

Gyökérvázolás tisztítómezők méretezése egyesített csatorna túlfolyójára – első tapasztalatok az Orage szoftverrel

Pálfy, T.G. *

* Tamás Gábor Pálfy EIRL, 19 rue de l'Étoile, Tassin-la-demi-Lune, 69160 Franciaország
(palfy.tamas@gmail.com)

Kivonat

Az egyesített csatorna túlfolyóját tisztító gyökérvázolás tisztítómezők új lehetőséget jelentenek a vízgyűjtő-gazdálkodásban. Hatékonyak mind lebegtetett mind oldott szennyezők eltávolításában, beleértve mikroszennyezőket is. Mérséklik a hidraulikai sokkot, melyet a városi vízgyűjtőről érkező lefolyások okoznak. Az Orage egy új, tervezést segítő modellező szoftver méretezésükre. A szoftveres méretezés 1) emissziós határértékekhez igazítja a létesítményt, 2) segít elkerülni az alul- s túlméretezést, valamint 3) jelentős megtakarításokhoz vezethet. A dolgozatban bemutatott első méretezési tapasztalatok megmutatták, hogy az Orage szoftver hatékonyan segíti a vízgyűjtő-gazdálkodás szereplőit. A szimulációkhoz analitikai módszert kapcsolva pedig, mely a dolgozatban a TOWS mátrix, segíthető a döntés, valamint a mérnöki tervezés. A TOWS mátrix alkalmazása a túlfolyók mérési vagy csatorna-szimulációs adatsorainak hiányossága esetén különösen indokolt.

1. Bevezetés

Európában a népesség mintegy háromnegyede él városi környezetben (UN 2014). A városszétfolyás a burkolt felületek arányának növekedését, valamint az épített környezet anyagainak változását jelenti. A vízzáró felületek megnövelik a csapadékos idő okozta felszíni lefolyás térfogatát, és megrövidítik a gyülekezési időt. Az összegyűjtött csapadékvíz hidraulikai sokkot okoz: ez más szavakkal egy rövid lefolyású magas árhullám a városi vízgyűjtő gyakran kis vízhozamú vízfolyásain. Továbbá, a csapadék szennyező anyagokat mobilizál, mos vagy old ki mesterséges anyagokból, a levegőkörnyezetből, vagy a kommunális szennyvízzel keveredve. Következésképp a természetes vizek hidraulikája és vízminősége, tehát fizikai, kémiai és biológiai állapota is leromlik, ami a vízgyűjtő-gazdálkodás számára kihívást jelent. Az úgynevezett „városi vízfolyás tünetegyüttes” a kisvízfolyások általános értelemben vett leromlását jelenti a vízzáró felszínnek terjeszkedésével, az urbanizáció következményeként (Loperfido et al. 2014, Fournel 2012, Walsch et al. 2005, Chocat et al. 1994).

Az EU Víz Keretirányelve (2000/60/EC, VKI) előírja a vízgyűjtő-gazdálkodás feladatköreit. A direktíva fő célja a leromlott állapotú vizek minőségének javítása, valamint a jó állapotban lévő vizek minőségének védelme. Magyarországon egyesített rendszerű szennyvízhálózat esetén a befogadó víztest adottságai alapján esetenként kell meghatározni, hogy a csapadékvízzel felhígult szennyvíz (kevert szennyvíz - KSZ) milyen feltételekkel bocsátható ki. A KSZ a megfelelő hígulás elérése után bocsátható ki a záporkiömlőn keresztül, hogy a környezetben káros hatás vagy bűzhatás ne keletkezzék (Kr. 2010/147). Habár az egyesített csatorna többletvizeinek természetes vizekbe való tisztítás nélküli bevezetése általános gyakorlat Európában, a VKI céljainak elérése érdekében a kevert, de sokszor a leválasztott rendszerből származó csapadékvizek tisztítása is szükséges lesz.

Ennek oka a városi csapadékvíz számos káros hatása a természetes vizekre nézve. Ezek Marsalek (1998) szerint:

- medererózió és bevágódás
- mederfeliszapolódás
- árvizek
- vízhőmérséklet növelése
- oldott oxigén hiánya (szerves szennyezők)
- tápanyagfeldúsulás, eutrofizáció (N és P)
- akut és felhalmozódásos toxicitás (pl. $\text{NH}_4\text{-N}$, nehézfémek)

A csapadékesemény okozta sokk maradandó következménye a biológiai állapot leromlása (Marsalek 1998). A biológiai közösségek regenerációja a jelenség rendszeressége miatt nehézkes. Ugyanakkor a kevert szennyvíz szennyezettsége elérheti a kommunális szennyvizékét KOI, öIA és nehézfémek tekintetében, és jelentős mennyiségű ammóniumot is tartalmazhat (Kadlec és Wallace 2009). A felszíni vizek minőségi és mennyiségi problémáinak kezelésére a fejlett országokban a csapadékvíz-kezelés módszerei egyre szélesebb körben alkalmazottak. Ezen módszerek technikai megoldások vagy üzemeltetési szabályok (Muthukrishnan et al. 2006). Technológia terén a gyakorlat általában a centralizált megoldásokat alkalmazza, viszont a decentralizált megoldások is elterjedőben vannak (Loperfido et al. 2014). Leghatékonyabb ezek együttes alkalmazása.

Ez a dolgozat tapasztalatokat mutat be az egyesített csatornák túlfolyójának tisztításából, nevezetesen a függőleges átfolyású gyökérszűrés tisztítómezők szoftveres méretezéséből. A továbbiakban ezekre „kevertvízes tisztítómezők” vagy KT kifejezés hivatkozik. (Az alkalmazott Orage szoftver egyébként alkalmas elválasztott csatornarendszer vizeit tisztító – tisztán csapadékvízes – szűrőmező tervezésének segítésére is).

A szűrőmező technológia és az Orage szoftver tömör bemutatása a következő fejezetben történik. Maga a tisztítómező a csatornahálózat túlfolyási pontja és a befogadó víztest közt kerül létesítésre. A KT létesíthető decentralizált rendszerek elemeként is, más technológiai és üzemeltetési megoldásokkal összehangolva. Franciaországban az egyesített rendszerű csatornák aránya körülbelül 25% a teljes csatornahálózat hosszához képest (SoeS 2011). A technológia megjelenése óta a méretezett KT szűrőmezők száma egy tucatra becsülhető.

