

A FOTOGRAMMETRIA ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A KARSZTOK DOMBORZATÁNAK VIZSGÁLATÁBAN

ZBORAY ZOLTÁN⁹⁴

POSSIBILITIES OF PHOTOGRAMMETRY IN THE ANALYSIS OF KARST SURFACE

Abstract: Photogrammetry is the basis of preparing maps. Photogrammetry produces high precision maps with the help of aerial photos. These make fieldwork easier; the detection and analysis of changes and also the time of mapping can be reduced. Most maps reflect the general topographic aspect, and they are often inaccurate depending on the size of the features and the scale. For the mapping of the karst surface and the accurate description of forms further fieldwork is needed and measurements with surveying (GPS and/or total station), or even a brand-new survey. Digital photogrammetry approximates the surface with triangular irregular network (TIN mesh) from the aspect of high scale aerial photos measured with stereo workstations, and produces a surface (contours and grids).

BEVEZETÉS

Napjainkban a technika fejlődésének hatására a karsztok területén végzett vizsgálatok is egyre inkább igénylik a Föld felszínének, domborzati viszonyainak mind pontosabb, megbízhatóbb és naprakész ismeretét. A térképkészítés kezdetein a domborzatot perspektivikus ábrázolással, később felülnézetből pillecsíkos megjelenésben, majd szintvonalakkal ábrázolták. A domborzatról alkotott képünk fejlődése az évek során jól megmutatkozott az egyre nagyobb méretarányú térképek elkészítésében is, a domborzatrajz változatosabb, a szintvonalak sűrűbbek lettek. Azonban a méretarány növelésében korlátot jelentett a térképek készítésének célja, a szemlélet, ami az adott térképmű elkészítését motiválta, és ami a domborzat megbízhatóságának megítélésében is meghatározó.

A karsztkutatás szempontjából a domborzat többet jelent egyszerű szintvonalaknál. A karsztos területek változatos felszíne, gazdagsága, a makro-, és mikroformák sokszínűsége, a geodiverzitás sokkal pontosabb és részletesebb felszínábrázolást igényel, mint meglévő topográfiai térképeink domborzatrajza. A bonyolultabb, a méretarány következtében szintvonalakkal nem kifejezhető formák egyezményes jelekkel kerülnek ábrázolásra. Az ilyen területeken a szintvonalrajz megszakad, és a domborzatrajz magassági adataiban hiány jelentkezik. Nehézséget jelent azoknak a területeknek az értékelése is, melyek fennsík jellegük következtében az adott szintvonal sűrűséggel nem ábrázolhatóak megfelelően. Alapvető feladat tehát a domborzati jellemzők pontos felmérése, a meghatározó, a formakincs

⁹⁴ Honvédelmi Minisztérium Térképészeti Közhasznú Társaság, Felmérő osztály, Fotogrammetriai alosztály. 1024 Budapest, Szilágyi Erzsébet fasor 7-9. E-mail: Zboray.Zoltan@topomap.hu

tekintetében kulcsfontosságú felszíni változatosság megjelenítése és elemezhetősége, a valós viszonyokat jobban közelítő morfológiai térképek, és a mennyiségi alapon történő morfometriai elemzések készítése céljából (e.g. **Keveiné Bárány I.** 1981).

A karsztok domborzatára vonatkozó elsődleges adatoknak az előállítása korábban igen idő- és energiaigényes terepi felmérések alapján volt lehetséges (e.g. **Bárány-Kevei I. – Mezősi G.** 1991, **Veress M.** 1992, **Farsang A. – Tóth T.** 1993). Napjainkban már rendelkezésre áll a GPS, a mérőállomás is, amivel a mérés könnyebbé, pontosabbá, hatékonyabbá vált (e.g. **Péntek K. – Veress M.** 2004, **Telbisz T. – Mari L.** 2006). A terepen történő helyszíni bejárás – több ezer pont mérése – azonban még így is igen fáradtságos feladat, a mérést sokszor nehezíti a terület zárt-sága (nem látogatható, szigorúan védett területek), valamint problémát jelenthet a műholdas helymeghatározáshoz szükséges égbolt láthatóság elérése is. A fotogrammetriai módszereknek éppen ebben rejlik a legnagyobb előnye; távérzékelte adatokból nyert információkról van szó, ahol is az adatgyűjtés munkaállomásokon, térinformatikai környezetben történik.

