

A hadirégészeti kutatások térinformatikai alapjai, különös tekintettel Zrínyi-Újvár környezetének retrospektív térinformatikai modellezésére

Bevezetés

A történettudomány szempontjából lényeges földrajzi tényezők térinformatikai alapon történő elemzésének, a tárgyi leletek helyzete és környezete digitális modellezésének lehetősége a múlt század '90-es éveitől vált széleskörűen elérhetővé e terület kutatói számára.¹ A jelentős számítási és grafikai erőforrásigényeket kielégítő technikai eszközök terjedésével a térbeli sajátosságok vizsgálatával foglalkozó szak- és tudományterületeknek is foglalkozniuk kellett. A régészet hamar felismerte² a térinformatikában rejlő lehetőségeket, kiaknáztatta a technológiában rejlő robusztus adattárolási, adatfeldolgozási, elemzési, valamint változatos megjelenítési képességeket, felhasználta a térbeli vonatkozású jelenségek összefüggéseit a maguk összetettségében elemezni képes algoritmusokat és eszközöket.

A térinformatika mint a tér jellemző, meghatározó és lényeges alkotóelemeinek tulajdonságaival, kapcsolataik feltárásával, elemzésével foglalkozó interdiszciplináris tudomány és módszertan, számos tudomány- és szakterület fejlődéséhez járult és járul hozzá napjainkban is, az informatika és a földtudományok szintézisével pedig új fogalmak, módszerek megalkotását teszi lehetővé. Egyedülálló módon alkalmas a tér modellezésére, az ehhez szükséges összetevők komplex, analitikus meghatározására, valamint a helyhez köthető adatok gyűjtésének, kezelésének, feldolgozásának, elemzésének és megjelenítésének szerteágazó feladatrendszerével foglalkozó informatikai rendszerek kialakítására.

A következőkben a térinformatika jelenleg rendelkezésre álló eszközrendszerének alkalmazási lehetőségeit tekintjük át a régészeti kutatások, azon belül is a hadirégészet nézőpontjából, néhány konkrét alkalmazási példa révén. A számtalan felhasználási lehetőség közül különösen egy viszonylag ritkán alkalmazott módszerre, a retrospektív térinformatikai modellezésre hívjuk fel ezúttal a figyelmet, amely a hadirégészetben is jelentős haszonnal alkalmazható eljárás.

¹ Connolly–Lake 2006.

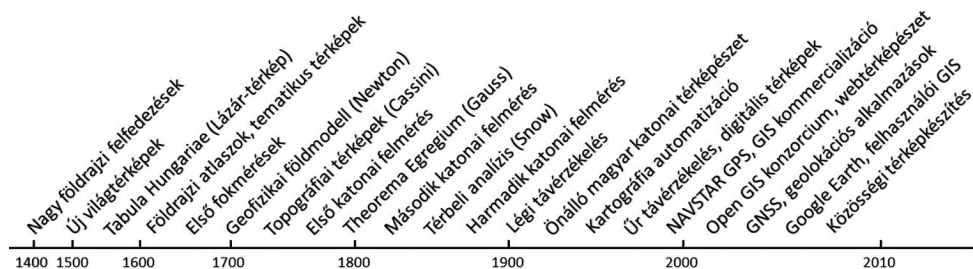
² Az első gyakorlati alkalmazási példák már az 1990-es évek elején megjelentek. Connolly–Lake 2006. 7–8.

A térinformatika eszköztára

A helyhez köthető, térbeli vonatkozású adatok gyűjtése, elemzése és megjelenítése már a térinformatika megjelenése előtt magas színvonalon, kiterjedt eszköz- és eljárásrendszerrel művelt tevékenység volt. A klasszikus térképészeti eljárások és a kartográfia eszköztára mindig az adott kor tudományos és szakmai igényeihez igazodva biztosította a térbeli navigációs, tervezési, szervezési, vezetési és irányítási feladatok végrehajtásához szükséges feltételeket, megfigyelve a szemléltetés, a térbeli adatkommunikáció igényeinek, avagy szakértői rendszerek részeként együttműködve.

A térképalkotás mint az emberi fajra egyedülállóan jellemző, fejlett absztrakciós képesség, első megnyilvánulásai a korai civilizációk kialakulásával egyidős. A térképek nem pusztán a tájékozódást és a nevezetes helyek azonosítását tették – és teszik ma is – lehetővé, hanem a földrajzi térhez kötődő strukturált térbeli gondolkodást, a térbeli vonatkozású döntések meghozatalának képességét.

A térképi ábrázolások történeti fejlődésében számos meghatározó jelentőségű technológiai mérőföldkő mellett vezetett az út a mezopotámiai agyagtáblákra rótt kifejezőmódtól a modern kori térképészetre jellemző megjelenítési technikák kialakulásáig (1. kép). Jóllehet a görbült térfelszín síkvetületi ábrázolása, a dinamikus változó jelenségek vagy akár a domborzati viszonyok kifejezése is csak bizonyos engedmények árán oldható meg a hagyományos ábrázolási megoldásokkal, mindazonáltal a kartográfia folyamatosan finomodó eszköztára évszázadokon át megfelelően bizonyult a földrajzi tér lényegi sajátosságainak, legfontosabb tényezőinek mérhető, kiértékelhető és elemezhető visszaadására.



1. kép

Jelentősebb mérőföldkövek a térképészet és a térinformatika történeti fejlődésében

Forrás: a szerző saját szerkesztése

A XX. század második felében kibontakozó információs forradalom az infokommunikációs technológiák és a digitalizáció kialakulásával, majd később a hálózatos információ-megosztás megjelenésével a lényeges emberi tevékenységek minden területét átformálta, de legalábbis jelentős mértékben hatott rá. Viszonylag rövid idő alatt alapvető változások jelentkeztek az információ feldolgozása, tárolása és megosztása terén, amelyek az emberi civilizáció fejlődésében egy újabb korszakhatár formálásával az információs társadalom kialakulását eredményezték. E társadalomtípus felépítésére jellemző, hogy minden lényeges összetevőjét (termelés, gazdálkodás, kereskedelem, politikai szerveződés, államigazgatás, kommunikáció, kultúra stb.) átszövi és meghatározza az információ jelentősége, az infor-

mációtechnológia központi szerepe, az információkhoz való közvetlen és gyors hozzájutás, s végeredményben a tőlük való igen erőteljes függés.

Az információs forradalom természetszerűleg hatást gyakorolt a *kartográfiai kommunikáció*³ fejlődésére is. A legutóbbi ezredfordulóra nyilvánvalóvá vált, hogy a digitális korszakban az analóg, papíralapú, hagyományos térképek, statikus információhordozó jellegüknel fogva nem lesznek képesek az exponenciálisan növekvő információmennyiséggel és a dinamikusan változó környezetben felmerülő kihívásoknak megfelelni. Úgy tűnt, hogy a térbeli információk korszerű kezelésében a *digitális térképek* jelentik a megoldást, ám e fogalom számtalan igen eltérő gyakorlati értelmezést nyert annak függvényében, hogy mely szakértői rendszer részeként hozták létre. A földrajzi tér digitális modellezése során különböző fejlődési ágak keletkeztek, amelyek a térinformatika egységes rendszerelméletében összefonódva nyertek és nyernek napjainkban is új, integratív értelmezést.

