

Budapest árvízvédelme vízgyűjtők összekapcsolásával: egy földrajzi megalapozottságú kísérlet

SCHWEITZER FERENC¹, KUSZINGER RÓBERT²

Bevezetés

Az emberiség történelme, kultúrája, nemzeti erősödése mindvégig a nagy folyókhoz kötődik. Alvízi ország lévén folyóink vízmenynyiségének 95%-a felvízi területekről érkezik, óriási mennyiségű hordalékot szállítva. Az árvízvédelmi kérdés Magyarországon a 19. század óta – különösen a Duna vonatkozá-

sában – a nemzeti stratégiai gondolkodás kiemelt területe lett, amelyre első ízben az 1838-as pesti árvíz drámai pusztító hatásai irányították a folyószabályozással foglalkozó szakemberek figyelmét (1. kép, 1. ábra).

A Tisza, a Duna és nagyobb mellékfolyóinak árvízvédelme mára nemzetbiztonsági kérdéssé vált. Az 1999-ben, 2000-ben és 2006-ban bekövetkezett tiszai árvizek, valamint a



1. kép. Budapest látképe az 1838. évi árvíz alatt. (Fametszet a Budapesti Történelmi Múzeum gyűjteményéből)

¹ Professzor emeritus, DSc, a Szent István Tudományos Akadémia rendes tagja. MTA CSFK Földrajztudományi Intézet, H-1112 Budapest, Budaörsi u. 45. E-mail: schweiff@mtafki.hu

² Doktorandusz, Pécsi Tudományegyetem, Földtudományi Doktori Iskola, H-7624 Pécs, Ifjúság útja 6. E-mail: kuszinger@giscom.hu.



1. ábra. Az 1838. évi árvíz által elöntött városrészek Budapest mai területére vetítve (KÁROLYI Z. 1960. alapján szerk. TAKÁCS K. 2009)

2013-as dunai árvíz esetén láttuk, hogy rendkívüli anyagi és emberi erőfeszítések árán javítgatjuk a 150 éves védelmi rendszert. A 2013-as áradás óta nyilvánvaló, hogy a jelenlegi árvízvédelmi létesítmények és eljárások közel vannak teljesítőképességük határához, emiatt az árvízi fenyegetés újra valóságos gondná vált. A szokásos mérnöki megoldások mellett merésznnek tűnő árvízvédelmi elképzelések is napvilágot láttak már a 20. század kezdete óta. Ezek újra és újra felbukkantak különböző tanulmányokban és napjaink bányászati és szállítási technológiáinak figyelembe vételével átértékelhetők, továbbgondolhatók. Egy korai felvetés már tárgyalta a Duna és a Tisza vízgyűjtőinek összekapcsolását, ami Budapest feletti vízkivétel megvalósításával lenne megoldható. Kísérletünkben mennyiségi, földrajzi nagyságrendű vizsgálá-

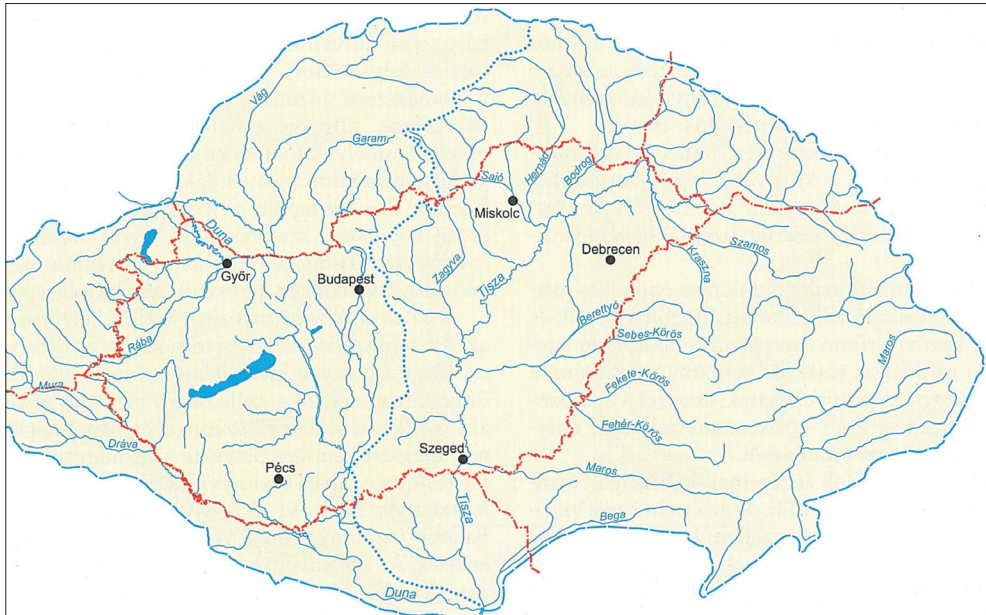
tot végeztünk, hogy egy ilyen, folyók közötti összekötés megteremtése alkalmas lehet-e árapasztóként való üzemeltetésre.

Történeti háttér

Az első és a második világháborút lezáró békediktátumokkal a megcsonkított Magyarország vízgazdálkodása is katasztrófális helyzetbe jutott. Az ország teljes vízhalozatának, vízgyűjtő területének hegységi és hegységelőtéri része az országhatáron kívülre került, ami a vízháztartási viszonyokat alapvetően megváltoztatta. Magyarország határait a medenceperemeken jelölték ki úgy, hogy a Dráva és a Tisza torkolata is a mai határokon kívülre, az egykori Jugoszlávia területére került. Így nem csak az ország fő folyóját, hanem vízgazdálkodási szempontból más jelentős vízfolyásait is két részre vágja az országhatár. Emiatt, függetlenül attól, hogy a Tisza teljes vízgyűjtője a Duna vízgyűjtőjének része, mégis két vízrendszert kell figyelembe venni (2. ábra).

Magyarország vízfolyásai a Duna és a Tisza vízgyűjtői között oszlanak meg. Ezeknek a rendszereknek a kiterjedt árterei mintegy 20 000 km² mezőgazdasági területet és ezernyi ipari létesítményt veszélyeztetnek. Másfél évszázados szabályozás eredményeit a jelenkori szükségletek tükrében szemlélve elmondható, hogy az elképzelések számos területen kudarcot vallottak (IHRIG D. 1952), elsősorban a hosszú távú célok és a fenntarthatóság szemszögéből. A múltbéli mérnöki beavatkozások fő eszközei a gát- és csatornaépítések, valamint a vízlecsapolások voltak. Ennek a gyakorlatnak az eredményeképpen a jelenkori üledék-felhalmozás a folyómedrekben, ill. kisebb részben a tavakban koncentrálódik.

