

dc_269_11

A Kapos árterének hidromorfológiai és tájökológiai értékelése

MTA doktori értekezés

Dr. Lóczy Dénes

Pécs, 2011

Tartalom

Ábrák jegyzéke.....	1
1. Bevezetés.....	1
2. Ártérdefiníciók.....	4
2.1. Hidrológia.....	4
2.2. Természeti veszélyforrás.....	4
2.3. Domborzat.....	5
2.4. Geomorfológia.....	5
2.5. Üledékföldtan.....	6
2.6. Talajtan.....	6
2.7. Növényföldrajz.....	7
2.8. Állatföldrajz.....	7
2.9. Tájökológia.....	8
2.10. Egyéb szempontok.....	8
2.11. Ártérfajták a Duna vízgyűjtőjén.....	9
3. Kutatási előzmények.....	11
3.1. A folyómedrek geomorfológiai tipizálása.....	11
3.1.1. A hierarchikus geomorfológiai osztályozás.....	11
3.1.2. Hordalékszállítási típusok.....	13
3.1.3. Mintázati típusok.....	13
3.1.3.1. Egyszerű medrek.....	15
3.1.3.2. Összetett medrek.....	16
3.1.3.3. A mederosztályozások összehasonlítása.....	18
3.1.4. A vízfolyások rendűsége.....	20
3.1.5. Folyamat alapú (dinamikai) osztályozások.....	21
3.1.5.1. Természetes folyamatok szerint.....	21
3.1.5.2. Antropogén hatások szerint.....	21
3.1.6. Komplex geomorfológiai osztályozások.....	22
3.1.6.1. Rosgen-féle típusok.....	22
3.1.6.2. Aljzattípusok Montgomery és Buffington szerint.....	24
3.1.6.3. A mederfenék alakzatainak típusai.....	25
3.2. Geomorfológiai ártérosztályozások.....	27
3.2.1. Morfológiai osztályozások.....	28
3.2.1.1. Az ártér épülésének módja szerint.....	28
3.2.1.2. Az ártéri üledékek szerint.....	29
3.2.2. Meder- és ártérosztályozások helyreállítási céllal.....	30
3.2.3. Genetikus ártérosztályozás.....	30
3.3. Folyóvízi ökológiai elméletek.....	34
3.3.1. Folytonossági elmélet.....	35
3.3.2. Spirális erőforrás-hasznosítás elmélete.....	36
3.3.3. Sorozatos megszakítottság elmélete.....	36
3.3.4. Árvíz-pulzus elmélet.....	37
3.3.5. A hiporheális folyosó elmélete.....	37
3.3.6. Metastruktúra elmélet.....	38
3.3.7. Hierarchikus foltdinamika.....	38
3.3.8. Módosított állapotú folyók.....	39
3.3.9. Ökológiai élőhelyminősítés.....	40
3.3.10. A Víz Keretirányelv előírásai szerint készített minősítések.....	43
3.4. Az árterek ökológiai szerepe.....	46

3.4.1. Az ártér árvízvédelmi funkciója.....	47
3.4.2. Az ártér mint tompító sáv.....	48
3.4.3. Az ártér mint tájökológiai folyosó.....	50
3.4.3.1. Az ártéri folyosók kialakító tényezői.....	51
3.4.3.2. Az ártéri folyosók dinamikája.....	52
3.4.3.3. Az ártéri folyosók funkciói.....	54
3.4.4. A folyó menti sávok tervezése.....	56
3.5. Az árterek agroökológiája.....	58
3.5.1. A folyószabályozás következményei.....	59
3.5.1.1. A meder környezetének átalakítása.....	59
3.5.1.2. Az ártér lecsapolásának hatásai.....	61
3.5.2. Az árvízveszély és a tájszerkezet.....	62
4. Az értekezés céljai.....	64
5. Kutatási terület: a Kapos ártere	67
5.1. A Kapos-vízgyűjtő szerkezeti felépítése és domborzata.....	69
5.1.1. Fiatal szerkezet- és domborzatalakulás, a vízhálózat és a neotektonikai mozgások összefüggése.....	70
5.1.2. A jelenlegi domborzat.....	73
5.2. Éghajlat.....	75
5.3. Vízrajz.....	76
5.3.1. A vízhálózat mintázata.....	76
5.3.2. Folyószabályozás.....	77
5.3.3. Vízhőszállítás.....	78
5.4. Talajok	79
5.5. Növényzet	80
6. Kutatási módszerek.....	82
6.1. Az árterek hidromorfológiai kutatási módszerei.....	82
6.1.1. Az ártér elhatárolása	82
6.1.1.1. Meder- és ártérrekonstrukció a katonai felmérések térképei alapján.....	82
6.1.1.2. Távérzékeléses eljárások.....	84
6.1.1.3. Hidrológiai-térinformatikai modellezés	85
6.1.2. Az ártér neotektonikai meghatározottságának elemzése.....	91
6.1.2.1. Ártérszűkületi/-tágulati szögek vizsgálata.....	92
6.1.3. Az ártér szakaszainak geomorfológiai jellemzése.....	95
6.1.3.1. A folyó energiáján alapuló genetikus ártértipológia.....	95
6.1.3.2. „Folyóstílusok” (River Styles) megállapítása.....	96
6.1.3.3. Ártérosztályozás az LPI index alapján	98
6.1.3.4. Peremi lejtőprofilok elemzése.....	101
6.2. Az árterek tájökológiai értékelő módszerei.....	102
6.2.1. Az ártéri tájszerkezet értékelése.....	102
6.2.1.1. Egyedi tájjelemek értékelése.....	102
6.2.1.2. Az ártéri élőhelyek összekapcsoltságának jellemzése.....	104
6.2.1.3. A kritikus tájszerkezeti övek folytonossága.....	111
6.2.2. Az elöntésveszély minősítése.....	112
6.2.2.1. Multispektrális felvételek kiértékelése.....	112
6.2.3. A helyreállíthatósági lehetőségek minősítése.....	114
6.3. Földminősítési módszerek.....	116
6.3.1. Az árterek termőképességének minősítése.....	116
6.3.2. Növényi alkalmasság vizsgálatok.....	118

6.3.2.1. Zöldségtermesztésre való alkalmasság.....	118
6.3.2.2. Gyógynövények termesztésére való alkalmasság.....	119
6.3.2.3. Gyepgazdálkodásra való alkalmasság.....	120
7. Eredmények.....	122
7.1. A hidromorfológiai vizsgálatok eredményei.....	122
7.1.1. Az ártér kiterjedése.....	122
7.1.2. A különböző eljárásokkal végzett ártér-elhatárolások összehasonlítása.....	122
7.1.3. Az ártér szakaszokra bontása.....	125
7.1.3.1. Osztályozás Nanson és Croke módszerével.....	125
7.1.3.2. Osztályozás az LPI index alapján.....	126
7.1.3.3. A Kapos-ártér szakaszai.....	128
7.1.4. Az öblözetek és szűkületek vizsgálata.....	130
7.1.5. Alámosott ártérperemek.....	131
7.1.6. Folyóstílusok megállapítása.....	132
7.2. Az ártér tájökológiai értékelése.....	132
7.2.1. Az ártér tájszerkezete.....	132
7.2.1.1. Az egyedi tájelemek értékelése.....	132
7.2.1.2. A tájszerkezet értékelése.....	133
7.2.1.3. Egyéb tájszerkezeti mutatók.....	136
7.2.2. Az elöntésveszély értékelése.....	137
7.2.2.1. A belvizes területek távérzékeléses kimutatásának eredményei.....	137
7.2.2.2. A belvízveszélyes területek meghatározása a talajok eloszlásából.....	138
7.3. Az ártér földminősítése.....	140
7.3.1. Az ártér mezőgazdasági hasznosítása.....	140
7.3.2. Növénytermesztésre való alkalmasság.....	141
7.4. Javaslatok a Kapos árterének helyreállítására.....	141
7.4.1. Sajátos szempontok a Kapos-ártérre.....	141
7.4.2. A Kapos-ártér rendezése.....	143
7.4.3.1. Vízrajzi rendezés.....	143
7.4.3.2. A gátak áthelyezése és elárasztás.....	144
7.4.3.3. Az ártéri földhasználat ésszerűsítése.....	145
7.4.3.4. Az ártérrendezés távlati hatásai.....	145
8. Az eredmények összefoglalása.....	146
9. További kutatási feladatok.....	147
Köszönetnyilvánítás.....	148
Hivatkozások.....	149

Ábrák jegyzéke

- 3.1. *ábra* A folyó eróziós (1. sáv), szállítási (2. sáv) és lerakódási (3. sáv) szakaszai a folyami paraméterek értékeinek változásával (Schumm, S.A. 1977 nyomán)
- 3.2. *ábra* A medermintázatok és a hordalékszállítás összefüggései (Schumm, S.A. 1977 és Church, M., 1992 nyomán, kiegészítve).
- 3.3. *ábra* A folyó-auditálás minősítési rendszere (Environmental Agency 1998)
- 3.4. *ábra* Második szintű medertípusok Rosgen rendszerében (Rosgen, D.L. 1998 nyomán)
- 3.5. *ábra* Az osztályozási rendszer különböző típusaihoz tartozó mederfenék-alakzatok oldalnézeti ábrázolása (Montgomery, D.R. & Buffington, J.M. 1993 nyomán).
- 3.6. *ábra* Az árterek fő típusai eredetük szerint (Nanson, G.C. & Croke, J.C. 1992 és Brierly, G.J. & Fryirs, K.A. 2005 nyomán)
- 3.7. *ábra* A folyómeder – ártér – talajvíz rendszer élőhelyei (Naiman, R.J. et al. 2000 nyomán)
- 3.8. *ábra* Vízfolyások osztályozása biológiai állapotuk szerint (Stoddard, J. L. et al. 2006 nyomán, kiegészítve)
- 3.9. *ábra* A medertípusok összefüggése a természeti környezet „zordságával” (szélsőséges jellegével) és a környezet diverzitásával (Tockner, K. et al. 2010 nyomán)
- 5.2. *ábra* A Kapos-csatorna mederszelvénye a kurdi vízmércénél
- 5.3. *ábra* A Kapos vízrendszer részvízgyűjtői a vízmércék helyeinek feltüntetésével
- 5.4. *ábra* A Dél-Dunántúl morfostruktúrája a negyedidőszak végén, neotektonikai elemzések alapján (Magyari, Á. et al. 2004)
- 5.5. *ábra* A Kapos vízgyűjtőjének földhasználati térképe a vízminőségi vizsgálatok helyeinek feltüntetésével (Kronvang, B. et al. 2004 nyomán)
- 6.1. *ábra* A Kapos árterének Nagyberki–Attala közti szakasza (77–70 folyókm) az 1. (1784 – A) és a 2. katonai felmérés (1859 – B) térképén
- 6.2. *ábra* Ugyanaz a szakasz a szabályozási térképen (1818. évi felmérés – Beszédes J. & Herman J. 1829), feltüntetve a „félreszorító” csatornákat
- 6.3. *ábra* Az ártér felosztása hidraulikai szempontból, a vízszállítás számításához szükséges paraméterek feltüntetésével (Tate, E. & Maidment, D. 1999 nyomán)
- 6.4. *ábra* MrVBF módszerrel meghatározott völgytalpak (árterek) ArcGIS-ben ábrázolva 25 méteres felbontású DEM-ről (a Kyeamba folyó [Új-Dél-Wales, Ausztrália] vízgyűjtő – Gallant, J.C. & Dowling, T.I. 2003, 2. ábra)
- 6.5. *ábra* A görbülségfajták Shary-féle rendszere (MacMillan, R.A. & Shary, P.A. in: Hengl, T. & Reuter, H. 2009 nyomán)
- 6.6. *ábra* A Kapos-völgy „fűrészfogas” futásának elvi magyarázata Síkhegyi F. (2008) szerint. A. Felső szakasz; B. Alsó szakasz (továbbfejlesztve: Lóczy D.)
- 6.7. *ábra* A szükületi és tágulati szögek meghatározásának módszere (Lóczy D.)
- 6.8. *ábra* „Folyóstílusok” (Brierly, G.J. & Fryirs, K.A. 2005 nyomán)
- 6.9. *ábra* Az ártérostályozásban felhasznált morfológiai paraméterek (Lóczy D.)
- 6.10. *ábra* A völgyi korlátozottság meghatározási módszerének bemutatása: mennyire tér el az ártér pereméhez (1) képest a völgy tengelyétől (2) a régi meder (3) (Lóczy, D. et al. 2011)
- 6.11. *ábra* A négyféle viszonyítási lejtőszelvény elvi vázlata (Lóczy D.)
- 6.12. *ábra* Ártéri élőhelyfoltok összekapcsoltsága ökológiai folyosók hálóján („hurkok”) keresztül (Böttcher, M. et al. 2005 nyomán, kiegészítve)
- 6.13. *ábra* A Kapos-völgy felszínborítottsági térképének (CORINE CLC50) egy részlete, a Kaposmérő és Kaposújlak közötti szakasz
- 6.14. *ábra* A p/A index bemutatása Kaposmérő környékének tájszerkezetén
- 6.15. *ábra* A SHAPE index értékei a kaposmérői mintaterületen

- 6.16. *ábra* Elnyúltsági értékek a kaposmérői mintaterületen
- 6.17. *ábra* Lehetséges beavatkozások alluviális folyók mentén a hajózási és árvízvédelmi feltételek, valamint az ökológiai állapot javítása céljából (forrás: Buijse, A.D. et al. 2002; 7. ábra)
- 6.18. *ábra* A D-e-meter földminősítő rendszer sémája szántóföldi növénytermesztésre (Tóth G. et al. 2009)
- 7.1. *ábra* Az 50%-os (1) és az 1%-os árvízgyakoriságú ártér (2) meghatározása görbületség (A); az MrVBF index (B) és a gradiens-különbség (C) módszerével (Lóczy, D. et al. 2011). D. A háromféle eredmény összehasonlítása a Kapos Kaposvár–Dombóvár közötti szakaszára
- 7.2. *ábra* A 7.1. táblázatban összehasonlított rekonstrukciók eredményeinek térképi bemutatása (Lóczy, D. et al. 2011)
- 7.3. *ábra* Keresztszelvényekből megállapított ártérszélesség (m) és relatív relief (m) a 102,7–92,7 fkm szakaszon (Lóczy, D. et al. 2011)
- 7.4. *ábra* A belvízelöntés alakulása a Kapos árterén Dombóvár környékén 2010 május vége és augusztus vége között (Lóczy D. 2010)
- 7.5. *ábra* A Kapos esésgörbéje és vízhozama (kis-, közép-, nagy- és maximális előforduló vízhozam) mint az ártérostályozás alapadatai (forrás: Vízrajzi Évkönyvek)
- 7.6. *ábra* Adatforrások a folyószabályozás előtti (holocén) Kapos-medrek rekonstrukciójához
- 7.7. *ábra* A Kapos régi medrei az archív térképi források és légifelvételek felhasználásával végzett rekonstrukció alapján, a Döbrököz–Kurdi- és a Csibráki öblözetben (IV–V. hidromorfológiai szakasz, 38–51 folyókm)
- 7.8. *ábra* A szabályozás előtti medrek rekonstrukciója (felső térképábrázolat); a szélső helyzetű meder távolsága az ártér peremétől a 6.10. ábrán bemutatott módszerrel megállapítva (középső, vékony vonalas görbe); valamint a görbe simításával kialakított LPI index lefutása (alsó, vastag görbe a mérési pontokban körökkel) a Kapos forrástól Dombóvárig terjedő szakaszán (0–57 folyókm – Lóczy, D. et al. 2011)
- 7.9. *ábra* Az árterek osztályozása szempontjából felhasználhatónak tartott paraméterértékek változásának grafikus összevetése a Kapos felső, Dombóvárig terjedő szakaszán (Lóczy, D. et al. 2011)
- 7.10. *ábra* A Kapos-ártér szakaszai az LPI index görbéje alapján a forrástól a torkolatig (Lóczy D.)
- 7.11. *ábra* Az ártérszakaszok térképen ábrázolva, folyókilométeres beosztással (Lóczy D.), az ártérperemek lejtőláb-profiljainak feltüntetésével (a 6.11. ábra kategóriái szerint)
- 7.12. *ábra* A Kapos medrének és árterének szakaszai az ausztrál folyóstílusok szerint (Brierly, G.J. & Fryirs, K.A. 2005 módszere nyomán)
- 7.13. *ábra* Egyedi tájelemek értékelése a Dombóvár–Döbröközi-öblözetben (a 6.2. táblázat alapján, Lóczy D.)
- 7.14. *ábra* Tájszerkezeti térkép az ártér I. (A, Kaposfő környéke) és II. szakaszáról (B, Kaposújlak környéke) (Lóczy D.)
- 7.15. *ábra* Tájszerkezeti térkép az ártér III. szakaszáról (A, Kaposhomok környéke) és IV. szakaszáról (B, Kurd környéke) (Lóczy D.)
- 7.16. *ábra* Tájszerkezeti térkép az ártér V. szakaszáról (Szakály környéke, Lóczy D.)
- 7.17. *ábra* A SHAPE-index értékei a Felső-Kapos árterére (III. ártérszakasz, 87–65 folyókm)
- 7.18. *ábra* Az intenzív fátlan legelők (CORINE 2311 kategória) statisztikája a 7.17. ábrán ábrázolt területre
- 7.19. *ábra* Belvízzel elöntött területek a Kapos árterén Nagyberki és Kurd között, 2010 szeptember 24-én (Landsat-7 ETM+ felvétel)

Mellékletek

- Melléklet 1.* A talajszelvények és talajtípusok leírása
- Melléklet 2.A.* Terepi talajfelvételi jegyzőkönyvek
- Melléklet 2.B.* A vizsgált talajok jellemző szemcseeloszlási görbéi
- Melléklet 2.C.* Termogravimetriai görbék
- Melléklet 3.A.* Ártéri keresztshelvény Döbrököznél
- Melléklet 3.B.* Regöly-1. és Regöly-2. talajshelvény
- Melléklet 4.A.* A Döbrököz és Kurd közötti ártérshakasz talajtérképe
- Melléklet 4.B.* A Szakály és Szárazd közötti ártérshakasz talajtérképe
- Melléklet 5.A.* A Kapos-ártér részletes földhasználati térképe
- Melléklet 5.B.* Földhasználat ártérshakaszonként
- Melléklet 6.A.* Földminősítés Döbrököz és Kurd között
- Melléklet 6.B.* Földminősítés Regöly környékén
- Melléklet 7.A.* Az ártér helyreállítása Döbrököz és Csibrák között
- Melléklet 7.B.* Az ártér helyreállítása Szakály és Keszöhidegkút között
- Melléklet 8.* Fényképek

1. Bevezetés

A folyómedrek, valamint a bennük zajló hidrológiai és biológiai folyamatok intenzíven kutatott téma. A vezető geomorfológiai, hidrológiai és hidrobiológiai szakfolyóiratokban a publikációk túlnyomó része – statisztikailag jól kimutathatóan – a folyóvizekkel foglalkozik. Kevesebb figyelmet kap eközben a folyóvízi és a szárazföldi természeti rendszerek érintkezési sávja, a vízfolyások mentén húzódó, változó szélességű ütköző zóna (ökotón), amelyet „parti tájéknak”, ill. folyó menti sávnak (angolul: riparian zone) neveznek, valamint a folyó tágabb környezete, ártere, amelyet legtöbbször csak mellékesen említene a tanulmányok.

Ha felszínalaktana miatt nem is, tájökológiai szempontból igen érdekes az ártér, hiszen sokféle funkciót tölt be a tájban. Nagyrészt hidromorfológiai tulajdonságaiból és a szerkezetéből kiolvasható „egészségi állapotától” függ, hogy milyen mértékben képes betölteni szerepét. Ezt a tájökológia alkalmazott irányzata, a tájértékelés közérthető formába öntve teszi elérhetővé a tájökológiai kutatások eredményeit a felhasználók számára: a vízügyben az árvízvédelem, a területi tervezésben a földhasználati tervek, a konzervációs biológiában pedig a természetvédelmi intézkedések tudományos megalapozásához.

Az árterek tanulmányozásának – fontossága mellett – számos nehézsége is van:

- az árteret a különböző tudományágak különbözőképpen értelmezik;
- a folyók árteréről (különösen a kisebb folyókéről) rendszerint sokkal kevesebb hidromorfológiai adatot gyűjtenek, mint a medréről;
- az ártér alapján véve azonális jelenség ugyan, az egyes árterek környezeti viszonyai azonban attól a természetföldrajzi övezettől is függenek, ahol fekszenek;
- az árterek amfibikus környezetének természeti viszonyait csak többféle tudományág kutatási eredményeinek szintetizálásával lehet feltárni;
- az ártereket az emberi társadalom sokféle célra hasznosítja, és eközben mélyrehatóan át is alakítja, helyreállításuk csak végeláthatatlan érdekegyeztetések után valósítható meg.

A jelen értekezés kiindulópontja az árterek elhatárolása és hidromorfológiai osztályozása. Az osztályozást mint a valóság tudományos megközelítését sokan bírálták már, ellenérvként említve, hogy a merev besorolás akadályozza a kutatót a természeti rendszerek valódi komplexitásának feltárásában. Az általános rendszerelmélet terjedése sem szüntette meg azonban azt az igényt, hogy valamilyen geomorfológiai egységet (a jelen esetben folyóvízi árteret) egészében, egyértelműen lehessen viszonyítani más egységekhez, összehasonlítani velük vagy megkülönböztetni tőlük. Sőt, a holisztikus szemlélet meg is követeli, hogy legyen ilyen egyszerű és gyors összehasonlító eljárás.

Az értekezés előzményei közé tartoznak azok a több évtizedes geomorfológiai, földhasználati, tájértékelési kutatások és szakirodalmi feldolgozások, amelyek Magyarország különböző ártéri területein folytak a Magyar Tudományos Akadémia Földrajztudományi Kutató Intézete Természetföldrajzi Osztályán, ill. a Pécsi Tudományegyetem Földrajzi Intézetének Természetföldrajzi Tanszékén, jelenleg pedig a Környezettudományi Intézet Környezetföldrajzi és Tájvédelmi Tanszékén. Szubjektív motivációként megemlíthetem, hogy Pécsre kerülésem után a Budapest-Pécs vasútvonalon, a Kapos völgyében a torkolattól egészen Dombóvárig évtizedek óta tett utazások, ill. a külső-somogyi, tolnai-hegyháti és zselici kirándulások keltették fel érdeklődésemet a folyó ártere iránt. A 2010 májusi áradás és belvízelöntés csak megerősítte a kutatási terület kiválasztását, további adatgyűjtésre, vizsgálódásra serkentett, hogy keletkezési körülményeit megértsem, természetföldrajzi hatásait értékelni tudjam.

Az értekezés szövegében egyes szám első személyben fogalmazott mondatok keverednek olyan megállapításokkal, amelyek többszám első személyben íródtak. Ez nem a szerző figyelmetlenségéből fakad, hanem jelezni kívánja azt a tudományos együttműködést, sokoldalú segítséget, amelyet a PTE Környezettudományi és Földrajzi Intézeteiben dolgozó munkatársaitól az évek során kapott.

Elméletinek tűnő problémafelvetése ellenére az értekezés témájának számos gyakorlati vonatkozása is van. Szorosan kapcsolódik az Európai Unió által 2000. október 23-án elfogadott Víz Keretirányelv (VKI, European Commission 2000) céljaihoz. Az árterek vizektől függő élőhelyek, tehát megőrzésük és állapotuk javítása elsősorban a VKI első céljával függ össze. Ezen kívül az árterek helyes kezelése hozzájárul a VKI egy másik céljához, az árvizek és aszályok hatásainak mérsékléséhez. A szerző reményei szerint segíti az ártér helyreállítását.

A VKI „hidromorfológia” néven említi azt az alkalmazott kutatási irányt, amely korábban „hidrogeomorfológia” néven szerepelt a szakirodalomban (Gregory, K.J. 1979). Vizsgálati területei közé tartoznak:

- a folyók és vízgyűjtő területük közötti kapcsolatok, különösen a lefolyást leginkább tápláló területek meghatározása (ami az árvízvédelem számára fontos);
- a folyami hordalék forrásai és szállításának dinamikája (pl. a víztározók feltöltődése szempontjából);

- a hidrológiai viszonyok múltbeli és a jelenlegi változásainak, a vízjárás szélsőségeinek geomorfológiai hatásai (az ősi árvizek szerepének tisztázása a folyó morfológiai rendszerében, a méret és gyakoriság elve érvényesülésének kutatása);
- a társadalmi beavatkozások következményeinek felmérése a vízgyűjtőn, az ártéren és a mederben (pl. a meder- és az ártérhelyreállítás megtervezése céljából);
- a folyók medrének (és árterének) tipizálása (tervezési céllal);
- újabban pedig: a folyami élőhelyek abiotikus viszonyainak elemzése természetvédelmi célú ökológiai vizsgálatok keretében (Vaughan, I.P. et al. 2009).

A felsorolt kutatási témák is igazolják, hogy a geomorfológiai vizsgálatok sokféle hasznot hajthatnak különböző – a VKI-hoz is kapcsolódó – feladatok megoldásában. Egy hidromorfológiai témájú értekezés hozzájárulhat a VKI-nak a gyakorlatba történő átültetéséhez, az országos vízgyűjtő-gazdálkodási terv (VKKI 2009, 2010) megvalósításához. Az értekezés kapcsolódik a Növényvilág Megőrzésének Világstratégiája II. előirányzat 4. célkitűzéséhez is (MABOSZ 2011), amely kimondja, hogy minden egyes ökológiai régió (kb. középtáj) vagy vegetációtípus (ideértve a vizes élőhelyek életközösségeit is) legalább 15%-át hatékony gazdálkodás, ill. helyreállítás révén meg kell őrizni. A célkitűzés magába foglalja tehát a leromlott élőhelyek helyreállítását, a növényi sokféleség megőrzését. Ezáltal fokozható a tájak természetvédelmi jelentősége és bővíthetők ökoszisztéma szolgáltatásaik.

Az értekezés irodalomjegyzékébe a folyóvízi geomorfológia legfontosabb alapművein kívül számos (táj)ökológiai munkát is felvettem. Kimaradt viszont egy sereg szűkebb regionális témájú, távoli kontinensekkel foglalkozó, de megközelítésmódjában általánosítható és ezáltal közvetve a jelen értekezés elkészítésekor is felhasznált tanulmány. Kiemelten kezeltem azonban azokat a munkákat, amelyek a geomorfológiai és a (táj)ökológiai viszonyok közötti szoros kapcsolatot, egyes kölcsönhatásaikat tudományközi megközelítésben tárgyalják.

Az értekezés egyben alapkutatási hozzájárulás az Európai Unió 7. keretprogramja keretében, a 6.2.1.2. Water Resources című kutatási területen, az ENV.2011.2.1.2-1 Hydromorphology and ecological objectives of WFD c. témában 2010 novemberében benyújtott pályázathoz. A pályázat célja EU tagállamok (az Egyesült Királyság, Franciaország, Spanyolország, Olaszország, Svédország, Lengyelország és Magyarország), valamint Szerbia szakemberei közötti együttműködés kialakítása egyes kiválasztott folyók hidromorfológiai és ökológiai viszonyainak felmérésében, komplex mutatók kialakítása ezen viszonyok együttes jellemzésére, minősítésére. A pályázat ugyan ezúttal nem volt sikeres, de nem mondtunk le róla, hogy egy másik kutatási projekt keretében hozzájáruljunk az Unió Víz

Keretirányelvének végrehajtásához, a folyók és környezetük ökológiai állapota monitorozásának, ill. természetvédelmi kezelésük és esetleges helyreállítási munkálataik összehangolásához.

2. Ártérdefiníciók

Az árterek fogalmát a nemzetközi szakirodalomban számtalan megközelítésben igyekeznek megragadni (Kellerhals, R. et al. 1976; Lewin, J. 1978; Marriott, S.B. 2004; Lóczy, D. 2010a,b; Lóczy, D. et al. 2011). Mivel az áradás elsősorban hidrológiai jelenség, a vízügyi definíció a leggyakoribb, de az egyéb megközelítéseknek is van létjogosultságuk.

2.1. Hidrológia

Hidrológiai szempontból az ártér a hullámtérrel azonos: azt a parti sávot jelenti, ahol a folyó mentén bizonyos gyakorisággal jelenleg is elöntés várható (Ward, R.C. & Robinson, M. 2000; Bren, L.J. 1993). A vízügyi szakemberek által figyelembe vett elöntés-gyakoriság (visszatérési idő) a sérülékenységi mértéke szerint változik (Hankó Z. et al. 2003):

- a fő védvonalak mentén rendszerint: 100 év;
- városi és ipari területeken: 120-150 év;
- kiemelt fontosságú térségekben (pl. a főváros körzetében): 1000 év;
- kevésbé értékes szakaszokon: 60-80 év.

A nagyvízkor megemelkedett talajvízszint azonban – kiöntéstől függetlenül – a mentesített ártér széles sávjában is belvízelöntést okoz.

2.2. Természeti veszélyforrás

Ha a *természeti veszélyforrások* és *kockázat* szempontjából tekintjük ezt a fogalmat, akkor az ártér általában száraz állapotban levő, de legalább 1%-os valószínűséggel víz alá kerülő terület, ahol megtalálhatók a korábbi árvizek nyomai (Hudson, P.F. 2003). Ezért ártereknek szokás nevezni azokat a tengerparti sávokat is, amelyek a tengerszint megemelkedésekor (pl. hurrikán miatt, mint New Orleans alacsonyan fekvő részei a Katrina idején, 2005-ben) átmenetileg víz alá kerülnek. A nagyobb tavaknak is van ártere. A továbbiakban ártérnek szűkebb értelemben csak a folyók mentén húzódó sávot tekintjük, amelyre a folyómeder folyamatainak valaha hatása volt, és amelyet a nemzetközi (főleg olasz és spanyol) irodalom néha „*perifluviális zónának*” nevez (pl. Piégay, H. et al. 2000).

2.3. Domborzat

Csak *domborzatukat* vizsgálva, megállapítható, hogy az árterek sík felszínek vízfolyások mentén. A korábbi geomorfológiai enciklopédia meghatározását (Schmudde, T.H. 1968) az új kiadás (Marriott, S.B. 2004) is változatlanul megismétli. Felszínük ritkán tökéletesen lapos, gyakran enyhén domború, a mikrodomborzatban éles szintkülönbségek mutathatók ki. Mivel a természetföldrajzi elemzésekben mostanában döntő szerepe van a földrajzi információs rendszereknek, érdemes egy *topográfiai* ártérdefiníciót is kidolgozni. A GIS-ben értelmezhető ártér a görbültségi és a tengerszint feletti magassági értékekkel automatizált módszerrel kijelölhető sík felszín a folyó mentén (Lóczy, D. et al. 2010b).

