



**Mrekva László**

## **MODELLEZÉSI LEHETŐSÉGEK VIZSGÁLATA A TELEPÜLÉSI VÍZIKÖZMŰ INFRASTRUKTÚRÁK SZEMPONTJÁBÓL II.**

### **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 része a víziközmű infrastruktúra modellezési lehetőségeket vizsgálja a települési víziközmű infrastruktúrák szempontjából. A cikksorozat második jelen részében tárgyalásra kerül a városi lefolyás vizsgálata és bemutatásra kerülnek a fontosabb modellek.

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



## EXAMINATION OF MODELING POSSIBILITIES FROM THE POINT OF VIEW OF URBAN WATER INFRASTRUCTURES

### Part II.

#### 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 series of articles explores the modelling options for water utility infrastructure from the perspective of municipal water utility infrastructure. In this second part of the article series, urban runoff is discussed and the main models are presented.

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

## 1. A LEFOLYÁS KOCKÁZATÁNAK VIZSGÁLATA

### 1.1. A víz természetes körforgása

A környezetben a víz annak természetes körforgási ciklusán megy keresztül éppen úgy, mint amikor növényzettel borított, vagy amikor növényzet nélküli területekre hullik le a csapadék. A növényzettel gazdagon borított felszínre lehullott csapadék mennyiségnek csupán egynegyede jut le a sekélymélységű víztározó rétegekbe, ez a mennyiség biztosítja növények vízzel történő ellátását is. Egynegyed rész köztes elfolyás formájában elszívárog és a mélyebb víztározó rétegeket táplálja, és fennmaradó rész az evapotranspiráció útján visszajut a légkörbe.

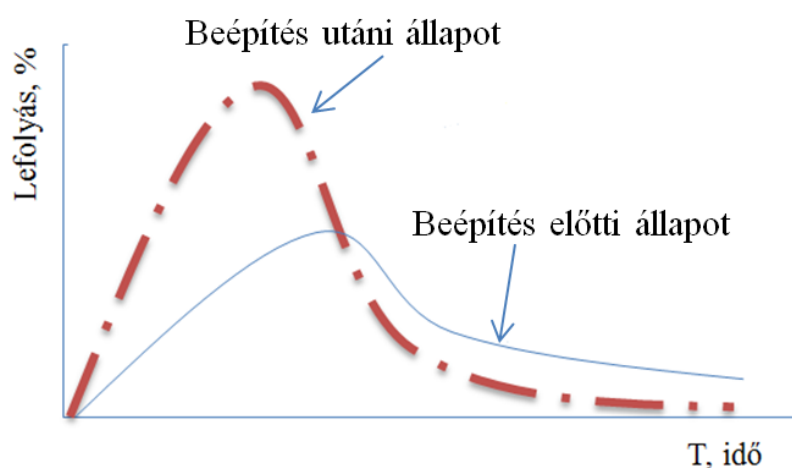


A vízzáró rétegek megjelenésével (értjük ez alatt az egységnyi felület 10-20%-ában vízzáró felületet) az előbb említett 25-25%-nyi tározódás és köztes leszivárgás már csak 20-22% körül mozog, megjelenik egy cca. 20%-nyi lefolyás és a maradék közel 40%-nyi rész a növények a talaj együttes párologtatás útján a légkörbe távozik. Az intenzívebb urbánus területeken (értjük ez alatt az egységnyi felület 30-50%-ában vízzáró felületet) viszont tovább fokozódik a lefolyás (eléri a 30%-ot), csökken a felszín alatti illetve a mélységi rétegekben történő együttes tározódás (30-50%), növekszik az evapotranspiráció (35%).

## 1.2. Városi területek

Az intenzív városi területek nagy százalékban (70-100%) áthatolhatatlan felületek, ahol az esővíz a legkülönbözőbb módon oszlik el. A lehullott csapadék csupán csak 15%-a szivárog a sekély és mélyebb víztározó rétegekbe, mintegy 30%-a a légkörbe jut, és megdöbentő, de a kutatások szerint az esővíz több, mint feléből (55 %) felszíni lefolyás képződik.

Több kutatás igazolja, hogy a vízzáró felületek magas aránya, a csatornarendszerek rendszerek szállítóképességének elégtelen volta meggyorsítja a településekre lehulló csapadékvíz összegyülekezését és a lefolyást, miközben a csökken beszivárgás (és a csökken felületi tározódás) [1], ezt kívánja szemléltetni az 1. számú ábra.



