



Mrekva László

MODELLEZÉSI LEHETŐSÉGEK VIZSGÁLATA A TELEPÜLÉSI VÍZIKÖZMŰ INFRASTRUKTÚRÁK SZEMPONTJÁBÓL I.

Absztrakt

Az időjárás természetes változékonyságának és bizonytalanságának köszönhetően a vízgazdálkodás sok területen jelentős kihívásokkal kell, hogy szembe nézzen. A jövőbeli stratégia első lépése a jelen és a jövőbeli árvíz kockázatok felbecsülésével kell, hogy kezdődjön. A kockázat értékelést integrált módon kell végrehajtani; azonosítani kell az összes vízzel kapcsolatos kockázati tényezőt. Ezeknek a kockázati tényezőknek a hidrológiai és hidraulikai jellemzőit a vízgyűjtő-gazdálkodással kontextusban kell modellezni. A jövőben a kockázat mennyiségi meghatározását a hidrometeorológiai adatok elemzésével és az árvizek hidraulikai szimulációjával kell kezdeni. Számos, különböző eshetőséget kell modellezni azért, hogy következtetni tudjunk a városi árvizek jövőbeli változásának valószínűségére. Az ilyen fajta modellek információval szolgálnak a várható árvizek gyakoriságáról és nagyságáról, kijelölve ez által az árvízi elöntésnek kitett területeket. Az átfogó kutatási célom a települési földhasználat és a városi árvíz kockázat különböző szempontjainak együttes kezelése, és az azokkal történő sikeres gazdálkodás lehetőségeinek meghatározása a kritikus víziközmű infrastruktúrák szempontjából. Tekintettel a téma terjedelmére a dolgozat két részből álló cikksorozat formájában kerül kidolgozásra. A cikksorozat első részének célja a víziközmű infrastruktúra modellezési lehetőségeinek vizsgálata a települési víziközmű infrastruktúrák szempontjából. A cikksorozat második részben kerül tárgyalásra a városi lefolyás vizsgálata és a fontosabb modellek bemutatása.

Kulcsszavak: árvíz, kockázat, modell, infrastruktúra, csapadék, lefolyás, tervezés



EXAMINATION OF MODELING POSSIBILITIES FROM THE POINT OF VIEW OF URBAN WATER INFRASTRUCTURES I.

Abstract

Due to the natural variability and uncertainty of the weather, water management faces significant challenges in many areas. The first step in the strategy should begin with an assessment of current and future flood risks. The risk assessment must be carried out in an integrated manner; all water-related risk factors must be identified. The hydrological and hydraulic characteristics of these risk factors should be modelled in the context of floodplain management. Many different contingencies need to be modelled in order to infer the likelihood of future changes in urban floods. These types of models provide information on the frequency and magnitude of expected floods, thereby identifying areas exposed to flooding. Given the length of the topic, the paper is presented as a two-part series of articles. The first part of the article series aims to examine the modelling options for water utility infrastructure from the perspective of municipal water utility infrastructure. In the second part of the article series, urban runoff will be examined and the main model features will be presented.

Keywords: flood, risk, model, infrastructure, precipitation, runoff, planning

1. BEVEZETŐ

Európában „a kritikus infrastruktúra védelmére [...] vonatkozó uniós jogi háttér első, jelentős mérföldkövének tekinthetjük az Európai Tanács 2004 decemberében elfogadott dokumentumát, a Létfontosságú Infrastruktúrák Európai Programjának [...] kialakítására vonatkozó előterjesztést”, majd az Európai Bizottság által kiadott „ún. létfontosságú infrastruktúrák védelmére vonatkozó európai programról szóló Zöld Könyvét”. „Ezt követően megszületett az uniós jogi szabályozás is az európai kritikus infrastruktúrák azonosításáról és kijelöléséről, valamint védelmük javítása szükségességének értékeléséről: a 2008/114/EK irányelv”[1] „Bizonyos infrastruktúrák működési zavarai a társadalom széles spektrumát érinthetik, amire a



