

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
Természettudományi és Informatikai Kar
Földtudományok Doktori Iskola
Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék

**AGROGÉN HATÁSRA KIALAKULÓ FELSZÍNFORMÁK ÉS
FOLYAMATOK VIZSGÁLATA ELTÉRŐ GEOMORFOLÓGIAI
ADOTTSÁGÚ TERÜLETEKEN**

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

BENYHE BALÁZS

Témavezető:
Dr. Kiss Tímea

Szeged, 2013

1. Előzmények, célkitűzések

A mezőgazdasági művelés több ezer éves múltjával, nagy területi kiterjedtségével és sokrétű művelési módszereivel intenzív változásokat okozott (és okoz jelenleg is) a természeti környezetben. Hazánkban vizsgálata kiemelt szerepet kell kapjon, hiszen a mezőgazdaságilag hasznosított területek aránya kiemelkedően magas.

Az agrogén eredetű folyamatok és formák változatosak, kialakulásuk több tényezőtől függ. A természeti földrajzi környezet meghatározó, hiszen a domborzati adottságok, a talajok minősége és a klíma éppen úgy befolyásolja a mezőgazdasági ágazatok és művelési módok megválasztását, mint az indukált folyamatok sebességét és intenzitását. A különböző mezőgazdasági ágazatok eltérő formákat és különböző sebességgel lejátszódó folyamatokat hoznak létre, ezért vizsgálatuk nem történhet egységes módszerekkel.

A vizsgált formák között szerepelnek nem tisztán agrogén tevékenység során létrejötték (pl. löszmélyutak vagy a belvízelvezető csatornák menti kiemelkedések). Ezen formák transzportogén illetve hidroteknogén eredetűek, kialakításuk azonban mégis szorosan kapcsolódik a mezőgazdasági tevékenységhez – hiszen céljuk a mezőgazdaság „kiszolgálása” – ezért a kutatásom során vizsgálatukat mindenképpen indokoltnak tartottam.

Megítélésem szerint az agrogén folyamatok és formák leírásának és rendszerezésének menetét erősen behatárolja az adott kor földtudományi módszereinek technológia színvonala. Napjainkban az agrogén eredetű formák osztályozása már igen aprólékos, és kialakulásuk módját is ismerjük. Azonban a formák létrejöttének sebességét és főleg a mikroformák által módosított felszínformáló folyamatok mértékét – megfelelő mérési eszközök híján eddig nem számszerűsíthették a kutatók. Míg a 19-20. század folyamán csak a szabad szemmel érzékelhető és kézi eszközökkel mérhető jelenségek (pl. eróziós árkok) vizsgálata kerülhetett szóba, addig a 20. század végére az egyre fejlettebb technológiai háttér lehetővé teszi, hogy korábban a kis méretük vagy lassú sebességük miatt nem vizsgált (vagy nem vizsgálható), esetleg ismeretlen folyamatokat és formákat tanulmányozzunk. Jó példák erre a topográfiai elemek felmérésére szolgáló eszközök (mérőállomás, LIDAR szenzor), melyek akár cm-es pontosságú mérésekre is képesek nagy területet lefedve, kimutatva a legkisebb mértékű felszínváltozásokat is – amelyek különösen jellemzőek az agrogén felszínformálásra. A modern eszközökhöz sorolható az OSL kormeghatározás is, amely a korábbi ¹⁴C izotópos mérésekkel ellentétben lehetővé teszi a homokrégek korának meghatározását a szervesanyag

tartalomtól függetlenül. Ugyancsak nagy előrelépést jelentett az alkalmazás szintű térinformatikai szoftverek megjelenése, melyek lehetőséget teremtenek, hogy a – korábban felfoghatatlan mennyiségű – adat viszonylag gyorsan feldolgozásra kerüljön, és a mérési eredményekből következtetéseket lehessen levonni.

Doktori dolgozatom célja, hogy három mezőgazdasági ágazat (szőlőtermesztés, szántóföldi művelés és legeltetés) hatására kialakuló formák és folyamatok térbeli jellemzőit valamint kialakulásuk és fejlődésük (tér- és időbeli) körülményeit meghatározzam, különös tekintettel a direkt antropogén formák egyes morfológiai paramétereire (horizontális, vertikális és térbeli kiterjedés). A különböző ágazatok különböző geomorfológiájú területeken jelentkeznek, ezért a vizsgálatokat eltérő mintaterületeken végeztem. A mezőgazdasági tevékenységek felől megközelítve a következő kérdésekre kerestem választ:

Legeltetés hatása a Bugaci-homokhát területén:

1. Mikor és milyen hatásokra indult mozgásnak a futóhomok, illetve a felhalmozódás mértéke mekkora a különböző morfológiájú területeken?
2. Régészeti leletek alapján összefüggésbe hozhatóak-e az egyes homokmozgási szakaszok az legeltető állattartással?
3. Hogyan nézhetett ki az ember megtelepedése előtt a felszín, illetve a homokmozgások hatására milyen geomorfológiai változások történtek a területen?

Szántóföldi művelés az Alsó-Tisza vidéken:

1. Milyen geomorfológiai változások mennek végbe a szántás következtében, illetve milyen alaktani sajátosságai vannak az így létrejövő formáknak?
2. Milyen morfológiai paraméterekkel rendelkeznek a vízelvezető- és öntözőcsatornák mentén húzódó kiemelkedések?
3. A formák hogyan befolyásolták az eredeti felszín lefolyásviszonyait, mekkora területek válhattak így lefolyástalanná?

Szőlőművelés a Szekszárdi-dombvidéken:

1. Összefüggésbe hozhatóak-e a völgyek alaktani sajátosságai a területen történelmi idők óta folytatott szőlőműveléssel?
2. A területhasználat megváltozása milyen hatással van a dombság fejlődésére?