1. ábra: A beépítés hatása a felszíni lefolyásra (forrás: [2], szerkesztette: Mrekva L. 2020.12.05)



Hogy elkerüljék ezeket az ellentétes esővíz lefolyási módokat, a városi közösségek költséges csatornarendszereket építenek. Amíg ezek a költséges csapadékvízgyűjtő, tározó és tisztító rendszerek szemben állnak az áthatolhatatlan (víz át nem eresztő) felületek okozta hatásokkal, addig eredménytelen a problémák megoldása. Sok esetben a felszíni lefolyás (tisztítás nélkül) közvetlenül a víztestekbe és befogadókba kerül. Ez a lefolyó esővíz többlet szennyezi vízfolyásainkat. Számos tanulmány rámutat arra a közvetlen kapcsolatra, amely az áthatolhatatlan felületek és a vízfolyások vízminőség degradálódása között áll fenn. Egy adott vízgyűjtő esetén még az alacsony 10-15 %-os szintű (áthatolhatatlan) felületi borítás esetén is nehézkes a vízminőség fenntartható megőrzése. Ennél nagyobb, 15-20 %-ot elérő felszíni fedettség drámai változásokat eredményez egy vízfolyásban (pl. vízminőség, vízhőmérséklet, és vízi élővilág degradálódása).

A tradicionális esővíz-gazdálkodás célja a városi területeken, hogy olyan gyorsan vezesse el a lefolyó vízmennyiséget, amilyen gyorsan csak lehet, illetve összegyűjteni a többlet lefolyást ún. késleltető/visszatartó medencékben a kialakuló csúcsok csökkentése végett. Az esővíz-gazdálkodás konvencionális megközelítése magában foglalja a vízzáró felületeken képződött vízlefolyás hatásos befogását, annak továbbítását és néha tisztítását. A városi projektek esetén helyszíni tervezést és az esővíz-gazdálkodást a tervezés kezdeti fázisába kell integrálni, azért hogy fenntartsunk egy hidrológiailag minél működőképesebb városi tájat. Olyan hidrológiának és helyszíni tervezésnek kell megvalósulni amelyek, befolyásolják a vízmozgást, az utak, az épületek és az infrastruktúrák elhelyezkedését.

### **1.3. Az urbanizáció hatása**

Manfred Kleidorfer és társai elemezték például az urbanizáció hatását, kifejezetten az áthatolhatatlan (vízzáró) felületekre tekintettel, a városi hidrológiát érintő lehetséges globális felmelegedési forgatókönyvekkel együtt, különösképpen a kombinált csatornázási rendszerek hatékonyságára. A kutatás azt mutatta, hogy egy 20 %-os éghajlat-változási tényező - kifejezetten a csapadékkintenzitás eloszlás - ugyan azt a hatást eredményezi, mint egy 40 %-osan megnövelt áthatolhatatlan (vízzáró) felület. A csapadékkintenzitások ilyenfajta növekedése a beszivárgást szabályozó intézkedéseken – melyek az áthatolhatatlan területek 30%-os csökkenéséhez vezethetnek - keresztül kompenzálható lenne. Arra következtetésre jutottak,



hogy a megnövekedett városiasodás hatása gyakran jelentősebben nagyobb, mint amire az éghajlatváltozásból kifolyólag számítottak [3].

A talaj és a természetes vegetáció csökkenése a városi környezetben jelentősen befolyásolja a víz hidrológiai körforgását azáltal, hogy növelik az esővíz felszíni lefolyását úgy gyakoriságukban, mint mennyiségükben. A földhasználat megváltozása (pl. a felszínnek az urbanizáció miatti lezárása (áthatolhatatlan felületek)), amely megnöveli a csapadék lefolyást, az árvízi katasztrófákat súlyosbító emberi tényezők között az elsők között említendő. A helytelen földhasználat következtében, a nagy felületű, növénytakarás nélküli, áthatolhatatlan felszínnek miatt a városi területek jelentős része árvíz-kockázati szempontból veszélyeztetett. A földfelszín adottságainak, mint például a talaj milyenségének, a növénytakarónak és a földhasználati gyakorlatnak közvetlen hatása van a keletkező felszíni lefolyás mennyiségének növekedésében. Ezért a földhasználati gyakorlat, a lefolyás és az árvizek előfordulása közötti kapcsolat számos olyan körülményre, tényezőre vezethető vissza, melyeket a földhasználati előírások, szabályozási intézkedések során figyelembe kell venni [4].