FOTOGRAMMETRIA

A fotogrammetria a térképek készítésének alapja. A fotogrammetria a fényképek alapján történő alak-, és méretmeghatározás művészete és tudománya (**Kraus K.** 1998). A fotogrammetria módszereinek alkalmazása lehetőséget ad a domborzat nagy területekre kiterjedő, gyors és pontos felmérésére. A fotogrammetria fejlődésének fontosabb állomásai voltak a mérőasztalos fotogrammetria, az analóg fotogrammetria, analitikus fotogrammetria; ma pedig a digitális fotogrammetria korszakát éljük. A digitális fotogrammetria fejlődésével a fotogrammetriai technikák a távérzékelésbe és a térinformatikába integrálódtak.

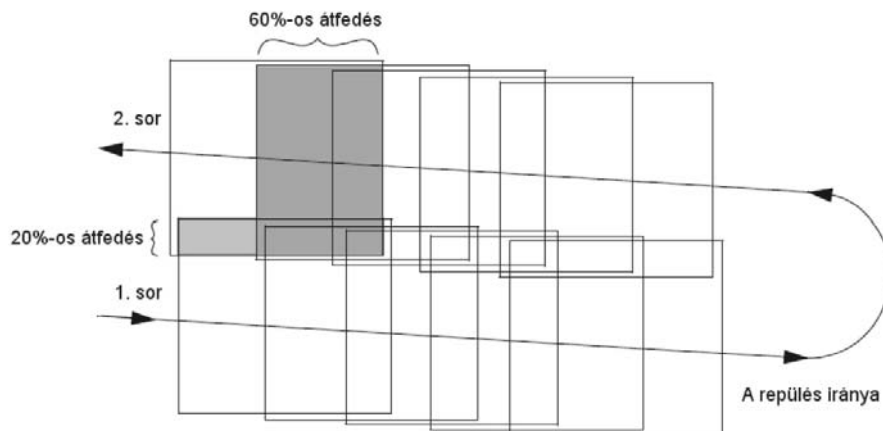
A klasszikus értelemben vett fotogrammetria mérőkamerával készített légifelvételeket alkalmaz, egy meghatározott területet teljes egészében lefedve, soron belüli, és sorok közötti átfedéssel (*I. ábra*). Az átfedő területeken (sztereópárok) lehetséges a terület felszínéről diszkrét pontok meghatározása, a sztereo-fotogrammetriai domborzatkiértékelés.

A hazai légifotó archívumokban rendelkezésre állnak olyan légifelvételek, amik alkalmasak a hazai karsztos területek domborzatának vizsgálatára. A felvételeknek azonban több fontos kritériumot kell teljesíteniük:

1. Alacsony relatív repülési magasság. Ez határozza meg döntően a felvételek méretarányát. Ideális az 1:5000-1:7000 közötti képméretarány (700-1000 m repülési magasság), itt ugyanis a terepi felbontás – 14 μ m szkennelés esetén – kb. 0,1 méter. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy a kézben tartott eredeti légifelvétel kontaktmásolata már önmagában nagyobb méretarányú lesz, mint az általános 1:10000 méretarányú topográfiai térkép. A légifelvételek igazi tartalma azonban a légifénykép-

szkennerrel történő digitalizálás után mutatkozik meg, ugyanis a felvételek akár az 1:1000 méretarányig is nagyíthatók. Az ilyen légifelvételén végzett mérések megközelítik a külterületi kataszteri felmérések pontosságát (e.g. **Zboray Z. – Siristye F.** 2004).

