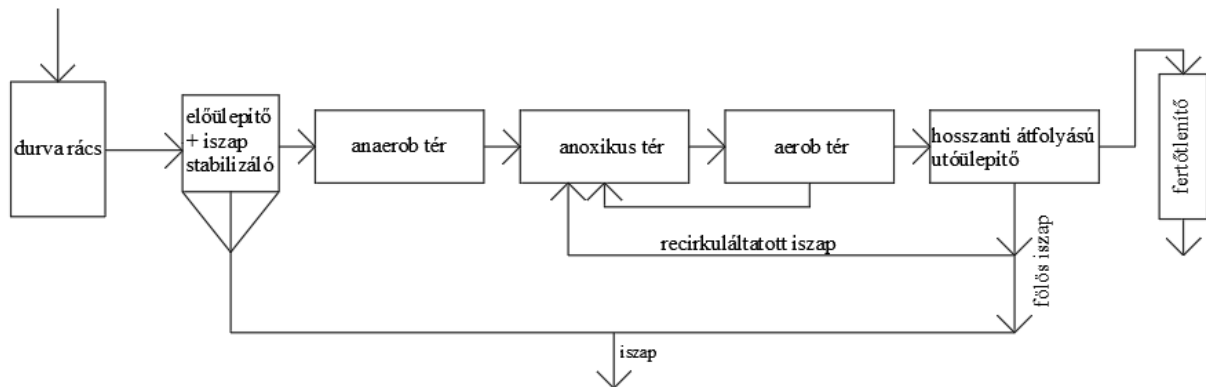
### 3.2.1 Rekonstrukció előtt alkalmazott technológia



6. ábra A letenyei szennyvíz tisztító telep felújítás előtt alkalmazott technológiai sorrendje

A szennyvíz gravitációs úton érkezett a tisztító telepre, pontosabban egy aknába, ahol az első lépés a darabos szennyeződések eltávolítása volt. Ez egy  $s=5\text{mm}$ -es résméretű gépi tisztítást alkalmazó ráccsal valósult meg. Az akna túlfolyó vezetékkel volt ellátva, amely a nagy mennyiségű szennyvizet hivatott elvezetni havária helyzet esetén a befogadóba. A szennyvizet ezután egy MOBA típusú átemelőbe vezették, melyből Flygt típusú búvárszivattyúk emelték tovább a szennyvizet. A technológia sorban a következő lépés az előüleptetés lett volna, viszont az előüleptető medencét iszaptárolóként alkalmazták, ezáltal a víz közvetlenül a biológiai műtárgyba lett vezetve. A biológiai tisztítás során  $A^2/O$  eljárást alkalmaztak. A tisztítás során a víz először az anaerob térbe érkezett meg. Ennél a technológiánál itt a levegő oxigénjét nem igénylő folyamatok zajlanak le. Innen a kezelendő vizet az anoxikus térbe vezették át, ahol az elkeveredést ABS típusú búvár szivattyúkkal biztosították. Az anoxikus térből a szennyvizet az aerob térben kezelték tovább. [5] Az aerob térben a mikroorganizmusok aerob módon bontják a szerves anyagot. Az  $A^2/O$  technológia esetén, az aerob medencébe alulról légbefúvás segítségével juttatják a mikroorganizmusokat megfelelő mennyiségű oxigénhez. A szennyvizet gravitációsan egy utóüleptetőbe vezették. Ahol fázisszétválasztást végeztek a sűrűségkülönbség elve alapján. A kiüleptített iszapot egy ENVIREX típusú műanyag láncos hosszanti kortószerkezet az iszapzsombba gyűjtötte. A tisztított szennyvíz egy bukóvályún keresztül távozott egy kevert terű fertőtlenítőbe, ahol hypó adagolásának a segítségével zajlott a fertőtlenítés. A fertőtlenített szennyvizet egy labirint medencén keresztül haladt majd az oldalaknába telepített indukciós vízhozammérőn keresztül hagyta el a telepet. A vizet a Birkitői-árokba vezették, amelynek a befogadója a Mura folyó. A tisztítási folyamatok során keletkezett iszapot víztelenítés nélkül a Nagykanizsai szennyvíz tisztító telepre szállították.

### 3.2.2 Rekonstrukció után alkalmazott technológia



7. ábra A letenyei szennyvíz tisztító telep felújítás utáni technológiai sorrendje

Az előzőekben ismertetett technológiához képest a felújítás után beépítésre került egy előülepítő-iszapstabilizáló műtárgy. Ennél a technológiai lépésnél szükségesség vált néhány új gépészeti berendezés: előülepítő kotrószerkezet, primer iszap szivattyú, sűrített iszap szivattyú, és a keverő berendezés beépítése is. Ennek segítségével csökkent a biológiai műtárgy terhelése, mivel az ülepítés segítségével már itt zajlik iszap eltávolítás. Ezenkívül beépítettek egy sűrítő és iszapstabilizáló műtárgyat is, ennek a célja az iszap víztartalmának csökkentése ezáltal a kezelendő iszap mennyisége is redukálódik. A fertőtlenítő és végátemelő műtárgy esetében is történtek változtatások, az új műtárgy 3 térrészből épül fel, a fertőtlenítő és átemelő terek között bukófal létesült. A felújítás alkalmával megváltozott a telep befogadója is. Egy 200 mm átmérőjű nyomóvezeték építettek be, amely lehetőséget nyújt arra, hogy a tisztított szennyvizet közvetlenül a Murába lehessen vezetni.



8. ábra Az alábbi képeken néhány a telepen készült fotó látható



## 4 Célkitűzés

TDK dolgozatomban bemutatom a letenyei szennyvíz tisztító telep környezeti hatását a Mura folyóra. Ezenfelül, célom, hogy értékeljem, a letenyei szennyvíz tisztító telep elfolyó szennyvizének minőségét és vizsgáljam a pontszerű terhelés hatását a folyóra.

Munkám során minősítettem a Mura és a Birkitői-árok (a telep múltbéli befogadója) vízminőségét, a VKI minősítési rendszere alapján. Elemeztem a Mura vízminőségének időbeli változását az évek során, majd kiszámítottam, a szennyvíz tisztító telep terhelésének mértékét a folyóra nézve. Ezt követően saját mérési eredményeimet mutattam be. Továbbá meghatároztam a szennyvíz terhelés által okozott szennyezőanyag csóva folyóban való terjedését.

A folyamat során először az Országos Környezetvédelmi információs Rendszerből (OKIR), pontosabban a Felszíni Vízminőségi Adatszolgáltató (FEVISZ)-ből, letöltött adatokat értékeltem. [13] A vízfolyásokat ezen letöltött adatok felhasználásával minősítettem. A Mura esetében ezeket az adatokat felhasználtam háttér vízminőségi adatként a számításomhoz. A minősítést OVGT (Országos Vízyűjtő-Gazdálkodási Terv) 6\_3-as mellékletében meghatározott osztályhatárok alapján végeztem el.

Ezt követően a Dél Zalai Víz- és Csatornamű által szolgáltatott, letenyei szennyvíz tisztító telep elfolyó vizére vonatkozó adatokat értékeltem. Elemeztem a szennyvíz tisztító telep tisztított szennyvizének BOI, KOI, NH<sub>4</sub>-N, ÖN, illetve ÖP változását a 2012-2019 között lévő időszakra.

Következő lépésként a bevezetés alatti szakaszon 1D számítási modellel meghatároztam az elkeveredési távolságokat, majd a 2D transzport egyenlet analitikus megoldását alkalmaztam. Az elkeveredési paraméterekhez az OVGT 1.1 mellékletében közölt alapadatokra támaszkodtam (mértékadó vízhozam, sebesség, meder szélesség). Az elkeveredési zónában elemeztem a szennyvízbevezetés hatására kialakuló koncentráció változást. Az emisszió meghatározásához a szennyvízteleptől kapott kibocsátási adatokat használtam.

A számítási eredményeimet igyekeztem alátámasztani. Ennek érdekében egy expedíciós felmérés során a bevezetés alatti szakaszon mértem a vezetőképesség változását a Murában. A mérési eredményeket az elkeveredési modellel végzett számítással hasonlítottam össze.