lakosság kifejezetten érzékenyen reagálhat.” Ide sorolhatók a „katasztrófa jellegű események”, mint például az árvíz, „amelyek bekövetkezési valószínűsége és gyakorisága csekély mértékben prognosztizálható, de jelentős következményekkel járhatnak”[2]. Magyarországon „a 2080/2008. (VI. 30.) kormányhatározat kihirdette a Kritikus Infrastruktúra Védelem Nemzeti Programjáról szóló zöld könyvet”, mely a kritikus infrastruktúrák közé sorolja a víziközmű szolgáltatást [3]. A vízi infrastruktúrák, mint kritikus infrastruktúrák, hajlamosak az árvizek általi károsodására. Földrajzi kiterjedésük meghatározó, és erre a kiterjedésre hatással van az emberi fejlődés, amely gyakran az árterületeken koncentrálódik. Raghav Pant és társai (2016) szerint fontos megérteni, azt, hogy az infrastruktúra rendszerek hogyan reagálnak az extrém áradásokra. Kutatásukban egy olyan árvízi kockázatértékelésre vonatkozó integrált keretrendszert mutatnak be, mely integrált keretrendszeren belül térbeli hálózati modellek által mutatják be az egymással összefüggő infrastruktúra elemeket. Az elemzés bemutatja, hogy a térbeli hálózati modellek miként informálják az árvíz kockázat kezelésben jártas szakembereket az elárasztott és a nem elárasztott földterületek kritikus infrastrukturális kockázatainak azonosítását és összehasonlíthatóságát illetően, szemléltetve, hogy a megtett árvízvédelmi beruházások rangsorolására által miként javítható a városok rezilienciája [4].

Csatornatervezés során „a modellezési cél jelenti az egyik legjelentősebb adatigényt a csatornarendszerre vonatkozóan.” Adatgyűjtéskor a teljes vízgyűjtőre kiterjedő vizsgálatot és elemzést kell folytatni figyelemmel „a lefolyást meghatározó adatokra” és „a vízhozam terhelést eredményező csapadékadatokra” mely „adatok mennyiségét és minőségét döntően a hidrodinamikai modellben használt vízgyűjtő lefolyási modell” határozza meg. Az áramlás modellezéséhez nélkülözhetetlen a hálózat geometriai ismerete, a vízgyűjtő különböző pontjairól származó terhelések számbavétele. Ez utóbbiak „a vízgyűjtő lefolyási modelljének kimenetéből, másrészt közvetlen terhelésekből is (pl. szennyvíz)” származtathatók. „Mind a vízgyűjtő lefolyási mind az áramlási modell adatai mérésekből vagy más (pl. térkép, számítás, becslés) forrásból származnak.” Ezen felül a csatornatervezési modellezésbe „további modellek (infiltráció - exfiltráció, csőstatika stb.) is kapcsolódhatnak”[5].



2. A VÍZIKÖZMŰ INFRASTRUKTÚRA MODELLEZÉSI LEHETŐSÉGEINEK VIZSGÁLATA

2.1. A kezdetek

A városi szennyvízcsatorna modellek célja annak bemutatása, hogy a víz- és csatornarendszerek a különféle körülményekre miként reagálnak, amikor a „mi lenne, ha?” kérdésekre keressük a választ. Bizonyos értelemben egész évben modelleznünk kell a víz- és csatornarendszereket, számításokat kell végeznünk, amelyek segítenek számukra egy sikeresen működő rendszer felépítésében. Például a racionális módszer (a vízgyűjtőről történő lefolyás vízhozamának számítását szolgálja) a csapadék lefolyássá történő átalakításának egyszerű modellje, amely felhasználható a különböző esőintenzitások valószínű hatásainak megvizsgálására. A víz- és csatornarendszerek tervezésére és elemzésére alkalmas számítógépes programok az 1970-es években bukkantak fel, de a komplex modellek csak akkor váltak a mérnökök számára hiteles, mérvadó eszközzé, amikor a megfelelő számítási teljesítmény már rendelkezésre állt. Az SWMM (Storm Water Management Model) modell az 1970-es évek elején tűnt fel az USA-ban.

Az SWMM az egyik legszélesebb körben alkalmazott hidrológiai és hidraulikai modell városi környezetben. Képes szimulálni eseményalapú vagy folyamatos csapadék-lefolyás folyamatokat, amelyek mind a vízminőség, mind a mennyiségi elemzéshez hasznosak a városi területeken. Az SWMM térbeli eloszlású és időben diszkrét folyamatokat alkalmaz a hidrológiai és hidraulikus állapotváltozók szimulálására [6].