2.4. Geomorfológia

A *geomorfológiai* ártérdefiníció nem csupán a domborzat, hanem a felszínfejlődés jellegzetességeit is figyelembe veszi. Az így elhatárolt ártér jóval nagyobb kiterjedésű, mint a hidrológiai – bár a hidrológiai és a geomorfológiai ismérveket újabban együtt szokás említeni, ekkor *hidromorfológiai* ártérdefinícióról beszélhetünk, mint az Európai Unió Víz Keretirányelvében (European Commission 2000). Geomorfológiai megközelítésben az ártér az alluviális folyók felszínalakító munkájának terméke (Jain, V. et al. 2008). Az ártér sík felszín a folyómeder szomszédságában, amely egy kritikus vízálláskor elöntés alá kerül, a jelenlegi éghajlati viszonyok mellett a folyó építi hordalékának lerakásával (Leopold, L.B. 1994). Egy általánosan elfogadott *genetikus* definíció szerint (amely már üledéktani ismérveket is tartalmaz): a genetikus ártér „nagy részt vízszintesen rétegzett alluviális felszínforma meder szomszédságában, attól partok által elválasztva, amelyet a folyó jelenlegi hidrológiai rendszerében lerakott üledékek építenek fel” – Nanson, G.C. & Croke, J.C. 1992, p. 460). Az utolsó kitétel azért szükséges, hogy az egy korábbi hidrológiai rendszerhez tartozó folyóteraszoktól is elhatárolja a jelenlegi árteret. A geomorfológiai ismérvet egyszerűbben megfogalmazva: az ártér alluviális felszínformák együttese, amely a partokon túl kíséri a folyó medrét (Lóczy D. 2005). Minden olyan területet hozzá kell sorolnunk, ahol megtalálható egy jellegzetes folyóvízi eredetű formaegyüttes (pl. övzátonyok, folyóhátak, elhagyott medrek, ártéri lapályok stb. – Knighton, A.D. 1998; Brierley, G.J. & Fryirs, K.A. 2005). A stabil vagy lassan vándorló folyómedrek mentén, a medertől távolabb gyakran megtalálhatók a korábbi hidrológiai rendszerek üledékei is, ezért az ilyen sík *többfázisú ártér* (Nanson, G.C. & Croke, J.C. 1992). A korábbi hidrológiai viszonyok (pl. jégolvadékvíz táplálta vízjárás) hatása sokáig érvényesülhet, és tartósan egyensúlytalan állapotban tarthatja az árteret (mint pl. a Lengyel-Kárpátokban – Froehlich, W. et al. 1977). Mások (Marriott, S.B. 2004) viszont minden olyan árteret *poligenetikusnak* neveznek, amelynek felépüléséhez a

korábbi földtörténeti korokban fennállt hidrológiai rendszerek is hozzájárultak. (Ez számunkra félreérthető lehet, hiszen a magyar geomorfológiai szakirodalomban a poligenetikus felszínformák azok, amelyeket többféle felszínalakító folyamat hozott létre.) Amerikai természetvédők a folyó medrét és árterét az *aktív folyami terület* (active river area) néven fogják egybe (Smith, M.P. et al. 2008).

Az ártér elöntéssel leginkább (leghamarabb) fenyegetett helyeit a felszínformák részletes térképezésével és értékelésével lehet a legegyszerűbben meghatározni (Kis É. & Lóczy D. 1985). Ilyen módon információt nyerhetünk az ártér „alapszerkezetéről”, amely az ártér tájökölógiai szerkezetének az alapját is megadja.

2.5. Üledékföldtan

A geomorfológiai definícióhoz hasonlóan, a *geológiai-szedimentológiai* értelemben vett ártér addig nyúlik, amíg a meder két oldalán folyóvízi üledékek fordulnak elő, ill. ahol hordalék áttelepítése folyik (Allen, J.R.L. 1965, 2001). Tehát az ártér a folyó által lerakott üledékek borított terület a meder közvetlen közelében (Hudson, P.F. 2003). A felhalmozódó üledék vastagsága befolyásolja az ártér alatt kialakuló talajvízáramlást (azaz a hiporheális zóna kiterjedését). A vízgyűjtő lejtős területeiről lepusztuló hordalékot a folyó – részleges völgyi korlátozottság mellett – teljes aktív ártere mentén továbbítja a felhalmozódási szakaszára (ez a „vízgyűjtő méretű hordalék-szállítószalag” – Kondolf, G.M. 1995). A szállítószalag működési sebessége a táj szerkezetének (konnektivitásának) függvénye, amelyet pedig az szab meg, hogy a folyó milyen módon és ütemben alkalmazkodik a környezet változásaihoz. Az elképzelésnek gyakorlati jelentősége van pl. a folyómederből történő anyagkitermelés környezeti hatásainak feltárásában. Az ártér fogalom fenti, statikus földtani megközelítésének is van egy dinamikusabb párja, amelyet főként az ártér funkcióinak értékelésekor alkalmaznak. Eszerint „az ártér a folyórendszer olyan földrajzi területeként határozható meg, amely földtani időskálán együtt fejlődött a folyórendszerrel, ökoszisztémáinak működésére pedig az időszakos elöntés jellemző” (Gren, I.-M. et al. 1995; p. 334).

2.6. Talajtan

Talajtani megközelítésben az ártér az öntéstalajok (fluvisols) előfordulási területeit jelenti. Az öntéstalajok olyan vízhatású (hidromorf) váztalajok, amelyek telítettek vízzel, víz alá kerülnek vagy hosszabb ideig annyi vizet tárolnak, hogy bennük anaerob viszonyok alakulnak ki (Dahl, T.E. 1990). A korábbi elöntésre, víztelítettségre a felszínen szinte semmi sem utal, csupán a talajszelvény tanulmányozásával lehet kimutatni a nyomait: a felsőbb rétegekben a rozsdafoltokat, mélyebben pedig a – rendszerint gyenge – márványozottságot (Stefanovits P.

et al. 1999). A talajok vízgazdálkodása a mentett oldalon is egyértelműen jelzi ártéri eredetüket (mint pl. a Szigetközben – Várallyay Gy. 1992), egyéb fizikai és kémiai tulajdonságaik azonban nem mutatnak látványos változást. Így a talajtani ismérvek (vagy a talajvíztükör helyzetének) általában csak kiegészítő szerepe van a vizes élőhelyek elhatárolásában. A nemzetközi irodalomban olvasható, hogy a talajfelmérések adataiból alföldeken is megbízhatóan körülhatárolják a jövőben is (belvíz-)előntéssel fenyegetett korábbi ártereket (pl. az Egyesült Államokban – McCormack, D.E. 1971). Gyakori ugyanakkor, hogy a vízkedvelő növényzetet, a vízhatású talajokat és a sajátos talajvízviszonyokat együtt veszik figyelembe az ilyen elhatárolásban (Environmental Laboratory 1987).

2.7. Növényföldrajz

Biológiai értelemben az ártér a folyó mellett fekvő, időszakosan vízzel borított terület, ahol a vízgyűjtő élővilágának szárazföldi és a vízi komponensei vegyülnek, kicserélődnek (Hudson, P.F. 2003). A *növényföldrajz* művelői számára a vízfolyást kísérő vizes élőhelyek láncolata. A rajta megtelepedő jellegzetes növénytársulásokat egyrészt a nedves élőhelyeket kedvelő (hidrofiton), az árvizek ökológiai hatásaira utalt növények alkotják (Hooper, B.P. & Duggin, J.A. 1996), másrészt olyanok, amelyek máshol is előfordulnak, de nedves környezetben különösen gyorsan növekednek vagy terjednek. A pionír növények (hazai viszonyok között elsősorban a bokorfűzek, Észak-Amerikában a nyárok, mint a szögletes nyár, *Populus deltoides*) a frissen keletkezett zátonyokon, öntésfelszíneken találnak kedvező csírázási feltételeket. Nem szabad megfeledkeznünk arról, hogy a növényzet – az ártér felszínérdességének megnövelésével – maga is elősegíti az ártérképződést, az ártéri formákat felépítő hordalék lerakódását.

2.8. Állatföldrajz

Állatföldrajzi alapon nyilván kevésbé lehet éles határokat megvonni. Mindenesetre az ártér ilyen meghatározása lehet a következő: vízi állatok valamilyen élettevékenységéhez (táplálkozás, menedékkeresés, szaporodás) kötődő élőhelyek összessége a folyó mentén (Sedell, J.R. et al. 1990; Steiger, J. et al. 2005). A kisebb térigényű állatok, mint a vízben és a szárazföldön egyaránt élő rovarok, kételtűek (békák, szalamandrák – Semlitsch, R.D. 1998) és hüllők (kígyók, teknősök) parti élőhelyeinek kiterjedése vándorlási sugarukból elvben könnyebben meghatározható. Különösen a száraz vidékeken azonban a madarak fészkelőhelyei is döntő részben – Colorado állam északi felében pl. 82%-ban (Knopf, F.L. et al. 1988) – az ártéri erdősávokban találhatók.

2.9. Tájökológia

A legkorszerűbb, funkcionális ártér-meghatározások *tájökológiai* nézőpontból születtek. A tájökológiai művekben inkább a *folyóparti öv, sáv (riparian zone)* fogalmát használják, amely rendszerint csak egy része a geomorfológiai ártérnek. A biológus háttérű tájökológusok kétféle felfogást hangoztatnak (Steiger, J. et al. 2005). Egyesek (mint pl. Hupp, C.R. & Osterkamp, W.R. 1996) valóban csak a folyópartot, a mederkitöltő vízhozam által érintett sávot nevezik így, míg mások tágabb értelemben a meder szomszédságában kialakuló ökoszisztémákat, gyakran az egész geomorfológiai árteret ide sorolják (Malanson, G.P. 1993), sőt néha még az alacsonyabb folyóteraszokat is (Stanford, J.A. et al. 2005). Azonban még G.P. Malanson (1993) szerint sem szabad összekeverni az ártér és a folyóparti sáv fogalmát. A „tájökológiai ártér” tehát tekinthető ökológiai folyosóként viselkedő folyóparti övnek (Bohl, M. 1986). Mások azt hangsúlyozzák, hogy funkcionálisan különbség van a parti sáv és a folyosó között (Fischer, R.A. et al. 2000, 2001). A folyóparti sáv rendszerint igen kis százalékát teszi ki a tájnak, de a biodiverzitás megőrzése és egyéb funkciók szempontjából aránytalanul nagyobb a jelentősége, mint a vízgyűjtő bármelyik, magasabban fekvő egységének. A térbeli kapcsolatteremtés mellett természetesen a vízminőség-védelmi funkció is kiemelkedő szerephez jut az ártereken (Burt, T.P. 1997; Burt, T.P. & Pinay, G. 2005).

A tájökológiában terjedő gradiens elmélet (Müller, F. 1998) szerint a foltszerkezet alapján nehéz egységeket elkülöníteni a tájban. A folyóparti sávok sem egyszerűen ökotónok (szegélyökoszisztémák, „küzdeldmi övek”, tehát élesen elhatárolódó átmeneti zónák), hanem sokkal inkább „*ökoklinek*” (angolul: ecoclines), amelyek a szomszédos foltokkal (ökotópokkal) fokozatos átmenetet jelentő láncolatot alkotnak. Rendszerelméleti megfogalmazásban olyan alrendszerekről van szó, amelyekben a magterületekre jellemző (az ártér esetében: folyómeder és -part közötti) kölcsönhatások egyre gyengébbek.

2.10. Egyéb szempontok

A folyómenti *erdők* valaha Európa-szerte elválaszthatatlan részei voltak az ártereknek. Kiiirtásuk ugyan már több évezrede megkezdődött, mégis a 18. század közepéig még nagy részük fennmaradt (Petts, G.E. et al. 1989). A folyószabályozások és ártérlecsapolások következtében a folyómenti sáv teljesen átalakult, félig természetes élőhelyek és mezőgazdasági tájfoltok mozaikja.

Az ártereknek ugyan sajátos mikroklimájuk lehet, *éghajlati* definíciót mégsem dolgoztak ki rájuk. Ennek oka egyrészt az, hogy az éghajlat paraméterei térben folytonosan változnak, így kevésbé alkalmasak térbeli elhatárolásra, ráadásul időben meglehetősen változékonyak. A

befogadó táj/vízgyűjtő éghajlata közvetve, a vízgyűjtő terület csapadékmennyiségén és a lefolyáson keresztül természetesen erősen befolyásolja az ártér kialakulását és méretét.

Újabban – az ismétlődő árvízkatasztrófák nyomán – Magyarországon egyre nagyobb hangsúlyt kap az árterek *jogi* értelmezése is, elsősorban a 21/2006. sz. Kormányrendeletben, amely „*nagyvízi medernek*” nevezi a mértékadó (kb. 100 éves gyakoriságú) árvizekhez tartozó ártereket. A fentiek alapján a mértékadó árvíz megadása azonban a hidrológusok számára sem könnyű feladat (Hankó, Z. et al. 2003). Az árvízi sérülékenységi ugyanakkor legalább annyira függ a biztosítási feltételektől, az építési engedélyezés szabályozásától, a beépítési övezetek kijelölésétől, egyéb jogi feltételektől is, mint a természeti viszonyoktól.

Az árvízi sérülékenységi – a társadalmi tényezők (népsűrűség, ártéri infrastruktúra) közül is – leginkább a *földhasználat* függvénye, amely az árterek jelenlegi állapotát alapvetően meghatározza (Groot, J.C.J. et al. 2007). Az ártér beépítése és belterjes mezőgazdasági használata nem csak a formakincsét alakítja át, hanem megnöveli a lefolyást, megemeli az árvizek szintjét, befolyásolja az ár hullámok levonulását.

Az árterek kiterjedése azonban nem csak emberi hatásra változhat meg. Az ártér lényegéből fakadóan *dinamikus* jelenség. A folyómedrek ugyan a nedves éghajlatú, dús növényzetű és kohézív talajú ártereken is változtatják helyüket, ezek az árterek mégis viszonylag stabilak (OAS 1991). Az arid területek ritkább növényzetű és durvább szemcseméretű talajokkal jellemezhető ártereinek viszont sokkal nagyobb a mobilitása, gyorsan követik a meder vándorlását. Ugyanakkor nedves éghajlaton is alakulhatnak ki avulzióval új medrek és mellettük új ártérszakaszok.

Tanulásképpen elmondható: bár látszólag sokféle ártér van, tulajdonképpen mindig nagyjából ugyanarról a földrajzi egységről van szó. *Holisztikus, funkcionális* szemlélettel ártér minden terület, ahol a folyó alkalmazkodik az állandóan változó környezeti viszonyokhoz.

2.11. Ártérfajták a Duna vízgyűjtőjén

Az árterek (és értelmezésük) változatosságát igazolja egy friss jelentés is. A Természetvédelmi Világalap legutóbb az alábbi (egymást átfedő) ártérfajtákat állapította meg – kifejezetten a Duna vízgyűjtőjére (WWF International 2010):

- *Aktív ártér (hullámtér)*: az (általában az 1%-os valószínűségű árvízre tervezett) árvízvédelmi töltések közötti ártér, beleértve az ártéri vízfelszíneket is (kivéve a nagy folyók vízfelületét). Más meghatározás szerint (ÖKO Rt., FÖMI & VÍZPART Kft. 2000) a hullámterek a folyók, vízfolyások középvízi partvonala és az azok mentén emelt árvédelmi töltések közötti területek. Jelentősen „összezsugorított” árterek, amelyek Magyarországon az eredeti ártereknek csupán 6%-át (az ország összes területének alig 1,4%-át) teszik ki.

- *Megemelt hullámtér*: fokozatos feltöltődéssel erősen átalakult, megművelt ártér, amely nagyobb árvízkor víz alá kerülhet. (Ez a magyar geomorfológiában használt, de genetikusan pontosan soha nem definiált „magas ártér” – Pécsi M. & Kerekes S. 1973; Pécsi M. 2003).

- *Duzzasztásos ártér*: a főfolyótól gyakran elválasztott árterület, amelyet a mellékfolyók árvizei, ill. a főfolyó 5–10 éves gyakoriságú áradásai elöntenek.

- *Árapasztó tározók* (a WWF terminológiája szerint: „polderek”): műszaki létesítményekkel kialakított (gátakkal körülvett) ártéri tározóterek, amelyeket csak pusztító árvizek idején nyitnak meg, egyébként mezőgazdasági művelés alatt állnak. Csak árvízvédelmi célokat szolgálnak, rajtuk ökológiai célú elárasztást nem alkalmaznak. (A Vásárhelyi-terv továbbfejlesztése keretében ilyenek épülnek a Tisza hazai vízgyűjtőjén - Somlyódi L. 2002. A Kapos mellékvizein azonban az árapasztó tározókat halastavakként hasznosítják, ezért nem tudják betölteni eredeti funkciójukat.)

- *Morfológiai ártér*: az a terület, amelyet az árvíz védekezés nélkül elöntene. Ide tartoznak a posztglaciális teraszok is. Magyarországon a morfológiai ártér az ország területének több mint 30%-a. Sérülékenységi szempontjából figyelmet érdemel, hogy a morfológiai ártér 400 településén majdnem 3 millióan élnek, 200 jelentősebb ipari üzem, a vasúthálózat 32%-a, a közúthálózat 15%-a ezen található (Somlyódi L. 2002).

- *Korábbi (mentesített) ártér*: a folyószabályozás előtti, az árvízvédelmi töltéseken kívüli ártér, tehát a morfológiai ártér a hullámtér nélkül.

- *Alkalmilag kibővített ártér*: a hullámtér és az árapasztó tározók területe együtt, amelyet szükség (árvízi vízhozam) esetén összekapcsolnak.

Az ártér fogalmának tisztázása szükséges feltétele annak, hogy az árterek elhatárolásával, jellemzésével, tipizálásával, értékelésével foglalkozzunk.

3. Kutatási előzmények

3.1. A folyómedrek geomorfológiai tipizálása

Az árteret a geomorfológusok a folyóvízi rendszer szerves részének tekintik. Mivel az árterek alapvető felszínformái a folyó tevékenységének eredményei, a kutatók többsége az árterek vizsgálatakor a folyómedrek geomorfológiai jellemzéséből és tipizálásából indul ki. Az árterek olyan szorosan kötődnek a folyókhoz, hogy osztályozásukban is az ártérformáló folyóvízi folyamatokra, a folyó mechanizmusára helyezik a hangsúlyt. Másrészt a medrek dinamikája erősen függ a meder és az ártér közötti kölcsönhatásoktól, amelyeket az árterek minőségi osztályozásával is fel lehet tární – bár ez eléggé elhanyagolt kutatási téma (Richards, K.S. et al. 2002). Több mint egy évszázad alatt, William Morris Davistól kezdve számos geomorfológus kidolgozta a maga mederosztályozási rendszerét, az 1970-es évektől szinte évente jelent meg egy-egy újabb: Melton, J.A. (1936); Horton, R.E. (1945); Leopold, L.B. & Wolman, M.G. (1957); Lane, E.W. (1957); Schumm, S.A. (1963, 1977); Culbertson, D.M. et al. (1967); Thornbury, W.D. (1969); Galays, V.J. et al. (1973); Mollard, J.D. (1973); Kellerhals, R. et al. (1976); Brice, J.C. & Blodgett, J.C. (1978); Howard, A.D. (1980); Richards, K.S. (1982); Miall, A.D. (1985, 1996); Frissell, C.A. et al. (1986); Cupp, C.E. (1989); Bradley, J.B. & Whiting, P.J. (1991); Church, M. (1992); Montgomery, D.R. & Buffington, J.M. (1993); Kondolf, G.M. (1995); Montgomery, D.R. & Buffington, J.M. (1997); Alabyan, A.M. & Chalov, R.S. (1998); WRC (2001); Taylor, C. (2002); Kondolf, G.M. et al. in: Kondolf, G.M. & Piégay, H. (2002); Brierly, G.J. & Fryirs, K.A. (2005); Thompson, C. et al. (2006); Orr, H.G. et al. (2008) – a lista nyilván nem teljes. (További munkákat ismertet: Kondolf, G.M. & Piégay, H. 2002.) A fenti művek közül jó néhány az árterek osztályozásához is közöl szempontokat, hiszen – ha nem is mindig közvetlenül – a folyómedrek osztályozásából általában következtetések vonhatók le az ártér fajtájára is.

3.1.1. A hierarchikus geomorfológiai osztályozás

A *folyómeder* és az *ártér* jelenlegi állapotának megértéséhez elengedhetetlen azoknak a folyamatoknak a tanulmányozása, amelyek a domborzat magasabb hierarchiaszintjein, a *vízgyűjtőn* és a *völgyekben* (3.1. táblázat) zajlanak (Frissell, C.A. et al. 1986). Ezek ismeretében jelezhetjük előre, hogyan reagál a meder és az ártér a zavaró hatásokra a jelenben, ill. hogyan történt ez a múltban (Bisson, P.A. et al. 2006).

A rendszerezés a vízgyűjtők szintje alatt, a *folyóvölgyek* típusainak megállapításával kezdődik. A völgyeket geomorfológiai és hidrológiai (elsősorban hordalékszállítási) jellemzőik szerint szokás szakaszokra osztani.

3.1. táblázat A folyóosztályozás hierarchia-szintjei (Frissell, C.A. et al. 1986 és Montgomery, D.R. & Buffington, J.M. 1997 nyomán, példákkal kiegészítve)

<i>hierarchia-szint</i>	<i>térbeli méret nagyságrendje (m²)</i>	<i>időbeli állandóság nagyságrendje (év)</i>	<i>példa</i>
(geomorfológiai körzet)	(10 ⁹)	(>10 ⁴)	Külső-Somogy dombság
vízgyűjtő terület	10 ⁶ – 10 ⁸	>10 ⁴	Kapos vízgyűjtő
völgyszakasz	10 ² – 10 ⁵	10 ³ – 10 ⁴	Középső-Kapos
folyószakasz	10 ¹ – 10 ³	10 ⁰ – 10 ³	Dombóvári-öblözet
mederforma	10 ⁰ –10 ¹	<10 ⁰ – 10 ²	Torony alatti kottyanók

David R. Montgomery és John M. Buffington (1997) háromféle völgyszakasz-típust különböztetnek meg:

- kolluviális (a környező lejtőkről származó hordalékot továbbító);
- alluviális (folyóvízi hordalékszállítással jellemezhető) és
- szálban álló kőzetbe vésődött (keves hordalékot továbbító) sziklavölgyeket.

A *kolluviális* völgyek tovább oszthatók aszerint, hogy felismerhetők-e bennük vízfolyások medrei vagy sem. (Az utóbbi esetben természetesen ártér sem jön létre.) A kolluviális völgyekből csak időszakosan távolítja el a lefolyás az ott felhalmozódó üledéket és szerves anyagot –a csapadék-, a kőzettani viszonyok és a növényzet sűrűsége függvényében. A hordalék általában hordalékkúpban halmozódik fel, ahol a kolluviális mellékvölgy csatlakozik a fővölgyhöz.

Az *alluviális* völgyek a folyó felsőbb szakaszáról kapják hordalékutánpótlásukat. A hordalék térben és időben igen változatos mintázat szerint továbbítódik bennük, mindenesetre a völgy bevágódása nem ér el olyan mértéket, hogy a felhalmozott allúviumot teljesen kitakarítaná. Az alluviális völgyekben a folyómedrek korlátozottak, részben korlátozottak vagy korlátozás nélkül, szabadon fejlődők lehetnek. Az alluviális folyószakasz-típusok a völgyi korlátozottság foka, az esés, a helyi földtani tényezők, a hordalékutánpótlás és a vízjárás szerint különülnek el.

A *szálban álló kőzetbe bevágódó* völgyekben jelentéktelen mennyiségű hordalék halmozódik fel, és az is csupán átmenetileg. Két alapvető típusuk van (Bisson, P.A. et al. 2006): meredek sziklavölgyek, amelyekben a hordalékszállítás mértéke meghaladja a hordalékutánpótlódását, ezért tartósan sziklaaljzatuk van; alacsony (első-, másod-)rendű völgyek, amelyek aljzatát törmelékfolyások nemrég mélyítették ki a szálban álló kőzetig.

A *folyómedernek* a völgyben, ill. az ártéren elfoglalt *helyzetét* vízszintes és függőleges értelemben is célszerű vizsgálni. Míg az előbbit az ártér szélessége, ill. a jobb- és balparti ártér aránya, tehát a folyómeder völgyi korlátozottsága fejezi ki (ld. később), az utóbbit a meder partfalainak magassága, a kisvízi *meder beágyazottsága* (channel entrenchment)

jellemzi a legjobban. A beágyazottság befolyásolja a folyópart stabilitását, a folyó menti sáv növényzetének vízellátottságát.

3.1.2. Hordalékszállítási típusok

A következő szint a *folyószakaszok* osztályozása, amely egyben a legjobban tanulmányozott szint is. A folyóvízi geomorfológia élő klasszikusa, Stanley A. Schumm (1963, 1977) a folyó *eróziós*, *szállítási* (transzfer) és *lerakódási* sávjait különbözteti meg a vízgyűjtőn. A három sávban a meder mérete, valamint a víz- és hordalékmozgás szabályos törvényszerűségek szerint alakul (3.1. ábra). Abból indult ki, hogy a folyó mechanizmusát, a fluviális formák rendszerét, a meder mintázatát és stabilitását elsősorban a hordalékszállítás jellege szabja meg (3.2. táblázat). A három alapvető típus megkülönböztetését lehetővé tevő küszöbértékeit azonban később sokan bírálták (ld. pl. Brierley, G.J. & Fryirs, K.A. 2005).

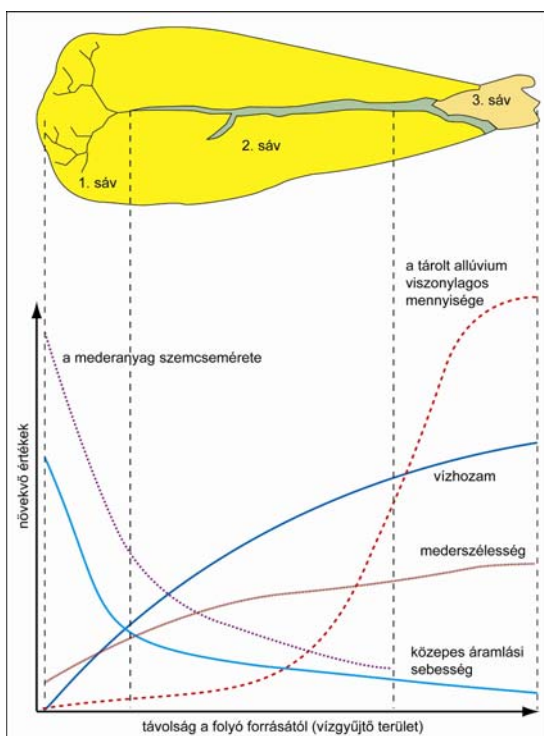
A későbbi osztályozások – a folyó hidraulikai viszonyainak alaposabb megismerése után (az ilyen kutatások összefoglalását ld. pl. Ferguson, R.I. 1986; Chanson, H. 1999; Bunte, K.A. & Abt, S.R. 2001) – a felszínformák kialakulását bizonyos áramlási mintázatokhoz kötötték, és ennek alapján tipizáltak (3.3. táblázat). Ellenkező megközelítésben a szállított hordalék szemcseméretét a mederellenállás különböző fajtáit számszerűsítő koefﬁciensekkel hozták kapcsolatba, a típusokat ezekkel jellemezték (Bathurst, J.C. 1993 – 3.4. táblázat). Látható, hogy a koefﬁciensek értéktartományai átfedik egymást, az ezek szerinti osztályozás nem egyértelmű, a megállapított osztályok nem zárják ki egymást.

3.1.3. Mintázati típusok

Az árterek osztályozásával legbehatóbban foglalkozó két ausztrál kutató, Gerald C. Nanson és Jackie C. Croke (1992) a folyómedrek osztályozását az ártér-tipizálás fontos előfeltételének tartják. A csoportosítás alapja négy paraméter lehet: a folyómeder mintázata (Leopold, L.B. & Wolman, M.G. 1957); oldalirányú stabilitása (Kellerhals, R. et al. 1976); az ártér formaegyüttese (Lewin, J. 1978) és az ártéri üledéklerakódások (Allen, J.R.L. 1965).

A korábbi magyar folyóvízi geomorfológiai munkák és tankönyvek – Cholnoky Jenő (1926) nyomán – a folyómedrek osztályozására a felső-, középső- és alsószakasz-jelleg leírását alkalmazzák. A nemzetközi szakirodalom viszont – elsősorban amerikai kutatások alapján (Leopold, L.B. & Wolman, M.G. 1957; Leopold, L.B. et al. 1964; Schumm, S.A. 1973a, 1977) – a *folyómedrek mintázatával* kapcsolja össze a *folyók* víz- és hordalékszallító *mechanizmusát*, ilyen szempontból állapít meg medertípusokat. A háromdimenziós folyóvízi rendszer mechanizmusát legjobban alaprajzi nézete szerint lehet azonosítani. Ilyen nézetben a

meder alakját, igazodását a benne végbemenő vízáramláshoz legjobban a *futásfejlettség* (kanyargósság, szinuszoszág – angolul: sinuosity) jellemzi.



3.1. ábra A folyó eróziós (1. sáv), szállítási (2. sáv) és lerakódási (3. sáv) szakaszai a folyami paraméterek értékeinek változásával (Schumm, S.A. 1977 nyomán)

3.2. táblázat Az alluviális folyómedrek osztályozása a hordalékszállítás módja szerint (Schumm, S.A. 1963, 1977 nyomán)

medertípus	a fenék-hordalék aránya (%)	a meder stabilitása		
		stabil, egyensúlyi	lerakó (hordaléktöbblet)	erodáló (hordalékhiány)
lebegtetett hordalékú	<3	szélesség/mélység arány: <10; futásfejlettség: >2; esés: kicsi	lebegtetett hordalék lerakódása inkább a partokon, mederfenéken kevésbé; mederszűkülés	lebegtetett hordalék erodálása főleg a fenékről, kezdetben kisebb mértékű mederszélesedés
vegyes hordalékú	3–11	szélesség/mélység arány: 10–40; futásfejlettség: 1,3–2; esés: közepes	vegyes hordalék lerakódása először partokon, azután a fenéken	vegyes hordalék erodálódása a fenékről, majd mederszélesedés
fenékhordalék-meder	>11	szélesség/mélység arány: >40; futásfejlettség: <1,3; esés: meredek	fenékhordalék lerakódás az aljzaton, szigetek keletkezése	fenékhordalék kis mértékű erodálása az aljzatról, főleg mederszélesedés

3.3. táblázat A vízfolyások áramlásfajtái és a nekik megfelelő medertípusok (Padmore, C.L. 1998; Newson, M.D. & Newson, C.L. 2000 nyomán, egyszerűsítve)

vízáramlás-típus („áramlási biotóp”)	kód	a kapcsolódó medertípus („fizikai biotóp”)
nincs látható áramlás	NP	kottyanó, holtvíz (szegélyeken, kanyarulatokban, övzátanyok és akadályok alatt folyásirányban)
sima áramlás, határain örvények	SM	„sikló” szakasz (angolul: glide)
feláramlás	UP	forrásörvény
áramlás fodrozódó vízfelszínnel	RP	„csörgedező” szakasz (angolul: run)
kaotikus áramlás	CF	bármelyik az alábbi fizikai biotópok közül
törés nélküli állóhullámok	UW	gázló
megtört állóhullámok	BW	zúgó
surrantós áramlás	CH	sellő
szabadesés	FF	vízesés

3.4. táblázat A mederbeli vízáramlást gátló ellenállások megközelítőleges értéktartományai különböző hordalékszallítási medertípusokra (Bathurst, J.C. 1993 nyomán, kiegészítve)

meder-típus	esés (%)	szélesség/mélység arány (w/d, m)	a mederanyag szemcsemérete (D_{50} , mm)	Darcy–Weisbach-féle ellenállási koefficiens (ff)	Manning-féle meder-érdesség (n)	viszonylagos kímélyültség (d/D_{50})
homokos	≤ 0.1	5–10	≤ 2	0,01–0,25	0,01–0,04	>1000
kavicsos	0.05–0.5	≥ 10	10–100	0,01–1	0,02–0,07	rendszerint 5–100
görgeteges	0.5–5	2–10	≥ 100	0,05–5	0,03–0,2	gyakran <1
szikla	≥ 5	≤ 2	változó	0,1–100	0,1–5	általában <1

A medermintázatok osztályozási rendszere az idők során sokat finomodott. R. Kellerhals és munkatársai (1976) pl. a zátonyok és szigetek, valamint a mederfenék formáinak tipizálásával egészítették ki, növekvő víz- és hordalékhozam szerint sorba rendezve ezeket, a bonyolultabb mederalakzatoktól az egyenes medrekig.

