

**AZ ELMÉLET ÉS A GYAKORLAT TALÁLKOZÁSA
A TÉRINFORMATIKÁBAN**

VII.

THEORY MEETS PRACTICE IN GIS



Szerkesztette:

Dr. Balázs Boglárka

Technikai szerkesztők:

Szentesi Andrea, Varga Orsolya Gyöngyi,
Bertalan László, Barkóczy Norbert Gábor

ISBN 978-963-318-570-4

Lektorálták:

**Dr. Burai Péter, Dr. Csorba Péter, Kákonyi Gábor,
Dr. Kerényi Attila, Dr. Kozma Gábor, Pajna Sándor,
Dr. Pázmányi Sándor, Dr. Rózsa Péter, Dr. Sik András, Dr. Siki Zoltán,
Dr. Szabó György (DE), Dr. Szabó József (DE), Dr. Szabó Szilárd**

A kötet a 2016. május 26-27 között Debrecenben megrendezett
Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás előadásait tartalmazza.

A közlemények tartalmáért a szerzők a felelősek.

A konferenciát szervezte:

A Debreceni Egyetem Földtudományi Intézete,
az MTA Földrajzi Tudományos Bizottság Geoinformatikai Albizottsága,
az MTA DAB Környezettudományi Bizottsága,
a HUNAGI és az eKÖZIG Zrt.



Debrecen Egyetemi Kiadó
Debrecen University Press

Készült
Kapitális Nyomdaipari Kft.
Felelős vezető: ifj. Kapusi József
Debrecen
2016

Ártéri domborzatfelmérés és elöntésszimuláció: gyorsan, hatékonyan és pontosan – a helyi árvízi védekezés érdekében

Kohán Balázs¹ – Deák Márton² – Mészáros János³ – Nagy Balázs⁴ – Szabó Judit⁵ – Szalai Zoltán⁶

¹ tanársegéd, ELTE TTK Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék, kohanb@caesar.elte.hu

² tanársegéd, ELTE TTK Természetföldrajzi Tanszék, dmarton@caesar.elte.hu

³ tanársegéd, ELTE IK Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék, messer@map.elte.hu

⁴ egyetemi docens, ELTE TTK Természetföldrajzi Tanszék, nagybalazs@caesar.elte.hu

⁵ PhD hallgató, ELTE TTK Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék, juciduck@caesar.elte.hu

⁶ tudományos főmunkatárs, MTA CSFK Földrajztudományi Intézet, szalaiz@mtafki.hu

Abstract: In order to plan flood prevention and adaptation to increasing water levels, it is essential to recognize the movement of water on floodplains, flood dimensions, and it is also important to quantify the flood-related risks. In order to prepare for flood events, it is indispensable to get more precise information about the topography of floodplains and the spatial connections between the floodplains, the floodless areas and the surrounding riverbeds. Our study presents a fast, precise and cost-effective survey and analysis method which helps to delineate the expected water pathways and the spatial extension of floods.

Bevezetés

Az árvizek ártéri mozgásának, az elöntések nagyságának ismerete, a folyóink áradásai okozta fenyegetettség elemzése a magas vízsintekhez való alkalmazkodás és az árvízi védekezés megtervezése során elengedhetetlen. Minél pontosabban ismerjük az ár- és hullámterek domborzatát, kapcsolatukat az ármentes térszínekkel és a környező medrekkel, annál pontosabban tudunk felkészülni az áradások vízelöntésére.

