TELBISZ TAMÁS

A vízcsepp útja

avagy bonyodalmak egy egyszerű fogalom körül

A vízválasztó, vízgyűjtő terület fogalompárral bizonyára mindenki találkozott az iskolában, ahol nem is tartozik a különösebben rettegett szakkifejezések közé. Némi térképolvasási ismerettel felvértezve, kellő részletességű szintvonalas térkép birtokában a vízválasztót általában könnyűszerrel meg is lehet rajzolni. Sőt, a vízválasztó szó maga annyira népszerűvé vált, hogy valósággal hemzseg a köznyelvben. Ezt a manapság divatos módszerrel legegyszerűbben úgy ellenőrizhetjük, ha egy internetes keresőbe beírjuk a „vízválasztó" szót, és figyeljük az eredményeket: vízválasztó lehet a politikában egy választás, a sportban egy sorsdöntő meccs, az üzleti életben egy új befektetés, és így tovább. Az alábbi cikkben azonban mégis a földrajzi értelemben vett vízválasztóról esik szó, melyet a természetben mégsem mindig olyan könnyű meghatározni, illetve beszámolunk a vízgyűjtő-lehatárolás automatizálásának buktatóiról is.

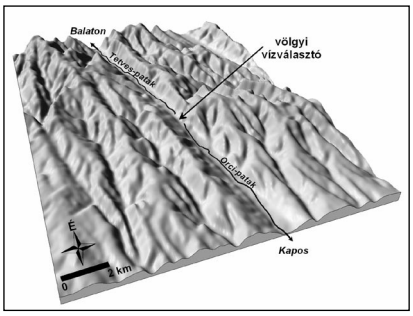
Mi szükség van vízgyűjtőre?

Nyugodt szívvel kijelenthetjük, hogy a vízgyűjtő-meghatározás a hidrológiai elemzések alfája. Ha arra vagyunk kíváncsiak, hogy mennyi vízből gazdálkodhatunk, hogy a szennyezések melyik folyóban kötnek ki, hogy például a Tisza árvizei miért nőttek drasztikusan a XXI. század elején, hogy a természetes vízhálózat miként fejlődik, akkor nulladik lépésként mindig a vízgyűjtő lehatárolásával szükséges kezdeni. Pusztán a rend kedvéért hangozzék el a definíció is: vízgyűjtő terület – az a terület, ahonnan a vízfolyás összegyűjti és levezeti az összes lefolyó vizet; vízválasztó – a vízgyűjtő területek határa, mely általában a terep legmagasabb pontjain fut.

Szabályos és „szabálytalan" vízválasztók

A kiemelt magashegységek rendszerint hosszú vízválasztó vonalat képeznek, sőt ez a tulajdonságuk a felfedezések korában akár névadó is lehetett (l. Nagy-Vízválasztó-hegység Ausztráliában). Még a legnagyobbakkal is megesik azonban, hogy szégyenben maradnak: a Himalája óriáslánca csupán széteső, lokális vízválasztó maradt, mert a tőle északra, Tibetből induló hatalmas folyók kisebb-nagyobb kerülőkkel átvágnak rajta, mint például a Brahmaputra, vagy a Csomolungma és a Kancsendzönga égbenyúló tömbjét kettéválasztó Arun folyó. Ebből a szempontból a Kárpátok hegykoszorúja sem „tökéletes", itt is akad néhány olyan vízfolyás, mely a Kárpátok belsejéből indul, ám a medencéből a Dunát elkerülve távozik. Ezeket a vízfolyásokat még Cholnoky Jenő nevezte el „hűtlen folyóknak" (Poprád, Olt).

Enyhe „szabálytalanságnak" tekinthetjük, hogy a vízválasztó nem mindig követi a gerincek vonalát, hanem olykor egy-egy hosszan elnyúló völgyet keresztez. Ezek a völgyi vízválasztónak nevezett pontok a terepen alig emelkednek ki, a vízfolyások mégis két irányba folynak le róluk (**1. ábra**). Isaszegnél például a Duna-Tisza vízválasztó is szinte belesimul a völgybe, melyben a Felső-Tápió a Tisza, a Rákospatak viszont a Duna felé vezeti le a vizeket. Efféle völgyi vízválasztókkal elsősorban dombsági területeken találkozhatunk, de hellyel-közzel előfordulnak hegységi környezetben is.