#### **1.4. EU árvízi irányelve**

Az EU Árvízi Irányelve hangsúlyozza, hogy az árvízi kockázatok csökkentését célzó intézkedéseket, amennyire csak lehetséges, az eredményesség érdekében koordinált módon kell kezelni a teljes vízgyűjtőn. Hangsúlyozza továbbá, hogy a vízgyűjtő szintű földhasználati gyakorlat jelentős szerepet játszik az árvízi kockázatkezelés folyamatában, azonban nem foglal állást, hogy azt miként kell megtervezni és végrehajtani, illetve, hogy milyenek kell, hogy legyen a határos földhasználat-gazdálkodás. A vízgyűjtő szintű földhasználati gyakorlat megtervezéséhez tisztában kell lennünk a teljes vízgyűjtő karakterisztikával (geológiai, topográfiai, hidrológiai jellemzők és földhasználati típusok stb.).

A vízgyűjtő szintjén az árvíz által veszélyeztetett területek beazonosításához meg kell vizsgálnunk a térbeli adatokat, az árvizeket létrehozó folyamatokat, indikátorokat, körültekintően vizsgálnunk kell a múltbeli árvízi események kialakulásának okait. Csakis ezután kezdhetjük el jövőbeli stratégiai intézkedések kidolgozását és kezdődhet földhasználati stratégia megtervezése. „A vízgyűjtő szinten tehát, a megfelelő környezeti paraméterek ismeretében kiszámolható, hogy a lehullott csapadék mekkora hányada (a kifolyási szelvényben



észlelhető és mérhető vízhozam) jelentkezik majd lefolyás formájában illetve, jelenik meg a vízgyűjtő kifolyási pontján”[5]. A lefolyás vizsgálatokor a környezeti paraméterek fontosságát hangsúlyozva ki kell emelni az éghajlatváltozás várható hatásait, miszerint „a szélsőséges időjárási viszonyok [...] megváltoztatják a beszivárgási, lefolyási viszonyokat, és a vízgazdálkodási folyamatoknak alkalmazkodniuk kell ezekhez az állapotokhoz”[6].

Ebben az imént említett lefolyási hányadban „a csapadékjelenségek” mellett „más vízháztartási elemek, mint a párolgás, a beszivárgás, a készletváltozás hatásai is érvényesülnek”[7].

Az éghajlat adaptáció elemzésére felhasználható modellező eszköz kiválasztásával összefüggésben fontos a következő kérdésekre összpontosítani:

- 1., mi a célja számításnak
- 2., milyenek a terepadottságok az adott környéken
- 3., milyen adatok állnak rendelkezésre?

„A modell soha nem képes a valóságot teljes komplexitásában leírni. Mindig annak egy részét, vagy bizonyos aspektusait ragadjuk ki, esetenként leegyszerűsítjük a valóságot. [...] A modell mindig célorientált. Bonyolultságát a megoldandó feladat jellege, a műszaki feltételek, az ésszerűség és gyakran az anyagi lehetőségek korlátozhatják”[8].

„A lehetséges modellosztályokat tekintve megkülönböztethetünk statikus és dinamikus modelleket.” Az első „időben nem változó állapotot ír le” és „a törvények (egyenletek) típusait, a struktúra -- állapotok, egyenletek -- számát illetve a paraméterek (együtthatók) értékének ismeretére” terjed ki, míg a második „az időbeli működés leírására koncentrál” és a „folyamat jellemzőinek időbeni változását írja le”[9].

Sok esetben csak annak meghatározása szükséges, hogy vajon az árvízi esemény okoz-e áradást, vagy éppen melyik területen fog az áradás bekövetkezni. Más esetekben szükség van a visszatérési idők és az áradás kiterjedésének részletes kiszámítására. A különböző problémákhoz használatos modellező eszközök típusa nagymértékben függ a települési csapadékvíz-elvezető rendszer dinamikájától és a földfelszín alakjától. Az egyszerű városi csatornarendszerekben, ahol a dinamika kevésbé fontos, gyakran lehetséges az árvíz kiterjedésének vízmérleg alapján történő kiszámítása. A sokkal bonyolultabb városi csatornarendszerekben dinamikus modellt kell használni [10].



„Az összetett hálózatok számítására alkalmas számítógépes programok megjelenésével együtt azonban újabb feladatok, problémakörök is felmerültek, amelyeket már a hagyományos módszerekkel nem tudunk megoldani.” Ilyen problémát jelent például a belterületi „nagy számú kisvízgyűjtő részletes beépítése a teljes csatornahálózatot magában foglaló modellbe” a lefolyás minél pontosabb leképezése érdekében; „a befogadók szennyezőanyag terhelésének ellenőrzése a legkisebb terhelést biztosító megoldás kiválasztása vagy a „előntéssel okozott károk kockázatának becslése”[11].