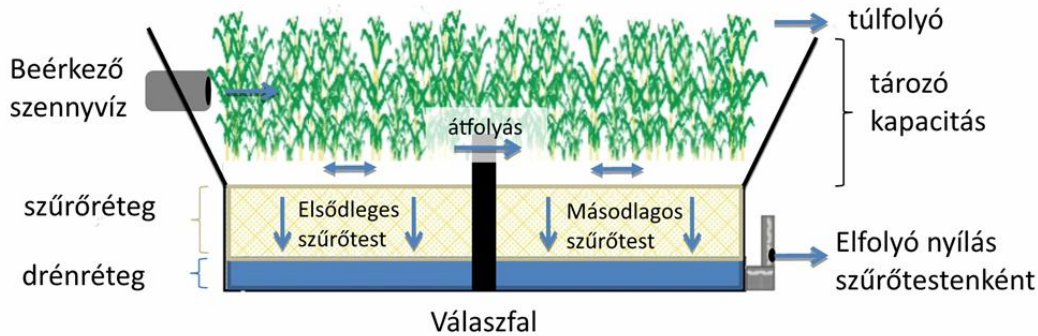
2. Anyag és módszer

2.1. Francia rendszerű kevertvízes tisztítómező

A KT függőleges átfolyású épített rendszer mely a csapadékeseménykor keletkező, egyesített üzemű csatornahálózat túlfolyóit kezeli. Ezek azok a vizek, amiket a szennyvíztelep a megnövekedett vízhozam miatt befogadni már nem képes. A Francia csúcstechnológiát (1. ábra) 1) németországi, hasonló rendszerekkel szerzett tapasztalatok (Dittmer és Schmitt, 2011; Frechen et al., 2006; Uhl és Dittmer, 2005); 2) a „francia-típusú” kommunális szennyvizet kezelő tisztítómezők (Molle et al. 2005) és 3) tesztméretű szűrőmezőkön végzett kutatások (Fournel 2012) inspirálták. Legfontosabb jellemzőik a következők:

- előülepítés nélkül fogadják a szennyvizet ami minimalizálja a szennyvíziszap-kezeléssel járó munkálatokat;
- két szűrőtestből álló szűrőágyak, melyeknek prioritása változtatható, így az egyik szűrőtest túlnyomóan pihentetve van és így az eltömődés nyers szennyvíz mellett is elkerülhető;

- a szűrőágy legalsó rétege vízzel telített, melynek aszályos időszakokban van szerepe a nád és a biofilm túlélésében, valamint minimalizálja a hidraulikai rövidzárat mely alacsony intenzitású csapadékkor keletkezhetne;
- a levegőzőcsövek a vízzel telített réteg fölött, a szűrőrétegben futnak, különválasztva a drénhálózattól;
- a szűrőanyaghoz zeolit van keverve, ha magas ammóniumeltávolítás szükséges;
- a szűrőágy felszínére vékonyan komposzt kerül, ami segíti a nád megeredését és hőszigetel



1. Ábra: A

francia kevertvízes tisztítómezők keresztmetszete az áramlás irányával. A szűrőmező jelentős tározókapacitást szolgálhat.

is.

A szűrőágy geomembránnal szigetelt. A csapadékeseménykor keletkező kevert szennyvíz az elsődleges szűrőágyba érkezik a záporkiömlőn keresztül és megtölti a porózus szűrőanyagot. Minden töltés kezdetén a szivárgás a kiömlő közvetlen környezetére korlátozott, mivel a szűrőréteg hidraulikai vezetőképessége magas. Ez az állapot a hidraulikai rövidzár. Ez megfelelő tervezés esetén rövid ideig tart és a szűrőréteg hamar vízzel telítődik. Az elfolyót a drénhálózat végén lévő elfolyó nyílások átmérője korlátozza. A porózus anyag telítődését követően a víz megjelenik a szűrőágy feletti tározómedencében, mely a működés normál állapota. Ettől kezdve az elfolyón lévő méretezett furat közel egyenletes szivárgást biztosít. Ezzel beáll a névleges tartózkodási idő és a tisztítási folyamatok hatékonysága.

A két szűrőágy között hidraulikai kapcsolat akkor jön létre, ha a vízszint eléri az összeköttetést biztosító csövet. Ekkor kezdődik a másodlagos szűrőágy feltöltődése. Extrém csapadékeseményekkor a víz szintje a fal magassága fölé emelkedhet, vagy akár túlfolyás is jelentkezik. Amikor a csapadékeseménynek vége, a tárolt víz folyamatosan átszivárog a szűrőrétegben. A rendszer a telített drénréteget kivéve kiürül.

A tisztítási folyamatok az öla, szerves szennyezők (KOI, BOI), tápanyagok (szerves P, szerves N, $\text{NH}_4\text{-N}$) és mikroszennyezők eltávolításában érvényesülnek. A tisztulás első lépése az üleptetés és fizikai szűrés, mely a szűrőágy felszínén és annak felső néhány centiméterében történik (Dittmer 2006). Az oldott szennyeződések eltávolító folyamatok az oldott szerves szennyezők lebontása (pl. KOI) és adszorpció, különös tekintettel az ammóniára. Ezek a folyamatok az üzem alatti időszakot

dominálják. Az üzemek közti időszakokra a szűrőágy kiürül. Ekkor a szűrőtest pórusaiban és az iszaprétegben a még nedves, de már aerob környezet biztosítja a nitrifikációt és a szerves anyagok ásványi lebontását (Dittmer és Schmitt, 2011; Meyer, 2011; Dittmer et al, 2005; Uhl és Dittmer, 2005). A szűrőágyak ilyenkor regenerálódnak.