A földrajzi tér védelmi célú modellalkotásának első képviselői a *digitális domborzatmodellek*⁴ voltak. Létjogosultságuk a földfelszín követésére alkalmas, manőverező robotrepülőgépek megjelenésével növekedett meg az 1970-es évektől kezdődően, később pedig egyre szélesebb körben alkalmazták őket a földfelszíni rádiójel-sugárzások hullámterjedési viszonyainak vizsgálatánál,⁵ majd más domborzati elemzésekénél is. A digitális domborzatmodellek minden tereppel kapcsolatos védelmi célú feladatban kiemelkedő jelentőséggel bírnak, legyen szó terepjárhatósági vizsgálatokról, vízzel történő elárasztások modellezési feladatairól, szárazföldi célpontok megsemmisítésének szimulációjáról, a híradási összeköttetések megtervezéséről, a rádióelektronikai harc (felderítés, zavarás) sugárzási modellezéséről az ABC-fegyverek hatásfokelemzési és a szennyező anyagok terjedési vizsgálataiban.

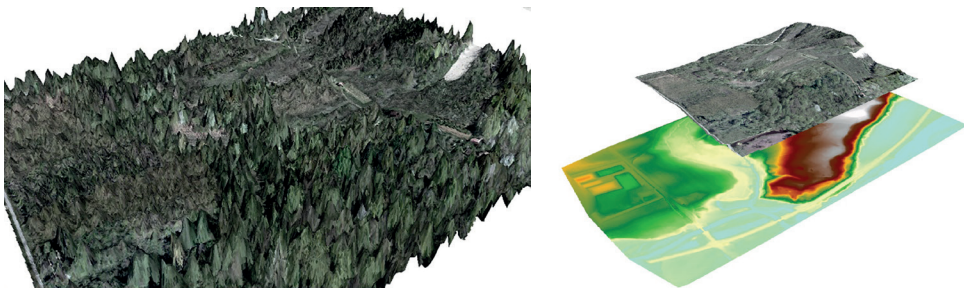
A *digitális felszínmodell*⁶ a domborzatmodell egy fejlettebb változata, már nemcsak a terep tagoltságát, hanem annak fedettségét is jó közelítéssel adja meg, vagyis a geomorfológiai alakzatok mellett a földfelszínen megtalálható minden lényeges és állandó jellegű tereptárgy függőleges kiterjedésének adatait. A digitális felszínmodellek kiterjesztik a digitális domborzatmodell elemzési lehetőségeit a terep optikai megfigyelésének valós viszonyai és a terepjárhatóság egyéb akadályozó tényezői figyelembevételével, továbbá lehetővé teszik az optikai mellett az egyéb elektromágneses összelátást befolyásoló terepi tényezők vizsgálatát. A digitális felszínmodellek a terepről készített nagy felbontású digitális képanyagok tartalmának és a tereptárgyak valós felszíni formáinak kombinálásával a terep háromdimenziós, valóságghű megjelenítését biztosítják (2. kép).

³ Klinghammer 1991.

⁴ Hazai szakterületen alkalmazott rövidítése a DDM, ugyanakkor a nemzetközi terminológiában a *Digital Elevation Model (DEM)*, azaz digitális magasságmodell szakkifejezés használatos. Érdemes itt kitérni a *Digital Terrain Model (DTM)* kifejezésre is, mivel nyersfordításban megtévesztő lehet alkalmazása a hazai szakterületen, ahol a terep és az az alapján létrehozott terepmodell alatt a földfelszínt a rajta lévő természetes és mesterséges tereptárgyakkal együtt kell érteni. A DTM esetében legfeljebb annyira különbség jelentkezik a digitális magasságmodellhez képest, hogy abban megtalálhatók a domborzat jellemző idomvonalai is (vízválasztók, vízgyűjtők, tereplépcsők, inflexiós pontok és vonalak), amelyek különösen a terep járhatósági viszonyainak (*Cross Country Movement – CCM*) vizsgálataiban kapnak nagy jelentőséget.

⁵ Magyarországon a Posta Kísérleti Intézet (PKI) hozta létre az első országos digitális terepmodellet az 1970-es években DTM-200 néven a távközlési tervezések számára (Horváth 2009.).

⁶ A nemzetközi terminológiában alkalmazott kifejezése és rövidítése: *Digital Surface Model (DSM)*.



2. kép

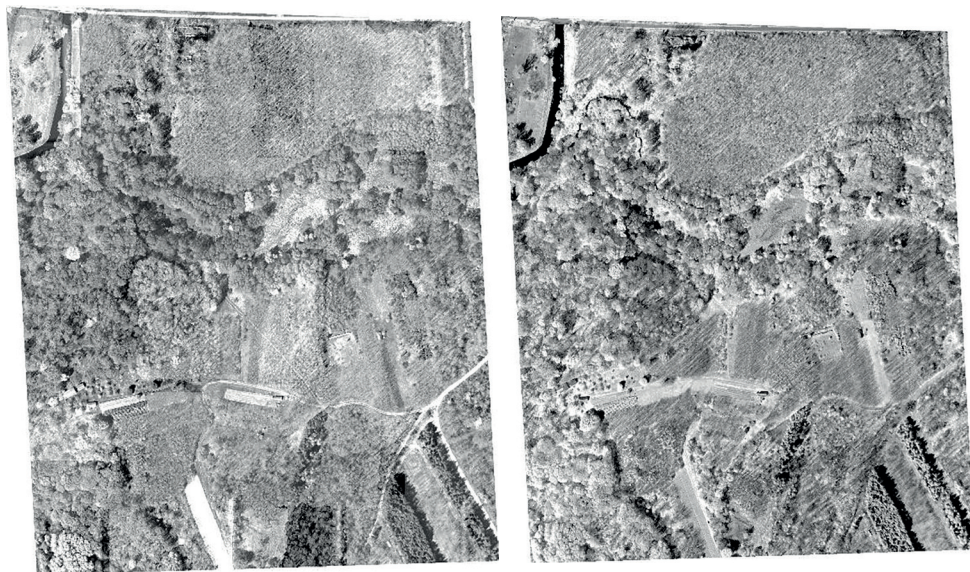
*Azonos terepszakaszh digitális modellezése a valós felszín és a domborzat magasságadatai alapján
Zrínyi-Újvár kutatási területén*

*Forrás: a Károly Róbert Főiskola Távérzékelési és Vidékfejlesztési Kutatóintézetének 2013. évi LIDAR-fel-
mérési adatai alapján a szerző saját szerkesztése*

A digitális felszínmodellek kialakításánál az egyik legnagyobb kihívást a tereptárgyak változékonysága jelenti. A digitális domborzatmodelleknél ilyen jellegű problémába azért nem ütközünk, mivel a domborzat a terep legállandóbb eleme. A tereptárgyak jelentős része ugyanakkor különböző mértékű változásokon megy keresztül az idő múlásával. Ezek a változások megkövetelik a digitális felszínmodellek időről időre történő aktualizálását annak érdekében, hogy a védelmi célú felhasználás során a terep valós összetevőiről szerezzünk ismereteket.