3. Milyen mértékű felszínpusztulást eredményez a löszmélyutak jelenléte, mekkora a lepusztult anyag mennyisége, illetve milyen mértékű a recens változás?
4. A szőlőművelés hatására kialakult formák (mélyutak, mikroformák) milyen hatással vannak a felszíni lefolyásra?
5. Milyen mértékű az agrogén hatásra felgyorsult erózió a területen, illetve van-e összefüggés a lefolyás antropogén eredetű módosulása, illetve az erózió mértéke között?
6. Mekkora mennyiségű anyag kitermelésével jöttek létre a szőlőteraszok, milyen mikrodomborzati sajátosságokkal rendelkeznek, valamint ezeknek milyen geomorfológiai következményei lehetnek?

Végző soron célom összehasonlítani, hogy a mezőgazdaság különböző – általam vizsgált – ágazatai milyen mértékben alakítják át a természetes domborzatot és ennek milyen következményei lehetnek például a lefolyásra. A vizsgált területeken összehasonlítható a felszínátformálás időbelisége is, utalva a különböző időszakok társadalmának környezet átalakító tevékenységére. Ugyanakkor arra is keresem a választ, hogy a különböző agrogén formák milyen módszerekkel vizsgálhatók leghatékonyabban.

2. Anyag és módszer

A különböző mezőgazdasági tevékenységek különböző természeti adottságú területeket igényelnek, ezért a célokban kitűzött agrogén formák ágazatok szerinti kutatása csak különböző geomorfológiájú mintaterületeken valósulhat meg. Az általam vizsgált antropogén folyamatok a legeltetés, szántóföldi földművelés és teraszos szőlőművelés hatására jöttek létre, különböző történelmi időben kezdődtek, eltérő ideig fejtették ki hatásukat és különböző formakincset hoztak létre. Mivel a három vizsgált agrogén tevékenység eltérő környezetet feltételez, ezért vizsgálatuk is három különböző mintaterületen valósulhatott meg. A (túl)legeltetés hatásait Bugac-Alsómonostortól délre, egy kiemelt homokbuckás térszínen és a tőle délkeletre, a Tisza ártéri síkja felé átmenetet képező alacsonyabb deflációs övezet határában, egy régészeti feltárás területén végeztem. A szántóföldi földművelés és az azt kiszolgáló csatornák hatására kialakuló formákat és folyamatokat a Dél-Tisza menti magas- és alacsony-ártéri területeken vizsgáltam. Végezetül a teraszos szőlőművelés és az azt kiszolgáló mélyutak által létrehozott agrogén és transzportogén formakincs és szemiantropogén folyamatai a Szekszárdi-dombság északkeleti részén lévő, a Sárközre nyíló kisvízgyűjtőkben kerültek meghatározásra.

A különböző mezőgazdasági tevékenységek hatását az eltérő geomorfológiai adottságú területeken nem lehetett teljesen egységes módszerekkel vizsgálni. Habár a topográfiai viszonyok meghatározása a geomorfológiai szemlélet miatt minden esetben elsődleges volt számomra – és ezért valamennyi vizsgálatomat a területekről készített digitális domborzatmodellek elemzésével vezettem be – a különböző morfológiájú agrogén formák szükségessé tették az alkalmazott módszerek kibővítését.

2.1. A legeltetés hatásainak vizsgálata

A bugaci régészeti feltárás környezetéről (4,4 km²) ArcMap segítségével digitális domborzatmodellt (DDM) szerkesztettem, melyhez 1:10000-es méretarányú EOTR topográfiai térképeket használtam fel. A DDM-en előforduló formák azonosítása után elkészítettem a terület geomorfológiai térképét, melyen elkülöníthetővé váltak a különböző geomorfológiai egységek, emellett meghatároztam a formák elhelyezkedését, kiterjedését, magasságát, illetve mélységét. A régészeti feltárás (a Horvát-tranzit gázvezeték nyomvonala) menti szakaszon szükségesnek láttam, hogy a felszín futását pontosabban meghatározzam, ezért Sökkia digitális mérőállomással terepi méréseket végeztem el.

Az antropogén eredetű homokmozgások geomorfológiai következményeinek vizsgálatához a régészeti feltárás teljes hosszáról fényképsort készítettem. A rétegek színe alapján elkülönítettem a világos

színű futóhomokrétegeket, illetve a sötétebb, humuszosodott paleotalaj rétegeket. A szelvényen elkülönítettem a morfológiailag eltérő szakaszokat, melyek a jelenlegi felszín futása, illetve a betemetődött rétegek paraméterei alapján különböztek.

Az OSL kormeghatározáshoz a feltárás három pontján gyűjtöttem mintákat, melyeket átlagosan 20 cm-ként vettem bolygatatlan mintavevő segítségével, a szelvények mélysége és a rétegek számától függően 7-10 pontból. A futóhomok- és paleotalaj rétegek egymásra települését és korát régészeti adatokkal vetettem össze. Az eltemetett homokformák alakja és egymásra településük, valamint a minták OSL korai alapján kísérletet tettem a feltárás menti terület felszínfejlődési rekonstrukciójának elkészítésére.

2.2. A szántóföldi művelés hatásainak vizsgálata

A szántóföldi művelés vizsgálata során a szántással, illetve a csatornák kialakítása során létrejövő mikroformák (bakhátak és csatornasáncok) paramétereinek, illetve elhelyezkedésének meghatározását végeztem el két mintaterületen. A Mindszenti mintaterületről (0,1 km²) – melyet 2007-2009 között vizsgáltam – még nem állt rendelkezésemre nagyfelbontású DDM, ezért Sokkia mérőállomással történő terepi mérések voltak szükségesek. A későbbi vizsgálataimat jelentős mértékben segítette, hogy a tápai-réti mintaterületről (77 km²) 2009-ben LIDAR technológiával előállított, nagyfelbontású DDM készült (Szatmári et al. 2011), így ezen a területen terepi magasságmérésekre nem volt szükség.