Mielőtt Budapest árvízi biztonsága érdekében Vác és a Galga közötti csatorna gondolatát felvetettük, előzetesen áttekintettük, hogy a kavicskotrás milyen módon befolyásolná a Duna vízszintsüllyesztését. Korábban, amikor a nagymarosi vízlepcsőrendszer létesítésével kapcsolatban vizsgálatok folytak, a mederkotrás lehetőségét is vizsgálták (Kovács Gy. 1986). A vizsgálatok azt mutatták ki,

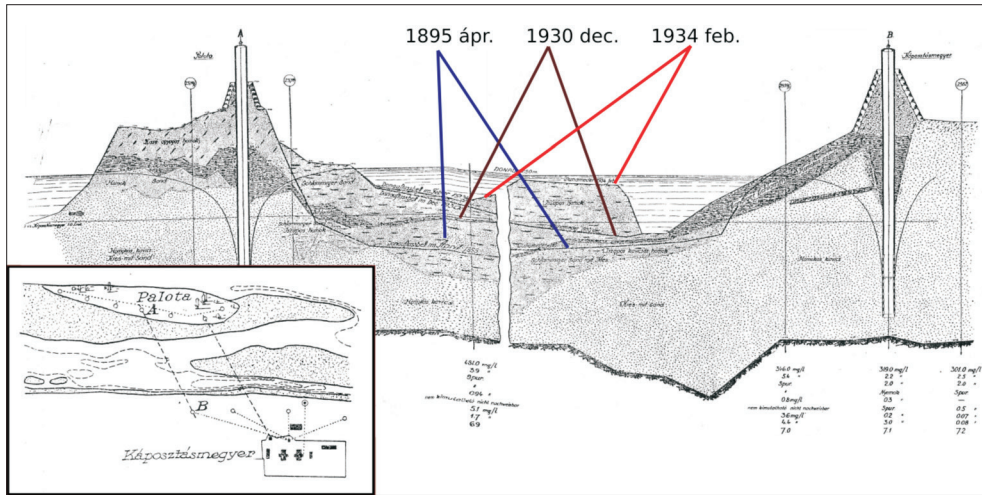


2. ábra. A Duna és a Tisza vízgyűjtőinek kárpát-medencei részei (Forrás: VITUKI). Jól látható, hogy a politikai határokkal szabdaltságot gátolják az egy rendszerben történő vízgazdálkodást

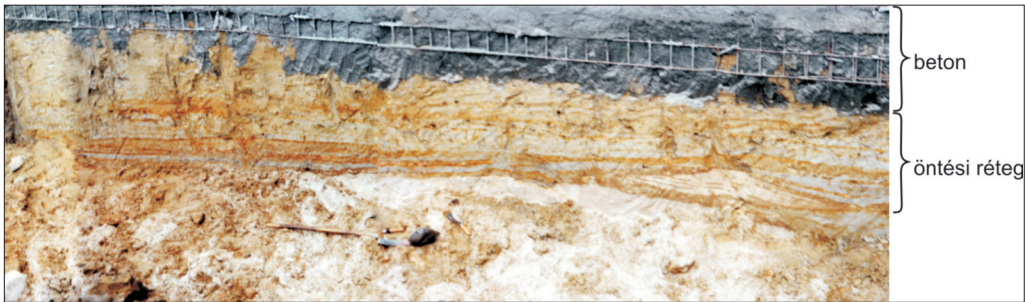
hogyan Budapest és Vác között a kotrás során a dunai vízállások süllyesztése csökkentené a kutak vízhozamát. Az igazi veszély akkor jelentkezne, ha a szűrőképeség lecsökkenne a kavicskitermelés és az elvékonyodott kavicsréteg miatt. A Budapest–Vác közötti Duna szakaszon már eddig is jelentős kavicskotrás történt, aminek hatására 1960 és 1985 között közel 70 cm-t süllyedt a Duna kisvízének szintje. A kotrások eddig is sok gondot jelentettek az óriási házigyári építkezésekhez szükséges betonelem-gyártás miatt (Káposztásmegyér). A meder vonalvezetése, sodorvonala megváltozott, a kotrások helyén árkok és árokrendszerek alakultak ki. A bennük lerakódott, ill. lerakódó iszap nagyon gyakran feltölti ezeket a mélyedéseket. Például Újpesten a Palotai-Dunaág kikutort része 1895–1933 között – azaz közel 40 év alatt – 4,5 m-t iszapoldott fel, ami az ivóvíz vas- és magántartalmának növekedését is okozta (3. ábra). Ilyen, hasonlóan kedvezőtlen hatások jelentkeztek Linz, Belgrád és Turnu-Severin vízműveinél is.

A nagyvízi medrek feliszapolódásán kívül stratégiai léptékben nem elhanyagolható hatások a klímaváltozás, a tektonikus mozgások és a folyók mechanizmusainak változása, meanderezése is. A folyamatosan szűkülő folyómedrek mind magasabb gátakat követelnek.

A Duna budapesti szakaszán az árvízvédelmi gátak a régi módszerekkel sokkal tovább már nem magasíthatók, nem kis részben a gátak alapjainak jelentős területfoglalása okán. Ezért új technológiaként mobil gátakat alkalmaznak Európa szerte és Magyarországon is – ilyen közeli példa a már megvalósult szentendrei és a leendő, vitatott Római parti megoldás Budapesten. Ezek a létesítmények további néhány évtizedig megvédhetnek bizonyos területeket, akár csak a korábbi földgátak, de nem oldják meg a vízszállító képesség feliszapolódás eredetű csökkenését. A Duna esetében ez 20–25 cm felhalmozódás lehet a mederben a következő 10 évben (SCHWEITZER, F. 2015) Budapesttől északra (4. ábra).



3. ábra. Az eliszapolódott káposztásmegyeri Palotai-Dunaág metszete és helyszínrajza. A feliszapolódás már a 20. század elején is jelentős, mintegy 4,5 m-es volt. (MOLNÁR D. 1935 nyomán)

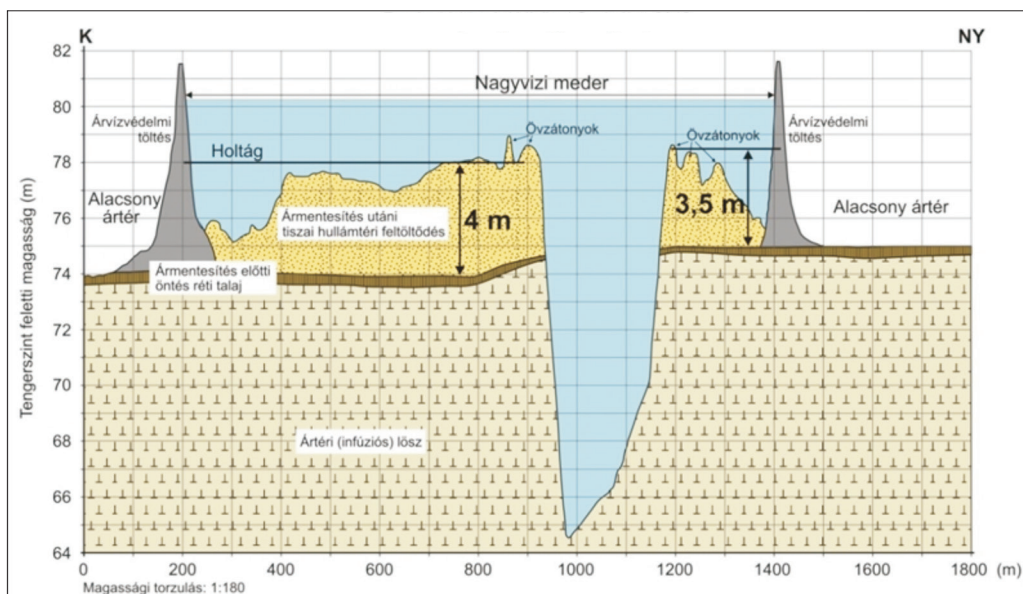


4. ábra. A Duna alacsony árterének folyóvízi homokkal, iszappal, agyagrétegekkel feltöltött része, amely az alacsony ártér és a hullámtér feltöltődését és megemelkedését idézte elő (Fotó: KOMJÁTHY P.)

A Tiszán pedig REICHMANN, J. svájci matematikus számítása szerint Tiszasúlynál – a 2000-es 1041 cm-es vízálláshoz viszonyítva – 2030-ban 1131 cm, 2050-ben 1151 cm-es legnagyobb vízszint várható, ha a jelenlegi fizikai földrajzi adatokat vesszük figyelembe. Hasonló a helyzet a Tisza szerbiai szakaszán is (5. ábra).

Az árvízszintek emelkedése Vác és Budapest között 1970 és 2013 között átlagosan 1,40 cm/év (!) volt.