A virtuális terep megalkotásának másik lényeges összetevőjét a különböző, nagy felbontású *digitális képanyagok* jelentik, amelyek alatt a távérzékelés korszerű eszköztárával létrehozott *raszteres térképi adatállományokat*⁷ értjük a térinformatikában. A távérzékelési adatállományok a gyakorlatban jellemzően különböző digitális légi fényképek, úrfelvételek, LIDAR, SAR és egyéb radarfelvételek formájában jelennek meg. A leképzési hullámtartomány szélességének és összetettségének (infra-, multi- és hiperspektrális felvételezések) megváltoztatásával a földrajzi tér rejtett sajátosságai is kimutathatóvá válnak (3. kép).

⁷ A digitális térképészeti adatbázisok meghatározó összetevői, amelyek a földfelszín jellemző sajátosságait rácshálós modellszerkezetben rögzítik. A rácshálózat geometriáját illetően leggyakrabban négyzetrácsos szerkezetű, raszteres adatmodellekkel találkozhatunk a térinformatikai rendszerekben, de léteznek ettől eltérő alakzatú tesszelációs rácsmodellek is. A rácselemek egy meghatározott pontja képviseli a terep adott rácselemre jellemző sajátosságait, a rácselemek összességéből kialakított rácsszerkezetet és adatkomplexum pedig maga a raszteres adatállomány. Ha ez az adatállomány képi adatokat tartalmaz, akkor a rácselemek az adott raszteres digitális kép pixelei, azaz elemi képpontjai.



3. kép

Zrínyi-Újvár feltárási területének pankromatikus és közeli infravörös (NIR) tartományú légi felvételei.

Megjegyzés: Az infravörös fény kevésbé szóródik a levegő páratartalma hatására, így a terepfelszín egyes leképeződései jóval élesebben jelennek meg. Különösen a vízfelületek beazonosítása könnyebb.

Forrás: a Károly Róbert Főiskola Távérzékelési és Vidékfejlesztési Kutatóintézet Leica RCD30 típusú, 60 megapixel felbontású mérőkameraképei alapján szerkesztette a szerző

A színes és multispektrális műholdas felvételek néhány méteres felbontása a nagyobb térségek általános vizsgálatánál, illetve bizonyos földrajzi tényezők parciális vizsgálatánál előnyös. A pankromatikus műholdfelvételek a jelenlegi technikai fejlettség mellett már méter alatti felbontással képesek megjeleníteni a földfelszín, ami topográfiai szempontból elégséges a közepes és nagy felszínalakítási formák vizsgálatához.⁸ A régészeti kutatásoknál ugyanakkor nagy hangsúlyt kap a felszín mikrodomborzatának tanulmányozása. A részben vagy teljesen a föld alatt elhelyezkedő objektumok alakitási sajátosságainak felderítésében a néhány centiméteres magasságkülönbségek kimutathatóságának is szerepe lehet, ha ez jelentősebb méretű alakzatoknál összefüggő jelleget mutat. A részletes geomorfológiai vizsgálatoknál éppen ezért a légi távérzékelés, azon belül is a mikrodomborzat sajátosságainak feltárását lehetővé tevő LIDAR-technológia biztosít kielégítő adatgyűjtési feltételeket.

A műholdas távérzékelés előnye ugyanakkor a viszonylag gyakori mintavételezés biztosítása, vagyis azonos területekről több, eltérő időpontban készült felvétel is rendelkezésre áll. A műholdas technológia költséghatékonyságának növekedésével egyenes arányban megnőtt a Föld körüli távérzékelési műholdak száma is. A műholdas képadatok előállításában érdekelt nagy kereskedelmi cégek jelenlegi fejlesztési irányvonalai a hetente vagy akár

⁸ A jelenleg élenjáró kereskedelmi távérzékelési adatszolgáltatók (Airbus Defense and Space – www.intelligence-airbusds.com; DigitalGlobe – www.digitalglobe.com; SI Imaging Services – www.si-imaging.com; SpaceWill – en.spacewillinfo.com) által 2019 első felében közzétett műszaki adatok alapján.

naponta frissülő, a Föld teljes felszínét lefedő műholdkép-szolgáltatás lehetőségének irányába mutatnak. A földrajzi tényezők változásainak követése, a trendek és folyamatok meghatározása, mint azt a későbbiekben látni fogjuk, a térinformatika egyik fő kérdése.

Fontos tudni azonban, hogy a különböző képfelvételvezérlési eljárások eredményeként közvetlenül létrejött nyers adatállományokat összetett *képfeldolgozási eljárások* alá kell vetni annak érdekében, hogy rendelkezzenek mindazon radiometriai és geometriai jellemzőkkel, amelyek további térinformatikai célú felhasználásukat lehetővé teszik. A képkorrekciókkal módosított távérzékelési adatállományokhoz digitális környezetben jellemzően valamely georeferált, szabványos raszteres képformátumban juthatnak hozzá a felhasználók, de természetesen hagyományos kialakítású (papíralapú) ortofotótérképek kialakítására is lehetőség van.

Az eddigiekben felsorolt térinformatikai adatmodelltípusok a földrajzi tényezők (természeti, társadalmi, gazdasági, védelmi stb.) tárgyilagos és hiteles értékelhetősége szempontjából alapvetőnek mondhatók, ugyanakkor korántsem elégségesek. A teljes körű, minden lényeges földrajzi tényezőt figyelembe vevő, összetett térbeli elemzésekhez a földrajzi teret magasabb fokú absztrakcióval kell megfogalmazni. Ez a térinformatikai modellalkotás folyamatán keresztül valósítható meg, ahol előbb a földrajzi tényezők elméleti, majd logikai, végül fizikai modelljét kell megalkotni. Az e folyamat eredményeként létrejövő modell a földrajzi tér egyszerűsített, elvonatkoztatott mása, amely a térinformatika eszközrendszere révén alkalmas a térbeli folyamatok és jelenségek meghatározó, jellemző tulajdonságainak kiemelésére.

Az elméleti modell megalkotása a leképezés alapegységének, az entitásnak a meghatározásával kezdődik. Ez magában foglalja az entitás geometriai (méret, helyzet) és leíró (attribútum) tulajdonságait, valamint kapcsolatait és az azonos jellegű entítások osztályozási lehetőségeit. A modellalkotás során a kielégítendő feltételek közé tartoznak egyebek mellett az egyidejűség, az egyértelműség, a szükséges részletesség, a helyzeti pontosság, a valóságnak való megfelelés, az aktualitás, valamint a kompatibilitás és a jogosultságok kezelésének kritériumai.

A térinformatikai modellalkotás során a tér absztrakt általánosítása kiterjed a térbeli dimenziókra is. Miközben a logikai modellben szereplő entítások, objektumok pontos helyzete a modellezés mélységének megfelelően jól meghatározott, azok reprezentációja dimenzióvesztéssel jár. A térbeli modellezés során így 2, 2 + 1 vagy akár 2,5 dimenziójú modellek is kialakíthatók.⁹

A különféle térinformatikai modellek alkalmazása elsősorban a soktényezős, földrajzi vonatkozású, összetett rendszerek működési mechanizmusainak feltárásában, elemzésében, a rendszerösszetevők kölcsönhatásainak vizsgálatában célszerű. Maga a modellalkotás ugyanakkor hosszadalmas és költséges folyamat, jóllehet a már kész modellek a döntéshozatali folyamatokat – az összetett elemzési műveletek jelentős mértékű felgyorsításával és komplexitástűrőjük fokozásával – költséghatékonnyá és lényegesen operatívabbá tehetik a hagyományos módszerekhez képest. A feltételes mód itt különösen indokolt, mivel a fenti feltételek alapja a modell megfeleltetése. Minden szempontból kielégítő modellt alkotni ugyanakkor nem lehet, hiszen maga a modell is absztrakció eredménye, a valóság elvonatkoztatott, tipizált és általánosított mása. A térinformatikai modell alkalmasságát

⁹ Detrekői-Szabó 2013.

végző soron az elemzési eredmények megfelelősége határozza meg, amelynek növelése a modellalkotás egyik alapvető kritériuma.

