



**Magyar Agrár-és Élettudományi Egyetem**  
**Környezettudományi Doktori Iskola**

**Konzervatív nyomjelzőanyag transzport- és evapotranszspiráció-vizsgálata  
a hosszanti átfolyású kavicsöltetű gyökérszónás műtárgyban**

**Doktori (PhD) értekezés tézisei**

DOI: 10.54598/001770

**Somfai Dávid Márton**

**Gödöllő**

**2022**

**A doktori iskola**

**megnevezése:** Környezettudományi Doktori Iskola  
**tudományága:** Környezettudomány  
**vezetője:** Csákiné Dr. Michéli Erika, DSc  
egyetemi tanár, intézetigazgató  
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,  
Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar,  
Környezettudományi Intézet

**Témavezető:** Dr. Szalai Sándor  
egyetemi docens  
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,  
Mezőgazdasági- és Környezettudományi Kar  
Vízgazdálkodási és Agroklimatológiai Tanszék

**Társ témavezető:** Dr. Dittrich Ernő  
egyetemi adjunktus  
Pécsi Tudományegyetem  
Műszaki és Informatikai Kar  
Környezetmérnök Tanszék

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

.....  
A társ témavezető jóváhagyása

## Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	4
1.1. A témaválasztás indokai .....	4
1.2. Az értekezés tartalma és célkitűzései .....	5
2. Anyag és módszer .....	7
2.1. Gyökérvénás szennyvíztisztító mintatelep rövid bemutatása .....	7
2.2. Evapotranszspirációs és transzspirációs mérésekhez alkalmazott módszerek, berendezések.....	7
2.2.1. Transzspirációs mérésekhez használt gázanalizátor rövid bemutatása.....	7
2.2.2. Laboratóriumi mérésekhez használt mérési modell ismertetése.....	7
2.2.3. Transzspirációs veszteség számítása.....	8
2.2.4. Evapotranszspiráció számítása terepi mérési eredményekből .....	8
2.3. Az eloszlástípusok részletes vizsgálatához használt szoftver ismeretete.....	9
2.4. Az osztott konvektív-diszperzív modell illesztésére alkalmazott program ismertetése ..	9
3. Eredmények.....	10
3.1. Laboratóriumi transzspirációs mérések eredményei .....	10
3.1.2. Gyökérvénás műtárgyak szezonális transzspiráció okozta vízvesztései .....	12
3.2. A napon belüli evapotranszspiráció mérési eredményei .....	13
3.3. A transzport folyamatok leírásához felhasznált eloszlások illesztési eredményei .....	14
3.4. 1 dimenziós konvektív-diszperzív transzportmodell és 1 dimenziós osztott konvektív-diszperzív modell használata hosszanti átfolyású gyökérvénás műtárgyakra .....	16
3.4.1. Az 1 dimenziós konvektív-diszperzív illesztési eljárás és az 1 dimenziós osztott konvektív-diszperzív modell illesztési eredményei .....	16
3.4.2. Szivárgási sebesség, diszperziós tényező az osztott konvektív-diszperzív modell alkalmazásával és összehasonlítása jelenleg használatos eljárással .....	18
4. Következtetések, javaslatok .....	19
4.1. Következtetések.....	19
4.2. Eredmények tézisszerű összefoglalása .....	21
A témában megjelent saját publikációk listája .....	24
Felhasznált irodalom .....	25

# 1. Bevezetés

## 1.1. A témaválasztás indokai

A klímaváltozás a 21. század egyik, ha nem a legnagyobb problémája. Az elmúlt évtized volt az egyik legmelegebb a Földön. Ennek a folyamatnak a csillapítását elsősorban a környezetünk védelmével, az emissziók csökkentésével tudjuk megtenni. Olyan technológiákat kell előtérbe helyoznunk, melyek mérsékelik a környezetünk szennyezését, mert sajnos mind a levegőbe, mind a talajba és a vizekbe is jelentős mennyiségű szennyezőanyag jut. Az egyik ilyen terület a vizek tisztaságának védelme. Nagyon fontos, hogy a bevezetendő szennyvizek minél nagyobb fokú tisztítása megtörténjen. A világon a legelterjedtebb technológiai csoport az intenzív szennyvíztisztítási eljárásokat foglalja magában, ilyen technológia például az eleveniszapos eljárás. A másik az extenzív technológiák csoportja, melyeket természetközeli szennyvíztisztító rendszereknek is szoktak nevezni a hazai szakirodalomban. Ezek a szennyvíztisztítási eljárások jelenleg is kutatottak, mivel még nem teljesen kiforrott technológiákról beszélünk, elsősorban azért, mert mindössze 40 éve történt meg az újrafelfedezésük KICKUTH (1981) révén.

Az egyik ilyen extenzív technológia a gyökérszénás szennyvíztisztítás. A gyökérszénás szennyvíztisztítási technológia mind az USA-ban, mind az EU-ban, illetve Ausztráliában is széles körben elterjedt.

Hazánkban a gyökérszénás szennyvíztisztítás témájában az 1980-as évek óta zajlik kutatás (FLEIT 1988). A hazai gyökérszénás szennyvíztisztítás elterjedésben és fejlesztésben nagy szerepe volt Szilágyi Ferencnek (SZILÁGYI 1994, SZILÁGYI 1998, SZILÁGYI 2004), aki több mint 25 éve kutatja a gyökérszénás szennyvíztisztítás hazai problémáit és a lehetséges fejlesztési irányokat.

A hazai elterjedésnek sajnos több korlátja volt és van, melynek okai az alábbiak (DITTRICH 2006a):

1. A nem megfelelő tervezési gyakorlat és a viszonylag kevés hazai tapasztalat.
2. Az eddig megépült hazai rendszerek negatív üzemi tapasztalatai.

Még napjainkban is jelen vannak ezek a problémák, de szerencsére egyre több telep működik jól hazánkban is. Magyarországon 2019-es adatok alapján 1054 közütemi szennyvízrendszerrel nem rendelkező település van, többségük lakossága 1000 főnél alacsonyabb. Ezek a települések többnyire olyan területeken vannak, ahol nem megoldható a szennyvízelvezető közmű gazdaságos üzemeltetése. Magyarországon elsősorban ezeken a településeken érne meg gyökérszénás szennyvíztisztító telepeket alkalmazni. Talán ezen belül is a 600 lakosegyenérték

alatti települések azok, melyeken célszerű lenne ilyen rendszerekkel letisztítani a keletkező szennyvizet.

Az egyik kutatandó terület ezen műtárgyak pontos vízmérlegének mérése a hazai klimatikus viszonyok között. A vízmérleg egyik fontos paramétere az evapotranszspiráció, ami a töltet párolgásának és a növény párologtatásának együtteséből adódik. Ezen paraméterek ismerete nélkül csak becsülhető a műtárgy vízmérlege, ami közvetlenül kihat a műtárgyból elfolyó víz minőségére. Hazánkban – különösen a nyári időszakban – az evapotranszspiráció jelentősen befolyásolhatja a műtárgy vízháztartását, így az elfolyó víz minőségét is. Olyan hazai publikációról nincs tudomásom, mely ezzel a problémával részletesen foglalkozott volna. A nemzetközi szakirodalomban fellelhető publikációk pedig csak a nappali evapotranszspirációt vizsgálták (BEEBE et al. 2014, TUTTOLUMONDO et al. 2015).

A gyökérszénázás szennyvíztisztítók transzportfolyamataival kapcsolatban a nemzetközi szakirodalomban is kevés számú publikáció született, hazai publikációról pedig témavezetőm publikációin (DITTRICH 2006c, DITTRICH és KLINCSIK 2015a, DITTRICH és KLINCSIK 2015b) kívül nincs tudomásom. Ennek főbb okai, hogy ezen műtárgyak transzportmodellezése nagyon nehézkes, mivel a gyökérszénázás rendszer vízmérlegére erősen kiható időjárási jellemzők sztochasztikussá teszik az áramlástanban a rendszer anyagforgalmi folyamatait. Emellett a gyökérszénázással átszőtt és biofilmmel telítődött, térben és időben dinamikusan változó aktív pórusrendszer is nehezíti ezeknek a folyamatoknak a pontos leírását. Ezek alapján érthetővé válik, hogy máig miért nem fejlesztettek ki nagy pontosságú transzportmodellt a gyökérszénázás rendszerekre vonatkozóan. Jelen disszertáció egy újszerű transzportmodellezési irány egyedi alkalmazását mutatja be, és segítségével hasznos tudományos eredményeket rögzít.