Hasonlóképpen, a földfelszín típusokat is feloszthatjuk egyszerű (amikor nem fontos a dinamika) és bonyolult esetekre (amikor a felszíni dinamika fontos). Az adatok részletessége és minősége gyakran nagyon eltérő. A földrajzi információs rendszerben a digitális terepmodelleket arra használjuk, hogy bemélyedéseket találjunk a felszínen és ezeket a depressziókat, mint ismert kockázati területek megjelölhessük. Tehát a digitális terepmodellek segítségével meg lehet határozni a városi területeken bekövetkező árvízi előntés valószínűségét. Az elemző módszerek a digitális terepmodell által pontosíthatók, és így bármely csatornarendszer (amely az adott depressziós tértől elvezeti, vagy amelyhez odavezeti a vizet) értékelése/vizsgálata során értékes információval szolgálnak. Az éghajlatváltozás városi árvizekre gyakorolt hatásának vizsgálati folyamatában a digitális terepmodellek a vizsgálat különböző szintjein (a legegyszerűbbtől a legbonyolultabb eljárásig) használható fel. A felszíni depressziókat ábrázoló térképektől egészen a kifinomult számítógépes modellekig. Miközben terepmodelleket használunk az éghajlatváltozás elemzésére, nagyon fontos, annak a célnak a meghatározása, hogy mire fogjuk használni az elemzésünket

a), előzetes árvízi kockázatértékelésre

b), az esővíz és a vízfolyás rendszerek kezelése szempontjából megkívánt irányelvek meghatározására

c), az éghajlatváltozás különféle hatásaihoz való alkalmazkodás lehetőségének felbecsülésére [10]?



## 2. A MODELLEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A csapadék csatornarendszerek generálta áradások modellezése olyan hidraulikai modellekkel lehetséges, melyekkel a klíma adaptáció, vagyis „az éghajlatváltozás elkerülhetetlen természeti, társadalmi és gazdasági hatásaival szembeni fellépés és azokhoz történő rugalmas, tervezett igazodás” [12] (vagyis az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás) becsülhető és rangsorolható:

- DFM (digitális felszín modell) - Depresszió Térkép: a földrajzi információs rendszer elemzésén alapul, felhasználva a digitális felszín modell által kiszámított felszíni depressziót. A módszer csak a felszíni lefolyást veszi számításba és nem számol a csövek tárolókapacitásával és a hidraulikai paramétereivel.
- Minőség garantált DFM Depresszió Térkép: a földrajzi információs rendszer elemzésén alapul, felhasználva egy garantált minőségű elevációs modellt a felszíni depresszió kiszámítására. A módszer egyetlen felszíni lefolyást foglal magában és nem számol a városi csatornázási hálózatban lévő hidraulikai paraméterekkel.
- Depresszió térképek egyszerű lefolyásmodellekkel kombinálva. A felszíni lefolyás kapacitás egyszerű térfogat számítása beleolvasztva a „Depresszió Térkép” számításba. Ez a módszer a kockázati zónák egyfajta elsődleges becslését biztosítja.
- 1D Hidrodinamikai modell (MOUSE – a csatornahálózatok modellezéséhez páratlan hatékonyságú és stabilitású szimulációs motor). A csövek és csatornák áramlási szimulációja. A módszer nem veszi számításba a szárazföldi felszínledefolyást és nem szimulálja a terepi áradásokat. A módszer a városi csatornázási hálózatban fellelhető kritikus pontokkal kapcsolatban nyújt információt. A lerakódás, az erózió, a mederfenék alakzatok, vagyis a morfológiai változások is számíthatók a modell segítségével a paraméterek rugalmas megválasztása mellett. Egy (1D) hidrodinamikai csatornamodell arra alkalmas, hogy egy kezdeti áttekintést adjon arról, ahol a víz először túlterheli/túltölti a terepet. Ez kombinálható azzal az ismerettel, ahogy a víz áramlik a felszínen, és ahol víz depresszív módon akkumulálódik. Ha a víz a kockázati zóna közelében a Depresszió





Térkép módszer által besorolt különféle helyeken túlterhelést okoz, akkor ezen a területen további vizsgálatokat kell végezni.