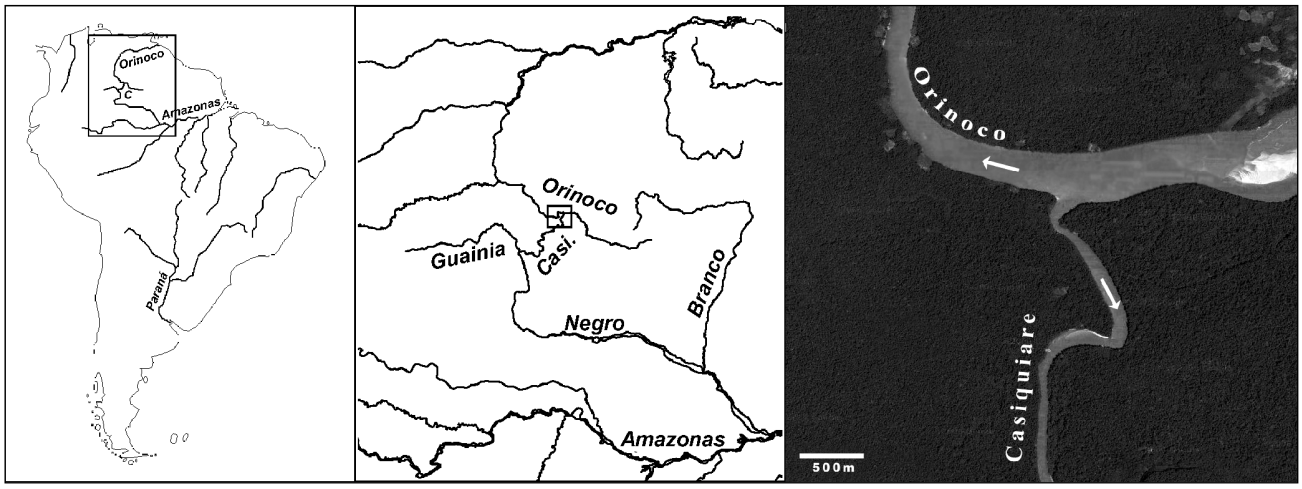


1. ábra. Völgyi vízválasztó a Somogyi-dombságban

Komolyabb „kihágást" jelent, hogy a víz a felszín alatt néha teljesen eltérő utakat követ. Ez elsősorban mészkőterületeknél lehet jelentős, ahol a kőzet repedésrendszerében mozgó víz a felszín alatti járatokban áramolva máshol bukkan fel, mintha a domborzatot követve „normálisan" folyna le. Híres példa erre a Duna és a Fekete-erdő esete. A karsztosodó kőzeten keresztülfolyó pataknyi Duna vízhozamának egy része (kisvízkor teljes egésze) beszivárog a meder nyelőin és elszökik dél felé, ahol az Aach folyón közvetítésével egész egyszerűen a Boden-tóba jut, melynek vizét a Rajna vezeti le az Északi-tengerig. Egy írásban a káosz szemléltetésére annak a vízcseppnek a sorsát hozták föl, amely egy fekete-erdei vízválasztón épült kocsma ereszéről hullik alá a földre, és lám milyen kevésen múlik, hogy a csepp végül a Fekete-, avagy az Északi-tengerbe kerüljön. Ezt a fentiek értelmében kiegészíthetjük azzal, hogy a rendszerben, úgy látszik, van még egy „visszacsatolás" is az Északi-tenger felé.

A felszín alatti vízválasztó meghatározása már korántsem egyszerű feladat és ez akár nemzetközi bonyodalmakhoz is vezethet. Kessler Hubert barlangokról szóló könyvét olvasva átélhetjük a Garonne folyó igazi forrásának felfedezésével kapcsolatos vitákat. A Pireneusok északi oldalán egy rendkívül bővizű forrásban, szinte már „kész folyóként" napvilágot látó Garonne vizeinek eredetét a XX. század elejéig homály fedte. Talán még sokáig fennmaradt volna a rejtély, ha a hegység déli, aragón oldalán egy mély víznyelőben eltűnő gleccserpatak vizét nem akarja munkára fogni egy spanyol villamossági társaság. A Garonne vizét féltő francia barlangászok megkongatták a vészharangot, így jutott pénz a vízfestési munkálatokra, amelyekkel egyértelműen sikerült igazolni, hogy a Pireneusok déli oldalán a nyelőbe zúduló víz a hegység északi lejtőjén fakadó Garonne-forrásban kerül újra a felszínre. Így derült ki, hogy a Pireneusok hóborította hegyormait is semmibe veszi a felszín alatti vízválasztó.

