

Az építményinformációs modellezés (BIM) felhasználási lehetőségei az árvíz- és belvízvédelemben

Luczó Ádám

FUTIZO Kft., 5700 Gyula, Siórét tanya 40/C. (e-mail: luczo.adam@gmail.com)

DOI:10.59258/hk.24797



Kivonat

A BIM egy 3D alapú, adatvezérelt tervezési módszer, amely az építmények teljes életciklusát (tervezés, kivitelezés, üzemeltetés) támogatja. A 31/2024. ÉKM rendelet értelmében alkalmazása állami beruházásoknál kötelező, 2035-ig pedig minden állami létesítményt – köztük a vízügyi infrastruktúrát is – utólagosan modellezni kell a hatékonyabb tervezés, kivitelezés és üzemeltetés érdekében. A XIX. század óta 300 millió köbméternyi földmunkával kiépített 4 500 km védelmi rendszer az ország területének negyedén élő 2,5 millió lakost, a termőföldek harmadát, a közlekedési hálózat jelentős részét és a nemzeti össztermelés 25%-át védi az árvizekkel szemben. A hazai belvízrendszer 46 000 kilométernyi csatornahálózattal, szivattyútelepekkel és műtárgyakkal kezeli a lefolyástalan területek belvízi kockázatát, amely az Alföld ármentesítése óta az árvízvédelemmel egyenrangú prioritás és folyamatos mérnöki feladat.

A BIM modellezés előnyei az integrált tervezési folyamat és közös adatkörnyezet, az adatkonzisztencia, az életciklus-szemlélet, a tervezési fázisban elvégezhető ütközésvizsgálatok. Mindezek fokozzák a tervezés, kivitelezés, üzemeltetés hatékonyságát, ezáltal idő és költség takarítható meg és javulhat a tervezés és kivitelezés minősége. BIM környezetben előállítható a jelenlegi árvíz- és belvízvédelmi rendszerünk minden részegysége: a 3D-ben készülő töltések, depóniák, műtárgyak, csatornák, infrastruktúra elemek nem csupán a geometriai méreteket és földrajzi elhelyezkedést tartalmazzák, hanem többlet információval láthatók el (pl. anyagminőségek, statikai jellemzők, vízáteresztőképesség).

Három külföldi tanulmány vizsgálatával mutatom be a BIM környezet alkalmazásának lehetőségét az árvíz- és belvízvédelemben. Az első esettanulmány a kínai Csiangszu tartomány fővárosában a Jangce folyó környezetében Green-Water Wetland komplex környezetfejlesztési projekt, ahol egy komplett új városrész kialakításával kapcsolatos zöld-kék infrastruktúra megtervezését végezték BIM szoftverekkel. A második esettanulmány a 2017-es görögországi villámárvíz vizsgálatára épülve mutatja be a Watershed-BIM módszertant, amely egyetlen 3D-s keretrendszerbe integrálja az építményinformációs és hidrodinamikai modellezést, a térinformatikát és az árvízi kockázatok meghatározását. A harmadik esettanulmány BIM eszközökkel készített előtési kockázatelemzésére helyezi a hangsúlyt, ugyanis Lisszabon történelmi belvárosa halmozottan ki van téve a klímaváltozással kapcsolatba hozható tengerszintemelkedésnek.

Kulcsszavak

BIM, modellezés, árvíz, belvíz, kockázat, vízi létesítmény, műtárgy.

The uses of Building Information Modeling (BIM) in flood and excess water management

Abstract

BIM is a 3D-based, data-driven design method that supports the entire life cycle of structures (design, construction, operation). According to *Decree 31/2024 of the Ministry of Infrastructure and Transport*, its use is mandatory for state investments, and by 2035, all state facilities – including water infrastructure – must be modelled retrospectively for more efficient design, construction and operation.

The 4 500 km protection system, built with 300 million cubic meters of earthworks since the 19th century, protects 2,5 million residents living on a quarter of the country's territory, a third of the agricultural land, a significant part of the transport network and 25% of the gross national product against floods. The domestic inland water system manages the inland water risk of non-drainage areas with a 46 000 km excess water system, pumping stations and structures, which has been a priority on par with flood protection and an ongoing engineering task since the flood relief of the Great Plain.

The advantages of BIM modelling are the integrated design process and common data environment, data consistency, life cycle approach, and collision tests that can be performed in the design phase. All of these increase the efficiency of design, construction, and operation, thereby saving time and costs and improving the quality of design and construction. All components of our current flood and inland water protection system can be produced in a BIM environment: embankments, structures, channels, and infrastructure elements created in 3D not only contain geometric dimensions and geographical location but are also provided with additional information (e.g. material qualities, static characteristics, water permeability).

I present the possibility of applying the BIM environment in flood and inland water protection by examining three foreign studies. The first case study is the Green-Water Wetland complex environmental development project in the Yangtze River area of the capital of Jiangsu Province, China, where the design of the green-blue infrastructure related to the development of a complete new urban district was carried out using BIM software. The second case study presents the Watershed-BIM methodology, based on the investigation of the 2017 flash flood in Greece, which integrates building information and hydrodynamic modelling, GIS and flood risk assessment into a single 3D framework. The third case study focuses on the flood risk assessment using BIM tools, as the historic city centre of Lisbon is cumulatively exposed to sea level rise associated with climate change.

Keywords

BIM, modelling, flood, excess water, risk, water facility, structures.

BEVEZETÉS

A hazai ár- és belvízvédelmi rendszer műveinek kialakítása a XIX. század első felében kezdődött és építésük legnagyobb része a XX. század második felében be is fejeződött. Árvízvédelmi művek alatt alapvetően az árvízvédelmi töltéseket, depóniákat, az ezekhez kapcsolódó infrastruktúrát, műtárgyakat, folyószabályozási műveket, tározókat értjük. Belvízvédelmi művek alatt a belvízelvezető csatornákat, töltéseket, depóniákat, tározókat, műtárgyakat, szivattyútelepeket és a kapcsolódó infrastruktúrát értjük. A meglévő rendszerek zöme a Magyar Állam tulajdonában van, kezelőjük általában az Országos Vízügyi Főigazgatóság és a 12 db helyi illetékességű vízügyi igazgatóság. A folyamatosan változó környezeti körülmények és a művek általános magas életkora miatt a fenntartási, karbantartási, felújítási munkák folyamatosan zajlanak. A 2000-es évek óta új irányvonalként egyre nagyobb hangsúlyt kap az árvízvédelmi tározás, valamint a reagálóképesség és a megelőző intézkedések szerepének javítása, erősítése (Szilávik 2005).

Az utóbbi években a BIM (Building Information Modelling/management – Építményinformációs modellezés/menedzsment) használata egyre inkább teret nyer a hazai építőipari környezetben is: a 2023. évi LXIX. törvény, a 31/2024. (VIII. 22.) és a 27/2025. (VIII. 28.) ÉKM rendeletek tisztázzák az egyes építőipari szereplők feladatait, jogköreit, megalapozzák az építési beruházások intézményrendszerét, továbbá jogi, törvényi kereteket adnak az állami építési beruházásoknak, valamint tisztázzák és meghatározzák BIM szerepét az egyes építőipari szereplők és folyamatok vonatkozásában. Mivel a BIM környezet implementálása hosszú és összetett folyamat, a meglévő ár- és belvízvédelmi rendszerek egyes elemei pedig akár 100-150 évnél is régebbi létesítmények, továbbá a hazai infrastruktúra jelentős részét védik a havária helyzetektől, igen nagy jelentőségűnek tartom a BIM kiterjesztését a vízi infrastruktúra elemekre is.

A hazai vízgazdálkodási, vízépitési szakágazatban az utóbbi években kezd teret nyerni a BIM alapú tervezés és kivitelezés. Az utóbbi évek jelentősebb, BIM rendszerhez köthető vízi létesítményei az alábbiak voltak:

- Esztergom árvízvédelmi fejlesztése I. és II. ütem: a kiviteli tervek bizonyos részei 3D modellként készültek, Autodesk Revit szoftver alkalmazásával,
- Kvassay-szivattyútelep megvalósítása és a Kvassay vízerőtelep energetikai és gépészeti rekonstrukciója és fejlesztése: egyes szakági tervei 3D modellként készültek el,

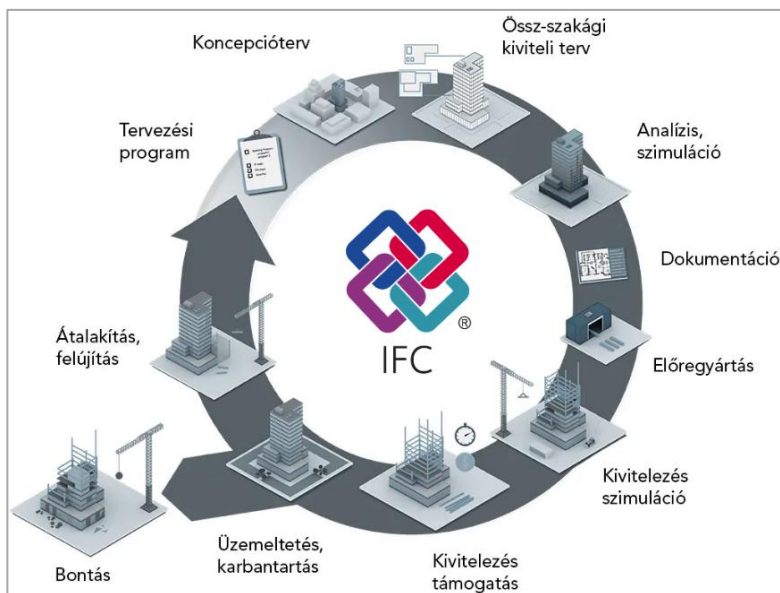
- a Mosoni-Duna torkolati szakaszának vízszint rehabilitációja: a vízszint-szabályozó műtárgy és hajózsilip egyes szakági tervei 3D modellként készültek, Autodesk Revit szoftver alkalmazásával.