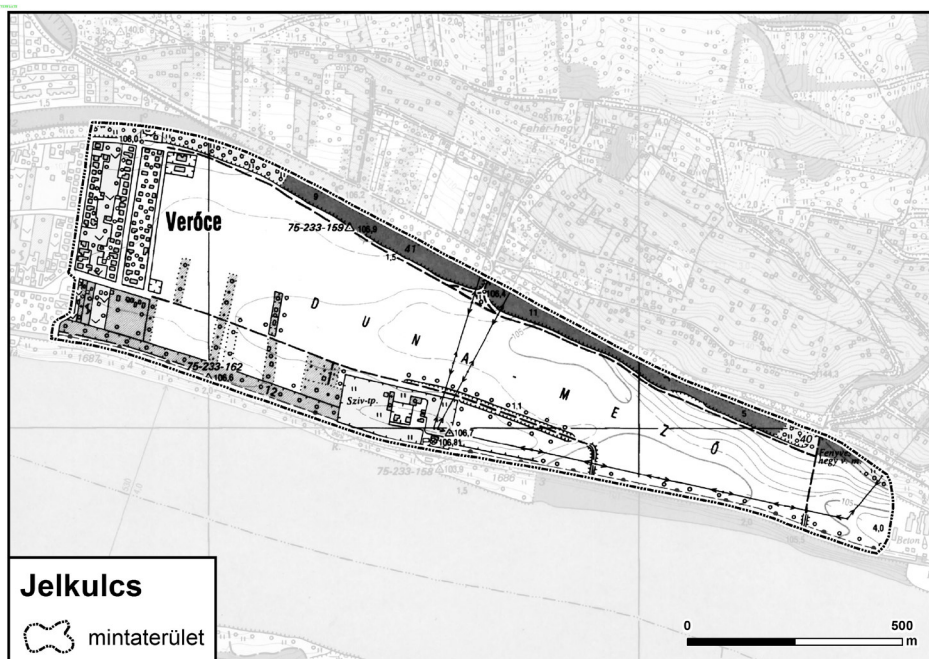
Esettanulmányunk olyan felmérés- és elemzéssort mutat be, melynek alkalmazásával gyorsan, igen költséghatékonyan, pontosan és ismétlődően vizsgálható a vízelöntések várható útvonala, mértéke, helyzete és a vízborítás mélysége is.

A növekvő árvízszintek a beépített szegélyű ártéri öblözetek térségében ott jelentenek különösen nagy problémát, ahol az ártéri szintek és az ármentes részek (pl. teraszok) elkülönülése gyenge. Ezek a szintek folytonos átmenettel, igen kis szintkülönbséggel kapcsolódnak egymáshoz és a mesterséges feltöltések és elegyengetések révén a domborzat egyveretűvé vált. Ráadásul az épített környezet közvetlenül ráhúzódt az árterekre, vagy ártérmellékekre is. Mindehhez társul a sorozatos áradások hordalékmozgatásának ártérfeltöltő szerepe is. Így a hagyományos térképhasználattal, légifotó- vagy űrfelvétel-elemzéssel, de terepbejárással, és még egyes pontok szintezésével-magasságmérésével sem különíthetőek el a potenciálisan vízjárta területrészek. A megoldás az ártéri térségek és a szomszédos ármentes felszínek nagy pontosságú, teljes területre kiterjedő domborzati térképezésében

rejlík, amelynek alapján elöntési modellek készíthetők, amivel akár ingatlanszinten is jelezhető az aktuális árvízszinthez kapcsolódó elöntésnagyság. Mivel az árterek domborzata minden elöntés során változik, így olyan módszert kell a felméréshez választani, amely a kellő pontosság mellett az árvízi periódusokhoz kapcsolódóan megismételhető, így hosszú távon is nyomon követhető a vízborítás változása. Mindezzel a védekezés hatékonysága, ill. az árvízi elöntést megelőző létesítmények telepítése is elősegíthető. Eddigi tapasztalataink alapján néhány négyzetkilométeres terület vizsgálata esetén az UAV által készített felvételek alapján generált felszínmodell néhány centiméteres pontosságú, így az elöntési vizsgálatokhoz és előrejelzések készítéséhez is megfelelő alapot biztosít - akár egy döntés előkészítés során árvízi veszélyhelyzetben is.

Az elemzés célja tehát:

- az ártéri öblözet vízelöntésének szimulálása az elkészült domborzatmodell segítségével az egyes dunai vízállásokat figyelembe véve,
- a lakott területeket fenyegető áradás útvonalának feltárása, a lakóövezet vízelöntésének vizsgálata a vízállások függvényében,
- az árvízi elöntés mértékéhez kapcsolódó vízmélységek megadása a lakott területen,
- a felmérés gyors és hatékony, széleskörűen alkalmazható módszerének kialakítása, a pontosság tesztelése a jól dokumentált 2013. júniusi elöntés alapján.



