

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI
EGYETEM



VÍZI KÖZMŰ ÉS KÖRNYEZETMÉRNÖKI TANSZÉK

H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3-5.

Dittrich Ernő

**Statisztikai módszerek fejlesztése a gyökérvíz
szennyvíztisztítók méretezésére és modellezésének
támogatására**

PhD-értekezés tézisei

Témavezető: Dr. Szilágyi Ferenc

Budapest 2015

1. Bevezetés, a választott téma indokltsága

Az egyre fokozódó környezetvédelmi problémák felhívták az emberiség figyelmét arra, hogy a fenntartható társadalmi lét kialakítása nélkül az emberiség további fejlődése nehezen elképzelhető. Ez a folyamat különösen azóta gyorsult fel, mióta 2004-ben az Európai Unió hivatalosan is deklarálta, hogy – az emberiség eddigi talán legnagyobb környezetvédelmi kihívását – a globális klímaváltozást tényként fogadja el. Ebben az egyre inkább környezettudatosabbá váló társadalmi környezetben is a környezetvédelem egyik fő szegmense az emissziók lehető legnagyobb mértékű csökkentése, mely területen belül talán a legnagyobb szakmai múlttal a szennyvíztisztítás rendelkezik. A társadalom által képzett szennyezett vizek tisztítására az elmúlt bő 100 évben számos technológia fejlődött ki. Így jelentős a tervezők tárháza akkor, ha egy ilyen jellegű probléma megoldását tűzik ki célul. Azonban az optimális, helyi adottságokhoz legjobban illeszkedő technológia kiválasztása nem könnyű feladat. Az egyik ezzel kapcsolatos probléma, hogy a különböző típusú technológiák fejlettsége, és tervezési módszerei eltérőek. Általában elmondható, hogy a nagyobb múlttal rendelkező intenzív technológiák (pl. eleveniszapos vagy csepegtető testes eljárások) tervezési módszertana jóval kiforrottabb, és mára már ezek precíz tervezhetőségét tudományosan is jól megalapozott modellező szoftverek és azt támogató modellezési paraméterek segítik. Ezzel szemben az extenzív vagy más néven természetközeli technológiák tervezési módszertanai még erőteljes fejlődési stádiumban vannak, hiszen ezek a szennyvíztisztítási technológiák „újrafelfedezése” csak kb. 35 éve történt meg.

A természetközeli szennyvíztisztítók kialakításukban és terhelési viszonyaikban is jelentősen eltérnek a műtárgyas intenzív technológiáktól. A természetközeli rendszerekben lezajló összetettebb folyamatok és az időjárási tényezők nagyobb mértékű kihatása a technológia működésére nagyobb számú mérést és más jellegű tárgyalási technikákat igényel, mint azt az eleveniszapos vagy csepegtetőtestes technológiánál megszoktuk.

Kichkuth 1981-ben publikálta az azóta e témában híressé vált „root zone method”-ját, mely az évtizedekig szinte teljesen elfeledett természetközeli szennyvíztisztítási eljárásokat újra a figyelem középpontjába helyezte (**Kichkuth 1981**). Ez a tézis jelentette egyben a gyökérszónás szennyvíztisztítási eljárás kifejlődésének kezdetét is. A 80-as években, a Nyugat-európai országokban és az USA-ban nagyszámú gyökérszónás szennyvíztisztító telep épült, melyek – mélyebb elméleti és gyakorlati ismeretek hiányában – inkább kísérleti jellegűnek voltak tekinthetőek (**Brix 1994a**). A 80-as évek üzemi tapasztalataira építve a 80-as évek végétől kezdve megjelentek az első tervezési irányelvek az USA-ban (**USEPA 1988, USEPA 1993**), Németországban (ATV A 262), Angliában (Good Building Guide 42) illetve az Európai Unióban (**EC Guide 2002, Dittrich 2006a**), melyekben természetesen a legújabb szakmai tapasztalatokat adaptálták. Az ezredforduló után több országban (például Angliában és Dániában) már a második generációs gyökérszónás tervezési irányelveket dolgozták ki (**Weedon 2003, Brix 2005**) és megjelentek az első modellezési próbálkozások is (**Langergraber 2003**). Ez a fejlődési folyamat napjainkban is tart, melyet az egyre nagyobb mennyiségű üzemi tapasztalat és a technológiák folyamatainak mélyebb megismerését segítő egyre nagyobb számú publikáció megjelenése segít.

A gyökérszónás szennyvíztisztítási technológia az USA-ban, az EU nálunk nyugatabbra lévő országaiban és Ausztráliában is széles körben elterjedt. Például Dániában **Schierup et al. (1990)** 130 meglévő hosszanti átfolyású gyökérszónás szennyvíztisztítót vizsgált. **Vymazal (1999)** közel 100 működő cseh hosszanti átfolyású rendszerről ad számot. Lengyelországban, napjainkban közel 150 gyökérszónás szennyvíztisztító üzemel (**Bergier 2005**).

A gyökérszónás szennyvíztisztítás kutatása hazánkban már az 1980-as évek óta tart (**Fleit 1988**). A hazai gyökérszónás szakirodalomban az egyik legjelentősebb munkásság Dr. Szilágyi Ferenc nevéhez fűződik (**Szilágyi 1994, Szilágyi 1998, Szilágyi et al. 2001, Szilágyi 2004**) aki több mint 15 éve kutatja a gyökérszónás szennyvíztisztítás hazai adaptációs problémáit és a fejlesztés lehetőségeit. A gyökérszónás szennyvíztisztítás meghonosításában kiemelkedő szerepe volt Jobbágy Sándornak és Horváth Lászlónak is (**Jobbágy 1995**). A természetközeli eljárások itthoni tapasztalatait először Bácskai Zsolt

(**Bácskai 1996**) majd a BME-VKKT összegezte 2002-ben (**BME-VKKT 2002**), ezzel alapot adva saját kutatásainak is. A Magyar Szennyvíztechnikai Szövetség (MASZESZ) által készített első hazai gyökérvíztervezési irányelv megalkotása (**MASZESZ MI-I-1:2003**) Dr. Dulovics Dezső vezető munkásságának köszönhető és jelentős hiányt pótol e területen. A hazai talajtöltetű telepek kutatásában Gampel Tamástól olvashatunk publikációkat (**Gampel 2000, Gampel 2003**). Ki szeretném emelni továbbá Kisgyörgy Rozália nevét is, aki sokat tett a természet-közeli szennyvíztisztítás hazai népszerűsítéséért szakminisztériumi munkássága során (**KvVM 2005**).

Hazánkban ezek a rendszerek nem túlzottan terjedtek el napjainkig, azok vitathatatlan előnyei ellenére sem, melynek okai az alábbiak voltak (**Dittrich 2006a**):

1. A befogadói határértékrendszer 2004 előtt szigorúbb volt, mint a 271/91 EU direktíva előírásai.
2. A szennyvíztisztítási – csatornázási pályázatok rendszere pár évvel azelőttig nem támogatta az ilyen típusú rendszerek építését
3. A nem megfelelő tervezési gyakorlat és a viszonylag kevés hazai tapasztalat.
4. Az eddig megépült hazai rendszerek negatív üzemi tapasztalatai.

Ezek közül az első két pontban említettek napjainkban már nem állnak fent. A 3. pontban bemutatott problémára igyekeztem gyakorlat orientált cikkeimmel elősegíteni a hazai tervezési módszertan fejlődését (**Dittrich 2006b, 2008a, 2008b, 2009, 2012**) és jelen disszertáció is a precízebb tervezést elősegítő új tudományos eredményeket tartalmazza. Így napjainkra már kedvezőbb helyzet teremtődött a gyökérvíztervezési rendszerek terjedéséhez, mely a kis agglomerációk és az egyéb kisméretű kibocsátások tisztítására egy környezetkímélő és praktikus alternatíva lehet hazánkban is.