A mikroformák morfometriai paramétereinek (pl. magasság, szélesség) GIS alapú meghatározásánál a magasság és szélesség értékeket felszíni tereptörésekhez viszonyítottam. A bakhátak domborzati viszonyait 6 ha-os (300x200 m-es) un. mérési területeken, a csatornasáncokat pedig 37,6 km összhosszúságú csatornaszakasz mentén vizsgáltam.

A morfometriai paraméterek mellett 30 db bolygatatlan talajminta hidraulikus vezetőképességének meghatározásával próbáltam kimutatni a mikroformák vízviszartartó szerepét. Mintavételezések a csatornasáncok oldalán, illetve a csatornától távolabb (40-50 m-es távolságban) történtek. A bolygatatlan minták vízvezető képességét Eijkelkamp átszivárgás-mérőben, csökkenő víznyomás mellett határoztam meg.

A DDM alapján lefolyástalan területek helyét és kiterjedését összevetettem a bakhátak és csatornasáncok elhelyezkedésével, illetve műholdképeken látható tényleges elöntési foltokkal, így meghatározhattam, hogy az antropogén formáknak milyen mértékű lefolyásgátló szerepe van.

2.3. A szőlőtermesztés hatásainak vizsgálata

A szőlőterületek kiterjedésének vizsgálatát a 19. sz. előtti időszakból csak irodalmi adatok alapján volt lehetőségem becsülni. A 19. század végétől azonban a szőlőterületek elhelyezkedését és kiterjedését pontosabban meghatározhattam térképes adatok alapján. A térképes vizsgálatokhoz az I.-II. és III. katonai felmérés térképszelvényeit (M = 1:28800, illetve 1:25000), az 1860-as kataszteri felmérés térképlapjait (M = 1:2880), az 1970-es évekből származó sztereografikus topográfiai térképeket, az 1988-as EOTR topográfiai térképek szelvényeit (M = 1:10000), illetve a 2006-os CORINE felszínborítási adatbázist és a 2007-es évre vonatkozóan a Google Maps, nagyfelbontású Quickbird műholdfelvételeit (~0,6 m-es felbontás) használtam fel.

Kutatásom során eltérő méretarányban végeztem morфомetriai méréseket. Nagyobb léptékben (1:10000) vizsgáltam a vízgyűjtők oldalvölgyeinek morфомetriai paramétereit, illetve a löszmélyutak elhelyezkedését (14,8 km²). Kisebb léptékben (RTK GPS magasságadatok alapján) a teraszfelszínnek (0,35 km²) morфомetriai paramétereit, illetve mikrodomborzati sajátosságait vizsgáltam. A terepen mért adatokat ArcMap és Microsoft Excel szoftverek segítségével dolgoztam fel.

Morфомetriai méréseimet a (módosult) szemiantropogén folyamatok mértékének meghatározása követte, mely napjainkban (és feltehetően a történelmi időkben is) meghatározta a dombság felszínfejlődését. A legfontosabb folyamatok véleményem szerint a gyorsult talajerózió, melyet egyaránt vizsgáltam vízgyűjtő és parcella (teraszfelszín) szinten is, valamint a szőlőműveléssel kialakuló formák (pl. mélyutak, mikroformák) lefolyás-módosító hatásai, melyek felelőssé tehetők az erózió felgyorsulásáért és villámárvizek kialakulásáért.

A talajerózió mértékét a vízgyűjtőkről, illetve a teraszokról készített DDM-ek alapján határoztam meg a Wischmeier és Smith (1978) által megalkotott USLE talajvesztési egyenlet alapján.

A mélyutak lefolyásmódosító hatását a 2010. június 18-i záporra szimulált vízhozam-számításokkal számszerűsítettem. Meghatároztam, hogy a mélyutaktól mentes (eredeti) és a mélyutakkal behálózott (módosult) felszín esetében milyen időkülönbséggel és milyen vízhozamok mellett tetőznek a fővölgyekben futó patakok.

A mikroformák lefolyásmódosító hatását egy terasz felszínén vizsgáltam, az eredeti (mikroformáktól mentes) és a módosult (mikroformákkal tagolt) domborzatok lefolyási térképeinek (flow accumulation) összevetésével.

3. Az eredmények összefoglalása

3.1. A legeltetés hatására meginduló eolikus folyamatok vizsgálatának eredményei

3.1.1. A feltárás hossz-szelvényén látható homokrétegek elhelyezkedése és mérete, illetve a vizsgálati terület domborzati viszonyai arra utalnak, hogy kialakulásukkor a homoklepel képződés dominált. A kisebb mértékű defláció pontszerűen változtatja meg a felszínt (Borsy 1991, Mezösi és Szatmári 1998), míg az intenzív homokmozgások nagyobb területeket érintenek és jelentősebb formákat (pl. homokbuckákat) hoznak létre (Bateman és Godby 2004). A bugaci területen a homoklepek nagy száma és szélessége alapján a defláció nem csupán pontszerűen alakította át a domborzatot, azonban nem is érintett akkora területeket, hogy homokbucka-képződést, vagy esetleg a buckák terjeszkedését (pl. Száhel-öv – Tóth 2006) eredményezze. A vizsgálati terület geomorfológiai viszonyaiból arra következtettek, hogy a defláció elsősorban a feltárástól északnyugatra lévő nagyobb reliefű és könnyebben kiszáradó garmadamezőn indulhatott el. A futóhomok akkumulációja a vizsgálati terület egykori deflációs mélyedését csaknem 2 m-rel töltötte fel, felére (0,8 m) csökkentve korábbi relatív mélységét (1,6 m), vagyis (a később bebizonyított) agrogén hatásra meginduló futóhomok-mozgások elsődlegesen a felszín egyengetése irányába hatottak. A vizsgálataim rámutattak arra is, hogy a feltárás területén található, a topográfiai helyzet alapján maradékgerincnek minősíthető forma valójában délkeleti irányban elnyúló homoklepek egymásra településével kialakult, a holocénben létrejött gerinc, vagyis széliránnyal párhuzamos, megnyúlt formája ellenére akkumulációval jött létre. Tehát a homokformák jelenlegi alakjából nem következtethetünk egyértelműen a formák genetikájára és korára (ami a korábbi geomorfológiai kutatások bevált gyakorlata volt).