## 5 Vízminőségi értékelések

### 5.1 A Murára vonatkozó FEVISZ adatok értékelése

A felszíni vizek minőségének jellemző paramétereit a, Megyei Kormányhivatalok mérik. Az összesített eredményeket egy közös informatikai rendszerben a FEV-ben (Felszíni Vízminőség) gyűjtik össze. A Mura és a Birkitói-árok vízminőségét jellemző adatok ebből a rendszerből származnak.

A VKI minősítési rendszere alapján a vízfolyásokat típusokba kell sorolni, jelenleg 10 típust különböztetünk meg egymástól. A besoroláshoz figyelembe kell venni a vízgyűjtő méretét és a domborzatot, a víz hidrokémiai jellegét és a vízfolyás mederanyagát. Ezen jellemzők figyelembevételével a Mura 4-es típusú vízfolyás. Az OVGT 6\_3-as melléklete fizikai és kémiai paraméterek alapján sorolja be a felszíni vizeket. A minősítési értékeket a 4-es típusnak megfelelően az alábbi táblázat tartalmazza.

Referencia állapot, osztályhatár	Savasodási állapot	Oxigén háztartás, szerves szennyezés					
	pH	Oldott oxigén [mg/l]	Oxigén telítettség [%]	BOI <sub>5</sub> [mg/l]	KOI <sub>d</sub> [mg/l]	TOC [mg/l]	NH <sub>4</sub> -N [mg/l]
Referencia	7 - 8,5	8,5	80 - 110	2	10	3,75	0,05
Kiváló / Jó	7 - 8,5	≥ 8	80 - 110	≤ 3	≤ 20	≤ 7,5	≤ 0,1
Jó / Mérsékelt	6,5 - 7; 8,5 - 9	7	70 - 80; 110 - 120	5	30	11,25	0,3
Mérsékelt / Gyenge	6	4	50	10	50	18,75	1
Gyenge / Rossz	5,5	3	30	15	60	22,5	2

1. táblázat A FEVI 6\_3-as alapján a 4-es típusnak megfelelő minősítési táblázat 1.rész

Referencia állapot, osztályhatár	Sótartalom	Növényi Tápanyagok				
	Vezetőképesség [μS/cm]	Klorid [mg/l]	Összes szervesetlen N [mg/l]	Összes N [mg/l]	PO <sub>4</sub> -P [mg/m <sup>3</sup> ]	Összes P [mg/m <sup>3</sup> ]
Referencia	500	15	1	2	40	80
Kiváló / Jó	≤ 500	≤ 35	≤ 2	≤ 2,5	≤ 50	≤ 100
Jó / Mérsékelt	700	50	3,5	5	100	200
Mérsékelt / Gyenge	1500	150	5	10	300	500
Gyenge / Rossz	2000	300	10	15	500	1000

2. táblázat A FEVI 6\_3-as melléklete alapján a 4-es típusnak megfelelő minősítési táblázat 2. rész

	pH	Klorid [mg/l]	Vezkép [µS/cm]	Old Oxigén [mg/l]	Oxigén telítettség [mg/l]	BOI <sub>5</sub> [mg/l]	KOI <sub>a</sub> [mg/l]	TOC [mg/l]	NH <sub>4</sub> -N [mg/l]	Össz. szerves N [mg/l]	ÖN [mg/l]	PO <sub>4</sub> -P [mg/m <sup>3</sup> ]
<b>2013</b>	8,07	14,15	326,33	9,88	87,92	2,33	13,92	5,01	0,08	-	-	51,12
	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló			Jó
<b>2014</b>	8,12	15,42	328,25	9,90	89,42	2,08	11,83	-	0,06	-	-	35,89
	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló		Kiváló			Kiváló
<b>2015</b>	8,13	14,27	330,00	9,98	91,00	2,53	13,00	-	0,06	1,39	1,69	42,42
	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló		Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló
<b>2016</b>	8,05	13,07	351,50	10,02	90,42	2,22	13,33	4,56	0,05	1,37	1,69	39,70
	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló
<b>2017</b>	7,91	Kiváló	377,75	9,94	90,50	3,07	19,83	3,78	0,04	1,31	1,70	35,62
	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Jó	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló
<b>2018</b>	7,95	14,31	352,75	9,68	89,00	3,77	15,83	-	0,04	1,52	1,93	24,74
	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Jó	Kiváló		Kiváló	kiváló	Kiváló	Kiváló

3. táblázat A Mura FEVISZ adatainak kiértékelése

Az adatok alapján kimondható, hogy a Mura a mért vízminőségi paraméterek szempontjából megfelel a VKI-ben előírt jó állapotnak. Ezáltal a meglévő állapotok fenntartására kell törekedni, hogy ne következzen be vízminőségi romlás.

Az fentebb bemutatott táblázat alapján látszik, hogy a pH értéke csökkent a vizsgált időszakban, a lúgos tartományon belül maradt, viszont közelebb tolódott a semleges tartományhoz. A természetes jó állapotú vizek pH-ja lúgos, ennek a feltételnek a Mura folyó vízminősége megfelel. A pH csökkenésének az oka feltételezhetőleg az lehet, hogy csökkent a trofitás. A trofitás a vízben élő növényi szervezetek szervesanyag termelésének mértéke. Tehát a pH csökkenésének oka feltételezhetőleg összefüggésben áll, a vízben élő növényekkel, ebben az esetben az algák számának csökkenésével. A pH változását befolyásolja még a szabad széndioxid mennyisége, illetve, a vízben zajló biológiai folyamatok is. A Klorid koncentrációja, nem mutatott érdembeli változást 2013-2018 között, mindvégig a kiváló tartományban maradt az értéke. A vezetőképesség változása sem volt jelentős a vizsgált időintervallumban. Minden évben a kiváló tartományba került. Az értékének kis mértékű változását több tényező is befolyásolhatja, ilyen befolyásoló tényező a vízben oldott ásványi sók (ionok és kationok) mennyisége és a hőmérséklet. [11] Az oldott oxigén mennyiségére sem jellemző kiemelkedően nagy változás a vizsgált időintervallumban. Az oldott oxigén nagyon fontos a vízben élő élőlények számára, viszont a mennyiségét csökkenti a szerves anyagok lebontása, mivel az aerob baktériumok felveszik a vízben oldott oxigént az életfolyamataikhoz. Az oldott oxigén mennyisége függ, a vízhőmérséklettől, a sótartalomtól, illetve a légköri nyomástól is. A természetes vizek oldott oxigén tartalma 0-14 mg/l közötti értéket szokott felvenni. Ez a Mura

esetében 10 mg/l körüli érték, amely a Kiváló tartományban helyezkedik el. Az oxigén telítettség is az oxigénháztartás egyik mutatója ez kb. 90% körüli értéket vesz fel a Mura esetében. A KOI, BOI, TOC a szerves anyag mutatói. Ezen vízminőséget jellemző paraméterek is jellemzően a Kiváló-Jó tartományban találhatók meg. A BOI koncentrációját illetően 2018-ban látható egy kategória váltás. Az előző éves adatokhoz képest 2018-ban a BOI értéke megnövekedett, ezáltal másik kategóriába került, viszont így is jó minősítést kapott ezáltal megfelel a VKI előírásainak. A BOI koncentrációjának növekedése főleg az év első felére jellemző, januártól júliusig mértek magasabb BOI-t. A növényi tápanyagok mutatói a NH<sub>4</sub>-N, Összes szerves N és az Összes nitrogén mennyisége is többnyire a Kiváló kategóriákban látható.

## 5.2 A Birkitói-árokra vonatkozó FEVISZ adatsorok értékelése

A Birkitói-árok kül-és belterületi csapadékelvezető ezenfelül, 2 település tisztított szennyvizének volt a befogadója. A Birkitói-árok 6-os típusú vízfolyás. Ennek az osztálynak megfelelő értékeket a következő táblázatok tartalmazzák.