1. ábra A mintaterület elhelyezkedése

Mintaterület

Mintaterületünk a Dunakanyar „kijárat kapujában”, a Duna bal partján fekvő Verőce térsége. A településtől keleties irányban a Vác felé húzódó, mintegy 2 km hosszú Duna-mező nevű ártéri öblözet helyezkedik el (1. ábra). Az ártér északi határa a vasúti fővonal 6–10 méter magas töltése. Az ártér déli, dunai szegélyén, a magas ártér peremén végighalad a 12. sz. főút, amely a közelmúlt (2002, 2006, 2010, 2013) dunai áradásai során víz alá került. Maga az út és alapozása nem töltés jellegű, nem jelent gátat az áradó Duna számára – hivatalosan is árvízveszélyes útszakasznak minősített és jelölt. (ártéri elöntésszimulációnkon a főút nem szerepel, az ábrázolt terület ettől közvetlenül É-ra kezdődik).

Az elemzés aktualitását a 2013-as áradás elöntése adja, amely váratlanul, az ártéri öblözet folyóhat mögötti laposaiban (valójában a magas ártéren keresztül) elérte a települést, és eddig soha nem tapasztalt helyszíneken okozott életveszélyt okozó elöntést. És bár itt a Duna mentén is lezajlott az árvízi kockázati térképezés (légi lézeres felmérést is használva) és megszülettek a stratégiai kockázatkezelési tervek (I–1) a helyi önkormányzat csak a 2013-as áradás előtti tervezetre támaszkodhat.

Adatfeldolgozás

A légifényképezés területén a valós, háromdimenziós tárgyakról kétdimenziós felvételek készülnek, amelyből egyenesen következik, hogy egy felvételből nem tudjuk a felmért tárgy alakját közvetlenül rekonstruálni. Ennek a problémának a feloldására több különböző eljárás is született a fotogrammetria területén: egyképes (orto-) fotoszkópia és a sztereo fotogrammetria. Ez utóbbi egészen egyedi módon, a természetes térlátás elvét követve oldja fel a problémát, azaz egymást sorozatban követő, átfedő, különböző álláspontokból készült felvételek segítségével következtet a felméréndő tárgy harmadik dimenzió szerinti méreteire (KRAUS K. 2008).

Hasonló módszernek tekinthetjük a 2000-es évek közepétől megjelenő, SfM (Structure-from-Motion) algoritmusokat is, amiket már korábban is használtak a robotika vagy az automatikus alakfelismerő algoritmusok területén (KOUTSOUDIS, A. ET AL. 2013). A módszer lényege az egymással átfedő, különböző álláspontból készült felvételek feldolgozása, pontosabban a közöttük lévő parallaxisok alapján a fényképezett tárgy alakjának meghatározása. Ugyanazon tárgyat felépítő pont több képen (legalább három-négy) kell szerepeljen, hogy felismerhető legyen. Az adott képeken RGB intenzitás, szaturáció, textúra, valamint a környező pixelek hasonló értékei alapján minden pixelhez egyedi azonosítót társít, majd azt több képen is azonosítja. A pontokhoz adott képi koordináta-rendszerekben meghatározott x,y koordinátapárost társít, aminek a későbbi alakzat rekonstrukciónál lesz fontos szerepe. Az így megadott paraméterek segítségével, több képre alkalmazva, kiszámíthatók az adott pont háromdimenziós koordináta-rendszer szerinti koordinátái.

A légi felmérés során egy DJI Phantom 2 távirányítású, többmotoros

helikoptert, valamint a rá erősített GoPro Hero 3+ Silver típusú kamerát használtunk, amellyel átlagosan 80 m-es repülési magasság mellett több ezer, egyenként 10 megapixeles felvétel készült. A modell létrehozásához végül 620 db felvételt használtunk fel, amelyeket az Agisoft PhotoScan 1.2.0-ás verziójú változatával dolgoztunk fel. Utóbbi során, egymást követő lépésekben (fényképek egymáshoz képesti helyzetének meghatározása, ritka és sűrű pontfelhő létrehozása), létrehoztunk egy ~32 millió pontból álló pontfelhőt, amely később a domborzatmodell alapjául szolgált.

A geoinformatikai környezetben történő feldolgozás érdekében a pontfelhőt terepi illesztőpontok segítségével EOV/HD72 vetületi rendszerbe transzformáltuk. Ehhez a légifelvételeken könnyen azonosítható terepi elemeket (kerítés sarka, villanyoszlop, vasúti töltés rézsűjének sarka stb.) kerestünk, majd az említett vetületi rendszer szerinti háromdimenziós koordinátáikat RTK-GPS segítségével rögzítettük (a mérés során a vízszintes és függőleges hiba max. 1 cm volt). Összesen 26 ilyen illesztőpontot határoztunk meg, melyből végül hetet használtunk fel a pontfelhő transzformálásához, a többit a domborzatmodell pontosságának ellenőrzéséhez.