3.1.2. A feltárás legidősebb, pleisztocén végi rétegei még természetes módon alakultak ki. A legkorábban felhalmozódott, 2,0-2,6 m mélyen elhelyezkedő homokréteg a Würm-későglaciális átmenettől a fiatal Dryas kezdetéig tartó időszakban ($14,23 \pm 2,38$ ka, $13,72 \pm 3,03$ ka illetve $12,73 \pm 1,95$ ka) akkumulálódott és mészszipap tartalma arra utal, hogy egykor nedves (környezeténél mélyebben elhelyezkedő) térszín volt. A mészszipapos rétegre valószínűleg egy egyszeri szélesemény hatására 0,9 m vastag homokréteg települt a preboreális fázis során ($9,97 \pm 1,87$ ka, $9,20 \pm 1,32$ ka, $9,96 \pm 3,04$ ka illetve $10,86 \pm 1,47$ ka). A későbbi homokmozgások (4 esemény) egyértelműen emberi tevékenységhez köthetőek (Benyhe et al. 2012), hiszen mindig nagyállat tartó

kultúrscsoport megjelenésekor lendült mozgásba a futóhomok. A legeltetés hatására legkorábban a bronzkorban ($4,78 \pm 0,70$ ka és $4,18 \pm 0,78$ ka) indult meg a futóhomok mozgása, majd ezt a réteget (lokálisan) a szarmaták hatására mozgásba lendülő (0,3-0,4 m vastag) futóhomokréteg temette be ($1,47 \pm 0,34$ ka és $1,41 \pm 0,31$ ka). A népvándorlás idején ($1,15 \pm 0,29$ ka) történő futóhomokmozgást minden bizonnyal a nagy számban a Kárpát-medencébe érkező nomád törzsek – elsősorban az avarok – legeltetése okozta, mely során 0,6 m-t magasodott a feltárás déli részén található kiemelkedés. Az Árpád-kori futóhomokmozgás a kunok megjelenését követően zajlott ($0,86 \pm 0,16$ ka), és a feltárás déli részét 0,5 m-rel töltötte fel. Az OSL koradatok alapján legfiatalabb homokmozgás a késő-középkorban történt ($0,55 \pm 0,08$, $0,54 \pm 0,09$, illetve $0,50 \pm 0,07$ ka), és a feltárás északi részét kb. 0,6 m-rel töltötte fel.

3.1.3. A homokleplek kora arra utal, hogy a terület felszínét kizárólag a holocénben áthalmazódott futóhomokrétegek alkotják, és pleisztocén korú rétegek a felszíntől számított 1,5-2 méteres mélységig nem fordulnak elő, vagyis a terület mai felszínének kialakításában elsősorban a holocénben zajló (antropogén eredetű) deflációs folyamatok játszottak szerepet. Ez némileg ellentmond a korábban elfogadott elméleteknek (Borsy 1977, 1991, Lóki 2009), melyek szerint a Duna-Tisza közén előforduló homokformák szinte kivétel nélkül a pleisztocén száraz klímáján jöttek létre, hiszen a bugaci feltárás teljes hosszában kizárólag a holocén során akkumulálódott homokleplek találhatóak. A homokleplekből felépülő gerinc kiterjedése ($0,4 \text{ km}^2$) arra utal, hogy a holocénben zajló, antropogén eredetű deflációs folyamatok annak ellenére, hogy rövid ideig tartottak, jelentős területeket érinthettek a kultúrscsoportok által használt területeken.

3.2. A szántóföldi művelés során létrejövő mikroformák vizsgálatának eredményei

3.2.1. Mérési eredményeim szerint a szántás során létrejövő bakhátak átlagosan 0,09 m magas és 28 m széles formák, de a nagyobbak akár 0,19-0,26 m magasak és 60-100 m szélesek is lehetnek (Benyhe és Kiss 2012). A bakhátak átlagos sűrűsége méréseim szerint $35 \text{ km}/\text{km}^2$, de többirányú szántás esetében ennél valamivel sűrűbben is elhelyezkedhetnek ($39 \text{ km}/\text{km}^2$). A mikroformák lefolyás-módosító hatásának számszerűsítésére bevezettem egy új paramétert, amit dolgozatomban magasság-relief aránynak nevezek. Ezt a paramétert a mikroforma magassága és a lejtésből eredő szintkülönbség (relief) hányadosaként határoztam meg, és értéke megadja, hogy adott magasság és lejtés mellett mekkora kiterjedésű

lefolyástalan terület alakulhat ki. A bakhátak magassága a táblák természetes reliefének átlagosan 2,5-szerese, ami komoly lefolyás-módosító hatást eredményezhet. Méréseim szerint nagyobb magasság-relief arányú (> 1) bakhátak nagyobb reliefű (> 200 cm/km) területeken is megjelennek, vagyis a bakhátak a természetes lejtésviszonyoktól függetlenül akadályozhatják a felszíni vizek lefolyását.