Referencia állapot, osztályhatár	Savasodási állapot	Oxigén háztartás, szerves szennyezés					
	pH	Oldott oxigén [mg/l]	Oxigén telítettség [%]	BOI <sub>5</sub> [mg/l]	KOI <sub>d</sub> [mg/l]	TOC [mg/l]	NH <sub>4</sub> -N [mg/l]
Referencia	7 - 8,5	7	70 - 120	2,5	15	5,625	0,1
Kiváló / Jó	7 - 8,5	≥ 6	70 - 120	≤ 3,5	≤ 20	≤ 7,5	≤ 0,2
Jó / Mérsékelt	6,5 - 7; 8,5 - 9	5	60 - 70; 120 - 130	5	40	15	0,4
Mérsékelt / Gyenge	6	4	50	10	50	18,75	1
Gyenge / Rossz	5,5	3	30	15	60	22,5	2

4. táblázat A FEVI 6\_3-as melléklete alapján a 6-os típusnak megfelelő minősítési táblázat 1. rész

Referencia állapot, osztályhatár	Sótartalom	Növényi Tápanyagok				
	Vezetőképesség [μS/cm]	Klorid [mg/l]	Összes szerves N [mg/l]	Összes N [mg/l]	PO <sub>4</sub> -P [mg/m <sup>3</sup> ]	Összes P [mg/m <sup>3</sup> ]
Referencia	800	15	0,5	2	40	80
Kiváló / Jó	≤ 800	≤ 40	≤ 1	≤ 2,5	≤ 100	≤ 150
Jó / Mérsékelt	1200	60	3,5	5	200	300
Mérsékelt / Gyenge	1500	150	5	10	300	500
Gyenge / Rossz	2000	300	10	15	500	1000

5. táblázat A FEVI 6\_3-as melléklete alapján a 6-os típusnak megfelelő minősítési táblázat 2. rész

Birkitői Árok 2015	Átlag	Minősítés	Csoport minősítés
pH	7,78	Kiváló	Savasodási állapot (Kiváló)
Klorid [mg/l]	30,80	Kiváló	Sótartalom (Kiváló)
Vezetőképesség [ $\mu$ S/cm]	623,50	Kiváló	
Oldott oxigén [mg/l]	8,70	Kiváló	Oxigénháztartás (Kiváló)
Oxigén telítettség [%]	76,58	kiváló	
BOI <sub>5</sub> [mg/l]	3,41	Kiváló	
KOI <sub>d</sub> [mg/l]	18,74	Kiváló	
NH <sub>4</sub> -N [mg/l]	0,16	Kiváló	
Össz. szerves N [mg/l]	2,91	Jó	Növényi tápanyagok (Mérsékelt)
ÖN [mg/l]	3,77	Jó	
PO <sub>4</sub> -P [mg/m <sup>3</sup> ]	79,94	Kiváló	
ÖP [mg/m <sup>3</sup> ]	441,25	Mérsékelt	

6. táblázat A Birkitői-árok FEVISZ adatainak kiértékelése

A Birkitői-árok vízminőségére vonatkozó paraméterek csak a 2015-ös évben mérték, ebben az évben a letenyei szennyvíz tisztító telepről elfolyó tisztított szennyvizet már nem a Birkitői-árokba vezették. A Birkitői-árok egy időszakos vízfolyás, melybe a szennyvizet két szennyvíz tisztító telep is ide vezette, az egyik telep Letenyén a másik a Tóthszerdahelyen található.

A fentebb bemutatott táblázat alapján a Birkitői-árok vízének pH-ja, Klorid, Vezetőképessége, Oldott oxigén tartalma, oxigén telítettsége, BOI<sub>5</sub>, KOI<sub>d</sub>, NH<sub>4</sub>-N tartalma is kiváló kategóriába tartozik. Ez azt jelenti, hogy a vízfolyás savasodási állapot, oxigénháztartás, szerves szennyezés és sótartalom szempontjából is megfelel a VKI-ben foglalt vállalásoknak. A növényi tápanyagok esetében, már viszont eltérő minősítési kategóriákat láthatunk, az összes foszfor mennyisége miatt a csoport minősítés mérsékelt. A megnövekedett összesfoszfor koncentrációjának okozója vélhetőleg a vízfolyásba érkező kommunális szennyvíz terhelés.

### 5.3 A letenyei szennyvíz tisztító telep kibocsájtott szennyvizének értékelése

A szennyvíz bevezetése a befogadóba a 34+750 fkm szelvényben történik, ebben a keresztzelvényben a Mura augusztusi 80%-os természetes vízkészlete 68 m<sup>3</sup>/s. A kitorkolás helyének pontos EOY koordinátái: X = 469.561 Y=121.501. A szennyvíz kibocsájtás évi átlagos mennyisége 158 ezer m<sup>3</sup>.

Mértékegység: [mg/l]	Elfolyó szennyvízre vonatkozó határértékek				
	BOI <sub>5</sub>	KOI <sub>d</sub>	NH <sub>4</sub> -N	ÖN	ÖP
2015 előtt	25	75	5	25	5
2015 után	25	125	20	55	10

7. táblázat Az elfolyó szennyvízre vonatkozó határértékek 2015 előtt és 2015 után

	BOI <sub>5</sub> [mg/l]		KOI <sub>d</sub> [mg/l]		NH <sub>4</sub> -N [mg/l]		ÖN [mg/l]		ÖP [mg/l]	
	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás
2012	79,14	80,34	159,21	31,07	36,48	31,07	61,29	31,34	5,11	2,78
2013	68,90	65,44	121,10	105,73	29,95	27,05	52,56	30,19	6,68	3,82
2014	111,79	212,06	249,73	557,02	12,48	26,14	31,07	32,66	6,47	5,14
2015	24,99	13,53	50,49	30,28	3,32	3,69	17,93	8,42	5,30	3,43
2016	17,28	7,09	40,10	21,81	8,48	17,44	29,69	20,84	4,56	3,53
2017	24,90	16,66	70,26	54,25	7,18	13,91	24,51	17,55	5,79	2,85
2018	19,72	11,92	43,67	16,87	5,16	7,74	26,03	13,66	4,59	3,60
2019	22,87	24,49	52,63	50,85	3,16	4,42	20,96	6,62	5,07	3,38

8. táblázat Az elfolyó szennyvíz minőségének értékelése

A Letenyei szennyvíz tisztító telepen a felújítási munkákat 2014-ben végezték, 2015-ben a Környezetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség által meghatározott, elfolyó szennyvízre vonatkozó paraméterek tekintetében is történtek változások. A 2015 előtti határértékekhez képest a 2015-ben megállapított határértékek nagyobb túrést engednek meg. Ennek az oka az lehet, hogy 2014-es a rekonstrukciós munkálatok során a Mura lett a közvetlen befogadója a letenyei szennyvíz tisztító telepnek. A Birkitói árokhoz képest a Murának sokkal nagyobb a vízhozama és jóval nagyobb a sebessége is. A folyóba kerülő szennyező anyag gyorsabban elkeveredik, sokkal kisebb szakaszt érintve, mint a Birkitói árok esetében. Ezáltal a Mura, mint közvetlen befogadó sokkal jobban terhelhető.

A határérték túllépés mértéke					
	BOI <sub>5</sub>	KOI <sub>d</sub>	NH <sub>4</sub> -N	ÖN	ÖP
2012	3,17	2,12	7,30	2,45	1,02
2013	2,76	1,61	5,99	2,10	1,34
2014	4,47	3,33	2,50	1,24	1,29

9. táblázat Az elfolyó szennyvíz határértékeinek túllépése a koncentráció/határérték hányadosaként

A felújítás előtt a kibocsájtott szennyvíz a vizsgált paraméterek tekintetében jelentősen túllépte az engedélyezett határértékeket. A  $BOI_5$  és a  $KOI_d$  határértékeinek túllépése arra enged következtetni, hogy a biológiai műtárgy tisztítási hatásfoka nagyon alacsony volt. A  $BOI_5$  határértékének túllépése 2014-ben a megengedett érték közel 4,5 szerese volt, ez Birkitói-árokra nézve hatalmas mennyiségű szervesanyag terhelést jelentett. Szintén ugyan ez a nagyfokú határérték túllépés látható a növényi tápanyagok esetében is. Ezáltal a Birkitói-árok nagymennyiségű szerves anyag- és növényi tápanyag terhelést kapott. A felújított telepet 2014 nyarán adták át, ezáltal a 2014-es adatok nem teljes mértékben tükrözik a valóságot, mivel az év első felében még nagy határérték túllépéssel működött a telep. Az átadás után, pedig bizonyos időtartam szükséges hozzá, hogy beálljon a technológia. Az év utolsó hónapjaiban látható az adatsorban csökkenés, amely az új technológia hatékonyságát tükrözi. A 2015-ben mért adatok alapján a felújítás hatására a szennyvíz tisztítótelep tisztítási hatásfoka nagymértékben javult. A mérési paraméterek koncentrációjában ugrásszerű csökkenés látható. Összeségében megállapítható az, hogy a rekonstrukció pozitív hatással volt a szennyvíz tisztító telep hatásfokára, tehát az értékek javuló tendenciát mutatnak.