## **1.2. Az értekezés tartalma és célkitűzései**

A dolgozat kizárólag a gyökérszénázás szennyvíztisztító rendszerekkel foglalkozik. A gyökérszénázás szennyvíztisztító műtárgyakra rávezetett szennyvíz összetett folyamatok segítségével letisztul.

A disszertáció első részében a transzspiráció hatását vizsgálom a hosszanti átfolyású gyökérszénázás műtárgyak vízháztartására vonatkozóan laboratóriumi körülmények között végzett mérések segítségével. Emellett terepi monitoring rendszerrel vizsgálom az evapotranszspiráció hatását szintén a hosszanti átfolyású gyökérszénázás műtárgyak vízháztartására.

Ez irányú vizsgálataimnak három célja van:

1. A hazai klimatikus viszonyok között megvizsgálom, hogyan transzspirál a hosszanti átfolyású gyökérszónás mőtárgyba ültetett sás (*Carex elata*), és ennek milyen hatása van a mőtárgy vízháztartására tavasszal, nyáron és ősszel.
2. Terepi mérési eredmények alapján hazai klimatikus viszonyokra meghatározom a napon belüli evapotranszpiráció mértékét és annak a hosszanti átfolyású gyökérszónás mőtárgyak vízháztartására való hatását tavaszi, nyári és őszi időszakokra.
3. Vizsgálataim során hazai klimatikus viszonyokra meghatározom a hajnali és esti páralecsapódás mértékét és hatását a hosszanti átfolyású gyökérszónás mőtárgyak vízháztartására.

A DITTRICH és KLINCSIK (2015a, 2015b) által kidolgozott statisztikai módszer segítségével vizsgálom a hosszanti átfolyású gyökérszónás mőtárgyak transzportfolyamatait, melyből a folyamat megértését elősegítő következtetéseket vonok le. **Vizsgálatom újdonságtartalmát és egyediségét az adja, hogy az egész mőtárgyra kifejlesztett módszert a mőtárgy belső pontjainak vizsgálatára használom, melyhez a módszer kiegészítésére is szükség volt. Ehhez kapcsolódóan a disszertáció további céljai:**

4. Annak vizsgálata, hogy nemzetközi szakirodalomban napjainkig publikált és legelterjedtebben használt módszer (konvektív-diszperzív transzportegyenlet) alkalmas-e az ilyen típusú mőtárgyak belső pontjaiban a transzportfolyamatok megfelelő pontosságú leírására.
5. Eddig nem alkalmazott eloszlásfüggvények keresése a gyökérszónás mőtárgyak belső pontjaiban a transzportfolyamatok leírására annak érdekében, hogy az eddigieknél nagyobb pontosságú modellt találjak.
6. További célom annak bizonyítása, hogy a DITTRICH és KLINCSIK (2015b) által fejlesztett transzportmodellezési módszer alkalmazható-e gyökérszónás mőtárgyak transzportfolyamatainak leírására.
7. Annak igazolása, hogy az ún. osztott konvektív-diszperzív transzportmodell precízebben írja le a valóságot a hagyományosan alkalmazott transzportmodelleknél.

## 2. Anyag és módszer

### 2.1. Gyökérszénészennyvíztisztító mintatelep rövid bemutatása

A vizsgálataimat a Hódmezővásárhelyi gyökérszénészennyvíztisztító kutatótelepen végeztem. A telep napi körülbelül 1-1,5 m<sup>3</sup> tejházi szennyvizet tisztított meg, melyet a közeli fejtől tengelyen szállítottak a gyökérszénészennyvíztisztító oldómedencéjébe. A telep egy oldómedencéből, egy szennyvízáttemelőből, egy náddal (*Phragmites australis*), ültetett függőleges átfolyású gyökérszénészennyvíztisztító műtárgyból, egy sással (*Carex elata*) telepített vízszintes átfolyású gyökérszénészennyvíztisztító műtárgyból és egy nyárfás szikkasztómezőből áll.

### 2.2. Evapotranszspirációs és transzspirációs mérésekhez alkalmazott módszerek, berendezések

#### 2.2.1. Transzspirációs mérésekhez használt gázanalizátor rövid bemutatása

A laboratóriumi transzspirációs méréseket az LCpro+ IRGA (ADC Bioscientific, United Kingdom) gázanalizátorral végeztem. A készülék méri és szabályozza a levélkamrán belüli környezetet, kiszámolja a levél fotoszintetikus aktivitását. A fő konzol kontrolálható CO<sub>2</sub>- és H<sub>2</sub>O-koncentrációjú levegőt juttat a kamrába mérhető értékkel. Mind a két paraméter leérése után a levegő a levél mindkét felszínére áramlik. A kamrát elhagyó, kiáramló levegőt analizálja, és leéri az (általában csökkent) CO<sub>2</sub>- és (megnövekedett) H<sub>2</sub>O- tartalmat.

#### 2.2.2. Laboratóriumi mérésekhez használt mérési modell ismertetése

A modell műtárgyas mérések során a hódmezővásárhelyi gyökérszénészennyvíztisztító mintatelepről elhozott zsombéksás (*Carex elata*) kb. 1m<sup>2</sup>-es kiterjedésű zsombékjait vizsgáltam. A növények teljes felületének méréséhez a rendszerszintű vízvesztés becsléséhez hordozható levélterület-mérőt használtam (AM-100-002, ADC Ltd., Egyesült Királyság). A transzspirációs rátát (E) az elemző körülbelül 20 másodpercenként kiszámította. Az elemzéshez sértetlen, érett (nem túl fiatal vagy öreg) fotoszintetikus pigmentekben gazdag leveleket választottam ki. A kiválasztott levélpárok segítségével a gázcsere három paraméterét (fény, hőmérséklet és levegő páratartalom) mértem standard skálák és állandó CO<sub>2</sub>-szint alkalmazásával. Általánosságban elmondható, hogy a mérések során a négy abiotikus változó közül hármat állandónak vettem, a negyediket pedig növeltem vagy csökkentettem.

### 2.2.3. Labormérések menete

A fényválaszokat 0 és 1566  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  között rögzítettem állandó  $\text{CO}_2$  (370 ppm), hőmérséklet (20 ° C, 25 ° C, 30 ° C) és légnedvesség (1-19 mBar, 3,6-62,5% relatív levegő páratartalom) érték mellett.

A hőmérséklet válaszokat 17,5-39,0 ° C hőmérsékleten, állandó besugárzás (1218  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ),  $\text{CO}_2$  (370 ppm) és vízgőznyomás (1-19 mBar, 3,6-62,5% relatív levegő páratartalom) mellett rögzítettem. A páratartalom-válaszokat 1-19 mBar nyomáson, állandó besugárzás (1218  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ),  $\text{CO}_2$  (370 ppm) és hőmérséklet (20 ° C, 25 ° C és 30 ° C) alatt rögzítettem.

### 2.2.3. Transzspirációs veszteség számítása

Levélfelület-mérőt használtam a kísérleti modell levélfelületének mérésére. A vízveszteség kiszámításához a következő egyenletet használtam:

$$V = \frac{E \cdot A \cdot t \cdot M_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho}, \quad (36)$$

ahol  $V$ : a transzspiráció általi vízveszteség ( $\text{m}^3$ ),  $E$ : a transzspirációs ráta az adott időszakban ( $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ),  $A$ : a levélfelület ( $\text{m}^2$ ),  $t$  az adott vizsgált időszak időtartama (s),  $M_{\text{H}_2\text{O}}$ : a víz moláris tömege ( $\text{g mol}^{-1}$ ), és  $\rho$ : a víz sűrűsége ( $\text{g m}^{-3}$ ).

A vizsgálataim során minimum és maximum értékekkel dolgoztam. Céлом intervallumok megadása az évszakos növény párologtatás mértékére vonatkozóan a gyökérszónás műtárgyakban.

### 2.2.4. Evapotranszspiráció számítása terepi mérési eredményekből

Az evapotranszspiráció napon belüli vizsgálatához olyan napokat kerestem a rendelkezésemre álló monitoring rendszer adatbázisában, melyek a következő feltételeknek megfelelnek:

- nincs a műtárgyra szennyvízfeladás,
- nincs elfolyás a műtárgyból,
- jelentős a napi vízszintcsökkenés,
- csapadék nem terheli a műtárgyat.

Könnyen belátható, hogy ezeken a napokon az evapotranszspiráció mértéke csak a vízszintváltozás okozója. Az adatbázisomban 16 napot találtam mely megfelel a peremfeltételeknek.