2.2. A kevertvizes tisztítómezők tervezést segítő modellezése

A KT-k optimalizálása során elsődleges szempont, hogy minden túlfolyási pont különbözik. Ezért az optimalizálás rugalmas megközelítést kíván. A vizek változékonyak (idegen szóval sztochasztikusak) 1) visszatérési idő, 2) térfogat és 3) koncentrációk tekintetében. Kifejezetten a francia KT-k tervezésének segítésére hozták létre az Orage szoftvert. Magmodellje (Pálfy et al. 2018) és optimalizációja (Pálfy et al. 2017) tudományos eredményeken alapul.

Az Orage automatikusan kiválasztja a szűrőágy optimális felszínét a lehető legegyszerűbb szűrőanyagot keresve (értsd: zeolit nélkül vagy minél kisebb mennyiségű zeolittal). A szoftver ideális esetben mért vagy szimulált, de hosszú távú (kb. egy-öt év) vízhozam- és koncentrációgörbékkel dolgozik. A szoftver magmodellje szimulálja a szűrőmező hidraulikáját, valamint az elfolyó öla, KOI és NH₄-N koncentrációit, magas időbeni lebontásban. Számos paramétert a környezeti faktoroknak megfelelően magától állít be. Ilyen például a regionális klíma az adott évszakban, vagy a szűrőmező lecsökkent teljesítménye az aszályos időszakok után. Az eszköz tisztán csapadékvizes szűrőmezőket is képes szimulálni. Ezeknél az optimalizálás hidraulikai értelemben történik az amúgy magas hatásfok (öla, lebegtetett KOI) vagy az alacsony koncentrációk (oldott KOI, NH₄-N) (Zgheib et al. 2012) miatt.

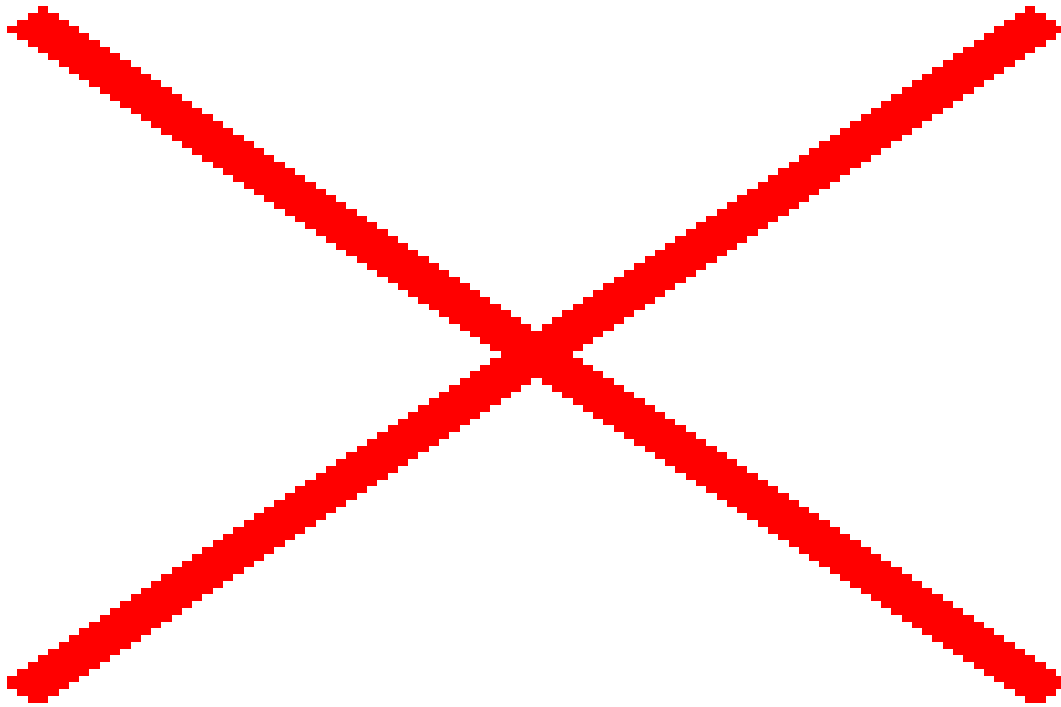
A magmodell egy numerikus modell, amely részletes beviteli adatsorokkal dolgozik. A szűrőágy méretezését és a szűrőanyag kiválasztását segíti számítósos úton. A beviteli adatsorokat a túlfolyási pontoknál mérik, vagy csatornamodellek kalibrált szimulációs eredményei. Csatornamodellekre példa a KOSIM, Mike Urban, SWMM és MOUSE motor, valamint a CANOE (Schütze et al. 2002; INSAVALOR and SOGREAH 1997). A modell fix időlépésekkel dolgozik, melyek 6-15 perces tartományban lehetnek. Ez a beviteli adatok struktúrájára vonatkozik.

2.3. Beviteli adatok példái a tervezési gyakorlatból

2.3.1. Pau, Franciaország

Az Orage-zsal modellezett első megvalósíthatósági tanulmány. Az egyesített csatorna kevert szennyvize a város szennyvíztelepe (140.000 LÉ) felett folyik túl jelentősebb csapadékeseményeknél. A csapadékesemények vízhozam- és koncentráció adatait egy éven át havi egy túlfolyás alkalmával követték (1. táblázat). A mérések a túlfolyó víztérfogatot és a KOI, valamint az öla koncentrációkat rögzítették. A tápanyagok, beleértve a TKN és az NH₄-N értékei csupán négyszer kerültek mérésre. A táblázat szürkével jelölt TKN és NH₄-N értékeit a túlfolyó térfogata és mért koncentrációja közti lineáris regresszió alapján lehetett becsülni. TKN-re ez $y = -0.00688x + 28.2$; $R^2 = 0.89$, míg NH₄-N-re a regresszió $y = -0.0041x + 13.6$; $R^2 = 0.83$.

1. Táblázat: A Paunál túlfolyó kevert szennyvíz mért víztérfogat- és koncentrációadatai



A Paunál lévő kibocsátási pont víztérfogat-adatai kumulált értékek voltak, valamint a koncentrációértékek is pontértékeként álltak rendelkezésre. Az adat-előkészítés első feladata ezen értékek adatsorokba rendezése volt a szoftver számára. A vízhozam adatok esetén a szolgáltató által közölt 0-150 m³/h kibocsátási tartomány segített. Ez alapján a kibocsátás üteme konstans 75 m³/h-ban került rögzítésre. Ezen érték és a térfogatösszegek alapján készült a részletes időbeni felbontású adatsor, mellyel az Orage szoftver dolgozni képes.