## **6 A bevezetés hatása a Mura vízminőségére**

Dolgozatomban a letenyei szennyvíz tisztító telep Murára gyakorolt hatását vizsgáltam, ezáltal a szennyvíz tisztító telepet pontszerű terhelésként elemeztem a Mura szempontjából. A szennyvízre vonatkozó határértékek sokkal nagyobb túrést engednek meg, mint a befogadóra vonatkozó vízminőségi határértékek. Ezért a bevezetés helyénél kialakul egy olyan terület, ahol vízminőségi paraméterek túllépik a befogadóra vonatkozó határértékeket. Ezt a területet nevezzük keveredési zónának. Az elkeveredési zónák kijelölésének szükségességét a 2000/60/EK és az ehhez kapcsolódó 2008/105/EK határozta meg először. A keveredési zónán belül a bevezetés helyénél egy magas határérték túllépés tapasztalható, majd ez fokozatosan csökken, mivel a szennyező anyag folyamatosan hígul. A keveredési zóna területén engedélyezett a határérték túllépés. Elkeveredési, zónát elsősorban a 10/2010. (VIII. 18.) VM rendelet 1. mellékletében meghatározott EQS táblázatban szereplő, veszélyes anyagok esetén szükséges kijelölni, viszont a szennyvíz tisztító telepek esetén is beszélhetünk elkeveredési zónáról. A kibocsájtási pont alatti elkeveredés meghatározása, azért szükséges, hogy nyomon tudjuk követni a szennyező anyag terjedését a vizsgált víztestben. [18]

A Mura esetében a várható eredmény az volt, hogy a szennyvíz tisztító telep kismértékben befolyásolja a Mura vízminőségét, mivel egy nagy vízhozamú vízfolyásról van szó ezenfelül a szennyvíz tisztító telep kibocsájtott szennyvize a Mura vízhozamához képest elenyésző. Az elkeveredési távolság várhatólag a bevezetéstől mérve egy rövid szakasz lesz. [18]

### **6.1 Az elkeveredési zóna meghatározása**

Az általam használt számítási módszer veszélyes anyagok terjedésének elemzésére szánták, viszont alkalmazható a kommunális szennyvíz elkeveredésének vizsgálatára is. Ezáltal nyomon követhető válik a szennyvíz tisztító befogadóra gyakorolt hatása.

A vizsgálat során egy olyan megközelítési módot fogok alkalmaztam, melynek a lényege az, hogy azonosítsam azt, a mértékadó anyagot, amely a legnagyobb mértékű károsító hatással lehet a vízminőségre, és elhanyagoljam azokat a szennyező anyagokat, melyek hatása nem mérvadó. [19]

Az elkeveredési zónák meghatározásához szükséges, kiszámítani az elkeveredési távolságokat. Az elkeveredési távolságok meghatározásához pedig az elkeveredésre vonatkozó transzport egyenlet alkalmazása szükséges. [19]



Az elkeveredésre vonatkozó transzport egyenlet vektoros alakja:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial(uc)}{\partial x} + \frac{\partial(vc)}{\partial y} + \frac{\partial(wc)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_z \frac{\partial c}{\partial z} \right) + r(c, p)$$

Az egyenlet azt mutatja be, hogy a koncentráció idő szerinti változása egyenlő az advekció, illetve a diffúzió és lejátszódó reakciók összes változásával. Advekciós folyamatok alatt, az áramlás szállító hatását értelmessük. Diffúziós folyamatból több félélt különböztünk meg, ezek közül az egyik a molekuláris diffúzió mely során a molekulák hőmozgását vizsgáljuk ennek a hatása a folyóvízi elkeveredésben minimális, másik a turbulens diffúzió, amely a turbulens örvények hatását jelenti. [6]

Az elkeveredési zóna meghatározásához, a kétdimenziós mélység mentén átlagolt diszperziós egyenlet alkalmaztam. A számítás során a transzport egyenlet egyszerűsített alakját használtam.

Az egyenlet érvényességéhez elkell fogadnunk az alábbi peremfeltételeket:

- a kibocsájtott szennyezés áramlása elhanyagolható a folyó áramlásához képest
- a keveredés vertikálisan teljes egészében bekövetkezett
- a kibocsájtott anyag és a befogadó sűrűsége azonos

A transzportegyenlet az analitikus megoldása szennyező anyag elkeveredését a Gauss görbe segítségével közelíti meg. Partéli bevezetés esetén az egyenletben szereplő  $C(x, y)$  a bevezetési ponttól és a parttól vett  $x$  és  $y$  távolságot jelenti. [19]

$$C(x, y) = \frac{E}{h * \sqrt{\pi * D_y * x * v_x}} * \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} \exp \left[ -\frac{v_x * (y_0 - 2 * n * B)^2}{4 * D_y * x} \right]$$

$E$  = kibocsájtott anyagáram (terhelés) [g/s];

$h$  = a befogadó vízmélysége [m];

$v_x$  = a befogadó áramlási közepsebessége [m/s];

$B$  = a befogadó víztükör szélessége [m];

$D_y$  =  $y$  irányú (keresztirányú) diszperziós koefficiens [ $m^2/s$ ];

$x$  = a kibocsájtástól való távolság folyásirány mentén [m];

$y_0$  = a parttól való keresztirányban [m]

Kis távolság  $x > L_1$ , esetén a kibocsájtás, csak az  $n=0$  helyen járul hozzá a koncentrációhoz. A túlsó part peremfeltétele itt még nem érvényesül, ezért az egyenlet további tagjai a nullához konvergálnak. Az egyenlet ezáltal egy egyszerűbb formába hozható, ezzel az egyenlettel a maximális koncentrációt kapjuk meg. [19]

$$C_{max}(x) = \frac{E}{h * \sqrt{\pi * D_y * v_x * x}}$$

Ezek alapján, pontszerű terhelés esetében a kialakuló szennyezőanyag csóva a Gauss féle analitikus megoldás alapján levezethető.

$L_1$  elkeveredési távolság, azt az út hosszat jelenti, amelyet a szennyező anyag a bevezetés helyétől a túlsó partél eléréséig a szennyező anyag folyásirányban megtesz. Ebben az esetben a szennyező anyag koncentrációja a túlsó parton. Sodorvonalai bevezetés esetén a konstans szorzó értéke 0,027-re módosul. [19]

$$L_1 = 0,108 * \frac{v_x}{D_y} * B^2$$

$L_2$  a teljes elkeveredési távolságot jelenti, ez a szennyező anyag által megtett úthossz a folyás iránnyal megegyezőleg, amely során a koncentráció keresztirányú változása már nem mutatható ki tehát a vizsgált anyag teljesen elkeveredett. A teljese elkeveredési távolság értéke közel azonos az  $L_1$  távolság háromszorosával. [19]

$$L_2 = 3 * L_1$$

$C_0$  az elkeveredés utáni koncentráció, ennek segítségével megállapítható az, hogy az elkeveredési távolság megtétele után milyen koncentráció értéket kapunk.

$$C_0 = \frac{(C_{h\acute{a}tt\acute{e}r} * Q + C_{szv} * Q_{szv})}{Q} = C_{h\acute{a}tt\acute{e}r} + \frac{Q_{szv}}{Q * C_{szv}}$$

$C_{h\acute{a}tt\acute{e}r}$  = háttér koncentráció [mg/l]