A kanyargósságon kívül a *laterális stabilitás* is fontos ismérve a saját allúviumukban futó folyók mintázat szerinti osztályozásának (Brierley, G.J. & Fryirs, K.A. 2005). Ennek különböző megnyilvánulásai, a mederszélesedés vagy szűkülés, a medereltolódás (transzláció vagy rotáció); a fonatosság mértéke (a zátonyokkal, szigetekkel tagolt mederszakaszok százalékos aránya) az avulziós (mederáthelyeződési) hajlam összefüggenek a függőleges mederstabilitással, ill. a folyó mechanizmusával.

3.1.3.1. Egyszerű medrek

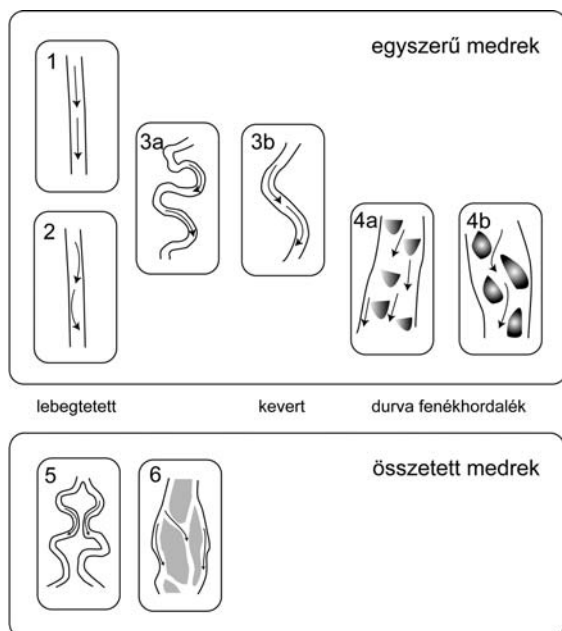
A mederfajtákat mintázatok alapján két alaptípusba sorolják: lehetnek egyszerű vagy összetett medrek, amelyek további altípusokra bonthatók (Leopold, L.B. & Wolman, M.G. 1957; Nanson, G.C. & Knighton, A.D. 1996). Az *egyszerű*, elágazás (bifurkáció) nélküli *medrek* kiterjedését jól meghatározható partfalak korlátozzák, ezeket nem töri át a vízáramlás. Futásfejlettségük szerint az egyszerű medrek következő típusait különböztethetjük meg:

a. *Egyenes medrek*. A természetben csak valamilyen sajátos (pl. tektonikus) okból alakul ki egyenes meder, ilyenkor azonban igen stabil (az 1-es számmal jelölt típus a 3.2. ábrán). Gyakoribb, hogy – emberi hatásra, pl. folyószabályozáskor – kiegyenesítették a meanderező medret. Az egyenes meder hordalékszallítás szempontjából nem elég hatékony, ezért "hajlamos" újra kanyarokat fejleszteni. Először mederkottyanók, gázlók és váltózátonyok keletkeznek, majd nem csak a sodorvonalat térül ki (2 a 3.2. ábrán), hanem a part is pusztulni kezd.

b. *Enyhén kanyargó medrek*. A sodorvonal kitérése határozott oldalazó erózióval jár, a meder aszimmetrikussá válik, oldalirányban vándorol, de még nem éri el a meanderezés határértékét ($P = 1,54$).

c. *Meanderező meder*. A sodorvonal erősebben kitér, a meder anyagától (a fenékhordalék arányától) függő, a mederszélességgel is arányos hullámhosszal stabilizálódik. Két fajtája van: a főleg finom, lebegtetett hordalékot szállító medrek kis hullámhosszal és nagy amplitúdóval meandereznek (3a a 3.2. ábrán); a több durvább fenékhordalékot tartalmazó medrek meanderövezete szélességükhöz képest keskenyebb, futásfejlettségük kisebb (3b a 3.2. ábrán).

d. A *fonatos* (angolul: *braided*) medret mederzátonyok tagolják, a sodorvonal ágakra bomlik. Homokos mederben (4a 3.2. ábrán) és kavicsból vagy görgetegből álló mederben (4b) is kifejlődik. Leginkább hordalékkúpok tengelye mentén és a gleccserek nyelve előtt elterülő olvadékvíz-síkságokon (szandr-mezőkön) gyakori. A fonatos medrű folyó is építhet széles árteret (Ferguson, R.I. 1993).



3.2. ábra A medermintázatok és a hordalékszállítás összefüggései (Schumm, S.A. 1977 és Church, M., 1992 nyomán, kiegészítve). A medrek stabilitása jobbra és lefelé csökken. A típusok magyarázatát ld. a szövegben

3.1.3.2. Összetett medrek

A kis energiájú, erősen feltöltődő, *összetett*, többágú *medrek* már nem csupán zátonyokat, hanem szigeteket kerülgetnek, a vízfolyások eközben medret váltanak. Az ilyen típusú medrek építik a legszélesebb ártereket. Az összetett medreknek több fajtájuk lehet, a két, leggyakoribb típusmegnevezés:

a. *Többszörösen elágazó* („fattyúágas”, angolul: *anabranching*) *mederrendszer* (5 a 3.2. ábrán). A főmedret több mellékág hosszan kíséri, amelyek csak nagy távolság megtétele után (esetleg – mint elvonszolódott medrek – egyáltalán nem) csatlakoznak újra bele (Knighton, A.D. & Nanson, G.C. 1993).

b. *Fonatosan szövevényes* (angolul: *anastomosing*) *mederrendszer* (6 a 3.2. ábrán). Ebben az esetben a medrek már nem zátonyokat, hanem a parterózióknak valamennyire

ellenálló szigeteket vesznek körül (Nanson, G.C. & Knighton, A.D. 1996). Az itt említett angol szakkifejezéseknek bevett magyar fordítása még nincs. (Az avulzióval „kettévált”, nagyobb szigetet „kerülgető” vízfolyás viselkedését az orvosi nyelvből átvett görög műszóval anastomosisnak, alapjelentése: nyílás, nevezik [Makaske, B. 1998]. Az orvosok számára véretek összekötését fejezi ki, hogy azok át tudják venni egymás funkcióit.)

Anastomosiskor a főmeder és a mellékágak viszonya kibogozhatatlan, az utóbbiak néha belefutnak az előbbibe, majd újra kiágaznak belőle és keresztben haladnak az ártéren. Rendszerint olyan magasan helyezkednek el a főmederhez képest, hogy csak magas vízálláskor szállítanak vizet. Élettartamuk hosszú lehet, mert lassú bennük a medret alakító áramlás. Terjedelmes lapályokat, *árvízi öblözeteket* (angolul: flood basin) ölelnek körül, folyóhátakkal kísérve. A kiemelkedő folyóhátak és a mélyebb fekvésű árvízi öblözetek miatt a folyóágak közötti ártér-részletek keresztmetszete homorú. Az ártér az árvízi öblözetek összeolvadásából keletkezik.

Egyes szerzők (pl. Nanson, G.C. & Knighton, A.D. 1996) szerint az oldalirányú medervándorlás is a többszörös elágazás egyik módja, az egyszerű medrek valamennyi fajtájának megvan a többágú megfelelője. Az egyes ágak minden típusban lehetnek egyenesek, szűken vagy tágabban meanderezők, de fonatosak is. (A Kapos régi medreinek rekonstrukciója is ezt támasztja alá.) Az anastomosis itt az anabranching egyik fajtája.

A *szövevényes (anastomosisos)* rendszerek minden mederfajta közül a legkisebb esésűek (1 m/km alatt). Egyes tanulmányok (Watson, C.C. et al. 1983; Miller, J.R. 1991) szerint a csökkenő esésnek (pl. az ártér jelentős mértékű feltöltődésének) fontos szerepe van abban, ha egy folyó meanderezőből elágazóba vált. Mások az eséscsökkenés hatására csupán a meanderezés geometriai paramétereinek kisebb mértékű átalakulását mutatták ki (Ferguson, R. & Ashworth, P. 1991; McEwen, L.J. 1994). A szélesség/mélység arány anastomosis esetén a legkisebb, átlagban nem éri el a 10-es értéket (Schumann, R.R. 1989; Rosgen, D.L. 1994).

A medertípusok egymásba alakulása nem folytonos, hanem külső vagy belső *küszöbértékek*hez köthető (Schumm, S.A. 1979; Gábris Gy. 2007). Külső küszöb pl. a csapadék mennyisége. Ha megnő a folyó vízhozama, megváltozhat a meder mintázata, pl. meanderezőből fonatossá alakulhat. Belső küszöb átlépésekor, pl. változatlan vízhozam mellett is nő a meder futásfejlettsége, ami lefűződéshez, a meanderező meder kiegyenesedéséhez vezet. Bizonyos vízhozam szállítása a meder hirtelen kiszélesedésével jár (Moody, J.A. et al. 1999), ami új ártér képződését vonhatja maga után.

A medrek elágazása, így összetett rendszerré válása is hirtelen esemény, egyszeri *mederáthelyeződéssel*, azaz *avulzióval* történik. Egyesek szerint az avulzió csupán régi,

inaktívvá vált medreket újít meg ritkán előforduló, nagy árvizek idején. Mások az esésgörbén töréspontot feltételeznek, amely hátrafelé, folyásirányban felfelé vándorol. Az így képződő „vakmeder” egyre mélyül és a helyi kimélyülés révén el is keskenyedik. Később a folyó véglegesen is átválthat az új mederbe, miközben a régi meder feltöltődik, hozzáforr az ártérhez (Nanson, G.C. & Croke, J.C. 1992; Harwood, K. & Brown, A.G. 1993). Medereltolódásra és -szélesedésre a folyó korlátozott energiája miatt nincs lehetőség. Avulziókor a hidraulikus sugár (tehát a mederellenállás) megnövekedése is energiavesztés.

3.1.3.3. A mederosztályozások összehasonlítása

Már a korai osztályozások is összekapcsolták a meder anyagának, mintázatának és a belőle felépülő felszínformáknak a csoportosítását (3.5. és 3.6. táblázat).

3.5. táblázat A folyómedrek leggyakoribb típusai, felépítő üledékeik és felszínformáik (Miall, A.D. 1985, 1996 nyomán, egyszerűsítve). – LS = lemezes homokréteg; GB = kavicszátony; FF = ártéri lerakódások; SB = homokos meder formái; LV = folyóhát; DA = lefelé épülő nagyformák; CR = ártéri lecsapoló meder; LA = laterális akkréció formái; CS = homokfolt; HO = helyi kivésett mélyedés; CH(FF) = elhagyott meder; SG = gravitációs hordalékfolyás

<i>folyótípus száma</i>	<i>medermintázat</i>	<i>üledékfácies</i>	<i>a felszínforma kódja</i>
kavicsmedrű folyók 1	fonatos kavicsmeder, gravitációs folyással	kavics, kevés homok	SG (GB, SB)
2	sekély fonatos kavicsmeder	kavics, kevés homok	GB (SB)
3	mély fonatos kavicsmeder	kavics, kevés homok, finom hordalék	GB, SB, DA vagy LA (FF)
4	meanderező kavicsmeder	kavics, kevés homok, finom hordalék	GB, DA, LA (FF)
homokmedrű, erősen kanyargó 5	meanderező kavicsos- homokos meder	homok, aprókavics	SB, LA, FF (GB)
6	meanderező (efemer) homokos meder	homok, kevés finom hordalék	LA, SB, FF, LV, CR, CS, FF(CH)
7	meanderező meder, finom üledékben	finomhomok, iszap	LA, SB, FF, LV, CR, CS, FF(CH)
8	anastomosisos	homok, finom hordalék	SB, LA, FF, LV, CR, CS
homokmedrű, kissé kanyargó	kis futásfejlettségű, fonatos- meanderező, váltózátonyokkal	homok	DA, LA, SB, FF
9	sekély, állandó, fonatos meder	homok	SB (FF)
10	mély, nagy energiájú, állandó, fonatos meder	homok, némi finom hordalék	DA, SB, LA vagy HO (FF)
11	szétterülő fonatos meder	homok, némi finom hordalék	SB (FF)
12	időszakos, villámárvizes szétterülő meder	homok, némi finom hordalék	LS (FF)

További előrelépést jelentett az 1980-as és 90-es években, hogy a folyómeder környezetét, a *partok* és az *ártér* különböző paramétereit is bevonták az osztályozás ismérvei közé (Orr, H.G. 2008 – 3.7. táblázat). A folyómeder-mintázatok legújabb tipológiája (Eaton, B.C. et al. 2010) a Schumm-féle osztályozás felülvizsgálatán alapul – de éppen annak szellemében!

3.6. táblázat Néhány, a folyó fajlagos energia alapú osztályozás összehasonlítása (Lóczy D.)

<i>szerző</i>	<i>osztályozás alapja</i>	<i>fajlagos folyóenergia (ω) kategóriák (W m⁻²)</i>						
Ferguson, R.I. (1981, 1987)	medermintázat			120-300, aktív, kis futás-fejlettségű		20-350, korlátozott	5-350, aktív meanderes	1-60, inaktív, nem korl.
Nanson, G.C. & Croke, J.C. (1992)	ártér jellege (1. szinten)		>300, nem kohézív, nagy energiájú ártér			10-300, nem kohézív, közepes energiájú ártér		<10, kohézív, kis energiájú ártér
Petit, F. (1995)	mederigazodás			>100, gyakori (fonatos?) medereltolódás			<35, nincs igazodás szabályozás után	<15, inaktív medrek
Nanson G.C. & Knighton, A.D. (1996)	mellékágak			6. típus: 100-300	5. típus: 30-100	3. típus: 5-10	4. típus: 15-35	2. típus: 4-8; 1. típus: ≤ 8
Bernot, V. & Creuzé des Châtelliers, D. (1998)	völgyalak, ártér jellege (2. szinten)	100-1000, V-alakú völgy	100-1000, U-alakú völgy	50-500, szélesebb, V-alakú völgy	30-300, keskeny ártér	30-700, bevágódó meder	30-120, széles ártér	<30, tengerparti ártér

3.7. táblázat A folyómedrek osztályozására irányuló legfontosabb kísérletek és ártéri vonatkozásaik (Orr, H.G. 2008 nyomán, kiegészítve)

<i>kidolgozó</i>	<i>az osztályozás alapja</i>	<i>honnan származik?</i>	<i>előnyei</i>	<i>hátrányai</i>	<i>ártéri vonatkozások</i>
Miall, A.D. (1985, 1996)	medermintázat, uralkodó üledékfácies, felszínformák	Ausztrália	a medermintázat részletes osztályozása	nem folyamat-alapú, nedves vidékekre nem jól használható	ártéri formák feltüntetése a típusoknál
Rosgen, David L. (1994)	uralkodó esés, mederszélesség/-mélység arány, alaprajz (bevágódás) és a mederanyag szemcsemérete	Észak-Amerika	részletes, felhasználóbarát; a környezetbarát meder kialakításához jól felhasználható	nem a folyamatokból indul ki; nem határozza meg a változások okait; nem érzékeny minden zavarásra	-
Montgomery, David R. & Buffington, John M. (1998)	a meder alakja és a mederalakító folyamatok (folytonos skála) 4 méretarányban	amerikai hegyvidéki vízgyűjtők	a medermobilitást magyarázza; főleg homokos és kavicsos medrekre; a változás valószínűsége megbecsülhető	a típusok minden vidékre nem vihetők át; helyi tényezők szerepe (felszínalakulás, uszadékfa)	az ártéri földhasználat geomorfológiai hatásai
„folyó-stílusok”, Brierly, Gary J. & Fryirs, Kirstie A. (1997, 2005)	beágyazott hierarchikus: a vízgyűjtőtől a geomorfológiai egységekig (földtan, talaj, növényzet, égh., tájtörténet), GIS	Ausztrália, folyó-restaurációs céllal	a geomorfológiai viszonyok mutatják, mennyire természetes; mennyire állítható helyre	szubjektív, csak részben mennyiségi értékelés; nem tükrözi a tágabb környezet hatását; átvihető, de nagy adatigény	a meder elhelyezkedése az ártéren, az ártér völgyi korlátozottsága

A kanadai szerzők empirikus egyenletek segítségével igyekeznek meghatározni a mederesedésnek azon *küszöbértékeit*, amelyek – a vízhozam és a partok állékonysága függvényében, tehát a folyó energiájával szoros kapcsolatban – meghatározzák, hol vált át az egyik mintázattípus a másikba. Az egyik küszöbérték kijelöli a határt a stabil egyszerű meder (akár egyenes, akár meanderező) és a stabil többszörösen elágazó meder között:

$$S_{cr1} \approx 0,28 \cdot Q^{*-0,44},$$

ahol S_{cr} = kritikus mederesés

Q^* = mederkitöltő vízhozam (dimenzió nélküli szám).

Egy másik küszöbérték elkülöníti egymástól az elágazó (anabranching) és a – lényegében mindig instabil – fonatos medreket (azzal a feltétellel, hogy a növényzet nem befolyásolja lényegesen a partfal állékonyságát, tényezőjének értéke 1, így kiesik az egyenletből):

$$S_{cr2} \approx 0,56 \cdot Q^{*-0,43}.$$

Ezek az elméleti számítások alátámasztják az eredetileg Luna B. Leopold és M. Gordon Wolman (1957) által javasolt küszöbértékeket. Az osztályozás szempontjából az egyenletek azt jelentik, hogy az egyenes és a meanderező medermintázat egyszerű mederként (single-thread channel) vonható össze. A fonatos és az elágazó medrek jóval lényegesebb különbségeket mutatnak. Az instabillá váló egyszerű meder bizonyos küszöbértékeket átlépve stabil elágazó vagy instabil fonatos mederré alakulhat. Schumm (1977) és Michael Church (1992) felfogásával szemben ebben a rendszerben a fonatos meder is összetettnek minősül.

3.1.4. A vízfolyások rendűsége

A vízfolyások rendűsége összefügg méretükkel, korukkal, a vízrendszerben betöltött szerepükkel, számszerűségükkel, közvetve tehát mederosztályozásnak is tekinthető. A rendűség fogalmát az Egyesült Államokban Robert Elmer Horton (1932) vezette be. Módosított rendszerében (Horton, R.E. 1945) a vízhálózat felépülését bemutató rendűséget a vízfolyás hosszával és esésével kombinálta. Arthur N. Strahler (1957) úgy alakította át Horton rendszerét, hogy az elsőrendű vízfolyások a hálózat peremén a legfiatalabb elemek legyenek. Két elsőrendű vízfolyás összefolyásakor másodrendű, két másodrendű találkozásakor harmadrendű vízfolyás keletkezik. R.L. Shreve (1967) szerint a vízfolyás rendszáma mindig a felette fekvő mellékvizek rendszámának összege. Ezzel újra bevonta a rendszerbe a vízfolyás méretét. A rendűség fel lehetett tární a vízhálózat felépülésének törvényeit (Morisawa, M. 1968; Butzer, K.W. 1976).

Az újabb kutatások már kevésbé tartják alkalmasnak a rendűséget a vízfolyások komplex jellemzésére. A digitális terepmodelleken ugyanis nem egyszerű eldönteni, melyik vízfolyás elsőrendű (Hengl, T. & Reuter, H.I. 2008). Másrészt az azonos rendszámú szakaszok mederjellemzői eltérhetnek, ami megkérdőjelezi a megközelítés jogosságát (Gregory, K.J. & Walling, D.E. 1973).

3.1.5. Folyamat alapú (dinamikai) osztályozások

Ha valamiért hosszú távon módosul a folyó mechanizmusa, a mintázattípusok átalakulnak egymásba, és a felszínformálás jellege is megváltozik, *folyómetamorfózisról* beszélünk (Schumm, S.A. 1969). Ennek oka *természetes* (a csapadékviszonyok változása a vízgyűjtőn, tektonikus mozgások, a növényzet átalakulása) és *emberi hatás* (a földhasználat megváltozása, folyószabályozás, víztároló létesítése stb.) egyaránt lehet. A folyómetamorfózis legrészletesebben leírt példái a Mississippi mentéről származnak, ahol kimutatták, a folyó nem egyszerűen bevágódással vagy feltöltéssel válaszol a külső hatásokra, hanem egész mechanizmusa átalakításával.

3.1.5.1. Természetes folyamatok szerint

Mivel a folyó medrét igen sokféle folyamat alakítja, az ezekre alapozott mederosztályozások is igen változatosak. A *források* folyamat alapú, igen részletes *osztályozása* (Bradley, J.B. & Whiting, P.J. 1991; Whiting, P.J. & Bradley, J.B. 1993) 42 altípust különít el, elsősorban a meder esése, szélessége, a völgy szélessége és a mederanyag szemcseméretének mediánja figyelembe vételével.

A meder alakulása, a medernek a külső hatásokhoz való állandó igazodása is lehet osztályozási szempont. Ennek a legjobb példája Andrew Simon *mederfejlődési modellje* (Channel Evolution Model – Simon, A. 1989), melyben a mederfejlődés állapotát morfológiai paraméterek (kereszt- és hossz-szelvény, a partfal magassága) jelzik. Gyakorlati haszna, hogy kimutatja a meder bevágódásának következményeit (pl. a talajvíz szintjének süllyedését a száraz időszakokban). Az árterek tipizálását segíti azzal, hogy a medret és az árteret egyetlen hidrológiai rendszerként fogja fel, a kapcsolódásokat hangsúlyozza.

3.1.5.2. Antropogén hatások szerint

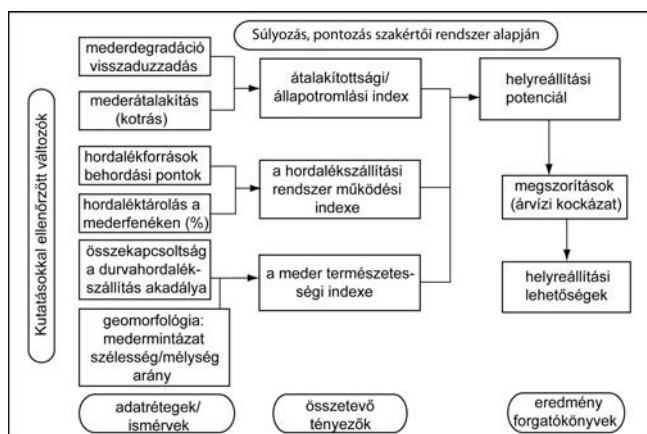
Napjainkban a természetes állapotú medrek minősítésénél még fontosabb a folyószabályozás által érintett, csatornázott folyók medrének minősítése (Lane, S.N. 1995) – ugyanakkor – érthető módon – ezt jóval kevesebb geomorfológus érzi szakmai kihívásnak. Az osztályozás alapja az lehet, hogy milyen mértékben nyomozhatók még a természetes állapotok (Brookes, A. 1988, 1995). A szabályozott meder *átalakítottságának mértékét* a 3.8. táblázatban szereplő beavatkozások és következményeik minősítésével lehet megállapítani (Knighton, A.D. 1998).

A mederátalakítottság minősítésére példaként említhető a *folyó-auditálási eljárás* (Fluvial Audit) Nagy-Britanniában. Célja, hogy átfogó képet adjon a folyómedrek geomorfológiai viszonyairól, átalakítottsági, ill. természetességi állapotáról (Environment Agency 1998). A természetestől az erősen módosítottig osztályozza a folyómedreket, a meder helyreállításának

lehetőségeit. Újabban előhely-minősítéssel is kiegészítették, térinformatikai alapra helyezték (3.3. ábra).

3.8. táblázat A mederátalakítás következményei (Brookes, A. 1988; Knighton, A.D. 1998 nyomán)

<i>mesterséges hatás</i>	<i>konkrét beavatkozás</i>	<i>hidromorfológiai következmény</i>
a meder kiegyenesítése	kanyarulatok levágása	medermélyülés, parterózió, az alsóbb szakaszon felhalmozódás
a mederszelvény átalakítása	mederszélesítés, -mélyítés	csökkenő hordalékszállítás, lerakódás
gátépítés	az ártér leszűkítése	kevesebb hordalék, bevágódás
partvédelem	partvédmű, a meder kiépítése	módosult mederérdesség, part menti üledéklerakódás
a meder kitisztítása	akadályok eltávolítása	növekvő áramlási sebesség, mederdegradáció
kotrás, kavics és homok kitermelése a mederből	medermélyítés a sodorvonal mentén	bevágódás, parterózió
duzzasztás	fenékküszöb, zsilip létesítése	esésviszonyok átalakítása, a hidraulikai változatosság mérséklése



3.3. ábra A folyó-auditálás minősítési rendszere (Environmental Agency 1998)

3.1.6. Komplex geomorfológiai osztályozások

A sok paraméterre alapozott, komplex geomorfometriai osztályozások a fentieknél bonyolultabbak, hierarchikus felépítésűek.

3.1.6.1. Rosgen-féle típusok

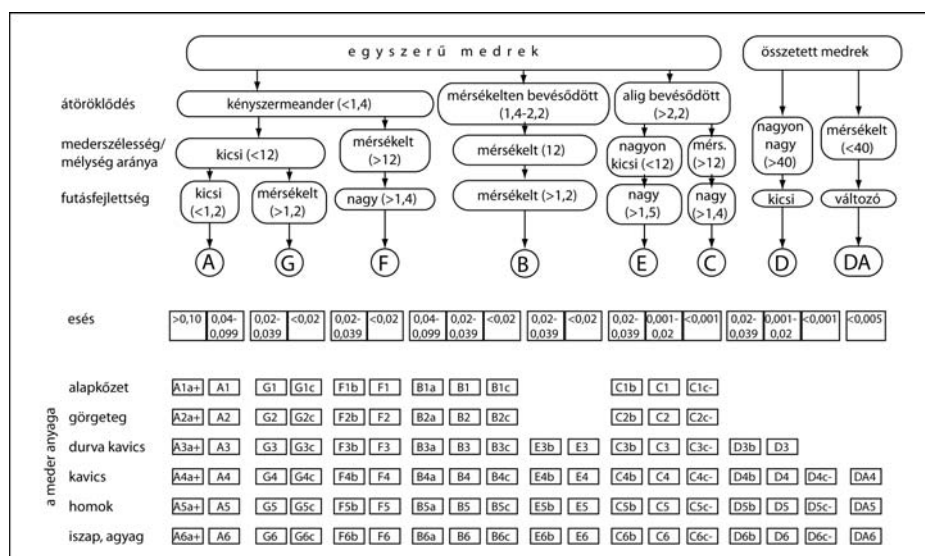
Széles körben (nem csak geomorfológusok által) használt, átfogó és részletes mederosztályozás az amerikai David L. Rosgené (1994). *Rosgen rendszerezésének célja*, hogy a folyó megjelenéséből következtessen a viselkedésére, az egyes mederszakaszokra megállapítja a víz- és a hordalékszállítás összefüggéseit. Osztályozása a következő – egymással összefüggő – paramétereken alapul:

- egyszerű vagy összetett-e a meder (utóbbi esetben mederkitöltő vízhozam esetén három vagy több ágra bomlik);
- bevágódási arány (az elöntésveszélyes sáv szélessége osztva a mederszélességgel);
- a mederszélesség és -mélység aránya;
- futásfejlettség (kanyargósság);

- a meder esése és anyaga.

A Rosgen-féle rendszer kiinduló – bár a háttérben maradó – fogalma a *mederkitöltő vízhozam*: a medret hatékonyan formáló (Wolman, M. G. 1954), ill. a hordalékot a leghatékonyabban továbbító vízhozam (Leopold, L.B. 1994). A mederalakítás a keresztaszelvény alakjának változásából és az ehhez szükséges energiából, a folyó hatékony vízhozama pedig a vízjárás és a hordalékszállítás görbéiből számítható. Rosgen meg van győződve arról, hogy a mederkitöltő vízhozam két értelmezésének összekapcsolása egy általánosan érvényes osztályozást eredményezett (Rosgen, D.L. 1996b). A továbbfejlesztett osztályozási rendszerben (Rosgen, D.L. 1996a) négy *hierarchia-szintet* állapít meg:

1. szint: általános geomorfológiai jellemzés – ártéri felszínformák, a völgy alakja és a vízgyűjtő domborzata alapján;
2. szint: medertípusok megállapítása referenciaszakaszok analógiájára – bevésődöttség, mederméret, -mintázat, -esés és -anyag (D_{50}) alapján (3.4. ábra);
3. szint: a folyó morfológiai állapota – hordalékutánpótlás, uszadék, a mederstabilitás;
4. szint: a folyó dinamikája – a vízjárás szélsőségei, a sodorvonal áthelyeződése.



3.4. ábra Második szintű medertípusok Rosgen rendszerében (Rosgen, D.L. 1998 nyomán)

A tágabb környezet geomorfológiája az osztályozás nyilvánvalóan fontos szempontja. A 2. szint azonban magyarázatra szorul. A referenciaszakasz olyan természetes módon stabil folyószakasz, amely az egész vízgyűjtőre jellemző „hidrofiziográfiai terület” (egyszerűbben: részvízgyűjtő) vizeit vezeti le – a lehető legkisebb energiárfordítással (Rosgen, D.L. 1998)

Rosgen osztályozását ugyan többen ellenőrizték (pl. Savery, T. et al. [2001] a Wisconsin állambeli Chequamegon-Nicolet Nemzeti Erdőterületen; Epstein, M.C. [2002] a New Jersey-i Pine Barrens vidéken) és 95%-ban helyesnek találták, mások kételkednek benne, hogy maradéktalanul alkalmazható-e az USA arid vidékeire kidolgozott módszer az olyan

csapadékos területekre is, mint pl. a Cascade-hegység nyugati oldala. Felhasználták erősen módosított medrű amerikai vízfolyások helyreállítására, de nem mindig sikerrel, mivel instabil medreket hoztak létre (a tanulságokat ismerteti: Kondolf, G.M. & Piégay, H. 2002).

Az amerikai osztályozási rendszerekre támaszkodik a *szlovák* Milan Lehotský (2004) *folyómorfológiai hierarchikus osztályozása* (River Morphology Hierarchy Classification, RMHC), amely hét hierarchiaszintből áll. A folyómeder és az ártér kapcsolatát kifejező 4. szinten a tipizáláshoz használt megkülönböztető paraméterek a következők: medermintázat; nagyobb méretű felszínformák (szigetek, partfalak stb.); az elöntés gyakorisága; a meder összeköttetési indexe; futásfejlettség; a meanderövezet szélessége; az ártéri felszínformák szerkezete; a meder helyzete az ártéren (völgyi korlátozottság). Sajnos, a szlovák alkalmazott rendszer gyakorlati tapasztalatairól nem áll rendelkezésre szakirodalmi elemzés.