### 2.3. Az eloszlástípusok részletes vizsgálatához használt szoftver ismeretetése

Maple 16 szoftverben egy egyedileg készített eljárást használtam az illesztések elvégzésére. A Maple 16 egy matematikai szoftver, ebben a számítási eljárások könnyen és egyszerűen leprogramozhatók, ezért választottam ezt a szoftvert az illesztésoptimalizálási feladat elvégzésére. A program a különböző mérési sorozatokra illeszt **Fatigue Life, Lognormal, Fréchet, Pearson5, Inverz Gauss** eloszlásokat. A függvények előzetes szűrés által lettek kiválasztva DITTRICH és KLINCSIK (2015a) által. A bevitt eloszlások háromparaméteresek (**a,b,c**), de a program  $c=0$  feltételt is vizsgálja. A  $c$  paraméter mindegyik eloszlásnál annak  $x$ -tengely irányú késleltetését fejezi ki. A cél a legjobban illeszkedő  $R^2$  érték megtalálása volt.

### 2.4. Az osztott konvektív-diszperzív modell illesztésére alkalmazott program ismertetése

A kutatási munkám során ismert eloszlások mellett az ún. osztott konvektív-diszperzív transzportmodellt (DITTRICH és KLINCSIK 2015b) is illesztettem a mérési eredményekre. A gyökérvonás műtárgy belső pontjaira vonatkozó mérési eredményeinek illesztésére – az eddig a szakirodalomban használtaknál - alkalmasabb módszernek feltételeztem ezt a modellt.

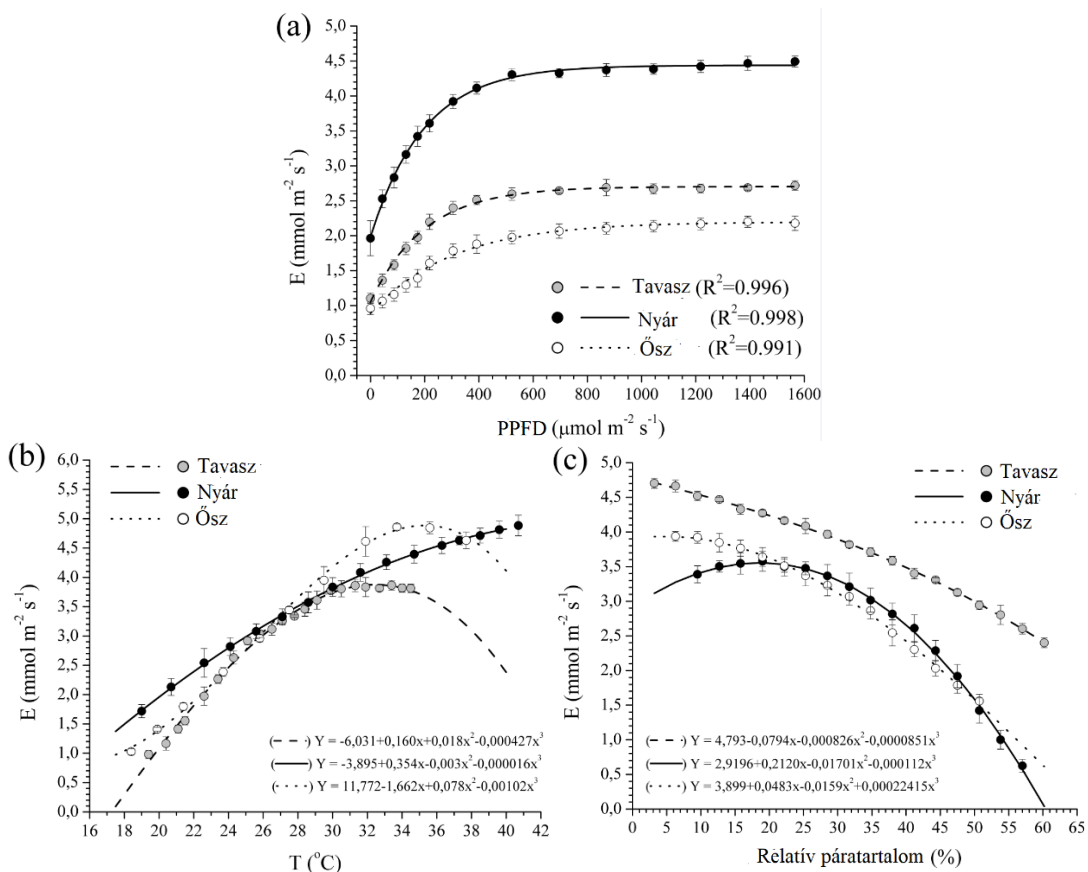
A modell a nagy sebességű fő áram részére létrehoz egy Inverz Gauss-alakú diszperziós görbét (továbbiakban 1. Inverz Gauss-függvény), és a kis sebességű mikropórus rendszeren átáramló mellékáram részére is egy attól teljesen független Inverz Gauss diszperziós görbét (továbbiakban 2. Inverz Gauss-függvény) állít elő.

Az illesztési módszerrel azt feltételeztem, hogy a mért válaszfüggvény gyorsan felfutó szakaszában csak a fő áramnak van jelentős szerepe. Egy paraméter segítségével ( $s$ ) meg lehet adni az 1. Inverz Gauss-görbe alatti terület és a teljes terület arányát. Egy tetszőlegesen felvett  $s$  értékre illesztettem az 1. Inverz Gauss-görbét a mérések gyors felfutó részéhez, majd előállítottam a mérési eredmények és az 1. Inverz Gauss-görbe eltérését, és arra illesztettem a 2. Inverz Gauss-görbét. Ezután az  $s$  paraméter értékét 0.01 értékű lépésközzel vizsgáltam, hogy milyen  $s$  értéknél ad a két görbe összege legjobb illeszkedést a mérési pontokkal. A modell tulajdonképpen egy osztott konvektív-diszperzív modell, mely az áramlási folyamatot két egymástól független konvektív-diszperzív görbe összegéből állítja elő, és az ( $s$ ) paraméter segítségével a modell rögzíti a fő áramban és a mellékáramban résztvevő folyamatok arányát is.

### 3. Eredmények

#### 3.1. Laboratóriumi transzspirációs mérések eredményei

A 2.1.1.-2.1.3. fejezetekben bemutatott mérési módszer szerint méréseket végeztem a Hódmezővásárhelyi gyökérszárny mütárgyából elhozott sáson, laboratóriumi körülmények között. A növény transzspirációját vizsgáltam három paraméter segítségével (hőmérséklet, páratartalom és a fényintenzitás). A három vizsgált paraméterből származtattam a növényi egyedek környezeti válaszgörbéinek jellemzőit (1. ábra). Figyelembe véve a fényreakciókat, a várakozásoknak megfelelően a görbék többé-kevésbé fokozatosan növekednek minden évszakban.



1. ábra.: A vizsgált sás (*Carex Elata*) transzspirációs rátájának alakulása (a) a PPFD (fényintenzitás) függvényében (b) a levélhőmérséklet függvényében (c) a relatív páratartalom függvényében. A fényválaszfüggvények az egyes évszakok átlag hőmérsékleteiben lettek mérve (Tavaszi: 20±2.5 °C; Nyári: 30±2.5 °C; Őszi: 25±2.5 °C); az egyes görbéket a besugárzás egy adott intervallumán mértem (0 -1566 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). A harmadrendű polinomok egy adott hőmérsékleti tartományra (17.5- 42.0 °C) és páratartalomra (3.2 -60.2 %) lettek számolva, az adott évszakoknak megfelelően

A transzspiráció tavasszal volt alacsonyabb, és az idő előrehaladtával növekedett. Tavasszal és nyáron a transzspiráció maximális sebességét viszonylag alacsony besugárzási szinten érte el (198,5, illetve 197,7  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Ősszel a maximális vízvesztés (302,5  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) intenzívebb besugárzást igényelt. A transzspiráció nem nőtt szoros összefüggésben az évszakok átlagos hőmérséklet-emelkedésével.

A hőmérsékleti válaszok folyamatosan növekedtek az évszakok során, a harmadrendű polinomgörbék jól illeszkedtek a transzspiráció változásához. A legdinamikusabb transzspirációnövekedés nyáron volt, 40°C feletti hőmérsékleten. Ősszel és tavasszal a vízvesztés alacsonyabb hőmérsékleten volt a legnagyobb (35,5, illetve 32,5°C). Ez a jelenség azt mutatja, hogy a növény tavaszi és őszi vízvesztési folyamata hőmérsékleti viszonyokkal szabályozható, ami szezonális abiotikus kényszert jelent.