A több mint három évtizedes fejlesztési munka ellenére a nemzetközi szakirodalom által ismertté vált tervezési eljárások hazai adaptációi kudarcot vallottak, mely a hazai gyökérvíztervezési rendszerek nem megfelelő működésében mutatkozik (**Dittrich 2006a**). Így nagy szükség van olyan tervezési módszerek kidolgozására, mely a helyi viszonyokhoz jól alkalmazkodva lehetővé teszi a nagyobb üzembiztonságot eredményező tervezést és megvalósítást. A disszertáció első fele ezt a hiányt igyekszik pótolni, egyrészt a nyugati tervezési módszertan hazai adaptációjával, másrészt egy helyi viszonyokat jól adaptálni képes tervezési módszer bemutatásával.

Az elmúlt 10 évben egyre nagyobb számban jelentek meg komplex dinamikus modellek a gyökérvíztervezési szennyvíztisztító műtárgyak működésének szimulációjára (**Wang et al 2011**). Ezek közül egyik sem érte még el azt a fejlettségi szintet, mellyel kivívta volna a világszintű elismertséget. A modellek megfelelő működését nagymértékben nehezíti, hogy a természet-közeli szennyvíztisztítók számos működést befolyásoló paramétere sztochasztikus jellegű (**Kadlec 1997**). Ezáltal az egzakt determinisztikus modellek csak egy-egy pillanatnyi állapot leírására lehetnek képesek, míg tervezésre jelenleg még alkalmatlanok. A modellezést tovább nehezíti, hogy a gyökérvíztervezési rendszerekben zajló összetett folyamatok nem minden részlete van megfelelő mértékig elméleti úton meghatározva. Ismeretünk még korlátosak egyes részterületeken, ezért ezeknek a modellrendszereknek az egyes részfolyamatokat leíró moduljait külön-külön is célszerű fejleszteni. Különösen fontos részterület a gyökérvíztervezési műtárgyakban lezajló áramlástan és anyagtranszport folyamatok elemzése.

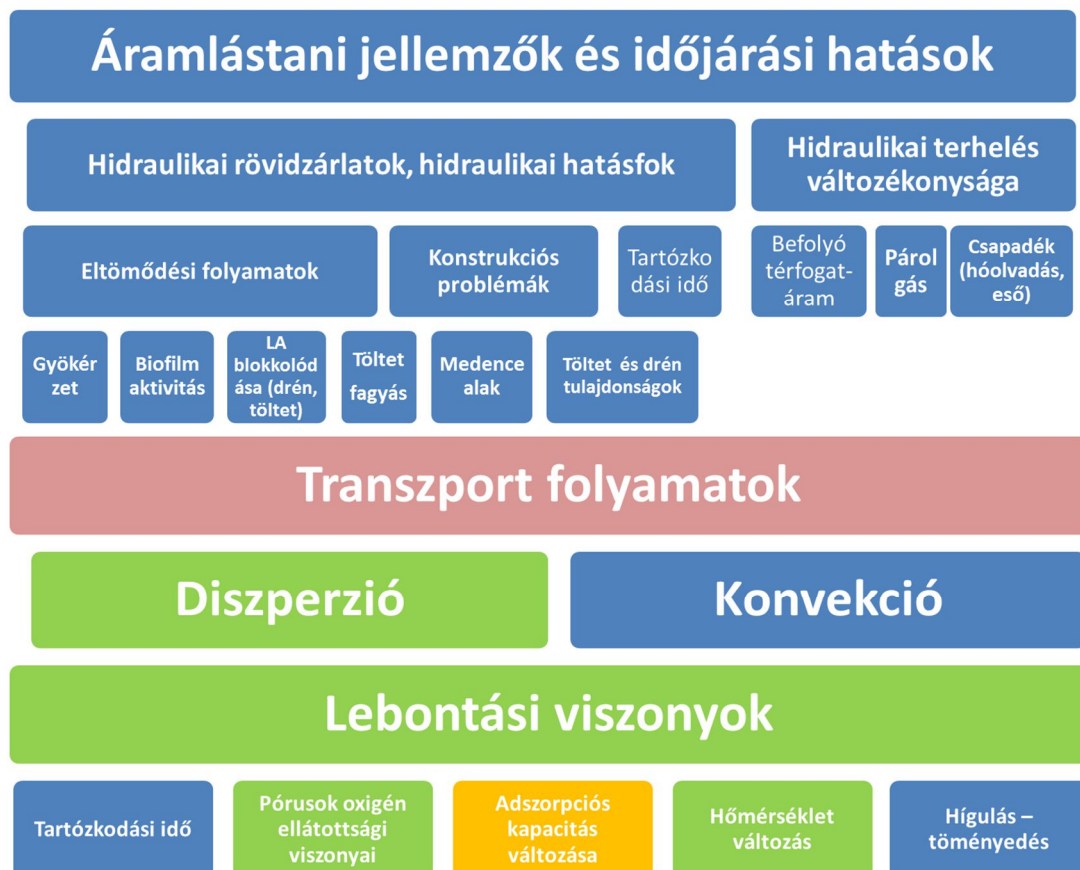
Professzionális iskolaalapító munkásság jelzi a hidrodinamikai modellezés területén Dr. Józsa János (**Józsa et al. 1994**) míg a hidrodinamikai modellezéssel támogatott vízminőségi modellezés területén Dr. Koncsos László (**Koncsos et al. 2003, Koncsos et al. 1998a, Koncsos et al. 1998b, Koncsos et al. 1998c**). munkásságát. Dr. Krámer Tamás és Dr. Józsa János közös publikációikban a transzport folyamatok modellezése terén is mutatott be jelentős munkásságot (**Józsa és Krámer 2008, Józsa és Krámer 2000a**). A szerzőpáros a felszíni átfolyású természetes wetlandek hidrodinamikai modellezését is kutatta (**Józsa et al. 2000b**). A transzport folyamatok modellezésének nemzetközi szinten is elismert hazai iskolaalapító professzora Dr. Somlyódy László, aki főleg felszíni vizek transzport folyamatainak leírásával foglalkozott (**Somlyódy 1980, Somlyódy 1982**). A felszín alatti szivárgások transzport folyamatok terén Kovács Balázs (**Kovács B. et al. 2002**) munkája ad összefoglaló értékelést a hazai

szakirodalomban, azonban az abban foglaltak inkább nagyobb területi kiterjedésű felszín alatti transzport problémák megoldására fókuszálnak. A gyökérezónás szennyvíztisztítók transzport folyamataihoz hasonló, kisléptékű transzport modellezéssel részletesen Simonffy Zoltán (**Simonffy 1998**) foglalkozott.

A gyökérezónás szennyvíztisztítók transzport folyamataival kapcsolatban nemzetközi szinten is kevés kutató publikált, és saját publikációimon túli hazai eredményről a témában nincs tudomásom. A gyökérezónás rendszer vízmérlegére erősen kiható időjárási jellemzők sztochasztikussá teszik az áramlási rendszer anyagforgalmi folyamatait, és ezt tovább nehezíti a gyökérezónával átszőtt és biofilmmel telítődött bonyolult pórusrendszer szivárgáshidraulikai rendszerének egzakt leírása. Ezek a problémák a főbb okai annak, hogy mind máig nem ismert megfelelő pontosságú transzport modell a gyökérezónás rendszerekre vonatkozóan. Így e területen nagy a tudományos igény a jelenleginél precízebb leírási módok keresésére, melyre jelen disszertáció egy újszerű fejlesztési irányt mutat be és segítségével hasznos tudományos eredményeket rögzít.

