

Digitális domborzatmodellek készítése katonai térképészeti célokra

Siristye Ferenc¹, Zboray Zoltán²

¹ Honvédelmi Minisztérium Térképészeti Közhasznú Társaság,
Fotogrammetriai alosztály, fotogrammetriai alosztályvezető,
Budapest 1024, Szilágyi Erzsébet fasor 7-9, 06-1/336-20-30/1108
siristye.ferenc@mhtehi.gov.hu

²Honvédelmi Minisztérium Térképészeti Közhasznú Társaság,
Fotogrammetriai alosztály, kiértékelő mérnök,
Budapest 1024, Szilágyi Erzsébet fasor 7-9, 06-1/336-20-30/1108,
Szegedi Tudományegyetem, Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, PhD. hallgató,
zboray@t-email.hu, zboray@geo.u-szeged.hu,

1. Bevezetés

Napjainkban a technika fejlődésének hatására a gazdaság mind több ágában - térképészettel kezdve, a külszíni bányászaton, a mezőgazdaságon, a telekommunikációs és egyéb infrastrukturális hálózatok tervezésén és üzemeltetésén át a honvédelmi és katasztrófa-elhárítási feladatok végrehajtásáig - a napi gyakorlati munkához igénylik a Föld felszínének, domborzati viszonyainak mind pontosabb, megbízhatóbb és naprakész ismeretét.

A Föld felszínének bonyolultsága és méretének nagysága nem teszi lehetővé, hogy egy, matematikailag viszonylag könnyen kezelhető függvénnyel leírjuk.

E probléma megoldására több eljárást dolgoztak ki:

- a matematikai függvénnyel kezelendő terület méretét csökkentik, vagy
- a területet - megfelelő sűrűségben elhelyezkedő - diszkrét pontokkal modellezik.

A már létező és kialakítandó adatbázisok meghatározásakor - adatstrukturális és kezelhetőségi szempontokat is figyelembe véve - elsősorban a szabályos elhelyezkedésű, diszkrét pontokkal való felületleírást alkalmazzák, bár sokszor érdemesebb az elsődleges forrást jelentő szabálytalan elhelyezkedésű pontokat is tárolni.

2. Alapfogalmak

A modellek előállítási technológiáinak tárgyalásához szükséges a különböző magassági adatrendszer fogalmak tisztázása, ezért a következő magassági adatrendszereket különböztetjük meg:

- **Digitális Domborzat Modell** (továbbiakban: DDM): a terep - a talaj – fizikai felszínének meghatározott rendszer szerint elhelyezkedő diszkrét pontokban megadott magassági adatai.

- **Digitális Szintvonal Modell** (továbbiakban: DSZM): a terep fizikai felszínének azonos magasságban elhelyezkedő pontok rendszerével, szintvonalakkal való leírása.

- **Digitális Felület Modell** (továbbiakban: DFM): a terep és tereptárgyak felülről látható felszínének - a felszínfedettség figyelembevételével - magassági adatai (BAKÓ 1999).

3. A DDM-ek előállításának technológiái

A DDM elsődleges adatmodellje háromféle mérési technológiával állítható elő. A következőkben ezen adatgyűjtési eljárások bemutatására kerül sor.

3.1 Földi felmérés

Eljárásai a topográfiai felmérés (tachimetria és GPS) és a területszintezés (magasságilag jellegtelen területen). A topográfiai felmérés, technológiájából adódóan adatszerkezete szabálytalan, szórt pontthalmazra vonatkozó: Psz, y, x, z, kód.

A területszintezés szabályos rácsháló mentén történik így adatszerkezete: fejrész (y_0 , x_0 , a, dy, dx, m, n); z_i . A fejrész adja meg a rácsháló helyzetét, irányát, felosztását és méretét. A felmérés pontosságát a mérési eljárás és műszerek, illetve a bemért pontok azonosítási megbízhatósága befolyásolja. Az adataiból generált DDM megbízhatóságát a bemért pontok pontossága és sűrűségeloszlása befolyásolja. Ezzel a technológiával csak kisebb területek felmérése gazdaságos. Alkalmas közvetlenül DDM és DFM, közvetve DSZM előállítására.