Beviteli koncentrációknak az öIA, KOI és NH₄-N értékei, habár konstans formában, de rendelkezésre álltak minden csapadékeseményhez. Viszont havi egy mérés történt csak. Ez azért fontos, mert a valóságban ennél több csapadékesemény generált túlfolyást. Ez pedig kevesebb regenerációs időt jelentene két csapadékesemény közt az ammónium adszorpciós kapacitásokra nézve mint amivel a modell dolgozik. Ezért a modellezéshez az amúgy magasabb TKN értékek kerültek felhasználásra az elővigyázatosság elve alapján. Az egyszerűsítések az analízisben kerültek további tárgyalásra.

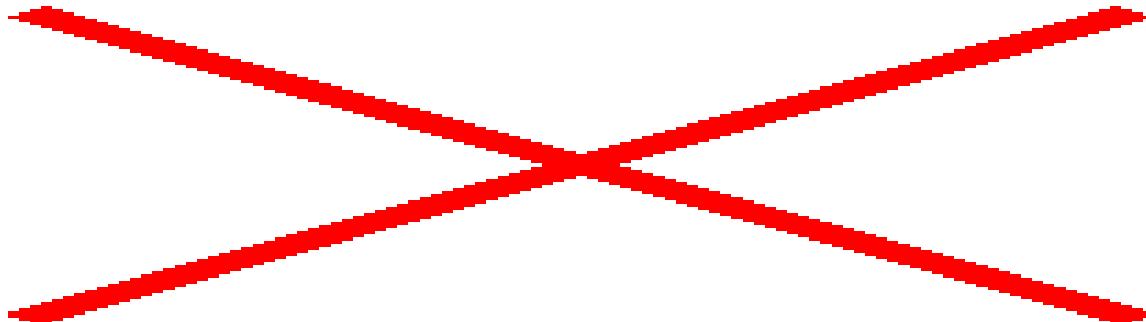
A megvalósíthatósági tanulmány fő kérdései a következők voltak:

- Fél éves visszatérési idejű csapadék kezelése (1547 m³)
- Kibocsátás korlátozása 36 m³/h-ra (de nem volt követelmény)
- Tartható-e 25 g/m³ alatti öIA?
- Tartható-e 125 g/m³ alatti KOI?
- Tartható-e 35 g/m³ alatti BOI5?
- Tartható-e 15 g/m³ alatti ÖN?
- Tartható-e az ÖP 5 g/m³ vagy 2 g/m³ alatt?
- Milyen TKN, ammónium és nitrát koncentráció várható?

2.3.2. Peyrins, Franciaország

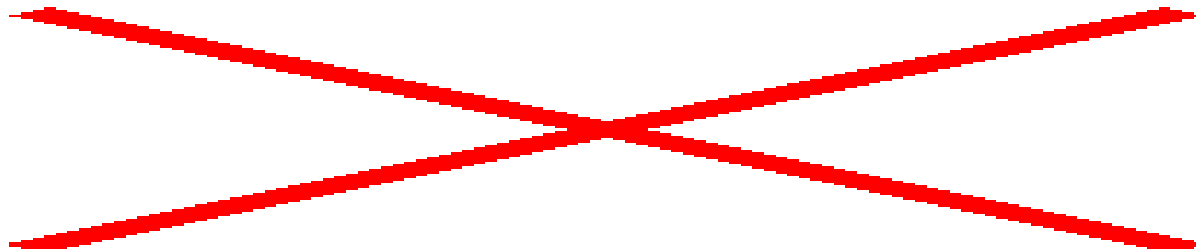
Az elővárosi egyesített csatorna túlfolyója az érzékeny *Savasse* patakba érkezik. A patak VKI szerinti állapotát a 2. táblázat foglalja össze. A táblázat kivonatos formában tartalmazza azokat a vízgyűjtő-gazálkodási terv (VGT) szerinti imissziós követelményeket, melyek egy szimuláció előkészítésében érdekesek lehetnek.

2. Táblázat: A *Savasse* patak vízminősége és VKI szerinti állapota



Az egyesített üzemű csatorna túlfolyójának térfogatadatai hat perces lebontásban, hat évre álltak rendelkezésre. A koncentrációadatok ezzel szemben három alkalommal, pontminta vételezésével lettek mérve (3. táblázat).

3. Táblázat: A *Peyrins*-nél túlfolyó kevert szennyvíz mért vízhozam- és koncentrációadatai



A szimulációkhoz a legmagasabb mért koncentrációértékek kerültek felhasználásra a teljes időskálán. Ezek 290 g/m^3 öIA, 222 g/m^3 KOI és $5,4 \text{ g/m}^3$ $\text{NH}_4\text{-N}$ feltételeztek minden csapadékesemény teljes túlfolyó térfogatára, az elővigyázatosság elve alapján. Az itt ismertetett egyszerűsítések az analízisben kerültek további értékelésre.

A megvalósíthatósági tanulmány több lehetőséget vizsgált, melyek közül a végső irány a dolgozat elkészítéséig még nem került kiválasztásra. A vizsgálatok irányai a következők voltak:

- méretezés 1000 m^3 víztérfogat kezelésére (kb. hat hónap visszatérési időnek felelt meg)
- további méretezés egy hónap visszatérési idejű víztérfogatra
- a tisztítómezőből kibocsátott legnagyobb vízhozam $18 \text{ m}^3/\text{h}$ és $36 \text{ m}^3/\text{h}$ küszöbértékekkel is megengedő $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentráció: 12 g/m^3
- további szimuláció a legalacsonyabb elérhető $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentráció vizsgálatára

Az érthetőség kedvéért jelen dolgozatban kizárólag a következő vizsgálandó irányművet tárgyaljuk:

- hat hónap visszatérési idejű víztérfogó
- 18 m³/h kibocsátási határérték
- 12 g/m³ NH₄-N határérték
- 10 g/m³ NO₃-N határérték
- 90 g/m³ KOI határérték

2.4. SWOT analízis és TOWS mátrix

A SWOT analízis általában az üzleti életben használt technika a tervezés (pl. projektek) elősegítésére. A betűszó az angol Erősségek (Strengths), Gyengék (Weaknesses), Lehetőségek (Opportunities) és Fenyegetések (Threats) szavakból tevődik össze. A SWOT analízis egy egyszerű eszköz a belső (S és W) és külső (O és T) ható tényezők áttekintésére.