2. Az értekezés tartalmi lehatárolása és célkitűzései

A dolgozat kizárólag a gyökérezónás szennyvíztisztító rendszerekkel foglalkozik. A gyökérezónás szennyvíztisztító műtárgyakon belül nagyszámú összetett folyamat hatására történik meg a szennyvíz tisztulása. Ezek közül a folyamatok közül az elfolyó szennyvíz minőségét leginkább befolyásoló folyamatokat szemlélteti az alábbi ábra:



1. ábra: A gyökérezónás szennyvíztisztítók elfolyó vízminőségét befolyásoló fontosabb tényezők, folyamatok

Az ábrából jól látható, hogy milyen nehéz és összetett feladat egy ilyen típusú rendszer tudományos igényű leírása. A disszertáció tartalmilag szűkíti a vizsgálat tárgyát és olyan módszereket mutat be, melyek segítik a precízebb hazai illetve nemzetközi tervezési folyamatot és modellezést. A gyökérvízrendszerek működésére kiemelten jellemző sztochasztikus jelleg miatt, a disszertációban leginkább a statisztika és a valószínűség számítás matematikai eszköztárából használok fel elemeket. Ezen belül az értekezés tartalmilag két fő részre osztható.

A dolgozat első része a Nyugat-Európában és az USA-ban közel 20 éve elfogadott tervezési módszer, az ún. wetland modell hazai adaptációjával és a módszer továbbfejlesztésével foglalkozik. Kutatásom e részének célja kettős:

1. A hazai telepek tervezéséhez nélkülözhetetlen a magyar klimatikus viszonyokra és nyers szennyvíz minőségre adaptált modellparaméterek számszerűsítése ahhoz, hogy hazánkban is jól működő gyökérvízrendszerek épülhessenek.
2. Az eredményekre épülve egy olyan további kutatási célt tűztem ki, mely a wetland modell jól ismert hátrányait mérsékli, és a modellt a helyi viszonyokhoz még adaptálhatóbbá teszi. Ez a módszer az **1. ábrán** látható folyamatokat sztochasztikus folyamatnak tekinti, és azokat együtt kezeli.

A disszertáció második fele a gyökérvízrendszerek műtárgyában lezajló transzport folyamatokat vizsgálja. Míg az eddigi célkitűzések függőleges és hosszanti átfolyású rendszerekkel egyaránt foglalkoztak, addig a disszertáció további részében a vizsgálataim már csak a hosszanti átfolyású műtárgyakra fókuszálnak. Ennek oka, hogy a kétféle műtárgytípus hidraulikai és transzport folyamatai jelentősen eltérnek. A célkitűzéseket az előzőekhez képest folyamatosan sorszámozva a disszertációnak ebben a felében a céloim:

3. Olyan matematikai statisztikai módszer kidolgozása, mely alkalmas hosszanti átfolyású gyökérvízrendszerek konzervatív nyomjelző anyag transzport méréséből származó mérési eredmények hiányosságaiból eredő hibák mérséklésére, kiküszöbölésére. Bár maga a megoldási módszertan többféle olyan nyomjelző anyag transzport probléma megértését segítheti, melynek matematikai leírását jelenleg egyértelműen még nem tudjuk elvégezni, ennek ellenére az itt megfogalmazott megállapítások kizárólag hosszanti átfolyású gyökérvízrendszerek műtárgyakra vonatkoznak.
4. Céloim annak vizsgálata is, hogy a nemzetközi szakirodalomban napjainkig publikált módszerek (konvektív-diszperzív transzport egyenlet vagy sorba kapcsolt kevert reaktor kaszkád modell) alkalmasak-e az ilyen típusú műtárgy transzport folyamatainak leírására.
5. További céloim olyan transzport modellezési módszertan kidolgozása, mely jobban közelíti a tényleges transzport folyamatokat az eddig publikáltaknál.
6. Ezen vizsgálatok során több transzport folyamat leírását segítő részletkérdés vizsgálata is fontos és szükségszerű a tézisek precíz megalapozása érdekében, melyek közül a tartózkodási idő kiemelt jelentőségű.

Az **1.** és **2. fejezet** részletesen ismerteti a nemzetközi és hazai szakirodalom jelenlegi állását a gyökérvízrendszerek szennyvíztisztítás területén mélyebben fókuszálva a wetland modellel és a hosszanti átfolyású gyökérvízrendszerek műtárgy transzport folyamataival kapcsolatos ismeretekre. E **fejezetben** ismertetem a konzervatív nyomjelző anyag transzport folyamatok alapvető összefüggéseire vonatkozó alapvető irodalmi ismereteket és statisztikai vizsgálatokat megalapozó főbb fogalmakat és eloszlásfüggvény típusokat is.

A **3.1. fejezet** a wetland modell hazai adaptációját segítő adatbázist és a modell elemzésének módját mutatja be. A **3.2. fejezet** a wetland modell továbbfejlesztéséhez használt módszertant összegezi. A **3.3. – 3.5. fejezetek** a konzervatív nyomjelző anyag transzport mérési eredményeim, illetve az elemzésre használt egyéb adatokat mutatja be, továbbá kitér az elemzés módszertani kérdéseire is.

A **4.1. fejezet** a wetland modell hazai adaptációjával, az **4.2. fejezet** a wetland modell tovább fejlesztésével, míg a **4.3. – 4.8. fejezetek** a hosszanti átfolyású gyökérszónás műtárgyak konzervatív nyomjelző anyag transzport folyamatainak részletes vizsgálatával foglalkozik.

Az **5. fejezetben** az eredmények tézisszerű összefoglalása található a kapcsolódó publikációkkal. Az utolsó fejezet az irodalomjegyzék. A disszertáció végén található **mellékletek** segítik az anyag könnyebb érthetőségét és alátámasztják a számítások és elemzések helyességét.

3. A kutatás módszere

Az 1. tézis elkészítéséhez többéves kutató munkával egy hazai gyökérszónás szennyvíztisztító adatbázist gyűjtöttem össze, és rendszereztem. Az előállított adatbázist a nemzetközi szakirodalomban jól ismert wetland-modell segítségével elemeztem, hogy a hazai telepek működése nemzetközi szinten összehasonlíthatóvá váljon, és alapvető tervezési paramétereket határozhassak meg a hazai klimatikus viszonyokra és szennyvíz töménységre.

A 2. tézisben egy egyedi matematikai eljárást dolgoztam ki, mely a wetland-modell által elhanyagolt folyamatokat egy egyenletes eloszlásúnak feltételezett valószínűségi változóként feltételezi. A főleg statisztikai és mátrix algebrai matematikai műveleteket Excellben végeztem el, egy konkrét hazai esetre vonatkozóan.

A 3. – 5. tézisek egy Belga-Magyar kutatási együttműködés keretében Hódmezővásárhelyen kiépült gyökérszónás mintatelepen végzett saját méréseimre épül. Az oda kifejlesztett egyedi mérőrendszer számos adata közül az áramlástan és a konzervatív nyomjelző anyag mérési eredmények kerültek legfőképp felhasználásra. Az adatok elemzéséhez számos valószínűségelméleti matematikai eljárás került felhasználásra, melyek bonyolultsága miatt, az elemzéshez és modellfuttatásokhoz egyedi szoftvereket készítettem MAPLE környezetben.