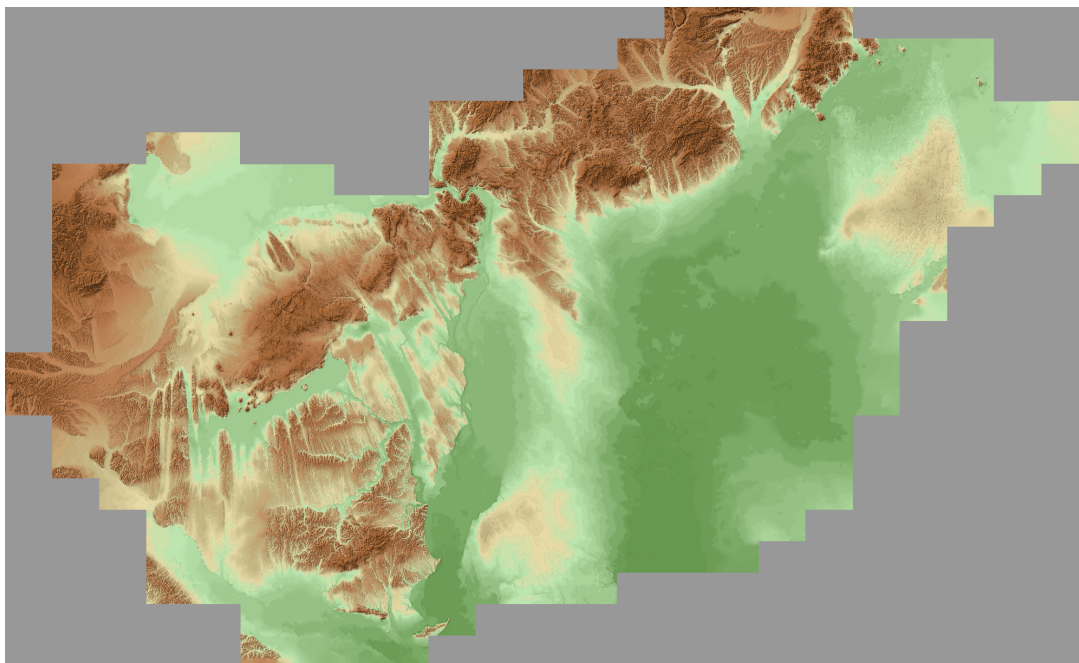
3.2 Kartometriai technológiák

Meglévő térképi alapok feldolgozását, szintvonalrajzának digitalizálását, vagy domborzati fóliájának szkennelését jelenti. Aktualitása a térkép felmérési idejére vonatkozik, fajlagos költségigénye alacsony. Megfelelő minőségű alapanyag használata esetén jól automatizálható. Adatszerkezetében az idomváz felépítése nem tárolható, a jelkulccsal ábrázolt domborzati formákat csak nagy ráfordítással lehet a DDM-be beépíteni. A technológia alkalmas közvetlenül DSZM, közvetve DDM, attribútumadatok felhasználásával DFM előállítására. Az ország teljes területéről ilyen DDM-mel már rendelkezik a Magyar Honvédség (továbbiakban: MH). Ezzel a technológiával készült később a FÖMI első DDM-je is.

A **DDM-10** adatbázisának feltöltését az MH TÁTI 1992-ben fejezte be, mely tartalmazza az ország területének 10×10 méteres rácsfelbontású, tengerszint feletti magassági adatait. Vetületi rendszere az EOVS, magassági alapfelülete a balti alapszint. Meghatározása az 1:100 000-es méretarányú EOTR térképek szelvényezésében, szelvényenkénti feldolgozással történt.

