

A BELVÍZELÖNTÉSEK TÉRKÉPEZÉSÉT MEGALAPOZÓ ADATGYŰJTÉS ÉS A BELVÍZKÉPZŐDÉS MODELLEZÉSE NEURÁLIS HÁLÓZATTAL

SZATMÁRI JÓZSEF–TOBAK ZALÁN
– VAN LEEUWEN, BOUDEWIJN–DOLLESCHALL JÁNOS

DATA ACQUISITION FOR INLAND EXCESS WATER MAPPING
AND MODELLING USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Abstract

Inland excess water is a recurring problem on the Great Hungarian Plain. Large tracts of land are covered with water due to a lack of runoff and insufficient absorption capability of the soil or upwelling of groundwater. Laser altimeter scanning (ALS) data and stereo aerial photographs were acquired from three different study areas in the Maros-Körös Interfluve. The ALS data and three dimensional vectors (breaklines) that were derived from aerial photographs were employed to create a 70 km² digital elevation model (DEM), which incorporates natural landforms essential for inland excess water modeling and can not be identified on the DEM-5 model of Hungary. An advanced system to acquire digital images in the visible and near infrared wavelengths for a large variety of applications is being developed. The main advantages of the system over commonly used equipment are its affordability and flexibility. In several steps, the raw data are semi-automatically processed to georeferenced mosaics. Furthermore, a framework has been developed to integrate the robust capabilities of a GIS for geographical analyses and of artificial neural networks to classify large, complex, non-linear datasets. The framework uses the DEM and GIS layers to identify inland excess water.

Keywords: inland excess water, laser scanning, spatial data, artificial neural network

Bevezetés

A belvíz szinte évenkénti rendszerességgel visszatérő problémát jelent az Alföldön, hiszen az elöntések jelentős gazdasági és környezeti károkat okoznak. A belvizek kialakulása sok hatótényezőre vezethető vissza. A szerepet játszó egyedi hatások (RAKONCZAI J. et al. 2001, 2003) közül e tanulmány keretében a domborzati tényezőket (pl. zárt depressziók, időszakos domborzati formák), a területhasználati okokat (beépítettség, vonalas infrastruktúrák hatása) és a műszaki (pl. csatornarendszerek), technológiai, vízkormányzási gondokat érintő vizsgálatokat megalapozó adatgyűjtést és modellezést ismertetjük.

A belvizek kialakulását, az elöntött területeken a víz mozgásának, változásának folyamatait befolyásoló tényezőket három mintaterületen vizsgáltuk. Az adatgyűjtés első fázisában a mintaterületekről lézeres magassági (ALS), valamint mérőkamerás és kisgépes, kis formátumú légifelvételzés készült. Az összesen 70 km²-es területre a belvítérképezés és -modellezés megalapozására az ALS-adatok és a sztereo kiértékelésből kapott térvektorok (tereptörésélek) alapján kombinált domborzatmodellt állítottunk elő. Kiegészítő térinformatikai alapadatként 3D-s síkrajz-kiértékelést végeztünk a felszínborítottság és a területhasználat meghatározásához.

A gyors és pontos területi meghatározást biztosító belvízborítási térképek készítésének egyik legfőbb akadálya a részletes domborzati térképek hiánya. A domborzati viszonyok nagy pontosságú ismerete ugyanis sokkal kevesebb terepi mérést tesz szükségessé. A DTM-ek fontos elemei lehetnek a hasznosítható belvíz-készletek visszatartására irányuló vizsgálatoknak is. BACH, E. et al. (2000) vizsgálataikban mindenekelőtt arra hívják fel

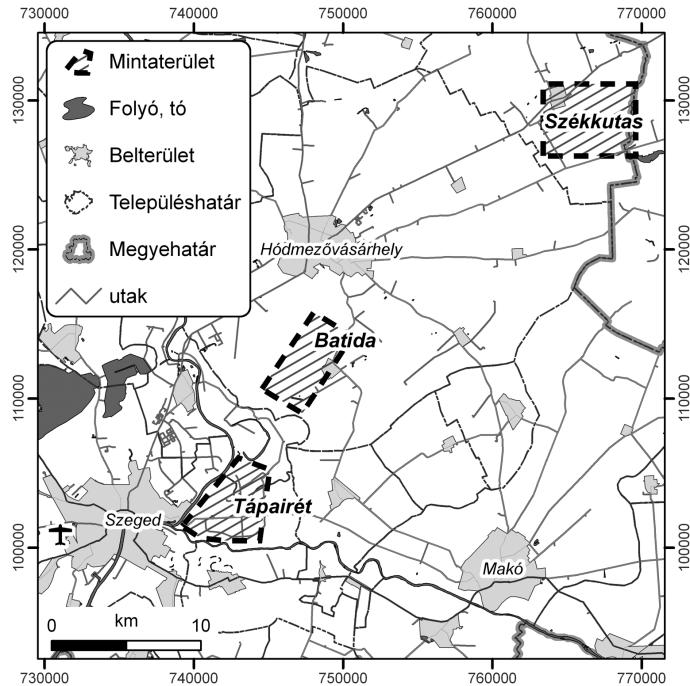
a figyelmet, hogy először meg kell keresni azt a kapcsolatot, amely a létrehozott DTM és az adott felbontásban a geomorfológiai formák között van, ugyanakkor PÁSZTOR, L. et al. (2006) rámutatnak, hogy Magyarországon a meglévő belvíz-veszélyeztetettségi térképek pontosításához a pontos domborzatmodellek még hiányoznak.