- 1D-1D kombinált hidrodinamikai csatorna és felszín modell. A felszín az 1D modellben valósul meg (pl. MOUSE). A módszer bemutatja a kockázati zónákat, számolja a felduzzadt vízmennyiséget, továbbá szimulálja, hogy a víz térbelileg milyen messze van. A módszert alkalmazó olyan hidraulikus csatornahálózati modell, mint pl. (MOUSE, MIKE URBAN, Info Works CS, SWMM5 vagy ezekhez hasonló nem számol sebességet és nem írja le a felszíni áramlási útvonalakat és ennél fogva nincs kölcsönhatás a felszín és a csatornarendszer között.
- A következmény az, hogy egy hagyományos városi csatornahálózati modell hibával lesz terhelt, rögtön, amint a víz túlterheli/túltölti a terepet, ezáltal megköveteli, hogy a terepfelszín beépítésre kerüljön a városi csatornahálózati modellbe. A felszín modell digitális elemzése a felszíni áramlási minták komplex rendszerét mutatja. További elemzések által kimutatható, hogy a felszín leírása leegyszerűsíthető, hogy ha azt depressziók, természetes csatornák és túlfolyások sorozataként állítjuk össze, hasonlóan ahhoz a számítási eljárási módszerhez, amit az 1D dinamikus csatornahálózati modellezés során valósítunk meg. Általában a felszín körülrhatják hidraulikus víztározóként és túlfolyásként. Néhány esetben a felszíni leírás természetes csatornákkal pótolható. A digitális elemzés alapján egy egydimenziós felszíni modell létrehozható tavakból, bukógátákból és természetes csatornákból, ezt követően a felszín egyenesen beépítik a hidraulikus csatornahálózati modellbe a különböző típusú hidraulikus modellek közötti összekapcsolás nélkül.
- Kombinált hidrodinamikai csatornahálózati modell és 2D felszínmodell (1D-2D) MIKE Flood (MOUSE/MIKE11 és MIKE 21). A városi csatornahálózati modell és a hidrodinamikai 2D felszíni modell kombinációja. A módszer a felszíni áramlási sebességeket és áramlási útvonalakat tartalmazza. Viszonylag könnyű felépíteni a modellt, de nagy számítógépes adatfeldolgozást igényel. A kétdimenziós felszínmodellel lehetséges az extrém csapadékeseményekről egy olyan fajta részletes leírást adni, amely mind a csatornahálózat dinamikáját, mind a terep felszínét magában foglalja. Jó minőségű terepadatokra van szükség a részletesség teljes szintjének kihasználásához, és ez a



számításidő jelentős megnövekedését eredményezi. Ezen a ponton nem célszerű a hosszú idősoros csapadékesemény alkalmazása a számítási idő miatt. A városi csatornahálózati modell és a felszíni modell kombinációjának előnye az, hogy extrém csapadékesemények alatt is lehetőség adódik az árvízi kitettség nagyon pontos meghatározására.

- A teljes vízkörforgás ciklus szimulációja. A jövőben lehetséges lesz a talajvíz zóbából történő kiáramlási, a vízfolyások és városi csatornahálózatok lefolyási, valamint a tengeri áramlási modellek kombinációjára. Ez a városi lefolyásokról fog egyfajta átfogó áttekintést adni. Jelenleg a városi csatornarendszerek és a vízfolyások a talajvíz hidrológiával zonálisan kombinálhatóak, de ez nagy számítógépes adatfeldolgozást igényel és nagyon nehéz olyan részletes modellt felépíteni, ami megéri a fáradságos munkavégzést [10A].

### 3. ÖSSZEFOGLALÁS

A felszín modell és a Depresszió Térkép módszer az olyan területekről ad megfelelő leírást, ahol a víz potenciálisan eltárolható a terepi depressziókban/mélyedésekben. A földrajzi információs rendszer alapú elemzés szintén lehetővé teszi a felszíni szárazföldi lefolyási útvonalak és a depressziók és mélyedések vízgyűjtő-területeinek számítását. A felszín modell és Depresszió Térkép módszer hatékony eszközök a vízgyűjtő területek kezdeti feltárásában és a kezdeti prioritások rangsorolásában. A módszerek különösen alkalmasak azokon a területeken, ahol a csőhálózati regisztráció szegényes vagy egyáltalán nem is létezik. A terepadatok elemzése nem nyújt a csatornarendszerből eredő hatásokkal kapcsolatban elégséges információt, úgyhogy fontos hangsúlyozni azt, hogy az eredményeket elővigyázatosan kell értelmezni. A szárazföldi áramlási útvonalak és az áramlást elősegítő háttérterületek alapján az elemzés jellemezhet egy területet, mint alacsony kockázati zónát, tekintet nélkül a városi csatornahálózatokban lévő csövek által közölt többlet információkra. Egy az aktuális csapadék-eseményeknek miatt bekövetkező áradásból származó hidraulikus felszínszámítást elvégezhetünk csupán csak a felszíni adottságok figyelembe vételével, de ha nem vesszük figyelembe a városi szennyvízcsatorna rendszerből származó többlet



