

COMMUNICATIONES
ARCHÆOLOGICÆ
HUNGARIÆ

2017

Magyar Nemzeti Múzeum
Budapest 2018

Főszerkesztő

FODOR ISTVÁN

Szerkesztő

SZENTHE GERGELY

A szerkesztőbizottság tagjai

T. BIRÓ KATALIN, LÁNG ORSOLYA,
MORDOVIN MAXIM, SZATHMÁRI ILDIKÓ

Szerkesztőség

Magyar Nemzeti Múzeum Régészeti Tár
H-1088, Budapest, Múzeum Krt. 14–16.

Szakmai lektorok

T. Biró Katalin, Csippán Péter, Mordovin Maxim, Oross Krisztián, Ritoók Ágnes,
Soós Eszter, V. Szabó Gábor, Vaday Andrea, Vörös Gabriella, Vörös István

A kötet megjelenését támogatta a Nemzeti Kulturális Alap



HU ISSN 0231-133X

Felelős kiadó: Varga Benedek főigazgató

Készült a Pauker Holding Kft. nyomdájában, 2018.
500 példányban
Nyomdai előkészítés: Gyapjas Anikó

TARTALOM – INDEX

ORAVECZ Hargita	Földbeásott építmények a Felső-Tisza-vidék középső újkőkori telepein 5 Sunken buildings on the Middle Neolithic settlements of the upper Tisza region 37
BÁRÁNY Annamária	Nagykálló-Harangod (M3-59) középső neolitikus település állatsontanyaga 39 Animal bone find material from the Nagykálló-Harangod Middle Neolithic settlement 49
Ildikó SZATHMÁRI	On the metallurgy of the Füzesabony Culture. Bronze finds and casting moulds from the Füzesabony Bronze Age tell settlement 51 A füzesabonyi kultúra fémművességéről. Bronzleletek, öntőminták a füzesabonyi bronzkori tell telepről 78
<i>Appendix</i>	
Boglárka MARÓTI–Ildikó HARSÁNYI–Zsolt KASZTOVSZKY	Non-destructive analysis of bronze objects from Füzesabony-Öregdomb 81
TANKÓ Károly	Késő vaskori leletek Karcsáról 85 Late Iron Age finds from Karcsa 106
SÓSKUTI Kornél	Szarmata településrészlet Bugac-Bimbó határrészéből. Időrendi adatok a Duna–Tisza-köz 2–3. századi településtörténetéhez 109 Detail of a Sarmatian settlement at Bugac-Bimbó. Chronological data concerning the 2 nd –3 rd century settlement history of the Danube–Tisza-interfluvium 168
<i>Appendix</i>	
KOVÁCS Zsófia Eszter	Bugac-Bimbó lelőhely állatsontanyagának archaeozoológiai értékelése 170
MESTERHÁZY Gábor	Legkisebb költségű úthálózatok modellezése síkvidéki környezetben a neolitikumtól a középkorig 173 Least-cost path networks from the Neolithic to the Middle Ages in lowlands 191

BUZÁS Gergely–BORUZZS Katalin–MERVA Szabina–TOLNAI Katalin	
	Régészeti kutatások a visegrádi Sibrik-dombon 193
	Archaeological investigations on Sibrik Hill at Visegrád 235
FODOR István	
	Honfoglalás kori temető Jászberény határában 237
	A burial ground of the Conquest Period (10 th century) on the outskirts of Jászberény 254
<i>Appendix</i>	
SZENICZEY Tamás–HAJDU Tamás	
	Jászberény-Alsómuszáj honfoglalás kori lelőhely „B” sírjának embertani vizsgálata 255
	Anthropological analysis of the skeletal remains of a Hungarian Conquest Period individual from Jászberény-Alsómuszáj 260

ERRATA

J. Gábor TARBAJ	
	The Late Bronze Age “Scrap Hoard” from Nagydobsza Part 1 Communicationes Archaeologicae Hungariae 2015–2016, 87–146. 261

Mesterházy Gábor

LEGKISEBB KÖLTSÉGŰ ÚTHÁLÓZATOK MODELLEZÉSE SÍKVIDÉKI KÖRNYEZETBEN A NEOLITIKUMTÓL A KÖZÉPKORIG

A tanulmány arra keres választ, hogy hogyan járulnak hozzá a legkisebb költségű útszámítások a település-mintázatokról, emberek és javak mozgásáról alkotott képünkhöz síkvidékek esetében, ahol az úthálózatot közvetlenül befolyásolták a vízszintváltozások. Első lépésben egy árvíz- és csapadékhullási modell segítségével rekonstruálja a lehetséges útvonalakat, majd különböző költségfedvényeket alkot a száraz és nedves periódusokra. Végül az úthálózat változásainak rekonstrukciójára a régészeti anyag figyelembe vételével kerül sor.

The present paper investigates how least-cost calculations contribute to our understanding of settlement patterns and the movement of population groups and commodities in lowland areas, where changes in water levels directly affected the road network. First, the environmental context is reconstructed using a dynamic flood and rainfall-runoff model, followed by the construction of different cost surfaces to model dry and wet periods. The reconstruction of the changes in the road network is based on the spatial distribution of the archaeological material.

Kulcsszavak: legkisebb költségű utak, térinformatika, árvíz- és csapadékmodellezés, környezetrégészet, Tisza-vidék, településhálózat

Keywords: least-cost roads, GIS, flood and rainfall-runoff modelling, environmental archaeology, settlement network

Bevezetés és módszertani problémák¹

A régészeti korszakok településhálózatának regionális szintű vizsgálata során a kutatás fókuszában elsősorban maguk a régészeti lelőhelyek állnak, viszonylag ritkán kerül górcső alá azonban az egykori településeket, megtelepedési pontokat összekötő úthálózat. Mindez részben a kutathatóság és terepi azonosíthatóság jellegzetességeiből is fakad, hiszen míg a régészeti lelőhelyek nagy többsége korszaktól függetlenül terepbejárással megfelelő módon lehatárolható, addig az utak esetében mindez jóval bonyolultabb, jellemzően műszeres lelőhely-felderítési módszereket igényel és a korhatározásuk is komplex probléma (BÖDÖCS 2008; SZILÁGYI 2014). A két forráscsoport (megtelepedés, úthálózat) szétválasztása és részleges vizsgálata ugyanakkor jelentős mértékű adatvesztést okoz az elemzések során,

hiszen a települések és az azokat összekötő utak is a településhálózat részét képezik. Az utak, úthálózatok elemzése kapcsán az emberi megtelepedés térszínválasztását befolyásoló megközelíthetőség, valamint az emberi interakciók, csere és kereskedelem közvetítő terei is azonosíthatóak.

A legkisebb költségű utak és úthálózatok térinformatikai vizsgálata során a kutatás célja általánosságban az egykori utak, úthálózatok térbeli elhelyezkedésének meghatározása, vizsgálata vagy az ismert régészeti korú útszakaszok kontextusba helyezése (HERZOG 2013). E térinformatikai modellezés során a tájban algoritmus segítségével határozzák meg a szükséges paraméterek alapján az utak térbeli helyzetét, jellemzően legrövidebb idő vagy legkisebb energia befektetés alapján.² A legkisebb költségű utak és úthálózatok kérdése az elmúlt évtizedekben jelentős számú publikáció témáját

jelentette (ANDERSON 2012; HERZOG 2013; HERZOG 2014a; HERZOG 2014b; VAN LEUSEN 2002), számos összefoglaló tanulmány megjelenése miatt jelen kerek között csak a módszertani szempontból problematikus pontok kiemelésére vállalkozhatunk.

A korábbi út- és úthálózat rekonstrukciók (GIETL et al. 2008; HERZOG–POSLUSCHNY 2011) többsége dombos és hegyes természetföldrajzi környezet útjainak és úthálózatainak modellezését célozta, ahol a közlekedés költségeit döntően a lejtőkategória értékek befolyásolták (Számítási algoritmusok áttekintésére: VAN LEUSEN 2002, 6–7; HERZOG 2014a; HERZOG 2014b). Azaz adott „A” és „B” pont között tájban a közlekedés irányát és így a legkisebb költségű út elhelyezkedését a váltakozó meredekségű lejtők korlátozták nagyrészt. A síkvidéki, alföldi jellegű területeken ugyanezen elv mellett, szinte csak a magaspartok oldalán lehet ± 5 foknál nagyobb – meghatározó különbségeket jelentő – lejtőket azonosítani. Mindez a releváns domborzati különbségek hiánya miatt az alkalmazott számítási algoritmustól és szoftvertől függetlenül az euklidészi távolságokat közelítő utak rekonstrukcióját vetíti előre. További adatsoport bevonását teszi indokoltá így a modellezés során.

A térinformatikai szoftverek által kínált elemzési módszerek jelentős része, mint ahogy a lejtőkategória értékének meghatározása is, szintén a domborzatmodellből származtatott adat. Így ezen alföldi jellegű terület vizsgálata során a láthatóság (visibility), napsütéses időszakok mértéke (solar radiation), ég láthatósága (sky view factor), domborzathajlás (curvature), horizont szöge (horizon angle), nedvességi index (wetness index) is hasonló, lényegi különbségek nélküli eredményeket hozott a tesztelés során. Ugyanakkor – munkahipotézisként – síkvidéki környezetben az időszakosan vagy állandóan vízzel borított területek lehatárolása jelentheti azt a plusz információforrást, amely az úthálózat modellezése során meghatározó különbséget tehet.

A kutatási terület

A 350 km²-es vizsgálati terület Tiszagyulaháza és Tiszacsege között a Tisza bal partja és a Hortobágy egykor vízjárta területei közt, a Borsodi-ártér és a Hortobágy kistájak területén található. A kis átlagos relatív reliefű, egyhangú felszínű tökéletes síkságot a Tisza menti buckavonulatok, egykori Tisza medrek, morotvák, egykori folyóhátak tagolják (KISTÁJ

2010, 155–156, 182–183; ld. még: FÜZESI 2009; MAGYARI et al. 2012; SÜMEGI et al. 2005) (1. kép).

A szakirodalmi adatgyűjtés és terepbejárás anyagok újrahataározása nyomán 233 régészeti lelőhelyről rendelkezünk téradattal a vizsgálati területről. Ezek közül 188 olyan lelőhely ismert, amely a neolitikum, rézkor, bronzkor, vaskor, szarmata kor, avar kor, Árpád-kor, késő középkor korszakolással rendelkezett. A fennmaradó 45 lelőhelyen csak pontatlanabb kormeghatározással rendelkezünk. A régészeti lelőhelyek területét jellemzően több korszakban is lakták, átlagosan 2,53 korszak jutott egy lelőhelypoligonra (1. táblázat).