A vízgyűjtők meghatározásánál felmerülő következő problémát akár „rendszerellenesnek" is nevezhetjük, mert a vízválasztó meghúzását egyenesen lehetetlenné teszi. E rendkívül ritkán előforduló jelenség abban áll, hogy egy vízfolyás vize két eltérő irányba folyik le. Az ilyen eseteket bifurkációnak nevezik, hasonlóan például a tüdőben megfigyelhető kettéágazások-



2. ábra: Keveseknek adatik meg, hogy a Casiquiaren élőben végig csónakázzanak, de a *GoogleEarth* műholdfelvételeinek segítségével mindenki képet alkothat magának a vízfolyás jellegéről és méreteiről.

hoz (ami viszont meglehetősen gyakori jelenség). Sajnos, kissé megtévesztő, hogy a nemzetközi szakirodalom bifurkációról beszél akkor is, amikor a vízfolyás kettéválása csupán „rövid" távra szól, vagyis amikor az egyes vízfolyásságak újra találkoznak egymással (fonatos vízhálózattípus), illetve hamarosan elérik a tengert (deltatorkolatok).

Az „igazi" bifurkáció azonban annyira ritka, hogy igazából egyetlen jelentős példát ismerünk rá a jelen geológiai pillanatból. Venezuela déli részén, az őserdő közepén, az Orinoco egyszer csak kétfelé válik, és délre kanyarodó keskenyebb, de még így is Tisza méretű ága önálló vízfolyásként folytatja több mint 200 kilométeres kanyargó útját az Amazonas vízrendszeréhez tartozó Guainia folyó felé **(2. ábra)**. A bifurkációs ponthoz tartozó vízgyűjtő-terület tehát egyszerre az Orinocoé és az Amazonasé. Habár a vízhozamok alapján elvileg megoszthatnánk (kb. 2/3-1/3 arányban), a terület tényleges felosztása még lehetetlenebb feladat volna, mint a nemzetiségileg kevert balkán térségeké, hiszen az Orinocoban áramló víz a bifurkáció előtt teljesen összekeveredik. Erről a bennszülöttek által mindig is járt, természet alkotta Casiquiare-víziútról jezsuita misszionáriusok adtak először hírt, ám első tudományos felmérése, végighajózása Humboldt 1799-es expedíciójához fűződik. Újabb fejlemény, hogy a Casiquiaret másfél évtizede bioszféra rezervátummá nyilvánították a környező esőerdőkkel egyetemben.

Kisebb patakok bifurkációja természetesen máshol is előfordulhat: az etnikai villongásoktól terhes Koszovó délkeleti részén (Ferizaji települése mellett) például egy Csele-patak méretű apró csermelyről vallják büszkén, hogy a vize északi irányba az Ibar-Morava-Duna útvonalon a Feketetengerig csörgedezik, míg dél felé a Vardar folyó közvetítésével az Égei-tengerbe jut.