A BIM fogalmának és a hazai jogi/törvényi környezetének bemutatása után taglalni fogom, hogy a jelenlegi árvíz- és belvízvédelmi tervezési, kivitelezési, fenntartási környezetben milyen módon alkalmazható az információmenedzsment módszertana és hogy jelenleg milyen modellezhető vízi létesítményeket üzemeltetünk. Ezután - az itthoni forrásanyagok hiánya miatt - nemzetközi szakirodalom segítségével fogom bemutatni a BIM alkalmazásának lehetőségeit a már meglévő (üzemeltetési, karbantartási, helyreállítási szempontok) és a jövőben megépíteni kívánt (engedélyeztetési, tervezési, építési szempontok) árvíz- és belvízvédelmi rendszerek tekintetében.

A BIM-RŐL RÖVIDEN

A BIM fogalma egy digitális, objektum-alapú tervezési és információkezelési módszertan, amely egy háromdimenziós (3D) modell köré szervezve integrálja az építmény geometriai, műszaki, üzemeltetési adatait és leggyakrabban az építmény (ami lehet akár épület, infrastruktúra elem stb.) teljes életciklusára vonatkoztatható. A BIM nem pusztán egy 3D-s modell, hanem egy adatbázis, amely minden építési elemhez (fal, nyílászáró, gépészeti berendezés, vagy jelen esetben földmű, burkolat stb.) hozzárendeli a hozzá tartozó információkat – anyagtulajdonságokat, költséget, gyártói, karbantartási, jótállási adatokat. Mérnöki szempontból fontos, hogy a BIM alapú tervezés és kivitelezés szemlélete:

- integrált tervezési folyamatot tesz lehetővé: az egyes tervezési szakágak és más szereplők részére közös tervezési, megosztási, kommunikációs platformot biztosít,
- adatkonzisztens: a modell minden változása azonnal, automatikusan frissül, nyomon követhető a módosító személye, a módosítás, jóváhagyás ideje stb.,
- életciklus-szemléletet alkalmaz: a BIM modellek nem csak a tervezést és kivitelezést, hanem az üzemeltetést és akár a felújítást, átépítést, bontást is követhetővé teszik,
- biztosítja az egyes szereplők közötti koordinációt és ütközésvizsgálatok elvégzését: a különböző szakági tervek közötti interferenciák automatikusan felismerhetők,
- növelheti a kivitelezés munkabiztonságát, csökkentheti a munkabalesetek számát,
- segíti a kivitelezés költségoptimalizációját, csökkentheti a kivitelezés költségeit.



1. ábra. A BIM életciklus ábrázolása (URL1)
Figure 1. Representation of BIM lifecycle (URL1)

A 31/2024. (VIII.22.) ÉKM rendelet értelmében az Európai Unió közbeszerzési értékhatárt meghaladó becsült összegű állami beruházásoknál kötelezővé válik a BIM-alapú tervezés és műszaki megvalósítás, mely az alábbi ütemezésben fog bővülni:

- 2024.09.21-től a magasépítésben és útéépítésben (jelenleg is hatályos),
- 2026.07.01-től a vasútéépítésben,
- 2027.07.01-től a vízépítésben,
- 2028.07.01-től a közműépítésben is bevezetésre kerül.

Továbbá a rendelet értelmében 2035. december 31-ig minden, a magyar állam tulajdonában álló és BIM modellel nem rendelkező létesítmény esetében az építményinformációs modellt utólag is létre kell hozni. Jelenlegi értelmezésünk szerint ez érinti az állami árvíz- és belvízvédelmi művek túlnyomó többségét is, beleértve:

- az árvízvédelmi töltéseket,
- alacsonyabb rendű árvízvédelmi vonalakat, depóniákat,
- egyéb kapcsolódó vonalas létesítményeket (fenntartási, közlekedési utak, távközlés, közművek stb.),
- kapcsolódó épületeket (gátórházak, védelmi központok, raktárak stb.),
- árvízvédelmi tározókat és az ezekhez kapcsolódó egyéb létesítményeket, műtárgyakat,
- különböző műtárgyakat (duzzasztóművek, folyószabályozási művek, zsilipek, tiltók, hallépcsők, hajózsilipek stb.),
- monitoring eszközöket (vízállás-, vízhozam- és vízminőségmérő helyek),
- mesterséges hajóutakat, kikötőket, stégeket, partfalakat, mólókat, jelzéseket,

- belvízcsatornákat és az azokhoz kapcsolódó vonalas létesítményeket (töltések, depóniák, egyéb infrastruktúra),

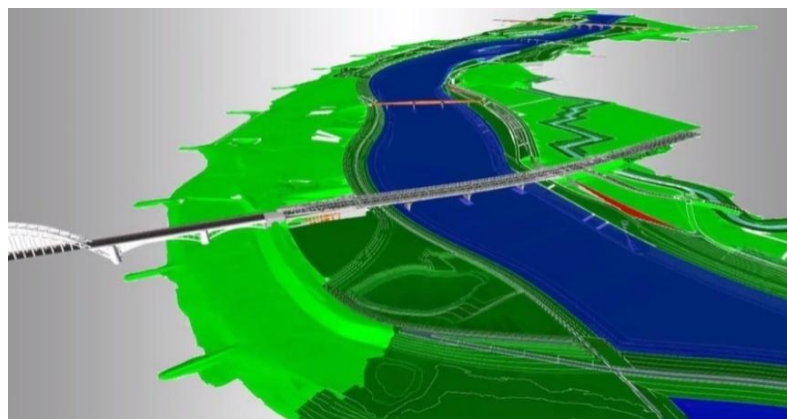
- szivattyútelepeket a kapcsolódó épületekkel és infrastruktúrával,

- provizórikus létesítményeket (szivornyák, ideiglenes csővezetékek, szivattyúállások).

A BIM FELHASZNÁLÁSÁNAK LEHETŐSÉGE AZ ÁR-ÉS BELVÍZVÍZVÉDELEMBEN

A hazai ár- és belvízvédelmi, folyószabályozási és általánosságban a vízgyűjtő-gazdálkodási gyakorlatot közepes digitalizáltság jellemzi. Vízgazdálkodási szempontból jelenleg leginkább a vízrajzi és hidrometriai tevékenységek köthetők a digitálisan használt platformokhoz. A hazai vízrajzi tevékenység 1886-ig nyúlik vissza. Az 1980-as évek óta folyamatosan nő a digitalizáltság, ami jelenleg is a vízügyi információs rendszer gerincét képezi. Jelenleg mintegy 8 000 vízrajzi állomás (kiegészülve a HungaroMet Zrt. 141 db hidrometeorológiai állomásával) üzemeltetése, fenntartása és folyamatos fejlesztése folyik (OVF 2026).

Az Európai Parlament és az Európai Tanács 2007/60/EK Irányelve minden tagország számára egységesen és kötelezően szabályozza az árvízi kockázatok és azok kezelésének témakörét. Az irányelv végrehajtásával kapcsolatos feladatokat, teendőket a 178/2010. (V. 13.) Korm. rendelet írja elő. Ennek értelmében előzetes kockázatbecsléseket, árvízi veszély- és kockázati térképeket, valamint árvízi kockázatkezelési tervet kellett készíteni, melyek alapján a meglévő kockázatok csökkentésére hozandó intézkedési tervet kellett készíteni.



2. ábra. Vízi infrastruktúra BIM modellje (URL2)
Figure 2. BIM model of water infrastructure (URL2))

A hazai árvízvédelmi rendszer a folyók szabályozásával és jellemzően földtöltések építésével alakult ki. Magyarországon a különböző vízfolyások hossza kb. 2 800 km (folyók, patakok, erek, szabályozott vízfolyások). Az elsőrendű védvonalak hossza kb. 4 500 km, melyből az épített művek (töltések, árvízvédelmi falak) hossza kb. 4 157 km. Az épített művekből mintegy 3 408 km hosszan, átlagosan mintegy 1,0 m magassági hiány van. A másodrendű vonalak hossza mintegy 770 km, ami jellemzően földgátakból, depóniákból álló lokális építmény, pl. települési körtöltés. Ehhez a XIX. század első fele óta mintegy 300 millió m³ föld került megmozgatásra, beépítésre. A hazai árvízvédelem fontosságát jól mutatja, hogy a fenti hosszúságú védvonal az ország teljes területének mintegy egynegyedét (21 207 km²) védi az árvízi elöntésektől. Ezen a területen 670 településen mintegy 2,5 millió ember él, itt található a megművelhető földterületek közelítőleg egyharmada, a vasutak 32%-a, a közutak 15%-a, valamint az egész ország bruttó termelési értékének 25%-a (ÁKT 2021).

A belvíz elleni védekezés a hazai vízgazdálkodás egyik legfontosabb specifikuma, mivel Magyarország területi érintettsége európai szinten is egyedülálló. Az Alföld 19. századi szisztematikus ármentesítése alapjaiban írta felül a térség vízháztartását: a gátak kiépülésével a belvízkezelés hamarosan az árvízvédelemmel egyenrangú prioritássá vált. A korábban elöntött területek sajátos adottságai – így a kedvezőtlen domborzati viszonyok, a talajszerkezet és a hidrológiai környezet – ugyanis különösen kedveznek a belvizek kialakulásának, állandó mérnöki feladatot adva a szakembereknek. Hazánk területének mintegy 45%-a síkság, aminek kb. 60%-át veszélyeztetett jelentős mértékű belvízi elöntés. A belvizek elvezetésére jelenleg 589 db szivattyútelep (988 m³/s összekapacitással), valamint 1 719 db vízkormányzó műtárgy, 370 db kiépített szivattyúállás, további 200 db provizórium (összesen 170 m³/s kapacitással) áll rendelkezésre. A belvízcsatornák összes hossza Magyarországon jelenleg kb. 46 000 km, aminek több mint 50%-a a 12 vízügyi igazgatóság kezelésében van (Szlávik 2018).