3.1.6.2. Aljzattípusok Montgomery és Buffington szerint

A kb. 10–20 mederszélességnyi hosszúságú (Montgomery, D.R. & Buffington, J.M. 1997), nagyjából homogén egységeknek tekinthető mederszakaszok jellegét bizonyos mederparaméterek (esés, a hordalék szemcsemérete, mederszélesség/-mélység aránya) értékközeivel ugyan analitikusan jól lehet jellemezni, mégis sokkal egyszerűbb a holisztikus megközelítés, amely szerint az egyes mederszakaszok jellegzetes folyóvízi formakincse jobban tükrözi lényegüket, az ott végbemenő folyamatokat (Buffington, J.M. et al. 2003).

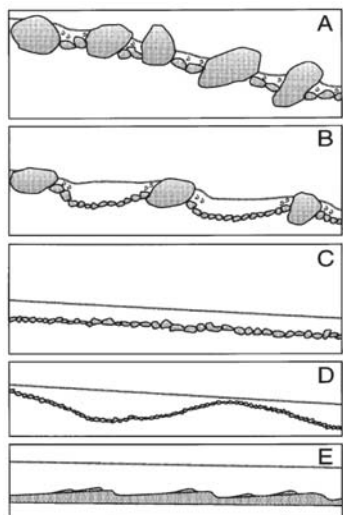
Az egyes mederszakaszok között gyakran hirtelen az átmenet, de folytonos is lehet, azért elhatárolásuk nem minden esetben egyszerű és egyértelmű. Az alluviális szakaszokon kolluviális és szálkőzetbe vájt részek is előfordulhatnak, de az ilyen szakaszok jellegét az alluviális formacsoportok adják meg. A mederosztályozások a hordalékutánpótlás és a folyó energiája szerint határozzák meg a mederszakaszok típusait, általában hat alluviális típust különböztetnek meg (3.9. táblázat, 3.5. ábra):

- *kolluviális meder* (a folyók felső, hegyvidéki szakaszán, elsőrendű vízfolyások kolluviummal kitöltött völgyekben, ahol jelentős mennyiségű hordalék akár több száz évig is tárolódhat; a medermélyítő képessége csekély – Dietrich, W.E. & Dunne, T. 1978; hordalékszállításuk mérsékelt és időszakos, epizodikus törmelékfolyások útján);

- *kaszkád meder* (a legmeredekebb, sekély vizű, vízeséses, sellős, alluviális mederszakaszok, helyenként turbulens áramlású kottyanókkal, ahonnan a finom szemű üledék könnyen kiöblítődik – A a 3.5. ábrán);

- *lépcsős-kottyanós aljzat* (nagy esésű, rendszerint egyenes, görgeteg- vagy farönk-lépcsőkkel tagolt mederszakaszok, ahol sok finom szemcséjű hordalék tárolódik, és csak nehezen kiszámítható küszöbértékek átlépésekor mobilizálódik – Grant, G.E. et al. 1990 – B);

- *sima aljzat* (közepes esésű, egyenletes mélységű mederszakaszok, ahol a fenékhordalék szállítását erős kéregképződés akadályozza – C);
- *gázlós-kotyanós aljzat* (kis és közepes vízfolyások mérsékelt esésű, gyakran meanderező, alluviális, kavicsos, homokos, heterogén felépítésű szakaszai; a fenékhordalék szállítása szakaszos – D);
- *fodros-dűnés aljzat* (kis esésű, völgyi korlátozottság nélküli, meanderező, homokos medrek formái, mérsékelt turbulenciájú helyeken; a hordalékszállítás folyamatos – E).



3.5. ábra Az osztályozási rendszer különböző típusaihoz tartozó mederfenék-alakzatok oldalnézeti ábrázolása (Montgomery, D.R. & Buffington, J.M. 1993 nyomán). A magyarázatot ld. a szövegben. A legfejlettebb árterek a fodros-dűnés, a gázlós-kotyanós és a fonatos medreket kísérik

3.1.6.3. A mederfenék alakzatainak típusai

A hierarchia legalsó fokán viszonylag homogén, *helyi mederformák* jellegzetes formaegyüttesei állnak, amelyeket a vízáramlás és a mederfenék érdekessége közötti kölcsönhatások alakítják ki – különböző vízálláskor természetesen más és más módon. Alacsony vízálláskor van diagnosztikus szerepük, hiszen nagyvíz levonulásakor dinamikusán átalakulnak egymásba, nehezen különíthetők el (Lóczy D. 2005).

A vízi szervezetek (moszatok, bentikus gerinctelenek, halak) számára a formaegyüttesek élőhely-típusokat jelentenek (Hawkins, C.R. et al. 1993), sokféleségük a biodiverzitást fokozó tényező (Bisson, P.A. et al. 2006). Az aljzat formatípusainak osztályozása tehát a vízi növények és állatok térbeli eloszlását, a természetes és az antropogén zavarásokat is jelzi. Emellett hasznos adatokat szolgáltat a folyórehabilitációs intézkedések megtervezéséhez.

C.R. Hawkins és munkatársai (1993) a *mederformák három szintű osztályozását* terjesztették elő. Először a gyors és a lassú folyású helyeket különítik el, majd további megkülönböztetést tesznek aszerint, hogy az áramlás turbulens vagy lamináris. (Az utóbbi kategória azonban szinte csak elméletben létezik, szinte minden vízfolyás turbulens.) A harmadik szinten hidraulikai tulajdonságaik alapján morfológiai egységeket határoztak meg.

3.9. táblázat Folyómeder-típusok hegyvidéki medencékben és megkülönböztetésük szempontjai (Montgomery, D.R. & Buffington, J.M. 1997 nyomán)

<i>típusok</i>	<i>a. dűne-homokfodor</i>	<i>b. gázló-kotyanó</i>	<i>c. sima aljzat</i>	<i>d. lépcső-kotyanó</i>	<i>e. kaszkád</i>	<i>f. szikla-meder</i>	<i>g. kolluviális</i>
a meder jellemző anyaga	homok	kavics	kavics, durvakavics	durvakavics, görgeteg	görgeteg	szálban álló kőzet	változó
az aljzat alakzatainak elrendeződése	többrétegű	oldal-irányban oszcilláló	nincsenek alakzatok	függőleges irányban oszcilláló	véletlen-szerű	szabály-talan	változó
az érdesség elemei	kanyargósság, fenék-alakzatok, szemcsék, partok	fenék-alakzatok, szemcsék, kanyargósság, partok	szemcsék, partok	fenék-alakzatok, szemcsék, partok	szemcsék, partok	mederfenék partok	szemcsék
a fő hordalék-források	folyó, partomlás	folyó, partomlás	folyó, partomlás, törmelék-folyás	folyó, lejtő-folyamatok, törmelék-folyás	folyó, lejtő-folyamatok törmelék-folyás	folyó, lejtő-folyamatok törmelék-folyás	lejtőfolyamatok, törmelék-folyás
hordaléktárolók	ártéri formák	ártéri formák, fenék-alakzatok	ártéri formák	fenék-alakzatok	az akadályok felett és alatt	üledék-foltok	meder-fenék
völgyi korlátozottság	nincs	nincs	változó	korlátozott	korlátozott	korlátozott	korlátozott
kotyanók távolsága (meder-szélességben)	5–7	5–7	nincs	1–4	<1	változó	ismeretlen
jellemző távolság a kotyanók között (mederszélesség)	5-7	5-7	nincs	1-4	<1	változó	ismeretlen
mederkitöltő vízhozam gyakorisága (év)	1-2	1-2	1-2	változó	változó	változó	változó
dunántúli példa	Alsó-Zala	Felső-Kapos	Középső-Kapos	Bükkösi-víz	-	kis mecseki patakok	-

A „gyors folyású”, a Froude-féle szám szerint rohanó (szuperkritikus) áramlással ($Fr \geq 1$) jellemezhető egységeknek öt típusát különböztetik meg, az esés és az áramlási sebesség csökkenő sorrendjében (Hawkins, C.R. et al. 1993): vízesések; lépcsős vízesések (kaszkádok); sellők; gázlók; surrantók (chutes). A gyors folyású, de szubkritikus egységeknek két alaptípusa van: sima vízrétegben áramló (sheet) és „csörgedező” folyású (run) helyek (főleg sziklamedrekben). A lassú vízáramlás vagy a helyi kimélyítés, kimosás helyein (scour pools) tapasztalható, vagy ott, ahol az áramlás a mederben valamilyen akadályba ütközik (dammed pools). Hatféle helyi kimélyítéssel különböztetnek meg (Hawkins, C.R. et al. 1993):

- örvényléeses kotyanók (akadályok alatti szakaszokon);
- árokszerű kotyanók (U-keresztmetszetűek, korlátozott sziklamaderben);
- mederközepi kotyanók (hirtelen kimélyülések a sodorvonal mentén akadály körül);
- összefolyási (konvergens) kotyanók (hasonló méretű vízfolyások találkozásánál, alluviális mederben);
- laterális kimélyülések (akadály, pl. farönkök közelében, a meder szélén);
- örvényüstök (plunge pools; vízesések, sellők alatt sziklamederben).

Megjegyzendő, hogy a rendkívül hasznos, a mederaljzat fajtáján és a mederfenék alakzatain alapuló osztályozások csak a jelenleg is aktív medrekre alkalmazhatók. Sajnos, az egykori, mára már feltöltött medrek fenékalakzatait nem lehetséges rekonstruálni, ezért az árterek tipizálására ez a megközelítés nem terjeszthető ki. A geomorfológiai mederosztályozásoktól csak akkor várható gyakorlati haszon, ha gondosan a földrajzi környezetbe illesztve alkalmazzák őket (Kondolf, G.M. & Piégay, H. 2002).

3.2. Geomorfológiai ártérosztályozások

Folyó és ártér szoros kölcsönkapcsolatára már nagyon korán felfigyeltek a kutatók. James Dwight Dana és Charles Lyell megjegyzései után Grove Karl Gilbert a Henry-hegység geológiájáról írt jelentésében már egyértelműen kifejti az ártérosztályozások alapgondolatát: mivel az ártér a folyómeder vándorlása során épül, az ártér alakja a folyómeder változásaihoz idomul. Előbb a horizontális akkréciót hangsúlyozták, mint fő felhalmozó folyamatot, később a vertikálist (Schumm, S.A. 1963, 1973a), majd a többi fontos folyamatot is felismerték.

Az 1980-as években született meg az az elképzelés, hogy az ártérfajtákat hatás-ellenhatás alapon, azaz a folyók felszínalakító hatása és az ártéri „ellenállás” viszonya szerint kellene elkülöníteni egymástól (Richards, K. 1982; Carson, M.A. 1984).

A különböző ártérosztályozások történeti áttekintéséből (Nanson, G.C. & Croke, J.C. 1992) háromféle alapvető megközelítés határozható meg:

1. Az ártéri felszínformákra összpontosít a *morfológiai* osztályozás. Az egyes felszínformákat lajstromozza Geoffrey E. Petts és Ian D.L. Foster (1985), akik típusaikat aszerint különítik el, hogy az árteret meanderező, fonatos vagy szétágazó folyómeder építette-e fel. John Lewin (1978) a megfigyelhető formaegyüttesek alapján állapítja meg ártértípusait.

2. Számos más tudományág és a *gyakorlati* élet különböző területei is igényelték az árterek csoportosítását. Így keletkeztek az ártéri gazdálkodást segítő műszaki, vízgazdálkodási, rekreációs, biológiai (pl. Moseley, M.P. 1987) vagy rehabilitációs szempontú rendszerezések, amelyek azonban nem használtak egységes ismérveket.

3. Az igazán geomorfológiai, *genetikus* típusok megállapításához még F.A. Melton (1936) sem rendelkezett megfelelő szedimentológiai és hidraulikai adatokkal. Az ilyen empirikus osztályozási rendszerre csak a 20. század legvégén érett meg a helyzet.

3.2.1. Morfológiai osztályozások

3.2.1.1. Az ártér épülésének módja szerint

Az ártérfejlődést a modellekben két, egymástól független folyamat kombinációjaként fogják fel: *feltöltődés és lepusztulás egyenlegeként* (Moody, J.A. & Troutman, B.M. 2000). Erózió az áradás két szakaszában léphet fel (Zwoliński, Z. 1992): amikor a vízállás hirtelen megemelkedik, ill. amikor hirtelen lecsökken. A lerakódás üteme nagyjából a lefolyásgörbét követi. A feltöltődő árterek szintje tehát egy-egy árvíz során (napi, heti időskálán) pozitív és negatív irányban egyaránt változhat, de összességében, több árvíz sorozatában (tehát évtizedes időskálán) a lerakódás dominál, szintjük monoton nő. A katasztrofális árvizek ugyan több hordalékot raknak le, de erősebben is erodálják az árteret, ezért ilyenkor a tiszta ártéri felhalmozódás nem arányos a levonuló vízhozammal (Moody, J.A. & Troutman, B.M. 2000). (Ez volt a helyzet a Mississippi 1993. évi nagy árvizekor is – Gomez, B. et al. 1997).

Egy amerikai elképzelés szerint az ártéren lerakódó hordalék gyakran azért viszonylag egynemű, mert a folyóban szállított víz- és hordalékmennyiségnek az árvíz előrehaladottabb szakaszában csak a legfelső, homogén eloszlású hányada jut ki az ártérre (Moody, J.A. & Troutman, B.M. 2000). Ez megfigyelés Montana államból – az örvényesség függvényében – feltehetően a Föld más vidékeinek olyan nagy folyóira is kiterjeszthető, ahol a fenékhordalék/lebegtetett hordalék arány <0.1 .

Egyfajta morfológiai megközelítésű osztályozás az, amely a hordalékfelhalmozódás két alapvető módjának, a *laterális* és a *vertikális akkréció*nak (Collinson, J.D. 1978) az *aránya* szerint két alaptípust különböztet meg:

- A legtöbb kisebb és közepes vízhozamú folyó, elsősorban a nedves mérsékelt övben felszínformákban szegényebb, *lapos árteret* épít. Ezek elsősorban övzátonyképződéssel, vízszintes irányban terjeszkednek (laterális akkréció). Legkorábban, a davis geomorfológián alapuló művekben (pl. Cotton, C.A. 1941) felszínelegyengetéssel („lateral corrosion” vagy „lateral planation”) magyarázták a lapos ártér keletkezését. Később a folyami hordalékszállítás behatóbb tanulmányozásával kimutatták, hogy a lapos árterek elsősorban fonatos medrek durva fenékhordalékból épülnek fel (Butzer, K.W. 1976).

- Az igazán nagy, főként szubtrópusi-trópusi folyamok többségének (de a mérsékelt övieknek is) kis esésű *ártere* enyhén, alig észrevehetően *"domború"* (*konvex*) keresztmetszetű, a meder mentén felmagasított. Az üledékképződés üteme a mederben (ahol a fenékhordalék halmozódik fel) és annak közvetlen szomszédságában (ahol a legdurvább lebegtetett hordalék kerül nyugalomba) a leggyorsabb (Butzer, K.W. 1986). A jellegzetes ártéri formakincset

jórészt az árvízkor, vertikális akkrécióval során lerakódott hordalék építi fel. Klasszikus példájuk a Tigris–Eufrátesz alföldje vagy nálunk a Szatmári- és a Beregi-síkság.

Hasonló megközelítést alkalmaz Wolfgang Schirmer (1995) is, amikor a közép-európai holocén folyóteraszok (azaz tulajdonképpen ártéri szintek) két típusát különbözteti meg:

- a vertikális akkrécióval képződött *V-szinteket* (a hordalékfelhalmozódás közben a folyómeder egyre magasabb helyzetbe kerül) és
- a laterális akkrécióval épülő *L-szinteket* (a folyómeder azonos szintben marad).

A folyó mechanizmusa, a mederfejlődés módja, az ártéri üledékek átdolgozásának mértéke szerint a holocén ártéri szintek (amelyeket a német nyelvű szakirodalom félreérthető módon teraszoknak nevez) a következő mintázattípusokban települhetnek egymásra (Schirmer, W. 1995):

- *egyöntetű ártér* (Monoauen-Muster) – kis folyók függőlegesen alig tagolt ártere;
- *szegélyterasz-mintázat* (Saum-Terrassenmuster) – a meder partjával nagyjából párhuzamos peremek nagy esésű folyók mentén vagy neotektonikus hatást mutató völgyekben;
- *mozaikos teraszmintázat* (Mosaik-Terrassenmuster) – hegyvidéki és síksági szakaszokon egyaránt a leggyakoribb, összetett mintázat;
- *hurkos teraszmintázat* (Schlingen-Terrassenmuster) – lapos völgytágulatok meanderező medrek által kialakított mintázata, gyakran völgyszűkületek feletti szakaszon.

Ez a közép-európai viszonyokra kidolgozott ártérosztályozási rendszer jól alkalmazható a Kapos vízrendszerére is, ahol mind a négy típus megtalálható.

3.2.1.2. Az ártéri üledékek szerint

Több szerző egyszerű ismerv, *anyaguk* alapján osztályozza az ártereket. Ide tartozik pl. A. D. Knighton (1998) rendszere, aki ugyan a folyószakaszok helyzetéből, hegyvidéki vagy alföldi jellegéből indul ki, és a folyó energiájával kapcsolja össze az ártéren lerakódott üledékeket.

- A hegyvidéki folyók, amelyek nagy vagy közepes energiával rendelkeznek, főleg görgeteget, kavicsot és/vagy homokot szállítanak, ezért *nem kohézív* anyagú árteret építenek.
- A finomabb (iszapos, agyagos) hordalékot szállító, kis energiájú, alluviális medrek ártere *kohézív* anyagú.

Sajátos megközelítés a *CM módszer*, amely *szedimentológiai* alapon osztályozza az ártereket. Az elsősorban árvizek idején épülő ártereken már régen kimutatták, hogy az árvízi üledéksor alul durvább lerakódásokkal kezdődik és felfelé finomodik. Az ártéri üledékeket a legdurvább frakció (a szemcseeloszlásban a felső 1%, jele: C) és a szemcse méret mediánja (M) aránya, amelyet logaritmikus eloszlásgörbén szokás ábrázolni (Bravard, J.-P. & Peiry, J.-

L. 1999). Az üledék osztályozottságából következtetni lehet arra, hogy milyen arányban szállított lebegtetett hordalékot az árteret felépítő folyó (ha ez a szállításmód uralkodott, a jele: RS), ill. az ugráltatás (QR) dominált-e, esetleg vegyesen fenék- és ugráltatott (PQ) vagy inkább csak fenékhordalék (NO vagy OP típus) szállítódott túlnyomó részben (Marriott, S.A. & Alexander, J. 1999).

3.2.2. Meder- és ártérosztályozások helyreállítási céllal

Gyakorlati célból az ártér *természetes* „helyreállási” képessége (recovery potential) és a helyreállításának lehetőségei (restoration potential) egyaránt fontos értékelési szempontok. Ausztráliában Gary J. Brierley és Kirstie A. Fryirs (1997, 2005) egymásba ágyazott, hierarchikus jelenségeknek, folyamatoknak tekintik a folyó geomorfológiai típusát, mechanizmusát és dinamizmusát (az ártérrel való összekapcsoltságot, „helyreállási” képességét – Kellerhals, R. et al. 1976). A *folyóstílusok (River Styles)* módszer kidolgozói a folyóstílusokat nem mérhető paraméterértékekkel osztályozzák, nem mennyiségi jelleggel, inkább csak iránymutatásként. A folyóknak a változó környezeti viszonyokra adott reakcióját (alkalmazkodó képességét) és medrük, ártérük helyreállíthatóságát minősíti (Brierley, G.J. & Fryirs, K. 1997, 2005), ezzel a rehabilitáció legcélszerűbb megoldásait igyekszik megtalálni. Az osztályozás egyik fő ismérve a medrek *völgyi korlátozottsága* (valley confinement), hiszen ez szabja meg a meder alkalmazkodásának mértékét. További ismérvek: a völgy keresztmetszvényének alakja; a meder esése, mintázata; az ártér szélessége, folytonossága, formakincse; az ártéri felhalmozódások anyagának szemcsemérete stb. A folyóstílusok jól összhangba hozhatók a Víz Keretirányelvvel (pl. referencia-szakaszokhoz viszonyított jó, közepes vagy gyenge hidromorfológiai állapot). A módszer nem csupán leíró jellegű, a meder és az ártér alakulásának okait is feltárja.

3.2.3. Genetikus ártérosztályozás

A geomorfológiai tipizálással rokon, jóval részletesebb a Gerald C. Nanson és Jackie C. Croke (1992) nevéhez fűződő *energetikai-geomorfológiai* rendszer, amelyet Ausztráliában és az amerikai kontinensen, többé-kevésbé természetes állapotú folyók árterének több évtizedes vizsgálatára alapozva építették fel. Ez a logikusan kidolgozott ártérosztályozás valamennyi korszerű geomorfológia tankönyvbe bekerült – Magyarországon azonban alig ismert.

Az osztályozás alapja a *folyó energiája* és a parton lerakott folyóvízi *üledék szemcsemérete* közötti egyensúly megléte vagy hiánya. A folyó energiáját – teljesen Cholnoky szellemében – „munkavégző képességének” („the stream’s ability to do work” –

Nanson, G.C. & Croke, J.C. 1992, p. 460) tekintik. Hétféle ártéralakító folyamatot különböztetnek meg:

- 1, laterális akkréció a mederben (amely övzátonyok sorozatát építi fel);
- 2, vertikális akkréció részben korlátozott völgyben;
- 3, vertikális akkréció széles ártéren;
- 4, fonatos meder akkréciója (mederközepi zátonyokból szigetek, régi medrek feltöltődésével az ártérhez kapcsolódnak);
- 5, ferde akkréció (a meder szegélyén, dőléssel);
- 6, „átellenes” akkréció (angolul: counterpoint accretion, üledéklerakódás a folyás-szétválási zóna holtvizében, a meanderek pusztuló oldalán);
- 7, holtág-akkréció (régis medrek feltöltődése).

A folyó felszínalakításának fizikai alapja a mederfenéken tapasztalható nyírófeszültség. A helyzeti energia mozgási energiává alakul, ezért – a nyírófeszültség bizonyos küszöbértéke felett – a folyó képessé válik bizonyos szemcseméretű hordalék elragadására, szállítására, majd pedig lerakásakor az ártér felépítésére (Knighton, A.D. 1999). A nyírófeszültség a folyó specifikus energiájával, tehát az egységnyi keresztmetszetre jutó energiával arányos.

Korábban a folyó energiáját csak a vízmércék helyeire lehetett kiszámítani, manapság azonban a centiméteres felbontású lézeres távérzékeléses (pl. Light Detection And Ranging, LiDAR) adatok, földrajzi információs rendszerek segítségével kisebb-nagyobb vízgyűjtőkre (Reinfelds, I.V. et al. 2004; Jain, V. et al. 2008), pontról-pontra kiszámítható. A folyó fajlagos energiájának (ω , $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) kiszámítási módja (Bull, W.B. 1979):

$$\omega = \gamma \cdot Q \cdot S \cdot w^{-1},$$

ahol γ = a víz fajtsúlya ($= 9810 \text{ N}\cdot\text{m}^{-3}$);
 Q = a folyó mederkitöltő vízhozama ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$);
 S = a folyómeder esése ($\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$);
 w = a meder szélessége mederkitöltő vízhozam esetén (m).

A folyó teljes energiája helyett azért célszerű a specifikus energiával számolni, mert ez jellemzi az energia disszipációját a mederben. A specifikus energia szoros összefüggésben áll a medervándorlás mértékével (Hickin, E.J. & Nanson, G.C. 1984), a hordalékszállítással (Bagnold, R.A. 1977), a mederfenék alakzataival (Lewin, J. 1976) és egyéb geomorfológiai jellemzőkkel. A folyó energiájából fakadó erózióval szemben az ellenállást a szállított hordalék és a folyópart anyaga jelenti, amelyet az uralkodó szemcsemérettel lehet kifejezni (Knighton, A.D. 1998).

A három fő típuson belül a folyómeder mintázata és az ártéri üledékek fajtája differenciál (Nanson, G.C. & Croke, J.C. 1992 – 3.10. táblázat) A feltöltődési folyamatok szerint pedig öt fő típus különíthető el – az előző genetikus osztályozás kategóriáinak megfelelően (3.6. ábra).

3.10. táblázat Az árterek rendszerezése a folyó energiája szerint (Nanson, G.C. & Croke, J.C. 1992 nyomán, kiegészítve)

sor-szám	típus	a folyó fajlagos energiája	üledéktípus	példa a Kapos vízgyűjtőjéről
1.	nagy energiájú (hegyvidéki) árterek		nem kohézív (laza) üledék	-
1.a.	bevágódó/ feltöltődő, viszonylag szabadon fejlődő árterek	$\omega \approx 300 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	változatos üledék (homok, kavics)	-
1.b.	korlátozott szélességű árterek	$\omega \geq 1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	durva hordalék (kavics, görgeteg)	-
2.	közepes energiájú árterek		nem kohézív üledékek (homok, iszap)	-
2.a.	szétágazó medreket kísérő árterek	$\omega = 50\text{--}300 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	nem kohézív üledékek (homok, iszap)	-
2.b.	meanderező, oldalirányban vándorló medreket kísérő árterek	$\omega = 10\text{--}60 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	nem kohézív üledékek (homok, iszap)	a Surján-patak ártere a szabályozás előtt
3.	kis energiájú árterek	$\omega \leq 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		-
3.a.	egyszerű medreket kísérő árterek		kohézív (agyagos) üledékek	-
3.b.	többágú medreket kísérő árterek		szerves üledékek (tőzeg)	az eredeti Kapos a Döbröközi-öblözetben
3.c.	többágú medreket kísérő árterek		szervetlen üledékek (finom homok, iszap)	a Kapos–Koppány összefolyásnál

Az ausztrál rendszer a főtipusokat további 13 rendre, ill. alrendre osztja 9 ismérv szerint (3.11. táblázat). Az egyik alapvető ismérv a völgyi korlátozottság, a többi mind valamilyen felszínalakító (laterális vagy vertikális akkréció) folyamat. Az akkréció sajátos fajtájának tekintik a fonatos medrek feltöltődését, amely adott esetben szintén hatékonyan hozzájárul az ártér felépüléséhez. Ez háromféle folyamat eredménye: a fonatos medrek eltolódnak, mederközepi zátonyaik stabilizálódnak; a helyi feltöltés-kimélyítés hatására az inaktív zátonyok tartósan szárazra kerülnek; a nagy árvizek új, kiterjedt zátonyokat építenek, amelyet alacsonyabb vízálláskor már nem önt el a folyó.

A keletkező ártéri felszínformákat rendekbe/alrendekbe sorolják (3.12. táblázat). Magyarországi példákat elsősorban a 2. (egyensúlyi) és a 3. főtípusra tudunk hozni, hiszen nagy esésű vízfolyásaink vízhozama túl kicsi ahhoz, hogy nem kohézív anyagú, nagy energiájú árterek jöhessenek létre.

Ha végigkövetjük Nanson és Croke gondolatmenetét, világossá válik, hogy az általuk választott megoldás korántsem tökéletes. A rendeket és alrendeket meghatározó tényezők kiválasztása kissé önkényes (természetszerűleg erősen támaszkodik a szerzők ausztráliai kutatási tapasztalataira). A genetikai ártérosztályozási rendszer nem vesz figyelembe olyan tényezőket, amelyek ugyan kétségtelenül befolyásolják egyes ártértípusok kialakulását, de hatásuk nehezen számszerűsíthető (folyóparti növényzet; emberi beavatkozások; tömegmozgások; eolikus módosító hatások).

3.11. táblázat Az ártéri főtípusokat differenciáló, a rendeket és az alrendeket megadó felszínalakító folyamatok (Nanson, G.C. és Croke, J.C. 1992 nyomán). A táblázat nem tartalmazza azokat a típusokat, amelyek Magyarország éghajlati viszonyai között nem fordulnak elő

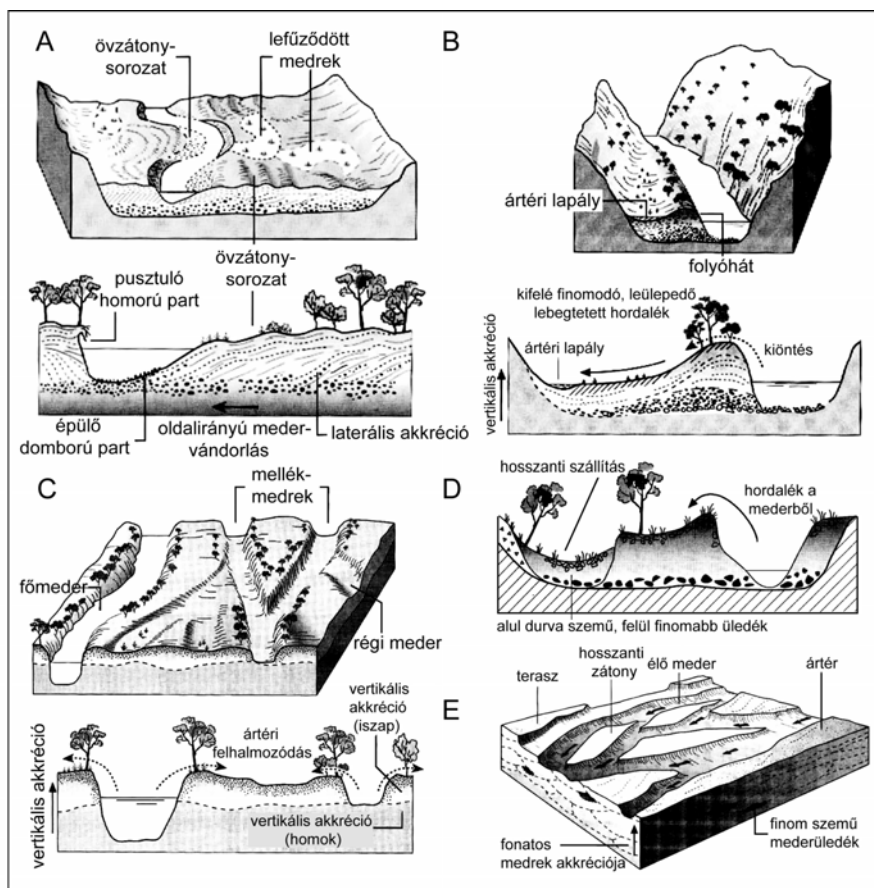
<i>rend/ alrend</i>	<i>megkülönböztető felszínalakító folyamatok</i>						
	helyi kimélyítés, feltöltés	fonatos medrek feltöltődése	öv-zátonyok épülése	ártér vertikális akkréciója	meder- elágazás, avulzió	gyűrűs zátonysor képződése	szerves fel- töltődés
A1	+	-	+	++	+	-	-
A2	+	-	+	++	-	-	-
A3	-	+	+	++	+	-	-
A4	++	-	+	+	-	-	-
B1	-	++	+	+	+	-	+
B2	-	+	++	+	+	+	+
B3a	-	-	+	+	-	++	-
B3b	-	-	++	-	-	+	-
B3c	-	-	+	+	-	+	+
C1	-	-	-	++	-	-	++
C2a	-	-	-	+	++	-	+
C2b	-	+	-	+	++	-	+

3.12. táblázat Az ártér fő típusainak további osztályozása jellegzetes felszínformák szerint (Nanson, G.C. és Croke, J.C. 1992 nyomán)

<i>rend/ alrend</i>	<i>jellegzetes felszínformák</i>								
	üstök	folyóhátak	homok- (kavics) foltok	elhagyott, feltöltődő medrek	öv- zátonyok	gyűrűs zátonysor	morotvák	tavak	ártéri lapályok
A1	+	++	+	+	-	-	-	-	-
A2	+	++	-	+	-	-	-	-	-
A3	-	-	-	++	-	-	-	-	-
A4	++	-	-	+	-	-	-	-	+
B1	-	-	-	++	+	+	-	-	+
B2	-	-	-	++	+	+	+	-	-
B3a	-	-	-	-	+	+	++	-	+
B3b	-	-	-	-	+	++	+	-	+
B3c	-	-	-	-	+	++	+	+	+
C1	-	+	-	-	-	-	-	+	++
C2a	-	+	+	-	+	+	+	++	+
C2b	-	++	+	-	+	+	+	+	+

Ugyanakkor maga az energia-alapú osztályozás is támadható. Elismerten nem közvetlenül az ártérrel foglalkozik, hanem a meder hidraulikai (a mederkitöltő vízhozamra vonatkozó) paramétereiből indul ki azon az alapon, hogy a folyómeder és az ártér szoros kölcsönhatásban fejlődnek. Nem sikerült az ártér geometriáját, növényzetét stb. energetikai ismérvként kezelni, ugyanúgy mint a mederkitöltő vízhozamot.