Nagy folyóink vízgyűjtőjének összekötése régi felvetés. Az első említések már a 18. századtól felbukkannak, akkor még elsősorban hajózási céllal. Eleinte az újjáépítéshez, a kezdődő vízgazdálkodáshoz kötődően, de fontos nemzetstratégiai kérdés volt a K–Ny irányú vízi közlekedési útvonal kiépítése, például a Szolnokra érkező erdélyi só továbbítása miatt (ORLÓCI, I. 2005). El is készült néhány ilyen csatorna, amelyek beavaltották a hozzájuk főzött reményeket – Béga-csatorna,



5. ábra. A Tisza keresztmetsvénye a folyó vajdasági szakaszán (89,224 fkm).
 Forrás: Vajdasági Vízügyi Szolgálat, 2012.

1760 (Temesi Bánság), Ferenc-csatorna, 1802 (Bácska) –, de a Tisza és a Duna összekötésére a mai Magyarország területén nem került sor. A csatorna ügy háromszor is eljutott a megvalósítás küszöbéig. 1840-ben Beszédes József tervei szerint, 1919-ben Bogdánfy Ödön tervei alapján, 1933–1948 között Kállay Miklós miniszter kezdeményezésére Dunaharaszti–Újkécske nyomvonalon hajózható csatorna kérdésköre került megvitatásra. A felvetések mögötti indoklás idővel változott már a szakmai, gazdasági és politikai viták közben is. Az országos szállítási rendszer végül vasúton jött létre, ezért a későbbiekben már az aszályos időszakok alföldi vízpótlása lett az elemzések tárgya. Ilyen volt például az 1970-es évektől a Duna–Tisza-csatorna és a Csongrádi-vízlépcső tervezése.

Több kutató és tervező (köztük JOLÁNKAY Gyula) foglalta össze ezeket a történeti terveket és új felvetésekkel is élt (JOLÁNKAY Gy. 1953, 1957). Ezekben a tanulmányokban a Duna és a Tisza összekötésének megvalósí-

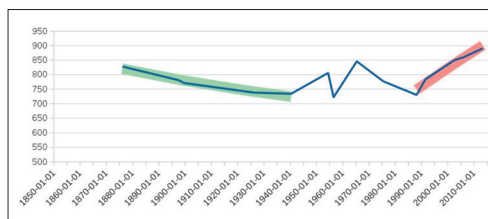
tása céljából többféle nyomvonal-változat is bemutatásra került (ORLÓCI, I. 2005, p. 46). Volt olyan változat, amely a Vác és Aszód között kijelölt nyomvonalon szivattyú, zsiliprendszer és hegyi víztározó kombinációját tartalmazta, és amely a vízátemelés mellett energiatárolási célokra is alkalmas lett volna.

Létezett továbbá egy olyan, előfeszített betoncsöves elgondolás is, ami a közlekedőedények elvén szolgálta volna a vízpótlást. Ez volt egyébként az egyetlen, Budapest feletti kiindulással számoló javaslat, mert a 20. század közepére evidenciává vált, hogy a dunai csatlakozás Budapest alatt valósuljon meg, az akkorra már állandó vízszintű Soroksári-Dunaágnál (ORLÓCI, I. 2005, p. 49). Bár az újabb és újabb tervek előremutató javaslatok voltak a maguk idejében vegyesen mély bevágású és magas vezetésű csatorna elképzelésekkel, de megvalósításukra végül nem került sor, nem kis részben az Alföld víz helyzetének saját rendszerén belüli kezelhetősége miatt.

Aktualitások Budapest védelmében

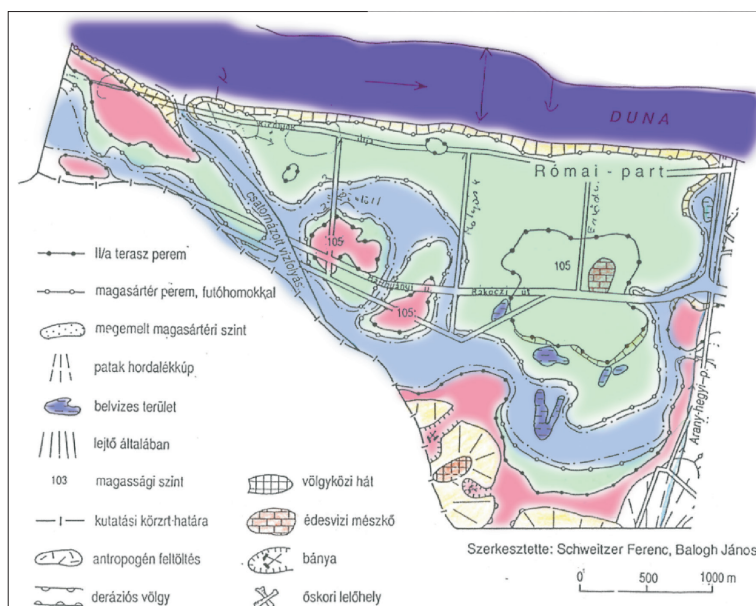
Miközben országosan többfunkciós, vagy kifejezetten árvízi tározók építése folyik, jelen tanulmány készítésekor Budapest árvízvédelmében az egyik legexponáltabb kérdés az ún. „Római-parti mobilgát” megépítésének – valójában a Csillaghegyi-öblözet védelmének – a kérdése. A problémafelvetés már 2002 óta napirenden van. A megoldáskeresés folyamatában jelentős epizód volt a 2013-as, minden korábbi tetőzést meghaladó ár, amit követően a mértékadó árvízszintet emelni kellett a Duna teljes hazai szakaszán, ezt követően pedig szükségessé vált a korábbi tervek módosítása is (6. ábra).

Alapkérdés, hogy a parti létesítmény ideiglenes vagy elsődleges védvonal legyen (az eredeti tervekben ideiglenesként szerepelt), mivel a hagyományosan fő védelmi vonalként kezelt Nánási úti töltés jelenlegi paramétereivel nem felel már meg az új elvárásoknak. A mentett terület tehát nem csak a Római part néven ismert 70 ha-os terület, hanem a teljes



6. ábra. Jelentősebb ismert dunai árhullámok Budapesten. A 20. század közepéig trendszerűen csökkent az árvízi szintek magassága, viszont az 1990-es évek óta meredeken, monoton nő.

Csillaghegyi-öblözet lehet (430 ha védendő területtel). A történelmi ókorban a Csillaghegyi-öblözet – annak lezárása és felöltése előtt – még jelentős vízmozgások és felszíni vizek területe volt. Ezek az eltemetett medrek ma is vezetik a vizet, főleg, ha tartósan magas vízálás miatt megnő a talajvíznyomás. Ha valóban meg akarjuk oldani a védett terület vízmentesítést, akkor ezeknél a felszín alatti medreknél is el kell zárni a víz útját (7., 8. ábra).



7. ábra. A Római-part és az Óbudai-sziget környezetének geomorfológiai térképe és paleolit lelőhelyei. A sötétkék szín a mai folyómedreket, a világoskék a római kori eltemetett folyómedreket jelöli.

A parti védvonal kiépítése egy állandó alépipítványból és egy szükség esetén telepíthető, jó vízzárást biztosító felépipítványból áll (innen származik „mobilgát” elnevezés). A mobilgát (9. ábra) a korábban ismertetett problémát jól kezeli, nevezetesen, hogy az adott vízállás magassághoz sokkal kisebb épített alap tartozik, ill. az alapozás a jelenlegi térszín alá kerül, tehát nem vesz el további helyet az amúgy is sűrűn beépített és változatos módon használt területen. A megoldással szemben álló kételkedők (nem érintve most a politikai és társadalmi egyeztetés témáit) egyik fő aggodalma, hogy 2–2,5 km hosszan nem készült még 9000 m³/s feletti árvízi vízhozamú folyószakaszon elsődleges védvonal ezzel a technológiával, de másik oldalról ez is vitatott (BME 2017), és a kockázatok között inkább a jég, a jégnyomás és az uszadékfa tömeg gátat veszélyeztető hatásait emelik ki. A gát stabilitását végső soron az alépipítvány kivitelezése határozza majd meg.