2. Lombtalan időszakban készült légifényképezés. Elvileg a novembertől-ápriliséig tartó időszakban van erre lehetőség, de a hegyvidéki területek eközben általában hóval borítottak, ami viszont alkalmatlan légifényképezésre. A lombtalan légifelvételeknek különleges tulajdonsága és előnye, hogy a terep felszínét nem takarja a fák lombja, így a domborzat pontjainak meghatározása ezeken a területeken is lehetséges. Gondot jelent azonban az örökzöld fenyő jelenléte, itt csak a ritkásabb fák között lehetséges a mérés.
3. Mérőkamerával készüljenek a légifelvételek. Ebben az esetben biztosítható, hogy a légifelvételek a térképekhez hasonlóan felülnézeti képet adnak (közel függőleges kameratengely), továbbá ismertek a pontos kamera adatok, ami lehetőséget ad a további feldolgozásra.
4. A repülés ne csak lineárisan, hanem nagyobb területre kiterjedően – a fentebb vázolt tömb jelleggel – érintse a karsztokat. A nagyméretarányú légifényképezések célterületei sajnos csak ritkán estek egybe a karsztokkal, kivételek azonban szerencsére vannak.

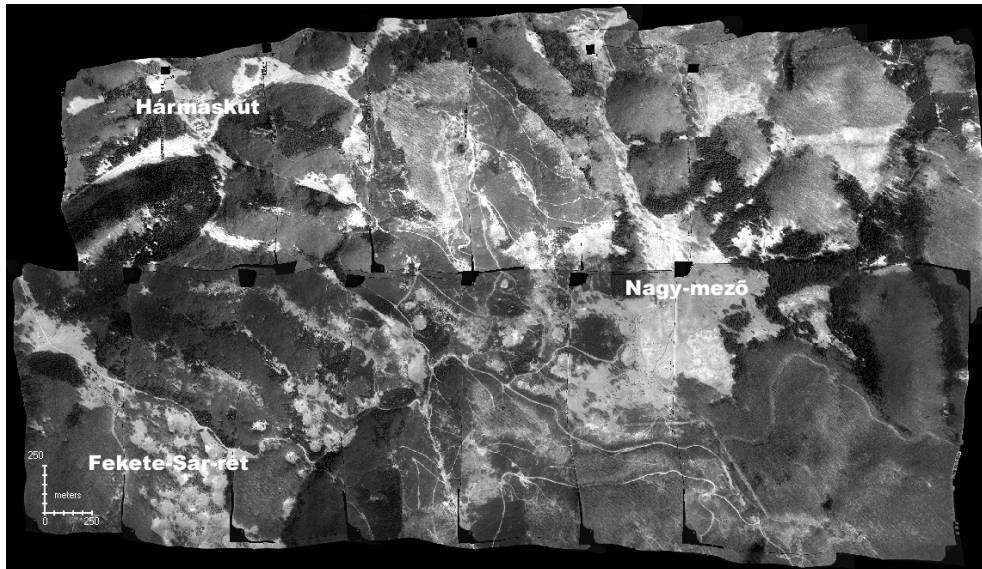


1. ábra Légifényképek elhelyezkedése egy ideális fotogrammetriai tömbben
Figure 1 Image positions in the ideal photogrammetry block

A Bükk-fennsík területén – a fenti követelményeket maradéktalanul teljesítő – légifényképezés zajlott 1992. április 2-án. A légifénykép-törzslap szerint a megbízó a *Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI)* volt, a légifényképezés interpretációs céllal készült. A légifelvételek eredeti negatívjait a *Földmérési és Távérzékelési Intézet (FÖMI)* légifotó archívuma őrzi.

A felvételek minősége (természetes színvilág, tónus, kontraszt, árnyék tartalom) hazai összevetésben páratlan. A képek színesben készültek, ami a '90-es évek

elején viszonylag ritkán alkalmazott megoldás volt, zömmel fekete-fehér nyers-anyagra dolgoztak, néhány infra repülés jelentett még kivételt (2. ábra).