Adatforrása az MH tulajdonában lévő, a katonai térképészet által korábban előállított, helyszíni bejárással topografált, légifelvételek alapján helyesbített, 1:50 000 méretarányú, Gauss-Krüger vetületi rendszerű katonai topográfiai térképmű „domborzat kartográfiai eredeti” mérettartó fóliái. A „domborzat kartográfiai eredeti” fóliákról 300 dpi felbontással szkennelték a kiinduló adatállomány. A szkennelési hibák javítása (szintvonalak megszakadása, összeérése), jelkulcsi jelek és megírások törlése (szikla, horhos, eséstüske stb.) manuálisan történt.

Az értékdás során a raszteres szintvonalarajzhoz egy olyan mátrix (3280 sor, 4880 oszlop) hozzárendelése történt, amelyben a szintvonallal lefedett mátrix elemek értéke megegyezett a szintvonal magasságértékével. Így jött létre a DSZM, amelynek adatállományában ezután a domborzatgeneráló program kiszámította a szintvonalak közötti pontok magasságértékét. A DDM-10 (1.ábra) a felszín minden 10 méterenkénti pontjának a magasságértékét tartalmazza.



1. ábra: DDM-10 hipszometrikus ábrázolásban

A DDM-10 adatai méter élességűek, pontosságára vonatkozó adatokat az alábbi táblázat tartalmazza (SASS 1993):

	Síkvidék	Dombvidék	Hegyvidék
Átlagos hiba:	$< \pm 0,8 \text{ m}$	$< \pm 2,5 \text{ m}$	$< \pm 5,0 \text{ m}$
Max. hiba a pontok 90%-nál	$< \pm 1,6 \text{ m}$	$< \pm 5,0 \text{ m}$	$< \pm 10,0 \text{ m}$
Max. megengedett hiba:	$< \pm 2,4 \text{ m}$	$< \pm 7,5 \text{ m}$	$< \pm 15,0 \text{ m}$

3.3 Távérzékelési technológiák

Ide soroljuk azokat az eljárásokat, ahol a magassági adatokat műholdon vagy repülőgépen található adatgyűjtő eszközökkel nyerik. Magyarországon még nincs fizetőképes kereslet a legfejlettebbnek számító radar- és lézeres technikákra, így megbízhatóságának és gazdaságosságának köszönhetően leginkább légifelvételekből, fotogrammetriai kiértékeléssel nyerik ki az elsődleges adatokat. (Az űrfelvételekből való adatnyerés is lehetséges, de ez jóval költségigényesebb.)

A fotogrammetria a fényképek alapján történő alak-, és méretmeghatározás művészete és tudománya (KRAUS 1998). A feldolgozás módját tekintve megkülönböztetünk analóg, analitikus és digitális fotogrammetriai eljárásokat.

4. A fotogrammetriai térkiértékelés pontosságát befolyásoló tényezők

- a felhasznált képek méretaránya,
- az illesztőpontok geodéziai koordinátáinak pontossága,
- a kiértékelő gyakorlottsága és
- a térmodell előállítás technikája.

A korszerű műszerekkel és a digitális munkaállomásokkal végrehajtott térkiértékelés pontossága között nincs lényeges különbség. Hátránya, hogy csak a fedetlen területekről képes nagy megbízhatóságú adatot szolgáltatni (KOÓS 2000).

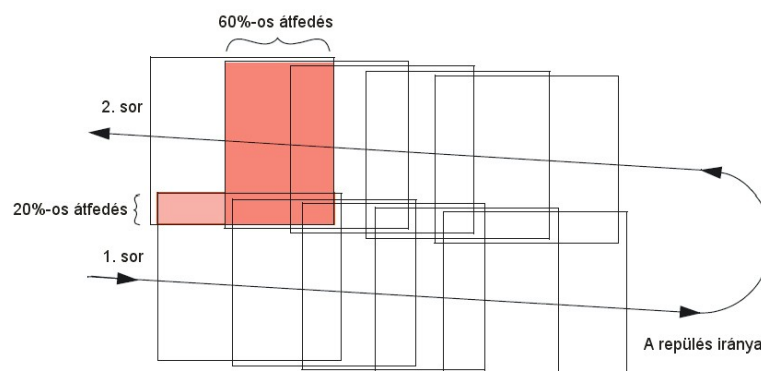
4. Digitális fotogrammetriai feldolgozás a Honvédelmi Minisztérium Térképészeti Közhasznú Társaságban