1. táblázat A kutatási terület ismert lelőhelyállománya
Tabelle 1 Distribution of archaeological sites

Korszak	Rövidítés	Lelőhelyek darabszáma
neolitikum	na	122
rézkor	ca	48
bronzkor	ba	63
vaskor	ia	35
szarmata kor	sa	116
avar kor	av	21
Árpád-kor	aa	44
késő középkor	lma	27
Lelőhely összesen	All	188

A modellezés folyamata és elemzési módszerek

Vízrajzi modellezés

Az úthálózatok vizsgálatához első lépésként vízrajzi modellezést folytattam a síkvidéki környezetben állandóan vagy időszakosan vízzel fedett területek lehatárolására. Ennek során két pillanatkép (maximális vízborítottság, szárazság) meghatározását tűztem ki célul, melyet egy katasztrófaszerű árvíz és egy heves esőzés dinamikus modellezésével állítottam elő. A két modell ciklikussága ugyanakkor eltérő időbeli léptékű. Vízrajzi szempontból éves szinten számolhatunk két nagyobb árhullámmal, ugyanakkor az esőzések eloszlása és mennyisége kapcsán csak vázlatos ismereteink vannak (MAGYARI et al. 2012).

A maximális vízborítottság rekonstrukciójával lehatárolhatóvá vált az árvíz- és belvízmentes terü-

letek kiterjedése, és ezt követően az időjárás és klíma változásaitól függetlenül, folyamatosan működő úthálózat rendszere. A száraz időszak modellezése – a bevezetőre utalva – elsősorban a munkahipotézis ellenőrzését célozta, hogy egyértelműen elkülöníthető legyen a vízzel fedett területek modellezést befolyásoló hatása. Ebből következően a két vízrajzi modell típus együttes alkalmazásával egyrészt felmérhetőek a közös és eltérő útvonalak, másrészt a kutatási terület mindenkori, egész évben használható „gerinchálózatának” elvi elhelyezkedése is.

A kutatási területen, különösen annak nyugati oldalán a Tisza medrében és vízhozamában bekövetkező változások elsősorban vízrajzi és egyéb földtani hatások összességéként írhatóak le. Az éves rendszerességű árvizek megnövekedett vízhozama, illetve a folyó medervájó és hordaléklerakó tulajdonságai jelentős módon befolyásolták egyúttal a domborzatot is (GÁBRIS et al. 2001; TÓTH 2003; TÓTH et al. 2001). A térség és a Tisza vízrendszerének geológiai kutatása alapján a domborzat, illetve annak ma ismert formája a régészeti korok alatt csak kismértékű módosuláson mehetett át, így azt – részben az információhiányból fakadó szükségszerűség okán is – jó közelítésként a modellezés során állandónak tekintettem az egyértelmű újkori és jelenkori behatások (pl.: Tisza-szabályozás, csatornázás, halastavak, iszaplerakók) kiszűrése után.

CAESAR-LISFLOOD szoftver alkalmazása

A vízrajzi rekonstrukció során a vízfolyások és csapadékhullás dinamikus modellezésére alkalmas CAESAR-LISFLOOD szoftvert használtam (COULTHARD et al. 2013; LOWRY et al. 2014; DE WIEL et al. 2007; <https://code.google.com/p/caesarlisflood>). A programot nagyméretű folyóvízgyi területek hosszú időintervallumú tájfejlődési modellezésére (Landscape Evolution Models) fejlesztették ki és az ingyenesen elérhető szoftverek közül a legszélesebb és fizikai értelemben legpontosabb algoritmusokkal rendelkezik. A számítások során a szoftver iterációk sorát végzi, melynek elemi egysége során a raszteres domborzatmodell minden egyes pixelén vizsgálja, hogy van-e rajta víz, vagy sem. Ha egy cellán található valamilyen magas „vízoszlop”, akkor megvizsgálja, hogy pixelhez tartozó magassági adat és a rajta lévő vízoszlop magasságának összege meghaladja-e a szomszédos pixelek magasságát, majd a vízoszlop arányos részét továbbosztja a szomszédos, kevésbé feltöltött cellákra.

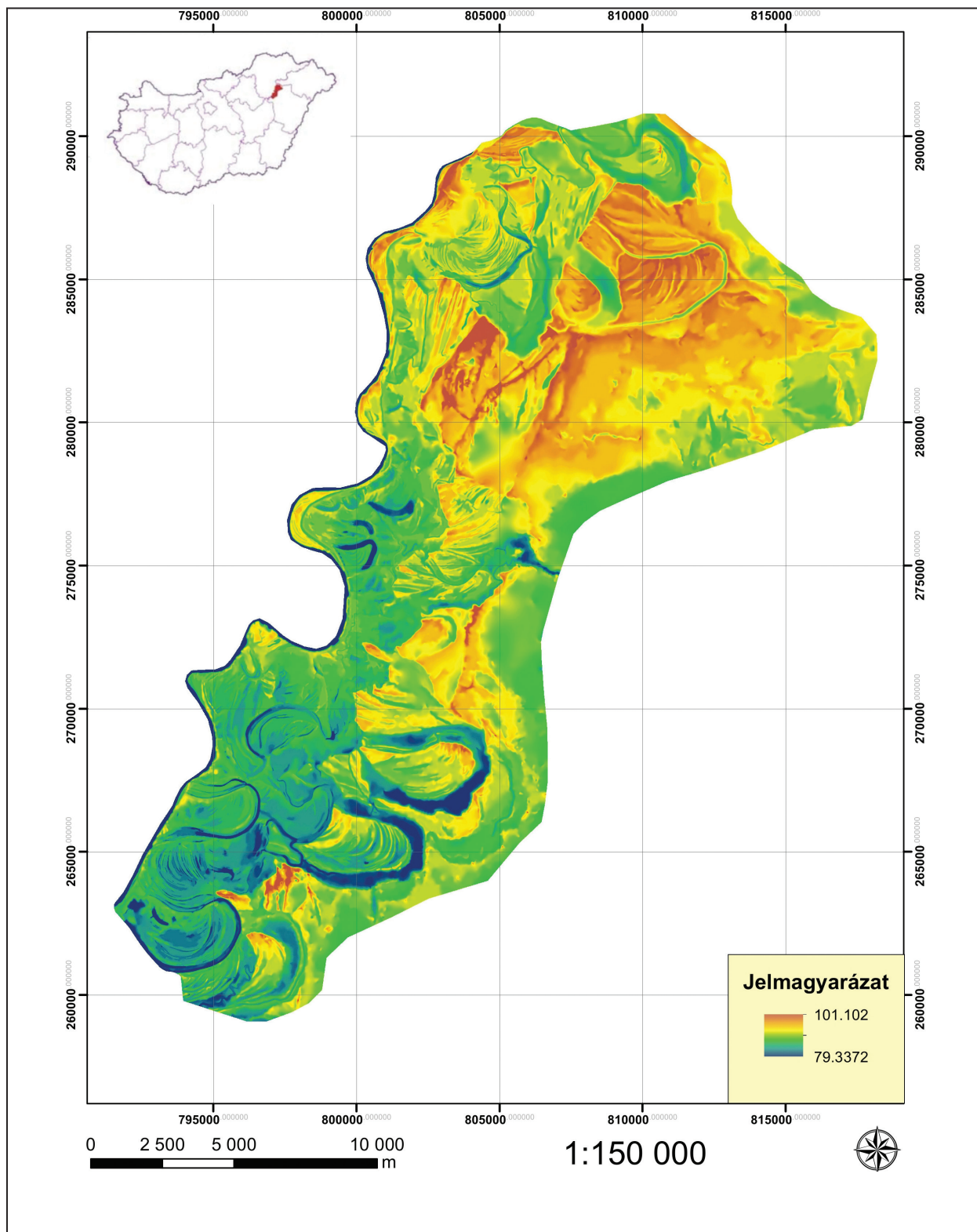
A modellezés előkészületeként és a számítási kapacitásigény csökkentése miatt a jelenkori objektumoktól (gátak, csatornák, halastavak, iszap-tározók) megtisztított 5x5 méteres felbontású domborzatmodell egyszerűsítését kellett elvégezni. A jellemző felszínformák döntő többsége, így a kisebb háta és mélyedések a 20x20 méteres felbontású változatban még megfelelő felbontásban jelentek meg. Ezt követően a hidrológiai elemzések során bevett gyakorlatként a 0,5 méternél kisebb zárt mélyedéseket feltöltöttem (fill), hogy a modellezés során az elöntés folyamatos legyen (TELBISZ et al. 2013, 65–66).

A vízrajzi modellezés másik meghatározó kérdése a régészeti korszakokban aktív Tisza meder vagy medrek meghatározása volt. A térségben a Tisza mederváltozásai és azok korhatározása ugyanakkor egyelőre csak részben ismertek (TÓTH 2003; TÓTH et al. 2001), így kényszerűségből a Tisza modern kori nyomvonalát használtam, beleégetve (burn river) a domborzatmodellbe 80 méteres tszf. magasságban (TELBISZ et al. 2013, 65–66). Az említett pillanatképek meghatározását is részben ez indokolja, azaz modellezés eredményeinek ismeretében egyúttal irreleváns is, hogy melyik mederben folyt a Tisza egy adott régészeti korszakban, hiszen minden mederváltozat és a teljes ártér is feltöltődik vízzel.