A belvíz kialakulásának egyik lényeges paramétere az orográfiai adottság. Kis magasságkülönbségek (néhány dm), sajátos orográfiai formák (pl. zárt depressziók) a belvizek potenciális összegyülekezési területei lehetnek. E területeken a belvíz kialakulása más, többnyire éghajlati tényezőktől függ (pl. nagymennyiségű csapadék), amelyek nem jelezhetők előre. Az orográfiai adottságok azonban igen, azaz a potenciálisan veszélyes helyek orográfiai szempontból előre kijelölhetők. A vizsgálatok ezek meghatározását célozzák, ami precíz (10–20 cm magassági pontosságú) digitális domborzatmodell-készítésen alapul. Az adatpiacon rendelkezésre álló 5 m-es felbontású, átlag 0,7 m-es magassági pontosságú DDM (KIRÁLY G. 2004; WINKLER P. et al. 2006) ehhez nem elegendő.

Az elmúlt években több kutatás is megpróbálta azonosítani a belvízelöntést előidéző jelenségeket és regressziós függvényekkel, illetve más lineáris statisztikai elemzésekkel összefüggéseket találni közöttük (BOZÁN, Cs. et al. 2005; PÁSZTOR, L. et al. 2006). Tanulmányunkban – a mesterséges neurális hálózatok (Artificial neural network: ANN) felhasználásával – ezektől eltérő megközelítést mutatunk be.

Térbeli adatgyűjtés a mintaterületeken

Három mintaterületet jelöltünk ki a légifelvételési kampányban: a Maros torkolatától É-ra eső Tápairét és Batida mezőgazdasági művelés alatt álló külterületeket, valamint a Székkutasztól DK-re eső, részben megművelt, részben védett természeti területet (1. ábra).



1. ábra Belvizes mintaterületek és környezetük a repülési sorokkal és a felvételek „lábnyomaival”
Figure 1 Study areas covered with excess water and their surroundings with flightlines and the footprints of the images

Belvív-veszélyeztetettség szempontjából mindhárom terület a közepesen és erősen veszélyeztetett kategóriába sorolható (PÁLFAI I. et al. 2004).

A Maros fiatal, igen agyagos üledékein öntés-, illetve réti talajok alakultak ki. Ezek a talajok szélsőséges mechanikai összetételük miatt összegyülekezési belvív kialakulására teremtenek lehetőséget. Ezt jelentősen elősegíti a minimális domborzat; a csaknem sík területen számos lapos, nagy kiterjedésű, lefolyástalan mélyedés található. Morfológiai változatosságot a különböző feltöltöttségi állapotban lévő medermaradványok jelentenek. A terület alatt az átlagos talajvízszint 2–4 m mélyen van. Ingadozását a két folyót kísérő 1–1,5 km széles sávban a folyók vízállása határozza meg; a távolabbi területeken felvételezésünk ideje alatt is 2–3 m mélyen helyezkedett el. Ezekon a területeken a talajvíz felszíni megjelenésére csak a régi Maros-medrekben számíthatunk.

A kutatás során felhasznált adatokat 2009–2010-ben gyűjtöttük és az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat – Table 1

A felhasznált adatok Data used in the analysis	
Adat típusa	Adatgyűjtés ideje, módszere
ALS és sztereo légifelvételzés	2009. november 19-én ALS repülési kampány keretében történt adatgyűjtés a kb. 70 km ² -es területről 1,4 pont/m ² átlagos terepi felbontással. Ebből 1 méter felbontású digitális domborzatmodell készült.
CIR (Color-InfraRed) felvételek	A belvízes időszak maximális elöntését követően, 2010. március 24-én végrehajtott repülés során történt adatgyűjtés kisgépes felvételező rendszerrel. A 0,63 m felbontású multispektrális képek egyenként 800 × 600 méteres területet fednek le, melyekből egy 60 km ² -es mozaik készült.
Terepi felmérés	2010. március 5-én terepi felmérésre került sor a minta-területen. Összesen 7,8 ha került felmérésre az elöntött területek terepi GIS eszközökkel történt körbejárásával.

Az ALS mérési pontosságának analizálására (2. táblázat) földi geodéziai módszerrel (mérőállomással) mért pontokat használtuk fel. Az eredményekből látható, hogy a pontosságvizsgálatba bevont több mint 15 ezer pont közül összesen 20-ban haladta meg az abszolút magassági eltérés a 15 cm-t, ami az előzetesen elvárt pontossági kritérium volt. A mérések négyzetes középhibája és szórása a két területre összesítve 4,6 cm-nek adódott.

2. táblázat – Table 2

A lézeres terepmagasság mérési pontosságának ellenőrzése
Accuracy analysis of the ALS measurements

Ellenőrzött terület	Lézer pontok száma	Max. ΔH [cm]	Min. ΔH [cm]	Számítási középérték ΔH [cm]	Négyzetes középérték ΔH [cm]	Szórás ΔH [cm]	Lézer pontok (%) $ \Delta H \leq 15$ cm
Székkutas	6820	22,0	-18,0	0,1	5,1	5,1	99,76
Batida-Tápairét	8479	15,0	-18,0	-0,3	4,1	4,1	99,96

Ahol: $\Delta H = H_{\text{lézer}} - H_{\text{kell_DTM}}$

$H_{\text{kell_DTM}}$ = földi geodéziai eljárással mért, majd interpolált magasságok

A sztereo-fotogrammetriai abszolút tájékozódáshoz előre megjelölt, illetve utólag mért földi illesztőpontok (GCP), valamint a nagyméretarányú topográfiai térképek megbízhatóan azonosítható magassági pontjai a lézeres magasságmérés pontosságának további ellenőrzésére adtak lehetőséget. A statisztikai adatok alapján megállapíthatjuk, hogy a vizsgált pontokban a lézeres magasságmérés teljesítette az előzetesen elvárt 15 cm-es mérési pontosságot.

A belvíz mint időszakos vízborítás – az időjárási körülményektől függően – nagyon gyorsan kialakulhat, ugyanakkor kiterjedése viszonylag gyorsan csökkenhet is. A belvíz térképezési módszertanának kidolgozásához, kialakulásának modellezéséhez elengedhetetlen az aktuálisan vízzel borított területek pontos ismerete (LICSKÓ B. – DITZENDY A. 2003). A kisgépes, kis formátumú felvételezéseinkkel tetszőleges időpontban és sűrűséggel készíthetünk képeket, amelyek a további vizsgálatok alapadatául szolgálnak.