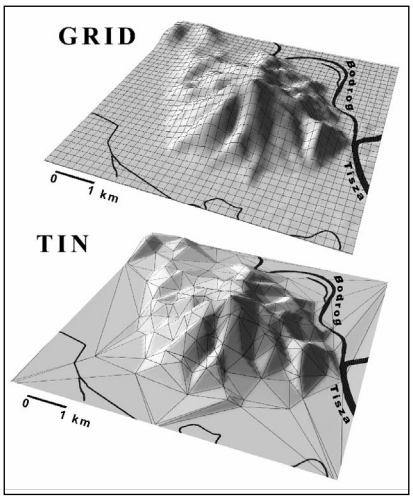
Mindent egybevéve talán azért is akad oly kevés példa a bifurkációra, mert geológiai időben mérve kérészéletű jelenségről van szó. Hiszen a kettéváló folyók ágai szinte soha nem egyenrangúak, és így a gyorsabban mélyülő (vagy lassabban feltöltődő) ág idővel maga vezeti el a teljes vízhozamot. Éppen ezért a bifurkációt tulajdonképpen egy hosszabb folyamat átmeneti állapotának tekinthetjük, melynek során egy intenzíven mélyülő és hátravágódó vízfolyás megcsapolja, majd végleg elorozza egy másik folyó vizét. Ezt a folyamatot nevezik kapturának, magyarul folyólefejezésnek. Nyomait a folyó hirtelen irányváltásai jelzik a térképen (jóllehet nem minden irányváltás kötődik kapturához). A térképi „gyanút" azután terepi vizsgálatokkal lehet számos esetben viszonylag egyszerűen igazolni. Efféle folyó-lefejezésekre temérdek példát ismerünk. Magyarországon a legkarakteresebb talán a Zala türjei kapturája, ahol a folyó „éles szögben" dél felé, a Kis-Balaton felé kanyarodik, noha az utolsó jégkorszakig észak-kelet felé, a mai Marcal völgyében volt lefolyása.

A vízválasztó kijelölése egyébiránt meglehetősen problémás lehet a tökéletesen sík térszíneken is. Néha a folyó maga sem tudja, hogy merre folyjon le. A Sárga-folyó például a Kínai-alföldre kiérve az írott történelem során 18-szor változtatta meg igen drasztikusan a folyásirányát, legutoljára 1855-ben, amikor „alig" 600 km hosszú alsó folyását „áttette" az 1500 métert is meghaladó Shandongi-hegyvidékől északra, így a Sárga-tenger helyett jelenleg is a Bohai-öbölbe torkollik. (És akkor az ember szerepéről még nem is szóltunk: Csang-Kaj-Sek csapatai a II. világháború „előestéjén", a japán megszállók elleni védekezésül átvágták a gátakat, hogy a Sárga-folyó ismét a hasonnevű tengerbe ömöljön. Igaz, hogy közben végeláthatatlan területeket árasztott el a folyó, százezrek pusztulását okozva.)

Lakatlan területeken persze kisebb a tét, de ott is gondot okozhat, ha két ország mindenáron a vízválasztó mentén szeretné meghúzni a határt. Miként történt ez Argentína és Chile esetében, ahol elvben az Andok vízválasztó gerincéhez rögzítették az országhatárt, csakhogy a Dél-Patagóniai-jégmező hatalmas platógleccseréből a sziklás csúcsok csak néhol kandikálnak ki, így a vízválasztó megrajzolása itt is nehéz helyzetbe hozta a szomszédos országok diplomatáit és térképészeit.

Színre lép a számítógép

A hagyományos térkép szerepét napjainkra egyre inkább a térinformatika veszi át, amely térbeli adatok tárolását, megjelenítését és elemzését teszi lehetővé. Így természetesen igény van arra, hogy ezekben a térinformatikai rendszerekben megjelenjen a vízhálózat is. A vízfolyások helyének, koordinátáinak meghatározásához több módon is nyerhetünk adatokat. Egyrészt végezhetünk terepi felmérést, például GPS-szel végighajózunk egy folyón vagy geodéziai módszerekkel fölmérünk egy vízfolyást. Ennél lényegesen olcsóbb és gyorsabb módszer, ha egy már birtokunkban lévő térképet (esetleg légifotót) digitalizálunk, vagyis ha a szkennelt térképen (légi felvételen) szereplő vízfolyást a megfelelő szoftver segítségével vonalas (vektoros) formában rögzítjük az adatbázisban. Ezzel a módszerrel azonban csak a térképen jelölt (illetve a légifotón felismerhető) vízfolyásokat tudjuk bejelölni, de az apróbb, esetleg időszakos vízmosásokról, a vízgyűjtő területről és a vízválasztó lefutásáról nem lesz pontos képünk. Ezek meghatározásához ugyanis a domborzat ismeretére van szükség. A