3.2.2. A lefolyás tekintetében a bakhátak elhelyezkedésük alapján a lefolyást ellentétes módon befolyásolhatják, hiszen míg a tábla lejtésirányával párhuzamosan futó szántásnyomok vízvezető szerepet látnak el, addig a lejtésre merőleges bakhátaknak vízvisszatartó funkciója van. A szántásnyomok általában a tábla lejtésével közel párhuzamosak, vagyis a szántásnyomok jellemzően vízvezető szerepet töltenek be, de a vizsgált terület kb. 14 %-án (3,5 km²) a lejtésre merőleges irányú bakhátakat is azonosítottam, melyek a lefolyást akadályozzák, így hozzájárulhatnak a belvizek kialakulásához. Emellett a terület 19 %-án (4,8 km²) olyan táblák találhatóak, ahol a szántást több irányból végzik, így a bakhátak a táblákat paralelogramma alakú lefolyástalan egységekre darabolják fel.

3.2.3. A bakhátak lefolyás-lassító szerepére Tóth (2006) utal a gyepterületeken végzett un. skatulyázás kapcsán, míg szántók esetében Patay és Montvajszki (2011) a belvízfoltok sávos mintázatából következtetett a szántásnyomok belvíz-képző hatásaira. A domborzat és a belvíz kapcsolatának vizsgálata a legtöbb tanulmányban csak nagyobb léptékben (1:10000 – 1:25000) valósult meg (Rakonczi et al. 2001, Tóth et al. 2004, Körösparti és Bozán 2010), így az agrogén (és hidrotechnogén) mikroformák szerepe sokáig figyelmen kívül maradt annak ellenére is, hogy gyakran még a kisebb méretarányú belvíztérképeken is látható, hogy a mikrodomborzat (pl. utak, vasutak, csatornák mentén) meghatározza az elöntések alakját és kiterjedését.

3.2.4. A csatornák anyagából létrehozott kiemelkedések (csatornasáncok) lefolyás-módosító szerepe még a bakhátakénál is nagyobb, mivel lényegesen magasabb, átlagosan 0,4 m magas és 18 m széles formákról van szó, melyeknek a magasság relief aránya átlagosan 4,5, vagyis a táblák természetes reliefénél jóval magasabbak. A csatornasáncok szinte valamennyi csatorna mentén (32,1 km – 85 %) megtalálhatóak, és az esetek többségében (28,4 km – 76 %) a csatornának mindkét oldalát kísérik kiemelkedések (Kiss és Benyhe 2009, Benyhe és Kiss 2012). Azok a csatornaszakaszok, melyeket nem kísérnek csatornasáncok általában természetes medrek mentén helyezkednek el, azonban ezeknek a szakaszoknak az aránya mindössze 14 % (5,5 km).

3.2.5 A csatornasáncok paramétereinek eltéréseiből arra következtettek, hogy egyes esetekben utólagosan átformálódtak, amit a csatornák nagyon eltérő

szimmetriaviszonyai is tükröznek. Véleményem szerint a szimmetria vagy aszimmetria mértéke utalhat arra, hogy a kiemelkedéseknek szántak-e vízvédelmi funkciót – megakadályozandó a csatornából a táblára történő kiöntést – hiszen ebben az esetben a két formának hasonló paraméterekkel kellene rendelkeznie. A szimmetrikus és egyes közel-szimmetrikus csatornák a mezőgazdasági táblák lefolyása szempontjából mindkét oldalról elzárt medrűek, mivel csatornasáncaik egyforma mértékben képesek a vizet visszatartani. Az aszimmetrikus csatornák esetében azonban jelentősen változhat a csatornasáncok lefolyás-módosító hatása annak függvényében, hogy a magasabb sánc a csatorna melyik oldalán helyezkedik el. Azokat a csatornákat, melyeknél a lefolyást jobban gátoló (magasabb) csatornasánc a csatorna magasabban elhelyezkedő oldalán húzódik, felülről zárt csatornáknak neveztem el, mivel ezeken a csatornaszakaszokon a nagyobb forma van a lefolyás útjában, tehát a parcelláról lefolyó víz (pl. belvíz) nem juthat a csatornába. Ezzel szemben amennyiben a magasabb csatornasánc a csatorna alacsonyabb oldalán húzódik, illetve a csatorna magasabban elhelyezkedő oldalán nincs csatornasánc, a meder a lefolyás szempontjából alulról zárt. Ilyenkor a csatorna irányába a parcelláról érkező víz alacsonyabb akadályba ütközik, magányos csatornasánc esetén pedig akadály nélkül eljut a csatorna medréig. Vizsgálataim szerint a csatornák 13 %-a (4,9 km) elzárt, vagyis mindkét oldalukon rossz a lefolyási lehetőség. Az aszimmetrikus csatornák legnagyobb része (22 km – a vizsgált szakaszok 59 %-án) alulról zárt, azonban a csatornasáncok magasságának különbsége nem túl nagy (az átlagos eltérés kb. 0,1 m), amiből arra következtetek, hogy az aszimmetria nem tudatos tervezési munka eredményeként jött létre, hanem a csatornák kialakítási módja, illetve utólagos antropogén hatások (pl. kotrás, taposás, szántás) alakították ki. Méréseim alapján a lefolyás szempontjából legkedvezőbb, mindkét oldalról nyitott medrű csatornák a vizsgált szakaszoknak mindössze 14 %-át (5,5 km) adják.