mennyiségeket, akkor az eredmények tévesek. A hagyományos hidrodinamikai csatornahálózati modell arra alkalmas, hogy rámutasson, hogy a víz először hol lép a felszínre, de nem alkalmas arra, hogy megfelelően jellemezze a szárazföld felszíni áramlásokat valamint a felszín és a csatornahálózat közötti interakciókat. Csak azt az intenzitást és vízhozamot lehetséges megbízhatóan megbecsülni, amit a városi csatornarendszer kapacitásának köszönhetően képes befogadni. A különböző megközelítéseken keresztül összekapcsolt adatok, módszerek és modellek, mint például a felszín modell, a Depresszió Módszer és csatornahálózati modell, és megfelelő adatmennyiség kell ahhoz, hogy a csatornahálózat és a felszín közötti interakciókat leíró magas szintű számításokat végezhessünk. A számítások céljától függően, egy vagy kétdimenziós eljárási módszer választható a felszíni áramlás kiszámítására. Az egy dimenziós felszín leírás egy rövid számítási idejű és magas stabilitású operációs modellt biztosít. Ezzel szemben azokon a területeken, ahol hosszú áramlási útvonalak és kisebb lejtők vannak meg van annak a kockázata, hogy az áradási sebességet túlbecsüljék. A kétdimenziós felszín leírás jelentősen növeli a feldolgozási időt, számolja a felszíni sebességet, amely az elöntési dinamikáról egy sokkal pontosabb leírást ad. Mindkét modell típus esetében a felszín fokozott részletessége csökkenti a felszíni áramlás leírásának hiba lehetőségét, de növeli a számítási időt. Az egydimenziós számításoknál a felszíni depressziók száma befolyásolja a felszíni áramlást, míg a kétdimenziós felületet a rácsok mérete szabályozza. Két felszíni modellre vonatkozó eredmények összehasonlíthatóak, de azokon a területeken ahol a felszíni áramlási idő nagy (hosszú áramlási útvonalak viszonylag alacsony lejtéssel), ott érdemes megfontolni a kétdimenziós felszíni leírást [10B].

A különböző tudományos megközelítéseket tanulmányozva a legtöbb forrás abban egyetért, hogy az infrastruktúra mindenképpen az emberi szükséglet nélkülözhetetlen előfeltétele. A globális változások, főként az extrém árvízi események változékonysága megnőtt, és ez komoly veszélyeket rejt az infrastruktúra elemekre nézve.

„A tervezők az elmúlt évtizedek statisztikai adatsorára alapozva dolgoznak. Az érvényben lévő elérhető szabványokban található eloszlásfüggvények nem a mai valóságot írják le, hiszen a kiadásuk óta eltelt időszakban megnövekedtek a szélsőséges időjárási jelenségek, így azok a jelen állapotokra már nem alkalmazhatóak”[12A].



Napjainkban a városüzemeltetés szempontjából ezek a globális változások okozta károk a kritikus vízi infrastruktúrák működőképességét, illetve a szolgáltatások folyamatos biztosítását fenyegetik. Az elmúlt néhány évtizedben a városi árvízi kockázat iránti érdeklődés folyamatosan növekszik, ahogy az áradások gyakorisága és a városi árvíz okozta károk is. A városi területeken bekövetkező áradások legfőbb okai azok az extrém csapadékesemények, melyek a városi víziközmű infrastruktúrák túlterheléséhez vezetnek. Az ilyen „környezeti veszélyhelyzeteket, katasztrófákat természeti jelenségek és emberi (...) tevékenységek egyaránt kiválthatják. Mindkét esetben lényeges kérdés az esetleges bekövetkezés esetére való felkészülés annak érdekében, hogy a káros következmények mérsékelhetőek legyenek” [13]. Mivel „a csapadék térben és időben egyaránt változékony éghajlati paraméter”, ezért az éghajlatváltozáshoz hasonlóan annak „jövőbeli megváltozása nagy bizonytalansággal terhelt” köszönhető ez az eltérő „modell eredményeknek” és annak, hogy a „változások csak néhány esetben bizonyulnak statisztikailag szignifikánsnak” [12B].

Az árvíz kockázat számszerűsítéséhez az árvíz teljes spektrumát lefedő valós eseményekből származó adatokra van szükség, ezen felül olyan módszertan kidolgozására, amely az árvíz valószínűségét és következményeit számszerűsíti.