4. Eredmények újdonságtartalma, gyakorlati alkalmazhatósága

Az 1. tézisben foglalt eredmények a hazai gyökérszónás szennyvíztisztító telepek üzemi tapasztalataira vonatkozóan számszerűsítették a wetland-modell fő tervezési paraméterét, a lebontási tényezőt (K) a szennyvíztisztító tervezésénél használt fontosabb komponensekre. Az elemzés az eltérő működési mechanizmusok miatt függőleges átfolyású (I. telepcsoport), hosszanti átfolyású talajtöltetű (II. telepcsoport) és kombinált (III. telepcsoport) telepekre végeztem el. Azonban csak a függőleges átfolyású telepek szervas anyag lebontási K-tényező értékei tézis értékűek, a többi csak tájékoztató jellegű. A számított K lebontási tényezőket az alábbi táblázat foglalja össze:

K [m/d]	BOI ₅	KOI _{Cr}	LA	NH ₄ -N	ÖP
I. teleptípus	0,1	0,1	0,007	0,05	*
II. teleptípus	0,023	0,017	0,009	0,014	0,009
III. teleptípus	0,12	0,12	*	0,08	0,022

*Az adatbázis alapján nem kalkulálható

1. táblázat: A wetland-modell hazai telepekre kalkulált K lebontási tényező értékei

Ezen eredmények jelentősége az alábbiakban foglalható össze: A kapott eredményekből a gyakorló szakemberek számára hasznos következtetések vonhatók le, melyeket az alábbiakban foglaltam össze: Következtetések mindhárom teleptípusra vonatkozóan:

- Egyes nyugat-európai országokban a 271/91 EU direktíva szerint kis szennyvíztisztító telepeknél elegendő a technológiai határértékek betartása, így azokra növényi tápanyag határérték nem vonatkozik. Ez lehet az egyik fő oka annak, hogy a nyugat-európai gyökérszénás méretezés BOI_5 -re történik. Ezzel szemben hazánkban a kis telepekre is érvényes a befogadói határértékek betartási kötelezettsége a növényi tápanyagok tekintetében nyári időszakban. A wetland-modell elemzéséből kapott eredmények egyértelműen igazolják, hogy nem a szervesanyag lebontás, hanem a növényi tápanyagok tisztítási igényéből adódó felületigények a mértékadók.
- A gyökérszénás szennyvíztisztítókat alapvetően nem a hazai magas szennyvíztöménységhez párosuló tisztítási feladatra fejlesztették ki, melyet a technológia adaptációjakor nem vettek a múltban kellőképpen figyelembe a hazai fejlesztők. Többek között ennek köszönhetőek a kedvezőtlen üzemi tapasztalatok.

Következtetések az I. teleptípusra vonatkozóan:

- A BOI_5 , KOI_{Cr} , NH_4-N tekintetében kapott **K** értékek megegyeznek a nyugat európai tapasztalatokkal. Ez egyben jelzi a technológia hazai környezetben való alkalmazásának létjogosultságát is.
- A megfelelő lebontási teljesítmény ellenére létrejövő jelentős mértékű határérték túllépést a vizsgált telepeknél legfőképp az alacsony fajlagos mezőfelület okozza.
- Az LA-ra vonatkozóan számított kifejezetten alacsony lebontási konstans értéket és a hozzá kapcsolódó kiemelkedően magas fajlagos mezőfelületet a vizsgált telepek töltetének jelentős mértékű eltömődöttsége és az ebből következően kialakuló hidraulikai rövidzárlatok okozzák. Az irreálisan magas fajlagos felületigény miatt célszerű a függőleges átfolyású gyökérszénás műtárgyak után további tisztítási lépcső betervezése (pl. hosszanti átfolyású gyökérszénás műtárgy, utótisztító nádastó). Megfelelő utótisztító alkalmazása esetén közelítőleg $5,0 \text{ m}^2/\text{Le}$ fajlagos felület érték alkalmazása javasolható, melyet ebben az esetben mértékadónak tekinthető nitrifikációs folyamatok határoznak meg.

Következtetések a II. teleptípusra vonatkozóan:

- Az eredményekből jól látható, hogy a talajtöltetű telepek fajlagos teljesítménye messze alulmarad a másik két teleptípus tisztítási képességétől, melyből következően minden komponensre kiemelkedően magas fajlagos mezőfelület igény adódott.
- A vizsgált talajtöltetű hazai telepek tisztítási képessége a nemzetközi szakirodalomban publikáltaktól is jelentősen elmarad. Ezt az eltérést a hazai telepek nem megfelelő műtárgy kialakítása okozza.
- A műtárgyak kedvezőtlen működését legfőképp a töltet alacsony szivárgási tényezőjéből eredő nagyarányú felszíni átfolyás okozza.

Következtetések a III. teleptípusra vonatkozóan:

- Legjobb lebontási teljesítmény minden komponens tekintetében a kombinált rendszerekre adódott. Így kommunális szennyvíz tisztítására a vizsgált gyökérszénás teleptípusok közül ebben a konstrukciós alternatívában rejlik a legtöbb lehetőség a technológia hazai adaptációja során.
- Fontos kiemelni, hogy ÖP tekintetében irreálisan magas fajlagos felület igény jelzi, hogy ennél a technológiánál is szükséges többlet elő- vagy utótisztítás.

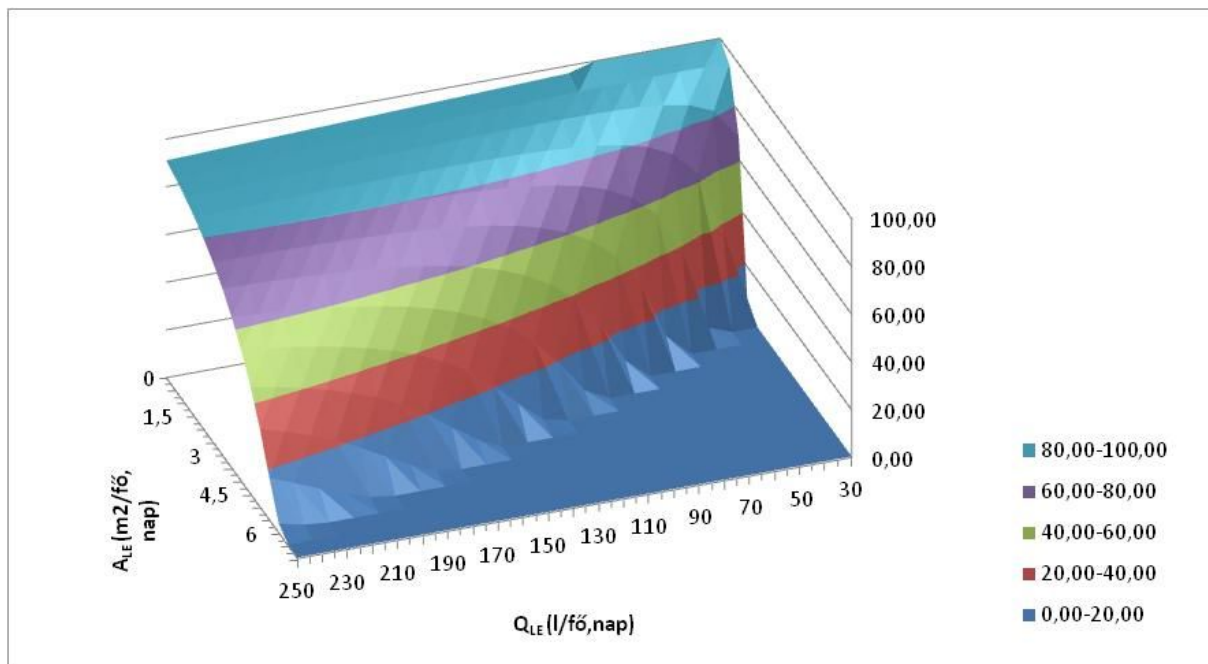
A publikált számszerű lebontási tényező értékeket (K) azonban egyes esetekben nagymértékű bizonytalanság terheli. A bizonytalanságot fokozza, hogy a gyökérszénás szennyvíztisztítókat alapvetően nem a hazai magas szennyvíztöménységhez párosuló tisztítási feladatra fejlesztették ki, melyet a technológia adaptációjakor nem vették a múltban kellőképpen figyelembe a hazai fejlesztők. A nemzetközileg jelentős számban publikált modell a hazai mérési eredmények tükrében nem ad