Az Egyesült Királyságban a számítógépen alapuló TRRL Hydrograph (Transport and Road Research Laboratory) eljárást (csapadéklefolyás mennyiség modell) használták 1970-ben, de az 1980-as évek elejéig nem volt egy standard alap szoftvercsomag, amikor is bemutatták a Wallingford eljárásán alapuló WASSP (Wallingford Storm Sewage Package) programot. A Wallingford újabb csomagjai a HydroWorks és az InfoWorks, majd megjelent a Dániában kifejlesztett népszerű európai csomag a MIKE URBAN. Sok más program is elérhető, amelyek közül néhány, pusztán új rendszerek tervezésére koncentrál. Ezek a modellek különböző fizikai paraméterek között alkalmazott matematikai összefüggéseken alapulnak, és mindegyik



magában foglalja az egyszerűsítés valamilyen elemét. Mindegyikük determinisztikus (előre meghatározott), vagyis a bemeneti adatok egyfajta kombinációja mindig ugyanazt a kimeneti eredményt fogja adni, a véletlenszerűséget nem veszik figyelembe. Az a tény, hogy ezek a modellek egyszerűsítéseket tartalmaznak, és figyelem kívül hagyják a bemeneti adatokkal és a terepi mérésekkel kapcsolatos, bizonytalansággal kombinált véletlenszerű hatásokat, azt jelenti, hogy meggondolatlan vagy naiv modellező lenne, aki kimeri jelenteni, hogy a modell eredményei helyesek [7].

A városi árvizek változatos és összetett áramlási folyamatokkal jellemezhetők, mivel a víz összetett áramlási útvonalakat követ, például útkereszteződések, csatornák, udvarok, parkok, épületek körül vagy azokon belül, valamint közterületen lévő tárgyak (pl. padok) mentén áramlik. A városi árvíz szimulációjához használt numerikus modelleknek figyelembe kell venniük a városi környezet e sajátos jellemzőit [8].

Ámon Gergely és társai szerint:

„[a] numerikus modellek bevonásával a tervezés kiterjeszhető egy teljes rendszer átfogó vizsgálatává, amelybe modellkapcsolatok útján a legrészletesebb vizsgálatok integrálhatóak, lehetővé téve ezzel a tervezési terület scenáriók alapján történő megközelítését, továbbá megadva annak lehetőségét, hogy a jövőben a tervezéshez használt modellek fejleszthetők legyenek, teret adva az üzemeltetési problémák, illetve a települési fejlődés hatásainak vizsgálatára” [9].

2.2. Kifinomultabb numerikus megközelítések

A szabványos 1D vagy 2D modellektől kezdve fokozatosan elérhetővé váltak a kifinomultabb numerikus megközelítések:

- további folyamatokat vontak be a modellekbe, például a közvetlenül az utcai hálózatra hulló esőket, a városokba betörő rövid vagy cunamiból eredő hosszú árhullámokat, többek között az emberek árvízi esemény alatti evakuálása;
- nagy felbontású digitális magassági modellek (digital elevation models - DEM), például bizonyos városi területen néhány méteres felbontású lézeres magasságméréssel lehetővé tették a városi területek szuper pontos leírását;



- izotrop és anizotróp porozitáson alapuló modellek, összekapcsolt 1D (utcákon) és 2D (kereszteződésben) modellek, valamint olyan továbbfejlesztett számítási technikák, úgymint a felhő alapú modellezés vagy grafikus feldolgozóegységen megvalósult modell mindazért, hogy lehetővé tegyék a nagy térségek hatékony lefedését;
- bár még gyerekcipőben jár, de a felszíni áramlás és a szennyvízcsatorna közötti kölcsönhatások modellezését is tesztelték, a földalatti rendszer 1D leírása és a felszíni áramlás 0D, 1D vagy 2D megközelítése alapján, mindegyik jelentős tudományos kihívásokkal rendelkezik [8A].