Alapelveként ajánlják „hogy azok az éghajlati paraméterek, melyekre jelentős hatással bírnak a mikro klimatikus viszonyok (csapadék intenzitás, vihar-szél erősség) ott inkább a helyi, statisztikai adatokon alapuló megközelítést (mint például a hirtelen lezúduló csapadék mennyiségi mérései-intenzitás adatok)” kell alkalmazni [12C]. „A mérnöki gyakorlatban a modellek a kutatást, a tervezést és az elemzést segítik, és ide sorolhatók a mérésekhez alkalmazott modellek is” [8]. A megfigyelések mellett elengedhetetlen a különböző csapadékviszonyokból származtatható, a városi víziközmű infrastruktúra rendszerek viselkedését leíró méréseken alapuló szimulációs vizsgálatok elvégzése, melyek az adott infrastruktúra rendszer heves esőzésekből származó túlterhelését illetően képesek a csatornahálózaton keresztüli áramlásokra is pontos becsléseket adni. Ezek az információk az árvíz védekezési intézkedések rangsorolása miatt fontosak, segítenek a vízgazdálkodási szakembereknek, a várostervezőknek a tervek leszűkítésében a reziliens árvíz-gazdálkodási stratégiai tervek kifejlesztésében.



## HIVATKOZÁSOK

- [1] Csapák Alex: Települési vízgazdálkodás, lakossági csapadékvíz-gyűjtés és – felhasználás Doktori Értekezés, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Földtudományi Doktori Iskola, pp. 1-156., Budapest, 2009. [Online] Elérhető: [http://geogr.elte.hu/TGF/TGF\\_Doktorik/csapakalexertekezes.pdf](http://geogr.elte.hu/TGF/TGF_Doktorik/csapakalexertekezes.pdf) (letöltve: 2020. 05. 15.)
- [2] Jia Liu „et alii”: Review and Research Needs of Bioretention Used for the Treatment of Urban Stormwater, Water, Volume 6., pp. 1070. (1069-1099); 2014. DOI:10.3390/w6041069 [Online] Elérhető: <https://www.mdpi.com/2073-4441/6/4/1069/htm> (letöltve: 2020. 05. 15.)
- [3] Manfred Kleidorfer „et alii”: A case independent approach on the impact of climate change effects on combined sewer system performance, IWA Publishing, Water Science & Technology-WST 60.6, pp. 1555. (1555-1564). 2009. [Online] Elérhető: <https://iwaponline.com/wst/article/60/6/1555/15892/A-case-independent-approach-on-the-impact-of> (letöltve: 2020. 05. 15.)
- [4] Urban Flood Risk Management – A Tool for Integrated Flood Management, APFM Technical Documentum, Flood Management Tools Series, No. 11., pp. 1-44., 2008. [Online] Elérhető: <http://repo.floodalliance.net/jspui/bitstream/44111/933/1/Urban%20Flood%20Risk%20Management%20Tool%20for%20Integrated%20Flood%20Management.pdf> (letöltve: 2020. 05. 15.)
- [5] Szatmári József „et alii”: Modellek a geoinformatikában, Szegedi Tudományegyetem, Debreceni Egyetem, Pécsi Tudományegyetem, pp. 54. oldal (1-177), 2013. [Online] Elérhető: [http://eta.bibl.u-szeged.hu/1320/1/modellek\\_a\\_geoinformatikaban.pdf](http://eta.bibl.u-szeged.hu/1320/1/modellek_a_geoinformatikaban.pdf) (letöltve: 2020. 05. 15.)
- [6] Észak-Dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság, A Víz Keretirányelv hazai megvalósítása VÍZGYŐJTŐ-GAZDÁLKODÁSI TERV, 1-7. Gerecse alegység, pp. 20. (1-142), 2009. [Online] Elérhető: [http://vgt.kornyezetvedok.hu/vgt1/vizeink.hu\\_0437\\_1-7\\_Alegyseg\\_Gerecse.pdf](http://vgt.kornyezetvedok.hu/vgt1/vizeink.hu_0437_1-7_Alegyseg_Gerecse.pdf) (letöltve: 2020. 10. 13.)