A kísérlet harmadik környezeti válasza a páratartalom volt. A levegő növekvő víztartalma monoton csökkenést okozott a transzspirációban. Általában alacsonyabb páratartalom mellett nagyobb a vízvesztés, amely drámai módon csökkenhet a növekvő légnedvesség mellett. Nyáron az extrém alacsony páratartalom csökkentheti a transzspirációt, ami azt sugallja, hogy megemelkedett hőmérsékleten a transzspiráció a víz adottságaival szabályozható. Ennek megfelelően az alacsony légköri páratartalom magas hőmérsékletekkel párosulva környezeti akadályt jelenthet a transzspirációs maximumok teljes kifejlődésében. Ennek elsősorban növényélettani okai vannak. A növény vízleadásának legjelentősebb része a sztómákon keresztül, ami az összes víz közel 90%-áért felel. Ennek egyik fontos tényezője a levél és a környező légtér közötti vízgőzkoncentráció-gradiens. A levélfelületen minden négyzetmilliméteren átlagosan 100 sztóma található, de akár ennél tízszer több is lehet. A sztómarések meglehetősen kicsik, ugyanis nyitott állapotban is a teljes levélfelületnek legfeljebb az 1-2%-át teszik ki. A sztómanyitás biztosítja a vízleadást és a széndioxid-felvételt is. A növények eltérő módon biztosítják, hogy elegendő szén-dioxid jusson a levélbe a fotoszintézishez, de minél kisebb legyen az ezzel egyidejű vízleadásuk.

A sztómamozgást a külső környezeti tényezők közül leginkább a szén-dioxid-koncentráció, a fény, a hőmérséklet és a levegő páratartalma szabályozza. A levelek sejt közötti járataiban lévő nagyobb szén-dioxid-koncentráció sztómazáródáshoz, míg a kisebb koncentráció sztómanyitódáshoz vezet. Ugyanakkor magasabb hőmérsékleten erőteljesebben növekszik a légzés, mint a fotoszintézis, ami a levélben még nagyobb szén-dioxid-koncentrációhoz, végül sztómazáródáshoz vezet. A levegő páratartalmának csökkenésével növekszik a nyitott sztómákon a transzspiráció.

### 3.1.2. Gyökérszénás műtárgyak szezonális transzspiráció okozta vízveszteségei

A 2.1.4. fejezetben bemutatott számolási módszer alapján szezonális intervallumokat határoztam meg a gyökérszénás műtárgy transzspiráció okozta vízveszteség mértékére. A 3.1.1. fejezetben bemutatott eredményeket használtam a számoláshoz.

A 4 kísérleti modell felülete  $0,25 \text{ m}^2$  volt, melyen  $2,65 \text{ m}^2$  levélfelület adódott. Ezen érték alapján becsültem a levélfelületet a gyökérszénás műtárgyban. A gyökérszénás műtárgy felülete  $25,2 \text{ m}^2$ , így a becsült levélfelület  $267 \text{ m}^2$ .

Tavasszal a párolgás általi vízveszteség  $0,46-0,83 \text{ m}^3$  értékek között alakult; ha tipikus éghajlati viszonyok vannak, akkor ez az érték  $0,50 \text{ m}^3$ . A napi feladott szennyvízmennyiség körülbelül  $1 \text{ m}^3$ , ami azt jelenti, hogy tavasszal a napi feladott mennyiség fele elpárolog, illetve, hogy a vízveszteség a hidraulikai terheléshez viszonyítva  $46-83\%$  között alakul.

Nyáron a transzspiráció okozta napi vízveszteség  $0,52-1,08 \text{ m}^3$ , ami  $52-108\%$ -a a hidraulikai terhelésnek, tipikus éghajlati körülmények között  $0,97 \text{ m}^3$ . Így elmondható, hogy nyáron vannak olyan napok, amikor akár a napi hidraulikai terhelés értékénél is magasabb a transzspiráció általi vízveszteség. A plusz elpárologtatott víztöbblet a műtárgyban található vízből származik, emiatt folyamatosan csökkenhet a műtárgyban a vízszint.

Ősszel a transzspiráció általi napi vízveszteség  $0,17-0,48 \text{ m}^3$ , ami  $17-48\%$ -a a hidraulikai terhelésnek. Tipikus éghajlati körülmények között pedig  $0,31 \text{ m}^3$ . Elmondható, hogy ez az érték alacsonyabb, mint a tavaszi.

Összeségében elmondható, hogy extrém időjárási körülmények között a transzspiráció általi vízveszteség nagyobb, mint a maximális hidraulikai terhelés. Ez nagyon fontos következtetés az elfolyó vízminőség tekintetében, ahol fontos, hogy a befogadói vízminőségi határértékeket betartsa a telep. A növényzet párologtatásából eredő betöményedés kedvezőtlenül hat az elfolyó vízminőségre, ugyanakkor a vízminőségi mérésekre kalkulált lebontási modellek hibásak, hiszen a betöményedést nem veszik figyelembe. Ez alapján a valódi lebontási folyamatok jóval erőteljesebbek, mint egy kalibrált lebontási modell alapján becsült érték. A laboratóriumi méréseknél nem számoltam a szél hatásával, mely befolyásolhatja a műtárgyban lévő hőmérsékletet és a páratartalmat akár napszakon belül is, így a transzspirációra is nagy hatással lehet. Emellett a felhők hatását sem vettem számításba, mely a fényintenzitást és a hőmérsékletet is befolyásolhatja szintén napszakon belül is.

### 3.2. A napon belüli evapotranszspiráció mérési eredményei

A rendelkezésemre álló adatbázisban 16 napra megvizsgáltam a napi evapotranszspirációt, illetve ezen napok segítségével a szezonális evapotranszspirációt is meghatároztam. Vizsgálataim kiterjedtek arra is, hogy a maximális hidraulikai terhelés és az evapotranszspiráció hogyan aránylottak egymáshoz.

A napi evapotranszspirációt és a párolgás mértékét a maximális hidraulikai terheléshez hasonlítottam. A maximális hidraulikai terhelés tervezési értéke 40 mm/nap a hosszanti átfolyású gyökérszívás műtárgyak esetében (MASZESZ MI-I-1:2003). Ezen túlmenően szétválasztottam a nappali és éjszakai evapotranszspirációt is.

Az eredményeket a következő következtetéseket vontam le:

- A vizsgált napokon a teljes napi vízvesztés 71,7-93,1%-a a nappali órákban párolgott el. Ez azt is jelenti, hogy a szennyvíz töményedése a műtárgyban az evapotranszspiráció hatására 4-10-szer nagyobb nappal, mint éjjel.
- Az éjjeli evapotranszspiráció jelentős mértékű, mivel voltak napok, amikor a teljes napi vízvesztésnek a 20,9-28,3%-a párolgott el éjszaka.
- Voltak napok, melyeken a páralecsapódás magas volt, ezért az éjszakai és nappali evapotranszspiráció nem volt szétválasztható.
- Tavasszal az evapotranszspiráció 18,0-42,6 mm/nap értékre tevődött, ami a napi maximális hidraulikai terhelés 45,0-106,0%-a.
- Ez az érték nyáron 12,3-42,3 mm/nap volt, ami 30,8-105,8%-a a hidraulikai terhelésnek.
- Ősszel az evapotranszspiráció 13,6-22,7 mm/nap, ami a hidraulikai terhelés 34,0-56,8%-a.
- Voltak napok, amikor a páralecsapódás mérhető volt, 1,8 és 10,0%-a volt a maximális hidraulikai terhelésnek. Ez leginkább a napfelkelte utáni időszakban csökkenti a koncentrációt a műtárgyban.

Az órai evapotranszspirációs csúcs tavasszal 16,3 % nyáron ez 15,8 % míg ősszel 16,2 %. A tavaszi napi maximális evapotranszspiráció 42,6 mm/nap ennek a 16,3 %-a 6,94 mm/h ami 415 %-a az órai hidraulikai terhelésnek (1,7 mm/h). Nyáron ezek az értékek 229 % és 150 %-ra adódtak. A betöményedési folyamatok főképp késő tavasszal és nyáron nagyon jelentősek.

### **3.3. A transzport folyamatok leírásához felhasznált eloszlások illesztési eredményei**

A kutatásom során a hódmezővásrhelyi gyökérváz műtárgy belső pontjaiban végzett konzervatív nyomjelzőanyag mérési eredményekre illesztettem a következő 5 sűrűségfüggvényt: Fatigue Life, Fréchet, Inverz Gauss, LogNormal, and Pearson5. Az illesztéseket a Maple szoftverben egy egyedileg készített programban végeztem.