Az eddigiek alapján megállapítható, hogy a térinformatika meglehetősen gazdag eszköztárral rendelkezik az alkalmazott tudományok kérdései megválaszolásában. E kérdések értelemszerűen a vizsgált térral kapcsolatosak, és a szakterület jelen álláspontja szerint¹⁰ öt főbb kérdéscsoportba sorolhatók:

1. a helyre (mi található egy adott ponton);
2. az állapotra és körülményekre (hol található egy bizonyos dolog, hol teljesül egy bizonyos feltétel);
3. a változásokra, fejlődési irányvonalakra és folyamatokra (mi változott meg, milyen mértékben, milyen kölcsönhatásokkal);
4. az eloszlásra és mintázatokra (milyen összefüggések léteznek térben változó eloszlású/mintázatú jelenségek, illetve egyedek csoportjai között) vonatkozó alapkérdések;
5. a térben és időben zajló folyamatok modellezésére, ami a folyamatok valódi okainak és lehetséges lefolyásainak megértését, következményeinek feltárását teszi lehetővé.

A térinformatikai elemzések közegeiben a digitális térkép fogalma alatt jellemzően nem a hagyományos papírtérkép digitális másolatát értjük, hanem a földrajzi teret modellező digitális térképészeti adatbázisok grafikus reprezentációját, illetve az ezt lehetővé tevő digitális adatállományt. A digitális térképeket a hagyományos (analóg) térképektől megkülönböztető lényeges tulajdonságjegyek ennek megfelelően a következők:

- a földrajzi tér jellemző adatai, beleértve, hogy az alkalmazott vonatkozási rendszerek (geodéziai alapfelület, magassági alapszint, vetületi rendszer, koordináta-rendszer) és a megjelenítés elkülönülnek, ezen adatokat már nem a megjelenítés hordozza;
- a megjelenítés méretaránya helyett az adatsűrűség és az entitások definiálásának szintje válik meghatározóvá;
- a megjelenítés felülnézeti és vetületi ábrázolása már nem alapkövetelmény, az ábrázolás során mind a nézőpont helyzete, mind a leképzési felület sajátosságai dinamikusan változtathatók.

A digitális térképek esetében az adatok strukturált módon, jellemzően digitális adatbázisban tárolódnak, míg a megjelenítés különféle lekérdezési, elemzési eszközök és módszerek révén dinamikusan alakítható ki. Ezzel szemben a hagyományos (analóg) térképek a térképi adatok tárolását és reprezentációját azonos felületen, a térkép hordozóanyagán, statikus módon valósítják meg. A digitális térképek formátumukat illetően lehetnek raszteres, vektoros és hibrid jellegűek. A digitális térképészetben és a térinformatikában gyakorlati alkalmazhatóságukat adatcsereszabványok teszik lehetővé.

¹⁰ Detrekői–Szabó 2013.

A térinformatika hadirégészeti célú felhasználása

A térbeli jelenségekkel, földrajzi tényezőkkel foglalkozó szaktudományok mindegyike igényli a pontos és hatékony téradatkezelési megoldásokat. Meghatározó kritérium ezekkel szemben a különféle levéltári kutatásokból és a terepi feltárásokból származó nagy mennyiségű, változatos formátumú, térbeli vonatkozású adat egységes szerkezetben történő, elemzésekre kész kezelésének lehetősége. Fontos szempont továbbá a megbízható archíválóképesség, amely a hagyományos adattároló és kezelő rendszerekhez képest nemcsak magasabb fokú adatbiztonságot, de az adatok gyors lekérdezését és összegzéseket, elemzéseket végrehajtását is lehetővé teszi. Mindezen feltételeknek a mai modern informatikai megoldások eleget tudnak tenni.

A térinformatika eszköztárának bevonása a hadirégészeti kutatásokba számos előnyös tulajdonsága miatt különösen indokolt. Ezek közül mindenképpen kiemelendő a térbeli adatok digitalizálásából eredő többcélú és rugalmas felhasználhatóság, a nagy mennyiségű terepi adat hatékony feldolgozásának és kezelésének képessége. Ez a flexibilitás teszi lehetővé a térbeli modellezés számos összetett elemzési műveletének hatékony elvégzését, amelyeket hagyományos térképészeti módszerekkel nem, vagy csak hosszadalmas szerkesztési és számítási eljárásokkal lehetett korábban kivitelezni. A kiindulási paraméterek és környezeti változók variálása minden korábnál összetettebb modellezési eljárások elvégzését teszi lehetővé.

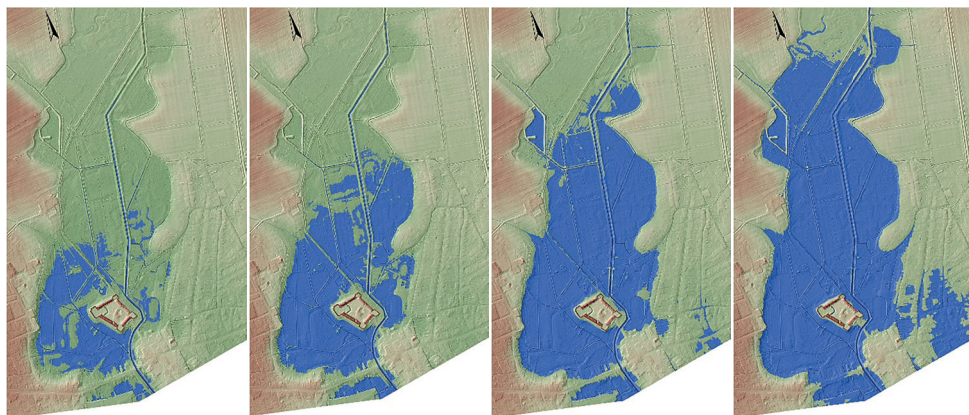
A régészeti feltárások során keletkező hatalmas adatmennyiség kezelésének problémaköre nem elhanyagolható. Az adatrögzítés és -tárolás egységes és könnyen kezelhető módzataira a számítógépes feldolgozás számos hatékony megoldást nyújt.¹¹ A térinformatika mindazonáltal nem pusztán a régészeti feltárások adathalmazának dokumentálásában jelent támogatást, hanem az adatok térbeli elemzése révén bonyolult összefüggések megvilágításában, részletes értékelések végrehajtásában is. Az információs technológia intenzív fejlődése, az egyre nagyobb tudású eszközök elérhetősége új vizsgálati szempontok, elemzési lehetőségek megjelenéséhez vezetett, mint például:

- régészeti feltárások során a vizsgált objektumok alakjelző pontjainak részletes és pontos térbeli meghatározása;
- tömegesen előforduló leletek helyadatainak gyors rögzítése és hatékony kezelése;
- pontok, vonalak (határvonalak, irányok stb.), területek terepi kitűzése;
- jelentősebb mélyedések, vízgyűjtők befogadóképességének, illetve műszaki munkálatoknál a kitermelt földtömeg térfogatszámítása;
- a terep domborzatának és a főbb tereptárgyak részletes felmérése, valamint ez alapján részletes terepmodell megalkotása;
- a terepmodell alapján terepi pontok összeláthatóságának, területek beláthatóságának, a felszíni vizek mozgásának, a lejtőkitettségi állapotoknak és az eróziós folyamatoknak a vizsgálata;
- régészeti feltárások szempontjából fontos területek kijelölése és a terepi munkálatok előkészítésének tervezése.