További feldolgozási lépésként a sűrű pontfelhőt ritkítottuk és a zajként megjelenő vegetációt is eltávolítottuk. Ezekhez a lépésekhez az ingyenesen elérhető CloudCompare szoftvert használtuk, azon belül a Statistical Outlier Filter algoritmust. A domborzatmodell alapjául szolgáló pontfelhő végül így közel 30 millió pontból állt, erre alapozva egy 0,5 m rácsállandójú domborzatmodellt interpoláltunk Inverse Distance Weighting algoritmus segítségével. A későbbi elöntési szintek ábrázolásához az ArcGIS 10.2.2 szoftver különböző eszközeit használtuk.



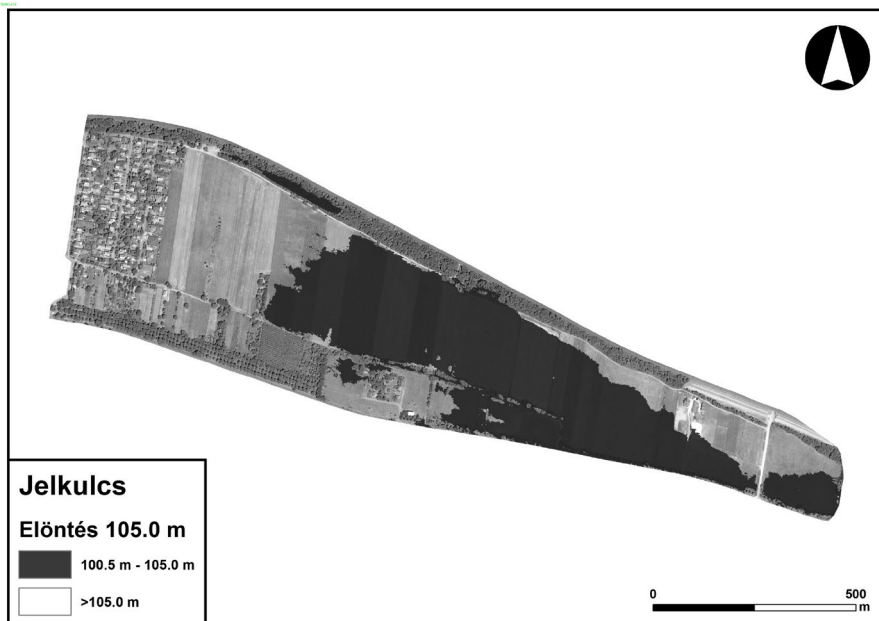
*2. ábra A 2013-as maximális vízállás (június 9.) a valóságban a Duna-mező területén
(fotó: Selmeczi Kovács Ádám)*