A fentiekben felvázoltak csak rövid, a lényegét kiemelő illusztrációk a folyamatban lévő szakmai vitának. A vízügyi szakma képviselői az új MÁSZ-hoz igazodva, ill. a hosszú távú tervezés tükrében azt 1,2 m-rel meghaladó szintet javasoltak a tervezéskor figyelembe venni, tehát evidencia az árvízszintek folyamatos emelkedése. Az tározótér szűkítésének duzzasztó hatása is felmerül, de azt 1 cm-nél kisebbnek becsülik és elhanyagolhatónak értékelik (OVF Munkabizottság 2014).

A római parti gát körüli vita mögötti műszaki részletek is azt mutatják, hogy bár változó technológiával, de továbbra is a gátépítés a védekezés fő megoldási iránya, amivel egyes szakaszok kockázatát *helyi válaszokkal* igyekeznek megoldani. Tekintve a budapesti partszakaszok jelenlegi védelmét és beépítettségét, a védvonalak további magasítására fizikailag szinte már csak a mobilgát technológia alkalmas.³ Ez pedig azt jelenti, hogy

³ Jelen kézirat lezárása előtt, 2017. június 14-én elfogadta a fővárosi közgyűlés azt az előterjesztést, ami szerint indítható a Római-parti védmű (mobilgát) engedélyeztetési eljárása.

legalább 20 szoros problémával és költséggel állunk szemben összességében 43–45 km hosszú jobb és bal parti védendő szakaszon.

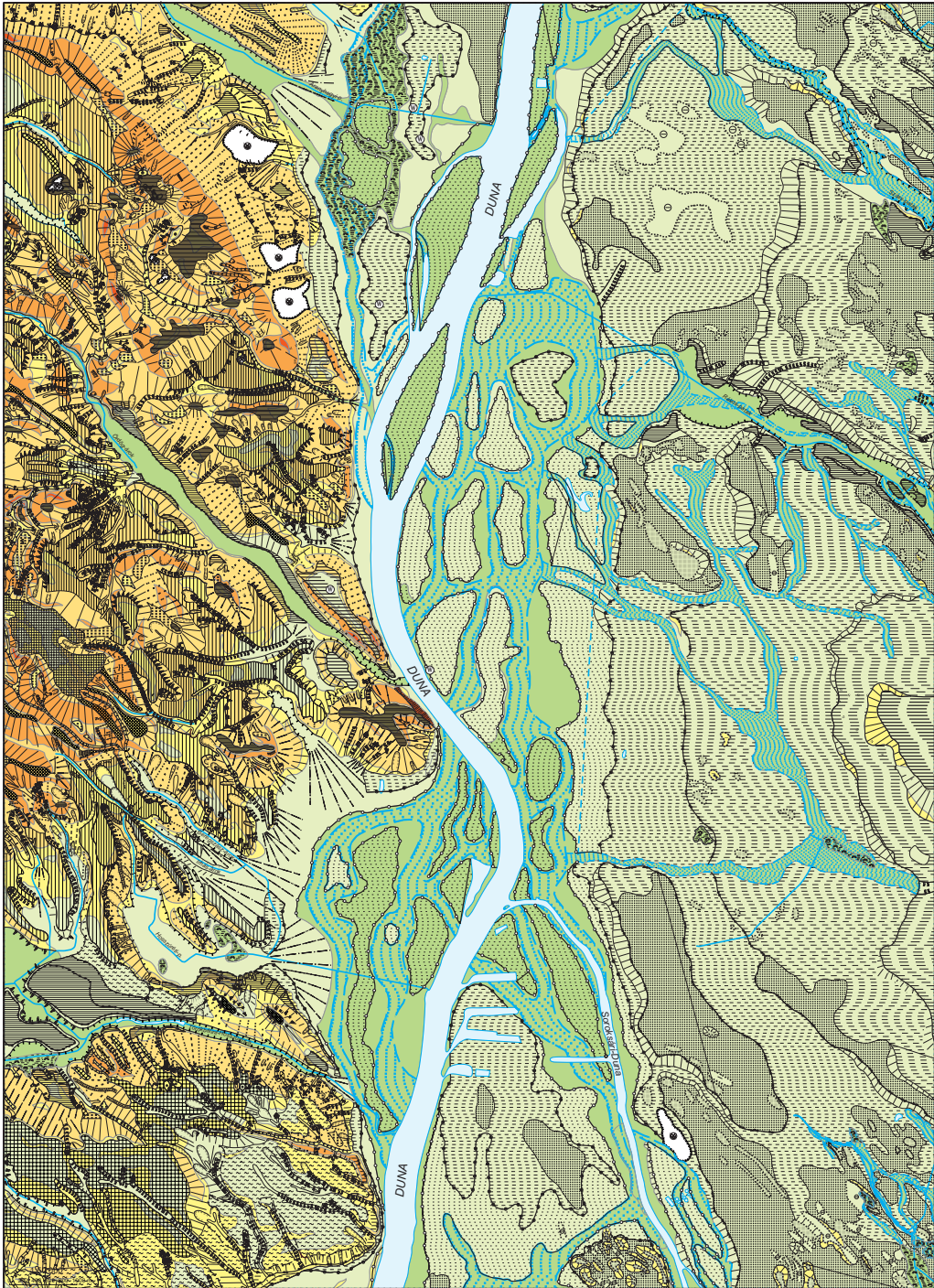
A meder szűkülése, az ártér elvesztése Budapest vonatkozásában történeti folyamat, a város sok százéves fejlődésének eredménye. Az elhúzódó, rendkívüli léptékű városfejlődés és az agglomeráció beépítése már eddig is óriási környezeti változásokat hozott. Ez előrevetíti, hogy a megoldás – pusztán a beszorított vízmennyiség volumene miatt is – hasonló léptékű megoldást fog indukálni. A folyók előbb-utóbb bebizonyítják, hogy a hullámtér az övék. Ha ezt elvettük tőlük, valamilyen módon vissza kell adni nekik.

Az 1838-as budapesti jeges árvíz után annyira megváltoztatták a Duna Dunakeszi és Budafok közötti szakaszát, hogy a folyót lényegében mesterséges vízfolyássá alakították át. Mindezt a társadalom összefogása tette lehetővé, nagy anyagi áldozatot hozva, amit mindig egy-egy nagyobb árvíz kényszerített ki. Az anyagi áldozat mértéke majdnem minden esetben annyira hátráltatja a legfontosabb árvízvédelmi munkákat, hogy csak az árvízi katasztrófák tudják kikényszeríteni ezeket (10. ábra). A védekező munkálatok méreteinek érzékeltetésére példaként említenénk meg, hogy már 1871–1875 között a Duna budapesti szakaszán 300 000 m³ földet, 48 000 m³ betonépipítványt, 17 000 m³ falazatot, 55 000 m³ kőburkolatot fektettek le és 2,5 millió m³ kotrást végeztek.

Kísérletünk tárgya, a modell korlátai






Kísérletünk tárgya, hogy megvizsgáljuk a korábbi, vízpótlási célú és a vízgűjtők összekötését célzó felvetést, de ezúttal árvízvédelmi céllal, az alábbi műszaki keretek között: árapasztó csatorna kiépítése a Dunától a Tisza vízgűjtőjéig (1), ami gravitációs úton, átemelők nélkül biztosítja a vízmennyiség elvezetését (2).