Az S/1 mérési eredmények esetében a műtárgy csak két napja volt üzembe helyezve. (Mivel 2007. 09. 01. helyezték üzembe a műtárgyat.) Általánosságban elmondható, hogy a I-III. mérési pontokra jó illeszkedésű eredményeket kaptam. Ezen eredmények függvényképe egy gyorsan felfutó csúcsot mutat. A második keresztelvényben (IV-VI.) szélesebb, laposabb görbét kaptam, valószínűsíthetően azért mert itt már megjelent bizonyos áramlási torzítások hatása. A VII-IX. mérési pontoknál már a függvények nem követik a mérési pontokat, nem illeszkednek megfelelően.

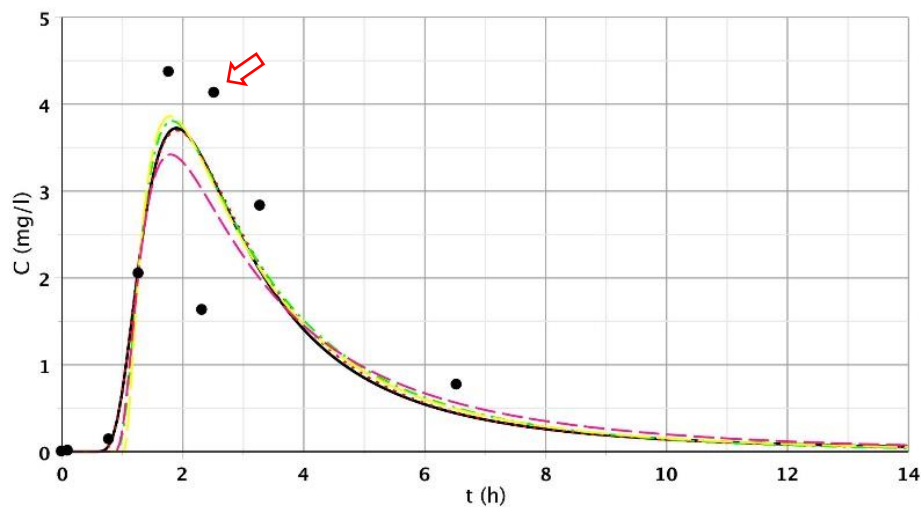
Az S/2 eredmények az 1 hónapos műtárgy transzport folyamatait mutatják be. Az első három pont esetében hasonló eredményeket kaptam mint az első mérési eredményeknél. A második keresztelvényben a IV. pontnál kaptam rosszabb illeszkedést míg a V-VI. pontnál ugyan olyan jó illeszkedést kaptam mint az első mérési eredményeknél. Ez a jelenség azt támasztja alá, hogy a keresztelvényben inhomogén áramlás alakult ki, ez azt jelenti, hogy a keresztelvényben (IV-VI.) a IV. pontnál a gyökérváz növekedése és a biofilm aktivitás miatt lassabb áramlás alakulhatott ki. Míg a V. és VI. pontnál az áramlás gyorsabb mert kevesebb a gyökérváz és a biofilm aktivitás.

A harmadik időpont mérési eredményeire volt a legnehezebb a függvények illesztése. Az első két szelvényeknél a térfogatáram alapján meghatározott függvény alatti terület túl kicsi volt, így a függvények illesztései rossz eredményt adtak. Csak a harmadik keresztelvény adott elfogadható értékeket. Ez a jelenség azért történhetett mert a szennyvíz (tévedésből) előkezelés nélkül lett feladagolva a műtárgyra, ez pedig egy jelentős eltömődési folyamatot eredményezett.

A függvények rossz illeszkedésének másik oka az, hogy a sás gyökérváz már erőteljesen benőtte a töltetet, így még nagyobb áramlási torzulásokat és inhomogenitást okozott.

Ezek miatt az okok miatt még több holtter, intenzívebb biofilm képződés és eltömődési folyamatok indultak be, melyek miatt a mellékáram szerepe egyre jelentősebb lett. A holttereket

leginkább az Inverz Gauss függvény rossz illesztési eredményei mutatják be, illetve a hosszúra nyúlt görbe. Ez teljesen jól látszik a következő függvényképen (2. ábra) A piros nyilak mutatják meg a második csúcsokat (a mellékáramot). A fekete folytonos vonal a Fréchet, a fekete pontozott vonal a Pearson5, a kék szaggatott vonal a Fatigue Life, a zöld szaggatott vonal az Inverz Gauss, a sárga a LogNormal és a rózsaszín szaggatott vonal az 1 dimenziós konvektív-diszperzív transzportmodellt (Inverz-Gauss eloszlás) mutatja.



**2. ábra:** Az 5 sűrűségfüggvény és a CDT-modell illesztési eredménye az S/3 VI. alsó pontnál

Az utolsó mérési időpontnál már jobb eredményeket kaptam, mivel a régi szűrőtöltet kicserélték egy újra. Az eredmények teljesen különbözőek a S/3 eredményeitől, de olyanok amilyeneket vártam. Volt egy függvény probléma ezeknél az eredményeknél. Volt olyan két csúcsú függvény melyre nagyon rossz illesztési eredményeket kaptam. Ezeknél a pontoknál nagy jelentősége lesz az osztott konvektív-diszperzív modellnek, mely nem csak az első csúcsra, de a második csúcsra is jól illeszkedik, így jóval jobb illesztési eredményeket ad, mint a jelenleg a nemzetközi szakirodalomban legelterjedtebb CDT modell.

Vizsgáltam a felső és alsó mérési pontok eredményeire illesztett függvények  $R^2$  értékeit is az illeszkedési pontosság elemzésére. Felső mérési pontok tekintetében csak a Fréchet és Pearson5 adott jobb illeszkedést az alsónál. A felső pontoknál fontosnak tartom kiemelni az Inverz Gauss eloszlás nagyon rossz eredményét. Ha a függvény sorrendet nézzük akkor elmondható, hogy a Fréchet és a Pearson5 azok a függvények amik a felső és alsó pontoknál is az első két helyen végeztek. Még az Inverz Gauss eloszlás mind a két esetben az utolsó lett. A felső rétegben

lassabb áramlás alakult ki és sűrűbb gyökérzet, így több holtteret illetve intenzívebb biofilm képződés van ezeken a helyeken, melyekhez ezek a függvények nehezen alkalmazkodnak. Ez azt is jelenti, hogy a fő áramlás a műtárgy alsó rétegeiben alakul ki.

Összehasonlítottam az eredményeimet az elfolyási pont eredményeivel (DITTRICH és KLINCSIK 2015a). Mind a két esetben a Fréchet és a Pearson5 függvények végeztek az első két helyen, a legrosszabb pedig az Inverz Gauss lett.

Fontos megjegyezni, hogy a belső pontok esetében az átlagtól való eltérés magasabb volt, mint az elfolyópont esetében, és, hogy rosszabb illeszkedéseket kaptam, mint az elfolyópont esetében, emellett egyik függvény sem érte el a 0,95-ös  $R^2$  értéket. Ennek oka, hogy a kifolyási szelvényben az eltérő irányból érkező folyadékszálak által szállított nyomjelző anyag inegrálódik. Ezért az áramlástanai torzulások egy része egymást kiegyenlíti. A kifolyási szelvényben így „kisimultabb” görbét adó mérési eredmények adódnak, mint a belső pontokban. Kutatásom egyedisége és értéke pont ebben fejezhető ki, hogy diverzebben változó rendszerben végeztem el ezeket az elemzéseket. Ezeket figyelembe véve komoly meglepetést és tudományos eredményt hozott, hogy a belső pontokon mért szélsőségesebb folyamatok esetében is ugyanaz az eloszlásfüggvény adta a legjobb illeszkedést. A Fréchet-eloszlást extrém események becslésére használják, elsősorban rugalmassága miatt, ezért lehetséges, hogy a belső pontokon is ez az eloszlás adta a legjobb illeszkedést. A Fréchet-eloszlást gyökérszónás műtárgyak belső pontjainak illesztésére ismereteim szerint más szerző még nem elemezte.