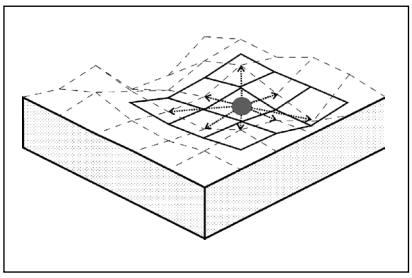


3. ábra. A tokaji Nagy-Kopasz-hegy 3D képe GRID, illetve TIN típusú digitális domborzatmodell felhasználásával

földfelszín domborzatát a térinformatikai rendszerekben az ún. *digitális domborzatmodellek* (DDM) tárolják. A továbbiakban voltaképpen arról lesz szó, hogy a DDM-ek alapján miként lehet a vízhálózatot levezetni.

A digitális domborzatmodelleket túlnyomórészt két nagy csoportba sorolhatjuk **(3. ábra)**. Az első típus esetén adott egy szabályos rácsháló (GRID, rendszerint négyzet, esetleg téglalap), amelyet a földfelszínre fektetünk és megadjuk, hogy az egyes rácspontokban (vagy cellaközpontokban) mennyi a magasság értéke. A második típusnál ugyanez történik, csak egy szabálytalan háromszöghálót (*Triangulated Irregular Network*, röviden: TIN) fektetünk a felszínre, amely tagoltabb domborzat esetén sűrűbb, sík térszínek esetén viszont ritkább szövésű. Az első típus előnye, hogy sokkal közelebb áll a számítógépek (avagy a programozók) lelkivilágához, a másodiké, hogy a terep adottságait képes jobban követni.

A DDM-ek adatforrásait tekintve a paletta hasonló, mint az előbb, a vízfolyások esetében. Itt is beszélhetünk terepi felmérésről, illetve a hagyományos szintvonalas térképek digitalizálásáról. Remekül használhatók a légifotók – persze csak ha „párban” készülnek (azaz átfedéssel), hiszen ekkor válnak alkalmassá a térbeli kiértékelésre (ezzel foglalkozik a sztereo-fotogrammetria). Az elmúlt években pedig különösen fontossá váltak a radarmérések, melynek során a magasból kibocsátott és a felszínről visszavert radarhullámok alapján határozzák meg a terep magasságát. Ez a technológia napjainkra olyan szintet ért el, hogy a Föld felett mintegy 233 000 méter magasságban keringő Endeavour űrrepülőgépről átlagosan 10 méter alatti pontossággal határozták meg a felszín magasságát.



4. ábra. A GRID típusú domborzatmodellekben minden cellának 8 szomszédja van, ezek közül kell kiválasztani azt, amelyik felé legnagyobb a lejtés

Ráadásul az így mért adatokat kb. 90m x 90m-es cellákra meghatározva ingyenesen elérhetővé tették az interneten keresztül (*Shuttle Radar Topography Mission*, SRTM-adatbázis). Mert amit az amerikai adófizetők pénzéből mértek, az az állampolgárok számára legyen ingyenes – ez a NASA-filozófia. Ez az adatbázis a déli szélesség 57° és az északi szélesség 60° közötti területeket fedi le, így a Föld szárazföldjeinek döntő többségét tartalmazza. Ugyanakkor a felszínhez lényegesen közelebb mozgó repülőgépekről lézeres radarmérésekkel (*LIght Detection And Ranging,* LIDAR) centiméteres pontosságot lehet elérni, ezek a mérések azonban rendszerint egyedi megrendelésekre történnek, így hozzáférhetőségük erősen korlátozott.

Összességében kijelenthetjük, hogy a rendelkezésre álló digitális domborzati adatbázisok napjainkban többnyire megfelelő alapot nyújtanak a hidrológiai modellezés megvalósításához.