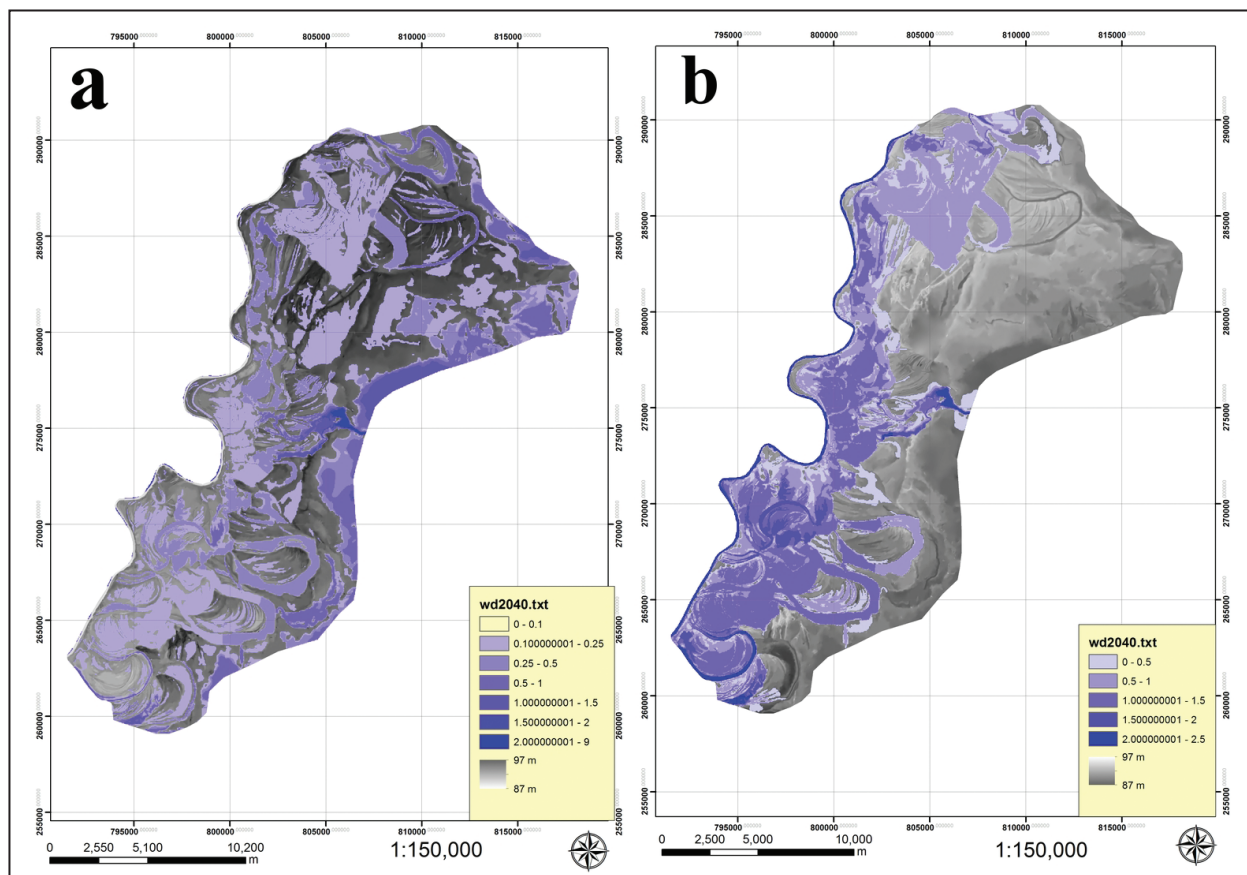
A vízrajzi modellezés során figyelembe vettem az AGROTOPO adatbázis (<http://maps.rissac.hu/agrotopo>) felhasználásával a talajtípusok vízháztartási tulajdonságait, azaz az egyes talajok vízelnyelési tulajdonságát is.

A 2013-as tiszai árvíz kiskörei vízhozamán alapulva (az árvíz tetőzése idején ~1700 m³/s) jelentős árvízi helyzet modellezésére az első modellezési napon 2000, míg a második napon 3000 m³/s vízhozamot tápláltam be beégetett Tisza mederbe arányosan elosztva a meder két pontján. Az esőzések modellezése során az igen kiemelkedő 100 mm/nap időben arányos eloszlású csapadékkal számoltam. A valós idejű szimulációk eredményeit 60 perces időközönként mentettem ki.

A modellezett pillanatképek közül a katasztrófászerű vizes modellekhez a másfél napos állapotot (t=2040 perc), míg a száraz modellekhez 14 órás (t=840 perc) változatot emeltem ki és alkalmaztam a továbbiakban a költségfedvények előállításához (2. kép). Azaz a Tisza meder elhe-



1. kép A kutatási terület elhelyezkedése és domborzata
Fig. 1 The location of study area and the Digital Elevation Model



2. kép A csapadékhullási (a) és az árvízi modellezés (b) eredménye (t=2040) az egyes területen jelentkező vízszlop magasságokkal (m)

Fig. 2 Results of rainfall (a) and flood (b) modelling (t=2040) with values of waterfall (m)

lyezkedésének bizonytalanságát e két pillanatkép kiemelésével kompenzáltam.

Legkisebb költségű úthálózatok (least-cost path network) modellezési folyamata

A vizes költségfedvény előállításánál során prioritást az árvíz által érintett területek jelentették, amelyet a csapadékhullási modell egészített ki (2. táblázat). Az esőzés kapcsán létrehozott bővebb felosztást elsősorban az indokolta, hogy a vízmélység egyúttal a feltöltődés ütemére is utalt, azaz kisebb csapadékmennyiség esetén nem minden terület került volna víz alá.

A száraz természeti környezet modellezése során mindazokat a területeket, melyeket az árvízi modellezés érintett és ahol 10 cm-nél magasabb vízszlop jelentkezett, 2-es költséggel láttam el, hogy a tágran értelmezett – és egész évben feltételezhetően folyamatosan nem használható – árteret

elkülönítsem. Hasonlóképpen kiegészítettem ezt az esőzés korai állapotának újraosztályozott állományával (3. táblázat).

A költségfedvények véglegesítése során a Gorenflo és Gale (GORENFLO–GALE 1990, 244) által használt

$$v=6e^{-3.5|s+0.05|}$$

(ahol v =gyaloglási sebesség (km/h), s =lejtőkategória fokban kifejezve, e =természetes logaritmus alapja) képlet alkalmazásával kiszámítottam minden egyes 20x20 méteres pixelkockán való átjutás sebességét, amelynek skáláját invertáltam és megszoroztam a katasztrófaszerű vizes (KF1 – vizes) és a száraz környezetet modellező (KF2 – száraz) újraosztályozott fedvényekkel. Ennek következtében a kutatási terület minden egyes 20x20 méteres cellájához hozzárendeltem az adott pixelen való áthaladás költségét. A lelőhelyeket pontszerűen, a

2. táblázat A vizes költségfedvényhez használt értékek
Tabelle 2 Cost values for the wet cost surface

Szimuláció	Kategória (vízszlopmagasság)	Költség
Árvíz (t=2040)	10 cm alatt	1
Árvíz (t=2040)	10 cm felett	10
Eső (t=2040)	10 cm alatt	1
Eső (t=2040)	10–30 cm között	3
Eső (t=2040)	30–50 cm között	5
Eső (t=2040)	50–80 cm között	8
Eső (t=2040)	100 cm fölött	10

3. táblázat A száraz költségfedvényhez használt értékek
Tabelle 3 Cost values for the dry cost surface

Szimuláció	Kategória (vízszlopmagasság)	Költség
Árvíz (t=2040)	10 cm alatt	1
Árvíz (t=2040)	10 cm felett	2
Eső (t=840)	5 cm alatt	1
Eső (t=840)	5–10 cm között	3
Eső (t=840)	10–25 cm között	5
Eső (t=840)	25 cm fölött	10

középpontjukban elhelyezett ponttal ábrázoltam a modellezés során és az úthálózatok ismert pontjaként kezeltem.

Az úthálózatok modellezése során mindkét költségfedvényen (vizes, száraz) mind a nyolc korszakhoz köthető lelőhelyeket összeköttem legkisebb költségű úttal (KF1[korszakrövidítés]; KF2[korszakrövidítés] – 16 modell). Ennek során – a modellezés ellenőrzésére – adott „A” és „B” lelőhely között minden esetben két út vezetett, melyek jellemző vonalvezetése csak apró különbségeket tartalmazott. E vizsgálat elsősorban a jelenleg ismert lelőhelyeket összekötő korszakos hálózatok összehasonlításához szolgáltatott adatokat, illetve az egyes korszakok „gerinchálózatainak” elkülönítését célozta.

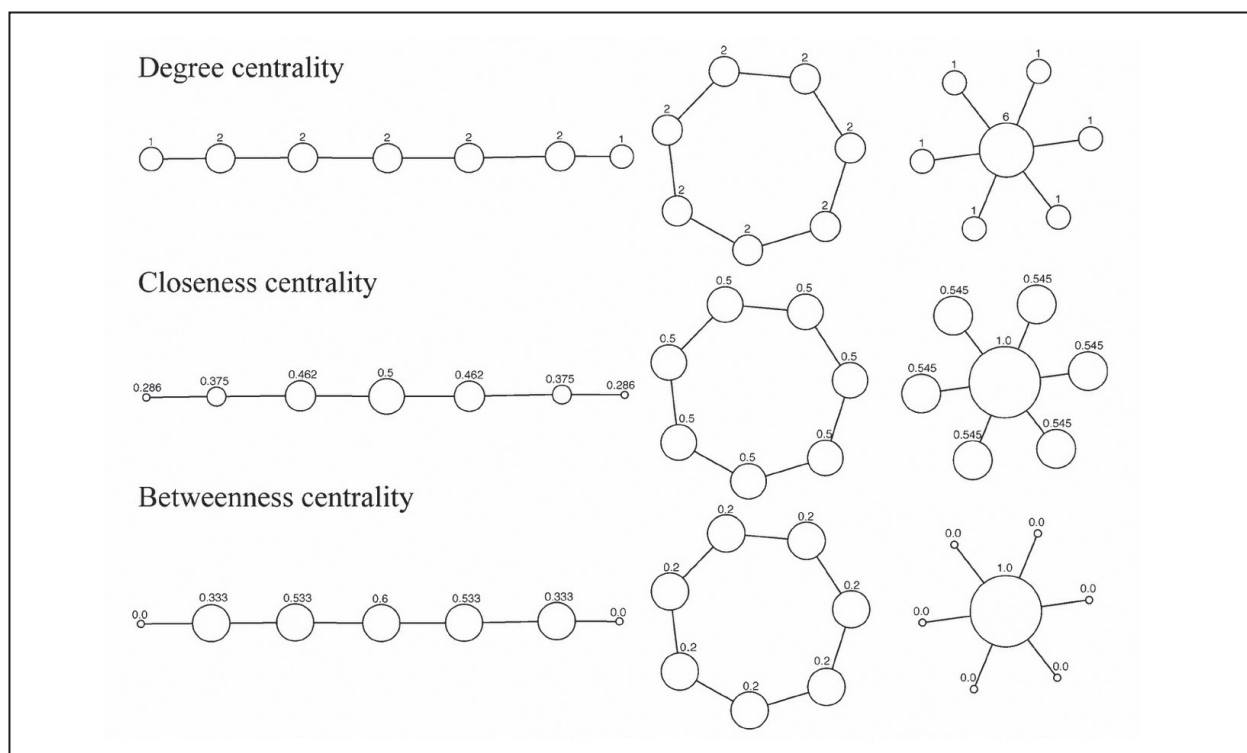
Az ismert régészeti lelőhelyeket összekötő útvonalhálózatok ugyanakkor hibákkal terhelt, ismeretlen mértékben torzított hálózatoknak tekinthetők az eddig azonosítatlan lelőhelyek hiánya miatt (HOWEY 2001, 2523–2524; HERZOG 2013; VERHAGEN 2013, 384). A vizsgált terület kutatása során ezért elengedhetetlen, hogy a tájban közlekedésre alkalmas helyszínek – ismert és ismeretlen lelőhelyek elhelyezkedésétől függetlenül – kijelölésre kerüljenek. A folyamat során lényegében a településhálózatok térszínválasztásának egyik társadalmi és kulturális aspektusát vizsgáljuk. Ily módon kijelölhetőek a közlekedés potenciális útvonalai, melyek a régészeti korok településhálózata kapcsán megfogalmazott prekonceptióktól is mentesek (VERHAGEN 2013, 384; VERHAGEN et al. 2014, 357–358). E modell típus megvalósítása során a kutatási terület egészén 1x1 km-es szabályos rácshálóban helyeztem el pon-

tokat, melyeket mindkét költségfedvényen utakkal kötöttem össze (KF1sys; KF2sys – 2 modell).