### **3.4. 1 dimenziós konvektív-diszperzív transzportmodell és 1 dimenziós osztott konvektív-diszperzív modell használata hosszanti átfolyású gyökérszónás műtárgyakra**

#### **3.4.1. Az 1 dimenziós konvektív-diszperzív illesztési eljárás és az 1 dimenziós osztott konvektív-diszperzív modell illesztési eredményei**

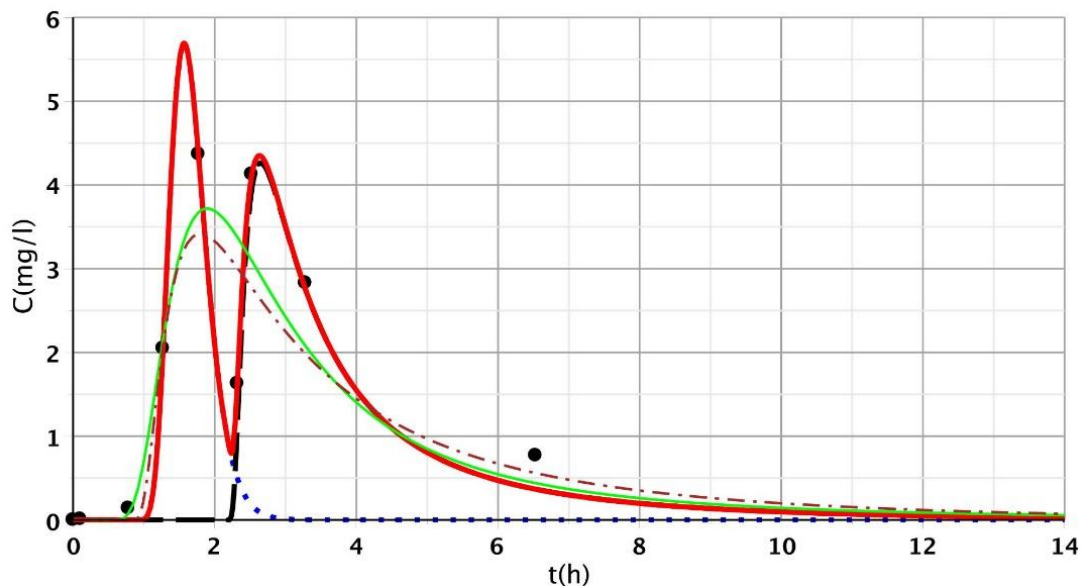
A 2.4. fejezetben bemutatott modellt illesztettem a gyökérszónás műtárgy belső pontjaiban vett nyomjelző anyag mérési eredményekre. A belső pontokban mind felső, mind alsó mintavételezés is történt, elsősorban azért, hogy megvizsgáljam, mennyire térnek el a felső és alsó rétegekben az áramlási folyamatok. A cél az volt, hogy bizonyítsam, hogy a belső pontokra is alkalmazható az osztott konvektív-diszperzív transzportmodell. Eddigi publikációk kizárólag a teljes műtárgy egészére alkalmazták ezt a modellt (DITTRICH és KLINCSIK



2015b). Az eredmények segítenek jobban megérteni a transzportfolyamatok műtárgyon belüli összetettségét, változékonyágát.

Az eredményekből látható hogy az 1 dimenziós osztott konvektív-diszperzív modell (D-CDT) jobban illeszkedik a mért pontokra, mint a Fréchet sűrűségfüggvény vagy az 1 dimenziós konvektív-diszperzív modell (CDT). A D-CDT átlag  $R^2$  értékei 0,96 fölött vannak. A második mérési időpontnál kaptam a legnagyobb eltérést a két modell között: 0,97 és 0,88 a D-CDT-modell javára.

Kiválasztottam egy diagramot (3.ábra) mely a legjobban bemutatja a D-CDT modell és a Fréchet függvény illetve a nemzetközileg használatos CDT modell illeszkedésének mértékét.



3. ábra: Három modell illesztési eredményei (D-CDT, Fréchet, CDT) az S/3 VI. felső ponton

Az ábrán a diszkrét pontok a mérési eredményeket, a kék pontvonal az 1. Inverz Gauss görbét, a fekete szaggatott vonal a 2. Inverz Gauss görbét, a zöld folytonos vonal a Fréchet eloszlást, a piros szaggatott vonal a 1 dimenziós konvektív-diszperzív transzportmodellt és a piros folytonos vonal az 1 dimenziós osztott konvektív-diszperzív transzport modellt mutatja. Az ábrán látható, hogy a második csúcsra csak a D-CDT modell illeszkedett megfelelően.

### **3.4.2. Szivárgási sebesség, diszperziós tényező az osztott konvektív-diszperzív modell alkalmazásával és összehasonlítása jelenleg használatos eljárással**

Összehasonlítottam a CDT és D-CDT modellből kinyerhető transzport paramétereket (szivárgási sebesség és diszperziós koefficiens). Az első mérési időpontnál mind a felső mind az alsó mérési pontoknál a D-CDT modell magasabb szivárgási sebesség értéket mutatott és alacsonyabb diszperziós koefficiens értékeket mint a CDT modell. Vannak pontok ahol nagyok az eltérések. A sebesség 5,91-71,99 %-al kisebb értékre adódott a diszperziós koefficiens pedig 0-352,06 % volt magasabb. Ami azt mutatja, hogy a jóval jobban illeszkedő D-CDT modell sokkal realisztikusabban mutatja be a műtárgyban zajló folyamatokat.

A második mérési eredményeknél egy pontot leszámítva (VI. felső pont) a D-CDT modellből kalkulált szivárgási sebesség nagyobb értékre adódott és a diszperziós koefficiens pedig kisebbre. Az eltérés szivárgási sebesség esetében 0,40-82,52 %, a diszperziós koefficiens esetében pedig 11,46-394,66 %, így jól látható, hogy voltak pontok ahol az eltérés mértéke igencsak jelentékeny.

A harmadik mérési eredményeknél is kijelenthető, hogy a D-CDT modell magasabb szivárgási értéket és alacsonyabb diszperziós koefficiens értéket adott egy esetet leszámítva. A IV. alsó pontnál kaptam a legrosszabb illesztési értékeket, így a modellt ez alapján tovább kell fejleszteni. Az eltérés szivárgási sebesség esetében 7,76-81,14 %, a diszperziós koefficiens esetében pedig 2,53-343,13 %.

Az utolsó mérési időpontnál is hasonló értékeket kaptam mint a többinél. Itt is kijelenthető, hogy a D-CDT modell magasabb szivárgási értéket és alacsonyabb diszperziós koefficiens értéket adott. Az eltérés sebesség esetében 11,84-97,18 %, a diszperziós koefficiens esetében pedig 11,11-390,66 %.

## 4. Következtetések, javaslatok

### 4.1. Következtetések

A disszertáció első részében vizsgáltam a gyökérszívó műtárgyak transzspiráció általi vízvesztését tavasszal, nyáron és ősszel. Először labor körülmények között vizsgáltam a műtárgyra telepített sás transzspirációját, majd meghatároztam a műtárgyon lévő sás mennyiségét, ezután kiszámítottam a szezonális transzspiráció általi vízvesztésüket. Tavasszal a napi transzspiráció általi vízvesztésük 46-83%-a a hidraulikai terhelésnek. Tavasszal lehetnek olyan napok, melyeken a vízháztartást jelentősen befolyásolja a növények párologtatása. Nyáron ez az érték transzspiráció általi vízvesztésük 52-108% között alakult. Látható az értékekből, hogy akár a teljes napi feladagolt szennyvízmennyiséget is elpárologtathatja a növényzet, ezért a horizontális átfolyású gyökérszívó műtárgy vízkészlete jelentősen csökken. Emiatt megnövekedhet a műtárgyban a koncentráció, ami megnövelheti a műtárgyból elfolyó vízkoncentrációját is. Ősszel a napi transzspiráció általi vízvesztésük 17-48% között mozgott. Összességében elmondható, hogy a hidraulikai terheléshez képest is jelentős hatással van a növényzet a műtárgy vízháztartására, így a tisztítási hatásokra is.

Dolgozatom következő részében terepi mérési adatsorokból meghatároztam a napi evapotranszspirációt tavasszal, nyáron és ősszel. A vizsgált napokon a teljes vízvesztésük 71,7-93,1%-a a nappali időszakban párologt el. Ez azt jelenti, hogy a betöményedési folyamatok 4-10-szer erőteljesebbek nappal, mint éjszaka. Az éjjeli evapotranszspiráció jelentős mértékű. Voltak olyan napok, amikor a teljes vízvesztésük 20,9-28,3%-át az éjjeli evapotranszspiráció okozta, mely egy fontos tudományos eredmény, mivel a szakirodalom az éjjeli evapotranszspirációt 0-nak tekinti (GALVAÓ et al. 2010). A vizsgált tavaszi napokon az evapotranszspiráció 18,0-42,6 mm/napos érték között mozgott, ami a maximális hidraulikai terhelés 45,0-106,5%-a, nyáron ezek az értékek 12,3-42,3 mm/napra adódtak, mely a maximális hidraulikai terhelés 30,8-105,8%-a. Ősszel 13,6 - 22,7 mm/nap értékek között alakult a vízszintcsökkenés, ami 34,0-56,8%-a a hidraulikai terhelésnek.