Domborzatból vízhálózat

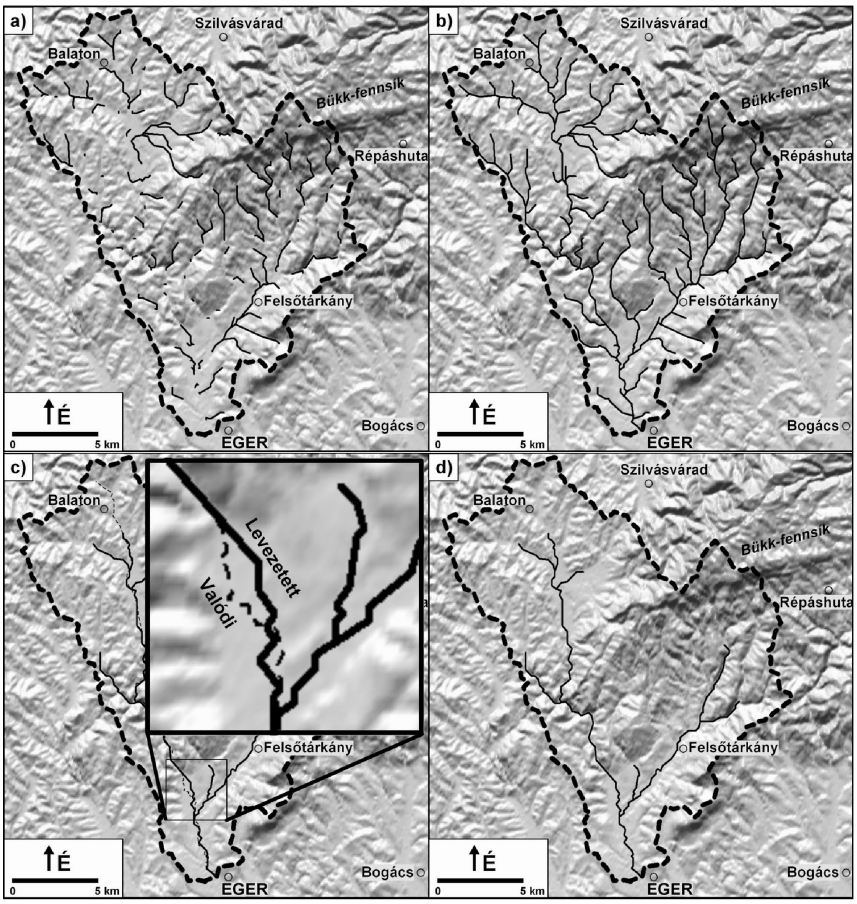
A vízhálózat levezetéséhez használt elvek rendkívül egyszerűek – amíg nem kezdjük el tényleges alkalmazásukat. Legfőbb alapelv az a fizikailag józan feltevés, hogy a víz mindig a legnagyobb felszíni lejtés irányába folyik le. Próbáljuk most ezt gondolatot a digitális domborzatmodellek nyelvére lefordítani! Először képzeljük el, hogy minden cellára hullik egy egységnyi csapadék. Ezután megvizsgáljuk, hogy egy adott cella 8 szomszédja közül melyik irányba legnagyobb a lejtés, majd az adott cella vízmennyiségét hozzáadjuk ennek a szomszédnak a vízmennyiségéhez **(4. ábra).** Ezt ismételgetjük az összes cellára mindaddig, míg az összes víz le nem folyik. Így végső soron előáll egy olyan táblázat (mátrix), amely azt tartalmazza, hogy egy cellán mennyi víz folyik keresztül, ha az egész területre mindenhol ugyanannyi csapadék hullik. Másképpen megfogalmazva, ez az érték az adott cellához tartozó vízgyűjtőterület nagyságát mutatja meg (megfelelő mértékegység átszámítás után). Nyilvánvaló, hogy amely cellákon sok víz folyik keresztül, azok lesznek a vízfolyások pontjai. Ezek után nem kell mást tenni, mint megadni egy vízmennyiség (illetve vízgyűjtőterület)-küszöbértéket, amelynél nagyobb átfolyó vízmennyiség (illetve vízgyűjtőterület) esetén a cellát vízfolyásnak tekintjük. Ezután a vízfolyásnak definiált cellákat folyásirányban lefelé haladva szépen összeköthetjük. Ezzel gyakorlatilag el is készült a vízhálózat.