A pontokból (régészeti lelőhelyek) és vonalakból (lelőhelyeket összekötő útvonalak) álló összesen 18 hálózat elemeit a továbbiakban részletesebb elemzésnek vettem alá, melynek során külön-külön szoftveres környezetben vizsgáltam a hálózatok struktúrájára, felépítésére vonatkozó tényezőket.

Az úthálózatok modellezése

Az úthálózatok térinformatikai modellezését szkriptek segítségével GRASS GIS (NETELER–MITASOVA 2008; WWW.GRASS.OSGEO.ORG) szoftverben végeztem. Ennek során leválogattam az egy korszakhoz tartozó lelőhelyek poligonjának középpontját és a költségfedvények alkalmazásával az r.cost paranccsal létrehoztam minden egyes korszak minden egyes lelőhelyéhez tartozó kumulatív költségfedvényt. Ezt követően minden, a modellezett korszakhoz tartozó további lelőhelyről r.drain parancs segítségével meghatároztam a két pont (lelőhely) közötti legrövidebb út elhelyezkedését. Az egy korszakhoz, azonos költségfedvényen készült útvonalak vektoros állományait egyesítettem (v.patch), a vonalakat 200 méteres távolságonként egyszerűsítettem, hogy cellák oldalán és átlóján felváltva haladó útvonalakat egyszerűsítsem. Az így nyert állományok vonalkötegei – különösen azonos költségű fedvényrészekben – szélesebb övezetekben haladtak egymással párhuzamosan, ezért indokolt volt szintén 200 méteres térközben összegyűjteni ezeket (v.generalize), mivel igen kicsi a valószínűsége, hogy 200 méteren belül több egymással párhuzamos út haladt volna.



3. kép Példa a fokszám (degree centrality), közelség központosság (closeness centrality), közöttiség központosság (betweenness centrality) fogalmára (BRUGHMANS 2013, Fig. 1 alapján)

Fig. 3 Example for degree centrality, closeness centrality and betweenness centrality, based on BRUGHMANS 2013, Fig. 1

A modellezett úthálózatok elemzése

A GRASS GIS-ben előállított vonalas – utakat tartalmazó – állományokat Depthmap (TURNER 2001; TURNER 2004) szoftverben vizsgáltam tovább. A program a space syntax elmélet egyik feldolgozószoftvere, ami elsődleges felhasználásában a városi környezet térbeliségét elemzi, például a szabad területek, épületek és utak közötti kapcsolatok révén. Ennek során a teret elemeire bontja és a hálózat által kínált alternatívákat (network of choice) vizsgálja, amely tér egyes részeinek kapcsolati hálójában (relative connectivity) és azok egységességében (integration) nyilvánul meg (HILLIER–HANSON 1989; HILLIER 2007). Fő szerkezetét tekintve a módszer nem tesz különbséget egy jelenkori település úthálózatában és egy régészeti környezetben készített úthálózat között, a hálózat jellemzői ugyanazon gondolkodásmód szerint vizsgálhatók (VERHAGEN 2013; VERHAGEN et al. 2014).

Az axiális térben (axial space) végzett vizsgálatok során az egyes régészeti korok úthálózatainak elemi vonalszakaszait az alábbi paraméte-

rekkel elemeztem (TURNER 2001; TURNER 2004; VERHAGEN 2013; VERHAGEN et al. 2014) (4. táblázat).

A régészeti lelőhelyek hálózati szerepe, súlya

Az egyes régészeti korszakok úthálózata által összekötött régészeti lelőhelyek pontszerű állományát a Java alapú Graphab (FOLTETE et al. 2012; <http://thema.univ-fcomte.fr/productions/graphab/down/graphab-1.1-en.pdf>) szoftverben vizsgáltam, melynek során a régészeti lelőhelyek hálózatban betöltött szerepét kutattam. A szoftvert elsősorban ökológiai tájszerkezeti (landscape connectivity) kutatásokra fejlesztették ki, melynek során különböző fajok és természeti környezetük vizsgálatát végzik. A téma aktualitását az emberi tevékenység hatására csökkenő méretű és számú élőhelyek kutatása adja, melynek eredményeképpen a számos algoritmus lehetőséget biztosít a térben széttagolt, vagy már elhagyott élőhelyek vizsgálatára.

A vizsgálat során a programba beépített legkisebb költségű út számítását alkalmaztam a GRASS

4. táblázat A Depthmap szoftverben elemzett paraméterek
 Tabelle 4 Analysed parameters with the Depthmap software

Számítási módszer ²⁵	Számítási algoritmus	Régészeti értelmezés
Choice	legrövidebb utak száma, ami egy vonalszakaszon áthalad	útvonalhálózat egyes elemeinek intenzitása
Mean depth	topológiai távolság egy vonalszakasz és az összes többi vonalszakasz között, osztva az összes többi vonalszakasz darabszámával	két vonalszakasz közötti távolság
Integration	egy vonalszakasz és a többi vonalszakasz közötti távolság viszonyszáma	a hálózat szimmetrikusságának viszonyszáma
Connectivity	szomszédos, csatlakozó vonalak száma	vonalszakasz kapcsolatainak száma (útelágazódások száma)
Controllability	egy adott vonalszakasztól 1, illetve 2 lépésre található vonalszakaszok aránya	útvonal beláthatósága, párhuzamos útvonalváltozatok
Relativised entropy	egy vonalszakasztól belátható vonalszakaszok száma figyelembe véve azok várható eloszlását	az útvonalhálózat szabályossága

GIS fejezetben leírt paraméterekkel mindkét költségfedvényen, melynek alapja a mindkét szoftverben Dijkstra algoritmus (DIJKSTRA 1959). Lényeges eltérés a katasztrófaszerű vizes költségfedvényen nem, csak a száraz környezetben modellezett úthálózat esetében jelentkezett.

A számítások során planar beállítással az egyes pontokat csak a pontokra illesztett Voronoi-polygonok szerinti szomszédjaival kötöttem össze, melynek során a régészeti lelőhelyek szűkebb környezetben betöltött szerepét vizsgáltam. Ezt kiegészítendő a teljes területre modellezett úthálózatokat (complete) is elemeztem, melynek során a régészeti lelőhelyek hálózati pozícióját tanulmányoztam tágabb környezetben (alkalmazott paraméterek: $\alpha=0.000599$; $\beta=1$; $d=5000$; $p=0,05$).

A régészeti lelőhelyeket jelző pontokat az alábbi paraméterek alapján vizsgáltam (FOLTETE et al. 2012; RAYFIELD et al. 2011; URBAN–KEITT 2011) (3. kép, 5. táblázat).