Modellezhető ár- és belvízvédelmi létesítmények

A BIM környezetben gyakorlatilag minden olyan építőmérnöki létesítmény modellezhető, aminek geometriai, műszaki jellemzői, valamint üzemeltetési információtar-

talma fontos lehet a tervezés, kivitelezés, fenntartás időszakában. Ár- és belvízvédelmi létesítmények esetében ezek különböző műtárgyakat, vízi- és közműlétesítményeket, infrastruktúra elemeket, geotechnikai elemeket jelentenek.

Töltések: A töltések tervezését megelőzően a területről digitális terepmodellt kell készíteni, ami földi, légi vagy űrből történő mérési eljárásokkal, pont/pontfelhő, felületmodell, vektoros modell vagy 2D/3D modellezési módszerekkel történik. Napjainkban egyre inkább előtérbe kerülnek a fotogrammetrikus, illetve LIDAR (Light Detection and Ranging - Lézer alapú távérzékelés) alapú terepfelmérési módszerek is. Az így előállított 3D-s terepmodellre vonalas létesítményként tervezhető be a töltéstest (legtöbbször parametrikus tervezési módszerrel). Alapvető lépései a kiindulási terepmodell előállítása, humuszmentes alapsík meghatározása (ennek terepszint alatti mélységét a talaj összetétele határozza meg), mintakeresztszelvények meghatározása (a viszonyítási sík minden esetben a folyószakaszra vonatkoztatható mértékadó árvízszint és a biztonsági magassági tényező által meghatározott töltéskoronaszt), majd a töltéstest létrehozása. A töltésbe beépítendő földanyag mennyiségét a koronaszt, a mintakeresztszelvény geometriája és a töltésalapozási sík magassága határozza meg.

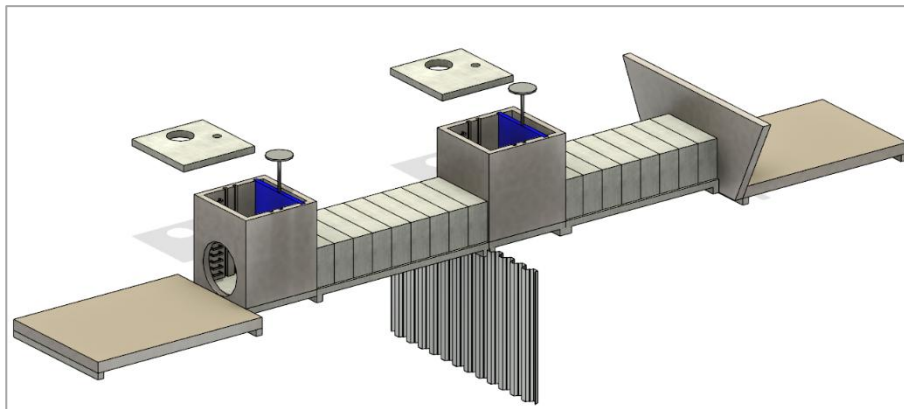
A töltések tervezése során az alábbi hossz- és keresztirányú, valamint pontszerű létesítmények igényét kell figyelembe venni: a töltéstestet kiegészítő, védelmi képességet fokozó, szivárgásgátló elemek, pl. résfalak, támfalak, szádfalak, burkolatok, köszórás, töltésszivárgó, megtámasztó bordák, ellennyomó medencék. Ezen kívül előfordulhatnak a töltéshez kapcsolódó útburkolatok (pl. stabilizált, szórt, vasbeton, ritkábban aszfalt), keresztező infrastruktúra elemek (pl. utak, vasutak, hidak, közműkeresztezők, távközlő vezetékek, kulisszanyílások, átereszek, bűjtatók, zsilipek, egyéb nagyműtárgyak stb.), a töltés kiegészítő tartozékai (pl. sorompók, rámpák, vízrajzi vagy meteorológiai monitoring eszközök és azok alépítményei, telekhátár, földmérési pontot vagy töltésszelvényt jelző kövek, rézsűlépcsők). A műtárgyak, infrastruktúra elemek tervezésébe gyakran szükséges szakági munkatárs bevonása is (pl. statikus, gépész vagy úttervező mérnök): a BIM szemlélet egyik legnagyobb erőssége éppen az egyes részterületek fokozott integritásának biztosítása.

A BIM-alapú modellezés lehetővé teszi a töltések összetett, réteges szerkezetének részletes, paraméteres ábrázolását, amelyben minden réteg (pl. agyagmag, szemcsés fedőréteg, szivárgó, szivárgásgátló fal) független geometriai és anyagtulajdonságokkal van ábrázolva. Az így létrejövő digitális modell integrálja a geotechnikai vizsgálatok paramétereit, mint például a kohéziót, a belső súrlódási szöveget és a vízáteresztő képességet. Ez az adatgazdag környezet közvetlen kapcsolatot biztosít a numerikus elemzésekkel, különösen a rézsúállékonyági és szivárgási vizsgálatokkal. A BIM és a geotechnikai számítási eszközök integrációja csökkenti az adatvesztés és a modellezési hibák kockázatát, miközben támogatja az iteratív tervezési folyamatokat.

Kivitelezői szempontból vizsgálva a BIM alapú töltés-építés további előnye lehet a töltéskubaturá folyamatos figyelemmel kísérésének lehetősége, ezáltal a beépítendő föld mennyiségének kontrollálása, valamint az ehhez kapcsolódó költségvonzatok monitorozásának lehetősége. Fontos lehet még a meglévő közművezetékek (pl. magasfeszültségű légvezetékek, gázvezetékek) védőtávolságainak ismeretében ütközésvizsgálatok lefuttatása. A tervezés során kialakított 3D-s térmodell automata gépvezérléssel rendelkező földmunka gépláncra (dózer, szkréper, gréder, kotró) adaptálható, ami rövidítheti a kivitelezés idejét, csökkentheti a költségeket és minimalizálja a hibás teljesítés lehetőségét.

Műtárgyak: A BIM alapú műtárgy- és építménytervezés, valamint a 3D modellalapú kivitelezés a mennyisé-

gekre és költségekre vonatkozó kimutatásokon túl megkönnyítheti az olyan bonyolult, összetett segédszerkezetek tervezését, mint pl. egy monolit vasbeton szivattyútelep vagy egy akár több m magas, tagolt felületű monolit vasbeton duzzasztómű, ahol több száz m³ vasbeton is beépítésre kerülhet és több ezer m² felület zsaluzására és állványozására is szükség lehet. Ezeken felül legtöbbször szükség van kiegészítő alapozási, statikai, betonacél-szerelési, épületgépészeti, villamosenergia-ellátási, irányítástechnikai, távfelügyeleti, monitoring szakági tervezésre is. Főleg nagyobb, összetett építmények, műtárgyak esetében a hagyományos, 2D-ben történő tervezés ugyan gyorsabbnak tűnik, mégis több hibalehetőséget rejthet. BIM környezetben a geometriai jellemzőkön kívül minden modellelem információval is rendelkezik (pl. anyagminőség, szilárdság, vízszigetelő-képesség stb.) és az elemek térben vannak elhelyezve, így az egyes elemek összemetszése (ütközése) már a tervezés fázisában kiszűrhető és javítható. A 3 dimenzióban történő modellezés jelentősen megkönnyíti a térben történő gondolkodást, így a tervezési hibák száma minimalizálható, emellett jelentősen javítja a tervezett műtárgy megjelenítését. A BIM környezetben tervezett létesítmények mennyiségi kimutatásai a modellből automatikusan kinyerhetők és folyamatosan frissülnek a modell módosítása során, így a pontos mennyiségek és hozzájuk rendelt költségek napra készen követhetők. Az egyes tervváltozatok főbb mennyiségi mutatói (pl. beton m³, betonacél tonna, zsaluzás m²) gyorsan és pontosan kinyerhetők, így döntéstámogatásra is kiválóan felhasználhatók.