megfelelő megbízhatóságot (alacsony regressziós együttható) sem a hosszanti átfolyású sem pedig a kombinált telepekre vonatkozóan, így a kapott számszerű eredmények tervezésre csak megfelelő körültekintés mellett használhatók, egyébként inkább becslés szintű vizsgálatok elvégzésére javasolt a használatuk.

A **2. tézis** tulajdonképpen a wetland-modell azon hátrányát próbálja mérsékelni, hogy a modellben az összes javarészt sztochasztikusnak tekinthető paramétert is a szerzők a K lebontási tényezőbe sűrítették. Ennek a problémának a megoldására kifejlesztett matematikai eljárás nemcsak a gyökérszónás szennyvíztisztításra hanem bármilyen szennyvízkezelési feladatra használható, amelyek az alábbi kritériumokat teljesítik:

- A C_0 - C_i síknyedven felvett ponthalmaz lineáris regresszióval meghatározott korrelációs együtthatója 0,5 feletti értéket mutat.
- Elfolyó koncentrációt befolyásoló folyamatok között vannak jelentős hatású sztochasztikus folyamatok
- A definiált valószínűségi felületen belül feltételezhető a mérési eredmények egyenletes valószínűségi eloszlása.

A kifejlesztett eljárás egyik eredményét az alábbi tervezési segéddiagram szemlélteti:



*A diagramm csak kommunális szennyvízre vonatkozik.

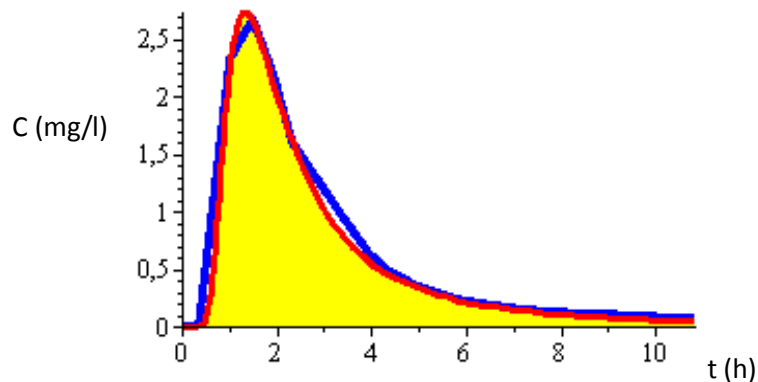
** A diagramm csak Mo-i éghajlati viszonyok esetén érvényes

2.ábra: I-es teleptípus határérték túllépési valószínűsége a fajlagos felület (A_{LE}) és a fajlagos szennyvízhozam (Q_{LE}) függvényében kommunális szennyvízre 50 mgBOI₅/l határérték esetén

A módszer gyakorlati jelentősége abban rejlik, hogy az összes gyökérszónás teleptípusra és az összes határérték változatra elkészíthető egy tervezési segéddiagram, melyből a szükséges fajlagos felület a határérték túllépési valószínűség függvényében kiválasztható. Amennyiben a diagramok mögött dinamikus adatbázis van, mely folyamatosan bővül a mérési eredmények számának növekedésével, úgy a diagram az idő előrehaladásával egyre finomodik és egyre pontosabb eredményt ad. Ezzel a módszerrel véleményem szerint megfelelő üzembiztonságú gyökérszónás szennyvíztisztítók

tervezhető, mely csak a módszerrel tervezett és megvalósításra kerülő telepek üzemelési tapasztalataival igazolható.

A **3. tétel**ben foglalt eredmény a Frechet-eloszlást alkalmazza, mely egy új eloszlás függvény típus alkalmazását jelenti a transzportfolyamatok gyakorlatában. Az eloszlás-függvény típus kiváló illeszkedését az alábbi ábra szemlélteti:



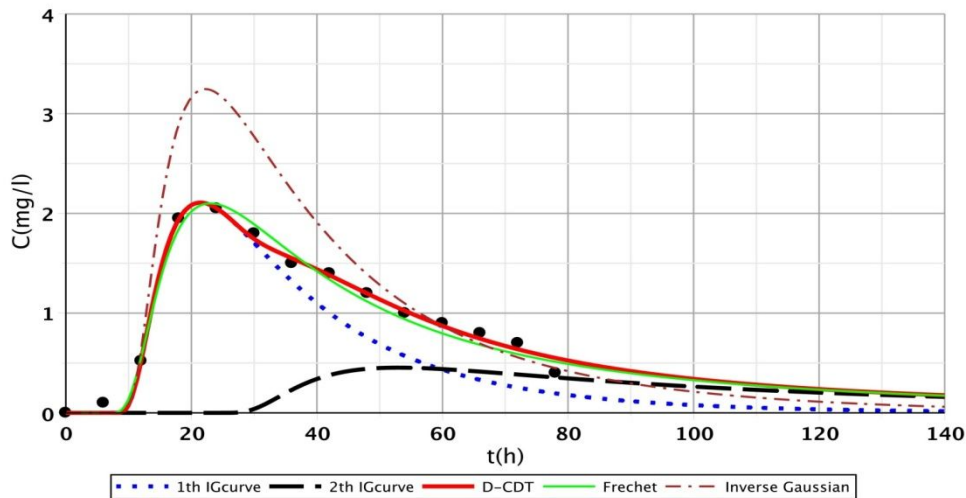
3.ábra: Frechet eloszlás illesztési eredménye az hőmezővászahelyi telepen mért első konzervatív nyomjelző anyag mérési sorozatra (két törtvonal a mérési eredményeket, piros görbe az illesztett eloszlást mutatja)

Ennek az eredménynek több kiemelendő jelentősége is van, melyek az alábbiak:

- Mivel a konvektív-diszperzív transzport modell analitikus megoldása Inverz Gauss eloszlású, ezért ezzel az eredménnyel igazolást nyert, hogy ez a modell annál kevésbé alkalmas hosszanti átfolyású, kavicsöltetű gyökérvázás műtárgyak transzportfolyamatának elemzésére minél nagyobb annak a kora.
- Mivel a sorba kapcsolt kevert reaktor modell analitikus megoldása Gamma eloszlású, ezért ezzel az eredménnyel igazolást nyert, hogy ez a modell típus sem alkalmas hosszanti átfolyású, kavicsöltetű gyökérvázás műtárgyak transzportfolyamatának elemzésére.
- A Frechet-eloszlás, mint hosszanti átfolyású kavicsöltetű gyökérvázás műtárgyak konzervatív nyomjelző anyag transzport folyamatainak illesztésére alkalmas eloszlástípus – ismereteim szerint – nem került még publikálásra a nemzetközi szakirodalomban.
- Ennek az eredménynek a hatására a diszkrét mérési eredmények folytonos függvénnyel helyettesíthetők, így a mérési és számítási hibák kiküszöbölhetővé illetve elhanyagolható mértékűvé válnak, ezáltal pontosabb valós átlagos tartózkodási idő számítást tesznek lehetővé. Ennek felhasználásával nyerhető eredményekre tér ki a következő alfejezet.