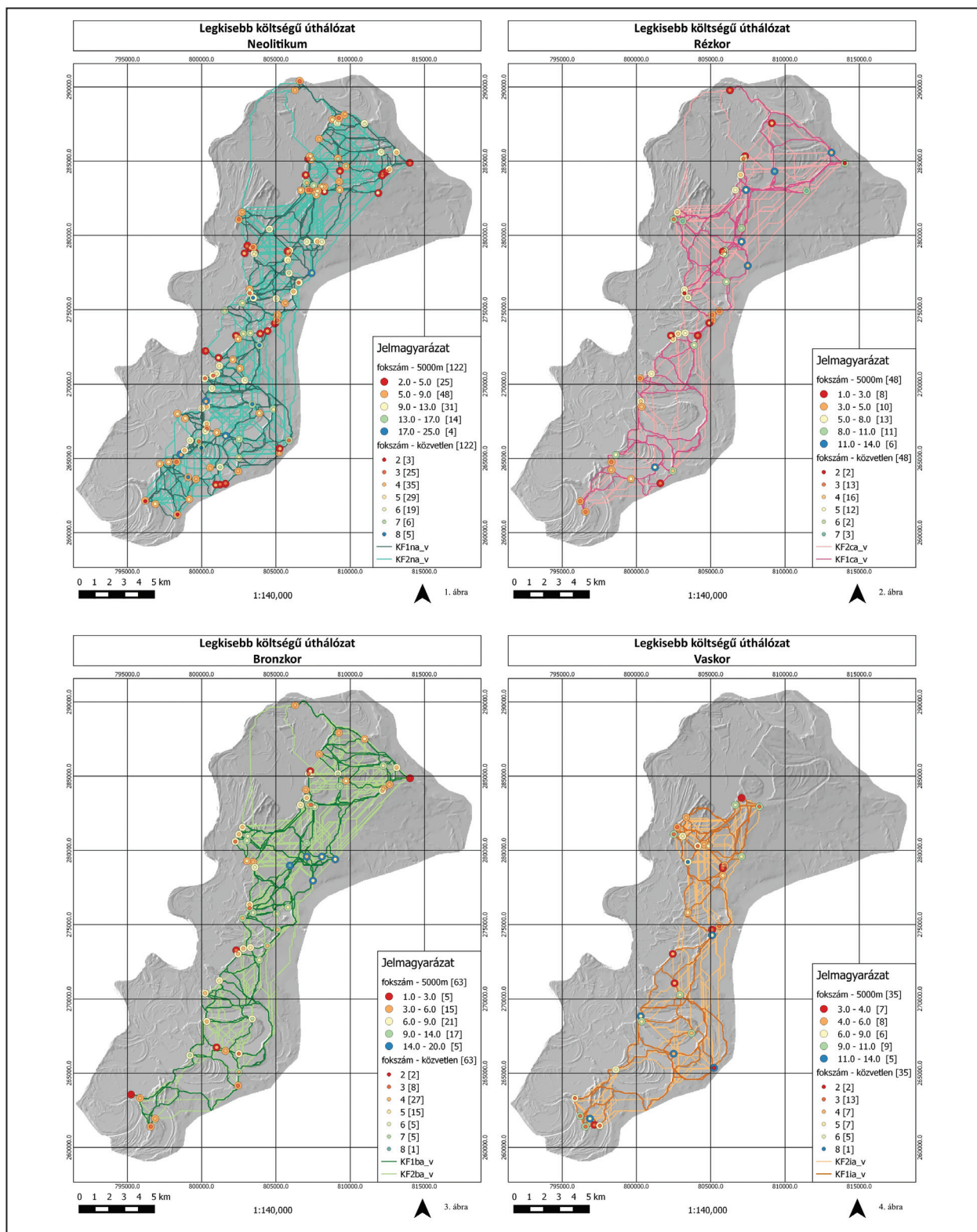
A modellezés eredményei

A korszakos hálózati modellezés eredményei

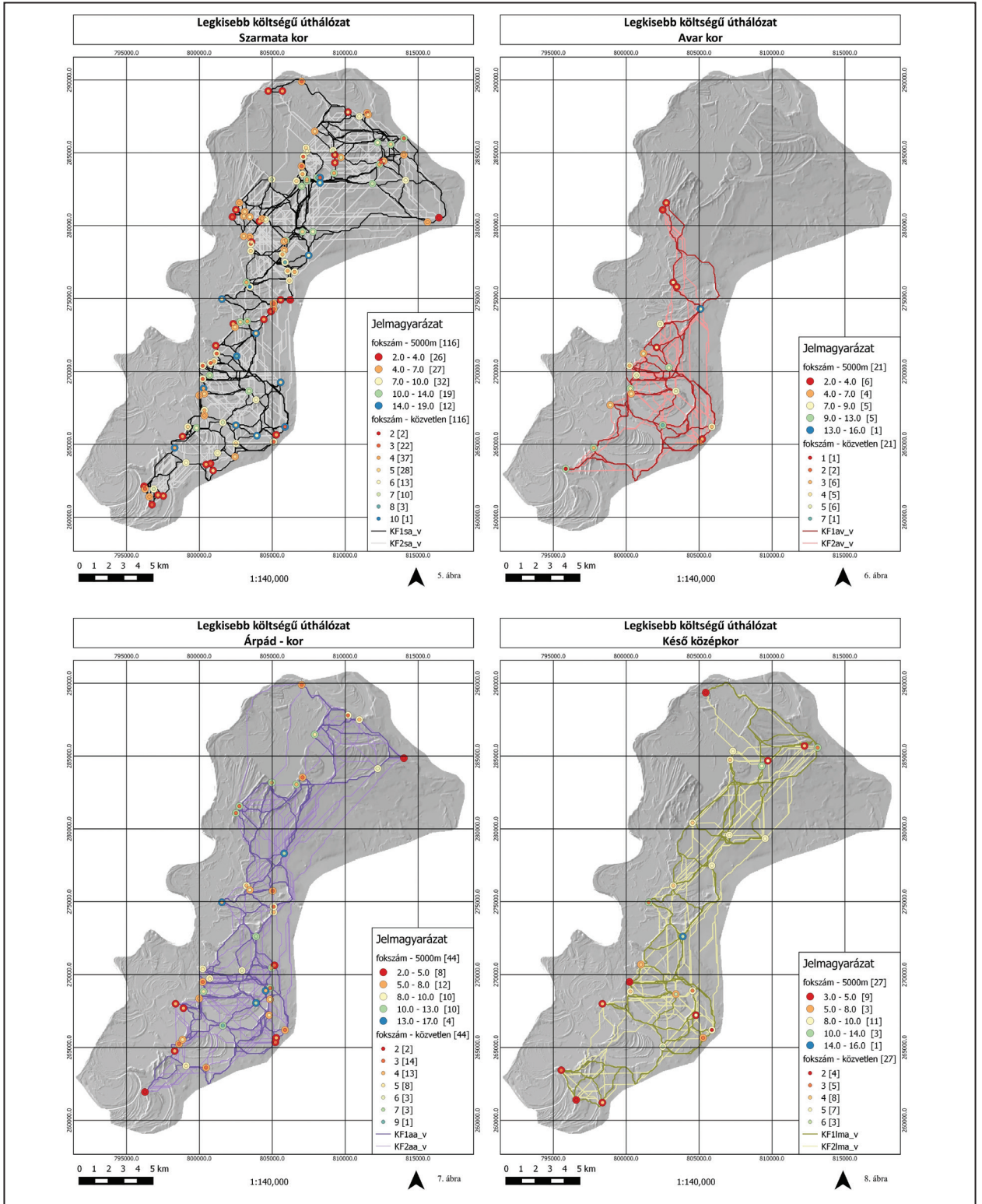
A kutatási terület szakirodalmi forrásokból ismert lelőhelyállománya jellemzően több korszak

kon át lakott lelőhelyekből áll. A vizsgálat várható eredményeit ez a tény döntően befolyásolta, hiszen több korszak esetében is létrejöttek ugyanazok a pontpárok és ebből következően a két pont között húzódó utak is. A hálózatok szintjén ezért számolni kellett azzal, hogy a Depthmap és Graphab szoftverekben meghatározandó mérőszámokat egyes korszakok útvonalai között jelentkező változó mértékű átfedés torzítja. A helyzet komplexitását tovább növelte, hogy korszakonként változó számú lelőhely ismert (ld. 3. táblázat), így ugyanazon „A” és „B” lelőhelyet összekötő útvonal hol nagyobb, hol pedig kisebb súllyal jelentkezik.

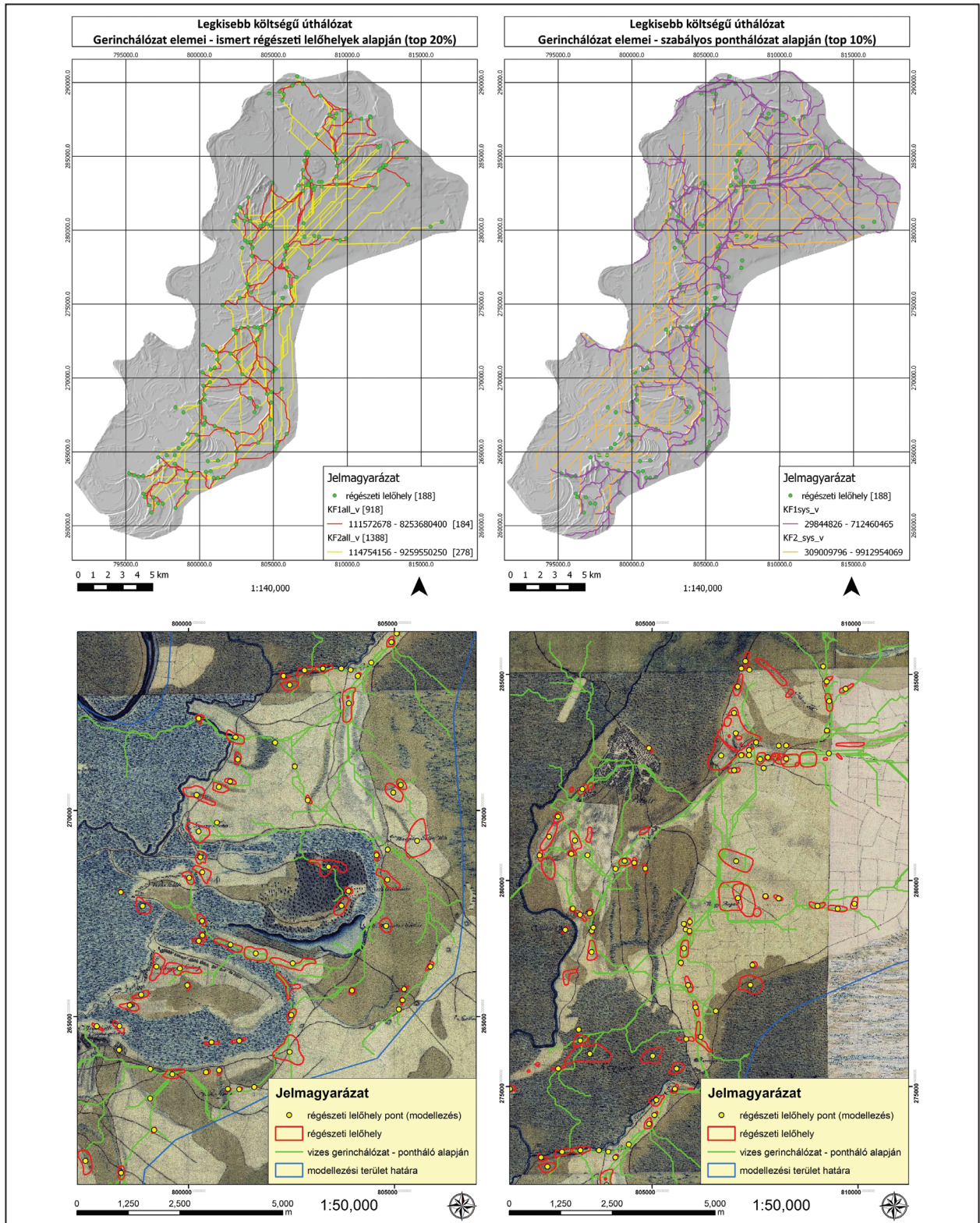
A modellezett úthálózatok vizuális ellenőrzése során az előzetes várakozásnak megfelelően sokkal koncentráltabb és irányítottabb hálózat képe jelenik meg a vizes költségfedvény (KF1) használata során. A modellezett utak jellemzően a hátakon, vagy a hátakhoz igen közel futnak, a vízzel telt meandereket csak indokolt esetben (meander belső oldalán lévő lelőhelyhez tartanak) metszik. A korszakos hálózatok útvonalai jellemzően ugyanazt a nyomvonalat követik egy adott térszínen, ezért azok képét, kiterjedését és intenzitását döntően a lelőhelyállomány határozza meg. A vaskor és az avar kor esetében alapvető különbséget jelent a többi korszakhoz



4. kép Korszakos úthálózatok a neolitikum, rézkor, bronzkor és a vaskor időszakában
 Fig. 4 Periodical least-cost networks of the Neolithic, the Copper Age, the Bronze Age and the Iron Age



5. kép Korszakos úthálózatok a szarmata kor, avar kor, Árpád-kor és késő középkor időszakában
 Fig. 5 Periodical least-cost networks of the Sarmatian period, the Avar period, the Árpadian Age and the late Middle Ages



6. kép "Gerinchálózatok" az összes ismert régészeti lelőhely és szabályos pontháló alapján (felső sor), valamint a szabályos pontháló alapján készített "gerinchálózat" összevetése az I. Katonai Felmérés úthálózatával (alsó sor)
 Fig. 6 'Main road networks' based on all known sites and a regular grid (upper row), and 'main road network' based on a regular grid in a wet environment and the First Military Ordnance Survey of Hungary (bottom row)