3.2.6. A bakhátak és csatornasáncok lefolyás-módosító szerepe némileg eltér, hiszen míg a csatornasáncok minden esetben a csatornák mentén képeznek lefolyási akadályt előntést okozva, a bakhátak akár a táblák magasabb részeit is lefolyástalanra tehetik, így a köztük húzódó ekebarázdákban gyűlhet össze a víz. A bakhátak a táblák egyes részvízgyűjtőit kapcsolják szét, melynek következtében egymástól elkülönülő belvízfoltok jelenhetnek meg a táblák különböző részein. Ezzel szemben a csatornasáncok miatt a tábla és a csatorna medre kerül szétkapcsolt állapotba, így megszűnik a csatorna vízelvezető funkciója. Méréseim szerint a bakhátak hatására 3,4 km²-es (14 %) lefolyástalan terület jön létre, míg a csatornasáncoknak köszönhetően a csatornák 85 %-

a mentén (31,9 km), összesen 4,0 km²-es (16 %) területen akadályozzák meg a felszíni vizek lefolyását. Ráadásul a terület 7,8 %-án (1,9 km²) a felszíni lefolyást a bakhátak és a csatornasáncok együttesen akadályozzák, így ezeken a területeken kedvezőtlen hatásuk összeadódhat. Tehát a LIDAR DDM alapján a lefolyástalan területek jelentős része csatornák mentén helyezkedik el, és a csatorna menti elöntések műholdfelvételen is megfigyelhetők, így a csatornák vízlevezető szerepe megkérdőjelezhető annak ellenére, hogy eredetileg belvív-elvezetés céljából alakították ki őket.

- 3.2.7. A mikroformák lefolyás-módosító szerepét kifejezettebbé teszi, hogy a megművelt területek talajainak tömörebb rétegei méréseim szerint rendkívül alacsony (0,1-1 mm/h) hidraulikus vezetőképességgel rendelkeznek, ami két nagyságrenddel alacsonyabb, mint az agyag Várallyay et al. (1980) által megadott hidraulikus vezetőképessége (60 mm/h). Ráadásul vizsgálataim szerint a tömör talajrétegek követik a mikrodomborzat futását, így meggátolják a lazább szerkezetű rétegekben történő oldalirányú vízmozgást. A vizet rosszul vezető (pl. eketalp) rétegekről korábban nem volt bizonyított, hogy futásuk követi a mikrodomborzatot, így az eketalp réteg ezen szerepe sem volt értékelve a belvízkutatások során.
- 3.2.8. A szántásnyomok jelentősége a terület használatának intenzitásával és időtartamával arányosan növekszik, hiszen bár a planáció során a táblák természetes szintkülönbségei egyre csökkennek, a mikroformák magassága hozzájuk viszonyítva egyre nő, vagyis az idő előrehaladtával a bakhátak és az ekebarázdák a táblák lefolyását meghatározó formákká válhatnak. A tápai-réti mintaterületen szántóföldi művelés csak a terület ármentesítését (1855-1867) követően jelenhetett meg, vagyis a táblák legnagyobb része legfeljebb egy évszázad óta van művelés alatt. Ha figyelembe vesszük, hogy az 1960-as években a nagyüzemi mezőgazdaság megjelenésével valószínűleg a táblaszerkezet is átalakult, elmondható, hogy a bakhátak és ekebarázdák kora fél évszázadnál nem több. Ezzel szemben a nagyobb csatornákat már az ármentesítések idejében alakították ki, vagyis a mellettük húzódó csatornasáncok megközelítőleg 120-130 évesek, bár a Kérő-ér mentén 160 évesnél idősebb kiemelkedéseket (un. vontatóutakat) is azonosítani tudtam. A szántásnyomok, valamint a csatornák mentén húzódó kiemelkedések lefolyásgátló szerepe a modern terepi, illetve távérzékelte adatok hiányában az elmúlt évtizedig ismeretlen volt. Megítélésem szerint ez az oka annak, hogy a mikrodomborzat napjainkra is megoldatlan agronómiai és vízügyi problémákat okoz.

3.3. A szőlőtermesztés hatására átalakuló felszín vizsgálatának eredményei

3.3.1. Az irodalmi adatok alapján a Szekszárdi-dombság területén hosszú ideje (i.sz. 4. századtól) folyik szőlőművelés, mely a leírások szerint a 13. századtól folyamatos, de a szőlőterületek térbeli alakulása részletes térképeken csak a 19. századtól követhető nyomon. Vizsgálataim szerint a vízgyűjtőkön a szőlőterületek kiterjedése az 1860-as években $10,8 \text{ km}^2$ (73 %) volt. A 19. sz. végén a vizsgált vízgyűjtők csaknem egészét egybefüggő szőlőterület borította és új löszmélyutak jöttek létre, valamint megjelentek a löszszakadékok is. A szőlőterületek kiterjedése a 20. sz. közepéig számottevően nem változott, de az 1960-as évek végére a korábban egységes szőlők területe jelentősen lecsökkent (73 %-ról 35 %-ra) és fragmentálttá vált. Később, 1971-2007 között a szőlők összterülete 51 %-ra ($7,47 \text{ km}^2$) növekedett. Az adatok azt mutatják, hogy 1-2 évtized alatt nem csupán nagy területet telepítettek be ($1,4 \text{ km}^2$ – 19 %), de korábbi szőlőterületeket fel is hagytak ($1,2 \text{ km}^2$ – 17 %). A szőlő- és erdőterületek változása hasonló trendet mutat Magyarország más területein is (pl. Káli-medence – Szilassi 2003), azonban a kutatók rendszerint nem térnek ki arra, hogy egyes területeket az idő múlásával akár többször is használatba vettek. A szőlőtelepítések során gyakori volt a korábbi parlagterületek újbóli használatba vétele. Ez véleményem szerint azt eredményezte, hogy a műveléssel járó felgyorsult eróziós folyamatok mellé egyre gyakrabban társult a teraszok exkavációjával és egyéb földmunkákkal járó többlet-erózió, ami nagymértékben felgyorsította a felszínpusztulás mértékét.