Az időfelbontás mellett felvételeink térbeli és spektrális felbontása is jobban igazodik a kutatás igényeihez. A legkisebb térképezhető felszíni objektum mérete a szubméteres nagyságrendbe esik és a repülési magasság függvényében változtatható. Ez a vizsgált belvélöntések mérettartományával is jól harmonizál.

Felvételező rendszerünk (SZATMÁRI, J. et al. 2008; TOBAK Z. et al. 2008) az elektromágneses spektrum 3 tartományában felvételez: a látható zöld (G), a vörös (R) és a közeli infravörös (NIR) sávban. Ezek közül kiemelt jelentőségű a közeli infravörös sáv, amelyben a vízfelületek szinte teljesen elnyelik a beérkező sugárzást, így a képen sötét, fekete területekként jelennek meg, ami jó lehatárolást tesz lehetővé nemcsak vizuálisan, de képfeldolgozó módszerekkel is (KITKA G. et al. 2010). A vörös és a közeli infravörös tartomány együttesen jól alkalmazható a növényzet elkülönítésére is.

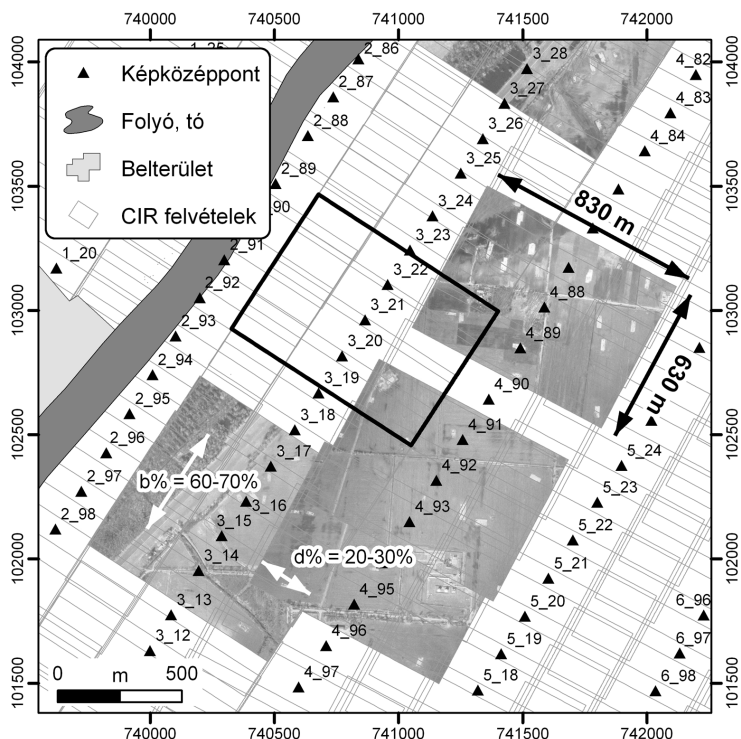
A repülési terv készítése során meg kell határozni, hogy a felvételezendő terület lefedése milyen módon történjen (VAN LEEUWEN, B. et al. 2009). Rögzíteni kell nemcsak a repülés tervezett nyomvonalát, hanem a szükséges képkészítési időintervallumot is. Ehhez a repülési sebesség és az egy kép által lefedett terület méretei mellett – ami fix objektív esetén csak a repülési magasság függvénye – meg kell határozni a szomszédos képek (b) és képsorok (d) távolságát is. A későbbi utófeldolgozás érdekében minimálisan 50%-os bázisirányú és 20–30%-os haránt irányú átfedést kell biztosítani. Ezek figyelembevételével a felszín felett 2000 m magasságról, 150 km/h-s sebesség mellett a képkészítés gyakorisága 1 kép/4 másodperc, a szomszédos sorok távolsága pedig – a repülési irányra merőlegesen állított kamera esetén – 600 m (2. ábra).

A három mintaterület közül Tápairét és Batida lerepülése történt meg a 2010-es év tavaszi belvélöntési időszakában, két alkalommal: március 24-én és június 9-én. A felvételezés mindkét időpontban azonos repülési terv alapján történt, 10 repülési sor mentén, soronként csaknem 100 CIR-felvétel készült el, a két nap során összesen 1804 (895 + 909).

Adatfeldolgozás

Domborzatmodellek előállítás

A lézerszkennelés nyers és osztályozott 3D-s pontadatbázisaiból előállítottuk a terepi objektumok burkoló felületeit tartalmazó felületmodelleket (első visszaverődés, DFM), valamint csak a terepfelszín magában foglaló terepmodelleket (utolsó visszaverődés, DTM). A lézerpontok automatikus osztályozása során megtörtént a terep- és egyéb pontok szoftveres szétválasztása, valamint az automatikus osztályozást interaktívan ellenőriztük. A szűrt és osztályozott pontfelhőből 1 m-es rácspon-t-sűrűségre EOVS gridet interpoláltunk.

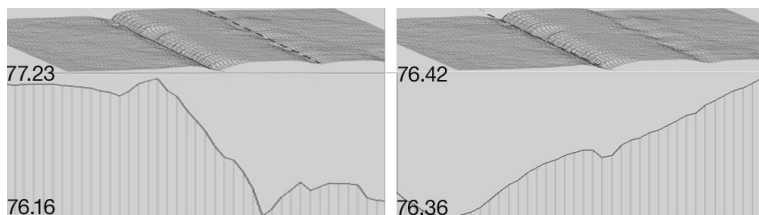


2. ábra A felvételezett terület egy részlete a tervezett és tényleges repülési útvonalakkal, néhány példa-képpel és jellemző paraméterrel

Figure 2 Detail of the surveyed area with the planned and the actual flight paths, some sample images and characteristic parameters

A sztereo-légifényképeken ugyanazon vizsgált pont átfedéssel két felvételen képződik le, így lehetővé válik a részletpont-meghatározás 3D-ben, a töréselek mérése, vagyis a domborzatmodell kiegészítése és finomítása céljából. A kiértékelt objektumok a következők voltak: épületek, burkolt utak, földutak, rézsú teteje, rézsú alja, víz széle, műtárgy körvonala, egyéb vonalak.