Az utóbbi években egyre nagyobb jelentőséggel bír a térinformatika alkalmazása magyar katonai térképészet területén. A NATO tagság követelményeinek megfelelően a különféle digitális állományok a megfelelő vetületi rendszerben (UTM) és szabványok szerint készülnek. Az egységes adatsere formátumok – vektoros és raszteres adatok esetében egyaránt – az országok közötti együttműködést támogatják.

A Honvédelmi Minisztérium Térképészeti Közhasznú Társaság (továbbiakban: HM TKHT) Fotogrammetriai alosztályán raszteres (képi) adatok feldolgozása folyik. Az alosztály feladatkörébe tartozik az ország védelmi feladatot ellátó katonai létesítményeinek, a katonai gyakorlóterek, várostérképek, valamint leginkább az 1:25000 és kisebb méretarányú katonai és állami topográfiai térképek felújítását célzó légifényképezések tervezése, a végrehajtás irányítása és ellenőrzése, valamint a légifelvétel teljes körű digitális feldolgozása. A feldolgozás során digitális domborzat- és felületmodelleket, valamint ortofotókat állítunk elő.

4.1 Légifényképezés

A mérőkamerás légifényképezés célja és a fotogrammetriai feldolgozás technológiája szabja meg a repülési tömb szerkezetét. (2.ábra). Mivel átfedő területeken, az ún. modellterületeken valósítható csak meg a tér-, és domborzatkiértékelés, ezért a teljes tömböt legalább 60 %-os soron belüli és legalább 20 %-os sorok közötti átfedéssel kell fényképezni.



2.ábra: A légifényképezések tervezése

4.2 Légifelvételek digitalizálása: a szkennelés

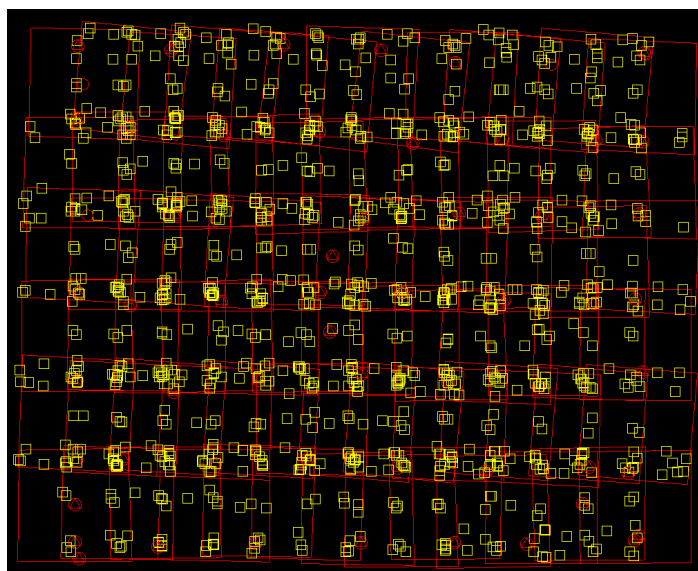
A légifelvételeket Z/I Imaging Photoscan 2002 légifilm-szkennerral (3.ábra) digitalizáljuk. Egy légifilm-szkennerek – összehasonlítva egy egyszerű lapszkennerral – nagyságrendekkel jobb az optikai felbontása (jelen esetben a CCD mérete $7\ \mu\text{m}$) minimális geometriai elrajzolás mellett ($1\text{--}2\ \mu\text{m}$ a képsíkban). A kimagasló minőség 55 millió Ft-os vételárat és évi pármillió Ft-os üzemeltetési költséget is jelent.