5. táblázat A Graphab szoftverben elemzett paraméterek
 Tabelle 5 Analyzed parameters with the Graphab software

Számítási módszer	Magyar megfelelő	Számítási algoritmus	Régészeti értelmezés
Betweenness centrality – planar	közöttiség központosság	a ponton áthaladó, más pontokat összekötő utak száma (Voronoi poligonok szerinti szomszédos pontok)	régészeti lelőhely központosságának mérőszáma (áthaladó utak száma alapján)
Closeness centrality – planar	közelség központosság	a pont és a többi pont közötti legrövidebb utak hosszának átlaga (Voronoi poligonok szerinti szomszédos pontok)	régészeti lelőhely központosságának mérőszáma (térbeli elhelyezkedés alapján)
Node degree – planar	fokszám	ponton áthaladó útvonalak száma (Voronoi poligonok szerinti szomszédos pontok)	a régészeti lelőhely közvetlen elérésű szomszédjainak száma (megközelíthetőség)
Betweenness centrality	közöttiség központosság	a ponton áthaladó, más pontokat összekötő utak száma (teljes hálózat)	régészeti lelőhely központosságának mérőszáma
Closeness centrality	közelség központosság	a pont és a többi pont közötti legrövidebb utak hosszának átlaga (teljes hálózat)	régészeti lelőhely központosságának mérőszáma
Eccentricity	különbség	többi csúcstól való átlagos távolság (teljes hálózat)	hálózat központjában vagy periferiáján helyezkedik-e a lelőhely
Node degree–5000 m	fokszám	ponton áthaladó útvonalak száma (teljes hálózat)	a régészeti lelőhelyen áthaladó utak száma

képeket, hogy azok régészeti lelőhelyeit csak a Polgártól délre fekvő területről ismerjük.

A száraz viszonyok között készített modellezés (KF2) lényegi költségtényezők hiányában sokkal közvetlenebb és térben elszórtabb útvonalakat követ, melynek során részben ismerhető csak fel a vizes területen modellezett útvonalhálózat. Az ártér területe is, bár jellemzően szintén a hátakon és kiemelkedéseken, több ponton utakkal telik meg (4–5. kép).

Az elvi „gerinchálózatok”

A „gerinchálózatok” (vizes és száraz – KF1sys, KF2sys) vizsgálata során megfigyelhető, hogy azok úthálózati képe, kiterjedése és intenzitása megegyezik a korszakos modellezésnél megfogalmazottakkal. A szabályos pontrendszer összekötő úthálózatok közel 1.600.000 útvonalat tartalmaztak, így csak a legfrekvenciáltabban használt útszakaszokat válogattam le (az összes vonal 10%-a). Száraz környezetben a modellezés nem hozott értékelhető eredményt, a megjelenő vonalak mini-

mális mértékben és csak elvétve térnek el az északi (0°) és északkeleti (45°) iránytól, és így lényegében egységes rendben hálózák be a kutatási területet. Mindez egyértelműen bizonyította a modellezési algoritmusok kapcsán tett előzetes feltételezéseket, azaz síkvidéki környezetben a modellezések eredménye közelíti adott két pont közötti legrövidebb utat (6. kép).

A vizes környezetben azonban egyértelműen kirajzolódik a rekonstruált utak fő iránya és ezen belül jól azonosíthatóak a jobban és kevésbé frekvenciált útszakaszok. Megvizsgálva az ismert lelőhelyállomány távolságát (a modellezés során a lelőhelyeket az azok súlypontjában elhelyezett pontok képviselték) a modellezett úthálózattól megállapítható, hogy azok 87%-a az utak 400 méteres körzetében található. A régészeti lelőhelyeket a modellezés során jelző pontok egyúttal arra is utalnak, hogy a településhálózati prekonceptióktól mentes gerinchálózatok 87%-a az ismert régészeti lelőhelyeken halad át, azaz az utak és a mindenkori településhálózat egyes elemei között szoros kapcsolat mutatható

6. táblázat A Depthmap szoftverrel végzett modellezés eredményei
Tabelle 6 Modelling results of the Depthmap software

KF1 - vizes környezet	Neolitikum	Rézkor	Bronzkor	Vaskor	Szarmata kor	Avar kor	Árpád-kor	Késő középkor
Régészeti lelőhelyek száma	122	48	63	35	116	21	44	27
Vonalszakaszok száma	1390	759	1037	668	1418	474	877	751
Átlagos mean depth	54,812	57,725	55,935	51,923	59,943	35,871	57,476	65,447
Maximális mean depth	89,487	92,162	96,319	76,189	101,636	69,397	95,761	106,351
Átlagos choice (normalizált)	0,078	0,149	0,106	0,153	0,083	0,148	0,129	0,172
Átlagos connectivity	3,647	2,858	3,152	2,873	3,377	2,662	2,837	2,505
Maximális connectivity	10	8	11	7	10	8	7	8
Átlagos controllability	0,426	0,457	0,444	0,455	0,435	0,465	0,456	0,468
Átlagos integration [HH]	0,152	0,129	0,143	0,138	0,139	0,194	0,134	0,113
Átlagos relativised entropy	17,802	18,463	17,783	17,888	18,631	10,659	18,117	19,631

KF2 - száraz környezet	Neolitikum	Rézkor	Bronzkor	Vaskor	Szarmata kor	Avar kor	Árpád-kor	Késő középkor
Régészeti lelőhelyek száma	122	48	63	35	116	21	44	27
Áonalszakaszok száma	4366	2268	2942	1579	4955	1014	2575	1882
Átlagos mean depth	44,507	45,262	42,405	39,721	44,825	29,187	48,887	49,442
Maximális mean depth	73,097	90,172	90,9	68,633	81,657	59,049	81,702	88,933
Átlagos choice (normalizált)	0,02	0,039	0,028	0,049	0,018	0,056	0,037	0,052
Átlagos connectivity	6,637	4,657	5,722	4,902	6,791	3,777	4,442	3,827
Maximális connectivity	15	12	15	15	14	9	11	10
Átlagos controllability	0,329	0,386	0,353	0,378	0,326	0,411	0,39	0,409
Átlagos integration [HH]	0,227	0,208	0,232	0,217	0,233	0,284	0,191	0,179
Átlagos relativised entropy	14,702	14,368	14,074	13,819	14,551	8,273	15,022	15,456

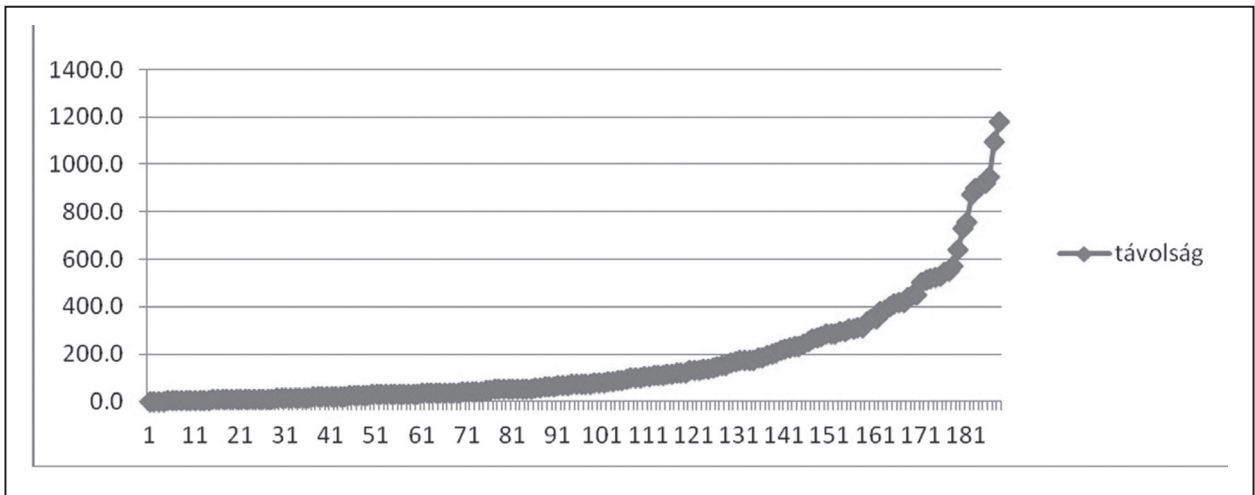
ki (7. kép). A szabályos pontháló alapján készült «gerinchálózat» egyúttal jól korrelál az I. Katonai Felmérésen (ARCANUM 2004) azonosítható úthálózat elemeivel is (6. kép).

A hálózatok általános jellemzői és a „gerinchálózatok”

A régészeti korszakok úthálózatának vizsgálata kapcsán mindenképpen szükséges rámutatni a mo-

dellezés egyik „gyenge” pontjára, azaz arra, hogy nem ismerjük az egyes megtelepedések pontos, vagy legalábbis közelítő időintervallumát. Azok a régészeti lelőhelyek, amelyek most egy korszakba tartoznak, feltehetően nem léteztek egyidejűleg és ezért a most rekonstruált hálózat is egy idealizált állapotot mutat (6–7. táblázat).

A vizuális elemzés és a Depthmap és Graphab szoftverek segítségével előállított mérőszámok is



7. kép A régészeti lelőhelyek (vízszintes tengely–azonosítószám) és a szabályos pontháló alapján a vizes fedvényen készült „gerinchálózat” elemeinek távolsága (függőleges tengely–méter)

Fig. 7 Distance (vertical axis–m) of the archaeological sites (horizontal axis–id) and the “main road network” based on a regular grid in a wet environment

jól mutatják a vizes és a száraz környezet, valamint az egyes korszakok úthálózata között jelentkező különbségeket. A száraz környezeti modellek magasabb fokszáma (degree), közöttiség központiság (betweenness connectivity) és alacsonyabb közelség központisága (closeness centrality) értéke egyértelműen a rövidebb útszakaszoknak köszönhető. Ezzel egybevégtően az egyes útszakaszokat vizsgálva a vizes modelleken magasabb mean depth (hosszabb útvonalak), choice (koncentráltabb útvonalak), controllability (jobb „belátható”, egyértelmű útszakaszok), relativised entropy (szabályosabb hálózat) értékek jelentkeznek, melyeket alacsonyabb integration (kevésbé szimmetrikus hálózat) és connectivity (egyszerűbb „útkereszteződések”) értékek egészítenek ki.