Esetünkben ezek nem egy üzleti modellre ható tényezők. Belső tényezők itt az ismert beviteli adatsorok és a szoftver által javasolt szűrőmező jellemzői. Külső tényezők a beérkező vizek elképzelhető változásai a beviteli adatsorokhoz képest, valamint egyedi technológiai megoldások a szűrőmező tervezéséhez. A külső tényezők tehát változtathatják a modell által javasolt szűrőmező hatékonyságát.

A TOWS mátrix a SWOT analízis egy változata. Ennél is meghatározásra kerülnek az erősségek, gyengeségek stb., majd egy mátrixba rendezve az analízis során ezek kapcsolatba hozandók. Ez által a TOWS mátrix konkrét lépésekre bontja a stratégiai tervezést – esetünkben elősegíti a döntést és a mérnöki tervezés lépéseit, valamint a kockázatelemzést. Más szavakkal, a szimuláció által javasolt szűrőmező megbízhatóságát, és a megbízhatóság növelésének lehetőségeit tárja fel.

A dolgozatban a TOWS mátrix kísérleti jelleggel kerül alkalmazásra. Ennek célja a TOWS analízis hasznát vizsgálni, amennyiben az a szoftveres méretezés, valamint a döntés és a mérnöki tervezés közötti általános lépés lenne. Ezen kívül a dolgozatban a mátrix segíti a két szimulációs esettanulmány eredményeinek értékelését az olvasó számára, hasonló elgondolás alapján.

3. Analízis

3.1. Szimulációs eredmények

3.1.1. Pau, Franciaország

A tisztítómező mérete és hidraulikája

A szimuláció egy normál szűrőmezőt ajánlott a hat hónapos visszatérési idejű csapadék kezelésére. A szűrőágy alapterülete 488 m², mélysége 60 cm volt. A szűrőtöltet anyaga durva homok és 18 cm zeolit volt az ammónium adszorpciós kapacitás növelésére. A leghosszabb tározási idő 2 nap volt, hat hónap visszatérési idővel. A hidraulikai rövidzár ideje 0.7%-a volt a teljes üzemidőnek. Az éves hidraulikai terhelés 19 m-nek adódott.

Szennyezőanyag-eltávolítás

A KOI és NH₄-N elfolyó szimulált koncentrációértékeit a 2. ábra két bal oldali panelja szemlélteti. Az öla legmagasabb koncentrációja a tisztított vízben 10.1 g/m³ körül volt, körülbelül 40%-a a határértéknek. A tisztított elfolyó KOI koncentrációja 109 g/m³ körül volt. A medián koncentráció 68 g/m³ körül volt. Az ammónium-nitrogén esetén a szimuláció a szűrőmező méretét és anyagát a 3 g/m³ maximális értékhez igazította. A elfolyó koncentrációk felső kvartilisa a 2 g/m³ értéknél, a medián az 1,5 g/m³ értéknél volt a beérkező átlag 23.2 g/m³ értékhez képest.

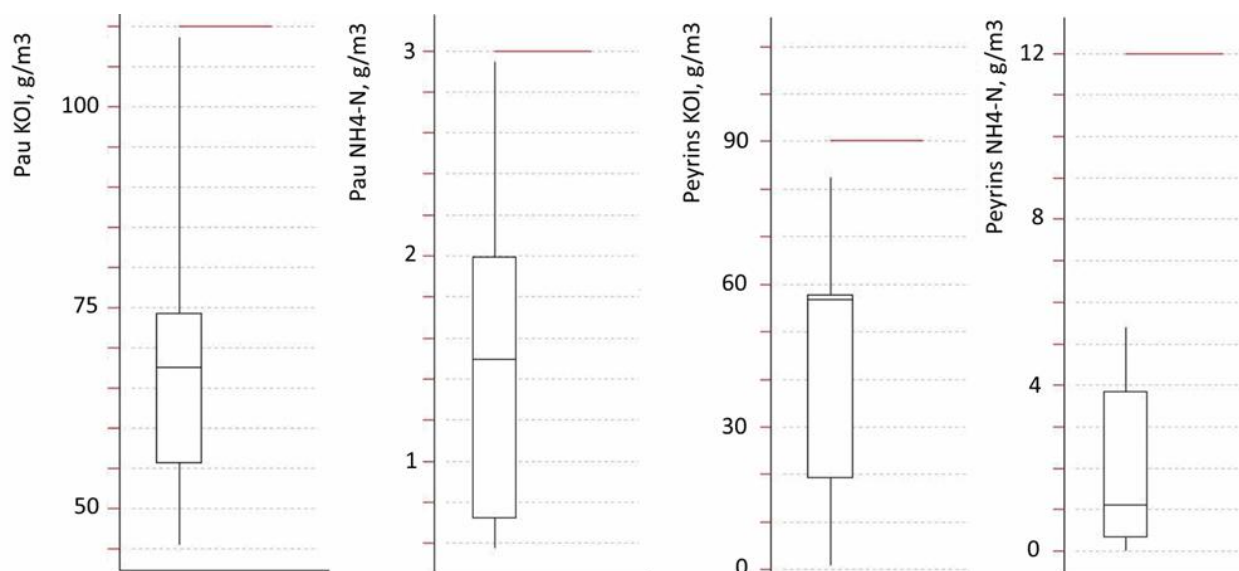
3.1.2. Peyrins, Franciaország

A tisztítómező mérete és hidraulikája

A szimuláció egy kompakt szűrőmezőt ajánlott. A kompakt szűrőmező egy olyan, megnövelt tározókapacitású csapadékvizes szűrőmező, melynél a tározómedence alapterülete jelentősen meghaladta a szűrőágy alapterületét. A szűrőágy alapterülete 109 m^2 , mélysége 60 cm volt. A szűrőtöltet anyaga durva homok volt, zeolit adalék nélkül. A leghosszabb tározási idő öt napnak adódott, öt hónap visszatérési idővel. A hidraulikai rövidzár ideje 0.6% -át tette ki a teljes üzemidőnek. Az éves hidraulikai terhelés 134 m -nek adódott.