3.ábra: Zeiss Photoscan 2002

4.3 Légháromszögelés

E munkafolyamat során határozzuk meg az egyes felvételek összekapcsolásával (relatív tájékozás) és az összekapcsolt képek illesztőpontok segítségével való transzformálásával azok külső tájékozási paramétereit (abszolút tájékozás), azaz azokat az eltolási és elforgatási értékeket az országos koordináta-rendszerben, amelyek a légifényképező kamera felvételkori helyzetét jellemzik (4.ábra).



4.ábra: Illesztő- és kapcsolópontok egy légháromszögelési tömbben

A képek abszolút tájékozása (az országos rendszerbe való illesztése) után két, az egymást legalább 60 %-ban átfedő légifelvétel (képpár) által meghatározott térmodellben méréseket, háromdimenziós kiértékelést végezhetünk.

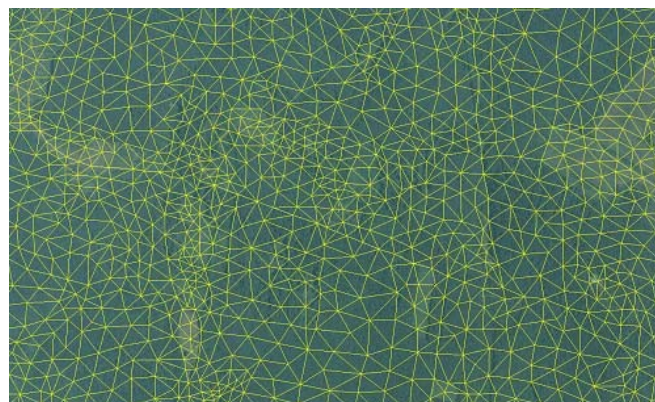
4.4 Domborzatkiértékelés

A feldolgozás egyik legmunkaigényesebb lépése a terület domborzatának kiértékelése, mely Socet Set munkaállomásokon történik (5.ábra). Munkánkban az adatok elemzéséhez és megjelenítéséhez az Erdas Imagine térinformatikai képfeldolgozó szoftvert alkalmazzuk.



5.ábra: Socet Set digitális fotogrammetriai munkaállomás

A sztereofotogrammetriai kiértékelés nagy hatékonysággal képes adatot szolgáltatni a terület domborzatáról. Minden egyes mérés a pontok XYZ koordinátájának a meghatározását jelenti, amiből szabálytalan háromszögháló (TIN) segítségével közelítjük a felszínt (6.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 jelkulccsal ábrázolt területeken ezért sűrűbben (5-10 méterenként), míg a relief tekintetében egységes területeken ritkábban (20-30 méterenként) mérünk magasságot.



6.ábra: Szabálytalan háromszögháló a kiértékelő szemével

A feladat elvégzésekor a kiértékelő személy manuálisan határozza meg a mérőjel helyzetét, de közelítő elhelyezés esetén már automatikusan is történhet a mérés. A kiértékelőnek – a tökéletes térlátás mellett – nagy gyakorlattal kell rendelkeznie az egyes domborzati elemeket felismerésében, képesnek kell lennie – esetlegesen még lombos képek esetén is – megbízhatóan és pontosan meghatározni a terep felszínét.

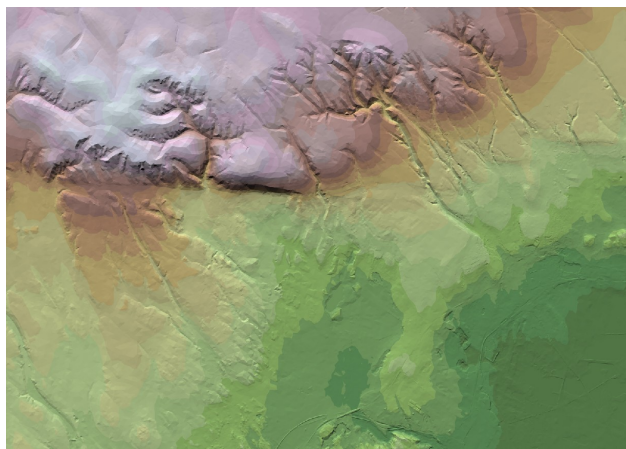
A sík területek „domborzatától”, az egyes urbánus területek tereplépcsőkkel, teraszokkal, rézsűkkel tarkított – igen bonyolult – domborzatáig időben és nehézségben tág határok között változhat egy adott nagyságú terület domborzatkiértékelése. Gyakorlatban a tervezés igen fontos eleme a kiértékelés időráfordításának becslése, ami leginkább a korábbi területek nehézségéből tapasztalati úton ítéltető meg.