¹¹ Eke-Frankovics-Kvassay 2007.

Túlzás nélkül állítható, hogy a térinformatika eszköztára nemcsak a közvetlen (terepi) és közvetett (levéltári) adatgyűjtés, feldolgozás és megjelenítés módozataiban jelent minőségi előrelépést a régészek számára, de egyúttal hatást gyakorol a földrajzi térrel kapcsolatos gondolkodásmódjukra is, s ebben az értelemben inkább tekinthető tudományos módszertannak, mint pusztán technológiai eszköznek.

A hadirégészet hazai első alkalmazási példái közül említést érdemel a Magyar Királyi Honvédség védelmi feladataihoz a második világháború időszakában kiépített nagy erődrendszerek (a Keleti-Kárpátokban húzódó Árpád-vonal¹² és a főváros keleti oldalán kialakított Attila-vonal¹³) térinformatikai eszközökkel történő rekonstrukciója; a Gönyűnél 1849-ben elsüllyesztett osztrák uszály bűvárrégészeti feltárásánál alkalmazott különleges adatgyűjtési módszer,¹⁴ Szigetvár vára környezetének térinformatikai alapú vizsgálatai (4. kép) és nem utolsósorban a költő-hadvezér Zrínyi Miklós által a Mura–Dráva összefolyása közelében felépíttetett, és jelen gyűjteményes kötet fő témáját adó erődítmény területén végzett feltárási-rekonstrukciós¹⁵ munkák térinformatikai támogatása.



4. kép

A Szigetvár vára előterének elárasztási modellezése során készített animáció néhány fázisképe

Forrás: a Károly Róbert Főiskola Távérzékelési és Vidékfejlesztési Kutatóintézet légi lézerszkennelési (LIDAR) adatai alapján készítette a szerző

A hadirégészeti kutatásokban az előzőekben ismertetett térinformatikai munkafolyamat minden összetevője megjelenik. Ezeket néhány konkrét gyakorlati példán, mindenekelőtt Zrínyi-Újvár hadirégészeti kutatásaiban alkalmazott eszközökön és módszereken keresztül világítjuk meg a következőkben.

¹² Szabó 2005.

¹³ Juhász–Mihályi 2003. 33–37.

¹⁴ Polgár–Schmidtmayer 2013. 167–176.

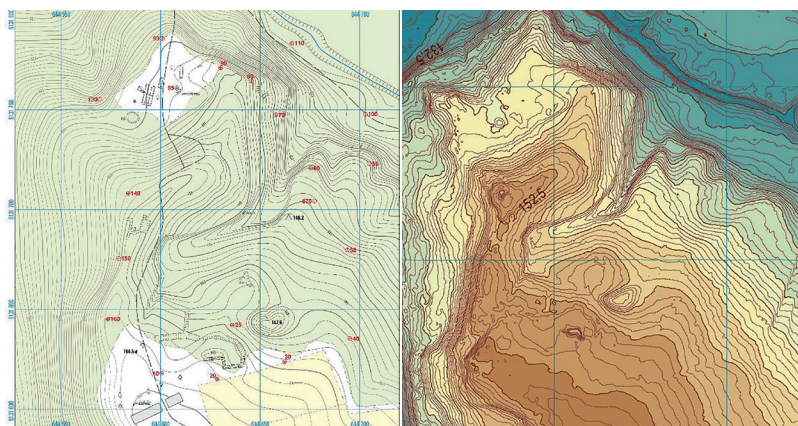
¹⁵ Hausner–Négyesi–Padányi 2012. 189–218.

Térbeli adatgyűjtés

A térinformatikai célú adatgyűjtés magában foglalja a földrajzi tér mindazon sajátosságainak meghatározását, amelyek a modellalkotás, majd a későbbi térinformatikai elemzések, illetve a releváns földrajzi tényezők megjelenítése céljából fontosak lehetnek. A térbeli adatgyűjtés meglehetősen komplex eljárásrendszer, de két fő típusa szerint jól megkülönböztethető.

Az első típusba a közvetlen, avagy *elsődleges térinformatikai adatnyerési módszerek* tartoznak, amelyek alkalmazása elsősorban akkor kerül előtérbe, amikor a megismerés tárgyáról, azaz a feltárni kívánt környezetről nem, vagy csak nagyon kevés kiinduló térképészeti adattal rendelkezünk, illetve ezen adatok megbízhatósága – elavultságuk, illetve a megelőző adatgyűjtés ismert pontatlanságai miatt – csekély. Ilyen esetekben célszerű olyan elsődleges adatgyűjtési módszert, illetve eszközöket választani, amelyek a vizsgálati szempontokhoz leginkább megfelelő adatokat biztosítják.

A közvetlen adatnyerési módszerek jellemzően technológiaigényes, következésképpen meglehetősen költséges eljárások, az adatgyűjtés ezen módja igényli a legtöbb korszerű technikai eszközt. A nem megfelelő eljárások alkalmazásával jelentős mennyiségű szükségtelen, avagy *redundáns adat* keletkezhet, amelyek a későbbi elemzések során hasznos eredményt nem biztosítanak, sőt éppen ellenkezőleg, az adatfeldolgozás kapacitásigényének növelésével hátráltatják az elemzési munkafolyamatok operativitását. Tekintettel az elsődleges adatgyűjtési eljárások költségigényességére, különösen fontos a hadirégészeti feltárásoknál a kutatási hipotézisek egyértelmű és világos megfogalmazása, az átgondolt tervezés és előkészítés.



5. kép

Zrínyi-Újvár feltárásának hagyományos terepi és LIDAR-technológián¹⁶ alapuló légi távérzékelési felmérési eljárásainak eredményei

Forrás: a szerző saját szerkesztése

¹⁶ *Light Detection and Ranging*, magyarul lézeralapú távérzékelés, avagy lézerszkennelés. Működési alapelve a lézersugarak koncentrált és egységes hullámhosszú jellegéből fakad, amely kiválóan alkalmas a kibocsátó eszköz és a letapogatni kívánt szilárd felület közötti pásztázó jellegű távolságmérésre, következésképpen a felület relatív magasságkülönbségeinek meghatározására. A LIDAR-technológia előnyösen alkalmazható a térinformatikai adatgyűjtésben tagolt terepszakaszok gyors feltérképezésére, különösen, ha azok fedett jellegűek.