Szennyezőanyag-eltávolítás

A KOI és $\text{NH}_4\text{-N}$ szimulált koncentrációértékeit a 2. ábra két jobb oldali panelja szemlélteti. Az ölaA legmagasabb koncentrációja 9.3 g/m^3 körül volt a tisztított vízben. A 90 g/m^3 KOI határérték könnyen teljesült. A legmagasabb koncentráció 82 g/m^3 -nek, míg a medián koncentráció 57 g/m^3 -nek ígérkezett. Az elfolyó $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációja jóval a 12 g/m^3 -es határérték alatt maradt, 1.1



2. Ábra: A tisztított vizek várható KOI és $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációértékei az automatikus optimalizáció után. A két bal oldali panel a Paunál, a két jobb oldali panel pedig a Peyrins-nál várható koncentrációk boxplotjai. A bajszok a szimulált értékek minimumát és maximumát jelölik. A panelek felső részében található vízszintes jelölés a méretezéshez használt emissziós határérték.

g/m^3 -es medián értékkel és 5.4 g/m^3 -es csúcserékkel.

3.2. TOWS analízis

3.2.1. Pau

Az analízis eredményét a 4. táblázat tartalmazza. Döntéshozói szempontból az $\text{NH}_4\text{-N}$ határértékek tovább szigoríthatók (C2) és a méretezés megbízhatóan szigorítható a beviteli adatok hiányossága ellenére. Habár a szűrőágy tényleges hidraulikai terhelése és a beérkező szennyvizek frekvenciája ismeretlen, a méretezés bizonytalanságát a javasolt szűrőmező szabad kapacitásai ellensúlyozzák (A5, B6, C7). A bizonytalanságok már csak egy kalibrált csatornaszimulációval, vagy a kezelendő víztérfogat-érték növelésével lennének tovább csökkenthetők (E2, G2, F6). A

tervezés megkezdése előtt célszerű döntést hozni a kiegészítő kezelés szükségességéről a további tápanyag-eltávolításért (H3, I4).

Mérnöki szempontból a hidraulikai rövidzár elkerülése minden szűrőmező esetén fontos feladat. Mivel a szimuláció során használt hidraulikai adatsorok nem teljesek, ezért javasolt két szintű vagy elektronikusan szabályozott elfolyónyílás alkalmazása (D1). A tervezés során a teljes tápanyag-eltávolításról hozott döntésnek megfelelően vagy a bővítéshez szükséges szabad terület hagyása, vagy a fokozatok közvetlen kiépítése lehet szükséges (H3, I4). Szabad terület hagyása célszerűbb lehet, mivel így a második fokozat méretezésére később, a tisztított víz monitoringadatai alapján pontosabb lehetőség adódik.

4. Táblázat: A Paunál lévő túlfolyóra méretezett szűrőmező megvalósíthatósági értékelése (TOWS mátrix)

	<p>S: ERŐSSÉGEK</p> <p>A) szabad kapacitás az éves hidraulikai terhelésre nézve kb. ötszörös</p> <p>B) modellezett KOI határfok aszály utáni (csökkentett) a beviteli adatsor szakadásai miatt</p> <p>C) adszorpciós kapacitás NH₄-N helyett TKN-re méretezve</p>	<p>W: GYENGÉK</p> <p>D) kumulált beérkező víztérfogat-értékek időbeni lebontás helyett</p> <p>E) pontmintavétel (koncentrációk)</p> <p>F) csak egy éves a beviteli adatsor</p> <p>G) eltúlzott hosszúságú regenerációs időszakok (havonként egy mérés)</p> <p>H) nitrát nem modellkomponens</p> <p>I) foszfát nem modellkomponens</p>
<p>O: LEHETŐSÉGEK</p> <p>1) elfolyó kiegészítő szabályozása</p> <p>2) szigorúbb NH₄-N határértékre méretezés</p> <p>3) nitrát csúcsok kiegészítő kezelése</p> <p>4) foszfát kiegészítő kezelése</p>	<p>C2: vagy nincs teendő, vagy más NH₄-N korlát választása és ismételt méretezés</p>	<p>D1: kettős elfolyónyílás vagy elektronikus irányítás a hidraulikai rövidzár kockázatának kezelésére</p> <p>E2, G2: csatornaszimuláció kalibrálása és ismételt méretezés</p> <p>H3, I4: 15% + 15% szabad terület hagyása az elfolyónál vagy kiegészítő fokozat azonnali építése</p>

<p>T: FENYEGETÉSEK</p> <p>5) a tényleges hidraulikai terhelés ismeretlen</p> <p>6) tényleges visszatérési idők nagyban eltérhetnek az egy éves adatsorhoz képest (vízterfogatok)</p> <p>7) rövid regenerációs idő és magas NH₄-N terhelés nem kizárt a valóságban</p>	<p>A5: nincs teendő</p> <p>B6: nincs teendő</p> <p>C7: lásd C2</p>	<p>F6: magasabb kezelendő vízterfogat meghatározása (pl. az éves érték választása a szimulációhoz) és ismételt méretezés</p>
---	---	---