4.5 A domborzatkiértékelés megbízhatósága

Igen fontos kérdés a domborzatkiértékelés megbízhatósága, ami leginkább a légifelvételek méretarányától és a szkennelt állomány terepi felbontásától függ. Kisebb méretarány ($M=1:30000-1:40000$) mellett nagy területek (akár több 1000 km^2) felmérése valósítható meg, a domborzatkiértékelés az ilyen felvételekből 1-2 méteres megbízhatóságú. Nagy méretarányú ($M=1:5000$) felvételek leginkább kis területek ($10-100 \text{ km}^2$) nagy pontosságot és precizitást igénylő feladatainak ellátásához (pl. meglévő közműtérképek vektoros állományaihoz) használhatók hatékonyan ($<0,3 \text{ m}$ -es megbízhatóság magassági értelemben).

4.6 Digitális domborzatmodellek előállítás, minőségellenőrzése

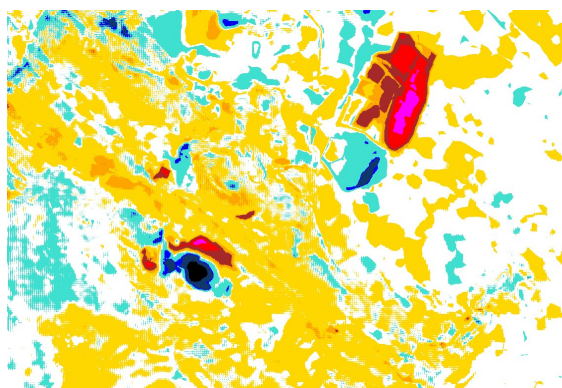
A Socet Set munkaállomásokon kiértékelt XYZ pontokból (TIN) DDM-et állítunk elő. Az állományok szabályos rács (GRID) formátumúak, egy pixel mérete – méretaránytól és a kiértékelt pontok átlagos sűrűségétől függően – $0,1-1 \text{ méter}$. A TIN-GRID konverzióban a szoftver terminológiája szerinti interpolációt fogadjuk el, a DDM-en konvolúciós eljárásokat nem futtatunk. Gyakorlatban a kiértékelő annyira sűríti a pontokat a TIN-ben, hogy a rács segítségével készült ortofotókon pixelcsúszások ne legyenek, vonalas létesítményeken (út, vasút) hullámváz ne forduljon elő. Az elsődleges minőségellenőrzéshez (durvahiba szűrés) a rács hipszometrikus képét vizsgáljuk (7.ábra). Ha ezen a képen a topográfiával nem összeegyeztethető alakzatokat találunk, akkor azt sztereóban ellenőrizzük, és ha szükséges javítjuk.



7.ábra: DDM hipszometrikus és árnyékolt megjelenítésben

A domborzatmodell a továbbiakban digitális ortofotó készítéshez kerül felhasználásra. Végeredményben tehát az ortofotók minőségellenőrzésekor dől el, hogy a DDM követi-e a felvételi méretaránytól előzetesen várt megbízhatóságot. Ez utólagos geodéziai méréssel ellenőrizhető (pl. GPS). Az ellenőrzéskor pedig az adott pont Z magassága mellett az ortofotó XY hibáját is mérhetjük, ebben az esetben azonban figyelembe kell venni, hogy a DDM pontatlanságából adódó hiba a nadírponttól való távolság függvényében is változik.