A geomorfológiai ártérostályozások áttekintéséből tanulságként leszűrhető, hogy még nem sikerült általános, mindenféle földrajzi környezetre érvényes tipizálást kidolgozni. Talán ilyen nem is lehetséges. Gyakorlati jelentősége miatt viszont érdemes az árterek minősítésére ugyanolyan figyelmet fordítani, mint a folyómedrekére.



3.6. ábra Az árterek fő típusai eredetük szerint (Nanson, G.C. & Croke, J.C. 1992 és Brierly, G.J. & Fryirs, K.A. 2005 nyomán) – A. Közepes energiájú árterek (laterális akkréció jellemző; 2.b típus). B. Nagy energiájú (hegyvidéki) árterek (vertikális akkréció részleges völgyi korlátozottság mellett; 1. típus). C. Kis energiájú (alföldi) ártér (vertikális akkréció széles síkságon; 3.c típus). D. Kis energiájú ártér feltöltődő elhagyott medrekkel (3.b típus). E. Kis energiájú ártér feltöltődő fonatos medrekkel (3.a típus)

3.3. Folyóvízi ökológiai elméletek

A folyami ökoszisztémák ökológiai állapotát rendszerint a hidromorfológiai paraméterek (a folyómeder állapota, a folyó vízjárása, a talajvízzel való összeköttetés), a vízminőség fizikai-kémiai és biológiai paraméterei, a parti növényzet és az ártér jellege, valamint az emberi hatások szerint együtt, integráltan minősítik (Chovanec, A. et al., 2000).

A folyóvízi tájak egymással kölcsönhatásban álló szárazföldi és vízi szerkezeti elemek többféle méretarányban tanulmányozható, egymásba ágyazott hierarchikus rendszerei (Poole, G.C. 2002). A folyóvízi ökológia célja tehát nagyon hasonló a szárazföldi tájökológiához: a folyóvízi rendszerben feltárható mintázatok, folyamatok, hierarchikus, irányultsági és összekapcsoltsági viszonyok méretarány szerinti vizsgálata, a szerkezet és a funkció kölcsönhatásának megismerése érdekében (Wiens, J.A. 2002). A folyók mint nyílt rendszerek

szoros kapcsolatban állnak a szárazfölddel, ahonnan teljes hosszuk mentén térben és időben igen változatos és intenzív hatások érik (Bíró P. & Oertel N. 2004).

Az 1950-es évek folyóvízi geomorfológiai kutatásai (Leopold, L.B. & Maddock, T.Jr. 1953; Leopold, L.B. et al. 1957) felhívták a figyelmet az élettelen környezet és a biológiai tényezők szoros összefüggésére. A folyóvízi (lotikus) környezeti rendszerek élő és élettelen alkotóelemeinek kölcsönös meghatározottságát leíró elméletek (Johnson, B.L. et al. 1995; Bayley, P.B. 1995) feladata, hogy megmagyarázzák az élővilág összetételét, a biodiverzitás változásait a folyókban és közvetlen környezetükben. Ezek a folyóvízi ökológiából származó elméletek is tér- és időbeli kapcsolódásokat, mintázatokat modelleznek, ezért földrajzi, tájökölógiai szempontból is relevánsak. Arról szólnak, milyen mértékben befolyásolják térben és időben a geomorfológiai viszonyok a növénytársulások, víziállat-populációk életét, elhelyezkedését (Post, D.M. et al. 2007). A folyómeder geomorfológiai folyamatai összefüggenek a biodiverzitással: erősebben vándorló medrek mentén többféle élőhely alakul ki (Richards, K.S. et al. 2002). Ha a táj szerkezetét vízgyűjtő szinten vizsgáljuk, az árterek (folyóparti övek) hosszanti irányban sajátos, gyakran egyedi elrendeződésű, dinamikus foltmintázatot mutatnak, amelynek kaszkádszerű folyamatai az egész ökoszisztéma dinamikáját befolyásolják. A hosszanti összekapcsoltság mellett jelentősek az oldalirányú és a függőleges kapcsolatok is, amelyeket a különböző folyóvízi ökológiai elméletek eltérő mértékben vesznek figyelembe.

3.3.1. Folytonossági elmélet

A folyó *folytonossági elméletet* (river continuum concept – Vannote, R.L. et al. 1980) az északi mérsékelt öv természetközeli állapotú, erdős vízgyűjtőjű folyókra dolgozták ki. Az elképzelés szerint a folyó hossza mentén az élettelen *környezet tényezői* (a folyómeder szélessége, mélysége, a víz hőmérséklete, áramlási viszonyai stb.) *folyamatosan és szabályosan* (előre megjósolhatóan) *változnak*, ami tükröződik az indikátorfajok előfordulásában, a szerves anyag termelődésének és fogyasztásának arányában (P/R arány). A biológiai produkcióhoz szükséges energia szerves anyag formájában három forrásból származik: allochton bevételből (tehát a parti növényzetből), autochton bevételből (a folyó élővilágának elsődleges produkciójából) és a felsőbb folyószakaszról. A három forrás relatív aránya a különböző folyószakaszokon (ill. a vízrendszer különböző méretű tagjain) – az abiotikus tényezők szabályos változásai (a kis vízfolyásokra árnyékosság, kiegyenlített alapvízhozam jellemző, a közepes méretű folyókra a jobb fényellátottság, a víz hőmérséklet erősebb ingadozása, a nagyobb folyókra pedig nagyobb víztömeg és turbiditás stb.) szerint kiszámítható módon alakul. A folyók szakaszokra osztását Arthur N. Strahler (1957)

folyórendűségi rendszere szerint végzik. A funkcionális organizmuscsoportok aránya a különböző szakaszokon szintén megjósolható. Az elmélet értelmében a folyók felső szakaszán az aprító szervezetek, a középsőn a legelő és a törmelékevő, míg az alsó szakaszon csaknem kizárólag a törmelékevő (kis mértékben a ragadozó) organizmusok uralkodnak. Az elméletbe a nem természetes zavarások, az emberi beavatkozások is bekapcsolhatók, amelyek az autotrófia-heterotrófia arányát (a tápanyag-ellátottság növekedése, szerves szennyezés, parti növényzet lelegeltetése, kiirtása stb.), illetve amelyek a hordalékszállítást érintik (tározás, nagy hordalékterhelés) (Bíró P. & Oertel N. 2004).

Később kimutatták, hogy a folytonossági elmélet az igazán nagy folyamokra nem érvényes (Sedell, J.R. et al. 1989), ill. hogy a jelentősebb *mellékfolyók beömlései módosítják* az elméletből következő viszonyokat (Bruns, D.A. et al. 1984). Az összefolyás alatt – már csak a megnövekedett víztömeg miatt is – hirtelen átalakulnak az életfeltételek. A nagy folyamok (Amazonas, Paraná) mentén azokon a szakaszokon találták a legnagyobbak a biodiverzitást, ahol a meder a legszorosabb kapcsolatban állt az ártérrel, tehát energia áramlott az ártérről a meder felé (Sedell, J.R. et al. 1989). Ugyanakkor a folytonossági elmélet jól jellemzi a vízminőséget ért környezeti hatásokat, hiszen egy folyószakasz életközösségének tényleges fajösszetétele összevethető azzal, amelyet az elmélet előre jelzett.

3.3.2. *Spirális erőforrás-hasznosítás elmélete*

A kissé merev tértagolású folytonossági elméletet időben differenciálja a *spirális erőforrás-hasznosítás* elmélete (resource-spiraling concept – Elwood, J.W. et al. 1983). Eszerint a fentebb említett erőforrások nem állnak feltétlenül folyamatosan rendelkezésre a folyóvízi élővilág számára, hanem organizmusokban, hulladéokban tárolódhatnak, később újrafeldolgozódhatnak. A felsőbb szakaszokról jövő szállítással kombinálódva ez a biológiai újrahasznosulás a tápanyag-ellátottság – és ezzel a vízi élővilág – sajátos tér- és időbeli mintázatát teremti meg a folyóban.

3.3.3. *Sorozatos megszakítottság elmélete*

A *sorozatos megszakítottság* elmélete (serial discontinuity concept – Ward, J.V. & Stanford, J.A. 1994) pedig azzal módosítja a folytonossági elméletet, hogy a *társadalmi beavatkozások*, a duzzasztások drasztikusan megváltoztathatják egy-egy szakaszon, vagy akár a folyó teljes hosszában az abiotikus és a biotikus tényezőket, a folyóvízi élővilág életfeltételeit. A folytonosság helyett a szakaszosság, a *szakaszok* eltérő jellegzetességei, a közöttük meghúzható *határok* kapnak hangsúlyt. Az alluviális folyók és árterük kapcsolatát az elmélet

újabb változata (Ward, J.V. & Stanford, J.A. 1994) a folyó mechanizmusával jellemzi: ártér nélküli forráságakat, meanderező és fonatos szakaszokat különböztet meg.

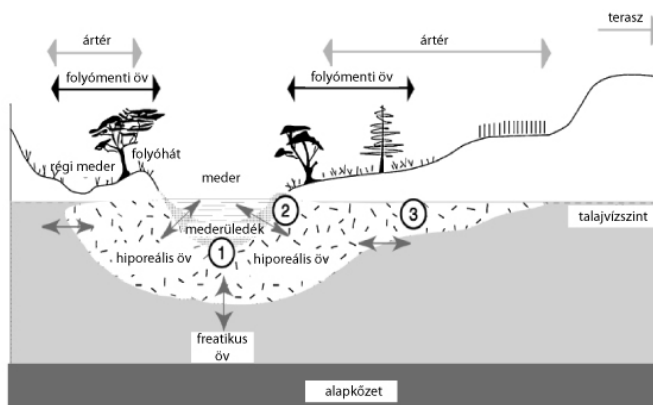
3.3.4. Árvíz-pulzus elmélet

A kiegészítések sem küszöbölték ki a folyó folytonossági elméletnek azt a fő hiányosságát, amely az ártéri kutatások szempontjából különösen feltűnő: azt, hogy csak a folyó fő medrére koncentrál, az ártéri vizes élőhelyekkel (holtágakkal, mocsarakkal) nem foglalkozik (Johnson, B.L. et al. 1995). A mérsékelt és a trópusi nagy folyókra, amelyeket kiterjedt árterek kísérnek kidolgozták az *árvíz-pulzus* elméletet (flood-pulse concept – Junk, W.J. et al. 1989), amely hangsúlyozza, hogy árvizek idején megteremtődik a *hidrológiai kapcsolat a folyó és ártere között*, a vízi organizmusok számára új élőhelyek és erőforrások nyílnak meg. Az élőlények alkalmazkodnak az árhullámok fizikai jellemzőihez (az áradás időpontja, tartóssága, a vízszintemelkedés és -süllyedés menete), a folyó és az ártere között egyensúly alakul ki (Tockner, K. et al. 2000). A rendszeresen bekövetkező áradások megnövelik a biológiai produkciót a folyómederben és az ártéren egyaránt, mivel az árterek dinamikáját az élővilág adaptációs stratégiái segítségével képes kiaknázni (Bíró P. & Oertel N. 2004). Ahol ártéri holtágak is vannak, a nagy folyókban nagyobb lesz a biodiverzitás, mint a közepes méretűekben – ami ellentmond a folyó folytonossági elméletének (Johnson, B.L. et al. 1995). Az elmélet hívei hangsúlyozzák, hogy az ártér morfológiáját nem csak a legnagyobb árvizek alakítják. Még a kisebb és rövid távú vízállás-ingadozások is „pulzusnak” tekintendők (Tockner, K. et al. 2000), hiszen jelentősen módosíthatják a növény- és állatvilág élőhelyeinek bizonyos tulajdonságait. A nagy gyakoriságú mederkitöltő vízhozam jelentőségét – a geomorfológusokhoz (Wolman, M.G. & Miller, J.P. 1960; Leopold, L.B. et al. 1964) hasonlóan – nagyra értékelik az élőhelyek dinamikája szempontjából.

3.3.5. A hiporheális folyosó elmélete

Az árvízi pulzus mellett a *hiporheális folyosó* elmélete (hyporheic corridor concept – Stanford, J.A. & Ward, J.V. 1993) is hangsúlyozottan egy-egy mederszakasz és a hozzá tartozó ártér kapcsolt rendszerének kölcsönhatásaival foglalkozik – méghozzá nagyobb területi részletességgel (3.7. ábra). Itt a vertikális, a *felszíni* és a *felszín alatti vizek* közötti kölcsönhatások kerülnek előtérbe (Dent, C.L. et al. 2001), aminek természetesen geomorfológiai feltételei is vannak. A felszíni és a közvetlenül a felszín alatti víztestek között az üledékek makropórusain keresztül – térben és időben változó – kicserélődés megy végbe. Ezt a folyómeder és a benne történő vízszállítás jellemzői irányítják (Tonina, D. & Buffington, J.M. 2009). A kicserélődési sáv átmeneti zóna (ökotón) a felszíni/felszín alatti

hidrológiai rendszer és a part menti sáv vízi/szárazföldi élőhelyei között (Boulton, A.J. et al. 1998). A hiporheális zónát a folyásirányú felszín alatti vízmozgás különbözteti meg a köztes lefolyás sávjától. A nagyobb folyók mentén elhelyezkedése, kiterjedése térben és időben erősen változik (Stanford, J.A. et al. 2005). A folyami ökoszisztémákra jelentős hatással van: a lefelé, ill. felfelé irányuló áramlások befolyásolják pl. a talajvíz-oldat töménységét, a mederfenéki bentosz élettevékenységét (Triska, F.J. et al. 1993; Findlay, S. 1995).



3.7. ábra A folyómeder – ártér – talajvíz rendszer élőhelyei (Naiman, R.J. et al. 2000 nyomán). 1 = meder alatti hiporheális öv; 2 = parafluviális hiporheális öv; 3 = ártéri hiporheális öv

3.3.6. Metastruktúra elmélet

A nagyobb méretarányú, részletesebb vizsgálatok gyakran más folyamatokat hangsúlyoznak (pl. az élő és az élettelen tényezők kölcsönhatásában az egyes élőhelyeken), mint az egész vízrendszerekre vonatkozó, átfogó kutatások (Johnson, B.L. et al. 1995). A többféle méretarányban is kimutatható kapcsolatok (trans-scale linkages) felülről lefelé (pl. árvizek) és alulról felfelé (pl. szukcesszió) egyaránt megnyilvánulhatnak (Poole, G.C. 2002), bennük különösen jól kimutatható a geomorfológiai és az ökológiai tényezők szoros összefonódása. A *metastruktúra elmélet* (Poole, G.C. 2002) szerint az ártéri foltszerkezet *statikus* és *dinamikus elemek kombinációja*, az ökoszisztéma működését ez szabja meg. A geomorfológiai viszonyok (pl. a szurdokszerű keskeny és az öblözetként kiszélesedő ártérszakaszok váltakozása) ugyan a statikus elemek közé tartoznak, de a biotikus elemek révén az egyes mikroélőhelyek funkciói dinamikusan változhatnak (Frissell, C.A. et al. 1986).

3.3.7. Hierarchikus folt dinamika

A tájökológiai (erőforrás- és zavarás-)foltok dinamikáját kapcsolja össze a hierarchikus szemlélettel a *hierarchikus folt dinamika* elmélete (hierarchical patch dynamics, HPD – Wu, J. & Loucks, O.L. 1995). Négy dimenzióban képes integrálni a folyómenti tájak szárazföldi és vízi komponenseit, a felszíni és a felszín alatti vizeket, valamint a foltszerkezet időbeli

változásait is. Keith S. Richards és szerzőtársai (2002) szerint a (néhány száz méter hosszú és néhány évtizedes-évszázados időbeli dinamikát mutató) folyószakasz az a hierarchia-szint, amelyen a meder és a növényzet (foltszerkezet) összefüggései – gyakorlati, kezelési szempontból is – a legfeltűnőbbek, a legjobban kutathatók.

3.3.8. Módosított állapotú folyók

Az ember által átalakított (szabályozott, felduzzasztott, elszennyezett stb.) vízfolyásokban a szerves anyagok forgalmát az *emberi társadalom* tevékenysége alaposan *megváltoztatta*, ami a „klasszikus” modellekben nem jelenik meg. Ha a mezőgazdasági területek és a folyómeder között megszűnik a megfelelő szélességű tompító öv, a mezőgazdálkodás káros, környezetterhelő hatásai közvetlenül a folyómedret fogják érni.

Már a folytonossági elméletben (Vannote, R.L. et al. 1980) is központi szerepet kapott a folyó mint ökoszisztéma stabilitása. Az általában *szélsőségesen ingadozó* fizikai paraméterek (pl. vízhozam vagy -hőmérséklet) ellenében gyakran az élő tényezőknek kell megteremteniük a stabilitást (pl. tompító hatások segítségével). A folyami élőhelyek stabilitásának feltétele, hogy többé-kevésbé rendszeresen *ismétlődő zavarás* (árvíz levonulása, medererózió, ill. – feltöltődés, a mederüledék áttelepítése stb.) *után* különböző folyamatok (medervándorlás, avulzió, zátonyképződés, ártéri lerakódás stb.) *helyreállítsák* a meder mintázatát és a kapcsolódó ártéri formakincset mint az *élőhelyek* élettelen „vázát”. A hidromorfológiai folyamatok azután a vegetáció dinamikájával szoros kölcsönhatásban működve teremtenek a természetföldrajzi környezetnek megfelelő, stabil élőhelyeket (Naiman, R.J. et al., 1993).

A folyóparti övben az ásványi és szerves anyagok lerakódását (ami döntő hatással van az élőhelyek minőségére) a következő tényezők befolyásolják (Steiger, J. et al. 2005):

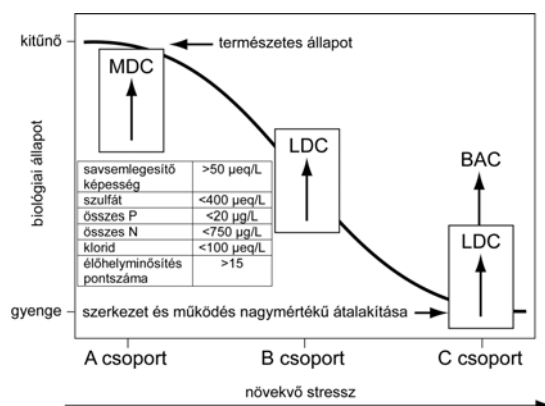
- az árvízesemények (hidroperiódus) jellege (gyakoriságuk, intenzitásuk, tartósságuk és az elöntés–szárazra kerülés váltakozása);
- a vízfolyás hidraulikája (vízmélység, áramlási sebesség, másodlagos áramlások, nyírófeszültség);
- a szállított hordalék fizikai tulajdonságai (a szemcsék mérete, tömörödöttsége, alakja);
- felszínalaktani jellegzetességek (folyóvízi formakincs és a felszínformákat felépítő üledékek szemcseméret-eloszlása, mikrodomborzat);
- felszínérdesség (a felszínformák, az élő és a holt növényzet magasságkülönbségei, ezek területi eloszlása); uszadékfa (mérete, előfordulási gyakorisága);
- az élő növényzet jellege (fajösszetétele, felépítése, magassága, növényzetborítottság, felszín feletti biomassa, a fatörzsek alapterülete) és az állatvilág (vadállatok, háziállatok alakító hatása).

3.3.9. Ökológiai élőhelyminősítés

A folyóvízi ökológiában a folyómedreket többféle célból szokás szakaszokra, egységekre bontani (Bisson, P.A. et al. 2006). A leggyakoribb, hogy az egyes mederszakaszok viszonyait egyes vízi élőlények élőhelyi igényeivel vetik össze azzal a céllal, hogy az előfordulásukat befolyásoló ökológiai folyamatokat megmagyarázzák (Hynes, H.B.N. 1970; Schlosser, I.J. 1991). Az első *biológiai célú osztályozások* – elsősorban a halfauna mint bioindikáció szerint – ún. „szinttájakra” tagolták az európai vízfolyásokat forrásuktól a torkolatukig (Huet, M. 1959, Illies, J. 1961; Hawkes, H.A. 1975). A folyóvíz kezdetét a forrástájékat a pisztrángfélék tája, melynek vize gyors folyású, hideg, tiszta, oxigénben dús és kevés szerves anyagot tartalmaz. A többi szinttájhoz (pénzespér-, paduc-, ponty-, márna-, dévérkeszeg-, durbincs-szinttáj) is olyan jellegzetes környezeti paraméterek tartoznak, mint az aljzat mennyiségi és minőségi jellemzői, sebesség, hőmérséklet, oldott oxigén koncentráció (Bíró P. & Oertel N. 2004). A biológiai alapon kijelölt zónákban megállapították, hogy milyen – természetes vagy antropogén – fizikai változások milyen zavarást okoztak a faunaegyüttesekben (pl. Statzner, B. & Higler, B. 1986). Az eredmények analógia alapján, más folyókra, sőt más vízgyűjtőkre is extrapolálhatók.

A vízfolyásokat és az őket kísérő parti sávokat gyakran érik *zavaró hatások* (tűzek, árvizek, növénybetegségek, lejtős tömegmozgások és viharok – Naiman, R.J. & McClain, M.E. 2005), amelyek a rendszer fennmaradását veszélyeztethetik. Különösen az emberi eredetű zavarások (bányászkodás, legeltetés, földművelés, folyóduzzasztás, folyószabályozás, fakitermelés, urbanizáció és üdülés) lehetnek veszélyesek. A folyószakaszokat tehát az őket ért zavaró hatások szerint is lehet osztályozni, gyakorlati céllal elsősorban a folyórehabilitáció tervezéséhez (3.8. ábra). A degradált környezeti állapotú folyók helyreállításakor meg kell fontolni, milyen eljárások milyen hidromorfológiai típusú folyószakaszokon kecsegtetnek sikerrel, miközben máshol esetleg veszélyeztetik a természetes regenerálódási folyamatokat (National Research Council 1992).

A folyóvízi ökológia számára is fontos az ártéri geomorfológiai viszonyok pontos jellemzése, fizikai, kémiai és biológiai hatásaik részletes feltárása, értékelése (Ortmann-Ajkai, A. et al. in press). Az integrált hidromorfológiai-ökológiai minősítések történeti fejlődésüket tekintve az alábbi csoportokba sorolhatók (Boulton, A.J. 1999): a medertípus terepi meghatározása geomorfológiai (esetleg ökológiai) jellemzők kritikus állapotai alapján; osztályozás folyami, parti vegetációs és részben ártéri paraméterek integrációjával; napjainkban pedig egyre inkább többváltozós osztályozások, szakértői rendszerek beépítésével.



3.8. ábra Vízfolyások osztályozása biológiai állapotuk szerint (Stoddard, J. L. et al. 2006 nyomán, kiegészítve). Az elérhető legjobb állapot (BAC) nem lehet jobb, mint a legkevésbé zavart állapot (MDC) vagy rosszabb, mint a leginkább zavart állapot (LDC). A csoport = minimálisan degradált vízfolyások; B csoport = közepesen degradált vízfolyások; C csoport = leginkább degradált vízfolyások. A beillesztés a referencia-állapotok jellemzőit tartalmazza

A módszerek vagy a folyók „egészségi állapota” (Boulton, A.J. 1999) minősítését tűzik ki célul, vagy az ökológiai, árvízvédelmi stb. következményekre, sőt a helyreállítás feltételeinek felmérésére is kitérnek (pl. Ausztráliában: WRC 2011 vagy a Duna vízgyűjtőjén: WWF International 2010).

Egy összefoglaló tanulmány (McGinnity, P. et al., 2005) 28 élőhely-minősítési módszert hasonlít össze. Közülük a Víz Keretirányelv szempontjából néhány nemzeti módszert kiemel:

1. A brit *folyami élőhelyek felmérése* (River Habitat Survey, RHS – Raven, P.J. et al. 1997, 1998, 2002) során 32 paramétert vizsgálnak, amelyeket főkomponens analízissel 12 kategóriába egyesítenek: a meder morfológiája (kanyargóssága); hossz-szelvénye; kereszt-szelvénye; a meder anyaga és alakzatai; a folyópart műtárgyai; a vízminőség alapvető vízkémiai és hidrobiológiai jellemzői; a parti sáv megléte; jellege; szennyezéseket visszatartó képessége; az ártér uralkodó földhasználata; árvízvédelmi létesítmények; az ártér káros hatásokat kiküszöbölő képessége. A módszert már a szigetország 17 000 pontján alkalmazták, a mintaterületeket véletlenszerűen jelölték ki. Ezeken 500 m hosszú folyószakaszokat mértek fel, a partok mentén 50–50 m széles sávra kiterjedően. A referencia-szakaszokat viszonylag zavarásmentes folyók mentén választották ki. A felmérés eredménye egy ötfokozatú értékelés: kitűnőtől a rossz állapotig.

A módszer *térinformatikai továbbfejlesztése* (GeoRHS – Branson, J. et al. 2005) leltárba veszi a folyó és környezete formakincsét, a formák méretét, ill. a felmért szakaszok hidraulikai jellemzőit és az élőhelyek ebből következő diverzitását (Padmore, C.L. 1998). Bár térbeli felbontása (500 m hosszú folyószakaszok) általában nem bizonyul elegendőnek, az országos áttekintésekben és a stratégiai döntések előkészítésében széles körben felhasználják.

A GeoRHS ártérminősítést is tartalmaz, a következő ismérvek alapján:

- az ártér és folyómeder általános összekapcsoltsága (konnektivitása) – a holtmederek, a természetes vagy ahhoz közeli felszínborítottsági osztályok, a hullámtér szélessége és az ártéri mesterséges létesítmények minősítése;

- összekapcsoltság árvízkor – az elöntés különböző nyomainak (szemétszintek, mezőgazdasági és létesítmény-károk, lerakódások), az ártér természetes működésének, vízraktározó funkciójának felmérése.

2. A *folyó állapotának mutatója* (Index of Stream Condition, ISC) öt komplex összetevőből álló, ausztrál eredetű index: a meder természetességi állapota, hidrológiai viszonyai, alakja (a partok stabilitása, a meder feltöltődési és eróziós folyamatai, mesterséges akadályok, nagy méretű uszadék jelenléte stb.), a parti öv tulajdonságai, a vízminőség és a vízi élővilág alkotja (Ladson, A.R. et al. 1999). A meder átalakítottságát a részmutatók integrálásával 0-tól 4-ig (természetes állapot) tartó skálán lehet minősíteni.

3. A francia minősítő rendszerbe („Système d’Évaluation de la Qualité du Milieu Physique”, *SEQ Physique* – Agences de l’Eau & Ministère de l’Environnement, 1998, idézi: Kondolf, G.M. & Piégay, H. 2002) 30 változó tartozik. Értékeiket néhány km hosszú, homogén folyószakaszon állapítják meg a mederre, a partokra és az ártérre. Az ártér jellemzésére a mederkitöltő vízhozamot, az ártér földhasználatát, kiterjedését, elhagyott medreit használják fel. A paramétereket aszerint súlyozzák, hogy a hegyvidéki, ill. az alföldi folyók esetében milyen funkciók kerülnek előtérbe. A módszer dinamikus megközelítésű, a (bio)diverzitást lényegesen befolyásoló folyamatokon alapul ugyan, de van néhány súlyos hátránya is: túlértékeli a földhasználat-változások jelentőségét, valamint a felmérés felbontása is gyenge (Kondolf, G.M. & Piégay, H. 2002).

4. A német Tartományok Vízügyi Munkaközössége (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, LAWA), a vízgazdálkodásért és vízjogokért felelős, legmagasabb szintű hivatal által kidolgozott *német vízminőség-osztályozás és -térképezés* („Gewässerstrukturgütekartierung” – Zumbroich, T. et al. 1999; LAWA 2000) 25 ismérvet alkalmaz, amelyeket hat fő paraméterben egyesít: a folyószakasz beépítettsége; hossz-szelvénye; kereszt-szelvénye; a mederfenék felépítése; a partok felépítése és a környező szárazföldi sáv (part menti sáv). A geomorfológiai minősítés arra épül, hogy Németországban a vízhálózatot, a folyómedrek geomorfológiáját a kőzettani felépítés (lefolyási koefficiens, mederalak, a hordalék szemcsemérete stb.) és a tektonikai szerkezet (a vízhálózat sűrűsége) erősen meghatározza. Eredménye minőségi osztályok (németül: Gesamtstrukturgüteklassen) meghatározása legalább 1:25 000 méretarányban, 50–500 m közötti hosszúságú folyószakaszokra. (A szakaszok hosszát a meder szélessége szabja meg: ha ez <1 m, a folyószakasz 50 m hosszú,

ha 1–10 m: 100 m, ha 5–10 m: 200 m, ha pedig >10 m: 500 m hosszú – LAWA 2000). Az értékelés nem pontosítja az ártér valódi kiterjedését, hanem ún. „*potenciális árteret*” vesz figyelembe, amely egy 100 m széles sáv a folyó mindkét partján.

Egy magasabb szinten a meder felszínalakítási viszonyai, a völgy típusa, esése és anyaga szerint hat folyótípust állapítanak meg, amelyekre külön-külön végzik el az ökológiai értékelést. A folyó teljes hosszára vonatkozó felmérést elsősorban légifelvételek segítik, amelyeken a nagyobb táji elemek (a meder alakja, a folyó menti sáv, a gátak elhelyezkedése, egyéb mesterséges tereptárgyak stb.) ugyan jól láthatók, de a kisebbek (a partok meggyengült, omlásos szakaszai, a fajok vándorlását gátló kisebb akadályok stb.) nehezen vehetők ki.