3.3.2. A völgy-morfometriai vizsgálatok alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a Szekszárdhoz legközelebb elhelyezkedő Bartina-völgy vízgyűjtője morfológiai paraméterei tekintetében különbözik a másik két vizsgált vízgyűjtőtől. Ennek egyik oka, hogy a Bartina-völgy kisebb részvízgyűjtőkre darabolódott fel. Az oldalvölgyek völgytalpainak esése ($88-177 \text{ m/km}$) a dombság kialakulásakor létrejövő észak-déli aszimmetriát tükrözi, azonban a völgytalpak homorúság indexeinek értéke a Bartina-völgy Szekszárdhoz közelebb eső oldalvölgyei esetében 0,59, míg a többi részvízgyűjtőn jellemzően -0,20 és 0,18 között van, vagyis a Bartina-völgy mellékvölgyei az átlagnál nagyobb mértékben vágódtak hátra. A völgyközi hátaik esésviszonyai hasonló trendet mutatnak, mivel a Bartina-völgy Szekszárd melletti délies futású részvízgyűjtőin a homorúsági index átlagosan -0,03 míg a többi esetben ennél lényegesen alacsonyabb (-0,1 és 0,4 közötti), vagyis a településhez legközelebb

elhelyezkedő részvízgyűjtők völgyközi hátai a lejtőderéki szakaszon nagyobb mértékben pusztultak le, mint más részvízgyűjtők esetében.

3.3.3. A részvízgyűjtők 40-50 %-os maximális és közepes eróziója (a fővölgy és az oldalvölgyek területe, valamint reliefe alapján számított térfogathoz viszonyított lepusztulás) méréseim szerint kis szórást mutatott valamennyi részvízgyűjtő esetében. A minimális nettó erózió (a gerincvonalak alapján számolt térfogathoz viszonyított lepusztulás) azonban a Parászta- és Csatári-völgyekben nagyobb mértékű volt (anyagvesztés: 16-23,9 %) mint a Bartina-völgy esetében (10,5 %). Mivel azonban a Bartina-völgy részvízgyűjtőin már a völgyközi hátak is hátravágódtak (Benyhe és Kiss 2010), az erózió alacsony értéke ezeken a területeken nem arra utal, hogy itt történt a völgyek legkisebb mértékű hátravágódása, hanem éppen arra, hogy még a völgyközi hátak is lepusztultak, ami véleményem szerint a szőlőműveléssel járó – direkt és szemiantropogén eredetű – többleterózió (pl. teraszok exkavációjának vagy a mélyutak felnyílásának) következménye.

3.3.4. Vizsgálataim szerint a vízgyűjtőkön a mélyutak sűrűsége 1,72 km/km², és a mélyutak kialakulásával és túlmélyülésével máig összesen kb. 0,8-1 millió m³ anyag erodálódott le. Feltételezve, hogy a legtöbb mélyút az 1800-as évek közepétől fejlődik, az erózió mértéke kb. 2,4-szer nagyobb, mint Jakab (2008a) vízmosások mentén mért eredményei (34 év alatt 435 ezer m³). A mélyutak előfordulása és mérete nem függ a lejtőviszonyoktól, illetve vízgyűjtőterületük kiterjedésétől, vagyis fejlődésüket elsősorban az emberi hatás mértéke határozta meg, ami egybevág Jakab (2008b) eredményeivel a mélyutak fejlődését illetően. A mélyutakat az 1980-as években lebetonozták, így mélyülésük megszűnt, azonban oldalfalaik az omlások révén továbbra is pusztulnak, amely dendrológiai vizsgálataim szerint 0,47 t/ha/év anyagvesztéseget jelent. A mélyutak és a dűlőutak hálózata komoly hatással van a felszíni lefolyásra is, amely következtében a vízgyűjtő összegyűlekezési ideje lerövidül. A 2010. június 18-i nyári zápor modellezésének eredményeképpen a lefolyási idő a három vízgyűjtőn a mélyutak lefolyás-koncentrááló hatása miatt 1-3 perccel csökken. A csökkenés oka az útburkolatok alacsonyabb érdessége, amely a mélyutak mentén nagymértékben (kb. 100 %-kal) növeli a lefolyás sebességét. De nagy szerepe van a mélyutak futásirányának is, mivel azok sok esetben vízválasztókat is keresztülvágnak. A villámárvizekkel foglalkozó korábbi tanulmányok általában az áradás hidrológiai körülményeit (szélsőségesen nagy csapadék) vizsgálják (Szlávik 2005, 2007, Czigány et al. 2010), azonban a domborzati változások (pl. a mélyutak) szerepe nem kutatott.

- 3.3.5. A teraszfelszíneken végzett morfológiai vizsgálatok szerint a Baranya-völgy szőlőteraszai területüket tekintve túlméretezettek, mivel 4-8 szőlősor (20-32 m-es szélesség) helyett gyakran 9-12 sorban művelik a szőlőt (kb. 50 m-es szélesség), ami csökkenti a teraszok erózióval szembeni ellenálló képességét. Emellett a teraszok jelentős részén csak kis mértékben csökkentették felszín természetes lejtését (8-10°) és a terasz keresztirányú lejtése továbbra is magas maradt (5-8°), miközben a teraszok jelentős hosszirányú lejtéssel (0,3-5,2°) is rendelkeznek. Mivel a teraszok között a lefolyást vízelvezető árkokkal nem biztosítják, könnyen megindulhat az erózió a terasz felszínén. Hasonló hatást eredményez a teraszok helyének rossz megválasztása is, hiszen a lejtőket tagoló természetes völgyekre merőlegesen futó teraszfelszínek (homorú teraszok) is kialakításra kerültek. Ezen teraszok középső, legalacsonyabb részén vonalas erózió alakulhat ki.
- 3.3.6. A teraszok felszínét számos mikroforma (pl. mikroterasz, bakhát) tagolja. Ezek a formák 7-20 cm magasak és átlagosan 30 cm szélesek, és – a teraszfelszínen hosszirányban történő lefolyás elősegítése révén – nagymértékben (akár háromszorosára) növelik a homorú teraszok közepén lefolyó víz mennyiségét. Egy részletesen felmért 0,25 m mély és 1 m széles barázda alakja és lépcsősen futó esésgörbéje alapján arra következtettek, hogy a barázdát a művelés során időről időre betemetik, azonban ezzel csak a parcella művelhetőségét biztosítják, de a barázda újbóli kialakulásának lehetősége továbbra is fennáll, ami a barázdás-árkos erózió által megmozgatott anyagvesztés növekedéséhez vezethet. A löszterületek mezőgazdasági teraszain megjelenő szuffóziós formák jól kutattak (Kerényi 1983, 1990, Boros 1995), azonban az agrogén mikrodomborzat lefolyás-módosító hatásait korábban még nem számszerűsítették.
- 3.3.7. A teraszok felszínének jelentős lejtése azt eredményezi, hogy nagymértékű talajerózió (8,9-22,8 t/ha/év) sújtja felszínüket (Benyhe és Kiss 2011), ami egy nagyságrenddel nagyobb, mint Huszár (1999) és Kitka et al. (2008) más (mezőgazdasági) hasznosítású területekre számolt értékei. Modellezésem eredményei szerint a teraszok felszíne éves szinten 0,6-1,6 mm-t alacsonyodik, azonban a szőlőtőkék kitarodásának ütemére vonatkozó terepi mérés egy nagyságrenddel nagyobb mértékű (0,3-1,1 cm) alacsonyodást mutatott ki. Az eltérés egyik lehetséges oka, hogy a Bacsó (1970) által megadott átlagos éves eróziós potenciál értékének használata nem időszerű, hiszen az éves eróziós potenciált ($R=650 \text{ MJ*mm/ha/h/év}$) egyetlen nyári felhőszakadás is képes felülmúlni ($R=838 \text{ MJ*mm/ha/h/év}$), ráadásul vizsgálataim alatt (az utóbbi három évben) ilyen heves felhőszakadások évente többször is