Eredmények

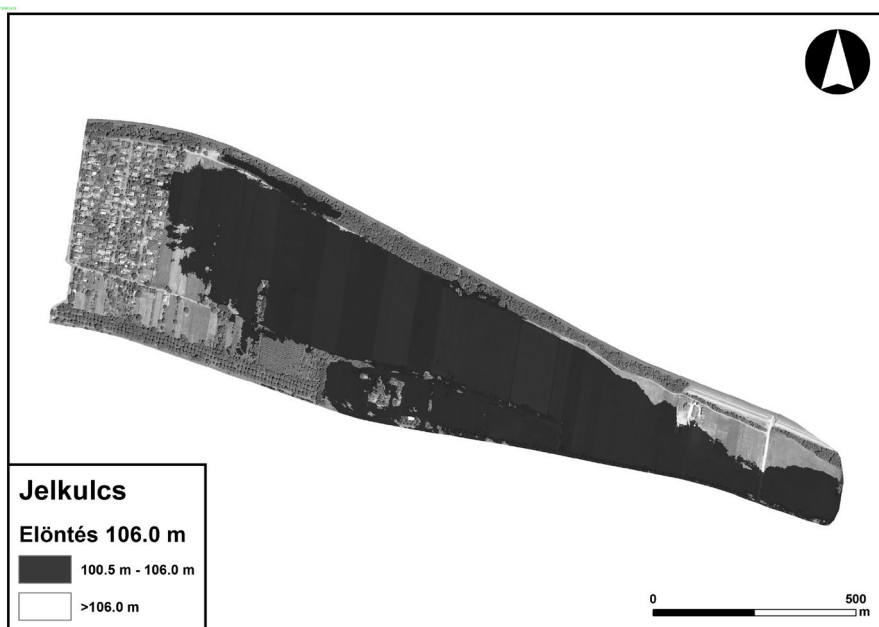
Mivel Ver öcénél nincs hivatalos mérőhely, így a nagymarosi és a váci vízmérce adatai alapján következtettünk az elöntési szintekre. A 2013-as tetőző érték Nagymarosnál 751 cm, Vácnál 804 cm volt, ami abszolút tengerszint feletti magasságra átszámítva 106,94 méteres illetve 106,16 méteres (mBf) vízszintet jelent (internet 2). A két érték felhasználásával, lineáris interpolációval becsülve ugyanez az érték Verőcénél körülbelül 106,6 méter (mBf) volt. A modell kalibrációjához a 2013-as árvíz tetőzésekor készült légifelvételeket használtuk fel (2. ábra).

A képek tanúsága szerint a modellezett és a valóságos elöntések jól egybeesnek, a maximális elöntés vizsgálatánál ingatlanszintre lebontva is egyezés volt! A különböző elöntési szinteket térképeken ábrázoltuk (3–5. ábra), illetve animációkat készítettünk, valamint a vízszintek magassági adataiból kivonva a fotogrammetriai feldolgozás eredményeként kapott felszín, elöntési mélységeket is becsültünk (6. ábra).

A modellszámítás során kapott eredmények szerint 102,24 méteres (mBf) vízállásnál kezd megjelenni a Duna-mező legmélyebb pontján a víz. Ekkor a nagymarosi vízmérce mintegy 311 cm-t (± 5 cm) mutat. 105 méteres abszolút vízállásnál azonban már a település szélénél épült első nyaralót is eléri a víz, de a keleti faluszél alacsonyán fekvő utcáiban a pincékben is megjelenik. 105,74 méternél (mBf) eléri az első utca, a Duna sor házait. 106 méternél (mBf) már a település szélén épült, alacsonyán fekvő ingatlanok kertjében is megjelenik a víz. Ennél 20 cm-el magasabb vízszint esetén pedig már az utca közepén is vízállás keletkezik,