Régészeti korszakok útvonalhálózata

Időrendben nézve a régészeti korszakok mérőszámait, egy folyamatos – részben a lelőhelyek számarányváltozását következő – ciklikusság ismerhető fel, melynek során a hálózatok szerkezete, felépítése, szimmetriája, a lelőhelyek és a közöttük húzódó utak távolsága, valamint az utak intenzitása rendre ellentétes irányban változik, vagy stagnál. Szükséges kiemelni azonban, hogy e változások mértéke viszonylag kis intervallum mentén mozog.

A modellezés kiindulási állapotát jelentő neolitikum idejében a legnagyobb számú lelőhelyállomá-

mány hálózata a teljes kutatási területet sűrűn átszővi. A lelőhelyek nagy számából következően azok magas, átlagos és maximális fokszámmal jelentkeznek, a közöttük húzódó utak intenzív hálózata viszont viszonylag rövidebb, de egymáshoz jobban kapcsolódó útvonalakból áll.

A rézkor idejére a lelőhelyek számának visszaesésével – de azok térbeli elterjedésének csupán minimális csökkenésével – a lelőhelyek fokszáma is esik. Az útvonalak nagyobb része „kerüli el” a köztes lelőhelyeket és a hálózat szimmetrikussága is csökken. Ebből következően maguk az útvonalak viszont megnyúlnak és koncentráltabbak is lesznek.

A bronzkorban a lelőhelyek térbeli eloszlása nem, csak darabszáma változik, ami jobb kapcsolódási értékeket is jelent. A lelőhelyek központiság értékei rendre átlag alatt maradnak, melyek következtében azok kevésbé képezik a hálózat részét. Az útvonalak hossza, kapcsoltsága és szimmetrikussága azonban növekszik.

A vaskor mérőszámaiban megmutatkozik, hogy a Polgártól délre fekvő területekről ismerünk csak kisszámú lelőhelyet. A hálózat a rézkori képét mutatja az elterjedésből következő rövidebb útszakaszok kivételével.

A szarmata korban a számarányában neolitikumot közelítő lelőhelyállomány képezte az elemzés alapját, viszont a lelőhelyek a Kengyel-értől délkeletre is felismerhetőek. Ebből következően a lelő-

7. táblázat A Graphab szoftverrel végzett modellezés eredményei (rövidítések: PL: planar /Voronoi poligonok szerinti szomszédok/, CO: teljes hálózat, CC: closeness centrality (közelség központiság), BC: betweenness centrality (közöttség központiság), EC: eccentricity (különtség))

Table 7 Modelling results of the Graphab software (abbreviations: PL: planar, Voronoi neighbours, CO: whole network, CC: closeness centrality, BC: betweenness centrality, EC: eccentricity)

KF1–vizes fedvény	Neolitikum	Rézkor	Bronzkor	Vaskor	Szarmata kor	Avar kor	Árpád-kor	Késő középkor	Összes
Lelőhelyek száma	122	48	63	35	116	21	44	27	188
Átlagos fokszám –PL	4,15	3,75	3,87	3,6	4,03	3,43	4,05	3,56	4,21
Maximális fokszám –PL	8	7	7	6	8	6	8	6	8
Átlagos BC (norm.) –PL	0,23	0,26	0,22	0,28	0,22	0,33	0,23	0,23	0,18
Átlagos CC–PL	1 328	1 058	1 197	1 365	1 217	1 107	1 266	1 308	1 240
Maximális CC–PL	2 271	1 924	2 535	2 221	2 054	2 138	2 413	2 437	2 095
Átlagos fokszám –CO	9,26	7,08	8,51	7,89	8,28	7,81	9	8,15	9,77
Maximális fokszám –CO	25	14	20	14	19	16	17	16	30
Átlagos BC (norm.) –CO	0,13	0,2	0,14	0,16	0,16	0,16	0,11	0,11	0,13
Átlagos CC–CO	1 100	1 018	974	1 030	1 101	837	1 109	1 197	1 154
Maximális CC–CO	2 001	1 851	1 841	1 565	1 878	1 382	2 070	2 070	1 979
Átlagos EC–CO	2 579	2 401	2 342	1 936	2 516	1 677	2 497	2 514	2 623

KF2–száraz fedvény	Neolitikum	Rézkor	Bronzkor	Vaskor	Szarmata kor	Avar kor	Árpád-kor	Késő középkor	Összes
Lelőhelyek száma	122	48	63	35	116	21	44	27	188
Átlagos fokszám –PL	4,61	4,17	4,51	4,11	4,66	3,81	4,23	4	4,94
Maximális fokszám –PL	8	7	8	8	10	7	9	6	9
Átlagos BC (norm.) –PL	0,3	0,36	0,29	0,27	0,26	0,36	0,36	0,24	0,2
Átlagos CC–PL	646	598	618	594	660	445	637	718	689
Maximális CC–PL	1 045	1 013	1 163	885	1 055	737	1 176	1 093	1 036
Átlagos fokszám –CO	10,38	7,83	10,79	9,94	11,76	9,9	12,32	9,26	14,77
Maximális fokszám –CO	23	16	21	18	28	16	21	16	34
Átlagos BC (norm.) –CO	0,21	0,27	0,21	0,26	0,19	0,22	0,23	0,24	0,14
Átlagos CC–CO	614	586	585	577	633	415	604	685	658
Maximális CC–CO	1 009	999	1 113	863	1 010	700	1 136	1 069	990
Átlagos EC–CO	1 396	1 359	1 397	1 163	1 398	890	1 399	1 436	1 440

helyek mérőszámai közelítik a neolitikum során vázolt állapotot, azonban az útvonalak hosszabbak és rendszerüket tekintve szabályosabbak.

Az avar kori hálózat területi lefedettsége és lelőhelyszáma alapján is a legkisebbnek tekinthető, emiatt a vaskori hálózattal állítható párhuzamba, melyet még rövidebb útvonalak, alacsony szabályosság mellett jelentkező igen magas szimmetria jellemez.

Az Árpád-kor időszakában szintén alacsony a lelőhelyszám, ezek területi lefedettsége a rézkorit idézi. Az utak koncentráltak, kapcsolódási fokok és szimmetriájuk alacsony. A neolitikumhoz és szarmata korhoz képest harmadannyi lelőhely és az ezeket összekötő úthálózat mérőszámai lényegében e két korszakhoz konvergálnak. A hálózat tehát alacsony lelőhelyszáma ellenére is sűrű, egyenletes eloszlású.

A késő középkor idejére szintén csökken a lelőhelyszám és a kutatási terület északi oldalán részben változik a területi lefedettség is. Ugyanakkor egy bronzkorihoz hasonló, de kevésbé intenzív hálózat rajzolódik ki, hosszú, de koncentrált és szimmetrikus útvonalakkal, melyek kompenzálják a lelőhelyek alacsony fokszámát. (4–5. kép, 6–7. táblázat)

Összefoglalás

A régészeti lelőhelyek között húzódó úthálózat vizsgálatára a régészettudományban évtizedek óta meghonosodott módszer a legkisebb költségű út és ezek hálózatának vizsgálata (HOWEY 2011, 2523–2526; HERZOG 2013; VAN LEUSEN 2002, 6. fejezet; VERHAGEN 2013, 383–384). Az elemzések jelentős része eddig elsősorban dombos és hegyes vidéken folyt (GIETL et al. 2008; HERZOG–POSLUSCHNY 2011), miközben sík területekről modellezési problémák miatt kevés példát ismerünk (VERHAGEN 2013, VERHAGEN et al. 2014).

Notes

1 Jelen tanulmány a szerző “Régészeti célú térbeli elemzések és térinformatikai modellezések Polgár térségében az őskortól a középkorig” című készülő

Jelen kutatás keretében síkvidéki környezetben dinamikus árvíz- és csapadékmódellezésen alapuló költségfedvények előállításával lehetővé vált az állandóan árvíz- és belvízmentes területek lehatárolása. A száraz környezetben végzett úthálózat-rekonstrukciók igazolták az előzetes feltevéseket, azaz az utak a vizsgálati területet egységes rendben szőtték át. A maximális vízborítottság mellett végzett úthálózat-rekonstrukciók az állandóan szárazon lévő területeken helyezkednek el és az I. Katonai Felmérés úthálózatához is jól igazodó képet mutatnak. Modellezési szempontból tehát a vízrajzi rekonstrukció eredményei síkvidéki környezetben megfelelő módon helyettesíthetik a lejtőkategória értékek használatát.

A szabályos rácsháló alapján létrehozott – településhálózati prekonceptióktól mentes – „gerinchálózat” szignifikáns kapcsolata a régészeti lelőhelyekkel arra mutat, hogy a települések folyamatos megközelíthetősége és az utak használhatósága az időjárás és a klíma változásaitól függetlenül minden korszakban kiemelt szempont volt. Ugyanakkor az egymást követő korszakokban – nem feltétlenül folytonosan – lakott lelőhelyek arra utalhatnak, hogy az úthálózat hosszabb ideig élő elemei a települések térszínválasztását is befolyásolhatták. Jelen ismereteink alapján azonban az utak és különböző korú települések időrendi sorrendje nem határozható meg.

A rekonstruált korszakos hálózatok között csak kismértékű eltérések mutathatóak ki, mivel – ahogy a korábbiakban említettem – a vizsgálati területen a régészeti lelőhelyek jellemzően több korszakon át használatban voltak. Ennek ellenére a modellezés eredményei alapján egyértelműen kirajzolódik egy folytonosan ismétlődő ciklus, melynek során a hálózatok szerkezete, felépítése, szimmetriája, a lelőhelyek és a közöttük húzódó utak távolsága, valamint az utak intenzitása rendre ellentétes irányban változik, vagy stagnál.

doktori disszertációjának egy rövidített fejezetváltozata. Az ábrákat a szerző készítette, amennyiben ellentétes utalás nem történt.