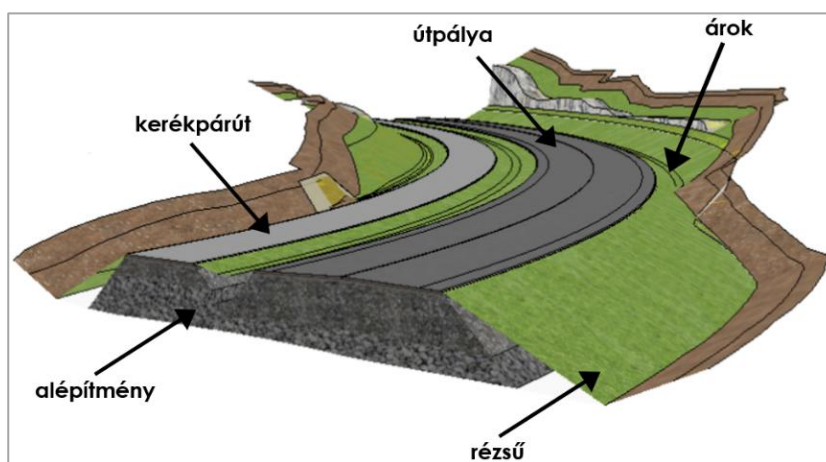
3. ábra. Egyszerű keretelemes tiltós műtárgy BIM modellje (saját képernyőfotó)
Figure 3. BIM model of a simple twin box culvert structure with sluice gate (own screenshot)

Mivel egy ár- és belvízvédelemhez kapcsolódó műtárgy vagy létesítmény tervezése során több szakági tervezőnek is együtt kell dolgoznia (pl. építész, statikus, gépész, elektromos tervező, de sok esetben akár földmérő, ingatlanrendező vagy geotechnikai tervezőmérnök), kiemelt fontosságú a BIM környezet multidiszciplináris megközelítése. Mivel minden tervező ugyanabban a modellben dolgozik, az ütközések, összeférhetetlenségek, geometrikus hibák már a tervezés fázisában kiderülnek, amivel időt és költséget lehet megtakarítani. A modell módosítása automatikus, bármilyen alaprajzi, metszeti vagy konszignációt érintő változás azonnal megjelenik a modell összes felhasználójánál. A BIM életciklus-szemlélete azt jelenti, hogy a modellalapú környezet nem csak a tervezés, hanem

a kivitelezés, a fenntartás/üzemeltetés, a felújítás és a bontás időszakában is felhasználható. A tervezett műtárgy/építmény kivitelezése közben a modell az aktuális készültségnek megfelelően frissítésre kerül, így nyomon követhető az előrehaladás, a tervtől való eltérés és rögzíthető a megvalósult állapot. Az üzemeltetés és fenntartás időszakában a legnagyobb hozzáadott értéket az jelentheti, hogy az üzemeltetőnek egyértelmű információi lesznek arról, hogy az egyes modellelemek mikor, milyen anyagból, milyen minőségben készültek, mikor voltak ellenőrizve, milyen hibákat rögzítettek, a hibák javítása megtörtént-e. Ez segíti az állapotfelmérést, a karbantartások és javítások idő- és pénzbeli ütemezését.

Egyéb infrastruktúra elemek: Hazánkban jelenleg a meglévő töltések túlnyomó többsége nem rendelkezik stabil burkolattal, egy részük szórt útalappal stabilizált, míg a maradék rész valamilyen szilárd burkolattal (beton, vasbeton, „stabilizer”, itatott aszfalt vagy aszfaltbeton) van el látva. A töltéskorona burkolat típusát az határozza meg, hogy mekkora forgalmi terhelés várható a töltésen, az milyen típusú járművekre vonatkozik és hogy milyen messze van a legközelebbi szilárd burkolatú úttól. Főleg az alföldi területeken sok helyen találkozhatunk a kerékpáros közlekedést lehetővé tevő aszfaltburkolattal (pl. a Tisza-tó körüli Tisza töltésszakaszokon kerékpáros túraútvonal van kialakítva). Az útpálya hosszirányú tengelye legtöbbször a töltés hosszirányú tengelyéhez illeszkedik, így parametrikus tervezési módszerrel gyorsan és időtakarékosan illeszthető az előzetesen tervezett töltéstre a tervezett útpályaszerkezete. Ugyanez igaz a vasútvonalak tervezésére is, azzal a különbséggel, hogy a vasúti pályaszerkezetek műszakilag eltérő pályaszerkezettel és vonalvezetési paraméterekkel kerül megtervezésre. Utak, vasutak esetében a pályaszerkezetek rétegrendjeinek minden egyes része (pl.

homokos kavics fagyvédő réteg, zúzottkő útalapréteg, különböző geoműanyagok, szivárgórétegek, aszfaltrétegek, szegélyek, padkák) külön modellelemként kerülnek betervezésre. Az egyes modellelemek a geometriai jellemzőiken kívül további adattartalommal rendelkeznek (pl. k-tényező, testsűrűség vagy akár anyagköltség), így a modell a dinamikus változó mennyiségi kimutatásokon kívül egyfajta adatbázisként is használható a létesítmény teljes életciklusában. A hidak esetében fokozott jelentőséggel bírhat a BIM környezet alkalmazása, mivel a hidak tartószerkezetét, útpályáját, alapozását, forgalomtechnikáját is külön szakemberek tervezik, akik között kiemelten fontos a szoros együttműködés. A módszer támogatja a statikai és dinamikai analízisek összekapcsolását a 3D modellel, ezáltal pontosabb méretezés és viselkedésvizsgálat végezhető. A töltéseket és egyéb létesítményeket keresztező, érintő közműelemek (ivóvíz-, szennyvíz-, gázvezetékek, elektromos földkábelek, védőcsövek) esetében a BIM környezet legfőbb előnye a tervezési fázisban futtatható ütközésvizsgálatok és az infrastruktúra elemek statikai modellbe történő integrálása.



4. ábra. Egyszerű útpálya BIM modellje (URL3)

Figure 4. BIM model of simple road (URL3)

A vízgyűjtőterületek és hullámterek rendezése, hidrodinamikai modellezés: A BIM-alapú megközelítés a vízgyűjtőterületek és hullámterek árvízvédelmi célú rendezésében lehetővé teszi a különböző térbeli és tematikus adatok – például domborzat, felszínborítás, talajtani és hidrológiai jellemzők – integrált, egységes modellkörnyezetben történő kezelését. A módszer elősegíti a hidrológiai és hidrodinamikai modellek összekapcsolását a háromdimenziós térmodellel, ezáltal pontosabb árhullám-lefolyási és elöntési szimulációk végezhetők. A parametrikus modellezés révén hatékonyan vizsgálhatók a különböző beavatkozási alternatívák, például tározók kialakítása, mederszabályozás vagy hullámtér-rendezés hatásai. A BIM támogatja a területhasználati változások és a klímaváltozási hatások komplex elemzését is, különös tekintettel a szélsőséges hidrológiai események gyakoriságának növekedésére. Az integrált adatkezelés és megjelenítés javítja a döntéshozatali folyamatok átláthatóságát, valamint a különböző szakterületek közötti együttműködést. Emellett lehetőséget biztosít a projekt teljes életciklusának nyomon követésére, beleértve a kivitelezést és az üzemeltetést is. Mindezek

eredményeként a vízgyűjtő- és hullámtér-rendezési beavatkozások tervezése megalapozottabbá, hatékonyabbá és hosszú távon fenntarthatóbbá válik.

A BIM és az árhullám-lefolyási, valamint elöntési modellek közötti kapcsolat az egységes adatkezelésen és a modellek közötti átjárhatóságon alapul. A BIM környezet biztosítja a nagyfelbontású terepmodellek, medergeometriák és infrastruktúra-elemek adatbázisát, amely közvetlen bemenetként szolgálhat hidrodinamikai szimulációk számára. Az árhullám-lefolyási és elöntési modellek eredményei – például vízmélység, áramlási sebesség és elöntés kiterjedés – visszacsatolhatók a BIM modellbe, ezáltal támogatva a vizuális és kvantitatív értékelést. Ez az iteratív adatcsere lehetővé teszi különböző tervezési alternatívák összehasonlítását és optimalizálását. Ennek eredményeként pontosabb kockázatelemzés és megalapozottabb árvízvédelmi döntéshozatal valósítható meg.

A BIM-alapú megközelítés a belvízvédelemben lehetővé teszi a vízelvezető rendszerek – így a csatornahálózatok, tározók és szivattyútelepek – integrált, adatgazdag modellezését egységes digitális környezetben. A módszer

támogatja a hidrológiai és hidraulikai modellek összekapcsolását a geometriai és üzemeltetési adatokkal, ezáltal pontosabb lefolyási és tározási szimulációk végezhetőek. A parametrikus modellezés révén hatékonyan vizsgálhatók különböző beavatkozási alternatívák, például kapacitásbővítés vagy hálózat-átalakítás hatásai. A BIM elősegíti a térbeli koordinációt és az ütközésvizsgálatokat, különösen összetett, több közművet érintő környezetben. Emellett lehetőséget biztosít az üzemeltetési folyamatok és karbantartási igények előrejelzésére, támogatva a hosszú távú infrastruktúra-menedzsmentet. Az integrált adatkezelés és megjelenítés javítja a döntéshozatal átláthatóságát és a különböző szakterületek közötti együttműködést. Mindezek eredményeként növelhető a belvízvédelmi rendszerek hatékonysága, csökkenthetők a kockázatok, valamint elősegíthető a fenntartható és gazdaságos üzemeltetés.

BIM AZ ÁRVÍZVÉDELEMBEN: NEMZETKÖZI ESETTANULMÁNYOK

Mivel hazánkban a BIM alapú tervezés és kivitelezés - főként a vízgazdálkodási és közműépítési ágazatokban - még nem terjedt el, ezért külföldi szakirodalmi források alapján mutatom be az építményinformációs modellezés ár- és belvízvédelmi célú lehetőségeit. Nyugat- és Észak-Európában, valamint a tengerentúlon és Kínában évtizedek óta nagy hangsúlyt fektetnek az építőipar digitalizációjára, így ezekről a területekről már lényegesen több tapasztalat áll a rendelkezésre, ami akár a hazai viszonyok között is sikeresen alkalmazható lehet.

Kína, Jangce folyó, Nanking, komplex környezetfejlesztési projekt

Kína Csiangszu tartományának fővárosában a Jangce folyó környezetében Green-Water Wetland komplex környezetfejlesztési projekt valósult meg. A fő feladat a közeli halastó és vizes élőhely állapotának revitalizálása, az erdős-fás területek állapotának helyreállítása és a teljes vizes élőhely tájképének javítása. A BIM technológia konkrét alkalmazásai a következők voltak:

- gyors és hatékony kommunikációs platformot biztosított az építési időszakban részt vevő összes partner számára, továbbá GIS és egyéb digitális technológiák alkalmazását tette lehetővé,
- az Autodesk Revit és az Autodesk Civil 3D szoftvereket az egyes tervváltozatok előnyeinek és hátrányainak a megjelenítéséhez használták,
- a tervezési inputadatok előfeldolgozási hatékonysága jelentősen javult, ami megalapozta a későbbi digitális analóg adatelemzést,
- a Kistler Mars szoftvert használták a tervséma valós idejű megjelenítéséhez, a különböző tervváltozatok összehasonlításához, a döntéstámogató vizualizációk előállításához.