A mintaterületekre, valamint a Tápairért és Batida közötti részre az első és az utolsó visszaverődésből domborzatmodelleket állítottunk elő. Az eljárások alapja minden esetben TIN pontszelekcio volt, lineáris interpolációval. A továbbiakban a három mintaterület összesen 70 km²-es területére a lézér adatok és a sztereo kiértékelésből kapott térvektorok alapján kombinált terepmodellt állítottunk elő a belvíztérképezés és -modellezés megvalósítására. A 3. ábrán látható két belvízelvezető árok egy-egy párhuzamos szakaszán összehasonlítottuk a pusztán lézérpontokból generált terepmodellt, valamint a sztereo-mérésekből kapott élvonallal kiegészített, kombinált modellt. Az 1,4 pont/m²-es lézeres szkennelés utolsó visszaverődéséből a jobb oldali árokra a lefolyás-modellezés számára – a hossz-szelvény alapján nyilvánvalóan látható – értékelhetetlen eredményt kaptunk. Ennek oka egyrészt az lehet, hogy lézérpontok nem feltétlenül az árok aljának élvonalára estek, másrészt ahol sűrűbb volt a növényzet a csatornában, ott az utolsó visszaverődés sem biztosan érte el a terepszintet. A baloldali árok modellje a lézérpontok és a manuálisan behúzott élvonal alapján állt elő és a hossz-szelvényből, valamint a szintvonalrajzból is jól láthatóan ez a kombinált megoldás valóságosabb eredményt szolgáltatott.



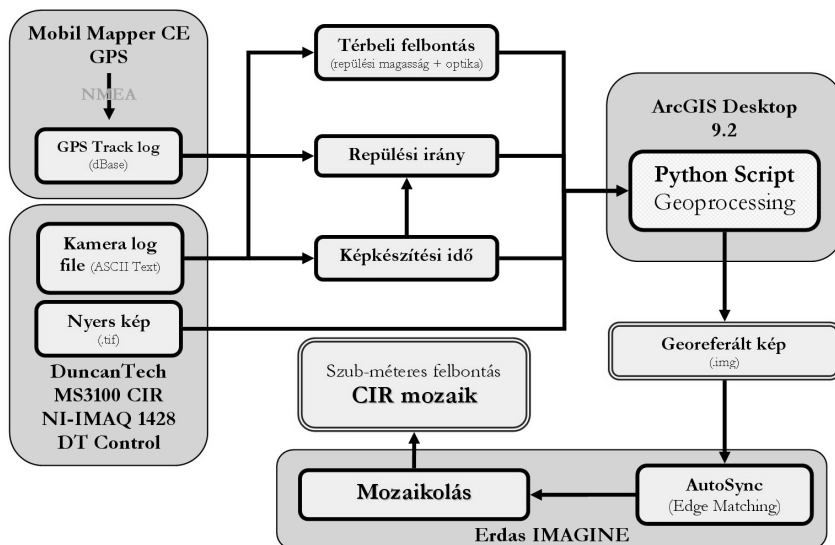
3. ábra Belvízcsatorna árka lézerpontokból generált DTM-en (balra), a térvektorokkal kiegészített kombinált DTM-en (jobbra), és hossz-szelvényeik

Figure 3 Models of a drainage ditch generated from ALS (left), generated from ALS and stereo 3D vectors (right) and profiles

A CIR légifelvételek feldolgozása

A feldolgozás első lépésében a GPS által másodpercenként rögzített NMEA állományból kinyertük a repülés tényleges útpontjainak X, Y és Z koordinátáit, illetve időadatát. A következő lépésben ezeket a koordinátákat – és a felszíni felbontás értékét – használtuk fel ún. world fájlok létrehozásához. A world fájlok egyszerű ASCII szöveges formátumok, amelyekkel JPEG vagy TIFF fájlokhoz rendelhetünk földrajzi koordinátákat. A GPS által rögzített koordinátákkal így gyorsan és automatikusan készíthetünk georeferált képeket felvételeinkből. A world fájlok segítségével durva geometriai korrekció valósult meg, aminek pontossága – a repülési körülményektől függően – max. 150–200 m.

A következő lépésben az önálló felvételek összeillesztésével és pontos geokorrekciójával a teljes felvételezett területet lefedő ortofotó-mozaik előállítására volt a célunk. ERDAS Imagine képfeldolgozó programban a blokk (képsorozat) képei között automatikusan kapcsolópontokat kerestünk, amelyek szűrése után a blokkot az alkalmazott EOVS vetületi rendszerhez illesztettük. Az egyedi felvételekből mozaikolással egyetlen, összefüggő képi állomány készült. A 4. ábra a képfeldolgozás munkafolyamatát foglalja össze, szemléltetve



4. ábra A felvételek feldolgozásának folyamatábrája a nyers légifelvételektől az fotómozaikig
Figure 4 Flow diagram of image processing from the raw images to the image mosaic

a felhasznált adatokat, műveleteket és az alkalmazott térinformatikai és képfeldolgozási technológiákat, szoftvereket.