A **4. tétel**ben bemutatott osztott konvektív-diszperzív jelentősége abban rejlik, hogy a nemzetközi szakirodalomban eddig a hosszanti átfolyású gyökérvázás műtárgyak transzport folyamatainak modellezésére konvektív-diszperzív transzport modellt, vagy sorba kapcsolt kevert reaktor modellt alkalmaztak. Az új modell nagyobb pontossággal képes a transzport folyamatok jellemző paramétereinek számítására. Az eredményekkel azt is kimutattam, hogy a hagyományos 1 dimenziós konvektív-diszperzív modellből kalkulálható eredmények jóval nagyobb diszperzió és kismértékben alacsonyabb átlagos szivárgási sebességet adnak. Az új 1 dimenziós osztott konvektív-diszperzív transzport modell nemzetközi szinten is az eddigieknél pontosabb modellezést tesz lehetővé. A modell levezetéséből következtetett másik jelentős eredmény, hogy a diffúziós folyamatok ellentétben egyes publikációkkal ezekben a műtárgyakban elhanyagolhatók a modellezés során.

A modell, illeszkedési pontosságára példát az alábbi ábra szemléltet:



4.ábra: Az osztott konvektív-diszperzív modell szinte tökéletes illeszkedésének 1 példája, összehasonlítva a Frechet-eloszlással, és a hagyományos konvektív-diszperzív modellel

Az 5. tézisben bemutatott eredmények egyik jelentősége az, hogy igazolásra került, hogy a nemzetközi szakirodalomban eddig kalkulált tartózkodási idő értékeket nagy hiba terhelte. Általában a tartózkodási időket jóval kisebbre becsülték, mint amennyi az valójában. Ez kihat a hidrodinamikai és a lebontási modellekre egyaránt. Az eredmények másik jelentősége az, hogy igazoltam, hogy ennél a műtárgytípusnál a mikropórus rendszer okozta áramlás torzító hatásoknak, a holttereknek és visszakeveredésnek nagy szerepe van, miközben ezt eddig szerzők általában ezt elhanyagolták.

5. Eredmények tézisszerű összefoglalása

1.tézis: A wetland-modell első ízben történő hazai adaptációjának eredményei

A magyarországi gyökérszén telepek üzemi adataiból meghatároztam a wetland modell hazai éghajlatra és kommunális szennyvízminőségre jellemző lebontási tényezőit (K) szervesanyagra (BOI_5 , KOI_C) vonatkozóan. A hazai függőleges átfolyású telepek BOI_5 -re és KOI_C -re vonatkoztatott K tényező értéke 0.1 m/d értékre adódott. Az eredmény igazolja hogy a hazai függőleges átfolyású gyökérszén telepek átlagos szerves anyag lebontási képessége megegyezik a nyugat európai telepek teljesítményével.

Publikációk: [4], [5], [7]

2.tézis: A wetland.modell továbbfejlesztése semi-stochasztikus modellé

Létrehoztam egy olyan statisztikai módszert, mely jelentősen mérsékli a wetland modell hátrányait. A kidolgozott eljárás a wetland modell továbbfejlesztésének tekinthető. A módszer kiinduló gondolata az, hogy a wetland modell tervezési értékeit rögzítő befolyó koncentráció – elfolyó koncentráció síknegyeden értelmezett lineáris regressziós egyenes és a tényleges mérési értékpárok közötti relatív eltéréseket valószínűségi paraméterként definiálja. A modell az elfolyó víz adott koncentrációra vonatkozó határérték túllépési valószínűségét adja adott mezőfelület mellett. A modell képes figyelembe venni a szennyvíz töménységet is, mint valószínűségi változót. A módszer kialakításából eredően a beviteli adathalmaz növekedésével egyre nagyobb biztonságra törekszik. A módszer további

előnye, hogy bármely más klimatikus környezetben alkalmazható, amennyiben ott már megfelelő számú üzemi tapasztalat áll rendelkezésre.

Publikáció: [6]

3.tézis: Frechet-eloszlás bevezetése és egyedi szoftver fejlesztése a hosszanti átfolyású növényzettel benőtt kavicsöltetű gyökérszónás műtárgyak konzervatív nyomjelző anyag mérési hibáinak jelentős mérséklésére

MAPLE környezetben kidolgoztam egy olyan matematikai eljárást, mely alkalmas konzervatív nyomjelző anyag transzport vizsgálatok mérési hibáinak jelentős mérséklésére és a folyamatot leíró függvény momentumainak nagy pontosságú számítására. Az eljárás a konzervatív nyomjelző anyag mérési eredményekre olyan folytonos függvényt illeszt, mely a fizikai folyamatok szabta peremfeltételeket, kötöttségeket figyelembe veszi. Ezáltal a diszkrét mérésekből 100%-os anyag visszatérülést biztosító folytonos görbék nyerhetők, melyek alkalmasak precíz transzportfolyamat elemzésre. A szoftverrel bizonyítást nyert, hogy a hosszanti átfolyású kavicsöltetű növényzettel telepített műtárgyak transzport folyamatai a legnagyobb pontossággal Frechet-eloszlással közelíthetők. Ezzel matematikai úton közvetve az alábbiak is bizonyítást nyertek:

- A nemzetközi szakirodalomban jól ismert sorba kapcsolt kevert reaktor modell Gamma eloszlású, ezért ez a modell-típus kavicsöltetű hosszanti átfolyású gyökérszónás műtárgyak transzport folyamatainak modellezésére csak jelentős hibákkal terhelt eredményeket hozhat.
- Az 1 dimenziós konvektív-diszperzív transzport egyenlet rögzített helyen koncentráció-idő síknyegyeden vett analitikus megoldása bemeneti koncentráció impulzus esetén Fick-féle vagy más néven kétparaméteres Inverz Gauss eloszlású, mely pontatlanul illeszkedik a vizsgált mérési eredményekre. Az áramlástan mérésekkel ellenőrzött 1 dimenziós konvektív-diszperzív modellillesztések igazolták, hogy az Inverz Gauss eloszlás illesztéséből következtetett modell paraméterek jelentős hibával terheltek.

Publikáció: [1]

4.tézis: Osztott konvektív-diszperzív modell fejlesztése növényzettel benőtt kavicsöltetű hosszanti-átfolyású gyökérszónás műtárgyak konzervatív anyaga transzport folyamatainak modellezésére

Létrehoztam egy olyan 1 dimenziós osztott konvektív-diszperzív transzport modellt, mely alkalmas hosszanti átfolyású gyökérszónás műtárgyak transzport folyamatainak eddig publikáltaknál pontosabb modellezésére. A konvektív-diszperzív modell eredményeihez képest az ez a modell szivárgási sebesség tekintetében 24 -54%-al, míg a diszperziós tényező tekintetében 22- 308%-al adott eltérő – a valóságot jobban közelítő – eredményt. Következtetéseimből a függvényillesztési vizsgálataim eredményeire alapozva azt feltételeztem, hogy a mért válaszfüggvény gyorsan befutó szakaszában csak a főáramnak van jelentékeny szerepe. Az előállított modell tulajdonképpen egy olyan osztott konvektív-diszperzív modell, mely az áramlási folyamatot két egymástól független konvektív-diszperzív Inverz Gauss görbe összegéből állítja elő úgy, hogy közben rögzíti a főáramban és a mellékáramban résztvevő folyamatok arányát és a két folyamat egymással párhuzamos lefutását feltételezi. A módszer fejlesztése során igazolást nyert, hogy a hagyományos sorba kapcsolt kevert reaktor modell és konvektív-diszperzív transzport modell pontatlanabban képes leírni a hosszanti átfolyású kavicsöltetű, növényzettel telepített gyökérszónás műtárgyakban lezajló folyamatokat.