Amikor hidrológiai modellezésről beszélünk gyakran „találkozunk a „dimenziók” fogalmával.” Ez valójában az alkalmazott „szoftverek 1D, 2D esetleg 3D”megjelölését takarják „és nem mindig egyértelmű, hogy mit is takarhatnak ezek a fogalmak.” A „0D, vagy dimenzió nélküli modellekről” akkor „beszélhetünk”, ha a modellezni kívánt hálózatunk vagy „vízrendszerünk statikus paramétereire vagyunk kíváncsiak.” Mit értünk statikus paraméterek alatt? A statikus (időben nem változó állapotot ír le) paraméterek, mint például a „vízgyűjtő karakterisztika, lejtés, érdességi paraméterek, vagy általánosságban alap térinformatikai paraméterek” magukban foglalják a törvények típusait, a paraméterek értékeit. „Ha a modellünk tartalmaz valamiféle mozgási jelenséget és ennek a mozgásnak vagy szállításnak egy jól kijelölhető iránya van, (pl. folyómeder, völgy) akkor 1D modelleket alkalmazhatunk”[10].

2.3. Városi árvizek

A városi árvizek nagy károkat okoznak, és az árvíz kockázatok feltérképezése elengedhetlenné vált a védelem és az evakuálás tervezése szempontjából. Ez a leképezés megköveteli az áramlás jellemzőinek (víz mélysége és sebessége) pontos kiszámítását az adott esemény során, amelyet 2D sekélyvízi egyenletrendszer megoldásával érnek el, feltéve, hogy elegendő részletes bemeneti adat áll rendelkezésre.

„A „sekély víz” áramlást leíró egyenletek vékony rétegű, állandó sűrűségű (összenyomhatatlan) és hidrosztatikai egyensúlyban lévő közegeáramlását írják le. [...] A mozgás egyértelműen leírható a mozgásegyenletekkel és kontinuitás egyenlettel [11].” A kétdimenziós sekélyvízi típusú áramlásokkal, mint a légköri folyamatok egyszerűsített hidrodinamikai modelljeivel



egyszerűségük miatt lehetőség nyílik többek között a légköri nagyskálájú folyamatok leírására is [12]. A városi árvizek általában a csatornahálózatok csapadék általi elöntéseiből származnak, kivételt képeznek a folyó vagy tengerpart közelében lévő városok, városrészek, ahol a dagály és az árhullámok átlépik a védelmi rendszereket. A csapadék általi áradást kiváltó vízmennyiség vagy

a), közvetlenül a városi vízgyűjtőn képződik és olyan vízmennyiségeket generál, amely meghaladja az átteresztők, az aknák és szennyvízcsatorna-hálózatokat alkotó víziközmű infrastruktúrák általi befogadó képességet (csatornahálózati kiöntés vagy a vízparti területek esetében a folyókból származó áradás) és ez által a víz az utcákon, utakon, burkolt felületeken folyik le; vagy

b), a város feletti külterületi vízgyűjtőn (például dombokon, mezőkön) képződik és az adott talaj beszivárgási képességének függvényében folyik le a város felé [12A].

A városi árvízi scenáriók elemzésekor elsődleges lépés a hidrometeorológiai modellek futtatása, annak vizsgálata, hogy adott csapadékesemény során a lehető legmegfelelőbben megbecsüljük a csapadék város feletti eloszlását (i), miközben hidrológiai vagy kapcsolt hidrológiai-hidraulikai modelleket futtatunk azért, hogy kiszámítsuk az esetleges felvízi területekről érkező áramlást annak érdekében, hogy megbecsüljük a hidrológiai változó időbeli változását a felszínen lefolyó víz közvetlenül a településre történő belépéskor [12B].

„A kapcsolt modellek” segítségével komplex módon vehetünk részt akár „települési szintű vízgazdálkodási terv kidolgozásában”, kezdve „a vízgyűjtők feltárásával, valamint hozzá kapcsolt scenárió alapú modellezéssel” eljuthatunk a „tanulmányi szinttől egészen a vízhasznosítási javaslatokon” keresztül „a kiválasztott megoldás részletes megtervezéséig” [9A]. Ez a fajta modellezési gyakorlat „tágabb látóteret ad a tervezőnek, a kapcsolt modellek használatával” pedig a vizsgált rendszer folyamat jellemzőinek időbeni változását leíró „dinamikusabb vizsgálati lehetőségeket”. A „scenáriók elemzése különösen fontos, projekt méretétől függetlenül, mert a ’70-es években létrehozott csapadékmaximum függvények megbízhatósága megkérdőjelezhető” [9B]. „A csapadékmaximum függvény olyan összefüggés, amely megadja, hogy egy bizonyos t időtartamú csapadék átlagosan p évenként lesz h magasságú vagy i intenzitású, vagy ennél nagyobb előfordulású [13].”