A projekt fő célja az volt, hogy az újonnan kialakítani kívánt Jiangbei városrész építése a természeti környezet állagának lehető legnagyobb mértékű megővásával történjen meg. Ennek egyik projektjele volt a Green-Water Wetland vizes élőhely komplex környezetfejlesztése. A projekt a Jangce folyó 23 km hosszú szakaszán valósult meg és szervesen ötvözi a városi árvízvédelmet, a vizes élőhelyek védelmét és a környezet javítását. A projekt egy

vízmeztartásra törekedő, hidrofil tájat hoz létre a lakosság igényeinek megfelelően. A projekt átfogó korszerűsítési módszert alkalmaz, amely a partvonal megtisztítását, a hullámtér és folyópart rendezését és a vizes élőhelyek karbantartását foglalja magában a Jangce folyó partvonalának hosszú távú és fenntartható védelme érdekében.

A projekt fő tervezési feladata a halastavak vizes élőhelyként való visszaállítása, valamint a halastavak, vízterek és vízpartok rendezése az élőhelyek létrehozásának, a vízrendszerek összekapcsolhatóságának és a vízi-szárazföldi közlekedés követelményeinek megfelelően. A biológiai sokféleség és a környezetbarát követelmények teljesítése érdekében a teljes vizes élőhelyet helyreállították és parkosították. A környezeti hatások csökkentése érdekében a projekt keretében végzett földmunkáknál törekedni kellett a földgyensúly megtartására. Egy hasonló nagyságú tervezési feladatnál a nagy tervezői munkaterhelés, az alacsony hatékonyság és az elégtelen minőségellenőrzés jelenti a legnagyobb kihívást. A projekt tájépítészeti követelményei viszonylag magasak voltak: a hagyományos tervezési módszerekkel nem lehet valós időben ellenőrizni a tervváltozatok hatását, és nem lehet hatékonyan és időben kommunikálni a kivitelező féllel. Ezért különösen fontos volt a modern technológiák, például a BIM és a GIS aktív alkalmazása a projektben. A DOM (Digital Orthophoto Map/Orthophoto Model - Digitális ortofotó térkép/modell) és DEM (Digital Elevation Model - Digitális terepmodell) adatokból generált 3D digitális modellek segítségével a helyszíni alapinformációk intuitívan és pontosan megadhatók voltak. A 3D digitális modellek és az elemzési modellek közötti adatinterfész megnyitásával a hagyományos elemzési modellek előfeldolgozási munkaterhelése jelentősen csökkent, miközben az alapadatok minősége javult.

Mivel a kiindulási állapotok nem tették lehetővé a részletes földi felmérést, ezért a komplex 3D-s terepmodell elkészítéséhez légifotókat és távirányítású mérőhajókat használtak. A helyszíni digitális ortofotó térkép (DOM), a digitális domborzatmodell (DEM) és a víz alatti terepadatok összegyűjtése és feldolgozása után az Autodesk RECAP és a Context Capture szoftvereket használták az adatok azonos koordináta-rendszerben történő egyesítésére. Az adatfúzióval létrehozott háromdimenziós valós területmodell segítségével megvalósítható a terület digitális bejárása és barangolása, valamint a magasság, a távolság és a terület mérése. A modell egymásra helyezése után bármely pozícióban megvalósítható volt a keresztmetszetek generálása. A digitális domborzatmodellt és a víz alatti terepadatokat közvetlenül az AutoCAD Civil 3D-be importálták az eredeti terepfelszín létrehozásához. Az eredeti terep alapján elkészítették a vízhálózat elrendezését és a vízi-szárazföldi közlekedés tervezését. Ugyanakkor figyelembe vették a vizes élőhelyek létrehozásához, a nyitott és zárt vízfelületek módosításához, valamint a mesterséges feltöltések, hidak, patakok, szigetek és töltések létrehozásához szükséges igényeket.

A teljes területmodell megtervezésének és létrehozásának befejezése után az AutoCAD Civil3D szoftver magasságelemzési funkcióját használták az elárasztott és félig elárasztott területek elemzésére. Megjelenítették az elárasz-

tott és a nem elárasztott területek közötti dinamikus kapcsolatot, így bemutatva a növényzet vízigényeinek kielégítését. Ugyanakkor a Jangce folyó védelmének követelményei alapján a projektterületen el kell érni az egyes részterületeken a földmunkák alapvető egyensúlyát, valamint a teljes projektterületen belül a földmunkák teljes egyensúlyát. A térfogatpanel funkcióval gyorsan kiszámították az egyes részterületek és a teljes terület bevágási és feltöltési térfogatát, ami nemcsak az építési követelményeknek felelt meg, hanem csökkentette a projekt beruházási költségeit is. A területmodell alapján gyorsan meghatározható volt a vízi közlekedés tervezéséhez szükséges keresztmetszet. Az Autodesk Subassembly Composer segítségével parametrikusan megtervezhető az útszakasz és a terepfelület közötti logikai kapcsolat, majd az AutoCAD Civil 3D-ben tervezett nyomvonal alapján gyorsan létrehozható az útmodell, és gyorsan generálhatók a mérnöki mennyiségek és 2D-s rajzok. Ez a projekt magas követelményeket tá-

masztott a régió hidrodinamikai és vízminőségi viszonyával szemben, ezért a hidrodinamika, a vízminőség és a vízmélység ellenőrzése és elemzése elengedhetetlen és különösen fontos volt.

A projektterületen számos tervezett sziget található, a vízrendszer egyes elemei (csatornák, medrek, vonalas létesítmények, infrastruktúra-elemek) keresztezik egymást, a mély mederrészek és zátonyok sűrűn találhatók, ami nagy nehézségeket okoz a modellezés, az elemzés és az ellenőrzés során. A különböző vízszintekhez tartozó szárazföldi vetületi vonalak megtalálására az AutoCAD Civil 3D felületi szuperpozíció módszerét alkalmazták, ami jelentősen javította a hatékonyságot, és alapvető támogatást nyújtott a következő lépésben a modelloptimalizálásban. Az egyes vízrendszerek átjárhatósági problémájának megoldása érdekében több hidat és átereszt létesítettek a projektterület hidrodinamikai és vízminőségi viszonyainak javítása érdekében.



5. ábra. A tervezett vizes élőhely renderelt látványterve (Huang és társai 2023)

Figure 5. Rendered visual design of the planned wetland (Huang és társai 2023)

A BIM, a GIS és a légifotózás technológiájának ötvöztetésével a tervezett táj terepét és a meglévő környező terepet egyesítették. A Kistler Mars valós idejű renderelési platformjára több forrásból származó heterogén adatok, például az ortofotók és a BIM modellek betöltésével a különböző tervváltozatokhoz tartozó látványterveket állítottak elő. A szoftver 3D vizuális növényzettervező modulja lehetővé teszi az intuitív módon történő tájépítészeti tervezést, ami leegyszerűsíti a döntéshozatalt, valamint csökkentheti a változtatásokat az építés későbbi szakaszában. A növényinformációs modellen keresztül gyorsan ellenőrizhetők a növények családjára, nemzetiségére, ökológiai szokásaira vonatkozó információk, valamint az is, hogy a fajokot a növény élőhelyének típusa szerint ésszerűen választották-e ki. A modul használatával a fa paramétereit, mint például a növénymagasság, a korona szélessége és a mellmagassági törzsátmérő, kényelmesen beállíthatók. A scénáriókban elrendezett tájnévények könnyen MS Excel fájlba exportálhatók egy részletes erőforráslistával. A program látványtervkészítő modulja lehetővé teszi, hogy az elkészült modellt különböző időjárási helyzetekben és eltérő napszakokban ábrázoljuk (pl. napos, borult, esős, havas időben éjszakai mesterséges megvilágítás, vagy nappali természetes fényben) (Huang és társai 2023).

Görögország, Mandra, villámárvizekkel kapcsolatos modellek

A városi árvizek egyre növekvő globális problémát jelentenek, különösen a gyors urbanizációval, szabályozatlan városi terjeszkedéssel és éghajlatváltozással terhelt területeken. A hagyományos árvízmodellezési megközelítések nem ragadják meg hatékonyan a természetes vízgyűjtő viselkedés és a városi infrastruktúra közötti komplex dinamikát; jellemzően elszigetelten szimulálják ezeket a területeket. A Watershed-BIM módszertan egy háromdimenziós szimulációs keretrendszer, amely egyetlen rendszerbe integrálja az építmény- és településinformációs modellezést (CIM - City Information Modelling), a földrajzi információs rendszereket (GIS), az árvíz kockázat-értékelést (FRA - Flood Risk Assessment) és az árvíz kockázat-kezelést (FRM - Flood Risk Management). A fejlesztés során az Autodesk InfraWorks 2024, az Autodesk Civil 3D 2024 és a RiverFlow2D v8.14 szoftvereket integrálták egy közös modell-környezetbe. A módszertan javítja az egyes szakágak közötti együttműködést és az előrejelzés pontosságát azáltal, hogy a hidrológiai folyamatokat részletes városi léptékű adatokkal egészíti ki. A keretrendszert egy valós villámárvízi eseményen tesztelték a görögországi Mandrában, egy olyan területen, amely gyakran ki van téve a szélsőséges

esőzéseknek és villámárvizeknek. A megfigyelt árvízi jellemzőkkel való konkrét összehasonlítás más hidrológiai elemzésekhez [pl. USACE HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System - Hidrológiai Mérnöki Központ Vízfolyáselemző rendszere)] használatával képest jobb pontosságot mutat. Az elöntés során kialakuló vízmélységen túl a modell további betekintést nyújt az árhullám szétterjedésének irányába, az árvízi elöntés időtartamába. Ebben az összefüggésben az olyan integrált eszközök, mint a Watershed-BIM, alapvető fontosságúak az összetett árvízdinamika gyakorlatias, városi szintű ellenállóképességi tervezéssé alakításában.