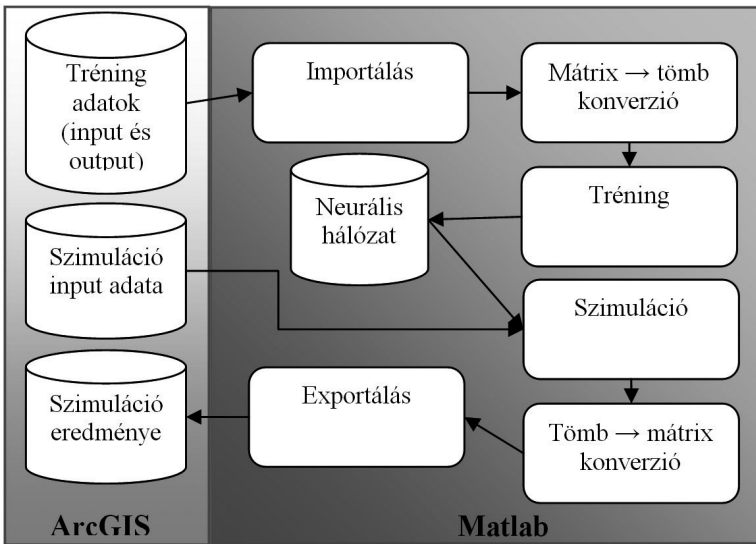
A geometriai korrekción átesett CIR felvételeket minél szélesebb körű vizsgálatokban igyekszünk felhasználni. Ezek közös jellemzője, hogy nagy tér- és időbeli felbontást, illetve a látható fénytartományon túl közeli infravörös spektrális információkat is igényelnek. A belvízzel borított területek pontos lehatárolásakor a fenti követelmények mindegyike nagy jelentőségű. A mesterséges neurális hálózatokon (ANN) alapuló osztályozási eljárásban a nagy felbontású digitális domborzatmodell mellett ezek a felvételek jelentették a legfontosabb bemeneti adatokat. A 3 felvételi sáv által szolgáltatott képeket külön-külön input rétegeként használtuk fel a betanítási és a szimulációs fázisban is.

Modellezés neurális hálózatokkal

Az ANN-ok részletesebb bemutatása túlmutat e tanulmány keretein, de megtalálható RETTER GY. (2006) könyvében és HEWITSON, B. C.–CRANE, R. G. (1994) cikkében. Az ANN-okat számos olyan tudományterületen alkalmazzák, ahol komplex adathalmazokat kell elemezni rejtett struktúráik és tulajdonságaik felderítése céljából. Az ANN-ok jelentős potenciállal rendelkeznek a földrajzban is gyakran előforduló térbeli problémák elemzésében. Az Alföldön előforduló belvízelöntések egyértelmű példái ezeknek.

A Matlab 7.10.0 integrált ANN eszköztárral rendelkezik, amely a legegyszerűbb megoldásoktól kezdve a kiterjesztett hálózat-implementációkig többféle lehetőséget kínál. A hálózat architektúrájának meghatározása az ANN-ok használatának egyik legfontosabb és legbonyolultabb művelete (BARSÍ Á. 1997; JAFAR, R. et al. 2010). Mivel előzetesen nem dönthető el pontosan, hogy az ANN-ok mely típusa és annak milyen beállításai szükségesek a belvízprobléma tanulmányozásához, ezért olyan keretrendszert hoztunk létre, amelyben lehetőségünk van kísérletezni különböző ANN-okkal GIS környezetben.

A keretrendszert úgy alakítottuk ki, hogy rugalmasan kezelje a bemeneti, köztes és kimeneti adatokat mind ArcGIS-ben, mind Matlab-ban (5. ábra). Így lehetővé vált, hogy



5. ábra A keretrendszer és a munkafolyamat
Figure 5 The framework and flow chart of research

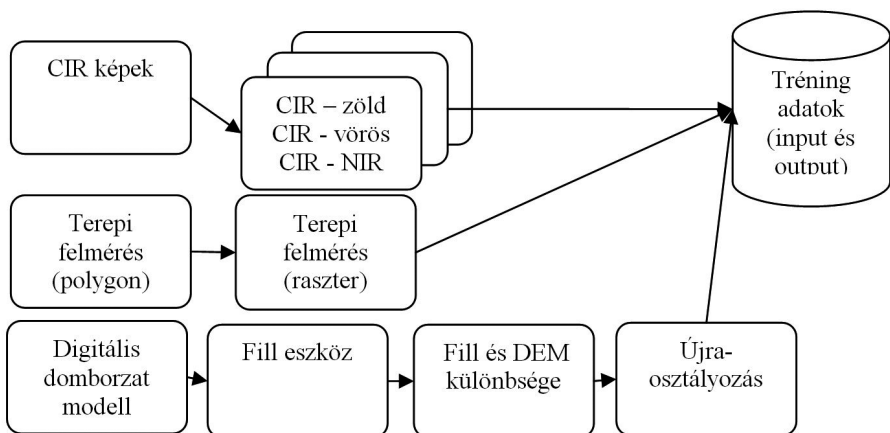
hatékonyan hozunk létre adatállományokat, teszteljük különböző típusú ANN-okat és beállítjuk, illetve értékeljük a szimuláció eredményeit.

Első lépésben különböző adatokat hoztunk létre ArcGIS-ben. Három ilyen, egyenként 100×100 pixel kiterjedésű mesterséges térképet készítettünk. Mindhárom egy-egy, a belvízképződéssel összefüggő bemeneti paramétert ábrázolt. A negyedik térkép ugyanezen terület belvíz-előfordulásait ábrázolja. Az ArcGIS-ben létrehozott fájlok TIFF formátumúak, így azok beolvashatók a Matlab-ba, térképenként egy-egy 100×100 cellából álló mátrix formájában.

Az ANN vizsgálatokat a Matlab *Neural Network* eszköztárával végeztük el. Ez az alap Matlab funkcionalitás kiterjesztéseként érhető el, és különböző ANN-okat, illetve olyan eszközöket tartalmaz, amelyek a hálózatok betanítási stratégiáinak és eredményeinek értékelését teszik lehetővé (DEMUTH, H. et al. 2010). Az eszköztár mátrix formában kéri be az adatokat, amelyben minden sor egy-egy inputadat-rétegnek felel meg. Egy általunk írt segédprogram a különálló mátrixokat tömbbé konvertálja, majd az 1×1000 -es tömböket egyetlen 3×1000 cellás mátrixba egyesíti, amelyet már képes beolvasni a neurális hálózat eszköztár. Az eredménymátrixot végül hasonló módon kell konvertálni 1×1000 -es tömbbe.