A hidrometeorológiai modellek futtatásának, mint előzetes lépésnek az a célja, hogy meghatározza a bemeneti eshetőségeket, amelyek a társadalom szempontjából is meghatározó történelmi referencia események vagy probalisztikus események [12B].

A városon belül az áramlási útvonalak meglehetősen összetettek és közvetlenül kapcsolódnak a város topológiájához. Hidraulikai szempontból valójában a város szerkezete kapcsolati hálózatok alapján van felépítve:

- a vízfolyásokat is magában foglaló vízrajzi hálózat; de ide tartoznak
- az ideiglenes vízjárású kisebb patakok is, amelyeket elsősorban a városi táj természetes topográfiája korlátoz, és az urbanizáció eltorzít; ide tartoznak
- a földalatti többnyire csövek hierarchikus halmazából álló szenny- és csapadékvíz-csatorna hálózatok;
- az elsősorban autóforgalomra tervezett utcák alkotta hálózat, amely alkalmanként előntésre kerül, és másodlagos vízhálózattá válik.

Ezen kívül a városi környezet magában foglalja

- az építési területeket, beleértve az épületeket, falakat és egyéb áramlási akadályokat,
- de olyan nyitott területeket is, mint például kertek, udvarok, sportpályák.

Mіндеzek a területek erősen befolyásolják az áramlási dinamikát, ezért ezeket be kell vonni abba a számítási hálóba, amelyen keresztül az áramlást fogjuk szimulálni. Ezeknek a hálózatoknak a topológiája és topográfiája bonyolult, és a tisztességes ábrázolásukhoz pontos adatokra van szükség, amelyek bizonyos esetekben rendelkezésre állnak a városok GIS (földrajzi információs rendszer) adatbázisaiban. Sajnos Magyarországon nagyon kevés az a város, település, amely elmondhatja magáról, hogy saját GIS adatbázissal rendelkezik. Speciális modelleket fejlesztettek ki az ilyen földrajzi adatoknak (vízfolyás topográfia és partjainak tengerszint fölötti magassága, az utcák függőleges metszetei, a magántulajdonban lévő földterületek határai, a csatornahálózat csővezetékeinek topológiája, aknák, csatornanyílások, a falak és egyéb akadályok elhelyezkedése stb.) ezekből a GIS modellekből a számítási háló modellekbe történő transzferálására. Mindazonáltal a GIS adatbázisok egyik városról a másikra történő heterogenitása megnehezíti az összes helyszínre automatikusan



alkalmazandó előállítási módszerek kidolgozását. Így a hálózat rögzítési lépések továbbra is kéziek vagy csak félig automatizáltak. A városi árvizek során a víz folyamatosan váltakozva áramlik az egyik hálózatból a másikba. Ezekre az átáramlásokra először a felszín és a felszín alatt kerül sor (főleg a szennyvízcsatorna hálózatában), és ily módon a másodlagos áramlásbeli változások az olyan függőleges műtárgyakon keresztül valósulnak meg, mint például az aknák, metró- vagy bevásárlóközponti lépcsők, légcatornák stb. Másodsor a felszíni áramlás a vízrajzi és az utcai hálózatok, valamint a rendelkezésre álló nyitott területek (magánterületek és nagyobb parkolóhelyek, parkok stb.) között oszlik meg. Az utcákon és a vízfolyásokban a víz áramlási sebessége viszonylag magas, főleg a vízfolyás vagy az utca tengelye mentén megvalósuló áramlás esetén. Ennek ellenére az utcákon az akadályok által befolyásolt (zavart) viszonylag sekély áramlás lokális változásokhoz vezet a szubkritikus („ahol a közeg áramlási-sebessége kisebb, mint a hullám terjedési-sebesség. Vagyis az alvíz oldali zavarás visszahat a felvíz oldali vízmagasságra” [14]) és a szuperkritikus áramlási („az alvíz oldali zavarás nem tud előrehaladni a felvíz oldalig, mert az áramlási sebesség a nagyobb, így az alvíz oldali zavarás (pl. duzzasztás) nem mutatkozik a felvíz oldali vízszintben.” [14]) rendszerek között, és fordítva. „A kettő közti átmenet egy speciális áramlási jelenség, a kritikus áramlás [14].”