Az elsődleges térinformatikai adatgyűjtés eszközeinek széles tárháza áll a hadirégészet rendelkezésére. Ezek jellemzően geodéziai mérőállomások, GNNS-alapú¹⁷ mérőeszközök, normál, spektrális és multispektrális képi adatrögzítők, lézeres (LIDAR) és rádióhullámú (SAR¹⁸) letapogató eszközök, valamint a mobil térképező rendszerek lehetnek, amelyek jelentősen eltérő feltétel- és követelményrendszerekkel, operativitással és pontossággal üzemeltethetők, továbbá eredményeik is számottevő mértékben térhetnek el egymástól. A megfelelő eszköz kiválasztása a feladat jellegétől, a rendelkezésre álló feltételrendszerrel, környezettől és időtől függ. Általánosságban elmondható, hogy egy adott időegység alatt a legtöbb és legváltozatosabb térbeli adatot a távérzékelési technológiák biztosítják, amelyek szükség szerint kombinálhatók és kiegészíthetők földi felmérési eljárásokkal. Számolni kell ugyanakkor a távérzékelési eszközök jelentős költségvonatával és a légi távérzékelésre alkalmas idő- és napszakok, illetve egyéb korlátozó (például időjárási) tényezők hatásával, légtérhasználati tilalmakkal.

A közvetett, avagy *másodlagos térinformatikai adatnyerési módszerek* a fentiekkel szemben mellőzik a térbeli adatok közvetett gyűjtését, aminek alapvetően két oka lehet. Egyrészt nem állnak fenn az elsődleges adatgyűjtéshez szükséges eszközök alkalmazási feltételei, ugyanakkor az adott területről kellő mennyiségű és minőségű térkép, földrajzi adat áll rendelkezésre, másrészt a földrajzi adatgyűjtés retrospektív jellegű, tehát környezeti sajátosságok múltbeli kifejeződései képezik a vizsgálat tárgyát.

A másodlagos módszerek költséghatékonyak, megfelelő térképi alapanyagok mellett könnyen automatizálhatók, azonban pontosságuk és hitelességük a forrásadatok minőségétől függ. Nem elhanyagolható problémát jelent a hagyományos térképi ábrázolásoknál alkalmazott kartográfiai megoldások megfeleltetése a térinformatika elméleti adatmodelljének entitásaival és a köztük kialakuló kapcsolatokkal. Ennek egyik jellemző esete a vízi átkelések megjelenítése. A hagyományos térképi ábrázolásoknál a térképolvasó még akkor is értelmezni tudja e két topográfiai elem (vízfolyás és terepfelszíni út) közötti kapcsolatot, ha az nem kap megfelelő grafikus kifejezést (híd, alagút, komp, gázló stb.). Ezzel szemben a térinformatikai adatbázisban a két entitás között csak akkor jön létre későbbi elemzésekre is alkalmas logikai kapcsolat (és ezzel egy újabb entitás, amelyhez attribútumadatok rendelhetők), ha az adatbázis topológiája ezt a kapcsolódást tartalmazza. A hagyományos térképi vonalas ábrázolások egyszerű vektorgrafikus átalakítása – amelynek eredményét találón spagettimodellnek nevezzük – ezért alkalmatlan összetett térinformatikai elemzések alapjául szolgálni.

A hadirégészeti kutatások téradatigényeinek kielégítése jellemzően közvetett térinformatikai adatnyerési módszerekkel kezdődik, amelyek során a rendelkezésre álló archív adatok kiválogatása, majd ezek digitalizálása zajlik. A felhasznált alapanyagok jellemzően korabeli térképek vagy egyéb térképszerű ábrázolások, vázlatok lehetnek, amelyeket megfelelő forráskritikával kell kezelni. A nagy méretarányú térképi ábrázolásoknál a XVIII. századig nem alkalmaztak vetületi korrekciókat, így a térképek különböző mértékű geometriai

¹⁷ *Global Navigation Satellite System*, magyarul globális műholdas navigációs rendszer, amely a mesterséges holdakra épülő helymeghatározó rendszerek összességére alkalmazott gyűjtőfogalom.

¹⁸ *Synthetic Aperture Radar*, magyarul szintetikus apertúrájú rádióérzékelés és távmérés. Működési alapelve a radar érzékelőeszközök és a letapogatóni kívánt felület (földfelszín) relatív helyzetére épül. A SAR-alapú rádiós távérzékelés során a megfigyelt terepszakaszk képe több érzékelő jeleiből vagy mindössze egy, de mozgásban lévő érzékelő jeleiből tevődik össze.

torzulásokkal terheltek. Ezek nem szabályosan oszlanak el a térkép tartalmában, helyenként még a szomszédos térképszelvények tartalmi illeszkedése sem pontos (6. kép).

Jellemző hadmérnöki gyakorlat volt ezekben az időkben az ütközetek, csaták helyszínének – különösen, ha ezek erődítményekkel estek egybe – klinogonális (kavalier) vagy katonai perspektívában történő megjelenítése. Ha ez az axonometrikus ábrázolás szabályai szerint történt, akkor az ábrázolások síkvetületi átalakítása a másodlagos adatgyűjtés során megoldható. A kéziratos térképvázlatok jelentős részénél azonban ezekhez a szabályokhoz nem ragaszkodtak mereven, sőt még az erődítmény alakhelyes ábrázolására sem törekedtek. Ennek nyilvánvaló oka az volt, hogy nem minden ábrázolás alapult előzetes felmérésen, így a térképvázlat kialakításánál a szóban közölt adatokra, illetve a vázlatkészítő fantáziájára hagyatkoztak.



6. kép

Részlet az első katonai felmérés 1784-ben felmért IV-16, IV-17, V-22 és V-23 szelvényei csatlakozásáról és viszonyítása e terület mai műholdas leképeződéséhez¹⁹

Forrás: a szerző szerkesztése az első katonai felmérés – Magyar Királyság (DVD adathordozó, Arcanum, 2004. szeptember 30.) –, valamint műholdfelvétel alapján (ArcGIS Basemap Online)

¹⁹ Az első katonai felmérés térképészeti munkáinak sajátossága, hogy a térképszelvényeket vetületi rendszer és geodéziai számítások nélkül próbálták egymáshoz illeszteni, ami a térképi tartalom csatlakozásainál számottevő hibákat eredményezett. Ezen hibákat grafikus úton egyenlítették ki, ami a terep változásaival együtt igen nehézvé teszi az alapanyag georeferálását.