A kétféle LAWA értékelés eredményeit hétfokozatú skálán egyesítik (amelyet természetesen összhangba lehet hozni a Víz Keretirányelv ötfokozatú értékelésével – Raven, P.J. et al. 2002). A módosított állapotú folyókat a természetes vagy természetközeli állapotúakhoz kell kalibrálni (Stoddard, J. L. et al. 2006). Ökológiai szempontból bizonyos paramétereket (mint pl. a parti növényzetet) „*erősen integratív paramétereknek*” nyilvánítanak, amelyeknek „*szerkezetképző képességük*” (Strukturbildungsvermögen) van, ezért a módszer magasabbra értékeli őket (LAWA 2000). Az értékelés alapja egyébként a minimum-elv: a folyómeder valamely kedvezőtlen állapotát az ártér jobb állapota nem képes kompenzálni, a folyószakasz általános minősítését valamelyik kategória legkedvezőtlenebb állapota szabja meg.

A fenti, „klasszikusnak” tekinthető folyótípusálási módszerek összehasonlítása (3.13. táblázat – Šípek, V. et al. 2010) teszi lehetővé a legmegfelelőbb kiválasztását.

3.3.10. A Víz Keretirányelv előírásai szerint készített minősítések

Az Európai Unió Víz Keretirányelve (VKI) kihirdetése, 2000 óta meghatározza az európai vízpolitika irányait. A vízfolyások, állóvizek vagy felszín alatti víztartók önálló szakaszait, térrészeit víztestekként értelmezi. A folyót a következő *hidromorfológiai tényezők* segítségével osztják többé-kevésbé homogén szakaszokra: a földtani felépítés; a völgy alakja; a meder esése; vízjárás (évi középvízhozam, kisvízi és nagyvízi vízhozam, évszakos vízszíntingadozás) és hordalékszállítási jellegzetességek (és azt befolyásoló tavak, víztározók, duzzasztógátak stb. elhelyezkedése).

3.13. táblázat A legáltalánosabban használt hidromorfológiai minősítő eljárások összehasonlítása (Šípek, V. et al. 2010 nyomán, Branson, J. et al. 2005 alapján kiegészítve)

<i>módszer</i>	<i>Folyó-auditálás</i>	<i>Folyami Élőhely Minősítés (RHS)</i>	<i>GeoRHS</i>	<i>Folyó-stílusok</i>	<i>ISC</i>	<i>LAWA terepi (áttekintő) felmérés</i>
paraméterek száma	15-20	31	37	6 folyó-jelleg	19 (5 index)	25 (17)
a monitorozott sávok	meder, ártér, vízgyűjtő	meder, parti sáv, ártér	meder, parti sáv, ártér	meder, ártér, völgy	meder, partok, parti sáv	meder, partok, parti sáv
a szakaszok hossza	geomorf. szakaszok	500 m	különböző	jelleg szerint	rendszám szerint	azonos
az osztályok száma	5	5	5	3	5x5	7
GIS	igen	nem	igen	nem	nem	igen (nem)
a hangsúly a hidromorfológián van-e?	igen (hordalék-szállítás)	igen (mederalak, partok)	igen (átalakítottság)	igen (völgyi korlátozottság)	igen (mederalak)	nem (táji keretek)
esés-viszonyok	igen	igen	igen	igen		nem
vízminőség	igen	igen	igen	nem	igen	nem

A VKI egy, az ökorégiók kötelező jellemzőiből álló (A rendszer) és egy további jellemzőkkel kiegészített (B) osztályozási rendszert javasol (3.14. táblázat).

3.14. táblázat A folyóosztályozás alternatívái a VKI szerint (European Commission 2000)

5.1.1. táblázat A folyócsatornázás alternatívái a VKI szerint (European Commission 2006)

A rendszer			B rendszer	
szempont	kategória	számérték	kötelező jellemzők	Id. az A rendszernél
tengerszint feletti magasság	magas	>800 m	választható jellemzők	a forrástól mért távolság
	közepes magasságú	200–800 m		a folyó energiája
	alföldi	<200 m		a vízfelület közepes szélessége
a vízgyűjtő nagysága	kicsi	10–100 km ²		közepes vízmélység
	közepes	100–1000 km ²		a vízfelület közepes lejtése
	nagy	1000–10 000 km ²		a főmeder alakja
	nagyon nagy	>10 000 km ²		vízhozam-kategória
földtani felépítés	karbonátos kőzetek			a völgy alakja
	szilikátos kőzetek			hordalékszállítás
	szerves anyagok			savsemlegesítési képesség
ökorégió	a VKI XI. melléklete szerint			a meder jellemző anyaga
				a víz sótartalma
				a levegő hőmérsékletének ingása
				a levegő évi középhőmérséklete
				csapadékmennyiség

Minden vízfolyás-típushoz hozzá kell rendelni a teljesen vagy csaknem teljesen bolygatatlan viszonyokat, *referencia-állapotokat*, amelyekhez a többi víztestet hasonlítani lehet. A referencia-helyek kijelölése a következő ismérvek alapján történhet (3.15. táblázat):

- a meder és a partok jellege: természetes anyagú mederaljzat és part;
- a meder alaprajzi alakja és keresztmetszete: emberi tevékenység nem alakította át;
- oldalirányú kapcsolatok és szabad medervándorlás: semmilyen objektum nem akadályozza a vízáramlást a meder és az ártér között, ill. a meder oldalirányú vándorlását;
- víz és hordalék akadálytalan mozgása a mederben;
- a folyó menti sáv növényzete: a földrajzi fekvésnek megfelelő természetes vegetáció;

- az ártér földhasználata: erdő vagy vizes élőhelyek;
- az ártér folytonossága, viszonya a mederhez: nem szakítja meg mesterséges létesítmény.

Ha nem lehet referencia-feltételeket találni, megengedhető, hogy szomszédos országok megfelelő folyószakaszai legyenek a referencia-állapotok.

Amint láttuk, a folyóosztályozások fejlődése során megfigyelhető, hogy egyre komplexebbé válik a megközelítés. A geomorfológiai tulajdonságok azonban a bonyolultabb, átfogóbb rendszerekben is megőrzik jelentőségüket. A matematikai statisztikai kapcsolatvizsgálatok azt mutatják, hogy a folyóvízi rendszer élő tényezőivel is szoros kölcsönhatásban állnak. Ennek érdekes példája az, hogy a folyóvízi ökológusok egyértelmű kapcsolatot találtak a folyó mechanizmusa és élővilágának diverzitása között (3.9. ábra).



3.9. ábra A medertípusok összefüggése a természeti környezet „zordságával” (szélsőséges jellegével) és a környezet diverzitásával (Tockner, K. et al. 2010 nyomán). A bemutatott összefüggés – a szerzők szándéka szerint – nem csak az ún. táji vagy folt- (γ -) diverzitásra, hanem a faji (α -) és a közösségi kapcsolat- (β -) diverzitásra is érvényes

3.15. táblázat Az Európai Unióban szabványos hidromorfológiai minősítés főbb kategóriái és paraméterei (forrás: European Commission 2000)

kategóriák	jelleg, paraméterek
Meder	
1. a meder geometriája	
alaprajz	futásfejlettség, fonatosság – esetleg módosult
hossz-szelvény	esés, esésgörbe
kereszt-szelvény	mélység, szélesség, partok alakja
2. a meder anyaga	
mesterséges	beton, egyéb kiépítés
természetes	beágyazott (nem mozgó görgeteg, szálban álló kőzet stb.)
	köves (görgeteg, durva kavics)
	kavicsos
	homokos
	kohézív (iszap, agyag)
	szerves (tőzeg)
a vízgyűjtő használatából fakadó hatások	feliszapolódás, tömörödés
3. a meder növényzete és a szerves törmelék	
a makrofiták szerkezete	kiemelkedő, szabadon úszó, lomblevelű, alámerülő, briofita
levél és uszadékfa	fajtája és mérete
a növényzet kezelése	gyomok eltávolítása
4. erózió-akkumuláció	
meder- és parti formák	övezetnyitók, oldalzatnyitók, mederközépi zátonyok, szigetek (benővényesedett vagy kopár)
	állékony vagy pusztuló partok; omlásos vagy teraszos partok
5. vízáramlás	
mintázata	szabad folyású, fodrozódó, sima – műtárgyak (sarkantyúk, terelőművek) hatása
formája	kottyanó, gázló, „sikló” (glide), „futó” szakasza (run)
vízjárás	kifolyási, befolyási helyek, vízátfutás, víztározók leeresztése

<i>kategóriák</i>	<i>jelleg, paraméterek</i>
7. a part szerkezete és módosítása	
a part anyaga	kavics, homok, iszap, agyag, mesterséges
a partvédelem fajtája	kővezés, gabionok
a part szelvénye	meredek, padkás, elegyengetett, taposott, pusztuló, épülő
8. a part és a parti sáv növényzete	
a növényzet szerkezete	vegetációtípusok, színtezettség, folytonosság
a növényzet kezelése	kaszálás, fák kivágása
a földhasználat típusai, a beépítettség mértéke és fajtája	mezőgazdálkodás, beépítés
Ártér	
9. ártéri földhasználat	
a földhasználat típusai, a beépítettség mértéke és fajtája	ártéri erdő, mezőgazdálkodás, beépítés
a nyílt vízfelületek és a vizes élőhelyek típusai	egykori folyóvízi/ártéri formák (lefűződött meanderek, medermaradványok, mocsarak, lápok)
	mesterséges vízfelületek (öntözőcsatornák, halastavak, bányagödrök)
10. a folyó és az ártere közötti kapcsolat, ill. a folyómeder oldalirányú vándorlása	
a folyómeder vándorlása, ill. az ártéren történő vízáramlás akadályozásának mértéke	töltések (a part közelében vagy távolabb), védőfalak, egyéb objektumok
az ártér folytonossága	bármilyen, az árteret megszakító mesterséges létesítmény

3.4. Az árterek ökológiai szerepe

Az árterek több szempontból is sajátos ökoszisztémák (Naiman, R.J. & Decamps, H. 1997; Ward, J.V. et al. 1999; Tockner, K. et al. 2010):

- helyzetük szerint: mindig a táj legalacsonyabb fekvésű sávját foglalják el;
- tájszerkezetük szerint: elnyúlt foltokat alkotnak, amelyek terület/terület aránya nagy;
- kapcsolatrendszerük szerint: az árterek igen szoros kapcsolatban állnak a szomszédos élőhelyekkel, erősen függenek azok felszíni és felszín alatti jellemzőitől;
- térbeli dinamikájuk szerint: természetes állapotukban gyakran terjeszkednek a tőlük eltérő jellegű szomszédos ökoszisztémák rovására;
- időbeli dinamikájuk szerint: az ökológiai szukcesszió az ártereken általában gyorsabban megy végbe, mint a legtöbb más ökoszisztémában.

Érdekes megfigyelni, hogy a különböző tapasztalatokkal rendelkező szerzők milyen funkciókat emelnek ki, rangsorolnak előre. A Duna vízgyűjtőjére készített jelentés (WWF International 2010) az árterek legfontosabb funkcióinak a következőket tekinti:

- önmagukban is fontos vizes élőhelyek,
- főleg az ártéri ligeterdőkben biztosítva van kulcsfontosságú fajok megőrzése;
- árvízkor fontos a vízvisszatartó szerepük;
- hozzájárulnak a talajvíz- és tápanyagkészlet-utánpótláshoz;
- jelentős víztisztító funkciójuk;
- a globális éghajlatváltozás szempontjából különösen értékes a légkörbe jutó széndioxid megkötésében játszott szerepük.

Egyes korábbi amerikai ökológiai felmérések (Castelle, A.J. et al. 1992, 1994) az ártereken belül a parti sávok szerepét hangsúlyozzák az alábbi feladatok teljesítésében:

- a hordalék megkötése és az erózió mérséklése;
- a többlet tápanyagok megkötése (Dillaha, T.A. et al. 1989);
- a mezőgazdasági területekről származó lefolyással érkező fémek eltávolítása;
- a hirtelen levonuló árhullámok tompítása;
- a vízhőmérséklet módosítása (Beschta, R.L. 1997);
- az élőhelyek változatosságának fenntartása (Naiman, R.J. & Decamps, H. 1997);
- az állatok faji változatosságának fenntartása;
- az emberi hatások mérséklése.

3.4.1. Az ártér árvízvédelmi funkciója

Az ártéri vízviszatartás csak megfelelő állapotú hullámtér esetében lehet jelentős. A beépítetlen, növényzettel borított ártéren ugyanis az áradások vize viszonylag kevés kárt okozva tud szétterülni, az ártéri talajokban, avarban tározódik, majd lassú áramlással jut vissza a mederbe, megakadályozza, hogy a nagy árvizek erős eróziót okozzanak. (Ezeknek a vízáramlásoknak a hidraulikáját a jelenlegi ismeretek szintjén részletesen tárgyalják az ártéri folyamatokkal foglalkozó, Malcolm G. Anderson, Des E. Walling és Paul D. Bates által szerkesztett monográfia [1996] egyes fejezetei.) Az élő és az elhalt növényzet, amely a mederben nő, ill. oda hull be, lelassítja a vízfolyás áramlását. Az ártéri fák gyökerei elősegítik a víz beszivárgását a talajba, amely többszörös mennyiségű nedvességet képes tárolni a szántóföldek vagy a legelők talajaihoz képest (ld. pl. Várallyay Gy. 1992). Ugyanakkor a part menti fás- és lágyszárú növények hatalmas vízmennyiséget párologtatnak el, juttatnak az ártérről, az ártéri talajokból a légkörbe. Az árvízcsúcsok tehát jelentősen tompulhatnak (McCartney, M.P. & Naden, P.S. 1995), a mellékfolyók árvízi csúcsait az ártéri tározás időben „eltolja” egymástól (Gabor, T.S. et al. 2004).

A természetes növényzetétől megfosztott ártér azonban ezt a funkcióját kevésbé tudja betölteni. Ha a folyó menti erdőket kivágják, a talajok tömörödnek, víztározó képességük csökken. A füves növényzet párologtatása is kisebb mértékű, mint az erdőké. A lemosódás az ártér feliszapolódásával járhat, ami ismét csak mérsékeli az árvízi tározás hatékonyságát. Az ártér egyes szakaszainak burkolása tovább rontja ezt a funkciót. (Magyarországon is ezért szabályozták szigorúan az ún. „nagyvízi meder” beépítését.)

A hagyományos ártéri gazdálkodás jól kiaknázza ezeket az előnyöket. Egyesek lehetségesnek tartják újra bevezetését. Ettől összesen 63-féle, részben ökológiai, részben pénzben is kifejezhető értékű gazdasági szolgáltatást remélnek (Oláh J. 2004)!

3.4.2. Az ártér mint tompító sáv

R.A. Fischer és munkatársai (2000, 2001) funkcionálisan határozottan megkülönböztetik a folyó menti ökotónokat (tompító sávokat, pufferöveket) és tájökológiai folyosókat – amelyek a gyakorlatban területileg rendszerint egybeesnek. Az ártér geomorfológiai szempontból is betölt tompító funkciót, hiszen a megfelelő szélességű ártér felfogja azokat a hatásokat, amelyek a vízgyűjtő környező hegyoldalairól érik a folyó medrét (Burt, T.P. & Haycock, N.E. 1996; Knighton, A.D. 1998). Tájökológiai nézőpontból az *ökotón* a vízi ökoszisztémát kísérő, állandó növényzetből álló sáv, szegélyökoszisztéma, amely a víz minőségét védi azáltal, hogy a felszíni és a köztes lefolyással odajutó, nem pontszerű forrásból eredő szennyeződések megkötik. A folyó menti, megfelelő állapotú erdők nagy tömegű víz, hordalék és tápanyag felvételére képesek, amely a környező mezőgazdaság területekről vagy egyéb, rendszerint nem pontszerű forrásokból érkezik (DeLong, M.D. & Brusven, M.A. 1991; Mitsch, W.J. 1992; Snyder, N.J. et al. 1998; Weller, D.E. et al. 1998). (A parti öv egyértelműen jótékony hatását a vízminőségre a vízgyűjtő léptékű vizsgálatok során nem minden esetben sikerült kimutatni [Johnson, L.B. et al. 1997]. Stanley W. Trimble [1997] pedig Wisconsin állam délnyugati részén folytatott vizsgálataiban azt találta, hogy az erdős folyópartok kevésbé állékonyak, könnyebben pusztulnak, mint a füves növényzetűek.) Mindenesetre az ártér tájökológiai szerepe, „ütköző zóna” jellege ebben az esetben is csak az egész vízgyűjtő terület összefüggésében (földhasználata, lefolyási és lepusztulási viszonyainak ismeretében) értékelhető megbízhatóan (Brooks, K.N. et al. 2003).

A folyóparti öv *tompító funkciója* a vízi ökoszisztéma számára tehát elsősorban abban nyilvánul meg, hogy megkötik a hordalékot, tápanyagokat, növényvédő szereket, egyéb szennyezőket és szaporítóanyagokat (Haycock, N.E. et al. 1997). Hosszabb távon a mederbeli üledékfelhalmozódás környezeti gondokat okozhat, hiszen az üledékkel szennyező anyagok is lerakódhatnak. Ha a folyóparti öv optimálisan működik, több hordalékot köt meg, mint amennyi a partok vagy a mederfenék pusztulásakor mobilizálódik, akkor annak pozitív hatása van a folyó ökoszisztémájára. A folyóparti öv folyamatai – még az ideiglenes tárolás is – elősegítik a folyóvízi rendszer öntisztulását. A denitrifikáció üteme erősen függ az öntéstalajok szemcseeloszlásától (Pinay, G. et al. 1995). Ahol a finom (iszap- és agyag-) frakció aránya meghaladja a kétharmadot a talajban, a denitrifikáció mikrobiológiai folyamatai felgyorsulnak. A szemcseeloszlás pedig szoros összefüggésben áll az ártér geomorfológiai mintázatával.

A tompító sáv fontos paraméterei a *szélessége* és a *folytonossága*. Egy, az Egyesült Államokban végzett matematikai modellezés (Weller, D.E. et al. 1998) azzal az eredménnyel

járt, hogy az egyenletes szélességű pufferövek jóval hatékonyabban működnek, mint a változó szélességűek. A folyó- és ártérrehabilitáció számára ez azt a tanulságot rejti, hogy törekedni kell egyenletes szélességű, talán keskeny, de hatékony pufferöveket létrehozni, mert az öv elkeskenyedésének helyei könnyen kapukká alakulhatnak, lerontva a teljes rendszer teljesítményét. Az ökotónok határainak meghúzásakor azonban nem csak a folyó partvonalát, hanem a hidrológiai ártér szélességét is célszerű figyelembe venni. A folyó menti pufferöv megszakítatlansága ugyanis még fontosabb, mint szélessége. További tényezők, amelyek befolyásolják a pufferövek hatékony működését, és bonyolultabbá teszik a valóságos folyamatok modellezését (Correll, D.L. 1997): a felszíni és a felszín alatti anyagvisszatartás aránya; a felszín alatti vízáramlás; milyen növények alkotják az övet; milyen módon tartja vissza az anyagot; mennyi idő alatt telítődik; a domborzat, a talajtípus hatása; szabályozott-e a vízfolyás és milyen emberi beavatkozások érintették a pufferövet? A folyó menti tompító sáv (akár lágyszárú, akár fás növényzetű) működése szempontjából „keresztmetszetének” van a legnagyobb jelentősége: minél összetettebb a *szerkezete*, elvileg annál jobban betölti tompító szerepét (Cummins, K.W. 1974).

A folyóra gyakorolt hatások intenzitása a folyóparttól mért távolsággal exponenciálisan csökkenhet, de *távolsági küszöbértékeket* is meg lehet állapítani (Van Sickle, J. & Johnson, C.B. 2008). Hidrológiai megközelítést alkalmazva (Burt, T.P. in: Anderson, M.G. et al. 1996), Tim P. Burt és Gilles Pinay (2005) ilyen kritikus zónát mutattak ki az *ártér szegélyén* a tompító-szűrő hatás szempontjából. Szerintük az ártér külső szegélyén, a lejtők lábánál telítődik a talaj a legkönnyebben vízzel (a telített lefolyás kialakulása miatt – Horton, R.E. 1945). Telített viszonyok között, anaerob környezetben a leghatékonyabb a denitrifikáció, ezért ez a sáv mérsékeli a legjobban a folyó nitráatterhelését. Az árterek külső sávjában kialakuló ártéri lapályok (backswamps) vízborítottsága döntő lehet. Bár területi kiterjedésük nem nagy, együttes hatásuk a keskenyebb ártereken is figyelemre méltó lehet. Lecsapolásuk, a tájszerkezet átalakítása, mesterséges tájelemekkel (csatornák, gátak) történő fragmentációja, valamint a szomszédos ökoszisztémákkal való funkcionális kapcsolatuk megszakadása rendszerint hátrányosan befolyásolja a folyó vízminőségét.

Korábban egyesek csupán a folyók közvetlenül kísérő *parti sáv* hatását tartották meghatározónak, mások ezzel szemben az egész vízgyűjtő tájszerkezetét igyekeztek figyelembe venni. C.S. Holling (1992) szerint az ökoszisztémák három *méretarány*-tartományban működnek: mikroskálán (térben: 10^{-2} és 10^2 m, időben 10^{-2} és 10^2 év között) a növényzet fejlődésének folyamatai, makroskálán (térben: 10^2 és 10^4 m, időben: 10^2 és 10^4 év között) pedig a geomorfológiai (felszínalakító) folyamatok befolyása döntő. A mindkettőt

átfedő mezoszkála a legproblematisabb, hiszen itt hidrológiai hatótényezők és a társadalmi beavatkozások következményei is bonyolítják az ökoszisztémák fejlődésének feltárását célzó kutatásokat (Burt, T. & Pinay, G. 2005).

3.4.3. Az ártér mint tájökölógiai folyosó

A part menti tompító sávoknak *tájökölógiai folyosó* funkciója is lehet (Kerényi A. 2007): kapcsolatot biztosítanak a különböző élőhelyek között, lehetővé teszik az élőlények foltok közötti mozgását (természetvédelmi folyosók, terjedési folyosók – Fischer, R.A. et al. 2000, 2001). Az ökológiai folyosók legfontosabb funkciói (Barati S. 2001; Kerényi A. 2007):

- összekötik a magterületeket, természetközeli, féltermészetes és természetszerű élőhelyeket;
- lehetővé teszik a fajok migrációját, természetes elterjedését;
- lehetővé teszik, hogy a kedvezőtlen hatások elől a fajok kitérjenek (szűrő funkció);
- lehetővé teszik egy faj különböző populációi között a géncserét;
- önmagukban is értékes élőhelyek, az oda vándorló fajok befogadó helyei.

Az ökológiai folyosókat jelenleg már nem csupán egyszerűen hasonló jellegű foltokat összekötő közlekedő sávoknak tekintik, hanem egyre inkább *integrált ökológiai rendszerekként* fogják fel őket (Brown, S. et al. 1979; Ward, J.V. et al. 2002), kimutatják belső differenciáltságukat (Forman, R.T.T. & Godron, M. 1986).

Intenzív mezőgazdasági területeken vagy sűrűbben beépített városi környezetben a vízfolyások mentén kezeléssel fenntartott, többnyire mesterségesen kialakított növényzetsávokat *zöld folyosónak* (zöldövezetnek) szokás nevezni (Little, C.E. 1990; Rosenberg, D.K. et al. 1997; Barati S. 2001) – bár ennek a fogalomnak az értelmezésében sok a bizonytalanság. Az ökológiai és a természetvédelmi szempontok mellett rekreációs és egyéb társadalmi (jóléti) funkciójuk is hangsúlyos. Elengedhetetlenek a város és környéke közötti táji kapcsolatok fenntartásában, a táj fragmentációjának mérséklésében.

Az ártéri élőhelyek csak átmenetileg, áradáskor kapcsolódnak a folyóhoz, de ennek nagy ökológiai jelentősége van az élőlények különböző élettevékenységei (menedék, szaporodás) szempontjából (Hohausova, E. & Jurajda, P. 2005). Amikor ez a hidrológiai kapcsolat nem áll fenn, a lentikus víztestek elszigetelődnek, ezért sajátos (a folyónál melegebb, nyugodtabb vizű) élőhelyet kínálnak.

3.4.3.1. Az ártéri folyosó kialakító tényezői

A folyó menti folyosók alakját, kiterjedését az árterek *geomorfológiája* szabja meg. Az alluviális folyók ártereire elkeskenyedő (a völgy által korlátozott) és kiszélesedő (völgyi

korlátozás nélküli) szakaszok váltakozása, olvasóra emlékeztető mintázat jellemző (Ward, J.V. et al. 2002). A korlátozott szakaszokon – a folyó folytonossági elméletnek megfelelő – folyásirányú hidrológiai kapcsolatok uralkodnak, a korlátozás nélküli szakaszokon viszont a hosszanti, keresztirányú és függőleges összeköttetések egyaránt jelen vannak.

A felszíni kapcsolódáson kívül a konnektivitást a folyómeder és az ártér egyes részei között a *talajvíz-mozgás* is biztosítja. A folyó menti folyosót háromdimenzióssá teszi a *hiporheális zóna*, tulajdonképpen a felszíni és a talajvíz közötti ökotón (Stanford, J.A. & Ward, J.V. 1988, 1993; Gibert, G. et al. 1990; Tonina, D. & Buffington, J.M. 2009). A hiporheális öv kiterjedését a folyami üledék szemcsemérete, annak heterogenitása, porozitása, pórusméret-eloszlása, hidraulikus vezetőképessége, a preferenciális áramlási pályák elhelyezkedése, az eltemetett szerves anyag, valamint a víztartó réteg kémiai és hőmérsékleti különbségei befolyásolják. A hiporheális öv nem korlátozódik csak a meder alatti sávra, különböző szélességben (akár több kilométerre is) benyúlik az ártér alá (Boulton, A.J. 1993; Valett, H.M. et al. 1993; White, D.S. 1993). Csak ott hiányzik teljes mértékben, ahol a folyó medre közvetlenül szálban álló kőzetbe mélyül.

A folyó menti folyosó legfőbb eleme természetesen a *növényzet* (Tabacchi, E. et al. 1998; Wenger, S. 1999). Az ártéri növényzet szukcessziós pályáit alapvetően a vízellátottság (talajvízszint) befolyásolja, az teszi mozaikossá a növényzet mintázatát (Szabó M. 2006; 2008). Többek között a Rhône felső folyása mentén végzett vizsgálatok (Pautou, G. 1984) is igazolták, hogy a növényzet eloszlását leginkább a vízszint feletti magasság, az ártéri üledék szemcseméret-eloszlása (az öntéstalaj humuszos szintjének szervesanyag-tartalma) és az ártér évszakos elöntésének rendszeressége szabja meg. A Szigetközben végzett kutatások kimutatták, hogy az egyes élőhely-típusok fennmaradásához milyen vízellátottsági viszonyok szükségesek (3.16. táblázat – Szabó M. 2008).

A vízborítás hatása az egyes fafajokra is megadható (Pautou, G. 1984). Ezek elöntés-tűrése széles határok között változik: a *Salix alba* esetében 300 nap, a *Quercus robur* és az *Ulmus minor*é 151 nap, a *Fraxinus excelsior*é 102 nap, míg az *Acer campestre* és a *Tilia cordata* csupán 13 elöntéses napot viselnek el. Egyes fajok (pl. az *Acer pseudoplatanus* és a *Fagus sylvatica*) egyáltalán nem tűrik az elöntést, ezért rendszeresen víz alá kerülő ártereken nem, csak a folyóteraszokon jelennek meg.

A vízi és vízparti növényzet vissza is hat az árhullámok levonulására: megnöveli a meder, ill. az ártér felszínérdességét, így módosítja a hidrogeomorfológiai folyamatokat (Gurnell, A.M. 1997; Johnson, W.C. 2000). A folyórehabilitáció során meglehetősen nehéz feladat

olyan célnövényzet megtervezése, amely megközelíti a természetes biodiverzitást, de nem csökkenti az ártér árvízlevezető képességét (Baptist, M.J. 2001).

3.16. táblázat Szigetközi vizes élőhely-típusok vízellátottság-igénye (Szabó M. 2008 nyomán)

<i>élőhely-típus</i>	<i>optimális vízborítás</i>	<i>optimális talajvíz-állás (m)</i>
Vízfelület, hínarasok	a tenyészidőszak 95%-ában – >1,5	-
Puhafa-ligeterdők	tavasszal (ápr. közepe) 8–10 nap, ősszel (szept. vége, okt. eleje) 10–12 nap – 0,7 m	ápr. –jún. és aug. vége–szept.: -0,5
Mocsár- és láprétek, nádasok, magassásosok	a tenyészidőszak 50–70%-ában – 1,5 m	ápr. –jún. és aug. –szept.: -0,5
Vágásnövényzet, ártéri gyomnövényzet	évente kétszer, tavasszal – 4–5 nap; ősszel 5-6 nap	ápr. –jún. és aug. vége–szept.: -0,5
Keményfa-ligeterdők	5-10 évente egyszer, tavasszal – 4–5 nap – 0,2 m	máj. –jún. és szept. –okt.: -2,0
Üde kaszálórét, legelők	a vízborítás nem szükséges	ápr. –máj. és aug. vége–szept.: -0,5 – -1,5
Gyöngyvirágos tölgyesek	a vízborítás káros	ápr.–máj.: -2,0 – -4,0

3.4.3.2. Az ártéri folyosó dinamikája

A folyó menti ökológiai folyosókat egyszerre jellemzik a dinamikus *változások* és az *állandóság*. A rendszert többféle *zavarás* érheti (fokozott hordalékszállítás, esetleg törmelékfolyás, tűz, betegségek, állati tevékenység). Az áradásokat ma már nem egyszerűen zavarásnak, hanem egyben az ökoszisztéma integritásának fenntartásában fontos szerepet játszó tényezőnek tekintik (Bíró P. & Oertel N. 2004). A folyó menti rendszer dinamikáját nem csak az áradások, hanem még a mederkitöltőnél kisebb vízhozamok is erősen befolyásolhatják. A geomorfológiai eredetű zavarások közé tartozik a fokozatos medereltolódás vagy a hirtelen meanderlefűződés és a mederáthelyeződés (avulzió). Az előbbi mértéke az Amazonas mentén a 25–400 m/év mértéket is eléri – ami az erősen szabályozott magyar folyók mentén egy évszázad alatt következik be (Lóczy, D. 1997). A hirtelen változások még nagyobb hatással vannak az ártéri szukcesszióra.

A zavarás jelentőségét a folyó menti folyosó elemeinek átalakulási arányával (turnover rate) fejezik ki (Kollmann, J. et al. 1999). Az olasz Tagliamento folyó felső, fonatos szakaszán a morfológiai elemek 62%-a alakult át egy átlagos árvízi időszak során, míg ugyanez az arány a meanderező szakaszon mindössze 22% volt. Az egyes elemek fel- és eltűnése ellenére a folyó egyes szakaszai és a hozzájuk tartozó árterek – magasabb szinten szemlélve – nagyfokú formaállandóságot mutatnak. A mellékágak évszakos aktivizálódása (ami például a jellegzetes mediterrán típusú vízjárást mutató folyókat jellemzi) megnöveli a táji (és élőhely-)diverzitást.