$Q$  = befogadó vízhozama [ $m^3/s$ ]

$Q_{szv}$  = szennyvíz hozam [ $m^3/s$ ]

## 6.2 Számítás

Első lépésként az elkeveredési távolságot határoztam meg. Az elkeveredési távolság egyenesen arányos az áramlási középsebességgel és fordítottan arányos a vízfolyáshoz tartozó diszperziós tényezővel. Az elkeveredési hossz meghatározásához szükséges a turbulens diszperziós tényező kiszámítása. Ahhoz, hogy kitudjuk számítani a turbulens diszperziós tényezőt meg kell határoznunk a fenékcúszató feszültséget. [19]

Befogadó víztest:	
Befogadó víztest kódja (VOR)	AEP816
Megnevezése	Mura
Típusa	Vízfolyás
Vízgazdálkodási besorolása	Természetes vízfolyás

10. táblázat A befogadó víztest adatai

Szelvény adatok:	
Bevezetés helye	34+750 fkm
Bevezetés típusa	partéli
Bevezetés távolsága a parttól	0 m

11. táblázat A vizsgált szelvény adatai

Geometriai adatok:	
Vízfolyás hossza	49,51 km
mederszélessége	130 m
Vízmélység	2,2 m
Esés	0,364 ‰

12. táblázat A vizsgált vízfolyás geometriai adatai

Hidraulikai adatok:	
Vízhozam	108,142 m <sup>3</sup> /s
Szelvény középsebesség	0,39 m/s
Hidraulikai sugár	2,13 m

13. táblázat A vizsgált szakasz hidraulikai adatai

Fenékcúszató feszültség (Fisher, 1978):

$$U^* = \sqrt{g * R * S} = \sqrt{9,81 * 2,1279 * 0,364 * 10^{-3}} = 0,0871 \frac{m}{s}$$

Turbulens diszperziós tényező:

$$D_y = dy * R * U^* = 0,2 * 2,1279 * 0,0871 = 0,037 \frac{m^2}{s}$$

A part elérésének távolsága:

$$L_1 = 0,108 * \frac{v_x}{D_y} * B^2 = 0,108 * \frac{0,39}{0,037} * 130^2 = 19238,59 m$$

Teljes elkeveredési hossz:

$$L_2 = 3 * L_1 = 57715,78 \text{ m}$$

Az elkeveredési hossz számítása egy 1 dimenziós számítási mód, mely a vizsgált vízfolyás szélességétől négyzetesen függ. A Mura 130 m-es szélességénél ez túl nagy elkeveredési hosszat eredményezett, ezen módszer szerint a szennyvíz a túlsó partot, csak 19238,59 m megtétele után éri el. A pontosabb értelmezés szempontjából szükségeszerű, hogy a bevezetési pont közvetlen környezetében 2D-ben is vizsgálni a szennyvíz csóva szétterülését.

Második lépésként az elkeveredés utáni koncentrációk határoztam meg:

BOI<sub>5</sub>:

$$C_0 = C_{\text{háttér}} + \frac{Q_{\text{szv}}}{Q * C_{\text{szv}}} = 3,767 + \frac{0,0049}{108,142 * 19,72} = 3,77 \text{ mg/l}$$

KOI<sub>d</sub>:

$$C_0 = C_{\text{háttér}} + \frac{Q_{\text{szv}}}{Q * C_{\text{szv}}} = 15,83 + \frac{0,0049}{108,142 * 43,67} = 15,83 \text{ mg/l}$$

NH<sub>4</sub>-N:

$$C_0 = C_{\text{háttér}} + \frac{Q_{\text{szv}}}{Q * C_{\text{szv}}} = 0,0391 + \frac{0,0049}{108,142 * 5,16} = 0,039 \text{ mg/l}$$

ÖN:

$$C_0 = C_{\text{háttér}} + \frac{Q_{\text{szv}}}{Q * C_{\text{szv}}} = 1,934 + \frac{0,0049}{108,142 * 26,03} = 1,93 \text{ mg/l}$$

A számítás alapján megállapítható az, hogy az elkeveredés után koncentráció nem emelkedik a szennyvízkibocsátás vízminőségi hatása elhanyagolható mértékű. A szennyvíz kivezetés hatása csak az elkeveredési csóván belül érzékelhető, ezért a következő pontban az elkeveredési szakaszt részletesebben megvizsgálom.

### 6.2.1 Vízminőség változása a keveredési szakaszon

Az alábbi ábrán a referencia pont és a Letenyei szennyvíz tisztító telep kifolyójának egymáshoz viszonyított, pozícióját mutatja be. Számításaim során háttér koncentrációként a referencia ponton mért adatokat vettem alapul. Szennyező anyagként, pedig a szennyvíz tisztító telep elfolyó vizében mért BOI<sub>5</sub>, KOI<sub>d</sub>, NH<sub>4</sub>-N, és ÖN paramétereket alkalmaztam. A Murára vonatkozó határértékeket, pedig a FEVI\_6.3-as mellékletéből származtattam. Fontos megjegyezni, hogy a számítás során a befogadó víztestre vonatkozó határértékeket kell alapul

venni, mivel ezeknek kell megfelelnie a vízfolyásnak vízminőségi szempontból. Az adatokat a 2018-as évre vonatkozóan vizsgáltam, mivel a jelenlegi állapothoz képest ez a legközelebbi év, amelyre vonatkozóan még rendelkezésre álltak az adataim. A keveredési zóna ellenőrzése során először meg kell határoznunk a befogadó határértékeihez képest a határérték túllépést. Ezt követően szükséges megállapítani azt a mértékadó anyagot, amely legnagyobb mértékben lépi túl a megengedett koncentrációt.



9. ábra A referencia pont és a letenyei szennyvíz tisztító telep egymáshoz viszonyított pozíciója

Szennyvíz tisztító telep kibocsájtása	
BOI <sub>5</sub>	19,72 mg/l
KOI <sub>d</sub>	43,67 mg/l
NH <sub>4</sub> -N	5,160 mg/l
ÖN	26,03 mg/l

14. táblázat A szennyvíz tisztító telep kibocsátása (szennyező anyag)

Háttér koncentráció	
BOI <sub>5</sub>	3,767 mg/l
KOI <sub>d</sub>	15,83 mg/l
NH <sub>4</sub> -N	0,0391 mg/l
ÖN	1,934 mg/l

15. táblázat A háttér koncentráció értékei (referencia ponton mért értékek)

Murára vonatkozó határértékek (Jó állapot)	
BOI <sub>5</sub>	3 mg/l
KOI <sub>d</sub>	20 mg/l
NH <sub>4</sub> -N	0,1 mg/l
ÖN	2,5 mg/l

16. táblázat A Mura vízfolyás jó állapotához tartozó határértékek

Határérték túllépés aránya	
BOI <sub>5</sub>	7,829
KOI <sub>d</sub>	2,975
NH <sub>4</sub> -N	51,991
ÖN	11,1856

17. táblázat A határérték túllépés mértéke

Az adatok alapján megállapíthatóvá vált, hogy a vizsgáltak közül meghatározó paraméter az NH<sub>4</sub>-N (ammónium-nitrogén), tehát ez az a vízminőséget jellemző anyag, amelynek a kibocsátásban mért koncentrációja a legnagyobb mértékben lépi át a befogadóra engedélyezett határértéket (jó állapot célértéket). Az NH<sub>4</sub>-N-re vonatkozó határértékek a szennyvíz tisztító telep és a befogadó esetében eltérőek, a szennyvíz tisztító telepen az NH<sub>4</sub>-N értékét 20 mg/l-ben maximalizálták, amíg a Mura esetében a jó állapothoz tartozó határérték csak 0,1 mg/l. Az NH<sub>4</sub>-N határérték túllépése a szennyvíz bevezetés helyénél 5,160 mg/l, amely érték a Murára vonatkozó megengedett határérték 52 szerese.

Mivel, az NH<sub>4</sub>-N a meghatározó paraméter, ezért ennek a hatása mutatható ki, a leghosszabban az elkeveredési szakaszon. A koncentráció értékeit, a tulsó part peremfeltételének érvényesülése nélkül számítottam ki a következő összefüggés segítségével, ezt azért megengedhető mivel minden esetben  $x < L_1$ .