Csakhogy ez az egyszerű algoritmus legalább négy sebből vérzik. Ha rátekintünk az ily módon levezetett vízhálózati térképre **(5. ábra)**, akkor rendszerint négyféle hibát is fölfedezhetünk rajta, ezek fontossági sorrendben a következők:

1. a vízhálózat nem összefüggő, hanem rengeteg apró részre töredezett, valahogy nem akar összeállni az egységes kép (*5a. ábra*);
2. kissé szögletesek a vízfolyásaink, illetve a terep általános lejtésétől némileg eltérhet a vízfolyások iránya;
3. ha a terület egy részén más adatforrásból ismerjük a vízfolyások pontos elhelyezkedését, akkor ehhez képest kisebb-nagyobb eltéréseket tapasztalhatunk;
4. a vízfolyások kezdőpontja („forrása”) meglehetősen önkényes – attól függ, hogy a vízmennyiségi küszöbértéket hogyan adtuk meg.

A legnagyobb problémát az első fajta hiba jelenti, amelynek az oka elsőre nem is nyilvánvaló. A domborzatmodelleket figyelmesebben megvizsgálva a téma úttörői azonban hamar rájöttek, hogy itt arról van szó, hogy a digitális domborzatmodellek tele vannak „lyukakkal”, azaz zárt mélyedésekkel, melyek a víz szempontjából lefolyástalannak minősülnek, hiszen ha egy cellának nincs nála alacsonyabb szomszédja, akkor onnét a víz semerre nem tud lefolyni az algoritmus szerint. Mert elég akár egy 10 centis „küszöb”, és a modellbeli vízfolyás máris elakad. A probléma kezeléséhez jó volna tudni, hogy honnét vannak ezek a „lyukak”. Előfordulhat, hogy a domborzatmodell „helyes”, azaz a mintájául szolgáló természetben is ott vannak ezek a zárt mélyedések. Tipikus példát szolgáltatnak erre a mészkőfelszíneken kialakult töbrök, víznyelők. Az esetek döntő többségében azonban csupán a domborzatmodell kisebb-nagyobb hibáiról van szó, amit (fog)orvosolni kell. Ezért kitalálták, hogy a DDM-ben előforduló lyukakat fel kell tölteni (be kell tömni), és a korrekció után lehet újrakezdeni a vízhálózat meghatározását (*5b. ábra*).

A második típusú hiba forrása abban rejlik, hogy a fenti módszert alkalmazva a DDM rácsiránya meghatározza, hogy a lefolyás mely irányokba történhet (mivel a 8 szomszédos cella iránya 45° egész számú többszöröseiként adható meg). Ezen a hi-



5. ábra: **Az Eger-patak Egerhez tartozó vízgyűjtője és vízhálózati képe, melyhez csak az Endeavour űrrepülőgép radaros magasságméréseit használtuk fel. a) A domborzatmodell „előkezelése" nélkül a vízhálózati kép hamis, széteső jelleget mutat; b) A modellben lévő „lyukak" betömésével a vízhálózat összefüggővé válik. Igaz, hogy ez a karsztos Bükk-fennsíkon a valóságtól eltérő képet eredményez, de a vízgyűjtő „normális", folyóvízi területein nem okoz problémát. c) Egerhez közeledve a patakvölgy kiszélesedik, így a domborzatmodellből levezetett és a térképen jelölt (valódi) vízfolyás közötti eltérés jól megfigyelhető. d) Eltérő küszöbérték hatása a vízhálózat kiterjedésére. Míg az a) ábrán 1 km^2-es vízgyűjtő felett tekintettünk vízfolyásnak egy pontot, addig a d) ábrán 12 km^2-es küszöbértéket adtunk meg.**

bán csak az algoritmus módosításával lehet segíteni, amelyre több kísérlet is született már. Megtehetjük, hogy az egyik celláról másikra gördülő vízcsepp útját pontosabban modellezzük, és feljegyezzük, hogy a cella szélét pontosan hol érte el a vízcsepp és hogy a lejtésnek megfelelően merre hagyta el („guruló labda" módszer), így több cella átlagában már kirajzolódik a helyes folyásirány. Gyakoribb megoldás, hogy egy cellából nemcsak egy irányba, hanem az összes alacsonyabb cella felé van lefolyás, valamilyen arány szerint megosztva („többirányú" módszer). Akadnak még ennél is rafináltabb algoritmusok, ám a gyakorlatban egyelőre mégis a legegyszerűbb, fent ismertetett eljárás az uralkodó, melyben a 8 szomszédos cella egyike kapja a teljes vízmennyiséget („determinisztikus 8-as"=D8 módszer).