Publikációk: [2, 3]

5.tézis: A hosszanti átfolyású növényzettel benőtt kavicsöltetű gyökérszónás műtárgyak tartózkodási idő értékének eddigieknél pontosabb meghatározása

A nemzetközi szakirodalomban közölt eredményekkel ellentétben igazolást nyert, hogy amennyiben a kavicsöltetű hosszanti átfolyású műtárgyakban jelentős mennyiségű hidraulikai rövidzárlat nincs jelen akkor 0. és 1. rendű momentumok segítségével kalkulált tartózkodási idő értékek általában nagyobbak, mint az elméleti átlagos tartózkodási idő. Igazoltam, hogy az elméleti tartózkodási idő és a valós tartózkodási idő aránya – a kezdeti rövid idejű visszaesést követően - a műtárgy korának előre haladtával drasztikusan emelkedik mely alapján bizonyítást nyert, hogy a valós tartózkodási idő, jelentős növekedése az eltömődési folyamatok, gyökérszét és biofilm rendszer fejlődéséből eredő mikropórus rendszer egyre dominánsabb jelenlétével magyarázható a tartózkodási időre gyakorolt hatás tekintetében.

Publikációk: [1,2]

6. Irodalomjegyzék

1. **Bácskai Zs. (1996):** *The feasibility of low-cost biological sewage treatment systems in Hungary with special regards to reed bed treatment system.* - FINAL REPORT ABOUT ERSS PROJECT NO. 91-9 DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCES AND POLICY CENTRAL EUROPEAN UNIVERSITY, BUDAPEST, 1996
2. **Bergier T. (2005):** *Experiences with performance of constructed wetlands in Poland.* „Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Wetlands Conservation and Recycling” Konferencia Krakó, 25-27, Október 2005.
3. **BME-VKKT (Budapesti Műszaki Egyetem Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék) (2002):** *Természet-közeli szennyvíztisztító technológiák áttekintése, útmutató előkészítése a 2000 Leé alatti települések részére.* BME Vízi-közmű és Környezetmérnöki Tanszék, Zárójelentés. 2002.
4. **Brix H. (1994a):** *Use of constructed wetlands in water pollution control: historical development, present status and future perspectives.* Wat. Sci. Techn. Vol 30. No 8. pp 209-223.
5. **Brix H., Arias C.A. (2005):** *Danish guidelines for small-scale constructed wetland systems for onsite treatment of domestic sewage.* Water Science and Technol. Vol 51 No 9 pp 1-9.
6. **Dittrich E. (2006a):** *A gyökérszét szennyvíztisztítás hazai tapasztalatai és elterjedésének lehetőségei.* Maszesz Hírcsatorna 2006 Március-Április 10-20.o. www.maszesz.hu
7. **Dittrich E. (2006b):** *A gyökérszét szennyvíztisztítás és technológiai alternatívái.* MHT XXIV. Országos vándorgyűlés Pécs, 2006. július 5-6. www.mht.hu
8. **Dittrich E. (2006c):** *Experiences on hydraulic performance of sub-surface flow constructed wetlands.* Pollack Periodica Vol. 1. No. 1. pp. 53-66. Akadémia kiadó, Budapest, 2006. <http://www.akademiai.com/content/r634420523j5n382/?p=192abbeede67440484876d0b9703a338&pi=2>
9. **Dittrich E. (2008a):** *A tartózkodási idő eloszlás vizsgálata.* PTE-PMMK Környezetmérnöki Tanszék, oktatási segédlet.
10. **Dittrich E. (2008b):** *Removal of BOD₅ in subsurface flow constructed wetlands: Hungarian experiences.* The 11th International Specialised Conference on Watershed and River Basin Management. IWA 2008. Szeptember 4-5.
11. **Dittrich E. (2009):** *A hazai gyökérszét szennyvíztisztítók üzemeltetési tapasztalatainak elemzése az ún. wetland modell segítségével.* MHT XXVII. Országos vándorgyűlés konferencia kiadványa. www.mht.hu
12. **Dittrich E. (2012):** *Analysis of subsurface flow Hungarian constructed wetlands with wetland model.* POLLACK PERIODICA. pp 65-78 Volume 7, Number 3/December 2012
13. **Dittrich E. (2015a):** *A wetland-modell továbbfejlesztése a gyökérszét szennyvíztisztító telepek pontosabb méretezése érdekében.* MASZESZ Hírcsatorna 2015 január-február pp. 3-15.
14. **Dittrich E. – Klincsik M. (2015a):** *Analysis of conservative tracer measurement results using the Frechet distribution at planted horizontal subsurface flow constructed wetlands filled with coarse*