Ez az áramlási bonyolultság a hidraulikus paraméterek (vízmélység, sebesség stb.) időbeli és térbeli erőteljes eltéréséhez vezet, ami azt jelenti, hogy az árvíz helyi kitettsége az esemény során nagyban változik. A rendelkezésre álló szabad városi felületeken a sebességek gyakran alacsonyak, komplex recirkulációs áramlások alakulnak ki. Végül, a csatornahálózatban a csövek maximális áramlási kapacitása lokálisan megnő, ami a szabad felszín és a nyomás alatt álló feltételek megváltozásához vezet, módosítva a feltételeket a hálózat minden egyes csomópontján vagy más műtárgyain. Végül, egy árvízeseemény kiszámítása után az utolsó lépés általában kockázati térképek létrehozását foglalja magában. Ennek ellenére egy adott város vagy kerület árvíz általi sebezhetősége nagyban változhat az épületek típusától, az épületek vagy az utcák használatától, hasznosításától valamint az árvíz idejétől és napjától. Az árvíz kockázat pontos meghatározása érdekében az árvízveszélyt helyi szinten kell feltérképezni. Természetesen a kockázati szinteket szemléltető térképi elemeket új információs réteggként be kell vonni a GIS adatbázisba. Ezután lehet megvizsgálni a védelmi és evakuálási intézkedések hatékonyságát, relevanciáját többféle árvízi eseményre vonatkozó scenárió esetében; többször gyakoriság elemzés társul az egyes scenáriókhoz annak érdekében, hogy a



globális kockázatra vonatkozó valószínűségi becslést kapjunk. Mindenesetre, két műszaki megoldás hatékonyságának összehasonlítása vagy költség-haszon elemzés elvégzése érdekében a sérülékenységi paraméterek egyikével együtt meg kell becsülni a hidrodinamikai eredmények bizonytalanságát [12B].

A kapcsolt modellek segítséget nyújtanak, ahhoz, hogy komplex módon vegyünk részt a tervezésben a kisebb vízhasznosítási javaslatoktól kezdve „a bonyolult vízügyi problémákon” keresztül a végső „mérnöki döntéshozatalig” [10A].

A városokban az áthatolhatatlan, burkolt felületek fejlődésének közvetlen következménye a nagyobb mértékű és mennyiségű lefolyás, és a rövidebb idejű telítődés. Valóban az áthatolhatatlan, burkolt felületek rapid módon segítik elő a befogadóba történő lefolyást, míg a porózus, permeábilis felületek tárolni képesek azt, és órák, napok, akár hetek múlva tovább engedni/vezetni a vizet az alsóbb rétegek felé. A vízzáró felületek építése megváltoztatja a környező talajszerkezetet például a gépi tömörítés által, és eliminálja (tönkreteszi) a felszíni talajréteget, ami egy lényeges porózus tárolótér az altalaj és a légkör között.

„A felszínhasználat-változás következtében, a betonfelszínek és vízzáró rétegek területi arányának növekedése következtében a beszivárgás és a felszíni elfolyás aránya jelentősen megváltozhat [10B].”

3. ÖSSZEFOGLALÁS

Az elkövetkező években különösen a városi területeken a katasztrófákból eredő egyre növekvő károk egyik fő okozója a kontroll nélküli infrastruktúra fejlesztés lesz. A klímaváltozásnak köszönhető változások, melyek hatással vannak a csapadékeseményekre jelentős problémákat okoznak a szennyvíz és csapadékvíz elvezető létesítmények üzemeltetése során. A megnövekedett mértékű lefolyás nem várt városi hidrológia kialakulásához vezet. A települési árvíz-kockázat-kezelés támogatásához nélkülözhetetlen a víziközmű infrastruktúra modellezési lehetőségeinek, sajátosságainak feltárása és vizsgálata (lefolyási útvonalak, alacsony kockázati zónák, kapacitások stb.), melyek eredményei hasznos információval szolgálnak a szakemberek számára. Elengedhetetlen a különböző csapadékvizonyokból származtatható, a városi