Görögország történelmének egyik legpusztítóbb árvízi eseménye 2017. november 15-én történt az attikai Mandrában, amely 24 halálos áldozatot követelt és súlyos infrastruktúrális károkat okozott. A katasztrófára reagálva az Európai Kopernikusz Katasztrófavédelmi Szolgálat (CEMS - Copernicus Emergency Management Service) aktiválta az EMSR257-et, amely műholdas árvízi térképezést és hatásterület-lehatárolást biztosított az érintett területre. Bár a CEMS gyors értékeléseket kínál kontinentális szinten, nem alkalmas részletes, városi léptékű hidraulikai modellezésre. Ahol releváns volt, ott a CEMS árvízi térképeit durva viszonyítási alapként használták az árvízi hatások általános térbeli eloszlásának elemzésére, kiegészítve, de nem helyettesítve a városi szinten alkalmazott nagy felbontású, modellalapú árvizelemzést.

Az esemény során Mandra városi területén az árvíz elsősorban az Agia Aikaterini vízgöyjtő területéről származott, amely közvetlenül a város lakónegyedébe folyik le. A Soures-medencéből származó vizek főként a keleti ipari zónán haladnak keresztül, azonban a két vízgöyjtőről érkező árhullám összefutása, feltorlódása jelentősen felerősítette az árvízi elöntés súlyosságát. Az eseményhez kapcsolódó csapadékelemzéshez a műholdas adatok kiegészítésére a helyi hidrometeorológiai mérőállomások adatait is felhasználták. Reggel 6:00-9:00 óra között több mint 140 mm csapadékot regisztráltak, ami a régió átlagos éves csapadékmennyiségének közel 40%-át teszi ki. Ezek az adatok összhangban vannak a NASA IMERG adatkészletéből származó szélesebb körű megfigyelésekkel, amelyek körülbelül 150 mm csapadékról számoltak be egy hét óras időszak alatt. Ezek alapján az Agia Aikaterini-medencében 180 m³/s, a Soures-medencében pedig 140 m³/s vízhozam-csúcsok alakultak ki.

A Watershed-BIM keretrendszer jelenlegi megvalósításában a városi infrastruktúrát – beleértve az épületeket, utakat, járdákat és egyéb magas lefolyási tényezőjű felületeket – explicit módon modellezzük a BIM környezetben (Autodesk InfraWorks) a tényleges geometria és térbeli alaprajzi adatok felhasználásával. Ezeket az elemeket hidrológiailag paraméterezik magas lefolyási együtthatók segítségével ($\alpha > 0,70$), ami elhanyagolható beszívargási kapacitást tükröz, összhangban a városi árvízmodellezés standard gyakorlatával. A növényzettel borított vagy átteresztő felületekhez alacsonyabb lefolyási együtthatókat rendeltek (pl. $\alpha = 0,3-0,5$), hogy azok viszonylag magasabb beszívargási potenciálját jellemezzék. A városi területen egységesen 0,02-es Manning-féle érdességi együtthatót alkalmaztak a felületi ellenállás szimulálására. Bár a

Watershed-BIM keretrendszer támogatja a terep, az infrastruktúra és a hidrológiai folyamatok integrált térbeli modellezését, megvalósítását eredendően korlátozza a bemeneti adatok elérhetősége és részletessége. Ez a kihívás gyakran előfordul az adathiányos városi környezetben. Az esettanulmányban a nyilvánosan hozzáférhető, nagy felbontású adatkészletek – mint például a felszín alatti közműhálózatok elrendezései és a mérőállomások feljegyzései – nem álltak rendelkezésre, ami nem tette lehetővé a modell pontosságának további növelését. Adathiány miatt a felszín alatti csapadékvíz-elvezető infrastruktúra (pl. átteresztők, csővezetékek, aknák) nem került be a szimulációba, holott nem elhanyagolható ezek szerepe az esettanulmányban leírt havária jellegű eseményeknél (főként a villámárvíz korai időszakában). A terepi megfigyelések és az esemény utáni jelentések azonban azt mutatják, hogy a meglévő vízvezető hálózat már a 2017-es árvíz korai szakaszában is túlterhelt volt, és az esemény csúcspontján nem járult hozzá jelentősen a villámárvíz levezetéséhez. Ennek a kihagyása várhatóan nem veszélyezteti az árvízterjedési eredmények megbízhatóságát. Mindazonáltal a Watershed-BIM keretrendszer továbbra is kompatibilis a csapadékvíz-rendszerek integrációjával az Autodesk Civil 3D Storm and Sanitary Analysis (SSA) modulján keresztül, lehetővé téve a kettős vízvezetési szimulációk jövőbeni megvalósítását változó infrastruktúrális feltételek mellett.

A Watershed-BIM megvalósításának egyik fontos aspektusa a talaj vízáteresztő-képességének integrálása a hidrológiai szimulációs folyamatba. Ebben a keretrendszerben a vízzáró (rossz vízvezető-képességű) felületeket – például épületeket, utakat és járdákat – explicit módon modellezzük a BIM környezetben, és nem beszívargó területként jelöljük meg. Ez a kezelési mód összhangban van a városi átteresztő-képesség hiányával és az árvízkielégítéssel foglalkozó számos európai tanulmányban alkalmazott módszertannal. Ezáltal a keretrendszer lehetővé teszi a felszíni lefolyás pontosabb ábrázolását a sűrűn beépített környezetben.

Tanulmányok szerint az épületfalak csatornaszerű, szűk keresztmetszeteket képeznek, ezáltal növelik a vízmélységet, lefolyási akadályt képeznek és a sűrűlódási ellenállás miatt lassítják a lefolyást. Ezek a hatások a helyi árvízmagasság 20–50%-os növekedéséhez vezethetnek, az épületsűrűségtől és a kialakuló vízmélységektől függően. Bár a forrástanulmányban nem modelleztük őket kvantitatívan, ezek a megfigyelések rávilágítanak a városi geometria hatásainak finomított elemzésének szükségességére. A modell teljesítményének értékeléséhez a Watershed-BIM eredményeit összehasonlítottuk az USACE HEC-RAS és a Copernicus EMS valós szimulációival és megfigyeléseivel. A HEC-RAS-t széles körű elterjedtsége, GIS-kompatibilitása és a nyílt medres rendszerekben az 1D-s, nem stationárius áramlás szimulációjára való bizonyított képessége miatt választottuk alapmodellnek. Megbízható és jól bevált referenciát nyújt az árvíz kiterjedésének és mélységének becsléséhez, különösen folyóvízi vagy kissé urbanizált környezetben. Bár nem kifejezetten részletes városi modellezésre fejlesztették ki, használata támogatja a módszertani átláthatóságot, és összhangban van a hidrodinamikai validációban bevett gyakorlattal.

Az épületinformációs modellezés (BIM) hidrológiai és hidraulikai szimulációval való integrálására irányuló erőfeszítések számos kiegészítő megközelítés kifejlesztéséhez vezettek, amelyek mindegyike a városi árvízmodellezési folyamat különböző aspektusait hangsúlyozza. Például a CityGML + TUFLOW módszertan gazdag 3D-s városmodelleket és térinformatikai elemzéseket használ fel a nagy térbeli pontosság érdekében, különösen a felszíni áramlási szimulációkban. Ez azonban gyakran fejlett GIS-

szakértelmet igényel, és viszonylag összetett beállítási eljárásokat foglal magában, így alkalmasabb kutatáshoz vagy nagy felbontású tanulmányokhoz. Másrészt az olyan kombinációk, mint az InfraWorks a RiverFlow 2D-vel, a gyors tervezést, az intuitív vizualizációt és a kereskedelmi platformokba való integrációt hangsúlyozzák – hozzáférhető munkafolyamatokat kínálva, de néha a rugalmasság vagy a nyílt adatokkal való kompatibilitás rovására (Tsikas és társai 2025).



6. ábra. Az adatbázisból előállított elöntési modell ábrázolása (Tsikas és társai 2025)
Figure 6. Visualization of the flood model made from the database (Tsikas és társai 2025)

Portugália, Lisszabon, Tagus folyó, a klímaváltozással kapcsolatos kockázatértékelés és modellezés

A vízparti területek évezredek óta fontos szerepet játszanak az emberiség gazdasági, társadalmi és kulturális fejlődésében. Ugyanakkor ezek a területek a légérzékenyebbek az éghajlatváltozás következményeire. Az állóvizek, vízfolyások és tengerpartok menti árvizek, viharok és ciklonok érintik őket, amelyek valós veszélyt jelentenek a közösségekre, a gazdaságra és a kulturális örökségre. A part menti területek és városok felkészítése az éghajlatváltozással kapcsolatos veszélyekre tagadhatatlanul fontos, különösen azoknak a sebezhető emberi és természeti rendszereknek a számára, amelyek nem képesek megbirkózni a közelgő változásokkal és alkalmazkodni azokhoz. A vízparti városokban okozott károk világszerte elérhetik a több százmilliárd amerikai dollárt, ha a magas kibocsátású RCP8.5 (Representative Concentration Pathway) klíma-modell forgatókönyv valósággá válik. Globálisan tekintve a tengerszint feletti 2,0 m-es magasságnál alacsonyabban fekvő területek nagysága mintegy 649 000 km², ahol emberek milliói élnek. A 21. század végére az előrejelzések szerint a part menti árvízkárok legalább a tízszeresükre fognak nőni.