Ezzel stratégiaileg más megoldáshoz nyúlunk, amivel a teljes budapesti és az alatti szakaszt – valamint részben a Budapest feletti szakaszt is – tehermentesíthetjük ár esetén.






8. ábra. Budapest geomorfológiai és ősvízrajzi térképe (HORUSITZKY H. [1932], PÉCSI M. [1959] adatainak felhasználásával szerk.: SCHWEITZER F., KERESZTESI Z. 2017)











I. LEJTŐKATEGÓRIÁK

	0°–2,5°
	2,5°–5°
	5°–15°
	15°–35°
	>35°

II. A LEJTŐK ÁLLAGA

	Stabil lejtő
	Instabil lejtő általában
	Csuszamlásveszélyes lejtő

III. ÁLTALÁNOS DOMBORZATI FORMÁK












	Fennsík (tönkfennsík, táblás fennsík 250 m tszf. felett; szélessége >100 m)
	Alacsony fennsík (150–250 mtszf.)
	Sasbérctető
	Hegygerinc (300 m tszf. felett; szélessége <100 m)
	Alacsony gerinc (150 m tszf. felett; szélessége <100 m)
	Lejtőpihenő
	Hegylábfelszín, hegláblejtő
	Hegyláblepcső és felszíne
	Természetes tereplepcső
	Kőbőrc
	Eróziós, deráziós tanúhegy
	Erodált síkok enyhén hullámos felszíne
	Nyereg
	Sziklafal

IV. AKKUMULÁCIÓS FORMÁK

(Árterek, teraszok és hordalékkúp-síkságok, törmelékkúpok)

	Ártéri sík általában
	Vizenyős területek
	Alacsony teraszok
	II/a sz. terasz
	II/b sz. terasz
	III sz. terasz
	IV sz. terasz
	Patakmenti teraszok, terepszintek maradványai
	Lejtőalji törmelékkúp
	Medencealpi törmelékkúp






V. MEDREK, VÖLGYEK

	Eróziós vímosás (<2m)
	Eróziós árok (>2m)
	Kisebb vízfolyások elhagyott medrei
	Egykori feltöltött holt Dunaág
	Mély eróziós völgy (>20 m)
	Közepes mélységű eróziós völgy (<20 m)
	Lapos, széles eróziós völgy (szélesebb 50 m-nél)
	Medencealpi pereme
	Eróziós-deráziós völgy
	Deráziós völgy
	Deráziós fülke, deráziós függővölgy

VI. KARSZTOS FORMÁK

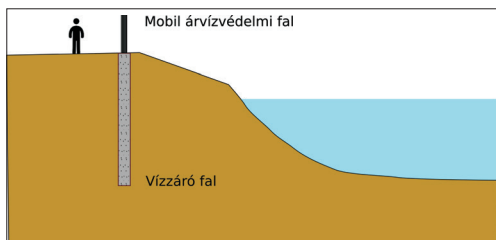
	Szárazvölgy, aszónvölgy
---	-------------------------

VII. HOMOKFORMÁK

	Futóhomok bucka
	Hosszanti bucka
	Széles, lapos deflációs mélyedés
	Szálllyuk
	Futóhomokkal fedett (terasz) felszínek

VIII. ANTROPOGÉN FORMÁK

	Mélyút
	Álterasz
	Felhagyott külszíni bánya
	Feltöltött külszíni bánya
	Régészeti feltárás
	Fotosabb utak



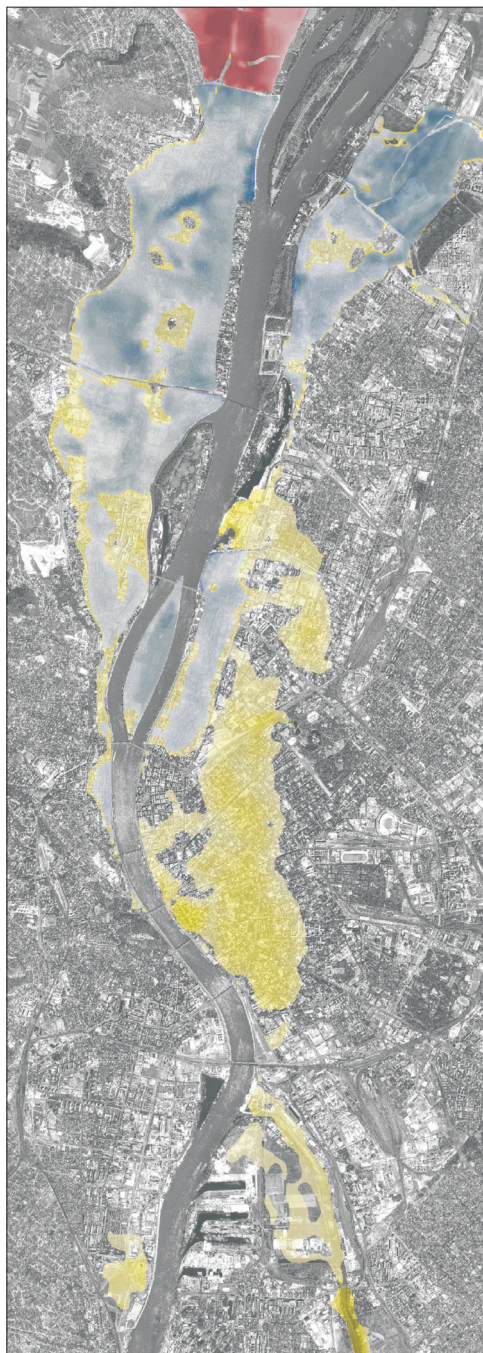
9. ábra. Mobil árvízvédelmi fal (köznapri nevéen „mobilgát”) általános szerkezete

Helyi megoldások helyett tehát egy hatásos, a teljes védendő szakaszt szolgáló megoldást javaslunk. A kísérletünk számára releváns elképzelés az eredetileg Vác–Aszód–Újszász–Szolnok névvel ellátott csatorna nyomvonal (lásd pl. ORLÓCZI I. 2005).

Az árvízvédelem mint cél, alapvetően különbözik a korábbi csatornázási céloktól, különösen a hidrológiai méretezés tekintetében. A Tisza felé történő vízpótlási tervek 100 m³/s kapacitással számoltak, ugyanakkor az árvízvédelem ennél egy nagyságrenddel nagyobb elvezetést kíván (lásd később). A korábbi műszaki megoldásoktól eltérően mélybevágású csatornával számoltunk, ami egészen addig biztosítja a szükséges lejtést és keresztmetszetet, ahonnan már természetes lefolyással haladhat tovább az elvezetett vízmennyiség.

A számítási modell alapvetően a földmunka mennyiségét vizsgálja, ami mélyépítési vagy bányászati technológiával oldható meg. A modell nem tartalmazza az alacsonyan fekvő területeken történő gátépítést, sem a vízkivételi pont és csatlakozó rendszerek műtárgyait. Egyszerűsítésként állandó lejtést feltételeztünk a csatorna teljes nyomvonalán a kezdő és a végpont között. A tervezett csatorna keresztmetszete szimmetrikus trapéz, a nedvesített terület felett opcionálisan eltérő rézsúhajlással.