víziközmű infrastruktúra rendszerek viselkedését leíró szimulációs vizsgálatok elvégzése, melyek képesek a csatornahálózaton keresztüli áramlásokra is pontos becsléseket adni. A biztonságos víziközmű szolgáltatás a társadalom alapvető követelménye, ezért fontos a vízszolgáltatásokkal kapcsolatos kockázatok megértése a stratégiai gondolkodás elsajátítása. A cikksorozat második részében a modellek összehasonlítása mellett az urbanizációra, a földhasználati aspektusokra figyelemmel a víziközmű infrastruktúrák működőképességét, illetve a szolgáltatások biztonságát negatívan befolyásoló lefolyási kockázatokat vizsgálom.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Bognár Balázs; Kátai-Urbán Lajos; Vass Gyula: A létfontosságú rendszerek és létesítmények védelméről szóló szabályozás végrehajtása Magyarországon, BOLYAI SZEMLE XXIII. évfolyam, 2014/2. szám, pp. 105-106. (105-111), [Online] Elérhető: <https://www.uni-nke.hu/document/uni-nke-hu/bolyai-szemle-2014-ev-2-szam.original.pdf> (letöltve: 2022. 01. 14.)
- [2] Bonnyai Tünde; Bognár Balázs (szerk.): Kritikus infrastruktúrák védelme I. Budapest, Dialóg Campus Kiadó, pp. 34-35. (1-146), (2019) [Online] Elérhető: https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/12450/595_kritikus_infrastrukturak_vedelme.pdf?sequence=1#page=10 (letöltve: 2022. 01. 14.)
- [3] Bognár Balázs; Bonnyai Tünde; Görög Katalin; Kátai-Urbán Lajos; Vass, Gyula: LÉTFONTOSSÁGÚ RENDSZEREK ÉS LÉTESÍTMÉNYEK VÉDELME: Kézikönyv a katasztrófavédelmi feladatok ellátására, pp 70. (1-149), Budapest, (2015) ISBN: 9786155057496
- [4] Raghav Pant „et alii”: Critical infrastructure impact assessment due to flood exposure, Journal of Flood Risk Management, Special Issue: Land for Flood Risk Management, A catchment-wide and multi-level perspective, pp. 22-33. (1-12), 2016. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12288> [Online] Elérhető: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfr3.12288> (letöltve: 2020. 05. 20.)



- [5] Knolmár Marcell: Számítógéppel segített csatornatervezés, doktori értekezés tézisei, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék, pp. 2-3. oldal (1-16), 2011. [Online] Elérhető: https://repozitorium.omikk.bme.hu/bitstream/handle/10890/5804/tezis_hun.pdf?sequence=3&isAllowed=y (letöltve: 2020. 05. 21.)
- [6] Merhawi GebreEgziabher; Yonas Demissie: Modeling Urban Flood Inundation and Recession Impacted by Manholes, Water, Volume 12., pp. 1-3. (1-22), 2020. [Online] Elérhető: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/4/1160> (letöltve: 2020. 05. 21.)
- [7] David Butler; John W. Davies: Urban drainage, (3rd ed.), Spon Press, Taylor & Francis, pp. 469-470. (1-625), 2011. ISBN 0-203-84905-1
- [8] EmmanuelMignot; XuefangLi; Benjamin Dewals: Experimental modelling of urban flooding: A review, Journal of Hydrology, Elsevier, 568., pp 335. (334-342) 2019. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.11.001, [Online] Elérhető: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169418308485> (letöltve: 2020. 05. 14.)
- [8A] EmmanuelMignot; XuefangLi; Benjamin Dewals: Experimental modelling of urban flooding: A review, Journal of Hydrology, Elsevier, 568., pp 336. (334-342) 2019. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.11.001, [Online] Elérhető: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169418308485> (letöltve: 2020. 05. 14.)
- [9] Ámon Gergely: Települési vízrendszerek tervezése modellezéssel, Országos Települési Csapadékvíz-gazdálkodási Konferencia, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Dialóg Campus, pp. 108. oldal (1-326), 2017. ISBN 978-615-5845-22-2 (elektronikus), [Online] Elérhető: <https://vtk.uni-nke.hu/document/vtk-uni-nke-hu/Kézikönyv.pdf> (letöltve: 2020. 05. 14.)
- [9A] Ámon Gergely: Települési vízrendszerek tervezése modellezéssel, Országos Települési Csapadékvíz-gazdálkodási Konferencia, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Dialóg Campus, pp. 117. oldal (1-326), 2017. ISBN 978-615-5845-22-2 (elektronikus), [Online] Elérhető: <https://vtk.uni-nke.hu/document/vtk-uni-nke-hu/Kézikönyv.pdf> (letöltve: 2020. 05. 14.)