IRODALOM

- ANDERSON, David
2012 *Least Cost Pathway Analyses in Archaeological Research: Approaches and Utility*. In: White, D.–Surface-Evans, S. (eds.), *Least Cost Analysis of Social Landscapes: Archaeological Case Studies*. Salt Lake City, 239–257.
- ARCANUM
2004 *Az első katonai felmérés – Magyar Királyság 1782–1785*. DVD-ROM. Budapest.
- BÖDÖCS András
2008 *A római kori úthálózat térinformatikai vizsgálata a mai Magyarország területén*. Doktori értekezés. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest.
- BRUGHMANS, Tom
2013 *Thinking Through Networks: A Review of Formal Network Methods in Archaeology*. *Journal of Archaeological Method and Theory* 20, 623–662.
- COULTHARD, Tom–NEAL, Jeffrey–BATES, Paul–RAMIREZ, Jorge–DE ALMEIDA, Gustavo–HANCOCK, Greg
2013 *Integrating the LISFLOOD-FP 2D hydrodynamic model with the CAESAR model: Implications for modelling landscape evolution*. *Earth Surface Processes and Landforms* 38, 1897–1906.
- DIJKSTRA, Edsger
1959 *A note on two problems in connexion with graphs*. *Numerische Mathematik* 1, 269–271.
- GÁBRIS Gyula–FÉLEGYHÁZI Enikő–NAGY Balázs–RUSZKICZAY Zsófia
2011 *A Közép-Tisza vidékének negyedidőszak végi folyóvízi felszínfejlődése*. Szeged.
- GIETL, Rupert–DONEUS, Michael–FERA, Martin
2008 *Cost Distance Analysis in an Alpine Environment. Comparison of Different Cost-Surface Models*. In: Posluschny, A.–Lambers, K.–Herzog, I. (eds.), *Proceedings of the 35th International Conference on Computer Application and Quantitative methods in Archaeology (CAA)*. Berlin, Germany, April 2–6, 2007. Bonn, 342–350.
- GORENFLO, Larry–GALE, Nathan
1990 *Mapping regional settlement in information space*. *Journal of Anthropological Archaeology* 9, 240–274.
- FOLTETE, Jean-Christophe–CLAUZEL, Céline–VUIDEL, Gilles
2012 *A software tool dedicated to the modelling of landscape networks*. *Environmental Modelling and Software* 38, 316–327.
- FÜZESI András
2009 *A neolitikus településszerkezet mikroregionális vizsgálata a Tisza mentén Polgár és Tiszacsege között*. *Tisicum – A Jász-Nagykun-Szolnok megyei Múzeumok Évkönyve* 19, 377–398.
- HERZOG, Irmela
2013 *The Potential Limits of Optimal Path Analysis*. In: Bevan, A.–Lake, M. (eds.), *Computational Approaches to Archaeological Spaces*. Walnut Creek, 179–211.
- 2014a *A Review of Case Studies in Archaeological Least-cost Analysis*. *Archeologia e Calcolatori* 25, 223–239.
- 2014b *Least-cost Paths – Some Methodological Issues*. *Internet Archaeology* 36.
- HERZOG, Irmela–POSLUSCHNY, Axel
2011 *Tilt – slope-dependent least cost path calculations revisited*. In: Jerem,

- E.–Redő, F.–Szeverényi V. (eds.), *On the Road to Reconstructing the Past, Proceedings of the 36th International Conference*. Budapest, April 2–6, 2008. Budapest, 212–218.
- HILLIER, Bill
2007 *Space in the machine. A configuration theory of architecture*. Electronic edition. London. http://www.ninsight.at/ak_stdb/SpaceIsTheMachine.pdf (hozzáférés: 2015.01.20.)
- HILLIER, Bill–HANSON, Julianne
1989 *The Social Logic of Space*. Cambridge–London–New York–New Rochelle–Melbourne–Sydney.
- HOWEY, Meghan
2011 *Multiple pathways across past landscapes: circuit theory as a complementary geospatial method to least cost path for modeling past movement*. *Journal of Archaeological Science* 38, 2523–2535.
- KISTÁJ 2010
VAN LEUSEN, Martin
2002 Dövényi Z. (szerk.), *Magyarország Kistájainak Katasztere*. Budapest.
Pattern to process: methodological investigations into the formation and interpretation of spatial patterns in archaeological landscapes. PhD Thesis. Groningen.
- LOWRY, John–SAYNOR, Mike–ERSKINE, Wayne–COULTHARD, Tom–HANCOCK, Gregory
2014 *A Multi-year Assessment of Landform Evolution Model Predictions for a Trial Rehabilitated Landform*. In: *Proceedings Life-of-Mine: Delivering sustainable legacies through integrated Life-of-Mine Planning*. Melbourne, 67–80.
- MAGYARI, Enikő–CHAPMAN, John–FAIRBAIRN, Andrew S.–FRANCIS, Mark–DE GUZMAN, Margarita
2012 *Neolithic Human impact on the landscapes of North-East Hungary inferred from pollen and settlement records*. *Vegetation History and Archaeobotany* 21, 279–302.
- NETELER, Markus–MITASOVA, Helena
2008 *Open Source GIS: A GRASS GIS Approach*. New York.
- RAYFIELD, Bronwyn–FORTIN, Marie-Josée–FALL, Andrew
2011 *Connectivity for conservation: a framework to classify network measures*. *Ecology* 92, 847–858.
- SÜMEGI, Pál–CSÖKMEI, Bálint–PERSAITS, Gergő
2005 *The evolution of Polgár island, a loess-covered lag surface and its influences on the subsistence of settling human cultural groups*. In: *Environmental Historical Studies from the Late Tertiary and Quaternary of Hungary*. Szeged, 141–163.
- SZILÁGYI, Magdolna
2014 *On the Road: The History and Archaeology of Communication Networks in East-Central Europe*. Budapest.
- TELBISZ Tamás–SZÉKELY Balázs–TIMÁR Gábor
2013 *Digitális Terepmodellek. Adat, látvány, elemzés*. Budapest.
- TÓTH Csaba
2003 *A Hortobágy negyedidőszak végi felszínfejlődésének főbb természeti és antropogén vonásai*. Doktori értekezés, Debreceni Egyetem.
- TÓTH, Csaba–FÉLEGYHÁZI, Enikő–SZABÓ, József
2001 *The study of the Middle Tisza region dead riverbeds from the aspect of landscape rehabilitation*. In: Buzek, L.–Rzetala, M. (eds.), *Man and landscape*. Ostrava–Sosnowiec, 148–155.

- TURNER, Alasdair
2011 *Depthmap: A program to perform visibility graph analysis*. In: Peponis, J.–Wineman, J.–Bafna, S. (eds.), *Proceedings of the 3rd International Symposium on Space Syntax 2001*, Atlanta–Michigan, 31.1–31.9.
- 2004 *Depthmap 4. A Researchers Handbook*. London.
- URBAN, Dean–KEITT, Timothy
2011 *Landscape connectivity: a graph-theoretic perspective*. *Ecology* 82, 1205–1218.
- VERHAGEN, Philip
2013 *On the Road to Nowhere? Least Cost Paths, Accesibility and the Predictive Modelling Perspective*. In: Contreras, F.–Farjas, M.–Melero, F. J. (eds.), *Proceedings of the 38th Annual Conference on Computer Appliation and Quantitative Methods In Archaeology (CAA 2010)*. Oxford, 357–366.
- VERHAGEN, Philip–BRUGHMANS, Tom–NUNINGER, Laure–BARTONCELLO, Frédérique
2014 *The Long and Winding Road: Combining Least Cost Paths and Network Analysis Techniques for Settlement Location Analysis and Predictive Modelling*. In: Earl, G.–Sly, T.–Chrysanthi, A.–Murrieta-Flores, P.–Papadopoulos, C.–Romanowska, I.–Whetley, D. (eds.), *Archaeology in the Digital Era. Papers from the 40th Annual Conference of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*, Southampton, 26–29 March 2012. Amsterdam, 357–366.
- VAN DE WIEL, Marco–COULTHARD, Tom–MACKLIN, Mark–LEWIN, John
2007 *Embedding reach-scalefluvial dynamics within the CAESAR cellular automaton landscape evolution model*. *Geomorphology* 90, 283–301.

LEAST-COST PATH NETWORKS FROM THE NEOLITHIC TO THE MIDDLE AGES IN LOWLANDS

Summary

Over the past decades, least-cost path calculations became widely used in archaeological contexts to gain a better understanding of settlement patterns and the movement of population groups and commodities. Most approaches use equations and algorithms describing the movement itself, creating cost surfaces that are more-or-less connected to relief. Therefore, in lowland areas, the “standard procedure” generally yields an almost straight route between two points in the landscape.

Our study area for testing modelling in a lowland region lies in the Polgár area in Hungary, where the floodplain of the Tisza River and elevated loess islands adjoin the Hortobágy marshlands, and elevation change is no more than 10 meters.

Our research hypothesis was that during times of floods and in the rainy season, the road network would differ from the one in the dry season. Therefore, as a first step, the detailed environmental con-

text was reconstructed using a dynamic flood and rainfall-runoff model, followed by the construction of different cost surfaces to model dry and wet periods. It then proved possible to study the changes in road networks from the Neolithic to the Late Middle Ages in dry and in wet periods. To reduce the bias caused by the known sites, models were also created based on a regularly placed point grid.

As a result, not only the “all-time” elements of the main network could be identified – which showed a significant correlation with the known sites – but also recurring cyclical changes could be noted in different archaeological periods.

During the Neolithic, the starting point of our modelling, a dense network with the highest number of sites extended across the entire study area. The high number of sites had a high average and maximum degree of centrality, while the routes between them were relatively shorter, but more interconnected.

The number of sites decreased during the Copper Age, although their spatial distribution declines minimally, and thus the degree of sites' centrality decreased too. Most routes "avoided" the inbetween sites and the symmetry of the network decreased too, as a result of which routes became longer and more concentrated.

The regional distribution of sites during the Bronze Age did not change, although their number did, leading to better connectivity values. The centrality values of the sites generally remained below average, indicating that they were parts of the network to a lesser extent. At the same time, the length, the connectivity and the symmetry of the routes increased.

The values for the Iron Age reflect the fact that the number of sites is low and that they are only known from the areas lying south of Polgár. The overall network resembles the one of the Copper Age, but lacks the shorter routes as a result of the site distribution.

The number of sites of the Sarmatian period approximated those of the Neolithic and several sites were documented south-east of the Kengyel Stream too, thus the values of the sites resembled those of the

Neolithic, although routes were longer and formed a much more regular network.

The road network of the Avar period was the smallest, in terms of both the area's coverage and the number of sites, and it can best be compared to the one during the Iron Age; it is characterised by shorter routes, a low degree of regularity and a high degree of symmetry.

The number of sites during the Árpadian Age is likewise low and their coverage recalls that of the Copper Age. The routes show a concentration, and their degree of connectivity and symmetry is low. The number of sites is about one-third of the those of the Neolithic and the Sarmatian period; the values of the routes connecting them resemble those of these two periods, meaning that despite the low number of sites, the road network is dense and has an even distribution.

The number of sites decreased by the late Middle Ages and the area's coverage changed to some extent in the northern part of the study area. A network resembling the Bronze Age one, although less intensive, with concentrated and symmetric routes compensating the low values of the sites could be reconstructed (Figs. 9–10, 13–14).

Mesterházy G.
Budavári Ingatlanfejlesztő
és Üzemeltető Nonprofit Kft.
H-1013, Budapest, Ybl Miklós tér 6.
gabor.mesterhazy@forsterkozpont.hu