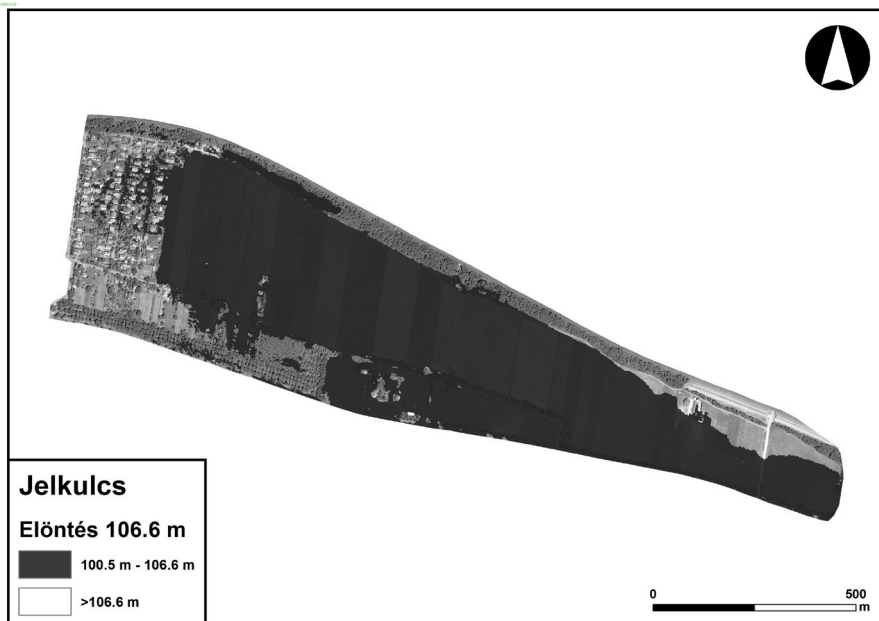


3. ábra Elöntés mértéke 105 méteres (mBf) vízszint esetén

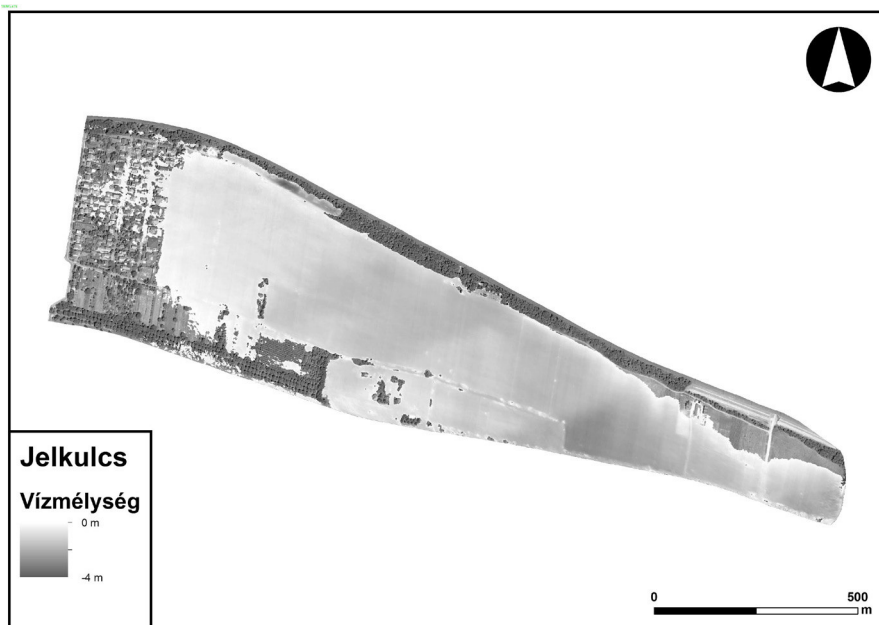


4. ábra Elöntés mértéke 106 méteres (mBf) vízszint esetén

valamint megjelenik a víz a második utcában (Váci Mihály utca) is. A 2013-ban mért legnagyobb vízszint (106,6 méter mBf) során az elöntés a Karinthy Frigyes utca legmélyebb pontjain is megjelenik. Ennél a magasságnál a Duna sor legmélyebb pontján csaknem 1 m mély víz áll!



5. ábra Elöntés mértéke 106,6 méteres (mBf) vízszint esetén



4. ábra Elöntés mértéke 106 méteres (mBf) vízszint esetén

Összegzés

A mintaterületnek választott dunai ártéri öblözet felmérésekor a célszerűség, hatékonyság és gyorsaságra törekedve, a pontosságot mindvégig szem előtt tartva olyan elöntés-eredménytérképeket kaptunk, amelyek megfelelnek a 2013-as, utolsó (és egyben eddig legnagyobb, nem jeges típusú) áradás valós vízelöntéseinek. A terepmunka tavaszi időszakban (március végén) zajlott, hiszen a gyér növényzeti takarás mindenképpen feltétele a pontos domborzatmodellnek. A végső feldolgozással együtt néhány nap alatt megvalósítható elemzés módszertana – hasonló pontos eredményeket ígérve – más ártéri öblözetek felmérésére és kockázati térképezésére is alkalmas. Mivel a jelentős költséghatékonyság miatt így egy adott terület feldolgozása rendszeresen, áradásonként megismételhető, az árterek és a hullámterek domborzatfejlődésével párhuzamosan vizsgálható a változó elöntés nagyság.

Felhasznált irodalom

- KOUTSOUDIS, A.–VIDMAR, B.–IOANNAKIS, G.–ARNAOUTOGLU, F.–PAVLIDIS, G.–CHAMZAS, C. (2013): Multi-image 3D reconstruction data evaluation, Journal of Cultural Heritage, <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2012.12.003>
- KRAUS K. (1998): Fotogrammetria, Tertia Kiadó, Budapest
- I-1: <http://www.vizugy.hu/index.php?module=vizstrat&programelemid=145>
- I-2: <http://www.kdvvizig.hu/index.php/vizrajz/allomashalozat/209-hidrometeorologiai-tajekoztato-20130611-en>