Adatok feldolgozása és elemzése

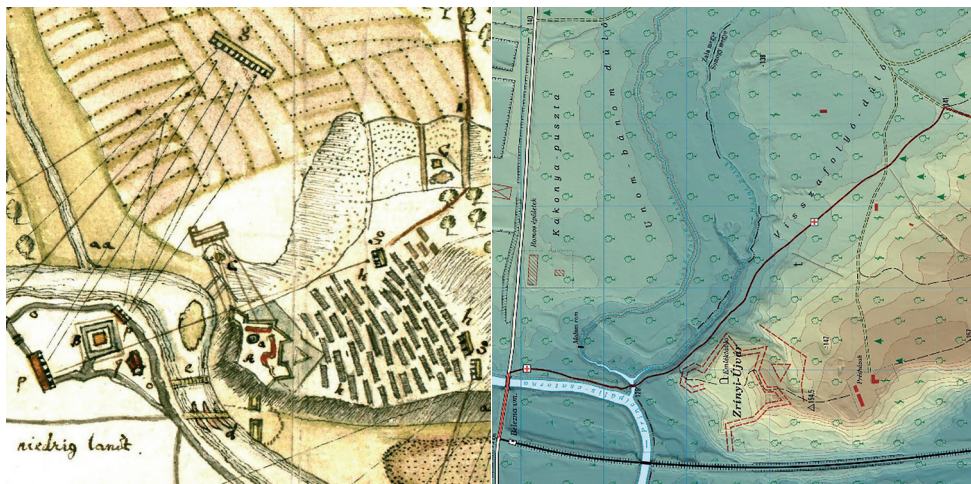
A hadirégészeti kutatások jellemzően másodlagos térinformatikai adatgyűjtéssel indulnak, amely során megfelelő szintű forráskritikával az összes rendelkezésre álló levéltári és állami alapadatot feldolgozzák. Zrínyi-Újvárról számos igen eltérő kialakítású és tartalmú hadmérnöki, illetve egyéb vázlat került elő az archívumokból. A vár rövid idejű fennállásának (1661–1664) köszönhetően viszonylag kevés hiteles mérnöki ábrázolás maradt fenn magáról az erődítményről. Ezek közül kidolgozottságát és részletességét illetően a gróf Esterházy Pál (1635–1713) irathagyatékában fellelt vázlat tűnt a legalkalmasabb alapanyagának (7. kép).

Az erődítmény szerkezeti sajátosságaiból adódóan, továbbá a felhasznált építőanyagok mállékonyasága, a vár elfoglalását követő teljes megsemmisülés, a későbbi mezőgazdasági művelések, valamint az 1950-es években ezen a helyszínen is kiépített védelmi célú erődítményrendszer kialakításával járó földmunkák miatt nem sok esély mutatkozott a várfalak konkrét nyomaira bukkanni. A vár feltárásánál így a közvetett csatatér-kutatási módszerek kerültek előtérbe, amelyek során nem magának a várnak, hanem az ostrom nyomainak felderítésével következtettünk a várfal meghatározó pontjainak helyzetére.²⁰

A másodlagos térinformatikai adatgyűjtéseknél felmerülő egyik meghatározó adatfeldolgozási feladat a digitalizált térbeli ábrázolások megfelelő vonatkozási rendszerbe helyezése, más néven *georeferálása*. A tereptárgyak geometriai sajátosságait (alakjelző pontjaikat, kiterjedésüket) a térinformatikai adatbázis minden esetben valamely ismert, matematikai szabályokra épülő térbeli referenciarendszer szerint határozza meg. A ma széles körben ismert és szabványos geometriai viszonyítási rendszerek ugyanakkor nem minden korban álltak rendelkezésre, így az időben visszafelé haladva egyre több geometriai szabálytalansággal lehet találkozni az adatok feldolgozása során. Megoldást a szabálytalan geometriai torzulások kiszűrésére – a már említett forráskritikán túl – a gyakran hosszadalmas feldolgozási eljárást igénylő egyedi transzformációs eljárások jelentenek.

A terep domborzatának részletes tanulmányozásához sem az elérhető legnagyobb méretarányú katonai (1:25 000), sem a polgári (1:10 000) topográfiai térképek nem voltak megfelelőek, így ezen alapanyagokat viszonylagos kis méretarányuk és elavult adattartalmuk miatt csak a terület áttekintésére lehetett felhasználni. A vár és előterének részletes modellezésére a 2006–2009 folyamán végrehajtott topogeodéziai felmérés adatai szolgáltak. Az adatok megbízhatóságát erőteljesen befolyásolták a felmérés körülményei, mint például a felmért terület erőteljes tagoltsága és fedettsége, a nyári időszakra szorító, kampányszerű egyhetes terepi munkák, a katonaitérképész-hallgatók bevonása nyári gyakorlat keretében. Mindezekkel együtt is a terepen állandósított 35 kisalappontról felmért terület nagysága 2009-re már meghaladta az 5 hektárt.

²⁰ Négyesi 2013. és Hausner–Négyesi–Padányi 2012. 189–218.

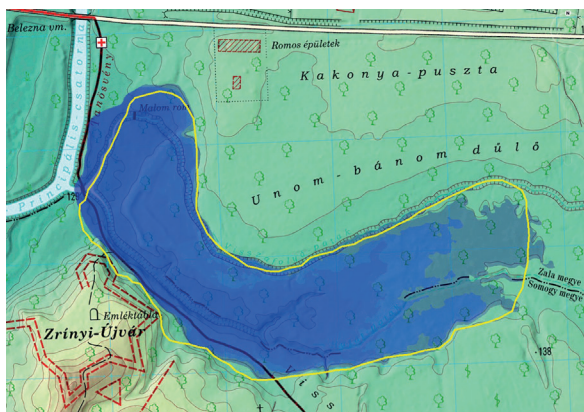


7. kép

Részlet Zrinyi-Újvár 1664-es ostromának vázlatából és az azonos terepszakaszhöz közvetlen terepi adatgyűjtéséből származó, 2014-ben készült térképéből

Forrás: M. I. O. mester (?) vázlata gróf Esterházy Pál (1635–1713) irathagyatékából (MNL OL T. 2 XXXII. téka, 1064), valamint a szerző saját szerkesztése

A terület további földi felvételezése azonban nem tűnt célravezetőnek. Mindinkább nyilvánvalóbbá vált, hogy a vízszintes mérési hibákat jelentősen meghaladó magassági hibák az addig alkalmazott eljárásokkal eredményesen már nem küszöbölhetők ki. A domborzat egységes és minimális torzulásokkal bíró felméréséhez pontosabb eljárást kellett találni.



8. kép

Az erődítményt északkelet felől védő, vízzel elárasztott terület kiterjedésének vizsgálata.

Megjegyzés: A sárga vonal az archív adatok alapján feltételezett határvonal, a kék folt kiterjedése domborzat-modellezés eredménye.

Forrás: a szerző saját szerkesztése

2013-ban lehetőség nyílt a LIDAR-technológia bevetésére Zrínyi-Újvár régészeti kutatásainak térinformatikai támogatásában. A terület lézeres szkennelése nemcsak egy összefüggő és az addiginál megbízhatóbb, pontosabb adatállományt eredményezett a terep domborzatáról, de lehetővé tette olyan részletes terepmodellezési feladatok végrehajtását is, amelyeket addig nem, vagy nem kellő megbízhatósággal tudtunk elvégezni. Ezek közül kiemelendő a vár északi és északkeleti előterében az ostrom előtt mesterségesen felduzzasztott tó kiterjedésének vizsgálata, amelynek eredményeként hiteles képet kaptunk az elárasztott terület nagyságáról, és a török ostromállások lehetséges elhelyezkedéséről is (8. kép). Hasonló elemzést folytattunk a vár ostromakor délkelet felől felvonuló török csapatok lövegeinek tűzhatáselemzésével kapcsolatban is.

A retrospektív térinformatikai modellezés lehetőségei a hadirégészetben

A térinformatika modellalkotási lehetőségei nemcsak a valós világ térbeliségére terjednek ki, hanem a negyedik dimenzióként meghatározott időre is. A földrajzi tényezők változásai és az ezekből lekövethető trendek, folyamatok a régészeti kutatások homlokterében állnak. Az idő kiemelt figyelembevétel a térinformatikai modellalkotásnál számos előnyös tulajdonsággal bír. Térbeli adatokhoz rendelt attribútumként tájékoztatást nyújt az adat frissességéről, illetve elavultságáról; lehetővé teszi a topológiai anomáliák feltárását azáltal, hogy az eltérő időreferenciájú, de területileg érintkező, illetve egymást átfedő térbeli adatbázisok tartalmi megfelelése ellenőrizhetővé válik; egyértelműen kimutathatóvá, vizsgálhatóvá és elemezhetővé teszi a térben és időben zajló dinamikus változásokat, folyamatokat.