- [9B] Ámon Gergely: Települési vízrendszerek tervezése modellezéssel, Országos Települési Csapadékvíz-gazdálkodási Konferencia, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Dialóg Campus, pp. 109. oldal (1-326), 2017. ISBN 978-615-5845-22-2 (elektronikus), [Online] Elérhető: <https://vtk.uni-nke.hu/document/vtk-uni-nke-hu/Kézikönyv.pdf> (letöltve: 2020. 05. 14.)
- [10] Szatmári József „et alii”: Modellek a geoinformatikában, Szegedi Tudományegyetem, Debreceni Egyetem, Pécsi Tudományegyetem, pp. 58. oldal (1-177), 2013. [Online] Elérhető: http://eta.bibl.u-szeged.hu/1320/1/modellek_a_geoinformatikaban.pdf (letöltve: 2020. 05. 15.)
- [10A] Szatmári József „et alii”: Modellek a geoinformatikában, Szegedi Tudományegyetem, Debreceni Egyetem, Pécsi Tudományegyetem, pp. 47. oldal (1-177), 2013. [Online] Elérhető: http://eta.bibl.u-szeged.hu/1320/1/modellek_a_geoinformatikaban.pdf (letöltve: 2020. 05. 15.)
- [10B] Szatmári József „et alii”: Modellek a geoinformatikában, Szegedi Tudományegyetem, Debreceni Egyetem, Pécsi Tudományegyetem, pp. 50. oldal (1-177), 2013. [Online] Elérhető: http://eta.bibl.u-szeged.hu/1320/1/modellek_a_geoinformatikaban.pdf (letöltve: 2020. 05. 15.)
- [11] Baranka Györgyi „et alii”: Klasszikus dinamikus meteorológiai feladatgyűjtemény II, E-Tankönyv, ELTE Természettudományi Kar, Budapest, pp. 102. oldal (1-532), 2013. [Online] Elérhető: http://www.eltereader.hu/media/2014/05/Klasszikus_dinamikus_READER.pdf (letöltve: 2020. 05. 22.)
- [12] André Paquier; Emmanuel Mignot; Pierre-Henri Bazin: From Hydraulic Modelling to Urban Flood Risk, Procedia Engineering, Volume 115., pp. 44. (37-44), 2015. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.07.352> [Online] Elérhető: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815016355?via%3Dihub> (letöltve: 2020. 05. 14.)
- [12A] André Paquier; Emmanuel Mignot; Pierre-Henri Bazin: From Hydraulic Modelling to Urban Flood Risk, Procedia Engineering, Volume 115., pp. 37. (37-44), 2015. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.07.352> [Online] Elérhető: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815016355?via%3Dihub> (letöltve: 2020. 05. 14.)



[12B] André Paquier; Emmanuel Mignot; Pierre-Henri Bazin: From Hydraulic Modelling to Urban Flood Risk, *Procedia Engineering*, Volume 115., pp. 38. (37-44), 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.07.352> [Online] Elérhető:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815016355?via%3Dihub>
(letöltve: 2020. 05. 14.)

[13] Szilávik Lajos; Sziebert János, Zellei László: Hidrológia-Hidraulika, Egyetemi jegyzet, pp. 27. (1-218), 2002. [Online] Elérhető: <http://www.ontozesmuzeum.hu/download/hidrologia.pdf>
(letöltve: 2020. 08. 14.)

[14] Till Sára; Csizmadia Péter: Áramlástechnikai rendszerek, kézirat, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék, pp. 45. (1-88), Budapest, 2019.

Mrekva László, mesteroktató

Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Víz tudományi Kar, Víz-és Környezetbiztonsági Tanszék

László Mrekva, Master teacher,

University of Public Service, Faculty of Water Sciences, Department of Water and Environment Security

mrekva.laszlo@uni-nke.hu

orcid.org/0000-0001-8855-874