Az árvizekhez kapcsolódó kockázatok csökkenthetők szerkezeti beavatkozásokkal, például töltésekkel, víztározókkal, műtárgyakkal, vagy nem szerkezeti beavatkozásokkal, például kockázatalapú településmenedzsmenttel vagy vészhelyzeti intézkedésekkel. 2007-ben hatályba lépett az Európai Árvízvédelmi Irányelv (EFD - European Floods Directive), amely előírja a tagállamok számára a veszélyeztetett területek azonosítását és felmérését. Az EFD célja „az árvizek káros következményeinek kockázatának csökkentése, különösen az emberi egészségre és

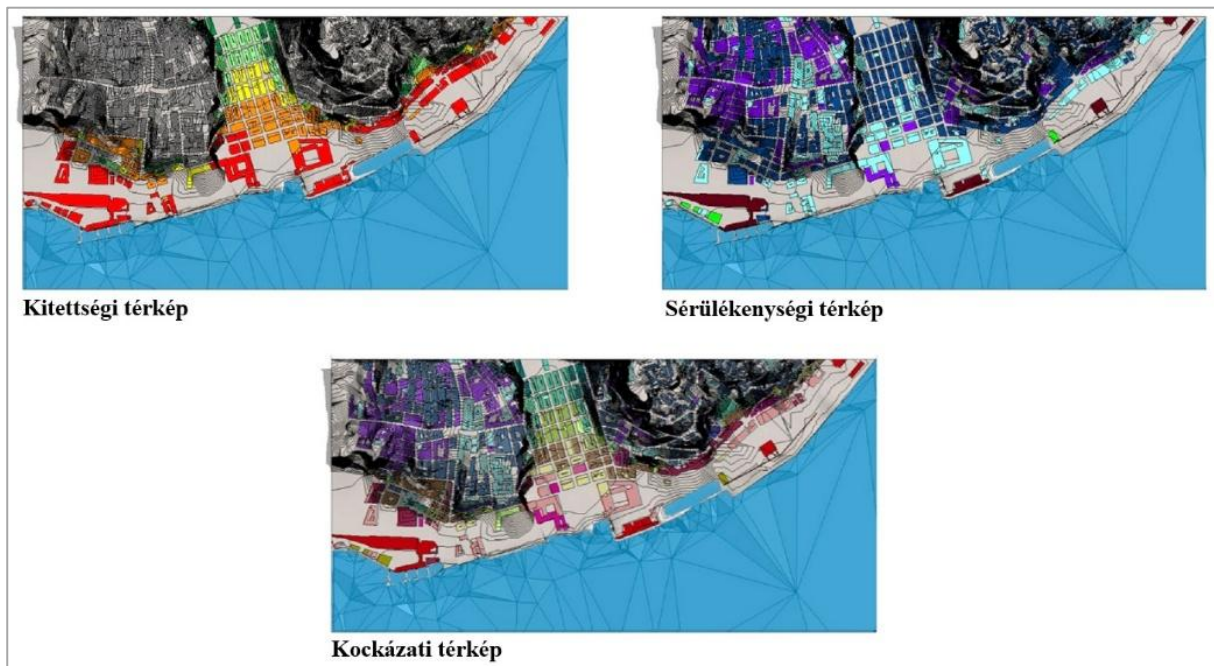
életre, a környezetre, a kulturális örökségre és a gazdasági tevékenységre nézve”. Az 5. és 6. cikk szerint azonban az EFD csak a kockázatnak kitett vagy potenciálisan kitett zónák feltérképezését írja elő, és nem ír elő mennyiségi kockázatbecslést. Az elemzés típusa, a kockázatértékeléshez és -modellezéshez használandó eszközök azonban nincsenek meghatározva az EDF-ben.

A kockázati kitettség annak a valószínűsége, hogy egy kockázat bekövetkezésének mekkora az esélye. A gazdasági értékek és a víztesttől való távolság – torkolat, folyópart vagy tengerpart – határozták meg a városi eszközök kockázati kitettségének referenciaszintjeit. Alacsony tengerszint feletti magasság és a vízhez való nagy közelség esetén határozták meg az árvíz kockázattal kapcsolatos legmagasabb kitettségi szinteket. Ezzel szemben a sérülékenység a kockázatnak kitett eszközök vagy személyek kár- és veszteségkockázattal szembeni érzékenysége utal. Előfordulhat, hogy egy épület ki van téve az árvíznek, de nem sérülékeny; ahhoz azonban, hogy egy szélsőséges eseménnyel nézve sérülékeny legyen, mindenképpen kell, hogy legyen kitettsége. A sérülékenység számos tényezőtől függ (többek között a partvonal közelsége, fizikai akadályok megléte, talajjellemzők, épületszerkezeti minőség, anyagok és tipológia, épületszerkezeti hatékonyság, valamint az épület reakciója a korábbi áradásokra).

Az esettanulmányban az Egyesült Királyság Építésügyi Minisztériuma által javasolt érzékenységi besorolást vették figyelembe. Az eszközöket öt kategóriába sorolták, ahol az 1-es kategória (V1) a vízzel kompatibilis fejlesztések, míg az 5-ös kategória (V5) a létfontosságú infrastruktúra volt. Utóbbi kategóriába tartoznak azok az elemek (pl. a tömeges evakuálási útvonalak, az áramellátás, az erőművek és a víztisztító telepek), amelyeknek árvíz idején is működőképesnek kell maradniuk.

Minden kockázattípushoz 1-től 5-ig terjedő kitettség és sérülékenységi érték adható, így egy kockázati képlettel a kockázat nagysága meghatározható: $R = E \times V$, ahol R (Risk) a kockázat, E (Exposure) a kitettség és V (Vulnerability) a sérülékenység, maximális értéke pedig 25. Bizonyos veszélytípusok, például maga az árvíz esetében a kitettség érték nem változtatható, mivel szigorúan függ a tengerszint feletti magasságtól és a távolságtól. A tengerszint feletti magasságot és távolságot változatlanak tekintjük, kivéve, ha töltéseket, gátakat, zsilipeket építünk vagy más hasonló munkálatokat végzünk az elemzési terület közelében. Az árvíz kockázat-méréséklés egyéb intézkedései esetében, amikor a veszély egy kis területre korlátozódik, a kockázatnak való

kitettség biztonsági eljárások megtételével csökkenthető: ilyen eljárások lehetnek az építésügyi és terület-használatra vonatkozó szabályozások, korlátozások, illetve preventív árvízvédelmi intézkedések. Általánosságban elmondható, hogy a leghatékonyabb árvíz kockázat-csökkentő intézkedések azok, amelyek csökkentik a veszélyeztetettség szintjét. A kockázatértékelés elkészítését követően Autodesk Revit program és a Watershed-BIM metodológia használatával különböző térképi álmányokat hoztak létre: külön ábrázolták az árvízi elöntésnek kitett városrészek és építmények elöntési kockázatait, a kialakuló vízmélységeket, valamint az elöntés alá kerülő építményekhez, infrastruktúrához rendelhető anyagi értékeket (Del Duca és társai 2022).



7. ábra. Az adatbázisból előállított kitettségi, sérülékenységi és kockázati térképek (Del Duca és társai 2022)
Figure 7. Exposure, vulnerability and risk maps made from the database (Del Duca és társai 2022)

ÖSSZEGZÉS

Az utóbbi években az építményinformációs modellezés használata egyre inkább teret nyer a hazai építőipari környezetben is: a 2023. évi LXIX. törvény, a 25/2024. (VIII. 8.), a 31/2024. (VIII. 22.) és 27/2025. (VIII. 28.) ÉKM rendeletek tisztázzák az egyes építőipari szereplők feladatait, jogköreit, megalapozzák az építési beruházások intézményrendszerét, továbbá jogi, törvényi kereteket adnak az állami építési beruházásoknak, valamint tisztázzák és meghatározzák a BIM szerepét az egyes építőipari szereplők és folyamatok vonatkozásában. Nincs megerősíthető adat arra vonatkozóan, hogy az utóbbi 5-10 évben megépített vagy rekonstrukción átesett jelentősebb vízi létesítmények (pl. Visegrád, Nagymaros, Szentendre környezetében megvalósult árvízvédelmi fejlesztés, Szamos-Kraszna-közi árapasztó tározó, Tisza-Túr árapasztó tározó, Mosoni-Duna torkolati műtárgy és hajózsilipl vagy Kvassay-zsilipl és szivattyútelep felújítása) tervezésénél, kivitelezésénél milyen módon és mértékben alkalmazták az építményinformációs modellezést.

A BIM egy digitális, objektum-alapú tervezési és információkezelési módszertan, amely egy háromdimenziós

(3D) modellbe integrálja az építmény (ami lehet akár épület, infrastruktúra elem stb.) geometriai, műszaki, üzemeltetési adatait és leggyakrabban az építmény teljes életciklusára vonatkozatható. A 31/2024. (VIII. 22.) ÉKM rendelet értelmében 2027.07.01-től a vízépítésben is kötelezővé válik a BIM-alapú tervezés és műszaki megvalósítás.

A modellezhető árvíz- és belvízvédelmi létesítmények között szerepelnek az árvízvédelmi töltések, depóniák, mobilgátak, árvízvédelmi falak, az árvízvédelmi művekkel kapcsolatos infrastruktúra elemek (utak, vasútvonalak, közművek), műtárgyak (duzzasztók, zsilipek, tiltók, folyószabályozási művek), magasépítési elemek (pl. szivattyútelepek, gépházak), tározók, különböző funkciójú csatornák, valamint terepmodell szintjén a vízgyűjtő területek és hullámterek is. A Watershed-BIM keretrendszer és más, hidrodinamikai modellező szoftver (pl. HEC-RAS) BIM környezetbe történő integrálásával összetett szimulációk is előállíthatók, amik alkalmasak lehetnek árvízi elöntések modellezésére, ami alapján kockázatértékelések, intézkedési tervek készíthetők.