Vizsgáltam a reggeli és esti páralecsapódás hatását is a műtárgy vízháztartására. A páralecsapódás megemeli a vízszintet a műtárgyban, és 100%-os páratartalmat eredményez, így ekkor nincs növények általi párologtatás. Volt olyan tavaszi nap, amikor az óránkénti evapotranszspiráció a napi evapotranszspiráció 16%-át tette ki, ami azt jelenti, hogy ez az érték az óránkénti átlagos hidraulikai terhelés 415%-át teszi ki. Nyáron ez az érték 229%, míg ősszel

150% volt. Tavasszal és nyáron a betöményedés kiemelten jelentős hatással van az elfolyó vízminőségére.

Dolgozatom következő fejezetében olyan sűrűségfüggvényeket vizsgáltam, melyek jobban illeszkedhetnek a konzervatív nyomjelző anyag mérési eredményekre, mint a jelenleg használatosak.

Igazoltam, hogy az Inverz Gauss-függvény lett a legrosszabb illeszkedésű a vizsgált eloszlásfüggvény típusok közül, annak ellenére, hogy ez a leggyakrabban használt eloszlás típus a szakirodalomban. A jelenleg használatos CDT-modellnek az analitikus megoldása Inverz Gauss eloszlású, így kimondható, hogy a jelenleg használatos CDT-modell nem alkalmas pontos modellezésre, mivel az  $R^2$  érték nem érte el a 0,95-ös illeszkedési értéket sem. A hiba a műtárgy korának növekedésével nő. Megállapítottam, hogy a Fréchet sűrűségfüggvény követi a legjobban a válaszgörbéket, így elmondható, hogy a sással ültetett, kavicsöltetű, hosszanti átfolyású gyökérszónás műtárgyak belső pontjain vett konzervatív nyomjelzőanyag-méréseiből kapott válaszgörbéi Fréchet-eloszlásúak. Ahol két csúcsa van a válaszgörbének, ott további egyik hagyományos eloszlás típus sem alkalmas a válaszfüggvény pontos leírására. .

Dolgozatom utolsó részében az osztott konvektív-diszperzív modellt illesztettem a műtárgy belső pontjaiban vett konzervatív nyomjelző anyag mérési eredményekre. Ez a modell tulajdonképpen két független Inverz Gauss-görbét illeszt a főáramra és a mellékáramra, és egy görbét készít belőlük, mely – ahogy azt az eredmények is megmutatták – jobban illeszkedik, mint a jelenleg használatos CDT-modell. Vannak olyan illesztések, ahol nagy különbség van a két modell között. Meghatároztam a mikropórusarányt, mely az idővel növekedik, a felső pontoknál 38%-ról 57%-ra, míg az alsó pontoknál 32,9%-ról 49%-ra.

Az eredményekből az is kiderül, hogy a 9 hónapos műtárgyban a főáram az alsó rétegben van, illetve, hogy a felső rétegekben holtterek és hidraulikai rövidzárlatok alakultak ki. Ezek leginkább a gyökérszóna jelenléte és a biofilmképződés miatt jelentek meg. A számított sebesség és diszperziós koefficiens esetében a D-CDT-modell 0,40-97,18% és 0,00-394,66% eltérést mutatott a CDT-modell eredményeihez képest. Így a D-CDT modell jobban közelíti a valós hidraulikai körülményeket. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a kifejlesztett D-CDT-modell alkalmazható a műtárgy belső pontjaira annak érdekében, hogy egy pontosabb és érthetőbb képet kapjunk a hosszanti átfolyású gyökérszónás műtárgyak hidraulikai viselkedéséről, és a benne zajló transzportfolyamatokról.

## 4.2. Eredmények tézisszerű összefoglalása

**1. tézis:** Tavaszi, nyári és őszi transzspiráció mértékének becslése laboratóriumi mérések segítségével a hosszanti átfolyású, kavicsöltetű, sással telepített gyökérszónás mőtárgyakban.

Laboratóriumi mérések során meghatároztam a tavaszi, nyári és őszi minimális és maximális transzspiráció okozta vízveszteséget a hosszanti átfolyású, kavicsöltetű, sással telepített gyökérszónás mőtárgyakban a helyi klimatikus viszonyok között.

A tavaszi transzspiráció okozta vízveszteség-értékek a mőtárgyra vezetett napi szennyvízmennyiség 46-83 %-át teszik ki, míg a nyári időszakban ez az érték akár 52-108% is lehet, ami azt jelenti, hogy nyáron lehetnek olyan napok, hetek, amikor a vízveszteség miatt nagymértékű szennyvíz-betöményedés következhet be. Ez az érték ősszel a havi feladott szennyvíz mennyiségének a 17-48%-át adja. A mérések során az is meghatározásra került, hogy a fény, hőmérséklet és páratartalom közül a legutóbbi bír a legnagyobb hatással a transzspiráció mértékére.

Publikáció: Dittrich, E., Salamon-Albert É., Somfai D., Dolgos-Kovács A., Kiss T. (2019):  
Transpiration effect of Tufted sedge for a horizontal subsurface flow constructed wetland.  
Water Science and Technology 79(10) 1905-1911 p.

**2. tézis:** Napi evapotranszspiráció alakulásának meghatározása a hosszanti átfolyású, kavicsöltetű, sással telepített gyökérszónás mőtárgyakban a helyi klimatikus viszonyok között tavasszal, nyáron és ősszel.

A mérési eredmények elemzése alapján a nappali evapotranszspiráció értéke a tavaszi, nyári és őszi időszakban a napi evapotranszspiráció 71,7-93,1%-a. Ebből következően rögzíthető, hogy az evapotranszspiráció okozta töményedési folyamatok 4-10-szer erőteljesebbek nappal, mint éjjel a hosszanti átfolyású, kavicsöltetű, sással telepített gyökérszónás mőtárgyakban. Az éjjeli evapotranszspiráció jelentős mértékű, voltak olyan napok, amikor a teljes vízveszteség 21,0-28,3%-át az éjjeli evapotranszspiráció okozta.

Meghatározásra került a tavaszi napi evapotranszspiráció, melynek értéke 18,0-42,6 mm/nap, ami 45,0-106,5%-a a napi feladott szennyvízmennyiségnek. A nyári napi evapotranszspiráció 12,3-42,3 mm/nap, ami a napi feladott mennyiség 30,8-105,8%-a. Az őszi értékek pedig 13,6-22,7 mm/nap között változtak, ami a napi feladott mennyiség 34,0-56,8%-a.

Publikáció: Dittrich, E., Somfai, D., Dolgos-Kovacs A., Salamon-Albert É. (2020): Estimated seasonal daily evapotranspiration rates for a horizontal subsurface flow constructed wetland. Review of Faculty of Engineering Analecta Technica Szegedinensia, 14(2) 1-12 p.

**3. tézis:** A reggeli és esti páralecsapódás hatása a hosszanti átfolyású, kavicsöltetű, sással telepített gyökérszűrő mőtárgyak vízháztartására a helyi klimatikus viszonyok között.

A napfelkelte és napnyugta körüli időszakban páralecsapódás figyelhető meg, amennyiben a hőmérsékleti és páratartalom értékek ideálisak. Ez kétféleképpen feje ki hatását. Egyrészt a lecsapódott pára növeli a mőtárgy vízkészletét, másrészt a 100% körüli páratartalom miatt rövid időre lecsökken a transzspiráció. A vizsgált napokon meghatározásra került az éjjeli és hajnali páralecsapódás mértéke helyi klimatikus viszonyok között. Az éjjeli és hajnali páralecsapódás együttes mennyisége a maximális hidraulikai terhelés 1,8 és 10%-a volt, ez leginkább a napfelkelte utáni időszakban csökkenti a koncentrációt a mőtárgyban, és a növények transzspirációját teljesen vagy részlegesen gátolja.

Publikáció: Dittrich, E., Somfai, D., Dolgos-Kovacs A., Salamon-Albert É. (2020): Estimated seasonal daily evapotranspiration rates for a horizontal subsurface flow constructed wetland. Review of Faculty of Engineering Analecta Technica Szegedinensia, 14(2) 1-12 p.

**4. tézis:** Egyedi szoftver újszerű alkalmazása a hosszanti átfolyású növényzettel benőtt kavicsöltetű gyökérszűrő mőtárgyak belső pontjaira végzett konzervatív nyomjelző anyag mérési hibáinak mérséklésére Fréchet-eloszlással.