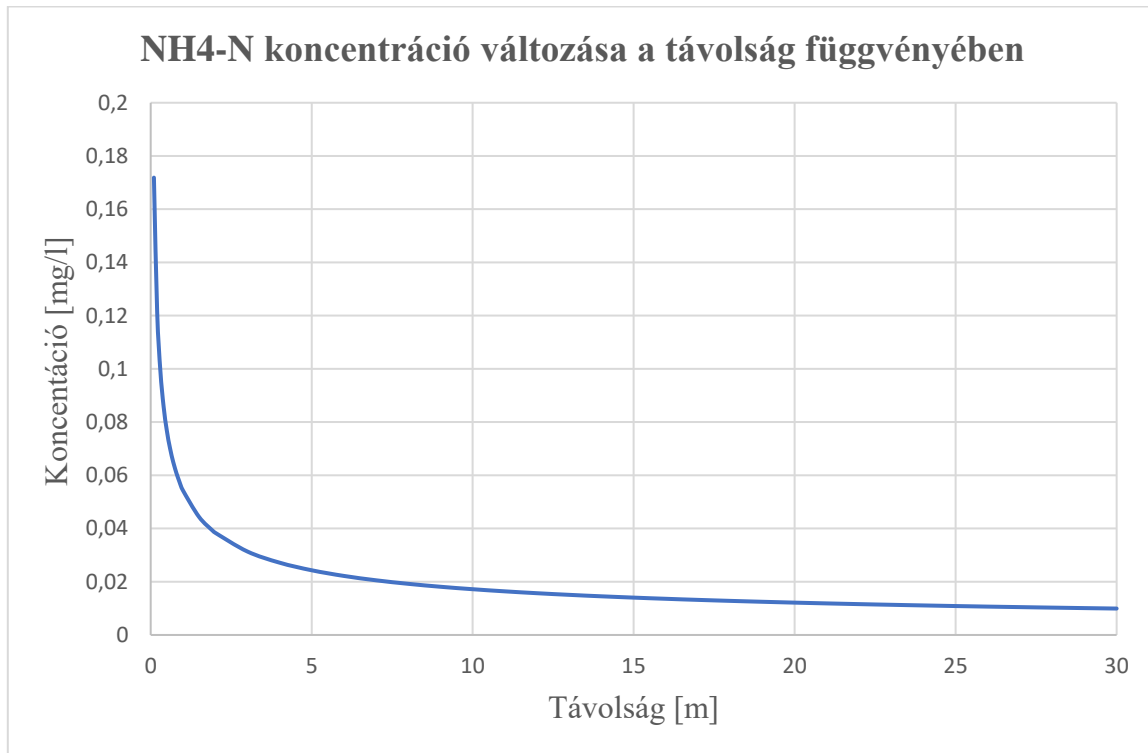
$$C_{max}(x) = \frac{E}{h * \sqrt{\pi * D_y * v_x * x}} = \frac{Q_{eff} * C_{eff}}{h * \sqrt{\pi * D_y * v_x * x}}$$

Pl:  $x = 0,1$  m-nél

$$C_{max}(x) = \frac{Q_{eff} * C_{eff}}{h * \sqrt{\pi * D_y * v_x * x}} = \frac{0,00493 * 5,16}{2,2 * \sqrt{\pi * 0,037 * 0,39 * 0,1}} = 0,1718 \frac{mg}{l}$$

A számítást megismételtem további x távolságok felvételével is. Az így kapott eredményeket a távolság függvényében ábrázoltam. Az így kapott diagramm a lineáris törtfüggvényhez hasonló alakot vesz fel. A bevezetés helyénél a magas a koncentráció értéke, ez után egy nagyon

meredek szakasz látható, amely szakaszon a koncentráció olyan mértékben lecsökken, hogy ezt követően a görbe ellaposodik.



10. ábra Az NH<sub>4</sub>-N koncentrációjának változása a távolság függvényében

Kerestem azt a távolságot a kivezetés helyétől, folyásiránynak megfelelően, amely esetében a koncentráció értéke éppen a határérték.

$$C_{max} = C - C_{h\ddot{a}tt\ddot{e}r} = 0,1 - 0,0391 = 0,609 \text{ mg/l}$$

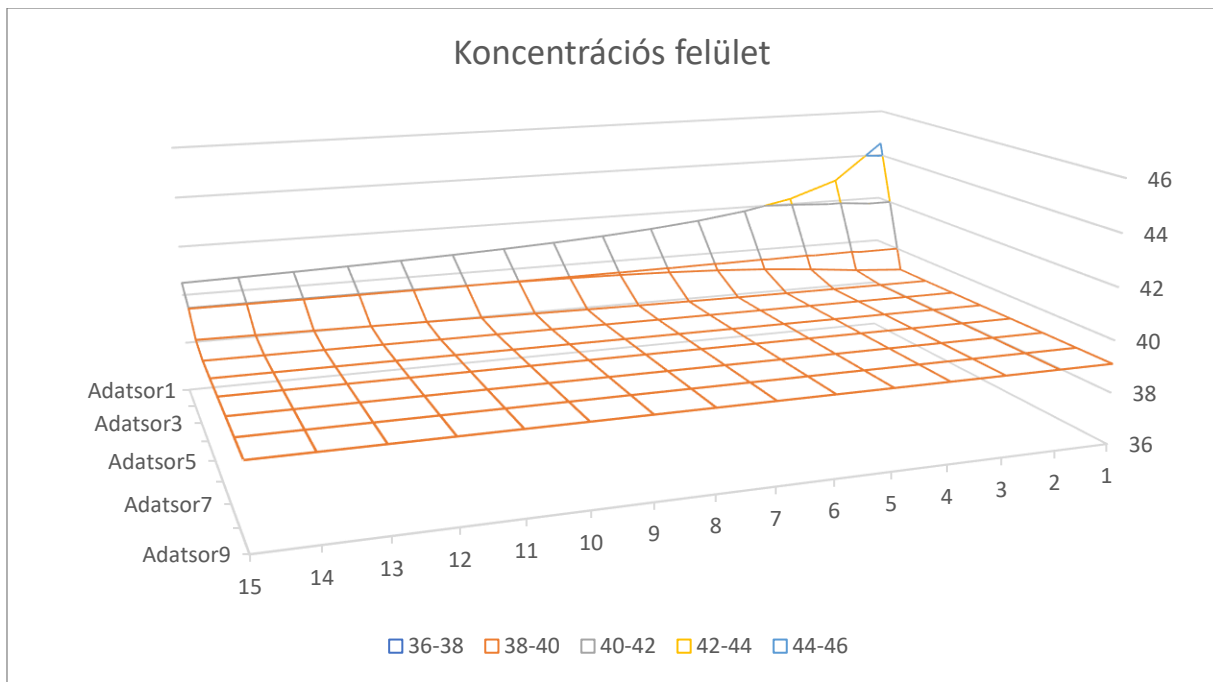
$$x = \left( \frac{Q_{eff} * C_{eff}}{C_{max}(x) * h * \sqrt{\pi * h * v_x}} \right)^2 = \left( \frac{0,00493 * 5,16}{0,609 * 2,2 * \sqrt{\pi * 0,037 * 0,39}} \right)^2 = 0,79 \text{ m}$$

Tehát, a NH<sub>4</sub>-N koncentráció 0,79 m-re a kivezetéstől már csak 0,1 mg/l-es koncentrációban van jelen.

Ezután meghatároztam azt az x távolságot, ahol a koncentráció értéke megegyezik a háttérkoncentráció értékével.

$$x = \left( \frac{Q_{eff} * C_{eff}}{C_{max}(x) * h * \sqrt{\pi * h * v_x}} \right)^2 = \left( \frac{0,00493 * 5,16}{0,0391 * 2,2 * \sqrt{\pi * 0,037 * 0,39}} \right)^2 = 1,93 \text{ m}$$

Ami azt jelenti, hogy a kivezetéstől 1,93 m-re már a koncentráció olyan mértékben lecsökken, hogy eléri a háttér koncentráció értékét.