A kínai tanulmány következtetései alapján megállapítható, hogy a BIM-technológia hatékonyan alkalmazható az árvízvédelmi, folyószabályozási és vizes élőhelyekhez kapcsolódó komplex mérnöki és környezetfejlesztési projektek menedzsmentjében. Az eredmények azt mutatják, hogy a háromdimenziós digitális modellezés jelentősen javítja a tervezési folyamat pontosságát és átláthatóságát, különösen bonyolult terep- és vízrendszerek esetében. A kutatás rámutat arra, hogy a BIM és más digitális technológiák (pl. GIS) integrációja lehetővé teszi a különböző adatforrások hatékony összekapcsolását, ezáltal csökkenti az adatfeldolgozási hibákat és növeli az elemzések megbízhatóságát.

A görög esettanulmány alapján megállapítható, hogy a BIM–GIS integráción alapuló Watershed-BIM megközelítés jelentős előrelépést képvisel a városi árvíz-kockázat modellezésében, mivel képes egyesíteni a vízgyűjtőszintű hidrológiai folyamatokat az infrastruktúra részletes térbeli reprezentációjával. A kutatás eredményei azt mutatják, hogy az integrált, háromdimenziós modellezés nagyobb pontosságot biztosít a hagyományos, fragmentált vagy két-dimenziós megközelítésekhez képest, különösen a városi környezet komplex kölcsönhatásainak feltárásában.

A portugál esettanulmány fő következtetése, hogy a BIM-alapú megközelítés hatékony eszközt kínál a városi árvíz-kockázat integrált elemzésére és kezelésére, különösen komplex, part menti városi környezetekben. Az eredmények azt mutatják, hogy a különböző adatforrások – például topográfiai, építészeti és társadalmi adatok – egyetlen modellben történő egyesítése lehetővé teszi a kockázatok átfogóbb és dinamikusabb értékelését. A kutatás igazolja, hogy a kockázat alapú megközelítés (expoziáció és sérülékenységi kombinációja) jól alkalmazható a városi tervezés támogatására, különösen akkor, ha azt 3D tematikus térképekkel egészítik ki.

A BIM környezet alkalmazása az ár- és belvízvédelemben lehetővé teszi a tervezési, kivitelezési és fenntartási folyamatok integrált adattartalmú megközelítését, amelyben a hidrológiai, hidraulikai és szerkezeti modellek egységes rendszerben kezelhetők. A modellalapú kivitelezés támogatja az építésszervezés optimalizálását és az erőforrások hatékony felhasználását, csökkentve a hibák és többletköltségek kockázatát. A fenntartási időszakban a BIM lehetőséget biztosít a létesítmények állapotának nyomon követésére és a karbantartási, javítási, átépítési, fejlesztési beavatkozások tervezésére, akár szenzoradatokkal integrált digitális iker formájában. Az egységes adatkezelés és vizualizáció javítja a döntéshozatal átláthatóságát és a különböző szakterületek közötti együttműködést. Mindezek révén a BIM hozzájárul a vízgazdálkodási rendszerek hatékonyabb, biztonságosabb és fenntarthatóbb életciklus-menedzsmentjéhez. A közeljövőben a BIM modellek alkalmazása a vízgazdálkodásban, árvíz- és belvízvédelem területén az alábbi irányok mentén fejlődhet.

Az AI és a gépi tanulás integrálása a BIM-folyamatokba lehetővé teszi majd a modellek automatikus hibafelismerését, kockázatelemzést, és például az infrastruktúra állapotának előrejelzését, így a vízügyi rendszerek még proaktívabban működhetnek. A mesterséges intelligencia

képes lehet automatizált hibafelismerésre, karbantartási szükségletek előrejelzésére, valamint szimulációk futtatására különböző éghajlati forgatókönyvek alapján, ami különösen hasznos lehet a klímaváltozás miatti extrém események kezelésében.

A BIM-modellek és az IoT-szenzorok, valamint valós idejű adatfolyamok kombinációja (pl. digitális iker) révén az infrastruktúra (töltések, csatornák, műtárgyak) állapota folyamatosan követhető, így a karbantartás, figyelmeztetés és beavatkozás gyorsabbá válhat. A BIM-modellekhez valós idejű adatok kapcsolhatók, ami lehetővé teszi a valós idejű megfigyelést, az árvízi kockázat előrejelzését és a gyors reagálást a veszélyhelyzetekre, szenzoradatok felhasználásával könnyíthető a vízminőségi havária helyzetek kezelése.

A felhőalapú együttműködés és adatkezelés terjedése lehetővé teszi, hogy különböző szereplők – tervezők, vízügyi szakemberek, üzemeltetők – egységes adatbázison dolgozzanak, ezáltal csökkennek az átfedések, növekszik az adatok újra-felhasználhatósága és gyorsabbá válik a döntéshozatal.

A szabványosítás és kötelező BIM használat (pl. állami megrendelésekben) növekedése várható, ami elősegíti, hogy a vízügyi projektekben is egyre inkább elvárassá váljon a BIM-alkalmazás.

A BIM környezet várhatóan a következő években tovább fejlődik azáltal, hogy egyre szorosabban integrálódik valós idejű adatforrásokkal, digitális iker rendszerekkel és fejlett szimulációs eszközökkel, ezáltal hatékonyabban támogatva a fenntarthatósági és klímaalkalmazkodási célok elérését.

IRODALOMJEGYZÉK

2023. évi LXIX. törvény az állami építési beruházások rendjéről <https://njt.hu/jogszabaly/2023-69-00-00>, megtekintve: 2025.10.28.

178/2010. (V. 13.) Korm. rendelet a vizek többletéből eredő kockázattal érintett területek meghatározásáról, a veszély- és kockázati térképek, valamint a kockázatkezelési tervek készítéséről, tartalmáról, <https://njt.hu/jogszabaly/2010-178-20-22>, megtekintve: 2025.10.18.

27/2025. (VIII. 28.) ÉKM rendelet az állami építési beruházás megvalósítása eredményeként állami tulajdonú ingatlan területén létrejövő építmény üzemeltetésének feltételeiről és az üzemeltető kiválasztásának szabályairól, <https://njt.hu/jogszabaly/2025-27-20-8X>, megtekintve: 2025.10.18.

31/2024. (VIII. 22.) ÉKM rendelet az építményinformációs modell (BIM) alapú tervezés és műszaki megvalósítás feltételrendszeréről, <https://njt.hu/jogszabaly/2024-31-20-8X>, megtekintve: 2025.10.18.

25/2024. (VIII. 8.) ÉKM rendelet

Az Európai Parlament és a Tanács 2007/60/EK Irányelve (2007.10.23.) az árvíz-kockázatok értékeléséről és kezeléséről, <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2007/60/oj>, megtekintve: 2025.10.18.

ÁKT (2021). Magyarország Kormánya által elfogadott „Magyarország 2021. évi Árvíz-kockázat-kezelési terve”,

https://vizeink.hu/wp-content/uploads/2022/10/akk/Ar-vizkockazat-kezelesi_terv.pdf, letöltve: 2025.10.11.

Del Duca, G., Rocha, R., Orsz, M., Mateus, L. (2022). A Preliminary Contribution towards a Risk-Based Model for Flood Management Planning Using BIM: A Case Study of Lisbon. Báz, Svájc (2022), 27. p., <https://doi.org/10.3390/s22197456>, letöltve: 2025.10.18.

Huang, T., Xu, H., Wang, Y., Chen, H., Zhang, L., Fan, H. (2023). River Shoreline Project Management Based on BIM Technology: A Case Study of the Environmental Improvement Project of the Green Water Wetland in the Nanjing Reach of the Yangtze River. Nanjing, Kína, pp. 894-905. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6138-0_79

OVF (2026). <https://www.ovf.hu/vizrajz-vizmi-noseg/vizrajzi-tevekenyse->, megtekintve 2026.04.22.

Szlávik L. (2005). Ármentesítés – árvízvédelem. Eötvös József Főiskola Műszaki Fakultás főiskolai jegyzet. Baja, p. 381, ISBN 963 7290 32 X

Szlávik L. (2018). Belvízmentesítés, belvízvédelem. OVF, Budapest http://vpf.vizugy.hu/reg/ovf/doc/14.%20Belvizmentesites,%20belvizvedelem_A1.pdf, megtekintve: 2025.10.18.

Tsikak, P., Chassiakos, A., Papadimitropoulos, V. (2025). Watershed-BIM Integration for Urban Flood Resilience: A Framework for Simulation, Assessment, and Planning. Báz, Svájc, 26. p., <https://doi.org/10.3390/su17177687>

URL1. <https://buildext.com/bim/>

URL2. <https://www.dlt.com/blog/2017/01/06/preventing-flooding-bim>

URL3. <https://bimcorner.com/bim-object-in-infra-structure/>

SZERZŐ



LUCZÓ ÁDÁM építőmérnök (Eötvös József Főiskola, 2013), okleveles mezőgazdasági vízgazdálkodási mérnök (Debreceni Egyetem, 2024). 2013-tól előbb a Békés Drén Kft.-nél, majd a FUTIZO Kft.-nél vesz részt víz-, mély-, közmű- közlekedéscsőépítéssel és öntözéssel kapcsolatos kivitelezési munkákban. A Magyar Mérnöki Kamara és a Magyar Hidrológiai Társaság tagja.