A térinformatikai elemzések időtényezőre is kiterjedő alkalmazásai során leggyakrabban a *prediktív*, tehát az előrejelző avagy következtető analízisre találunk példákat. Az előrejelző elemzési módszer azon premisszából indul ki, hogy a múltban keletkezett térbeli vonatkozású adatok eloszlása – már ami földrajzi helyzetüket illeti – nem egyenletes, de még csak nem is véletlenszerű, hanem releváns földrajzi tényezők által meghatározott, s mint ilyen, alkalmasnak mutatkozik arra, hogy az eloszlás jövőbeni lehetséges mintázataira épülő következtetések, előrejelzések alapján az események előfordulása vagy megjelenésük valószínűsége megállapítható legyen.

A térben zajló események prediktív modellezésénél alapvetően két módszer áll rendelkezésre egy adott elem előfordulási valószínűségének megállapítására. Amennyiben rendelkezünk az adott elemet leíró minőségi jellemzőkkel, amelyek összeegyeztethetők a földrajzi tér tényezőinek pontos paramétereivel (lejtőszög, kitettség, fedettség, talajtípus stb.), úgy meghatározható (előrejelezhető) az adott elem elterjedési mintázata. Ez az úgynevezett deduktív modellezési eljárás, amely során alapvetően szubjektív minőségi értékelések helyeződnek előtérbe, így a helyes következtetések kialakítása érdekében az elemzések szakértői vonatkozása kiemelt jelentőséggel bír. A deduktív modellezési eljárással szemben az egyes elemek múltbéli előfordulásainak a földrajzi tényezőkkel fennálló, tapasztalati tényekre visszavezethető térbeli kapcsolatát vizsgáló módszer, az induktív

modellezés áll. A szakértő szubjektív értékelése helyett ennél a módszernél a statisztikai törvényszerűségekből levonható következtetések képezik a prediktív modellezés alapját.²¹

Mindkét módszer alkalmas arra, hogy a múltra vonatkozó adatokból előrejelezhető következtetéseket alakítsunk ki. Ugyanakkor nem minden esetben ez a cél, és a térinformatika régészeti célú alkalmazásában az időskálán éppen fordított irányban próbálunk távlatokat nyitni, azaz rekonstruálni a múltbéli eseményeket és a környezetet. A visszatekintő, azaz *retrospektív* térinformatikai modellezés célja a földrajzi környezet törvényszerű változásai alapján az adott időszakban rendelkezésre álló adatokból egy feltételezett kiinduló állapot rekonstruálása, továbbá egyéb vizsgált tényezőkkel kialakuló kölcsönhatásainak elemzése.

A retrospektív modellezés bemeneti adatai (a leletek minőségi és mennyiségi jellemzői, térbeli eloszlásuk és egymáshoz fűződő kapcsolataik), valamint a földrajzi környezet sajátosságai alapján a prediktív modellezési eljárásokhoz hasonlóan itt is alapvetően deduktív és induktív modellezési eljárásokkal lehet operálni.

A retrospektív modellezés során természetszerűleg a földrajzi környezet változásainak feltárása jelenti a legnagyobb kihívást. Zrínyi-Újvár esetében a várépítmény törökök általi, 1664. július 7-ei robbantásos pusztításának, majd az ezt követő három napon át tartó rombolásának eredményeként a vár és környezetének térfelszíne jelentősen megváltozott. A felszín további formálásában elsősorban a csapadék (kisebb mértékben a szél) okozta talajerózió vett részt, amely hatásoknak elsősorban a növényzettel nem borított talajfelület volt kitéve, amit a domborzati viszonyok (meredek lejtők) felerősítettek.

A Mura–Dráva összefolyás környéke hazánk csapadékosabb területei közé tartozik, a csapadékmennyiséget tekintve az országos éves átlagot rendre meghaladja. Természetesen megbízható adatokkal nem rendelkezünk az évszázadokkal korábban fennálló csapadékviszonyokról, de okkal feltételezhető, hogy a talajerózió – legalábbis kezdetben – meghatározó tényező volt a tájkép formálódásában. Ennek egyedül a terület intenzív szőlőművelés művelése vethetett véget, amely az első katonai felmérés által 1784-ben feltárt állapot szerint a lerombolt palánkvár kiszögelésétől D-DK-i irányban, a Mura mentén, egészen a Zákányhoz tartozó Látóhegyig húzódó magaslatra már jellemző volt. A későbbi korok térképein is a szőlőművelés jelei mutatkoznak, ami bizonyos fokig megőrizte a terepfelszín domborzati jellemzőit. Jelentősebb változást a terület művelésében a trianoni országhatár megjelenése jelentett. Ekkor kezdődött meg a terület művelésének leépülése, ami a második világháborút követően itt is létrehozott határvédelmi rendszer kiépülésével fokozódott. A szőlősorok helyét fokozatosan vadon növény erdő vette át. A felszín ezt követően jelentősebb mértékben nem változott.

A palánkvár falát, valamint az erődítmény külső és belső építményeinek nyomait több eszközzel is kutattuk (kutatóárkos feltárások, geoelektromos talajellenállás és földradaros felmérés), figyelembe véve a végső ütközet leleteredményeinek síkrajzi és a felszínhez képest mért elhelyezkedését. A kirakójáték egymástól távoli elemeinek összefűzésében a terepfelszín részletes domborzati képét feltáró LIDAR-felmérés eredményei segítettek.

²¹ Beauvais–Keinath et al. 2006. www.uwyo.edu/wyndd/_files/docs/reports/wynddreports/u06bea02wyus.pdf
(A letöltés dátuma: 2018. 12. 19.)

Összefoglalás

Az utóbbi két évtized információtechnológiai fejlődése a hadirégészeti kutatásokat sem hagyta érintetlenül. E fejlődés következménye, hogy sokkal több, részletesebb és szerteágazóbb adattal kell megbirkóznia a kutatóknak. Ezen adatok feldolgozásában az informatika kiforrott eljárásokat biztosít, a térbeli elemzések tekintetében pedig a földrajzi információs rendszerek nyújtanak hatékony támogatást az adatok gyűjtésétől és rendszerezésétől kezdve egészen a modellkörnyezet kiépítéséig és összetett értékelések, szimulációk lefolytatásáig.

A terep arculatának egy vagy több lehetséges változatának egy adott időszakhoz, vagy akár egy adott időponthoz igazodó kialakításában ma már széles körű technikai támogatottság áll rendelkezésre. A jelen adataiból a múltbéli állapotok visszaidézésében nagy segítséget nyújtanak a vizsgált terep domborzati, növényzeti, vízrajzi tényezőinek virtuális formálásához, átalakításához szükséges retrospektív modellezési eszközök, amelyek a szükséges földrajzi, geomorfológiai és topográfiai ismeretek révén a valóságoshoz közeli környezetet teremthetnek konkrét objektumok vagy események rekonstrukciójához.