11. ábra A bevezetés környékén kialakuló koncentrációs felület 3D-ben [20]

A 3D-s ábra a kialakuló koncentrációs felületet ábrázolja. Itt is látható, hogy a bevezetés helyénél a koncentráció értéke magas, majd ez hirtelen lecsökken.

## 6.2.2 Saját mérések

A terepi mérés alkalmával, vezetőképességet mértem a Murában a szennyvíz kivezetése alatti szakaszon. Azért erre a paraméterre esett a választás, mert a legegyszerűbben mérhető helyszíni paraméter és jó indikátora a szennyvíz terhelésnek. A célom a méréssel az volt, hogy igazoljam azt, hogy a szennyvíz bevezetése alatt a koncentráció gyorsan lecsökken. A vizsgálat során, kerestem azt a távolságot, a szennyvíz tisztító telep kivezetésétől, ahol már nem érvényesül a szennyvíz kibocsátás hatása. A mérés, úgy hajtottam végre, hogy a kivezetés helye felett 15m-rel megmértem a vezetőképesség értékét (háttér vezetőképesség), ezután a bevezetés helyétől folyásiránynak megfelelően 5m-ként mértem a vezetőképességet, egészen addig amíg nem kaptam vissza a háttér vezetőképesség értékét. Amikor a vezetőképesség értéke megegyezik a bevezetés feletti ponton mérttel, akkor abban a pontban szennyvíz tisztító hatása már nem érvényesül. A mérést megelőző napokban az időjárás csapadékos volt. A mérés napján napos volt az idő, hőmérséklet 10°C körüli, a vízállás pedig 230 cm volt. A folyamat során 11 mérési ponton határoztam meg a vezetőképesség értékét.





12. ábra Helyszíni mérés

A következő ábra (14.ábra) a mért vezetőképesség és a számolt vezetőképesség változását mutatja be a távolság függvényében. A vezetőképesség mérés a számításaim bizonyítása érdekében végeztem. A vezetőképesség mérésével a szennyvíz hígulása a folyóban követhető válik. A meréssel a vízben oldott ionizált anyagok (ionok, kationok) mennyisége mutatható ki. Ezeket a szennyvíz nagyobb mennyiségben tartalmazza. A mérés segítségével igazolható a koncentráció gyors lecsengése a vizsgált szakaszon, mivel a vezetőképesség és az vízben oldott sók lineáris összefüggésben vannak, ezért a sók változásának mértéke, megegyezik a koncentráció változásának mértékével.

A vezetőképességet a következő egyenlet segítségével számítottam ki:

A háttér vezetőképessége: 291  $\mu\text{S}/\text{cm}$

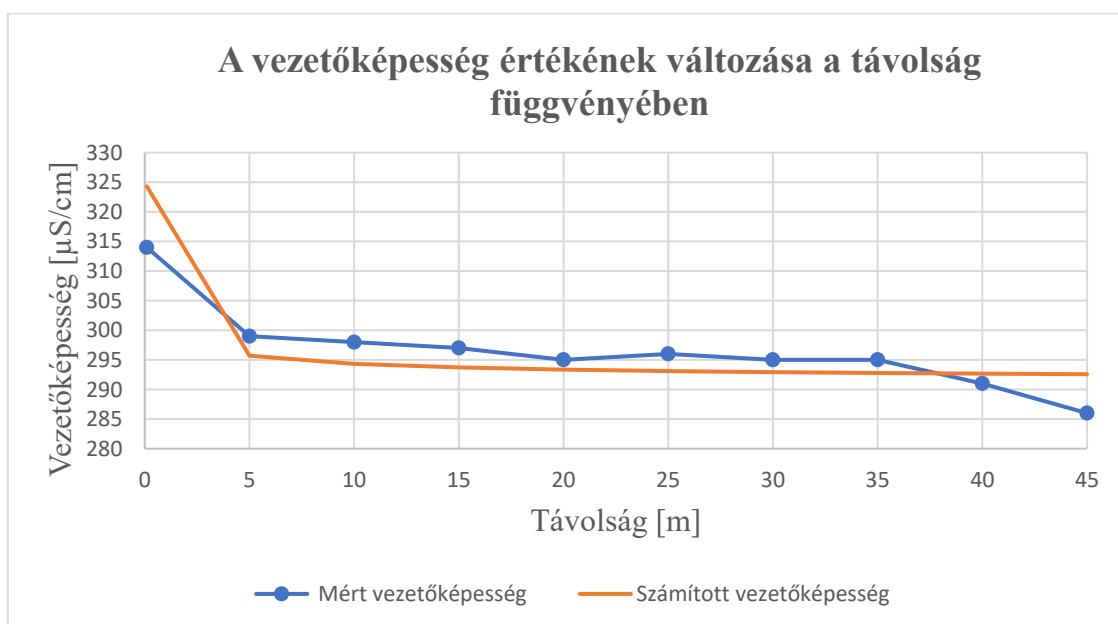
$$V(x) = \frac{V_{kib} * Q_{eff}}{h * \sqrt{\pi * D_y * v_x * x}} + V_{háttér}$$

Az ábra y tengelyén a mért és a számított vezetőképesség értékek láthatóak. Az x tengelyen a kivezetési ponttól való távolságot ábrázoltam.

A számított vezetőképességek ábrázoló görbén látható, hogy a bevezetés környezetében magas a vezetőképesség, amíg ez az érték a hossz mentén folyamatosan csökken. Kb. 5 m megtétele után bevezetéstől mérve a csökkenés lelassul, majd 45m-es távolságban a vezetőképesség értékének csökkenése megáll.

A terepi munka alkalmával nem volt látható a kivezetés pontos helye, ennek oka valószínűleg a magasabb vízállás volt. A kitorkollás helyét koordináták segítségével azonosítottam be, viszont ez okozhat némi tévedést. A bevezetés környezetében jóval magasabb vezetőképességet mértem, mint a háttér érték. A bevezetési pont közelében a vezetőképesség 314  $\mu\text{S}/\text{cm}$  volt, amely a távolodva a bevezetéstől folyamatosan csökkent. 45m megtétele után a vezetőképesség értéke elérte a háttér vezetőképesség értékét.

Ez a mérés igazolja a számított eredményeimet, a vezetőképesség a bevezetés helyénél valóban egy hirtelen csökkenéssel jellemezhető. Ezen gyors csökkenés következtében, a koncentráció értéke egy rövid távolság megtétele után el is éri a megengedett határértéket. Ezzel igazolható az a feltételezés is, hogy a letenyei szennyvíz tisztító telep kis mértékben befolyásolja a Mura vízminőségét. Pontosabban a hatás egy rövid elkeveredési szakaszon érzékelhető, ezen szakasz megtétele után a szennyvíz tisztító hatása nem mutatható ki a vízminőséget jellemző paraméterek tekintetében.