2. ábra Torzításoktól mentesített légifelvétel (ortofotó) a Bükk-fennsíkon
Figure 2 Orthorectified images on the Bükk-fennsík (Bukk-Plateau)

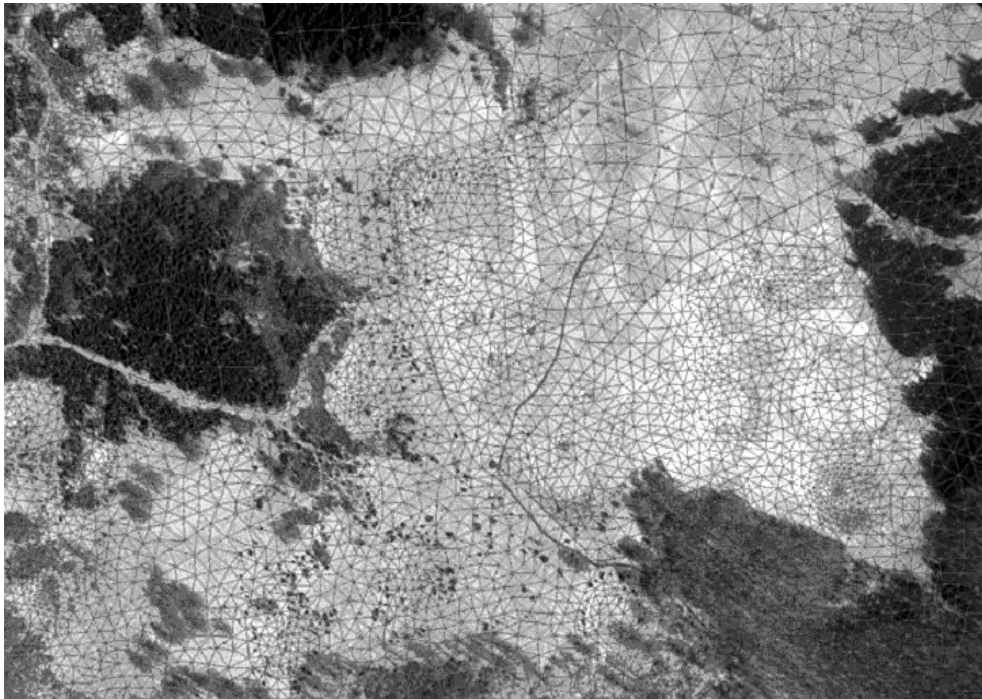
MÓDSZEREK

A légifelvétel feldolgozását a *Honvédelmi Minisztérium Térképészeti Közhaszni Társaság Fotogrammetriai alosztályán* végeztem. A légifelvétel eredeti negatívjait Zeiss-Intergraph PhotoScan 2002 légifilmszkennelvel digitalizáltam, a feldolgozás BAE Systems SOCET SET sztereo-fotogrammetriai munkaalomáson történt. A fotogrammetria munkafolyamatai (belső tájékozás, kapcsoló-, és illesztőpont mérés, légháromszögelés) után vált lehetségessé a terület domborzatának felmérése.

A sztereo-fotogrammetriai kiértékelés nagy hatékonysággal képes adatot szolgáltatni a terület domborzatáról. A mérés a pontok XYZ koordinátájának a meghatározását jelenti, amiből szabálytalan háromszögháló (*Triangulated Irregular Network*, TIN) segítségével közelítjük a felszínt (3. ábra).

Minél nagyobb a pontok sűrűsége, annál nagyobb lesz a háló pontossága, és a domborzatmodell előállításakor ezzel párhuzamosan kisebb mértékű az egyes pontok közötti interpoláció. A térképen jelkulccsal ábrázolt területen ezért sűrűbben (5-10 méterenként), míg a relief tekintetében egységes területeken ritkábban (20-30 méterenként) mértünk magasságot. A feladat elvégzésekor a kiértékelő manuálisan határozza meg a mérőjel helyzetét, de közelítő elhelyezés esetén már automatikusan is történhet a mérés (automatikus korreláció). A SOCET SET munka-

állomásokon kiértékelt TIN pontokból digitális domborzatmodellt állítottunk elő. Az állomány szabályos rács (GRID) formátumú, egy pixel mérete 1 méter. A TIN-GRID konverzióban a szoftver terminológiája szerinti interpolációt fogadtuk el, a domborzatmodellen utólagos konvolúciós (simító) eljárásokat nem végeztünk.