3.2.2. Peyrins

Az analízis eredményeit az 5. táblázat szemlélteti. Döntéshozói szempontból fontos lehet, hogy habár a beviteli adatok hiányosak, egy szigorúbb NH₄-N határértékekre méretezés megbízhatóan elvégezhető lenne a már meglévő adatokkal is (A4). Ezen kívül a javasolt szűrőmezőnél szaghatás kockázata jelentkezik, körülbelül öt havonta egyszer. A kockázat két úton kezelhető. Az első a kockázat elfogadása, vagy egy esetleges, pár méteres bufferzóna kialakítása a tározómedence körül (G2). A másik a szűrőágy területének 34% és 66% közti növelése a szoftver által javasolthoz képest (G3). Ez utóbbi megszünteti a szaghatás kockázatát, mert a víz hamarabb kiürül. A tervezés megkezdése előtt célszerű döntést hozni a kiegészítő kezelés szükségességéről a további nitráteltávolításért (H5). A kiegészítő fokozat fontos lehet, ha az átlag kibocsátási érték 10 g/m³ alatt tartása nem elégséges és a nitrátkimosás teljes megszüntetése a cél. Ez utóbbi esetben megjegyzendő, hogy mivel nitrát értékek nem kerültek mérésre a túlfolyóban, a kommunális szennyvíz nitrát adatai ellenőrizendők (H8, pl. esetleges ipari kibocsátó miatti emelkedett értékek). Szabad terület hagyása célszerűbb lehet mint a fokozat azonnali megépítése, mivel így a második fokozat méretezésére később, a tisztított víz monitoringadatai alapján pontosabb lehetőség adódik.

Mérnöki szempontból a szűrőmező egy klasszikus kompakt szűrőmező. Ez azt jelenti, hogy a kialakításnál a szűrőágy 109 m²-es területén felül gondoskodni kell egy jelentős tározótérfogatról. Az optimalizált szűrőágy öla terhelése magas lehet, ezért, habár nem szükségszerű, de javasolt a részleges öla eltávolítás a túlfolyó szűrőágyra érkezése előtt (D1). Amennyiben a szűrőágy területének megnövelése mellett születik döntés, kettős elfolyó vagy elektronikusan szabályozott elfolyó kiépítése, vagy a szimuláció megismétlése javasolt (G3). Célszerű lehet szabad területet hagyni a szűrőmező elfolyójánál egy későbbi bővítésre kiegészítő fokozattal (H5).

5. Táblázat: A Peyrins-nál lévő túlfolyóra méretezett szűrőmező megvalósíthatósági értékelése (TOWS mátrix)

	<p>S: ERŐSSÉGEK</p> <p>A) a szimuláció a legmagasabb mért koncentráció-értékkel egy teljes, hat éves hidraulikai adatsor mellett történt (elővigyázatosság)</p> <p>B) szabad KOI kapacitás 10% az elfolyó határértékéhez képest</p> <p>C) szabad NH₄-N adszorpciós kapacitás a magas határérték okán</p>	<p>W: GYENGÉK</p> <p>D) éves hidraulikai terhelés emelkedett (134 m/év)</p> <p>E) csak három mért koncentrációérték</p> <p>F) pontmintavétel</p> <p>G) leghosszabb tározási idő öt nap melynél jelentkezik a kellemetlen szag kockázata</p> <p>H) nitrát nem modellkomponens</p>
<p>O: LEHETŐSÉGEK</p> <p>1) kompakt szűrőmező építése előülepítéssel</p> <p>2) öthavonta jelentkező enyhe szag kockázatának értékelése</p> <p>3) elfolyó kiegészítő szabályozása</p> <p>4) szigorúbb NH₄-N határértékre méretezés</p> <p>5) nitrát csúcsok kiegészítő kezelése</p>	<p>A4: új, szigorúbb NH₄-N határértékre méretezés megbízhatóan elvégezhető a már meglévő adatokkal is</p>	<p>D1: részleges öLA eltávolítás a tározómedence egy erre kialakított pontján, vagy előülepítő tóban</p> <p>G2: bufferzóna kialakítása vagy kockázatértékelés</p> <p>G3: kettős elfolyó vagy elektronikusan szabályozott elfolyó 34% vagy 66%-kal nagyobb területű száróágy mellett (tartózkodási idő 90 óra vagy 72 óra lenne, hozzávetőlegesen)</p> <p>H5: 15% szabad terület hagyása az elfolyónál vagy kiegészítő fokozat építése</p>
<p>T: FENYEGETÉSEK</p> <p>6) beérkező KOI csúcskoncentrációk magasabbak is lehetnek</p> <p>7) beérkező NH₄-N csúcskoncentrációk magasabbak is lehetnek</p> <p>8) beérkező nitrát koncentrációk ismeretlenek</p>	<p>B7: nincs teendő</p>	<p>E6: lásd B7</p> <p>F6, F7: nincs teendő, a létesítmény méretezésében a hidraulika volt meghatározó</p> <p>H8: kommunális szennyvíz nitrátkoncentrációjának ellenőrzése; valószínűleg nincs teendő</p>

4. Összefoglalás és következtetések

A dolgozatban két esettanulmány került bemutatásra olyan gyökérszűrők méretezésére, melyeket egyesített csatorna túlfolyójának tisztítására szánunk a vízgyűjtő-gazdálkodásban. A méretezéshez az Orage szoftver került felhasználásra olyan beviteli vízhozam- és koncentrációadatokkal, melyek hiányosságokat mutattak. A hiányosságok egy részről a beviteli adatsorok manuális előfeldolgozásával kerültek kezelésre. Másrésztől, kísérleti jelleggel

bevezetésre került a TOWS mátrix a szimulációt követő stratégiai döntések és szűrőmező-tervezés segítésére és kockázatelemzésre.

Elmondható, hogy mind a paui, mind a peyrins-i esetben elvégezhető volt a méretezés és a kockázatelemzés. Ugyanakkor nagyobb hangsúlyt kell fektetni a jövőben a túlfolyási pontok monitoringjára ahhoz, hogy az Orage szoftver méretezése a legoptimálisabb megoldást nyújthassa. Habár a kockázatkezelés lehetséges volt a TOWS mátrix alkalmazásával, a hiányos adatsorok mindenképp csak bizonyos elővigyázatossági szabályok beiktatásával teszik lehetővé a méretezést. Ez pedig a valóságban a minimálisnál nagyobb területigényt és drágább szűrőanyagot jelenthet.