A modellezési környezet felállítására általános célú térinformatikai rendszert használtunk. A földrajzi léptékű modellezés nem igényel precíziós mérnöki szoftvereket. A számításokhoz egy új szoftver modul



10. ábra. Budapest központi területeinek árvízi kitéttisége a 30 évenként (piros), a 100 évenként (kék) és az 1000 évenként (sárga) valószínűsíthető árvízi elöntések feltüntetéseivel. Forrás: ÁKK III. 2017.

készült⁴ a GRASS GIS (NETELER, M. *et al.* 2012) rendszerhez. Funkciója, hogy közelítő földmunkára mennyiségi becslést végezzen szimmetrikus trapéz keresztmetszetre néhány változtatható paraméter mellett.⁵ A modul egy mozgó, virtuális *csonka kúp szer számot* modellez, ami egy térbeli nyomvonal – ti. a leendő csatorna nyomvonala – mentén mozog. A kísérletek előkészítő szakaszában a számításokat több száz paraméter-kombináció mellett kalibráltuk, hogy optimális futásidő mellett is kellően pontos eredményeket kapjunk, ill., hogy kiismerjük a paraméterek eredményre gyakorolt hatását.

A legfontosabb kérdés volt a Q (m^3/s) érték kiválasztása, hogy mekkora legyen a vízmenynyiség, amit Budapest felett ki kell vennünk a Dunából áradás idején ahhoz, hogy az eddig legnagyobb 2013-as árvízszint fölé ne emelkedjen a vízszint⁶. Az árapasztó meder kiinduló pontját Göd felett azonosítottuk. Itt szükséges megépíteni az árapasztó kiinduló műtárgyait.

Árapasztó csatorna nyomvonalak összehasonlítása

A második alapvető kérdés az árapasztó meder nyomvonal vezetése a Duna és a Tisza vízgyűjtői között. A cél vízelvezető képességet kétféle trapéz keresztmetszetre számítottuk. A terület topográfiaja első ránézésre is

több alternatívát kínál a Tisza vízgyűjtőjének elérésére a Galga völgyébe történő átvezetéssel. A történeti javaslatok között is szereplő Vác–Aszód útvonalra is több lehetséges nyomvonal kínálkozik. A nyomvonal változatok megrajzolása után mindegyikre lefutattuk a modellt a korábban meghatározott paraméterek mellett, hogy az eredmények összevethetők legyenek (11. ábra, 1. táblázat).

Látható, hogy a végeredmény elsődleges befolyásolója a domborzat. Emellett vizsgáltuk a lakott területek és a közlekedési infrastruktúra érintettségét is. Erre jó mérőszám a keresztezett utak száma fajtánként az egyes nyomvonalak mentén (2. táblázat). Egy másik kisebb szoftvermodul kifejlesztésével ennek a számítását is automatizáltuk és az eredmény az alábbiakban 12. ábrán látható.

A *path02* és a *path03* jelű nyomvonalat érintik a legtöbb lakott területre jellemző utat, míg a *path01* és a *path05* a legkevesebbet. Összességében szemlélve a fenti eredményeket nyilvánvaló, hogy a *path01* nyomvonal a legkedvezőbb és a *path05* a második legjobb választás. A legjobb útvonalat a 13. ábrán mutatjuk be. Egyéb keresztezéseket (közmű hálózat) egyelőre nem vizsgáltunk.

A nyomvonal alsó szakasza végig a Galga medrét követi, de ezt a tervezett mederformára módosítani, mélyíteni szükséges, minden egyéb érintett vízügyi létesítmény módosítása mellett. A nyomvonal addig tart, ameddig a mélyítés is szükséges volt.

Mivel nem állandó használatú, de legalábbis közlekedésre nem használt mélybeágású csatornáról van szó, így a rézsűk biztosítása életvédelmi szempontok szerint nem szükséges. Elegendő a meder tisztán tartása, hogy az áramlási paraméterek fennálljanak. Ez szezonálisan, vagy az árvízi felkészülés során is biztosítható. A csatorna időnként elárasztható, hogy az üzemi állapotot legjobban közelítő kondícióban maradjon.

Eredmények és a megvalósítás lehetőségei

A Duna és Tisza összeköttetésére vonatkozó több, mint száz éves elképzelések és a jelen-

⁴ *r.trench* modul, programozási nyelv: Python. Kiegészítő statisztikai számítások készültek R programnyelven (R Core Team 2016). SRTM V3 adatokat (FARR, T.G. *et al.* 2007) használtunk a modell fejlesztéséhez és az elsődleges eredmények számításához. Az OpenStreetMap adatait használtuk az úthálózat adatforrásként (OpenStreetMap contributors 2016). A feldolgozás EOVS területben készült.

⁵ Köszönettel tartozunk SZABÓ Zoltán vízépítő mérnöknek a méretezéshez nyújtott segítségéért.

⁶ 104,3 m (balti) legmagasabb vízszintet határoztunk meg erre a pontra. A cél vízszint tartásához 900 m^3/s árapasztó kapacitást céloztunk meg. A számításokhoz a közismert Manning-formulát használtuk (eredetileg: MANNING, R. 1891). A kiválasztott profil 108,4 m fenékszélesség, a csatorna számított hossza ~62 km, szintesítés 5 m, rézsűhajlás a nedvesített keresztmetszetben 3, felette 0.6. A továbbított vízmennyiség 897 m^3/s .

Árapasztó meder paraméterei	Modell Értékek	B
Modell csatorna hossza	62486 m	
Színkülönbség	9 m	
a	108,4252 m	
a+2b	122,4252 m	
X (lejtőhossz)	9,89949493661167 m	
p (rézsűhajlás)	1 1:...	
h (vízmélység)	7 m	
B (rézsű alap)	7 m	
P (nedvesített kerület)	128,224189873223 m	
A (nedvesített terület)	807,9764 m ²	
R (hidraulikus sugár)	6,30127903946093 m	
k (Manning – érdességi tényező)	36,4 m/s	
C (Manning – sebességtényező)	49,4697257007116	
I (meder esése)	0,000080018 m	
v _h (Chezy)	1,11082973915575 m/s	
Q	897,524213656 m ³ /s	

11. ábra. A modellezés során a nyomvonalak összehasonlításához használt mederváltozat (szerk.: SCHWEITZER F., KUSZINGER R. 2016).

legi eredmények összehasonlítása megerősíti a Jolánkay-féle nyomvonal érvényességét, de egészen más műszaki megoldással. A becsült, kitermelendő anyagmennyiség a *path01* nyomvonal esetén 168 millió m³. A modellezett csatorna képes a számított vízmennyiség továbbítására áradás idején, ezáltal további évtizedekre mentesíteni a Budapestet, ha egyéb körülmények nem változnak, főként a mederben történő üledék felhalmozódás. A munka mérete megkérdőjelezi a megvalósíthatóságot, de ugyanakkor nem is cáfolja (14. ábra).

A 168 millió m³-es nagyságrend eléri a legnagyobb, egy helyszínen megvalósított külszíni fejtési projektek méretét. Ugyanakkor a bányászatban léteznek olyan gépek, amik ezt az anyagmennyiséget kitermelhetővé és elszállíthatóvá teszik.