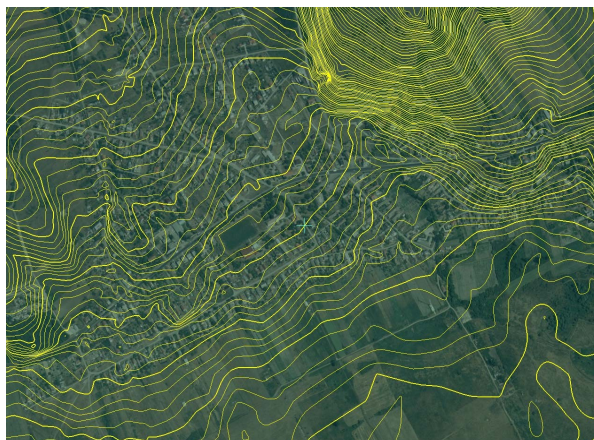
A durvahiba-szűrés, vagy akár változások kimutatásának célja lehet, hogy a kiértékelt domborzatot korábbi, már meglévő domborzattal hasonlíttuk össze. A két DDM-et egymásból kivonva egy különbség-térképet kapunk, melyen a magasságkülönbségek az egyes értéktartományok színfokozásával kerülnek megjelenítésre (8.ábra). Jelen esetben a vörös színek a korábbi domborzathoz képesti depressziókra (külszíni bányák), a mellettük lévő mélykék területek a bánya melletti meddőhányókra hívják fel a figyelmet.



8.ábra: DDM magasságkülönbség-térkép

4.7 DSZM generálása DDM-ből

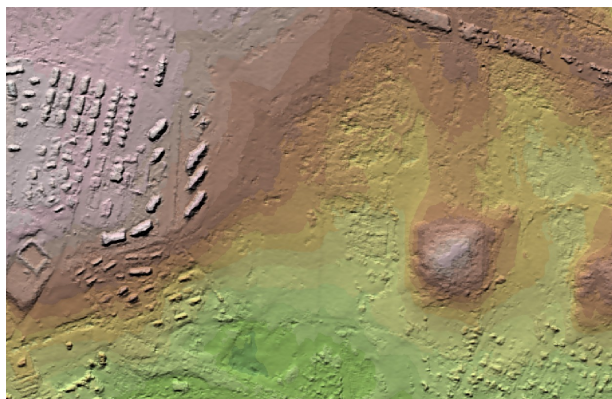
Korszerű fotogrammetriai és térinformatikai szoftverek képesek DDM-ből szintvonalakat generálni (9. ábra). A HM TKHT elvetette ezen szintvonalak térképészeti célú felhasználását, mivel azok túl szögletesek és nem érik el a szükséges kartográfiai minőséget. A túlzott simítás viszont a pontosság rovására megy.



9.ábra: DDM-ből generált szintvonalak ortofotón

4.8 DFM generálás

A fotogrammetria feldolgozás további előnye, hogy az abszolút tájékozott képek és megfelelő szoftver segítségével DFM-eket készíthetünk. A DFM a talajszint magasságán túl minden egyes természetes és mesterséges tereptárgy magassága is megtalálható. Természetes esetben leginkább az erdők, mesterséges objektumoknál pedig főleg a nagyvárosok épületei módosítják számottevően a DDM magasságát (10.ábra).



10.ábra: DFM, Várpalota

A feldolgozás során a SOCET SET ATE modulja az előre definiált rácsponthoz azonos pontokat keres az átfedő területeken, és korreláció alapján meghatározza a pont magasságát, majd továbblép a rács következő pontjára. A DFM rácsávolsága elvileg bármilyen nagyságra beállítható, azonban korlátot jelent, hogy a rácsban azonos pont nem minden esetben azonosítható. Belátható, hogy minél kisebbre vesszük a rácsávolságot, annál kisebb lesz az a terület, amin belül a szoftver azonos pontot találhat. Ebből következően a mért pontok száma egy bizonyos határon túl nem növekszik. Az ilyen jellegű domborzat olyan katonai alkalmazásokat támogat, melyben nagy jelentőségű a magassági akadályok pozíciójának ismerete.