A harmadik fajta eltérés jellemzően a sík térszíneken, szélesebb völgytalpakon fordul elő, ahol a domborzat már nem kellőképpen determinálja a vízfolyások elhelyezkedését (*5c. ábra*). Ez esetben előfordulhat, hogy a generált vízfolyás rövidebb-hosszabb szakaszon eltér a valóditól, „beletéved" a völgytalpnak egy szintén alacsony részébe, ami lehet egy csatorna, egy elhagyott folyóág stb. Erre a bajra is van gyógyír, de ez ismét a DDM kezelését igényli, így szegény modellező, ha nem gondolt rá időben, kezdheti elölről a vízhálózat levezetését. A kezelés lényege az alábbi: az ismert vízfolyásszakaszokat „bele kell égetni" a domborzatmodellbe, vagyis a magassági értékeket csökkenti kell azokon a helyeken, ahol a valós vízhálózat térkép alapján eleve ismert.

Végül a negyedik probléma, a vízfolyások kezdőpontjának meghatározása (vö. *5b.* és *5d. ábra*) komoly elméleti vitákat gerjesztett már korábban is, mert a vízmosások fejlődése, a vonalas erózió megjelenése sokak számára izgalmas kutatási terület. A többség egyetért abban, hogy az átfolyó vízmennyiségen kívül legalább a lejtőszög, de akár más paraméterek (pl. talajtípus, talajvastagság, növényborítottság) értékét is figyelembe kéne venni. Ennek ellenére a gyakorlatban az átfolyó vízmennyiség (másképpen a vízgyűjtőterület) térképi összehasonlítással kikísérletezett küszöbértéke többnyire kielégítő eredményt ad.

A felsorolt hibákat mind kiküszöbölve a vízhálózat most már valóban levezethető, gombnyomásra megkaphatjuk egy adott ponthoz a hozzátartozó vízgyűjtőterületet, kijelölhetjük a vízválasztót, kiszámíthatjuk a magassági- és lejtésviszonyokat stb. Ugyanakkor nyilvánvaló, hogy a számítógép sem fog csodát tenni, és a fentiekben említett „szabálytalan" esetekre (sík alföldek, bifurkációk, karsztos nyelők stb.) nem fog jó választ találni, ha nem áll mellette az ember.

Összességében a vízgyűjtőterület és a vízhálózat meghatározása körüli természetbeni, illetve digitális problémák sora pompásan szemlélteti, hogy akár egészen világos és egyszerű elvek gyakorlati alkalmazása során is számos váratlan kihívással kell megküzdeni a földtudományokban.

IRODALOM:

BORSY Z, 1993: Általános Természetföldrajz – Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.

FAIRFIELD, J., LEYMARIE, P., 1991: Drainage networks from grid digital elevation models – *Water Resources Research* 27(5), 709-717.

FREEMAN, G.T., 1991: Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid – *Computers and Geosciences* 17(3): 413-422.

KESSLER H., 1957: Az örök éjszaka világában – Kossuth, Budapest.

KIRÁLY G., 2004: Domborzatmodellek előállításához felhasználható forrásadatok összehasonlító vizsgálata alapján – in: Domborzatmodell alkalmazások Magyarországon., Miskolci Egyetem Természetföldrajz-Környezettan Tanszék.

KORDOS L. et al, 1984 : Magyarország barlangjai – Gondolat, Budapest.

MARTZ, L.W., GARBRECHT, J., 1992: Numerical definition of drainage network and subcatchment areas from digital elevation models – *Computers & Geosciences* 18 (6), 747-761.

O'CALLAGHAN, J.F., MARK, D.M., 1984: The extraction of drainage networks from digital elevation data – *Computer Vision, Graphics and Image Processing* 28, 323-344.

RABUS, B., EINEDER, M., ROTH, A., BAMLER, R., 2003: The shuttle radar topography mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar – *Photogrammetric Remote Sensing*, 57, 241-262.

TELBISZ T., 2006: Harcok a hóhatár fölött – *A Földgömb*, Budapest, 2006/7, pp.8-13.

WIKIPEDIA (www.wikipedia.com)