1. táblázat. Kitermelendő térfogat az egyes nyomvonalak mentén*

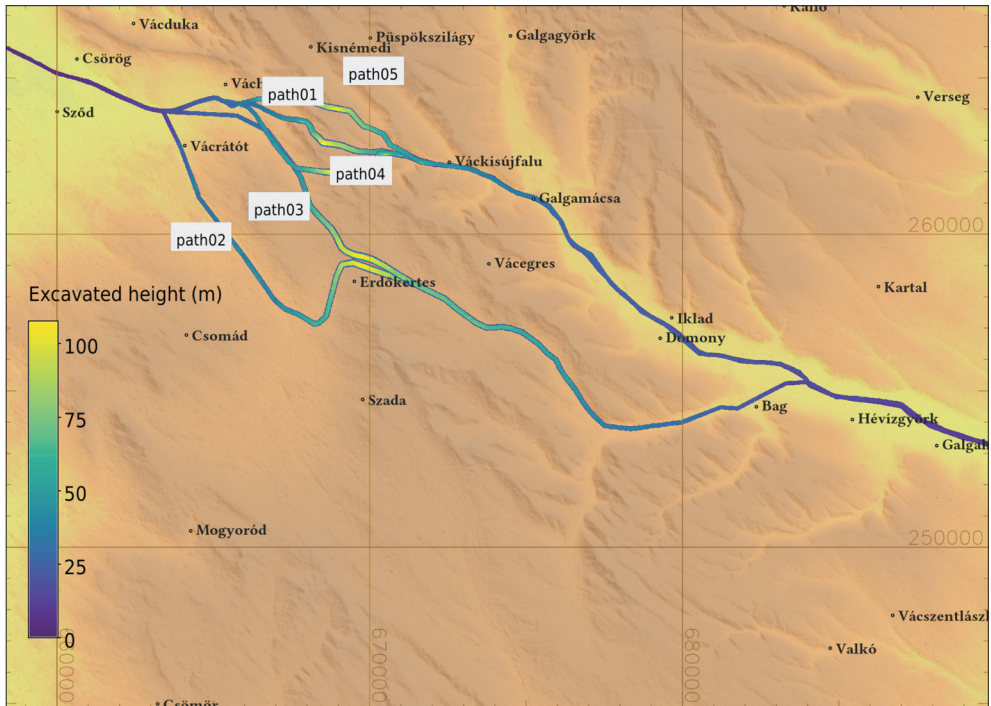
Mutató	<i>path01</i>	<i>path02</i>	<i>path03</i>	<i>path04</i>	<i>path05</i>
Térfogat, m ³	168 148 663	283 590 080	278 954 087	174 204 267	170 175 951
Hosszúság, m	56 053	61 488	58 854	58 236	57 645

*Összeállította: SCHWEITZER F., KUSZINGER R. 2017.

2. táblázat. A keresztezések száma az egyes nyomvonalak mentén*

Keresztezések száma	<i>path01</i>	<i>path02</i>	<i>path03</i>	<i>path04</i>	<i>path05</i>
kerékpárút	1	1	1	1	1
autópálya (M3)	1	1	1	1	1
vasút	3	3	3	3	3
autópálya bekötőút	–	3	3	–	–
gyalogút	20	13	8	9	9
elsőrendű út	2	2	2	3	3
lakóövezeti út	4	58	38	12	8
másodrendű út	9	12	7	5	6
másodrendű bekötőút	2	–	–	2	2
szerviz út	2	1	1	1	1
harmadrendű út	6	4	4	6	6
földút és egyéb út	10	26	29	21	18
gyorsforgalmi út (M2)	1	1	1	1	1
egyéb	4	4	5	3	3

* Összeállította: SCHWEITZER F., KUSZINGER R. 2017. A lakott területek jellemző úttípusai *dölt betűs* kiemeléssel.



12. ábra. Az öt tesztelt medernyomvonal. A meder színe a mederfenék és az eredeti felszín közötti magasságkülönbséget illusztrálja. Szerk.: SCHWEITZER F., KUSZINGER R. 2017.

A TAKRAF Tenova fejtő- és rakodógépei⁷ 20 000 m³/óra mennyiséget tudnak felvenni és továbbítani a kapcsolt gépsorok segítségével. A legnagyobb működő modelljeik – mint például a Bagger 293 – majdnem 100 m magasak és 14 200 tonnásak, jelenleg kiterjedten használtak külszíni barnaszénfejtéseken. Elméleti 240 000 m³/nap kapacitás mellett a számított földmunka anyagmennyiségét 5–6 év alatt tudja megmozgatni, beleszámítva az állás és szerviz időt. Az ekkora rendszerek telepítése további 2–3 évet ad a projekt időtartamához a helyszínen (2. kép).

Az energiaigény a telepítéssel párhuzamosan további több évnvi, akár elektromos hálózatfejlesztéssel járó munkát jelenthet. Bár mindezek erősen közelítő becslések, jól illusztrálják, hogy a projekt fizikai megva-

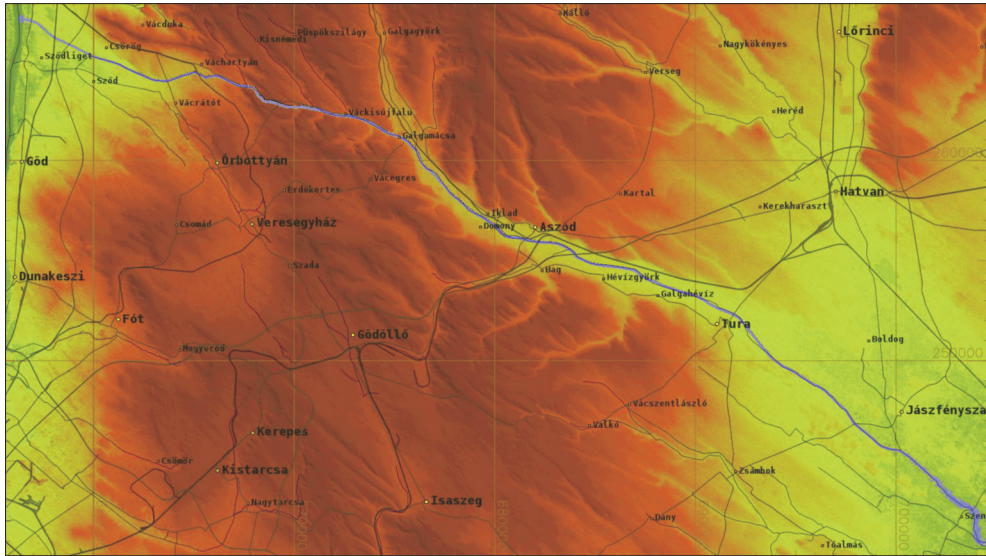
⁷ <http://www.takraf.tenova.com/product/bucket-wheel-excavators/>

lósítása pusztán a földmunka mennyisége miatt még egyáltalán nem lehetetlen. Az anyagmozgatási feladatok a fenti rendszeren kívül több száz Belaz 75600 nagyságrendű szállító jármű üzemeltetésével oldható meg a kitermelési szakasz éveiben

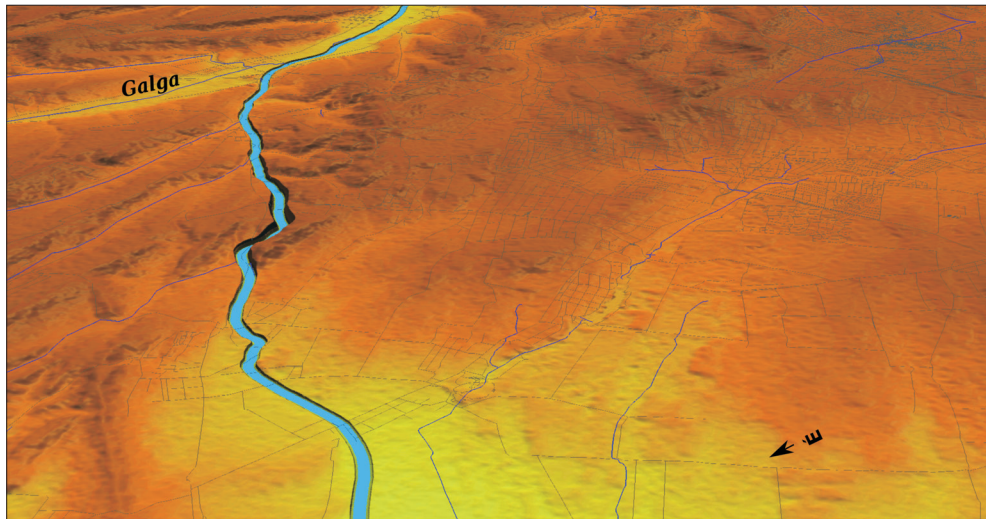
A vizsgálatokkal egy időben számba vettük a további földtudományi kutatások és a fontosabb környezeti hatáselemzések szükséges körét is.