Az automatán generált DFM szélső pontossági igények kielégítésére nem alkalmas. Ilyen munkát a DDM-kiértékeléshez hasonlóan manuálisan lehet elvégezni.

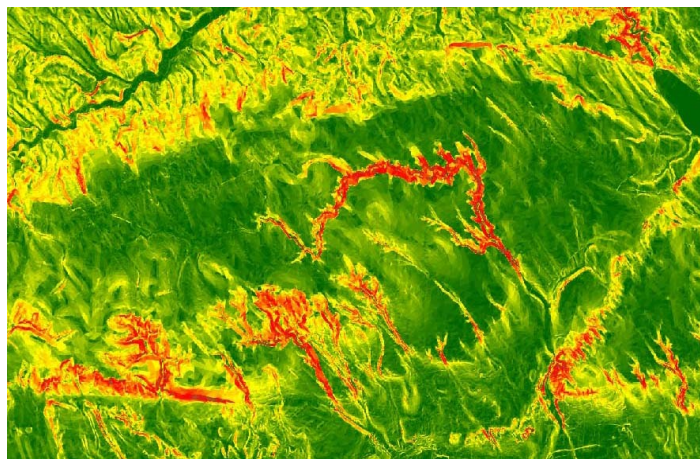
4.8 Digitális domborzatmodellek további katonai alkalmazása

A védelmi feladatok során használatos térképek (gyakorlótér térképek, katonai várostérképek, katonai topográfiai térképek stb.) időszakonkénti felújítása elengedhetetlen. A felújítás alapjai a fotogrammetriai feldolgozás eredményeként a digitális ortofotók, melyek DDM felhasználásával készülnek. Az ortofotó geometriáját tekintve térkép, képminőségét tekintve fénykép, melyen méréseket végezhetünk (BARSZ 2000). Az ortofotók a meglévő digitális térképi állományokkal összevethetők, a változások a háttérben látható képi tartalom alapján javíthatók.

A domborzatmodellek további lehetséges alkalmazási területe a 3D-s vizualizáció (11.ábra), szimulációs és összeláthatósági vizsgálatok, a kitettség és a lejtőkategóriák (12.ábra) vizsgálata.



11.ábra: 3D-s látkép: Várpalota (a magassági torzítás 2x-es)



12.ábra: Lejtőkategóriák

5. Összefoglalás

1. A katonai térképészetben napjainkban a digitális domborzatmodellek szkennelt légifelvételekből, digitális sztereofotogrammetriai kiértékeléssel készülnek. A DDM-ek a térképfelújítás vagy újfelmérés alapját képező ortofotók előállításához nélkülözhetetlenek.
2. A DDM előállításához szükséges légifelvételek méretarányát az aktuális feladat határozza meg, az ebből adódó megbízhatóság a DDM-ek egyik legfontosabb paramétere.
3. A feldolgozás végtermékei (TIN, DDM, DFM, szintvonalak, ortofotók) a meglévő térinformatikai adatbázisokba beilleszthetők, a háromdimenziós alkalmazásuk pedig további lehetőségeket teremt a katonai felhasználás területén.

Irodalom

BAKÓ Z., 1999: A Digitális Domborzat Modell meghatározása és létrehozása (MTP). MH TÉHI, Budapest,
BARSZI Á., 2000: Az Erdas Imagine felhasználói kézikönyve. Kézirat. Bekes Mérnöki Konzultációs Iroda Kft, Budapest,
KOÓS T., 2000: Eltérő forrásból előállított digitális domborzatmodellek minőségvizsgálata. Diplomamunka. BME, Budapest,
KRAUS, K., 1998: Fotogrammetria, Tertia Kiadó, Budapest, p. 13,
SASS S., 1993: Műszaki leírás az MH TÉHI által előállított Digitális Domborzat Modellről, MH TÉHI, Budapest.