előfordultak. A teraszok kialakításának problematikája véleményem szerint azonban nem a továbbra is gyors ütemű talajerózióban csúcsosodik ki, hanem abban, hogy az agrogén hatásra felgyorsuló eróziót minden esetben nagymértékű exkaváció előzi meg. Ez méréseim szerint egyes teraszok esetében (kb. 1,4 ha-on) akár 1-1,5 m³/m² (14-21 ezer t/ha) direkt antropogén lepusztulást eredményezett, vagyis a művelést megelőző földmunkák három nagyságrenddel nagyobb mértékben alacsonyítják le a domság felszínét, mint a művelés egy év alatt.

3.4. Következtetések

Legfontosabb kutatási eredményemnek azt tartom, hogy a modern terepi és térinformatikai eszközök segítségével olyan agrogén formákat és folyamatokat térképezhettem és modellezhettem, amelyek vizsgálatára – megfelelő felbontású adatok hiányában – korábban nem volt lehetőség. Az eredményeim azt mutatják, hogy a vizsgált mezőgazdasági tevékenységek – jellegüktől függetlenül – jelentős mértékben alakítják át a felszín, nagy számú és jelentős méretű formákat hoznak létre, és rendszerint a felszín planációjához vezetnek. Ugyanakkor mikroléptékben komoly reliefkülönbségek is létrejönnek, melyek a természetes folyamatokat gyorsítva, illetve módosítva komoly környezeti problémákat idéznek elő. A legfontosabb felmerülő problémának a termőhelyi adottságok romlását és a termőterületek csökkenését tartom. Az agrogén eredetű homoklepel képződés során egyrészt eltemetődtek a humuszos talajrétegek, illetve a felszín nivellálódásával megszűntek azok a természetes mélyedések, melyek korábban összegyűjtötték és visszatartották a homoktalajok vízháztartását javító felszíni vizeket, ami véleményem szerint az egyébként is száraz homokvidéken jelentős környezeti problémát jelenthet. A táblás szántóföldi művelés, illetve a szőlőtermesztés nagyobb léptékben (vízgyűjtő szinten) ugyancsak a felszín planációját eredményezi, azonban ezeken a területeken nagyszámú és jelentős méretű (mikro)forma is létrejön. Ezek a formák síkvidéki területeken meggátolják a felszíni lefolyást, így összegyülekezési eredetű belvízi elöntés eredményezhetnek, ami adott évben rontja a terméshozamot, hosszútávon pedig a talaj degradációjához (Kun et al. 2012) vezethet. A dombvidéki területeken az antropogén felszínformák a lefolyást koncentrálnak a vízgyűjtő szinten hozzájárulnak a villámárvizek kialakulásához, mikroléptékben pedig felgyorsítják a vonalas eróziós folyamatokat.

Az értekezéshez felhasznált publikációk

- Kiss, T. – Benyhe, B. 2009: Geomorfológia és a belvízi elöntés kapcsolatának vizsgálata egy mindszeinti mintaterületen, Hidrológiai Közöny, 89/3, 14-18.
- Benyhe, B. – Kiss, T. 2010: Investigation on catchment-scale relief development - a case study on Szekszárd Hills, Hungary, Journal of Environmental Geography. 3. 1-4., 1-9.
- Benyhe, B. – Kiss, T. 2011: Felszínpusztulás modellezése térinformatikai módszerekkel a Szekszárdi-dombság területén – In: Lóki, J. (szerk.): Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában II., Kapitális nyomdaipari Kft., Debrecen, 451-459.
- Benyhe, B. – Kiss, T. 2012: Morphometric analysis of agricultural landforms on lowland plough-fields using high resolution digital elevation models, Carp. Journ. of Earth and Env. Sciences., 71-78.
- Benyhe, B. – Kiss, T. – Sipos, Gy. – Deák, A. – Knipl, I. 2012: Emberi hatásra átalakuló felszín vizsgálata egy bugaci régészeti feltárás területén – In: Kreiter, A. – Pető, A. – Tugya, B. (szerk.): Környezet-Ember-Kultúra, Az alkalmazott természettudományok és a régészet párbeszéde, MNM NÖK, Budapest, 45-54.