Az adatokkal egy standard ANN-ot futtattunk. Ez széles körben használt, kétrétegű *feed forward* hálózat (DEMUTH, H. et al. 2010), amely maximum 20 neuront tartalmazott a rejtett rétegekben. Az optimálisnak ítélt hálózatot elmentettük a későbbi szimulációhoz. A szimulációs adatokat a GIS rendszerből importáltuk be, majd mátrix formába konvertáltuk és beadtuk a neurális hálózatnak. A szimuláció eredményét ismét visszaalakítottuk egy mátrixba. A különféle átalakítási lépések során az adatok többféle típuskonverzió estek át, hogy megfelelő adatformátumúak legyenek. Végül 8 bites TIFF fájlokat generáltunk, amelyek már ArcGIS-ben is megjeleníthetők.

A fent részletezett lépéseket – néhány további, térinformatikai rendszerben végrehajtott előfeldolgozási lépéssel kiegészítve – alkalmaztuk a valós szimulációs adatokra is (6. ábra). A tréningadatok 4 input- és egy output-réteget tartalmaztak. A CIR felvételeket zöld, vörös és közeli infravörös csatornákra bontottuk szét. Az ALS adatokból készített digitális domborzatmodellből az ArcGIS Fill eszközével nyertük ki az elöntési területeket (TARBOTON, D. G. et al. 1991). Az eredeti magassági értékeket kivonva a feltöltési térkép



6. ábra A tréning-adatok előfeldolgozásának lépései
Figure 6 The pre-processing of the training data

értékeiből megkaptuk a lokális depressziókat. Az eredmény-adatréteget a betanítás 4. input-rétegeként használtuk fel. A tréning output-adataul a terepi felmérés belvízfoltjai szolgáltak, amely réteg csak két osztályt – nyílt víz és száraz talaj – tartalmazott. A szimuláció során ugyanilyen típusú CIR felvételeket és magassági adatokat alkalmaztunk. Az előzőekkel megegyező módon hoztuk létre őket, de a tréningterülettől valamivel északabbra.

Eredmények

Domborzatmodellek összehasonlítása

Összehasonlítottuk a FÖMI által készített – Magyarország területére rendelkezésre álló legrészletesebb és legpontosabb – DDM-5 domborzatmodellt (KIRÁLY G. 2004; WINKLER P. et al. 2006) a lézeres mérésekből generált DTM-mel. Ezekon a területeken a DDM-5 alapja azokból az 1 : 10000-es méretarányú topográfiai térképek domborzatszelvényeiből készült, amelyeket eredetileg úgynevezett „kombinált” eljárással (terepasztal-felméréssel, ± 40 cm-es megbízhatósággal) állítottak elő a topográfusok. A 3. táblázat tartalmazza a két domborzat azonos pontjain számított eltéréseknek (relatív hibáknak) a statisztikai számértékeit az egyes munkaterületekre lebontva. Az eltéréseket minden esetben a DDM-5-höz viszonyítva határoztuk meg (a lézeres magasságból vontuk ki a DDM-5 magasságot).

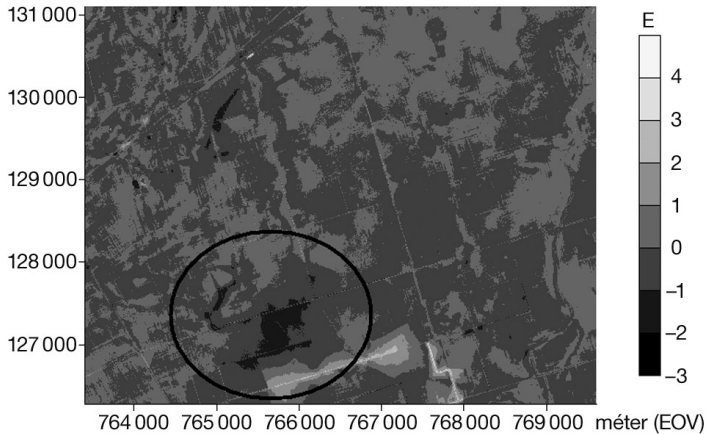
3. táblázat – Table 3

A lézeres domborzatmodell és a DDM-5 eltérései
Differences between the ALS and DDM-5 elevation model

	Székkutas	Batida	Tápairét
Vizsgálati pontok száma (db)	1 197 760	767 255	829 316
A legnagyobb pozitív irányú eltérés (m)	+4,4	+3,9	+9,0
A legnagyobb negatív irányú eltérés (m)	-2,8	-6,2	-7,3
Magassági eltérések átlaga (m)	-0,05	+0,05	-0,29
Magassági eltérések szórása (m)	0,37	0,49	0,65

A fentiek alapján mind a három mintaterülethez készítettünk különbségtérképet. A különbségek között találtunk természetes és antropogén formákat is. A negatív eltérések közé az egykori folyómedrek, csatornák és kis lokális mélyedések tartoznak. A pozitív formák rendszerint földutak töltései, régi folyómedrek melletti akkumulációk, illetve kis lokális kiemelkedések. Székkutas mintaterület DNy-i részén jól látható egy nagyobb kiterjedésű negatív differencia, több mint 1 m-es eltéréssel (7. ábra).

A folt kiterjedése hosszában (DNy-ÉK-i irányban) eléri az 1000 m-t is. Megvizsgáltuk a kérdéses területet ortofotón, majd terepen is, de nem találtunk olyan felszíni formát, amely megmagyarázná a két modell különbségét. Ha abból indulunk ki, hogy a lézeres adatokból készített modell pontosan ábrázolja a felszínt, akkor annak az okát kell megtalálni, hogy a DDM-5 ettől miért tér el, vagyis miért nem adja vissza helyesen a felszín magasságát. Mivel a DDM-5 alapját – többek között – az 1 : 10000-es méretarányú topográfiai térképek szintvonalai képezik, megvizsgáltuk a területet topográfiai térképen is, de a szintvonalak elhelyezkedésével sem magyarázható ez az eltérés. A DDM-5 modellen és a 7. ábrán jól látható, hogy itt egy magasabb területnek kellene elhelyezkednie, így az eddigiek alapján valószínűsíthető, hogy az eltérést interpolációs hiba okozza.