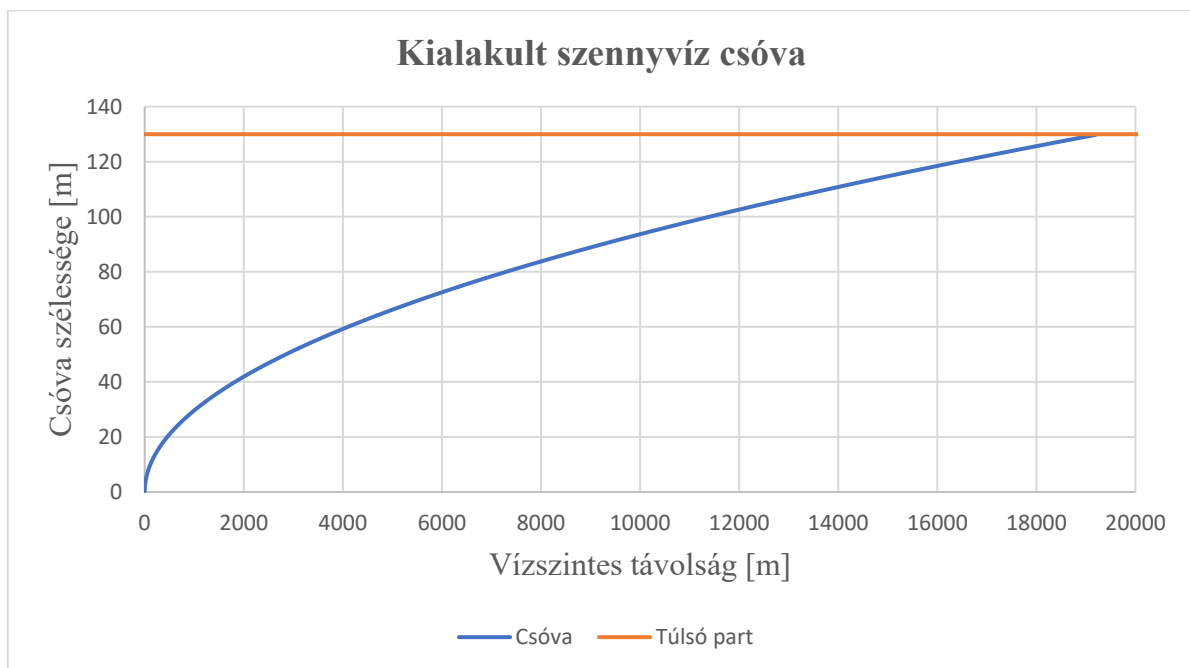


13. ábra A vezetőképesség értékének változása a távolság függvényében

### 6.2.3 Kialakuló szennyvíz csóva

A következő ábra a szennyvíz csóva terjedését mutatja, be a hossz mentén. A túlsó partot az analitikus módszerrel meghatározott elkeveredési távolság számítása során meghatározott  $L_1$  távolságban éri el. A szennyvíz csóva keresztmetszvényenkénti  $B_{cs}$  szélességét a következő összefüggés segítségével számítottam ki:

$$B_{cs} = 2,15 * \sqrt{\frac{2 * D_y * x}{v_x}}$$



14. ábra A kialakuló szennyvíz csóva keresztirányú terjedése

## 7 Összefoglalás

TDK munkám témájának a letenyei szennyvíz tisztító telep Murára gyakorolt környezeti hatását választottam. Ehhez a szennyvíz tisztító telep kibocsájtott vízének vízminőségének elemzését is elkészítettem, amely alapján láthatóvá vált, hogy 2012-2018 között sokat változott a kibocsájtott szennyvíz szerves-és tápanyag tartalma. A 2014-ben elvégzett felújítási munkálatok kedvező hatással voltak, a telep tisztítási hatásfokára. A Mura és a Birkitői-árok (felújítást megelőző befogadó) terhelése ezáltal csökkent.

Elvégeztem a Birkitői-árok és a Mura VKI által meghatározott minősítését is. A Birkitő-árok esetében kimutatható volt, a 2015-ös évben a Tóthszerdahelyi telep hatása. Ez a szennyvíz terhelés főként az összes nitrogén esetében mutatkozott főként. A Mura minősítése alapján megállapítható az a tény, hogy a vízfolyás minősége megfelel a VKI-ben foglalt vállalásoknak. Távlati célnak érdemes lenne kitűzni, a vízfolyás állapotának fenntartását.

A számítás és a mérés alapján megállapítható az, hogy a letenyei szennyvíz tisztító telep kismértékben befolyásolja a Mura vízminőségét. A bevezetés környezetében kialakul egy szennyvíz csóva, amely egy hosszú folyásiránnyal megegyező szakasz megtétele után éri el a túlsó partot. Az is elmondható, hogy a bevezetés helyénél a koncentráció magas, viszont ez az érték hirtelen lecsökken és rövid távolság megtétele után a koncentráció változás, tehát a szennyvíz hatása nem kimutatható.

## **8 Köszönetnyilvánítás**

Elsősorban szeretnék köszönetet mondani Dr. Clement Adriennnek a Vizi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék oktatójának, aki konzulensként segítette a dolgozatom elkészülését, támogatása nélkül jelen kutatás nem valósulhatott volna meg.

Köszönöm a Délzalai Víz-és Csatornamű Zrt.-nek, hogy mérési adataikat rendelkezésemre bocsátották.

## 9 Irodalomjegyzék:

Törvények, rendeletek:

[1] [http://vpf.vizugy.hu/reg/ovf/doc/vki\\_en\\_hu\\_hivatalos\\_20040901\\_1\\_1.pdf](http://vpf.vizugy.hu/reg/ovf/doc/vki_en_hu_hivatalos_20040901_1_1.pdf)

Az Európai Parlamenti Tanács 2000/60/EK Irányelve

Letöltés dátuma: 2020.10.29.

[2] <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0400221.kor>

A vízgyűjtő gazdálkodás egyes szabályairól

Letöltés dátuma: 2020.10.29

[3] <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0400220.kor>

A felszíni vizek vízminőse védelmének szabályairól

Letöltés dátuma: 2020.10.29

[4] <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0400219.kor>

A felszín alatti vizek védelméről

Letöltés dátuma: 2020.10.29

Könyvek:

[5] Urbanovszky István – Eljárások, műveletek, berendezések a víz-és szennyvíz technológiában, Budapest, 2016

[6] Somlyódy László – felszíni vizek minősége, Budapest, 2018

Internetes hivatkozások:

[7] Kovács Zsófia – vízgyűjtő specifikus folyamatos monitoring rendszer módszertani kidolgozása és vízminőség osztályozó algoritmus adaptálása és tesztelése felszíni vizekre, 2018  
[http://real-phd.mtak.hu/710/1/Kovacs20Zsofia\\_dissertation\\_u.pdf](http://real-phd.mtak.hu/710/1/Kovacs20Zsofia_dissertation_u.pdf)

Letöltés dátuma: 2020.10.29

[8] <https://www.vizugy.hu/index.php?module=content&programelemid=9>

Letöltés dátuma: 2020.10.29

[9] [http://www.agr.unideb.hu/ebook/vizminoseg/az\\_eurpai\\_vz\\_keretirnyelv\\_bemutatsa.html](http://www.agr.unideb.hu/ebook/vizminoseg/az_eurpai_vz_keretirnyelv_bemutatsa.html)

Letöltés dátuma: 2020.10.29

[10] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719338380>

Letöltés dátuma: 2020.10.29

[11] [https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0019\\_Vizkemia\\_II/ch09.html](https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0019_Vizkemia_II/ch09.html)

Letöltés dátuma: 2020.10.29

[12] <https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/kornyezettechnika-eloszo/ch04s02.html>

Letöltés dátuma: 2020.10.29

[13] <http://web.okir.hu/hu/fevisz>

Letöltés dátuma: 2020.10.29

[14] [http://www.nyuduvizig.hu/upload/3.1.Mura\\_kesz-bovitett.PDF](http://www.nyuduvizig.hu/upload/3.1.Mura_kesz-bovitett.PDF)

Letöltés dátuma: 2020.10.29

[15] [http://www2.vizeink.hu/files/vizeink.hu\\_263\\_ea\\_3-1\\_Mura.pdf](http://www2.vizeink.hu/files/vizeink.hu_263_ea_3-1_Mura.pdf)

Letöltés dátuma: 2020.10.29

[16] <http://www.vizugy.hu/index.php?module=vizstrat&programelemid=144>

Letöltés dátuma: 2020.10.31

[17] Vízyűjtő Gazdálkodási Terv, 3-1 Mura alegység

[https://www.vizugy.hu/vizstrategia/documents/A107DFCF-487D-4A54-8E9B-7A09DC0156BE/VGT2\\_3\\_1\\_Mura\\_vegleges.pdf](https://www.vizugy.hu/vizstrategia/documents/A107DFCF-487D-4A54-8E9B-7A09DC0156BE/VGT2_3_1_Mura_vegleges.pdf)

Letöltés dátuma: 2020.10.31

[18] <https://www.vizugy.hu/index.php?module=vizstrat&programelemid=149>

Letöltés dátuma: 2020.10.31

Egyéb:

[19] Dr. Clement Adrienne egy. docens, Tóth Linda szigorló Msc hallgató - Általános elméleti megközelítés, az uniós gyakorlat és javaslat a keveredési zónák kijelölésének és ellenőrzésének magyarországi alkalmazására, 2018 május

[20] Dr. Celement Adrienne egy. docens, Kardos Máté KEVE\_v10, 2018 május