Az „*átrendeződő mozaik egyensúlya*” (shifting mosaic steady state) modell szerint (Stanford, J.A. et al. 2005) az áradások és a folyómedret átalakító folyamatok hatására a folyó menti sáv foltszerkezete helyileg átrendeződik, de nagyobb területet tekintve megtartja eredeti

jellegét. Az áradások így tartják fenn a folyó menti élőhelyek változatosságát (Tockner, K. & Stanford, J.A. 2002). Az árvízi pulzusok, a főmedertől fokozatosan elszigetelődő mellékágak, holtágak, morotvák szárazulattá válása (terresztrializációja) indítja be a szukcessziós folyamatokat (Tockner, K. et al. 2000; Whited, D.C. et al. 2007). Ennek a nyugat- és közép-európai nagy folyók mentén háromféle változatát különböztetik meg (Amoros, C. et al. 1987):

- a hidrark szukcesszió a lentikus víztestek fokozatos terresztrializációja;
- ártéri erdőszukcesszió a frissen lerakódott hordalékon, pl. övzátonyokon beinduló elsődleges benövényesedés;
- feltöltődő szigetek szukcessziója pedig gyakran uszadékfa-rönkök mögött felhalmozódott finom hordalék (zátonyszerű szigetkezdemény) elsődleges benövényesedése.

A *hidrark szukcesszió*t az ismétlődő árvizek megakasztják, egy korábbi stádiumába térítik vissza, végső soron pedig lelassítják. Amíg megfelelő védő növénytakaró ki nem alakul, számolni kell az árvizek kimélyítő, letaroló eróziójával is az ártéren. (Ennek jelentőségét a geomorfológusok nem túl régen ismerték fel – Howard, A.D. 1996).

Az *erdőszukcesszió* hazai viszonyok között rendszerint pionír bokorfűzes (*Salix* spp.) növénytársulással kezdődik, a szintén ruderalis (bolygatott élőhelyeket is meghódítani képes) nyár fajokkal (*Populus* sp.) folytatódik. A lomboszat egy-két évtizeden belül záródik, 20 m-nél kisebb famagassággal. A puhafa-ligeterdő természetes viszonyok között két-három évszázad alatt fejlődik 30–35 m magas tölgy-, kőris-, szil- és hársfákból álló, klimax állapotot és a legnagyobb faji biodiverzitást jelentő keményfa-ligeterdővé (*Quercus-Ulmum*). A folyószabályozás ezt a folyamatot nem akadályozta meg, sőt még elő is segítette azzal, hogy a folyó menti folyosón belül alacsonyabb talajvíz állású övet hozott létre, ahol a szukcesszió továbbléphetett.

Végül a *zátonyból szigetté* fejlődés *szukcessziója* három szakaszban megy végbe. A zátonyokon megrekedt, finom szerves anyag és az eltemetett növényi szaporító szervek hatására indul meg (1. fázis). Kedvező körülmények között a néhány éves pionír, gyorsan növő fűzek és a nyárok 4 m magasra növekednek (2. fázis), majd 20 m magas lombkorona alakul ki (3. fázis), a sziget 1–2 m vastag finom szemcseméretű üledékkel gyarapodik.

A szukcessziós folyamat hozzájárul az egyre bonyolultabb, sávos felépítésű ökoszisztéma ökológiai folyosó növekvő biodiverzitásához. (Ugyanakkor a „túlzottan zavartalan” szukcesszió hosszabb távon csökkenti folyó menti biodiverzitást: a geomorfológiai környezet homogenizálódik, a terresztrializáció gyorsan megy végbe, az élőhelyek közötti különbségek elmosódnak, így a növényzet is homogénebbé válik.) A folyó menti növényzet biodiverzitását a horizontális konnektivitás, tehát a folyómederrel (a hiporheális övben pedig a talajvízzel)

való, tehát hidrológiai összekapcsoltság, a folyóvíz dinamikája (a vízjárás) tarthatja fenn. A *közepes mértékű zavarás* hipotézise (intermediate disturbance hypothesis, IDH – Connell, J. 1978) szerint a faji diverzitás általában közepes erősségű zavarás (konnektivitás) esetén éri el a csúcát, de ez állatsoportonként változik. (A halak nagyobb diverzitásához pl. nagyobb, a kétéltűekéhez kisebb konnektivitás szükséges.)

3.4.3.3. Az ártéri folyosók funkciói

Irodalmi áttekintésükben A.W. Johnson & D.M. Ryba (1992) így foglalják össze a folyó menti ökológiai folyosók jótékony hatását a folyóvízi ökoszisztémára:

- a folyó partfalainak stabilizálásával meggátolják, ill. fékezik a parteróziót;
- eloszlatják az árvizek energiáját, elősegítik a lebegtetett hordalék kiülepedését;
- kiszűrrik, megkötik a tápanyagot (ezáltal megakadályozzák, hogy a túlzott elsődleges és másodlagos produkció miatt oldott oxigén hiány lépjen fel), a káros, esetleg mérgező anyagokat, amelyek különben bemosódnának a folyómederbe;
- ugyanakkor szerves törmelékot juttatnak a folyómederbe;
- módosítják a parti mikroklímát;
- fenntartják a halak és egyéb állatok életfeltételeit, vándorlási útvonalait.

Egy másik vélemény szerint (Cacho, M. 1998) a helyesen kezelt parti sávok a következő előnyöket nyújtják:

- esztétikai szempontból kellemes megjelenésű tájat alakítanak ki;
- eltávolítják a hordalékot és vegyi anyagokat, mielőtt azok terhelnék a folyót;
- az állatok számára élőhelyet és vándorlási folyosókat teremtenek;
- meggátolják a talajeróziót és növelik a partok állékonyságát;
- módosítják a vízfolyás és környéke hőmérsékleti viszonyait;
- lehetővé teszik a folyómeder oldalirányú eltolódását, geomorfológiai fejlődését (ami némileg ellentétben van a part állékonyságát növelő szereppel!).

A *lotikus* (áramló vízben kialakuló) *ökoszisztémák* működésében háromféle élettelen változó(csoport) szerepét szokás kiemelni: a vízáramlásét, az aljzatét (szubsztrátumét) és a hőmérsékletét (Allan, J.D. & Castillo, M.M. 2007).

A *vízáramlás sebességének* közvetlen hatása pl. hogy az élőlényeket leszakíthatja az aljzatról, vagy kimerítheti energiatartalékaikat az az erőfeszítés, hogy az áramlás ellenében megtartsák helyzetüket. Közvetett módon az élő szervezetek anyagcseréjét befolyásolja a táplálék vagy a vízben oldott oxigén mennyisége, ill. az anyagcsere termékeinek eltávolítása. Az áramlási sebesség eloszlása a meder hossz- és keresztmetszelve mentén tehát fontos abiotikus tényező. A szubsztrátumon belül a szakirodalom az *uszádekfák* jelentőségét

kiemelten kezeli, hiszen ezek sokféle (és még nem eléggé ismert) módon hatnak a folyami rendszerre. Geomorfológiai hatásuk (Bilby, R.E. 1984; Piégay, H. & Gurnell, A.M. 1997), hogy torlaszokat képeznek, amelyek mögött felhalmozódik a hordalék, zátonyok, szigetek keletkezhetnek (Abbe, T.B. & Montgomery, D.R. 1996); a torlaszok alatt kimélyülő folyószakaszok (kottyanók) alakulnak ki, amelyek sajátos élőhelyek; eltérítik a mederből kilépő árvízi vízhozamot, új hidrológiai pályákat hoznak létre (Gippel, C.J. et al. 1996); magas vízálláskor megnövelik a folyómeder hidraulikus érdekességét (Abbe, T.B. & Montgomery, D.R. 1996). Másrészt biológiai folyamatokat, a tápanyagok körforgalmát, ill. a különböző organizmusok élettevékenységét befolyásolják azáltal, hogy felfognak kisebb szerves törmeléket (levelek, állati maradványok); élőhelyet biztosítanak vízi rovaroknak, kételtűeknek, madaraknak és emlősöknek; a vízi ökoszisztéma számára fontos mikroorganizmusoknak táplálékot és egyéb életfeltételeket teremtenek; hasonlóképpen lehetővé teszik a vízi növényzet megtelepedését; rejtekhelyet nyújtanak a halivadék számára. Mindezek a funkciók másképpen nyilvánulnak meg a *kis vízfolyásokban*, amelyek nem képesek továbbszállítani a beléjük jutó uszadékfát, amelynek így helyben érzékelhető a hatása. A nagy folyókban ezzel szemben az uszadék allochton hatás. A szabályozott folyókban az árvizek gyorsabb levezetése érdekében eltávolítják a mederben megrekedő farönköket. Itt az uszadékfa szerepe jóval kisebb, mint a természetközeli állapotú vizekben, ami – a fentiek alapján – közvetve mérsékeli az ilyen folyók biodiverzitását. A folyórehabilitáció feladata a kompromisszumos megoldás megtalálása.

Jobban ismert a parti növényzet *víz hőmérséklet*-szabályozó szerepe (Johnson, A.W. & Ryba, D.M. 1992; Beschta, R.L. 1997), amely a vízfolyás sebességétől, a fák magasságától, a napsugarak beesési szögétől és a meder szélességétől függ. A víz hőmérséklet a kis tengerszint feletti magasságban, mezőgazdasági környezetben fekvő kis vízfolyásokban emelkedhet meg a leginkább, ha a parti pufferöv hiányzik vagy hiányos, ezáltal csökken az árnyékolás. A halpopulációkra egészen kis hőmérséklet-emelkedés is káros. A vízfolyás hőmérsékletét azonban nem csak a parti növényzet, hanem a talajvíz-hozzáfolyás, a bevágódás, valamint egyéb hidrológiai és geomorfológiai folyamatok is befolyásolják. Az emberi beavatkozások (folyószabályozás, partmegerősítés, uszadékfa eltávolítása stb.), amelyek egyszerűbb mederalakhoz vezetnek, a meder heterogenitásával együtt csökkentik a talajvízzel fennálló kapcsolatot (a hiporheális konnektivitást), csökkentik annak lehetőségét, hogy a hidegebb talajvíz hozzáfolyása mérsékeldje a folyóvíz felmelegedését. A szabályozott folyók felszíni víz hőmérséklete rendszerint magasabb és jobban ingadozik, mint a természeteshez közeli állapotúaké. A vízi állatok ezért nagyobb stressznek vannak kitéve.

A mezőgazdasági területek művelése nagy tömegű talaj mobilizálásával jár, amely részben bemosódik a vízfolyásokba. A *hordalékterhelés* káros hatással van a lazacfélék életkörülményeire, pl. azáltal, hogy a kavicsos mederfenék kolmatációját okozza, ami oxigénhiányhoz vezethet, ill. hogy mérsékeli a fenékérdességet, betemeti a mederfenék változatos élőhelyeket teremtő mikroformáit (Beschta, R.L. & Platts, W.S. 1986).

A folyópartok *stabilitása* is erősen függ a parti növényzatos sávok állapotától. (Ugyanakkor a folyó dinamikája miatt a partok sohasem lehetnek teljes mértékben állékonyak.) A mesterségesen kiképzett partvédőművek (sarkantyúk, vezetőművek, kikövezések stb.) kevésbé megfelelő élőhelyet nyújtanak a vízi gerinctelenek és a halak számára, mint a változatosabb élőhelyeket kínáló természetes mederfalak. Kedvezőbbek azok a partok, amelyeket uszadékfa-felhalmozódások kötöttek meg.

Nagy az ökológiai jelentősége a folyó medrében kialakuló kis kimélyüléseknek, a csendes vizű kottyanóknak, ahol a fiatal halak elrejtőzhetnek. A szabályozott vízfolyásokban ritkább a helyi kimélyítő erózió és kevesebb farönk torlódik fel, ezért kisebb valószínűséggel alakulnak ki kottyanók.

3.4.4. A folyó menti sávok tervezése

Az árterek restaurációja (eredeti állapotuk visszaállítása) vagy ha ez már nem lehetséges, rehabilitációja (természetközeli állapot létrehozása) keretében rendezni kell a meder és a parti sáv geomorfológiai és ökológiai állapotát (U.S. Department of Commerce 1998).

Természetvédelmi szempontból a tájökológiai folyosók (az ökotónuszokat is ideértve) szélességének és *folytonosságának* megtervezése a legfontosabb (Fischer, R.A. et al. 1999). A sávok ajánlott szélességét gyakran pontosan rögzítik, részben azért, hogy a hivatalos szervek számára könnyen ellenőrizhetőek legyenek. Mivel ezeket csupán egy-két funkció (pl. a vízminőség-védelem) szempontjából állapítják meg, a többi fontos funkciót nem biztos, hogy képesek betölteni (Castelle, A.J. et al. 1994). A különböző tanulmányok általában 10-30 m széles sávot javasolnak. Az állati élőhelyek szempontjából megállapított sávok ennél rendszerint jóval szélesebbek (Fischer, R.A. et al. 2000). A változó szélességű sávok tervezését helyi (földhasználati, természetvédelmi) körülmények indokolják.

A szakirodalomban a tájökológiai folyosók szélességére és hosszára igen eltérő értékeket javasolnak (Fischer, R.A. et al. 2000 – 3.14. táblázat; Csorba P. et al. 2006). Rendszerint a vízminőség-védelem a legfontosabb megfontolás, de egyre inkább hangsúlyozzák az élőhely-funkciót is, amelynek jóval nagyobb a területigénye. A folyosók az általános tájökológiai kézikönyvek szerzői szerint (Forman, R.T.T., 1995; Bastian, O. & Schreiber, K-F. 1999; Ingegnoli, V. 2002) akkor működnek a legjobban, ha legalább 25–30 m szélesek, de 1–1,5

km-nél nem hosszabbak. Csak a legalább 5–10 m széles tájökológiai folyosónak van magterülete (ún. sávfolyosó, strip corridor – Csorba P. et al. 2006). Különben csupán két határfelület, ökotónsáv kíséri a folyót (ún. vonalfolyosó, strip corridor). Fisher et al. (2000) szerint is a 10 m-nél keskenyebb parti pufferövek védőhatása kétséges, a 15–30 m közötti szélességűek közepes hatékonyságúak, míg a 30 m-nél szélesebbek szinte bármilyen funkciónak megfelelnek (bizonyos speciális élőhelyeket kivéve). Vitatott a megszakított folyosók hatékonysága (Risser, P.G. et al. 1984).

Magyarországon a kisvízfolyások és árterük rendezésének, természetközeli állapotuk helyreállításának számos *akadály* van (Reich Gy. & Simonffy Z. 2002): az országos vízgazdálkodási politika nincs összehangolva a környezet- és természetvédelmi, valamint a területfejlesztési politikával; a hosszú távú természetvédelmi érdekek összeütközésbe kerülnek a rövid távú, gazdasági érdekekkel; a komplex vízgyűjtő-gazdálkodási tervek engedélyeztetése rendkívül hosszú és bürokratikus folyamat; a vízgazdálkodásban a folyóvizet csak a mederre korlátozva és statikusan értelmezik, nem jellemző a meder és az ártér integrált szemlélete; a tervezésben érintett szervezetek különbözőképpen értelmezik a revitalizáció, rehabilitáció, renaturáció és egyéb, kapcsolódó fogalmakat.

Az integrált vízgyűjtőgazdálkodás megvalósítása – a sikeres külföldi példák ellenére – hazánkban lassan halad. A kisebb vízfolyások állapotában nem sok javulás érzékelhető (Nagy I.R. 2004). Az Európai Unió Víz Keretirányelvének (European Commission 2000) végrehajtási kötelezettségei azonban előmozdították a fogalmak azonos értelmezését, felgyorsították a vízgyűjtő szintű tervezési folyamatot – és talán a tervek kivitelezését is.

3.5. Az árterek agroökológiája

A nagyobb folyók árterei igen korán a mezőgazdálkodás színtereivé váltak. A kibontakozó folyami kultúrák kihasználták a sík domborzatból, a jó víz- és tápanyagellátottságból, a könnyen művelhető talajokból származó előnyöket. Az ártereket formáló legfontosabb társadalmi tevékenységgé a mezőgazdálkodás vált. Növekvő belterjessége azonban hamarosan ellentmondásba került a természeti környezet megóvásának igényével (Groot, J.C.J. et al. 2007), ill. az árvízvédelem követelményeivel.

A mezőgazdasági művelés által kialakított agroökoszisztémák agroökológiai megközelítése tervezésükben és kezelésükben – az iparszerű gazdálkodási szempontok helyett – a környezetvédelmi megfontolásokat is érvényesítő szemléletet igyekszik érvényesíteni (Altieri, M.A. 1995).

3.14. táblázat A vizes élőhelyeket övező tompító növényzetsávok (pufferzónák) javasolt szélessége különböző irodalmi források alapján (Fischer, R.A. 2000, kiegészítve)

<i>funkció</i>	<i>javasolt sáv- szélesség(m)</i>	<i>irodalmi forrás</i>	<i>kutatási terület</i>	<i>kutatott téma, fő megállapítás</i>
vízminőség- védelem	≥15	Woodard & Rock (1995)	Maine	a szükséges sáv szélesség (keményfa-ligeterdő) a lejtőszöggel nő
	≥25	Young et al. (1980)	Minnesota	állattartó telepről származó N és P terhelés 92%-kal csökkent
	≥30	Lynch et al. (1985)	Washington állam	erdőgazdálkodásból származó terhelés 70-80%-os csökkentése
	≥9	Dillaha et al. (1989)	Virginia	hordalék- és tápanyagterhelés jelentős csökkenése
	≥18	Nichols et al. (1998)	Arizona	füves sáv csökkentette egy hormon bemosódását
	≥10	Corley et al. (1999)	Colorado	N és P bemosódás hegyvidéki mezőgazdasági területekről
	≥4	Doyle et al. (1977)	Vermont	füves sáv megakadályozta a N és P bemosódását téli trágyából
	≥19	Shisler et al. (1987)	New Jersey	erdősáv a P-t 80%-kal, a N-t 89%-kal csökkentette
kételtűek, hüllők élőhelye	100–1000	Burbrink et al. (1998)	Illinois	a széles sáv nem jobb élőhely a kételtűeknek, hüllőknek, mint a keskeny (!)
	>30	Rudolph & Dickson (1990)	Texas	fenyőültetvények kedvező hatása
	≥165	Semlitsch (1998)	Dél-Karolina	szalamandrafajok populációjának 95%-a 165 m-es sávon belül él
	>135	Buhlmann (1998)	Virginia	kételtűek és kisemlősök abundanciája és diverzitása szempontjából
madarak élőhelye	≥60	Darveau et al. (1995)	Kanada	50 m nem elég; a populáció csökken, mielőtt kivágott erdősáv felújulna
	≥100	Hodges & Krementz (1996)	Georgia	a hat leggyakoribb neotropikus költöző faj számára
	≥100	Mitchell (1996)	New Hampshire	vörösvállú ölyv (<i>Buteo lineatus</i>)
	>50	Tassone (1981)	Virginia	sok neotropikus költöző madár igénye
	≥100	Triquet et al. (1990)	Kentucky	≥100 m széles sávokban a költözők gyakoribbak, a ≤100 m-esekben az áttelelők
	≥150	Spackman & Hughes (1995)	Vermont	közepes folyók mentén a fajok 90%-a megtalálható a ≥150 m széles sávokban
	≥500	Kilgo et al. (1998)	Dél-Karolina	a teljes madárfauna fenntartásához ≥500 m-es sáv szükséges
	≥100	Keller et al. (1993)	Maryland, Delaware	költőhelyként ≥100 m-es sáv szükséges
	≥100	Gaines 1974	Kalifornia	sárgacsőrű kakukk (<i>Coccyzus americanus</i>)
	≥150	van der Haegen & de Graaf (1996)	Maine	a szegélyeken fellépő fészekpredáció elkerülése végett
	>40	Hagar (1999)	Oregon	források mentén a legelőnyösebb sáv szélesség
	50-1600	Richardson & Miller (1997)	USA	szirti sas költéséhez 800 m széles erdősáv
	≥50	Whitaker & Montevecchi (1999)	Kanada	keskenyebb sávokban csak az erdők belsejében megfigyelt fajsűrűség ≤50%-a
	150-175	Spackman & Hughes (1995)	Vermont	a madárfajok 90-95%-a számára elegendő
emlősök élőhelye	≥50	Dickson (1989)	Texas	vaddisznók, kisemlősök
mikroklíma fenntartása	≥45	Brosofske et al. 1997	Washington	fenyőerdőben szükséges az optimális vízhőmérséklet fenntartására

Az árterek *agroökológiai* szempontból *optimális hasznosítása* mint tervezési feladat kétféle célállapotot (Leitbild) határozhat meg: vagy a természetes ökoszisztéma, vagy a nagyüzemi mezőgazdálkodás előtti, hagyományos földhasználat helyreállítására törekedhet (Lovell, S.T. et al. 2010). Korunk követelményeinek megfelelően a fenntartható mezőgazdálkodásnak a vízkészletek megőrzését, a biodiverzitás fennmaradását, az emberi tevékenységek során kibocsátott szén-dioxid egy részének elnyelését is biztosítani kell. A mezőgazdaság egyik legfontosabb feladatává a mezőgazdasági táj fenntartása, gondos kezelése válik (Farber, S. et al. 2006). Ennek teljesítése érdekében fontos a mezőgazdasági tevékenységek optimális területi elhelyezése az ártéren, amelyet tájértékelési felmérésekkel lehet tudományosan alátámasztani (McRae, S.G. & Burnham, C.P. 1981). A mezőgazdasági termelés és a természetvédelem (helyenként pedig a rekreációs tevékenységek) érdekei közötti összhang csak kompromisszumok árán teremthető meg (Groot, J.C.J. 2007 et al. 2007). Az olyan tájszerkezeti elemek, mint a folyóparti növényzetsávok és az egyéb, a megművelt táblák között húzódó tájökológiai folyosók tompító hatásukkal segítenek pl. a növényi kártevők elleni küzdelemben, a víztestek tápanyag-terhelésének mérséklésében. Az ártéri mezőgazdálkodásnak nem szabad felborítania a természetes úton kialakult tájmintázatot (Deffontaines, J.P. et al. 1995).

A tájökológiai mintázat erősen visszahat a mezőgazdasági hasznosításra (Lovell, S.T. et al. 2010). A sajátos ártéri viszonyokhoz, a kisebb részben üde, nagyobb részben kiszáradó láprétek mozaikos élőhelyeihez a nagyüzemi szántóföldi művelést nehéz hozzáigazítani. Inkább kisparcellás, nagy élómunka ráfordítást igénylő ágazatok, pl. a zöldségfélék, gyógy- vagy dísznövények termesztése illeszkedik a táj tulajdonságaihoz. Ennek feltétele, hogy a termelők a piaci igényeket gazdaságosan ki tudják elégíteni. Az elöntésveszélyes földek használatának legmegfelelőbb módja gyakran a takarmánytermesztés, ill. az extenzív rét- és legelőgazdálkodás, amely az évszakos elöntésre a legkevésbé érzékeny.

3.5.1. A folyószabályozás következményei

A folyószabályozás átalakítja a vízfolyás vízjárását, áramlási sebességét, medrének anyagát, alakját és növényzetét (Brookes, A. 1988), de legalább ugyanilyen mélyreható változásokat okoz az ártéren is – elsősorban azzal, hogy megnyitja az utat az ártér mezőgazdasági hasznosítása felé.

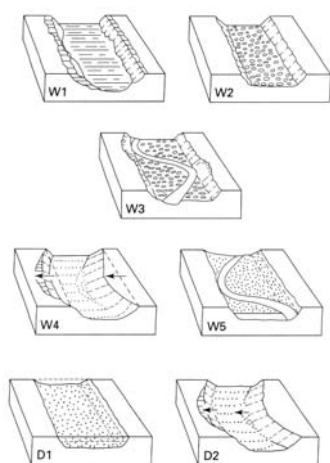
3.5.1.1. A meder környezetének átalakítása

Az árvizek gyors levonulását elősegítő beavatkozások a folyók életébe (a medrek lerövidítése kiegyenesítése, szelvényének átalakítása, leszűkítése – 3.15. táblázat) a Kárpát-medencében is

megemelték a nagyvizek szintjét (Somogyi S. et al. 2000). Igazán súlyos esetekben azonban éppen a megnövekedett áramlási sebesség fokozhatja az árvízveszélyt, csakúgy, mint a folyó eróziós képességét, károsodhatnak a mederben elhelyezett objektumok. Az árvízvédelmi intézkedések tehát folyásirányban lefelé összességükben a szándékozással gyakran ellentétes hatást válthatnak ki: növelik az árvízi események súlyosságát, tartósságát és gyakoriságát. Az árvízi helyzet nem javul, csak a probléma térben áthelyeződik (Beyer, J.L. 1974).

Az árvízvédelmi töltések a leggyakrabban alkalmazott mérnöki megoldás arra, hogy a hullámtéren belül tartsák a levonuló ár hullámokat. A *hullámterek* rendszerint túlságos mértékű *leszűkítése* lehet ugyan rövid távon hasznos, de romboló hatása van az ott található életközösségekre (Bognár Gy. 1989), sőt, a helyi árvízveszélyt is megnövelheti (Lóczy, D. et al. 2009). Ezek a hullámterek nem képesek teljesíteni a korábbi árterek funkcióit (mint pl. a Garonne mentén – Steiger, J. et al. 1998). A meder változásai (kimélyülés, áramlási sebesség növekedése) sokoldalúan hatnak az ártér fejlődésére (3.10. ábra).

A folyó szabályozása a meder „kitisztításával”, a parti növényzet átalakításával kezdődik, pedig a növényzet lényeges tényezője a mederfejlődésnek. A fás vegetáció gyökérzetével előmozdítja a partok állékonyságát, növeli a kritikus nyírófeszültséget. R.G. Millar (2000) kimutatta, hogy a fákkal és bokrokkal benőtt partokon a kritikus nyírófeszültség háromszoros a füves partokhoz képest – természetesen a meder anyagától, a növényzet jellegétől és a talaj típusától függően. Árhullámok levonulásakor a keskeny hullámtéren (így a Kaposén is) közvetlenül a árvízvédelmi töltések belső oldalát fenyegetik a meredek, növényzetüktől megfosztott folyópartok lejtős tömegmozgásai, amelyek a leggyakrabban omlások, kisebb suvadások, roskadások (Szabó J. 2006).



3.10. ábra A folyószabályozás legfontosabb következményei (Brookes, A. 1988). W1 = megnövekedett esés → nagyobb hordalékszallító képesség; W2 = több hordalék szállítása → durvább fenékhordalék (az aljzat „páncélozódása”); W3 = mederszélesedés, kanyargó sodorvonal; W4 = magaspártok alámosása → oldalirányú medereltolódás; W5 = kis esés, sok hordalék → növekvő kanyargósság; D1 = a kiegyesített szakasz alatt kisebb esés → általános felhalmozódás; D2 = övzatonyképződés → kikényszerített medervándorlás

3.15. táblázat A meder szabályozásának jellemző hatásai (Brookes, A. 1988 nyomán). – 1 = esés; 2 = mélység/szélesség arány; 3 = vízfelület; 4 = összhossz; 5 = mederalak; 6 = fenékanyag; 7 = üledék; 8 = fény; 9 = hőmérséklet; 10 = áramlási sebesség; 11 = a meder kiszáradása; 12 = a víz oxigén(gáz-)tartalma; 13 = pH; 14 = BOI; 15 = KOI

	a folyó tulajdonságai														
	geometriai						fizikai					kémiai			
főbb hatások	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
rövidítés	X	-	X	X	X	X	X	-	-	X	-	-	-	-	-
medermélyítés	-	X	-	-	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-
meder- és partkiépítés	-	X	-	X	X	X	X	-	-	X	-	X	-	-	-
vízi növényzet eltávolítása	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X
parti növényzet eltávolítása	X	-	-	-	-	X	-	X	X	-	X	X	X	X	X
megnövekedett esés és áramlási sebesség	X	X	-	X	X	-	X	-	-	X	X	X	-	-	-

G.C. Nanson és E.J. Hickin (1986) bebizonyították, hogy a meanderező medrek oldalirányú vándorlását nagyrészt a folyó mérete, a meder anyagának szemcsemérete, valamint a mederben és a partján növő növényzet befolyásolja. Az utóbbi 30%-kal is emelheti a Manning-féle érdesség értékét.

A folyószabályozás leginkább a víz hőmérséklet; a turbiditás; az áramlási sebesség megváltoztatásával, a vízmélység és a vízjárás kiegyenlítésével; a folyó menti növényzet eltávolításával, a meder stabilizálásával befolyásolja a folyami és ártéri környezetet.

3.5.1.2. Az ártér lecsapolásának hatásai

A folyószabályozással együtt járó lecsapolások módosítják, sőt ellenkező irányba fordíthatják az egykori árterek talajképződési szekvenciáit (Várallyay Gy. 1992; Várallyay Gy. in: Somogyi S. 2000). A talajvízhatás következtében az ártér magasabb részein a folyószabályozás előtt a rétiesedés volt az uralkodó tendencia. A lecsapolásokkal a talajvízszint lesüllyedt, a sztyepesedés vált dominánssá. Az ártér mélyebb fekvésű helyein (a feltöltődő morotvákban és ártéri lapályokon) a vízrendezések előtt a láposodás volt jellemző, utána megkezdődött a láptalajok átalakulása kotus és lápföldes talajokká, amelyekben a talajvíz közepes szintje akár 1,5–2 m-rel is a felszín alatt van. (A Kapos árterén ennek a folyamatnak különösen nagy a jelentősége.) A *láp megsemmisülés* folyamatát Dömsödi János (1988) a következő szakaszokra osztja:

- a, *statikus* szakasz: vízborítás vagy felszínközeli talajvízszint (a vízrendezések előtt);
- b, *dinamikus* szakasz: lecsapolás hatására a láp felső része leroskad, az alsó tömörödik;

c, *mállási* szakasz: a rostos szerkezet lebomlása, oxidációja, vegyes tőzeg, kotu és lápföld megjelenése (a Kapos völgyében jelenleg jellemző stádium);

d, *deflációs* szakasz: a kiszáradt kotu, lápföld széleróziója, padkásodása, a talajszelvény elvékonyodása.

A lecsapolás következtében fellépő szárazodás a táj mintázatára hátrányos hatással van. Az időszakosan ismétlődő elöntések ugyan vizes élőhelyeket hoznak létre, de ezek az intenzív mezőgazdasági hasznosítású tájban rendszerint elszigeteltek maradnak. Pozitív élőhelyi hatásukat a gyenge konnektivitás miatt csak korlátozottan tudják kifejtetni (ld. a tájökológiai értékelésről szóló fejezetet). (A lápmegsemmisülés a Kapos völgyében tájökológiai szempontból kedvezőtlen, a talajminőséget tekintve azonban kedvező, nagyobb humusztartalmat eredményező folyamat, de szerencsére – az Alföldön kiterjedt és még károsabb következményekkel járó – másodlagos szikesedés itt alig jelent veszélyt.)

A Kapos ártere „jó” példája a folyószabályozás és ártérlecsapolás természetátalakító hatásának. A környezeti állapotok értékelésekor nem lehet eltekinteni az antropogén tájátalakítástól, a táj rehabilitációja érdekében viszont érdemes rekonstruálni a természetes viszonyokat is.

3.5.2. Az árvízveszély és a tájszerkezet

Az ártéren belül (amely definíció szerint árvízveszélyes terület) rendszerint a különböző mértékű árvízveszélyesség öveit is szükséges kijelölni (floodplain zoning – CSIRO 2000; FEMA & NRC 2009). Ennek jogi vonatkozásai is vannak, hiszen a különböző övezetekben történő építkezésekre, fejlesztésekre különböző előírások vonatkoznak.