Következtetések

A jelenlegi védelmi létesítmények védőképessége ma már egyértelműen romlik. A védekezési eszközök, berendezések üzembiztonsága nem kielégítő. Emiatt a károk bekövetkezésének valószínűsége nő, nagyságuk fokozódik. Ugyanis minél alacsonyabb a védőképesség,



13. ábra. A legoptimálisabb nyomvonal a földmunka és az infrastrukturális érintettség alapján.
Szerk.: SCHWEITZER F., KUSZINGER R. 2016.



14. ábra. A path01 nyomvonal térbeli nézete a Duna felől, a lefolyás irányában.
Szerk.: SCHWEITZER F., KUSZINGER R. 2016.

annál gyakrabban előfordul, hogy kisebb ár-
hullámnál is károkkal számolhatunk. A
jövő árvízvédelmére ezért a meglévő meg-

oldások mellett új koncepciót is fel kell ál-
lítani. Ennek természetföldrajzi és műszaki
lehetőségei a kísérletünk alapján adottak,

gazdasági feltételeit pedig meg kell teremteni. A meglévő árvízvédelmi művek további fejlesztésének lehetősége korlátozott, főleg Budapest belterületén. A szükségtározók létesítése mellett meggondolandó új árapasztó csatornák létesítése a bemutatott térségben vagy akár máshol is.

Ha a 2000. évi árvíz például a Tiszán Szolnoknál megismétlődne (1041 cm), azt a nagyvízi meder már nem tudná levezetni. A gátak további emelése hiábavaló kísérlet, mert a folyó a hullámterét gyorsan fel fogja tölteni. A folyóink védelme mára kiemelt nemzetbiztonsági kérdés lett, fejünk felett az irtózatosszerű veszedelem, a figyelmeztető árvízi események pedig egyre csak szaporodnak.

A döntéshozóknak feltétlenül meg kell ismerniük a legnagyobb hazai folyóinkon kialakult helyzetet. Ha bekövetkezik a tragédia, lehet majd bűnbakokat keresni, de annak nem sok értelme lesz. (Emlékezzünk csak: az ajkai vörösiszap-katasztrófa okainak „elfogulatlan” vizsgálata alapján is csupán az volt megállapítható, hogy vagy mindenki hibás volt, vagy senki nem volt hibás...)

Ez a tanulmány Budapest árvízvédelmével foglalkozik oly módon, hogy arra megoldást is kínál egy, a fővárost megvédő – ezért a feladatához igazodóan Szent László királyunkról elnevezendő – árapasztó-csatorna létrehozásának tervjavaslatával.

A fentiekben bemutatott, ill. felvetett mesterséges vízfolyás megépítésének lehetőségéről már a téma időszerűvé válásakor (2014–2015-ben) egyaránt tájékoztatást kaptak az akkori vízügyi vezetők, majd 2016-ban a Magyar Tudományos Akadémia vízügyi „ad hoc” bizottságának elnöke és tagjai, továbbá 2017 januárjában az Országos Vízügyi Főigazgatóság vezetője is. A vázolt tervezet mellett mindannyian megkapták a javaslatot messzemenően alátámasztó számításokat is. Az érintettektől ezidáig nem érkezett válasz.

Elgondolkodtató, hogy a száraz időszakban – pár évvel a rekord magasságú (2013: 891 cm!) budapesti árvíz levonulása után – az árvízveszély tudata szinte teljesen elhomályosult a közvéleményben, de ami ennél is nagyobb baj, hogy a szakemberekben is.



2. kép. Az érintett völgyszakasz egy részlete Csörög és Váckisújfalu között. Előtérben a Duna III. és IV. sz. terasza (Fotó: Droppa Gy.)

FELHASZNÁLT FORRÁSMUNKÁK

- ÁKK III. 2017. *Árvízi kockázatkezelés térképek*. <https://geoportal.vizugy.hu>. Elérés: 2017.05.08.
- BME 2017. *Összehasonlító szakértői értékelés a Csillaghegyi-öblözet árvízvédelmi fejlesztésének kérdéseiről*. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék, 2017. március, Budapest.
- FARR, T.G., ROSEN, P.A., CARO, E., CRIPPEN, R., DUREN, R., HENSLEY, S., KOBRICK, M., PALLER, M., RODRIGUEZ, E., ROTH, L., SEAL, D., SHAFFER, S., SHIMADA, J., UMLAND, J., WERNER, M., OSKIN, M., BURBANK, D., ALSDORF, D. 2007. The Shuttle Radar Topography Mission. *Review of Geophysics* 45., RG2004. Doi:10.1029/2005RG 000183.
- HORUSITZKY H. 1932. Budapest Székesfőváros hidrogeológiai viszonyai. *Hidrológiai Közlöny* 12. 19–44.
- IHRIG D. 1973. *A magyar vízszabályozás története*. Országos Vízügyi Hivatal, Budapest.
- JOLÁNKAY Gy. 1953. Duna-Tiszaközi hajóútot, öntöző és vízerőtermelő főcsatorna. *Vízügyi Közlemények* 35. 2. 187–199.
- JOLÁNKAY Gy. 1957. A Tiszavölgy északi része vízhiányának pótlása a Dunából átvezetett víz dombvidéki tározásával. *Vízügyi Közlemények* 39. 1–2. 3–21.
- KOVÁCS Gy. 1986. A bős-nagymarosi vízlépcsőrendszer. Tervek, aggályok, feladatok. *Magyar Tudomány* 31. 4. 249–271.
- MANNING, R. 1891. On the flow of water in open channels and pipes. *Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland* 20. 161–207.
- MOLNÁR D. 1935. A Székesfőváros vízműveinek vas- és mangántalanító berendezése. *Vízügyi Közlemények* 17. 1. 115 – 128.
- NETELER, M., BOWMAN, M.H., LANDA, M., METZ, M. 2012. GRASS GIS: A multi-purpose open source GIS. *Environmental Modelling & Software* 31. 124–130.
- OpenStreetMap contributors 2016. *Planet dump* (Data file from 06/11/2016). Retrieved from <http://planet.openstreetmap.org>.
- ORLÓCI I. 2005. A Tiszát a Dunával összekötő csatorna. *Hidrológiai Tájékoztató* 45. 1. 44–49.
- OVK 1984. *Országos Vízgazdálkodási Keretterv*. Országos Vízügyi Hivatal, Budapest.
- OVF Munkabizottság 2014. *Szakmai állásfoglalás és javaslatok a Csillaghegyi öblözet ármentesítésének ügyében*. OVF Vízügyi Tudományos Tanács Római-parti gát Munkabizottság. Jelentés, Budapest, 2014. június 10.
- PÉCSI M. 1959. A magyarországi Duna-völgy kialakulása és felszínalakítása. *Földrajzi Monográfiák* 3. Budapest, Akadémiai Kiadó.
- R Core Team 2016. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- SCHWEITZER F. 2000. Magyarországi folyamszabályozások geomorfológiai vonatkozásai. Folyóink hullámterének fejlődése, kapcsolatuk az árvizekkel és az árvízvédelmi töltésekkel. *Földrajzi Értesítő* 50. 1–4. 9–31.
- SCHWEITZER F., NAGY I. 2011. Döntési kényszer a hazai árvízvédelemben. In *Katasztrófák tanulságai*. Szerk.: SCHWEITZER F., Elmélet-Módszer-Gyakorlat 69. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 13–68.
- SCHWEITZER, F. 2015. Strategy or disaster: New-style river regulation as an issue of national security. *Hungarian Geographical Bulletin* 64. 4. 307–315.