A MAPLE környezetben kidolgozott matematikai eljárást alkalmaztam, mely használható konzervatív nyomjelző anyag transzportvizsgálatainak mérési hibáinak mérséklésére a mőtárgy belső pontjain.

Az eljárás a konzervatív nyomjelző anyag transzportmérési eredményekre olyan folytonos függvényt illeszt, mely figyelembe veszi a fizikai folyamatok szabta peremfeltételeket, kötöttségeket. Ezáltal a diszkrét mérésekből 100%-os anyag-visszatérülést biztosító folytonos görbék nyerhetők, melyek alkalmasak precíz transzportfolyamat-elemzésre. A szoftver segítségével bebizonyítottam, hogy a hosszanti átfolyású, kavicsöltetű, növényzettel telepített mőtárgyak belső pontjaiban vizsgált transzportfolyamatai a legnagyobb pontossággal Fréchet-eloszlással közelíthetők abban az esetben, ha a válaszfüggvénynek egy csúcsa van. Kétszűcsű válaszfüggvény esetében további kutatásra van szükség. Továbbá matematikai úton közvetve

bizonyítást nyert, hogy az 1 dimenziós konvektív-diszperzív transzportegyenlet rögzített helyen, koncentráció-idő síknegyeden vett analitikus megoldása pontatlanul illeszkedik a vizsgált mérési eredményekre.

Publikáció: Dittrich, E., Klincsik, M., Somfai, D., Dolgos-Kovacs A., Kiss T., Szekeres A. (2021): Analysis of conservative tracer measurement results inside a planted horizontal subsurface flow constructed wetland filled with coarse gravel using Fréchet distribution Environmental Science and Pollution Research 28(5) 5180-5204 p. (Impact Factor: 3,056)

**5. tézis:** Meglévő osztott konvektív-diszperzív modell innovatív felhasználása növényzettel benőtt, kavicsöltetű, hosszanti átfolyású gyökérszónás műtárgyak konzervatív nyomjelző anyag belső transzportfolyamatainak modellezésére.

1 dimenziós osztott konvektív-diszperzív transzportmodellt alkalmaztam hosszanti átfolyású gyökérszónás műtárgyak belső transzportfolyamatainak az eddig publikáltaknál pontosabb modellezésére.

A jelenleg leggyakrabban használatos konvektív-diszperzív modell eredményeihez képest ez a modell szivárgási sebesség tekintetében 0,40-97,66%-kal, míg a diszperziós tényező tekintetében 0,00-394,66%-kal adott eltérő – a valóságot jobban közelítő – eredményt.

A függvényillesztési vizsgálataim eredményeire alapozva azt feltételeztem, hogy a mért válaszfüggvény gyorsan felfutó szakaszában csak a fő áramnak van jelentős szerepe. Az előállított modell tulajdonképpen egy olyan osztott konvektív-diszperzív Inverz Gauss-görbe összegéből állítja elő úgy, hogy közben rögzíti a fő áramban és a mellékáramban résztvevő folyamatok arányát, és a két folyamat egymással párhuzamos lefutását feltételezi.

Az eredményekből igazolást nyert az is, hogy a nemzetközi szakirodalomban legnépszerűbb konvektív-diszperzív transzportmodell pontatlanabban képes leírni a hosszanti átfolyású, kavicsöltetű, növényzettel telepített gyökérszónás műtárgyak belső pontjaiban lezajló folyamatokat. Az alkalmazott modell segítségével fő belső áramlási vonalakat is sikerült meghatározni.

Publikáció: Dittrich, E., Klincsik, M., Somfai, D., Dolgos-Kovacs A., Kiss, T., Szekeres, A. (2021): Application of divided convective-dispersive transport model to simulate variability of conservative transport processes inside a planted horizontal subsurface flow constructed wetland.

Environmental Science and Pollution Research, 28 15966–15994 p. (Impact Factor: 3,056)

## A témában megjelent saját publikációk listája

1. Tudományos folyóiratokban megjelent (közlésre elfogadott), lektorált, teljes szövegű tudományos közlemény

1.1. Idegen nyelvű, impakt faktoros folyóiratban (WEB OF SCIENCE szerint):

1.1.1. Hazai kiadású

1.1.2. Külföldi kiadású

E. Dittrich, É. Salamon-Albert, **D. Somfai**, A. Dolgos-Kovács, and T. Kiss, “Transpiration effect of Tufted sedge for a horizontal subsurface flow constructed wetland,” *Water Science and Technology*, 79 1905–1911 p. IF: 1,624 (2019)

E. Dittrich, M. Klincsik, **D. Somfai**, A. Dolgos-Kovács, T. Kiss, A. Szekeres (2020): Analysis of conservative tracer measurement results inside a planted horizontal sub-surface flow constructed wetland filled with coarse gravel using Fréchet distribution. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, pp. 5180–5204, IF:3,056 (2021)

E. Dittrich, M. Klincsik, **D. Somfai**, A. Dolgos-Kovács, T. Kiss, A. Szekeres (2020): Application of divided convective-dispersive transport model to simulate variability of conservative transport processes inside a planted horizontal sub-surface flow constructed wetland. *Environmental Science and Pollution Research*, 28 15966–15994 p. 3,056 (2021)

1.2. Idegen nyelvű, nem impakt faktoros folyóiratban

1.2.1. Hazai kiadású

**D. Somfai**, E. Dittrich, É. Salamon- Albert, A. Dolgos-Kovács (2020): Estimated seasonal daily evapotranspiration rates for a horizontal subsurface flow constructed wetland. *Analecta Technica Szegedinesia* Vol. 14., II.

1.2.2. Külföldi kiadású

1.3. Magyar nyelvű, nem impakt faktoros hazai folyóiratban

**Somfai D.**, Dittrich E., Dolgosné Kovács A. (2020): Innovatív szennyvíztisztító kutatótelep Pécsen. *Dunakavics* VIII. évfolyam, X. szám

**Impakt faktor összesen: 7,736**



## Felhasznált irodalom

- BEEBE, D. A., CASTLE, J. W., MOLZ, F. J., RODGERS, J. H. (2014): Effects of evapotranspiration on treatment performance in constructed wetlands: Experimental studies and modeling. *Ecological Engineering*, 71 394–400 p.
- DITTRICH, E. (2006a): A gyökérszónás szennyvíztisztítás hazai tapasztalatai és elterjedésének lehetőségei. *Maszesz Hírcsatorna*, 10-20 p.
- DITTRICH, E., KLINCSIK, M. (2015a): Analysis of conservative tracer measurement results using the Fréchet distribution at planted horizontal subsurface flow constructed wetlands filled with coarse gravel and showing the effect of clogging processes. *Environmental Science and Pollution Research*, 22 (21) 17104–17122 p.
- 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*, 22 (22) 18148-62 p.
- FLEIT, E. (1988): Gyökérszónás szennyvízkezelés. VITUKI jelentés, 3 – 20 p.
- GALVÃO, A. F., MATOS, J. S., FERREIRA, F. S., CORREIA, F. N. (2010): Simulating flows in horizontal subsurface flow constructed wetlands operating in Portugal. *Ecological Engineering*, 36 (4) 596–600 p. .
- KICKUTH, R. (1981): Verfahren spinzip. - Der Wurzelraumsorgung-Mitt. Des wasserer bandstonges wiedersachsen un der Landesverbander wasser-und bodenverbände in Hessen und Rhein land-Pfalz, 51 p.
- MASZESZ MI-I-1:2003 Természet-közeli szennyvíztisztítás. Gyökérmezős szennyvíztisztító kialakítása és üzemelése. Független átfolyás. MASZESZ műszaki irányelv.
- SZILÁGYI, F. (1994): A szügyi gyökérszónás szennyvíztisztító próbaüzemének értékelése és a telep végeleges üzemelési utasítása. Vituki Consult Rt., Budapest
- SZILÁGYI, F. (1998): Nádágyas szennyvíztisztítás. “Környezetvédelem és Kutatás Fejlesztés”Országos Környezetvédelmi Innovációs Konferencia Kiadványa, Budapest, p. 25.-27.
- SZILÁGYI, F. (2004): A természet-közeli szennyvíztisztítás: áldás vagy átok? *Vízmű Panoráma*, XII.: 9-15 p.
- TUTTOLOMONDO, T., LICATA, M., LETO, C., LEONE, R., LA, BELLA, S. (2015): Effect of plant species on water balance in a pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetland

planted with *Arundodonax* L. and *Cyperusalternifolius* L. – Two-year tests in a Mediterranean environment in the West of Sicily (Italy). *Ecological Engineering*, 74 79-92 p.