- [7] Kalicz Péter: Hidrológiai Folyamatok Modellezése A Sopron Melletti Hidegvíz-Völgyben, Doktori értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola, Geokörnyezettudomány Program, Sopron, pp. 79. (1-182), 2006. [Online] Elérhető: <http://doktori.uni-sopron.hu/id/eprint/101/1/dolgozat.pdf> (letöltve: 2020. 05. 15.)
- [8] Huba Antal; Lipovszki György: Méréselemélet,” BME MOGI, ISBN 978-963-313-171-8, Budapest 2014. [Online] Elérhető: <http://www.mogi.bme.hu/TAMOP/mereselvelet/ch05.html>
- [9] [Online] Elérhető: [https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412b2/2013-0002\\_rendszerek\\_a\\_szakkepzesben/RS/srsjs213g.scorm](https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412b2/2013-0002_rendszerek_a_szakkepzesben/RS/srsjs213g.scorm)
- [10] Urban Climate Change Guidelines, (The Climate Cookbook for DANVA, Version 2.1), How To Achieve Sustainable Adaptation In Urban Areas, pp. 34 (1-112), [Online] Elérhető: <https://www.dhigroup.com/areas-of-expertise/climate-change> (letöltve: 2020. 05. 26.)
- [10A] Urban Climate Change Guidelines, (The Climate Cookbook for DANVA, Version 2.1), How To Achieve Sustainable Adaptation In Urban Areas, pp. 34-52 (1-112), [Online] Elérhető: <https://www.dhigroup.com/areas-of-expertise/climate-change> (letöltve: 2020. 05. 26.)
- [10B] Urban Climate Change Guidelines, (The Climate Cookbook for DANVA, Version 2.1), How To Achieve Sustainable Adaptation In Urban Areas, pp. 52 (1-112), [Online] Elérhető: <https://www.dhigroup.com/areas-of-expertise/climate-change> (letöltve: 2020. 05. 26.)
- [11] Salamon Endre: Csatornahálózat hidraulikai modellezése az oktatásban, Országos Települési Csapadékvíz-gazdálkodási Konferencia, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Dialóg Campus, pp. 190-191. oldal (1-326), ISBN 978-615-5845-22-2 (elektronikus), 2017. [Online] Elérhető: <https://vtk.uni-nke.hu/document/vtk-uni-nke-hu/Kézikönyv.pdf> (letöltve: 2020. 05. 20.)
- [12] Éghajlatváltozás hatásaihoz való alkalmazkodás, Módszertani útmutató az éghajlatváltozás hatásainak érzékenységvizsgálatához és kitettség elemzéséhez, Magyar Mérnöki Kamara, Környezetvédelmi Tagozat, pp. 7. oldal (1-37), Budapest, 2018. [Online] Elérhető: <https://kvtagozat.hu/images/eghajlat.pdf> (letöltve: 2020. 05. 26.)
- [12A] Éghajlatváltozás hatásaihoz való alkalmazkodás, Módszertani útmutató az éghajlatváltozás hatásainak érzékenységvizsgálatához és kitettség elemzéséhez, Magyar



Mérnöki Kamara, Környezetvédelmi Tagozat, pp. 11. oldal (1-37), Budapest, 2018. [Online]  
Elérhető: <https://kvtagozat.hu/images/eghajlat.pdf> (letöltve: 2020. 05. 26.)

[12B] Éghajlatváltozás hatásaihoz való alkalmazkodás, Módszertani útmutató az éghajlatváltozás hatásainak érzékenységvizsgálatához és kitettség elemzéséhez, Magyar Mérnöki Kamara, Környezetvédelmi Tagozat, pp. 16. oldal (1-37), Budapest, 2018. [Online]  
Elérhető: <https://kvtagozat.hu/images/eghajlat.pdf> (letöltve: 2020. 05. 26.)

[12C] Éghajlatváltozás hatásaihoz való alkalmazkodás, Módszertani útmutató az éghajlatváltozás hatásainak érzékenységvizsgálatához és kitettség elemzéséhez, Magyar Mérnöki Kamara, Környezetvédelmi Tagozat, pp. 23. (1-37), Budapest, 2018. [Online]  
Elérhető: <https://kvtagozat.hu/images/eghajlat.pdf> (letöltve: 2020. 05. 26.)

[13]. Kátai-Urbán Lajos; Vass Gyula: KÉZIKÖNYV a veszélyes üzemek biztonságsszervezésével kapcsolatos alapeladatok teljesítéséhez, NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM Katasztrófavédelmi Intézet, pp.11. (1-57), Budapest, 2014.  
Elérhető: [https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/20.500.12944/8474/kezikonyv\\_vesz\\_uzem.pdf?sequence=2](https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/20.500.12944/8474/kezikonyv_vesz_uzem.pdf?sequence=2)

(letöltve: 2022. 01. 26.)

**Mrekva László**, Mesteroktató,

Nemzeti Közsolgálati Egyetem, Víz tudományi Kar, Víz-és Környezetbiztonsági Tanszék,  
[mrekva.laszlo@uni-nke.hu](mailto:mrekva.laszlo@uni-nke.hu)

**László Mrekva**, Master teacher,

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

[orcid.org/0000-0001-8855-8743](https://orcid.org/0000-0001-8855-8743)