3. ábra Mérési pontok alapján készült szabálytalan háromszögháló a Nagy-mezőn (Bükk-fennsík)

Figure 3 Triangulated Irregular Network (TIN) based on measured points (Nagy-mező, Bükk-Plateau)

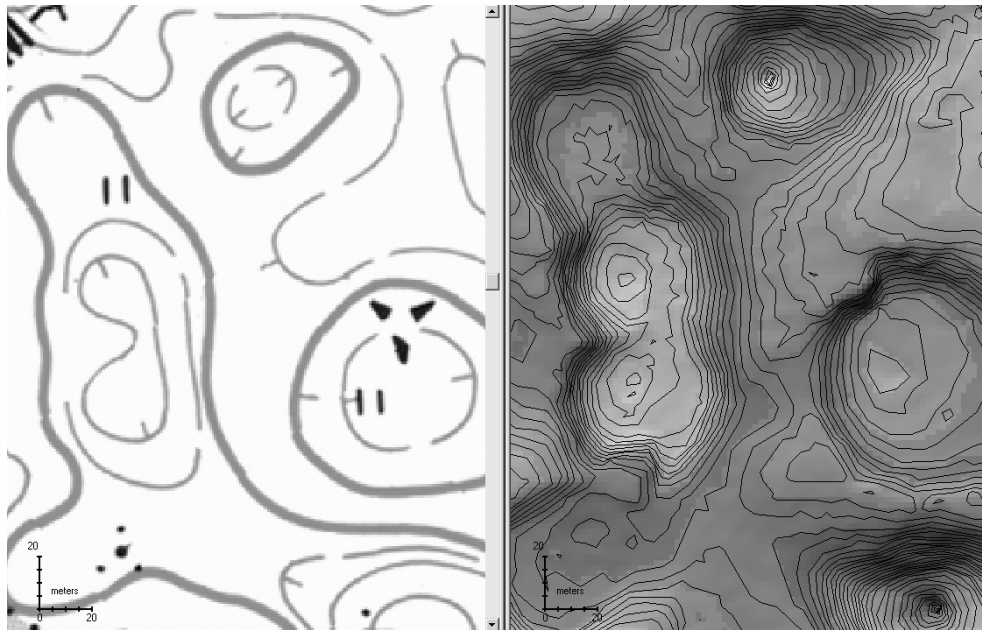
EREDMÉNYEK

A domborzat alapján, a területen található 275 dolina morfológiai vizsgálatát az ERDAS IMAGINE térinformatikai szoftver segítségével végeztük. A topográfiai térkép szintvonalai alapján készült domborzat és a fotogrammetriai módszerekkel kiértékelt domborzatot összehasonlítva – különösen a dolinák területén – jelentős magasságkülönbség mutatkozott (e.g. **Zboray Z. – Keveiné Bárány I.** 2004).

A digitális domborzatmodelleken (DDM) végzett területmérések esetén figyelembe kell venni, hogy a DDM pontjai is a felszín síkba eső vetületét jelentik, aminek előnye, hogy összevethető az azonos vetületben lévő térképekkel, térinformatikai adatokkal, ellenben hátrány, hogy a felszín nagyságára vonatkozóan közvetlen információt nem szolgáltat. Azonban a DDM rácpontjaiban ismerve a

lejtőszöget, a felszín a domborzatmodell lejtőkategória térképének attribútum tábláiban függvény definiálásával számítható. A módszert alkalmazva a mintaterületen lévő dolinák esetében kiszámítottuk a felszín nagyságát. Az összes dolina térképen mérhető síkba eső vetületéhez képest (121,39 ha) a felszín nagysága 123,97 ha. Így átlagosan 2,13% felszín-többlettel számolhatunk a térképen mérhető területhez képest (e.g. **Zboray Z. – Keveiné Bárány I.** 2005).