7. ábra A két modell különbsége Székkutasnál, a bekarikázott részen nagy kiterjedésű negatív eltéréssel (E, méter)
 Figure 7 The difference of the two models at Székkutas, the circle shows the negative difference (E, meters)

Neurális modellezés

A rejtett rétegekben található neuronok számától függően több beállítást is kipróbáltunk. A neuronok számának növelése csökkentette ugyan a maradék (RMS) hibát, de ezzel párhuzamosan növekedett a betanítás erőforrásigénye. Optimális beállításnak 10 neuront választottunk, amivel a tréning 0,74-es RMS hibát produkált. A betanítás eredménye a 8. ábrán balra látható.

A 8. ábrán jobbra már a betanított hálózattal végzett szimuláció eredménye látható. A világos területek belvízként kerültek osztályozásra. A mintaterület É-i, ÉNy-i részén az eredmény jónak mondható. A töltés és az utak mentén sikerült azonosítani a nyílt vízfelületeket. A kép D-i részén azonban nem megfelelő az osztályozás. Néhány pixelt helyesen belvízként jelöl, nagy részüket viszont száraz talajként. A hibát valószínűleg a tréning-adatok összetétele okozza, abban ugyanis csak vízzel borított kategória szerepelt, átmedvesedett talaj és vízben álló növényzet nem.



8. ábra A betanítás (bal) és a szimuláció (jobb) eredménye
 Figure 8 The results of the training (left) and the simulation (right)

Következtetések

A lézeres magasságmérés – 1,4 pont/m²-es pontsűrűséggel – a belvízvizsgálat céljára megfelelően pontos és részletes alapot szolgáltat a domborzatmodellezéshez. A lineáris terepi objektumok közül főként a belvízelvezető csatornák pontos modellezésére lehet szükség, amennyiben komplex lefolyási modellvizsgálatok is készülnek. Az ilyen típusú objektumok modellezése pusztán a lézeres adatokból nem minden esetben oldható meg, mivel ez a magasságmérési technológia pontszerű (raszter) mérést jelent, vagyis nem eshet minden pont egy vonalszerű domborzati elem élére (tereptörésélre). A pontsűrűség további növelésével viszont óriási adatállományok keletkeznének, ami gazdaságossági kérdéseket is felvet. Ezért volt szükséges a sztereo légifényképekből történő kiértékeléssel kapott térvektorokkal a lézerpontokból előállított DTM-t finomítani és egy kombinált terepmodellt előállítani. A három terület összehasonlítása alapján megállapíthatjuk, hogy az 1 : 10000-es topográfiai térképi szintvonal-állományból generált DDM-5 modell nem tartalmazza azokat a természetes geomorfológiai formákat, egykori folyómedreket és kisebb lokális terepmélyedéseket, amelyek szerepe a DTM-ben az összegyűlekezési belvíz kialakulásának vizsgálata szempontjából rendkívül fontos. Ugyanakkor a megvizsgált 70 km²-nyi terület alapján elmondható, hogy a DDM-5 átlagos pontossága jobb, mint 70 cm, viszont előfordulnak rajta 1 m-nél nagyobb hibát tartalmazó részek is (mint a fentebb említett interpolációs hiba).

Az ANN keretrendszer a kisméretű, mesterséges tesztadatokkal az elvárások szerint működött. A nagyobb, valós adathalmazt felhasználva is kirajzolódtak a belvív-elöntések bizonyos elrendeződései, azonban további fejlesztések szükségesek. A térbeli adatok természete miatt igen nagyméretű mátrixokat kellett létrehozni a hálózatok input-adataiként. Ez teljesítménybeli problémákat okozott. A szimuláció eredményei éles határt mutatnak a belvízzel elöntött és a száraz talajok között. A valóságban ez egy fuzzy-határ. Köztes kategóriák is léteznek, mint az átmedvesedett talaj vagy a vízben álló vegetáció. Ezeket az osztályokat eddig nem vettük figyelembe a betanítás során. További terepi felvételezések szükségesek ezek bevonásához és ahhoz, hogy a szimuláció eredményei között is megjelenhessenek. A GIS és a neurális hálózatok integrációja is további fejlesztést igényel. A keretrendszer jelenleg számos lazán összekapcsolt programkódot és Matlab funkciót tartalmaz. Egy hatékonyabb rendszer kiépítéséhez szükséges lenne ezeket is integrálni.

Eredményeink alapján kijelenthetjük, hogy a belvizek bizonyos típusainak megjelenése előre jelezhető, így elméleti és gyakorlati eszközök segítségével közvetlenül meghatározhatók azok a területek vagy pontok, ahol a károk csökkentése vagy megelőzése céljából beavatkozás szükséges. Ily módon számos esetben mérsékelhető az elöntések kockázata, és elmozdulhatunk a reakciós, védekezésen alapuló vízkezelési stratégia felől egy sokkal inkább megelőző stratégia irányába, amely a károk csökkentését vagy akár megelőzését is szolgálja. Konceptiónk szerint mérési eredményeinkkel (kiegészítve az elérhető vagy jelenleg is mért – például talajtani, területhasznosítási, csatorna-kapacitási – adatokkal) a tervbe vett belvív-kialakulási és belvívkezelési modellek megszerkeszthetők. Megítélésünk szerint eredményeink birtokában jelentősen növelhető a belvízzel kapcsolatos kár-elhárítás és -megelőzés műszaki-technológiai hatékonysága.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a BELVÍZ-INFO rendszer kifejlesztése (GOP-1.1.1-08/1-2008–0025) c. projekt támogatásával készült. A rendszer kiépítését az OTKA T048903 sz. program támogatta.