Mindezek mellett, a TOWS mátrix alkalmas a szoftveres méretezéssel párhuzamos használatra. Habár nem helyettesítheti a hosszútávú csatornaszimulációkat vagy mért adatsorokat, elősegítheti a méretezést vagy megvalósíthatósági tanulmányokat olyan helyeken, ahol azok még nem állnak rendelkezésre. Az analízis akkor javasolt, ha a beviteli adatok bármilyen szempontból részlegesek voltak.

Az Orage egy tervezést segítő szoftver, ami számszerűsített javaslatokat (méret, szűrőanyag, stb.) tesz a szűrőmező tervezéséhez. Ez a felhasználó számára gyors és megbízható modellezést jelent, amíg a beviteli adatsorok megfelelően részletesek. Az itt bemutatott esettanulmányok tehát példák arra is, hogy a monitoring részletességének helyes megválasztása az első lépés az egyesített csatornák túlfolyóinak kezelése felé.

5. Köszönetnyilvánítás

Köszönet Pascal Molle-nak a szakmai kommunikáció koordinálásáért idegen nyelven.

6. Irodalomjegyzék

Chocat B, Cathelain M, Mares A, Mouchel JM (1994): Pollution caused by urban stormwater: impacts on receiving waters [in French] – La pollution due aux rejets urbains de temps de pluie : impacts sur les milieux récepteurs. *La Houille Blanche*, 1-2: 97-105.

Dittmer U (2006): Retention and transformation processes of carbon and nitrogen compounds in retention soil filters for CSO treatment [in German] – *Prozesse des Rückhaltes und Umsatzes von Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen in Retentionsbodenfiltern zur Mischwasserbehandlung*. PhD thesis, Kaiserslautern Technical University. Schriftenreihe des Fachgebiets Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Kaiserslautern, Volume 23. URL (English abstract): <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:hbz:386-kluedo-20509>, (accessed: 4 August 2016).

Dittmer U, Meyer D, Langergraber G (2005): Simulation of a subsurface vertical flow constructed wetland for CSO treatment. *Wat Sci Tech* 51(9): 225-232.

Dittmer U, Schmitt TG (2011): Purification processes in biofilter systems for CSO treatment. Proceedings of the 12th International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre, Brazil. URL: <https://web.sbe.hw.ac.uk/staffprofiles/bdgsa/temp/12th%20ICUD/PDF/PAP005473.pdf>, (accessed: 4 August 2016)

Fournel J (2012): *Extensive systems for the management and treatment of urban runoffs in rainy weather* [in English] – *Systemes extensifs de gestion et de traitement des eaux urbaines de temps de pluie*. PhD thesis, Universite de Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc. URL: <http://www.biu-montpellier.fr/florabium/jsp/nnt.jsp?nnt=2012MON20111>, (accessed 14.06.2016).

- Frechen FB, Schier W, Felmeden J (2006): The plant-covered retention soil filter (RSF): the mechanical and biological combined sewer overflow (CSO) treatment. *Plant. Eng. Life Sci.* 6(1): 74-79.
- INSAVALOR and SOGREAH (1997): CANOE, a urban hydrology software, design and evaluation of sewage networks, simulation of rain events, flows and water quality. User's manual [in French] – *CANOE, logiciel d'hydrologie urbaine, conception et évaluation de réseaux d'assainissement, simulation des pluies, des écoulements et de la qualité des eaux. Manuel de l'utilisateur.*
- Kadlec RH, Wallace SD (2009): *Treatment wetlands (2nd ed.)*. Boca Raton, CRC Press.
- Loperfido JV, Noe GB, Jarnagin ST, Hogan DM (2014): Effects of distributed and centralized best management practices and land cover on urban stream hydrology at the catchment scale. *J Hydrol* 519: 2584-2595.
- Marsalek J (1998): Challenges in urban drainage. In: *Hydroinformatic tools for planning, design, operation and rehabilitation of sewer systems*, Environment NAS (ed.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, pp. 1-23.
- Meyer D (2011): Modelling and simulation of constructed wetlands for combined sewer overflow treatment [in German]. – *Modellierung und Simulation von Retentionsbodenfiltern zur weitergehenden Mischwasserbehandlung*. PhD dissertation, Kaiserslautern Technical University. Schriftenreihe des Fachgebiets Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Kaiserslautern. Volume 31. URL: https://kluedo.ub.uni-kl.de/files/2843/Dissertation_Daniel_Meyer_online.pdf, (accessed: 4 August 2016).
- Muthukrishnan S, Madge B, Selvakumar A (2006): The use of best management practices (BMPs) in urban watersheds – executive summary. In: Field R, Tafuri AN, Muthukrishnan S, Madge Acquisto BA, Selvakumar A (ed.): *The use of best management practices (BMPs) in urban watersheds*. DEStech Publication Inc, Lancaster, PA, pp 13-70.
- Pálffy TG, Gourdon R, Meyer D, Troesch S, Molle P (2017): Model-based optimization of constructed wetlands treating combined sewer overflow. *Ecol Eng* 101:261-267. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.01.020>
- Pálffy TG, Meyer D, Troesch S, Gourdon R, Olivier L, Molle P (2018): A single-output model for the dynamic design of constructed wetlands treating combined sewer overflow. *Environ Modell Softw* 102:49-72. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.12.023>
- Schütze MR, Butler D, Beck B (2002): *Modelling, simulation and control of urban wastewater systems*. Springer, London, p. 285.
- SOeS (2011): The sanitation services in France: key figures of 2008 [in French] – Le service d'assainissement en France: principales données 2008. *Chiffres et statistiques* 210: 8 p.
- Uhl M, Dittmer U (2005): Constructed wetlands for CSO treatment: an overview of practice and research in Germany. *Wat Sci Tech* 51(9): 23-30.
- UN (2014): *World urbanization prospects: the 2014 revision, highlights (ST/ESA/SER.A/352)*. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
- Walsh CJ, Roy AH, Feminella JW, Cottingham PD, Groffman PM, Morgan II RP (2005): The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. *J N Am Benthol Soc* 24(3): 706-723.

Zgheib S, Moilleron R, Chebbo G (2012): Priority pollutants in urban stormwater: Part 1 – Case of separate storm sewers. *Water Res.* 46: 6683-6692.