Az elsődleges mérési pontok alapján szintvonalak előállítása lehetséges, tetszőleges intervallummal. A területen előforduló karsztformák viszonylagosan kis mértékű vertikális kiterjedése miatt a topográfiai térképnél nagyobb szintvonal sűrűség megrajzolása szükséges (4. ábra). A sokszorta több mérési adatból előálló – az ábrán fésülés nélküli – szintvonalak jól mutatják a szemléletből és a méretarányból adódó különbségeket. A dolinák aljzata, a talppont pontos helyzete és magassága, a dolinák közti tönkfelszín maradványok, gerincek, nyergek, küszöbök morfológiai és morfometriai szempontból is fontos elemei a domborzatnak, ami a korábbi topográfiai felmérésben – az említett okok miatt – nem mutatkozik meg megfelelően. A részletesebb domborzat és a lejtési viszonyok különbözőségeinek vizsgálatával az egyes karsztformák közti határok is jobban elemezhetők (e.g. **Zboray Z. – Keveiné Bárány I.** 2006).



4. ábra 1:10.000 méretarányú állami topográfiai térkép szintvonalai (balra), és ugyanazon területen fotogrammetriai módszerrel mért pontokból előállított szintvonalak (jobbra)

Figure 4 Contours of 1:10,000 scale topographic map (left), and contours based on photogrammetry methods (right) in the same area

KÖVETKEZTETÉSEK

A fotogrammetria módszereinek alkalmazásával az elsődleges magassági adatok mérése lényegesen gyorsabb és hatékonyabb, mint a terepen történt mérések. Térinformatikai környezetben végzett elemzések kimutatták a karsztos területek domborzatáról rendelkezésre álló adatok pontosításának szükségességét. A nagyobb sűrűséggel mért magassági pontok alapján készült domborzatmodell és szintvonalas térkép a karsztkutató szempontjából fontos domborzati elemeket is tartalmazza. Ezen adatokon történő mérések jóval megbízhatóbbak, és a valóságot jobban megközelítő eredményekhez vezetnek.

IRODALOM

- Bárány-Kevei, I. – Mezősi, G.** 1991. Further morphometrical data from some important Hungarian Karst areas. Proceed. of the Int. Conf. on Environ. Changes in Karst Areas-IGU-UIS Quaderni del Dipartimento di Geografia on. 13. Università di Padova. pp. 137-142.
- Farsang, A. – Tóth, T.** 1993. Morphometric investigation of dolines in Bükk mountains. Acta Geographica Szegediensis 31. pp. 53-60.
- Keveiné Bárány I.** 1981. A dolinák fejlődésének ökológiai szabályozottsága. Kandidátusi értekezés. pp. 47-52.
- Kraus K.** 1998. Fotogrammetria. Tertia Kiadó, Budapest. p. 13.
- Péntek K. – Veress M.** 2004. A töbrök morfometriai osztályozása. Karsztfejlődés IX. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely. pp. 197-206.
- Telbisz T. – Mari L.** 2006. A Karas-szurdok (Aninai-hegység) környékén végzett GPS-es töbör-felmérések tanulságai. IX. Karsztfejlődés konferencia, BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely.
- Veress M.** 1992. Adatok a Fekete-Sár-rét karsztmorfogenetikájához. A Bükk karsztja, vizei, barlangjai. Konferencia kötet, Miskolc. pp. 5-18.
- Zboray Z. – Keveiné Bárány I.** 2004. Domborzatértékelés a Bükk-fennsík légifelvételek felhasználásával. Karsztfejlődés IX. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely. pp. 207-213.
- Zboray Z. – Keveiné Bárány I.** 2005. A dolinák korróziós felszínének meghatározása digitális domborzatmodell alapján. Karsztfejlődés X. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely. pp. 221-228.
- Zboray Z. – Keveiné Bárány I.** 2006. Karsztos formák háromdimenziós határai a Bükk-fennsík példáján, különös tekintettel a dolinákra. Karsztfejlődés XI. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely.
- Zboray Z. – Síristye F.** 2004. Nagy méretarányú légifelvételekből előállított digitális domborzatmodellek alkalmazása néhány hazai példán. I. HUNDEM konferencia, Miskolc.