A FÖMI tulajdonát képező DDM-5 adatokat WINKLER PÉTER engedélyével kaptuk meg az összehasonlítóhoz.

SZATMÁRI JÓZSEF

SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged

szatmari@geo.u-szeged.hu

TOBAK ZALÁN

SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged

tobak@geo.u-szeged.hu

VAN LEEUWEN, BOUDEWIJN

SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged

leeuwen@geo.u-szeged.hu

DOLLESCHALL JÁNOS

SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged

dolleschall@gmail.com

IRODALOM

- BACH, E. – PETER, C. – STUART, N. 2000: Modelling river floodplain inundation with high resolution digital elevation models. – 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/EM4): Problems, Prospects and Research Needs. Banff, Alberta, Canada, Conference Papers.
- BARSI Á. 1997: Landsat-felvétel tematikus osztályozása neurális hálózattal. – Geodézia és Kartográfia, XLIX. 4. pp. 21–28.
- BOZÁN, CS. – PÁLFAI, I. – PÁSZTOR, L. – KOZÁK, P. – KÖRÖSPARTI, J. 2005: Mapping of Excess Water Hazard in Békés and Csongrád Counties of Hungary. – ICID 21st European Regional Conference. Frankfurt (Oder) and Slubice.
- DEMUTH, H. – BEALE, M. – HAGAN, M. 2010: Neural Network Toolbox 6, – User's Guide, The Mathworks. 901 p.
- HEWITSON, B. C. – CRANE, R. G. 1994: Neural Nets: Applications in Geography. – Kluwer Academic Publishers. 195 p.
- JAFAR, R. – SHAHROUR, I. – JURAN, I. 2010: Application of Artificial Neural Networks (ANN) to model the failure of urban water mains. – Mathematical and Computer Modelling. Vol. 51. pp. 1170–1180.
- KIRÁLY G. 2004: Domborzatmodellek előállításához felhasználható forrásadatok összehasonlító vizsgálata. – HUNDEM 2004, Miskolc. CD kiadvány.
- KITKA G. – SZATMÁRI J. – MUCSI L. – TOBAK Z. – VAN LEEUWEN, B. 2010: Digitális légifelvételek alkalmazása a környezetvédelmi ellenőrzési folyamatokban. – Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás „Az elmélet és gyakorlat találkozása”. Debrecen. pp. 430–431.
- LICSKÓ B. – DITZENDY A. 2003: Az 1999–2000. évi belvizek légi felmérésének tapasztalatai. – Vízügyi Közlemények, Különszám, IV. kötet: Elemző és módszertani tanulmányok az 1998–2001. évi ár- és belvizekről. VITUKI. pp. 305–315.
- PÁLFAI I. – BOZÁN CS. – HERCEG Á. – KOZÁK P. – KÖRÖSPARTI J. – KUTI L. – PÁSZTOR L. 2004: Komplex Belvíz-veszélyeztetettségi Mutató (KBM) és Csongrád megye ez alapján szerkesztett belvíz-veszélyeztetettségi térképe. – II. Magyar Földrajzi Konferencia, Szegedi Tudományegyetem, Európa Tanulmányok Központ, 2004. szeptember 2–4. CD-ROM (ISBN 963-482-687-3). 6 p.
- PÁSZTOR, L. – PÁLFAI, I. – BOZÁN, CS. – KÖRÖSPARTI, J. – SZABÓ, J. – BAKACSI, ZS. – KUTI, L. 2006: Spatial stochastic modelling of inland inundation hazard. – 9th AGILE Conference on Geographic Information Science, Visegrád, Hungary. pp. 139–143.
- RAKONCZAI J. – MUCSI L. – SZATMÁRI J. – KOVÁCS F. – CSATÓ SZ. 2001: A belvizes területek elhatárolásának módszertani lehetőségei. A földrajz eredményei az új évezred küszöbén. – A Magyar Földrajzi Konferencia anyaga CD-n. Szeged. 14 p.
- RAKONCZAI J. – CSATÓ SZ. – MUCSI L. – KOVÁCS F. – SZATMÁRI J. 2003: Az 1999. és 2000. évi alföldi belvizek-öntések kiértékelésének gyakorlati tapasztalatai. – Vízügyi Közlemények, Különszám, IV. kötet: Elemző és módszertani tanulmányok az 1998–2001. évi ár- és belvizekről, VITUKI. pp. 317–336.

- RETTER GY. 2006: Fuzzy, Neurális, Genetikus, Kaotikus Rendszerek. – Akadémiai Kiadó, Budapest. 431 p.
- SZATMÁRI, J. – TOBAK, Z. – VAN LEEUWEN, B. – OLASZ, A. – DOLLESCHALL, J. 2008: An effective and low-cost method to detect environmental contaminations: the promise of CIR small format aerial photography (SFAP). – XII. Geomatematikai Szimpozium, Mórahalom.
- TARBOTON, D. G. – BRAS, R. L. RODRIGUEZ – ITURBE, I. 1991: On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data. – Hydrological Processes, 5. pp. 81–100.
- TOBAK Z. – KITKA G. – SZATMÁRI J. – VAN LEEUWEN, B. – MUCSI L. 2008: Kisgépes, kisformátumú CIR légifelvételek készítése, feldolgozása és alkalmazása környezeti vizsgálatokban. – IV. Magyar Földrajzi Konferencia tudományos közleményei. Debrecen.
- VAN LEEUWEN, B. – SZATMÁRI, J. – TOBAK, Z. – NÉMET, Cs. – HAUBERGER, G. 2009: Opportunities for the generation of high resolution digital elevation models based on small format aerial photography. – HUNDEM 2009, Miskolc. CD kiadvány.
- WINKLER P. – IVÁN GY. – KAY, S. – SPRUYT, P. – ZIELINSKI, R. 2006: Űrfelvételekből származtatott digitális felületmodell minőségének ellenőrzése a magyarországi nagyfelbontású digitális domborzatmodell alapján. – Geodézia és Kartográfia, 2. pp. 22–31.