- gravel and showing the effect of clogging processes. Environmental Science and Pollution Research SSN: 0944-1344
15. **Dittrich E. – Klincsik M. (2015b):** *Application of divided convective-dispersive transport model to simulate conservative transport processes in planted horizontal sub-surface flow constructed wetlands*. Environmental Science and Pollution Research SSN: 0944-1344.
 16. **European Commission Guide (2002):** *Extensive wastewater treatment processes. Adapted to small and medium sized committees (500 to 5000) P.E.*.
 17. **Fleit E. (1988):** *Gyökérszén szennyvízkezelés*. VITUKI jelentés, 3 – 20
 18. **Gampel T. (2000):** *Gyökérszén szennyvíztisztítók hazai üzemeltetési tapasztalatai*. MHT XVIII. Országos Vándorgyűlés I. kötet. Veszprém 2000. Július 5-6.
 19. **Gampel T. (2003):** *Kistélepülések szennyvíztisztítása vízinövényes talajszűrővel*. Műszaki Kiadványok: Vízellátás-Csatornázás VI. évfolyam, 70-72 oldal. 2003.
 20. **Jobbágy S. (1995):** *Környezetkímélő és természet-közeli szennyvíz-tisztítási eljárások alkalmazásainak, elterjedésének lehetőségei Magyarországon*. Környezetfejlesztési és Területfejlesztési Minisztérium, Budapest 1995.
 21. **Józsa J., Gáspár C. és Szél S. (1994):** *Numerical Modelling of Flow Patterns to Assist the Revitalisation of Secondary River Branches in Gemenc Area*. Periodica Polytechnica, Vol. 38, No. 2, pp. 187-203, Budapest.
 22. **Józsa J., Kármer T. (2008):** *A quadtree mesh readaptation for the simulation of unsteady flow and transport*. In: Altınakar M et al. (szerk.) River Flow 2008: Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics. Konferencia helye, ideje: Izmir, Törökország, 2008.09.03-2008.09.05.
 23. **Józsa J., Krámer T. (2000a):** [Modelling residence time as advection-diffusion with zero-order reaction kinetics](#). Proceedings of Hydroinformatics 2000, July 23-27, Cedar Rapids, Iowa, Abstract: p. 244, 2000.
 24. **Józsa J., Krámer T., Sarkkula J. (2000b):** [Modelling of a coastal wetland for restoration planning](#). Proceedings of the Symposium on Restoration of Lakes and Wetlands, Bangalore, India, 2000.
 25. **Kadlec R.H. (1997):** *Deterministic and stochastic aspects of constructed wetland performance and design*. Wat. Sci. Tech. Vol. 35. (5) pp. 149-156.
 26. **Kickuth R. (1981):** *Verfahren spinzip. - Der Wurzelraumentorgung-Mitt. Des wasserer bandstonges wiedersachsen un der Landesverbander wasser-und bodenverbande in Hessen und Rhein land-Pfalz 51*.
 27. **Koncsos L., Fonyo Gy. (2003):** *Analysis of Cyanide Spill on the Tisza River*. Wat.Sci.Tech. In Press.
 28. **Koncsos, L., Rauch, W., Henze, M., Reichert, P., Shanahan, P., Somlyódy, L. and Vanrolleghem, P. (1998a):** *River Water Quality Modelling: I. State of the Art*. Water Science and Technology.
 29. **Koncsos, L., Shanahan, P., Henze, M., Rauch, W., Reichert, P., Somlyódy, L. and Vanrolleghem, P. (1998b)** *River Water Quality Modelling: II. Problems of the Art*. Water Science and Technology.
 30. **Koncsos, L., Somlyódy, L., Henze, M., , Rauch, W., Reichert, P., Shanahan, P., and Vanrolleghem, P. (1998c):** *River Water Quality Modelling: III. Future of the Art*. Water Science and Technology.
 31. **Kovács B., Filep Gy., Lakatos J., Madarász T., Szabó I. (2002):** *Szennyezett területek kármentesítése*. (Szerk. Szabó Imre). Miskolci egyetem kiadó, Miskolc.
 32. **KvVM (2005):** *A korszerű egyedi szennyvízkezelés és a természet-közeli szennyvíztisztítás alkalmazásához*. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium Budapest 2005.
 33. **Langergraber G., Harberl R., Laber J. és Pressl A. (2003):** *Evaluation of substrate clogging processes in vertical flow constructed wetlands*. Water Sci. and Techn. 48(05): 25-34, 2003.
 34. **MASZESZ MI-I-1:2003** *Természet-közeli szennyvíztisztítás. Gyökérmezős szennyvíz tisztító kialakítása és üzemelése. Függetlenes átfolyás*. MASZESZ műszaki irányelv, 2003.
 35. **Schierup H.H., Brix H. and Lorenzen B. (1990):** *Wastewater Treatment in Constructed Reed Beds in Denmark – State of the Art*. In: P.F.Cooper and B.C. Findlater: Constructed Wetlands in Water Pollution Control. 24-28 September 1990. Pregamon Press **Szilágyi F. (1994):** *A szügyi*

gyökérszén szennyvíztisztító próbaüzemének értékelése és a telep végeleges üzemelési utasítása. Vituki Consult Rt., Budapest 1994.

36. **Simonffy Z. (1998):** Transzport modellek alkalmazása, Kármentesítési kézikönyv-sorozat. KTM. Budapest. 1998. ISBN 963 03 4604 4. 147 oldal.
37. **Somlyódy, L. (1982):** *An Approach to the Study of Transverse Mixing in Stream.* Journal of Hydraulic Research, Vol. 20, No.2.
38. **Somlyódy, L. (1980):** A keresztirányú elkeveredés vizsgálata folyókban, Hidrológiai Közlöny, 5. Sz.
39. **Szilágyi F. (1996):** *Gyökérszén szennyvíztisztító telep Szügyben.* – Önkormányzat, VI. évf. 11. szám, p. 28.
40. **Szilágyi F. (1998):** Nádágyas szennyvíztisztítás. – “Környezetvédelem és Kutatás-Fejlesztés” Országos Környezetvédelmi Innovációs Konferencia Kiadványa, Budapest, 1998. május 12-14. pp. 25-27.
41. **Szilágyi F. (2004):** *A természet-közeli szennyvíztisztítás: áldás vagy átok?* Vízű Panoráma, XII.: 9-15,.
42. **Szilágyi Ferenc, Szabó, A., Osztóics, A., (2001):** Natural wastewater treatment in Hungary. - Water Sci. Technol. 44(11-12): 331-338.
43. **U.S.Environmental Protection Agency (USEPA), (1993):** *A handbook of constructed wetlands for waste-water treatment.* Washington DC. 1993.
44. **U.S.Environmental Protection Agency (USEPA), (1988):** *Design manual: Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment.* Rep. No. EPA 625/1-88/022. USEPA Office for Environmental Research Information, Cintinnati, Ohio.
45. **Vymazal J. (1999):** *Removal of BOD5 in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow Czech experience.* Water Sci. and Techn.. 40(3): 133-138, 1999.
46. **Weedon C.M. (2003):** *Compact vertical flow constructed wetland systems – first two years’ performance.* Water Sci. and Techn. 48(05) 18-23, 2003.
47. **Wang J., Huang S., He C., NG C. (2011):** *Numerical analysis of the performance of horizontal and wavy subsurface flow constructed wetlands.* Journal of Hydrodynamics 2011,23(3):339-347.

7. Az értekezés témakörében készült publikációk

Külföldön megjelent idegen nyelvű lektorált folyóirat cikk

- [1] **Dittrich E. – Klincsik M. (2015a):** *Analysis of conservative tracer measurement results using the Frechet distribution at planted horizontal subsurface flow constructed wetlands filled with coarse gravel and showing the effect of clogging processes.* Environmental Science and Pollution Research SSN: 0944-1344 (**Impact Factor 2.828**)
- [2] **Dittrich E. – Klincsik M. (2015b):** *Application of divided convective-dispersive transport model to simulate conservative transport processes in planted horizontal sub-surface flow constructed wetlandss.* Environmental Science and Pollution Research SSN: 0944-1344. (**Impact Factor 2.828**)

Magyarországon megjelent idegen nyelvű lektorált folyóirat cikk

- [3] **Dittrich, E. (2006):** *Experiences on hydraulic performance of sub-surface flow constructed wetlands.* Pollack Periodica Vol. 1. No. 1. pp. 53-66. Akadémia kiadó, Budapest, 2006.
<http://www.akademiai.com/content/r634420523j5n382/?p=192abbeede67440484876d0b9703a338&pi=2>
- [4] **Dittrich E. (2012):** *Analysis of subsurface flow Hungarian constructed wetlands with wetland model.* POLLACK PERIODICA. pp 65-78 Volume 7, Number 3/December 2012[

Nemzetközi konferencia kiadványban megjelent lektorált cikk

- [5] **Dittrich E. (2008):** *Removal of BOD₅ in surface flow constructed wetlands: Hungarian experiences.* The 11th International Specialised Conference on Watershed and River Basin Management. IWA 2008. Szeptember 4-5. Konferencia kiadvány

Magyar nyelvű nem lektorált folyóirat cikk

- [6] **Dittrich E. (2015c):** *A wetland-modell továbbfejlesztése a gyökérszénészennyvíztisztító telepek pontosabb méretezése érdekében.* MASZESZ Hírcsatorna 2015 január-február pp. 3-15.

Magyar nyelvű konferencia kiadványban megjelent cikk

- [7] **Dittrich E. (2009):** *A hazai gyökérszénészennyvíztisztítók üzemeltetési tapasztalatainak elemzése az ún. wetland modell segítségével.* MHT XXVII. Országos vándorgyűlés konferencia kiadványa. www.mht.hu

Dittrich Ernő mérnöktanár
PTE MK Környezetmérnöki Tanszék
7624 Pécs Boszorkány út 2.
Tel: 30/3776770, E-mail: dittrich@pte.pmmik.hu