Az árvízveszély értékelése során kérdésekre kell válaszolni (OAS 1991: hol várható elöntés (tehát meg kell határozni az ártér potenciális kiterjedését); milyen gyakran következik be; milyen tartós és az év melyik szakában várható elöntés?

A geomorfológiai tényezőkön túl a *helyi árvízi elöntés* szintje függ az ártér ökológiai viszonyaitól is, a növényzet sűrűségétől, a földhasználatban alkalmazott művelési eljárásoktól, az áradást megelőző talajnedvesség-állapottól (Mason, L. & Maclean, A.L. 2007). A pangóvízes területek bizonyos földhasználati típusok számára károsak, az efemer vizes területeket viszont a pangóvíz tartja fenn (az árvízi pulzus elmélet értelmében – Junk, W.J. et al. 1989). Az infrastruktúra létesítményei (utak töltései, árvízvédelmi töltések, öntöző- és belvízlevezető csatornák) módosítják az árvíz levonulását, a nagyüzemi mezőgazdasági művelés pedig szintén jelentősen átalakította az elöntés hagyományos mintázatát.

Az *előntés tartóssága* a kiáradó folyó vízhozamától, esésétől és a vízgyűjtő éghajlatától függ. A nagy folyók árteréről lassan vonul le, párolog el, vagy szivárog be a talajba a víz, ezek az árterek hónapokig is előntés alatt állhatnak. A levezető árkok feltöltődhetnek, fenekük az ártér szintje fölé kerülhet. A tartós előntés különösen sokáig tarthat és rontja a táj agroökológiai értékét. (A Kapos 2011 májusi árvize idején is megfigyelhető volt, hogy számos ilyen feltöltődött árok nem tudta betölteni szerepét.)

Mivel az árterek abiotikus környezeti viszonyai a geomorfológiai küszöbértékeket átlépő kritikus vízhozamok idején átalakulnak, az ártéri élőhelyek *térszerkezetét* is az árvizek tér- és időbeli mintázata irányítja. Az árvizek hatásának megbecsléséhez elsősorban visszatérési időközöket kell összevetni a természetes ártéri szukcesszió időtartamával. Ha a két időtartam közel van egymáshoz, nagy a valószínűsége, hogy „érettebb” vegetáció, kisebb térbeli változatosságot mutató ártéri erdő alakuljon ki (Whited, D.C. et al. 2007). Ha az árvizek gyakoribbak, mint pl. a fonatos medrű folyók mentén, inkább a szukcesszió egy korábbi, összetettebb térszerkezetű stádiuma válik uralkodóvá az ártéren (Arscott, D.B. et al. 2002). A közepes visszatérési időköz vagy a bonyolultabb zavarástörténet (évtizedes skálán) maximális térbeli komplexitást eredményezhet (Ward, J.V. et al. 1999).

Az árvízveszélyességi övezeteket korábban hidraulikai, hidrológiai alapon jelölték ki, újabban ebben *ökológiai szempontokat*, pl. a földhasználat területi alkalmasságát is érvényesítenek, az „együtt élni az árvizekkel” szemlélet szellemében (Hooper, B.P. & Duggin, J.A. 1996). Az Ausztráliában kidolgozott tájértékelési módszer szerint a térképezési egységeken belül a *felszínformák*, a *növényzet* és a *talaj* tulajdonságait jellemző adatokat kell beszerezni, mert ezek befolyásolják az árhullámok helyi magasságát. (A talajtípusok jelzik a mikrodomborzatot és a történelmi előntési mintázatot.) Az árvízérzékenységi fokozatok az ausztrál földértékelés legalacsonyabb szintjén (földértékelési egységek, land units) különíthetők el a felszínforma, a növényzet mintázata és az uralkodó talajtípus vízgazdálkodása alapján (Hooper, B.P. & Duggin, J.A. 1996). Az árterek három övre bonthatók: egy kis kockázatú övre, egy árvízi előntésre hajlamos szegélyre és egy árvízlevezető övre (floodway) – mind saját földhasználati megszorításokkal.

Az árvízveszély valódi csökkentése érdekében több figyelmet kell szentelni a *kisebb vízfolyásoknak*, amelyek parti sávjai gyakran még természetközeli állapotban vannak, ezért hatékonyabban be tudják tölteni árvízvédelmi funkciójukat, mint a nagy folyók antropogén hatásra teljesen átalakult hasonló sávjai. A kis vízfolyások ugyan csak méretük arányában tudnak hozzájárulni az árvízvédelemhez, de nagy számukat tekintve, összességében ez a hozzájárulás igen jelentős lehet. A méretarányosság szintén érvényes a kis vízfolyások menti

környezetátalakításra: kis beavatkozás (pl. a burkolt felszínek kisebb növekedése) is drasztikus változásokat (lezúduló lefolyást) vonhat maga után. (Ennek Magyarországon is egyre gyakrabban lehattunk tanúi az utóbbi években.) A sűrűn lakott országokban sajnos már alig van lehetőség az ilyen kritikus jelentőségű folyó menti sávok megkímélésére, kiterjesztésére, ill. helyreállítására. Az ártéri vizes élőhelyek helyreállítása – ahol erre lehetőség kínálkozik – mégis az árvízvédelem leggazdaságosabb megoldása (McCartney, M.P. & Naden, P.S. 1995).

4. Az értekezés céljai

Az árterek tájökológiai jelentőségét holisztikusan, tudományközi és hierarchikus megközelítésben érdemes vizsgálni. Az ártér mint tájökológiai egység nem szakítható ki a hidrológiai egységet képező vízgyűjtő területből, és nem választható el a térbeli hierarchiában közvetlenül felette elhelyezkedő folyóvölgytől, ill. a közvetlenül alatta található folyómedertől, amely szintén részlegesen önálló tájökológiai egység.

Morfogenetikai szempontból az összefüggés-rendszer a folyómederből indul ki, hiszen – csakúgy mint a medret – az árteret is a folyó hozza létre, és az ártéren keresztül kapcsolódik a vízgyűjtőhöz. (Természetesen lehetséges egy másik kiindulópont is, hiszen pl. a vízgyűjtő terület éghajlatából is le lehet vezetni – a lefolyásviszonyokon keresztül – a meder fejlődését.) Az árterek tájökológiai szempontú értékelésének tehát a folyóvízi ökológiai elképzelések közül leginkább a laterális kapcsolatokat hangsúlyozó árvízi pulzus elmélet (flood pulse concept – Junk, W.J. et al. 1989) lehet az alapja. Nehezen megoldható probléma azonban az, hogy a geomorfológiai és az ökológiai folyamatok gyakran teljesen eltérő térbeli és időskálán zajlanak (Post, D.M. et al. 2007). Az ökológiai változások ugyan rendszerint rövid időtávlatúak, de néha meglehetősen hosszú távon működnek (mint pl. a fajok együttfejlődése vagy elkülönülése). Ilyenkor a darwini evolúció és a felszínfejlődés időskálája összemérhető. Máskor a geomorfológiai folyamatok is hirtelen mennek végbe (mint pl. a duzzasztógátak üzembe helyezése vagy éppen lebontása – Montgomery, D.R. & Buffington, J.M. 1993). Viszont mindig igaz, hogy közöttük erős kölcsönhatások működnek (Hupp, C.R. 1992), ezeket a helyes méretarányban kell megragadni (Post, D.M. et al. 2007).

Természetes viszonyok között az ártér fejlődésének mindenesetre mozgatórugója, diverzitásának meghatározója a folyómeder dinamikája (Richards, K. et al. 2002). A természeti tényezők megteremtik a folyómeder és az ártér szoros kapcsolatát, az antropogén hatások a legtöbbször elszakítják az árteret a folyótól. A mentesített árteret a gátak szinte

teljesen elszigetelik a medertől és a rendkívül keskeny hullámtértől. Mivel a Kapos teljes mértékben csatornázott folyó, jelenlegi árterét nem a Kapos-csatorna, hanem a szabályozás előtti folyómeder/medrek felszínformáló hatása alakította ki, ezt az utóbbit kell vizsgálni és kapcsolatba hozni az ártér geomorfológiai jellemzőivel.

A fenti megfontolások értelmében a jelen értekezés fő feladatait, az ártér hidromorfológiai-tájökológiai osztályozását, értékelését, földminősítését és helyreállíthatósági potenciáljának (rehabilitation potential) meghatározását, a következő kérdések megválaszolásán keresztül törekszik elérni:

1. Milyen kiterjedésű volt a Kapos szabályozások előtti ártere? Milyen geomorfológiai folyamatok alakították ki? Milyen egyszerű paraméterekkel lehet az ártér jellegét kifejezni?
2. A megállapított geomorfológiai paraméterek értékei alapján a Kapos árterének milyen típusú szakaszai különböztethetők meg?
3. Igazolhatók-e ártér-morfometriai vizsgálatokkal a Kapos-völgy keletkezésének magyarázatára felállított neotektonikai modellek?
4. Hogyan befolyásolja az ártér geomorfológiai típusa az ártéri táj szerkezetét? Mekkora az ártéri talajok sokfélesége, az ártér pedodiverzitása?
5. Milyen különbségek és összefüggések tapasztalhatók a tágabb vízgyűjtő, a mentesített ártér (különösen annak kritikus sávjai) és a hullámtér tájszerkezete között? Hogyan illeszkedik az ártér tájszerkezete a tágabb környezetébe?
6. Hogyan hat az ártér szerkezete a működésére, a különböző ökológiai, termelő és társadalmi funkciók betöltésére? Hogyan minősíthető az ártér elöntésveszély szempontjából?
7. Milyen az ártér általános termőképessége és egyes növények termesztésére vonatkozó agroökológiai alkalmassága? Hogyan aknázható ez ki a környezeti konfliktusok minimálisra csökkentésével?
8. A fenti kérdésekre adott válaszok összegzéseként, a gyakorlati hasznosíthatóság érdekében feltehető a kérdés: A táj többféle szempontú értékelése alapján mekkora a Kapos-ártér (völgy) helyreállíthatósági potenciálja a különböző szakaszokon?

Hasonló kérdésekre világszerte már számos kutató kereste a választ. Az árterek geomorfológiai osztályozására újabban igen elterjedt egy ausztrál, a folyó energiáját alapul vevő rendszer (Nanson, G.C. és Croke, J.C. 1992). Az árterek funkcióit is sokan kutatták tájökológiai szempontból, és az árterek helyreállításával is jó néhány tanulmány foglalkozik. Természetföldrajzi szemléletben azonban nyilvánvaló, hogy a Kapos árterének több olyan sajátossága van, amely szükségessé teszi az általános modellek finomítását, konkrét alkalmazását.

Ezért a fenti kérdések megválaszolására a következő hipotéziseket állítottam fel.

1. Geomorfológiai szempontból az árterek jellegét leginkább a vízgyűjtő terület, a folyóvölgy és -meder kölcsönhatásai alakítják ki. Ebből következően az ártér keletkezési körülményeit a következő tényezőkkel lehet a legjobban jellemezni: a folyó mederformáló mechanizmusa, a folyómeder völgyi korlátozottsága (river confinement/constraintment) mint természeti tényezők és a folyó szabályozottsága mint antropogén tényező.

2. A Kapos ugyan a közepes méretű folyók közé tartozik, ártere mégis határozott szakaszokra tagolható, amelyek az ártér szélességében, esésében, a szabályozás előtti folyómeder (medrek) völgyi korlátozottságában, természetes eredetű, ill. antropogén formakincsükben jelentősen különböznek. Az egységesnek tűnő ártér tehát különböző geomorfológiai típusokba sorolható. Mivel az eltérések gyakran kis mértékűek, az ilyen altípusok megállapításához a nemzetközi osztályozási rendszereket újabb paraméterekkel kell kiegészíteni, olyanokkal, amelyeknek hazai viszonyok között fokozott megkülönböztető jelentőségük van.

3. A Kapos vízgyűjtő nem csak függőleges értelemben (a völgyközi háta domborzatát tekintve) aszimmetrikus, hanem a völgyi öblözetek (tágulatok) alakja is aszimmetriát mutat. Ezt az aszimmetriát morfológiai paraméterekkel megragadva igazolhatók azok a neotektonikai mozgások, amelyeket a geológusok (Magyari Á. 2004, 2005; Síkhegyi F. 2008) javasoltak a szerkezeti domborzat (és ennek folyamánként a vízhálózat) magyarázatára.

4. Az ártér formakincse – elsősorban a felszín mikrotopográfiai tagoltságán és vízellátottságán keresztül – alapvető hatást gyakorol a tájökológiai viszonyokra (mind a természetes növényzet foltmintázatára, mind pedig a társadalmi földhasználat mintázatára). Az ökológiai és természetvédelmi szempontból rendkívül értékes vizes élőhelyek fennmaradása részben a természetes ártérfejlődési folyamatok, részben a mesterséges (emberi) beavatkozások előre jelezhető következménye. Az ártér pontosan megállapított geomorfológiai típusából az előbbi tendenciái kikövetkeztethetők. Mivel az ártér természetes növényzete csak igen kis foltokban maradt fenn, annak egykori mintázatára ma már leginkább csak az ártéri talajváltozatok eloszlásának mintázatából lehet következtetni. Ha bebizonyosodik, hogy a talajok diverzitása (pedodiverzitás) lényegesen nagyobb mint a növényzetfoltok diverzitása, akkor a talajfoltok mintázata felhasználható az ártér rehabilitációjának megtervezésében.

5. Az ártér kisebb tagoltsága ellenére az ártéri tájszerkezetet nagyobb táji diverzitás jellemzi, mint a vízgyűjtő környező területeit, ahol rendszerint homogénebb a földhasználat. Táji szinten a kisebb vízfolyásokat kísérő árterek (parti övek) is fontos szerepet töltenek be

mint élőhelyek és mint ökológiai folyosók egyaránt. A folyómeder, a hullámtér és a mentett oldali ártér laterális kapcsolatai meghatározó jelentőségűek az ártéri ökoszisztéma működésében. A meder vízminősége és élővilága szempontjából különleges jelentősége van annak, hogy az ártér peremi sávjában, mint a legfontosabb kritikus zónában, mennyire folytonos a növényzetborítottság (Burt, T.P. & Haycock, N.E. 1996; Burt, T.P. 1997; Burt, T.P. & Pinay, G. 2005).

6. Az ártér szerkezete összefüggésben áll funkcióinak betöltésével. Minél inkább természetközeli ez a szerkezet, ill. minél kisebb az ártéri földhasználat intenzitása, annál eredményesebben tudja betölteni az ártér ökológiai funkcióit. A tájszerkezetnek az ártér fő hidrológiai funkciójában, az árhullámok levezetésében is jelentős szerepe van. Az antropogén ártéri formák, egyedi tájelemek jelentősen befolyásolják az elöntések helyét és kiterjedését.

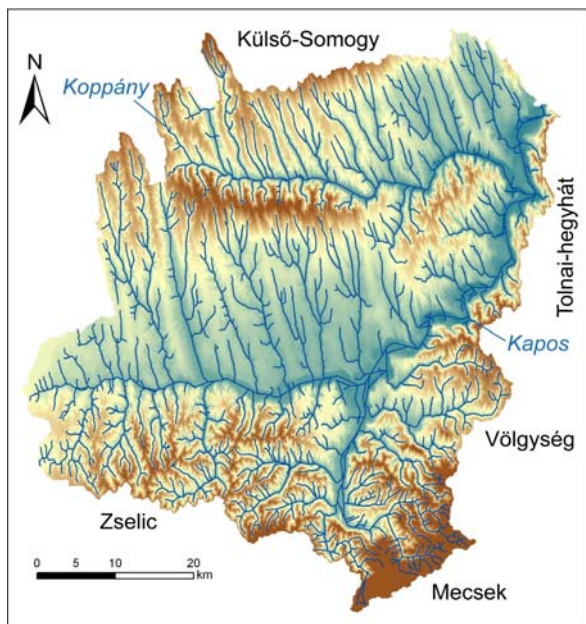
7. Az optimális földhasználat kialakítása érdekében meg lehet találni az ártér agroökológiai potenciáljának és tájökológiai adottságainak a leginkább megfelelő térszerkezetét. A gabonafélék, olajnövények nagyüzemi termesztése helyett környezeti szempontból a takarmánytermesztést, a gyepgazdaságot és speciális kultúrákat kell előnyben részesíteni.

8. Az árterek rehabilitációjának (a természetközeli állapotok helyreállításának) lehetőségei – ha most a társadalmi feltételektől eltekintünk – számos tényezőtől függenek: az árterek méretétől, a természetes geomorfológiai viszonyoktól (a folyó mechanizmusától, az ártér formakincsétől), valamint az ártér földhasználatától (tájszerkezetétől). A hidrogeomorfológiai viszonyoknak megfelelő tájszerkezet helyreállítása a rehabilitáció elengedhetetlen feltétele. Az ún. helyreállíthatósági potenciál (WWF International 2010), a meder és az ártér közötti kapcsolatok (konnektivitás) visszaállíthatósága tehát az egyes ártérszakaszokon különböző. Az ártérszakasz hidromorfológiai és tájökológiai jellegétől függ, hol jár ez a legnagyobb környezeti előnyökkel és (feltehetőleg) még elviselhető beruházási költségekkel.

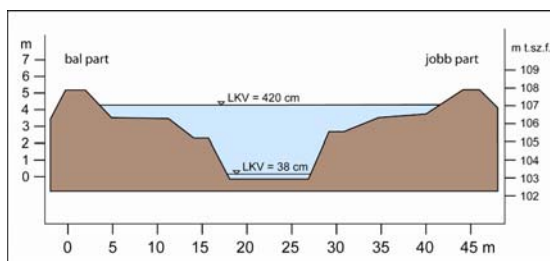
5. Kutatási terület: a Kapos ártere

A Kapos európai viszonylatban kisebb, a Kárpát-medencében közepes méretű folyónak számít: hossza 112,7 km, vízgyűjtő területe 3128,4 km². Ártere (a mellékvizek nélkül, saját vizsgálatok szerint) 104,2 km² (a vízgyűjtő 3,3%-a – ugyanannyi, mint a Duna ártere – Schwarz, U. 2011). Kelet-Külső-Somogyban, Kiskorpádtól D-re ered, 180 m tengerszint feletti magasságban, két, kb. 2 km hosszú, mesterségesen felduzzasztott forrással. Somogy, Baranya és Tolna megye területén összesen 27 jobb oldali, és 28 bal oldali, többé-kevésbé

állandó vízszállításának tekintett vízfolyás táplálja. A Kapos A.N. Strahler (1957) rendszerében ötödrendű vízfolyás – tehát még az észak-amerikai folyók között is lehetne közepes méretűnek nevezni (Allan, J.D. & Castillo, M.M. 2007). Mellékvizei közül csak a Koppány negyedrendű, a Surján-, az Orci-patak és a Baranya-csatorna harmadrendűek. A Kapos Tolna és Fejér megye határán, a Tolnai-hegyhát peremén, az egykori tolnanémedi kendergyár mellett torkollik a Sió-csatornába, annak 79. folyókilométerénél, amelyen keresztül vize a Dunába jut. Elsősorban Külső-Somogy (Magyarország kistájkezelési területe [Dövényi Z. 2010] szerinti kódja: 4.3.12 és 4.3.13), azon kívül Észak-Zselic (4.4.41), a Baranyai- (4.4.12) és a Tolnai-hegyhát (4.4.22), valamint a Mecsek északi lejtőinek (4.4.11) vizeit gyűjti össze (5.1. ábra). Közepes vízhozama Pincehelynél, a torkolat közelében sokéves átlagban $6,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. (Aszályosabb időszakokban jóval kevesebb).



5.1. ábra A Kapos folyó vízgyűjtő területe



5.2. ábra A Kapos-csatorna mederszelvénye a kurdi vízmércénél (1987. évi felvétel, a 0 vízszint tengerszint feletti magassága: 102,83 m)

A Kapos – legfelső néhány kilométeres szakaszát kivéve – teljes mértékben csatornázott, jórészt mesterséges mederben fut. Hullámteret minimálisra korlátozott, a gátak a folyó egész hosszában egymástól kb. azonos távolságban, 35–40 m-re épültek meg, amint azt a kurdi vízmérce mederszelvénye is mutatja (5.2. ábra). A meder szélessége 10–15 m, közepes mélysége 1,4 m.

A jelen értekezés tárgya ugyan szűkebb értelemben csupán a Kapos folyó ártere, a kutatási terület jellemzésébe azonban célszerű bevonni a folyó teljes vízgyűjtőjét, hiszen annak természeti környezete határozta meg az ártér fejlődését, geomorfológiai viszonyait is. A környezeti viszonyokat a rendelkezésre álló szegényes természetföldrajzi forrásmunkákból gyűjtött és térképekről, digitális terepmodellből kinyert adatokkal, valamint földtani modellek geomorfológiai vonatkozásainak segítségével mutatom be.

5.1. A Kapos-vízgyűjtő szerkezeti felépítése és domborzata

A 5.1. táblázat feltünteti a legfontosabb domborzati adatokat a Kapos vízgyűjtőjéről, kiemelve azokat a vízfolyásokat, amelyeknek jelentősebb méretű árterük van (5.3. ábra).

5.1. táblázat A Kapos és fontosabb mellékfolyói vízgyűjtőjének domborzati adatai (50 m felbontású magassági modellről). A **vastagon kiemelt** adatok a szélsőségesen magas, ill. alacsony értékek

a vízgyűjtő...	Kapos	Koppány	Orci-patak	Surján-patak	Baranya-csatorna
legalacsonyabb pontja (m)	100,5	103,3	121,3	122,8	114,3
legmagasabb pontja (m)	583,2	311,1	274,2	280,8	583,2
relatív reliefe (m)	482,7	207,8	152,9	157,9	468,9
közepes magassága (m)	176,4	176,8	167,7	191,1	209,9
legnagyobb lejtőszöge (°)	27,1	15,4	10,5	16,3	24,9
átlagos lejtése (°)	3,5	3,5	2,7	6,0	5,6
vízfolyás-sűrűsége (km/km ²)	0,75	0,69	0,60	0,74	1,09



5.3. ábra A Kapos vízrendszer részvízgyűjtői a vízmércék helyeinek feltüntetésével

A vízgyűjtőt alkotó dombságok fő tömegét késő-miocén (pannon) homokok és agyagok építik fel (Szilárd J. 1967; Csontos, L. et al. 2005). Rétegsoruk a folyók mentén húzódó gerinceken, ahonnan a lösztakaró lepusztult, a felszínre is kerül. A lejtőkön helyenként 25 m vastag a pleisztocén lösz, K felé fokozatosan vastagodik (Szilárd J. 1967). A völgyeket legfeljebb 15 m vastagságban tölti ki, alatta vastag homokösszletek következnek. A negyedidőszaki üledékek összvastagsága – a dombóvári vízkutató fúrások tanúsága szerint – jelentős és igen változatos: Dombóvár határában 121 m, keletebbre, a Döbrököz feletti öblözetben 53 m

(Némedi-Varga Z. 1977). A lösz paleotalaj-közbetelepüléseinek meghatározása lehetővé tette a litosztratigráfiaiilag egységes formáció felosztását idős- és fiatal löszsorozatra (Pécsi M. 2003). Az idős sorozat elterjedési határa jellemzően a Kapos-folyó vonalától délre és Belső-Somogytól keletre a Zselic, a Tolnai- és Baranyai-dombság és a Duna vonaláig húzódik.

5.1.1. Fiatal szerkezet- és domborzatalakulás, a vízhálózat és a neotektonikai mozgások összefüggése

Korábban Külső-Somogy vízhálózatának sakktáblaszerű mintázatát a földtani szerkezet közvetlen tükröződéseként értelmezték (Szilárd J. 1965, 1967). A természetföldrajzban jelenleg is megfigyelhető, hogy az ÉNy–DK-i irányú hosszanti (meridionális) völgyekre (a fő lejtésirányra) merőleges fővölgyeket nevezik keresztvölgyeknek (Mezősi G. 2011), a geológusok szerint viszont ezek hosszanti (a szerkezeti mozgások csapásirányába eső) völgyek. A terület szerkezeti felépítésének magyarázatára az idők során négyféle elképzelés alakult ki (Magyari Á. et al. 2005):

1. A neogén aljzat egységei, „táblái” normális vetődések, függőleges elmozdulások és D-i irányba történő kibillenés által nyerték el mai helyzetüket (Cholnoky J. 1918).

2. A domborzati szintkülönbségek létrejöttében elsősorban K-Ny-i redőződés játszott szerepet (Pávai-Vajna F. 1926).

3. Még a lemeztektonikai értelmezés előtt elterjedt az a felfogás, hogy a domborzat ÉNy–DK-i irányú vízszintes nyomóerők okozta feltolódások eredménye (Erdélyi M. 1961, 1962). Külső-Somogyban ugyanis a kompresszió fő iránya az óramutató járásával ellentétesen ebbe az irányba fordul. Erdélyi M. (1961, 1962) a negyedidőszaki mozgások (kiemelkedések, süllyedések) alábbi nyomait mutatta ki Külső-Somogyban:

- A Balaton D-i partja közelében (Fonyódnál és a boglári hegyeknél) 120 m üledékhiányt feltételez a késő-pannon (miocén végi) üledéksorban (amely D felé egyre kisebb mértékű).

- „Záporpatakok” üledékeinek tartja az aprózódott-mállott homokkő- és márgadarabok felhalmozódását, és helyzetükből nagy helyi relatív reliefre következett.

- A középhegységi eredetű folyóvízi homok helyenként 10–15 m magasan található meg a hosszanti völgytalpak alatt, a Kapos völgyének egyes helyein viszont 30–70 m-rel a völgytalp felett, a völgy oldalában.

- A negyedidőszaki rétegek kisebb zavarai inkább suvadásos, mint vetődéses eredetűek, ami megint csak azt igazolja, hogy megnövekedtek a domborzati szintkülönbségek.

- Természetesen a keresztvölgyekben kialakult völgyi vízválasztók is a fiatal kiemelkedés látványos bizonyítékai.

4. Szintén az üledékföldtani viszonyok tanulmányozásán, valamint gravitációs és mágneses anomáliák térképezésén alapult a K–Ny-i irányú jobbos eltolódások feltételezése a Külső-Somogyi-dombság területén (Némedi-Varga Z. 1977).

Nemrég részletes és sokoldalú megközelítésű morfostrukturális elemzések kezdődtek, amelyek azt tekintették a legfontosabb feladatuknak, hogy üledékföldtani módszerek alkalmazásával egyértelműen elkülönítsék a tektonikus és a gravitációs (lejtős tömeg-) mozgásokat (Magyari, Á. et al. 2005; Csontos, L. et al. 2005). A Kapos völgyét, mint a többi ún. „longitudinális” (hosszanti, a lemeztektonikai mozgások irányába eső) völgyet is, mindenképpen neotektonikai mozgások hozták létre. A mellékvölgyek („meridionális”, „transzverzális” vagy harántvölgyek, ÉÉNy – DDK-i csapásiránnyal) tektonikus vagy exogén geomorfológiai eredetéről ellenben viták folynak. (Az utóbbi jelentheti konzekvens vízhalózati kialakulását kibillent neogén tömbökön vagy – száraz környezeti viszonyok között – nagy mértékű szélerezíziót is [Sebe, K. et al. 2011].)

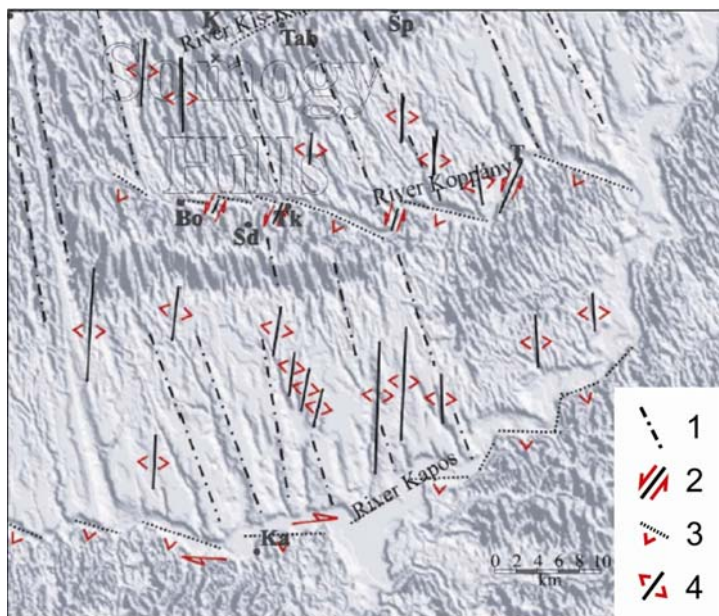
Az általánosan elfogadott vélemény szerint a Dunántúl geodinamikai helyzetét az jellemzi, hogy süllyedése a pleisztocén végén lezárult, az egész Pannon-medencében kompresszió vált uralkodóvá, ami a medence fokozatos inverzióját okozza. Helyi extenziós mozgások mellett, napjainkban a kompresszió hatására a Dunántúl nagy része kiemelkedően van. Az extenzió során létrejött normál vetők kiújultak, de napjainkban feltolódási síkként működnek (Síkhegyi F. 2008).

A távérzékeléses források felhasználásával készített lineamentum-térképeken (Síkhegyi F. 2008) világosan kirajzolódik, hogy a Kapos völgye minden szempontból eltérő jellegű földtani egységeket választ el. A DK felé lejtő, radiális vízhalózati mintázatú felszín élesen metsző fűrészfogas, többszörösen megtört, cikcakkos lefutású hosszanti völgy. Síkhegyi F. (2008) szerint a Közép-magyarországi törésöv egyes töréseinek megújulását jelzi. A törések mentén horizontális és vertikális elmozdulások egyaránt zajlanak (transzpressziós jellegű mozgás). A Tolnai-hegyhát jelenleg is tartó erős kiemelkedése is a Közép-magyarországi törésöv részleges aktivitását igazolja. A különböző időpontokban végzett geodéziai szinkronizációk adatainak összehasonlításából (Joó I. 1998) ugyan nem lehet kimutatni, hogy magát a Kapos völgyét is jelentősebb függőleges irányú mozgások érintenék, tőle É-ra azonban a Külső-Somogyi-dombság, D-re pedig a Zselic, a Baranyai-dombság és elsősorban a Tolnai-hegyhát, tehát a Kapos-vízgyűjtő túlnyomó része jelenleg emelkedik. Tehát a völgy viszonylagosan süllyed, a dombságok területén a relatív relief – és vele együtt a vízfolyások energiája – nő.

Külső-Somogyra tehát a Közép-magyarországi zóna egyes töréseinek jobbos elmozdulásokkal kísért felújulása a jellemző. A jobbos transzpressziós elmozdulások rotációt és kiemelkedést okoznak, így alakul ki a hosszanti völgyek sajátos, fűrészfogas lefutása (Síkhegyi F. 2008, ld. lejjebb). Ezt Magyari Á. és szerzőtársai (2005) megfigyelései is alátámasztják. Számos jel utal azonban arra, hogy negyedidőszaki fejlődéstörténet nem volt egyöntetű. A lemeztektonikai helyzetnek megfelelően a geodinamikai folyamatokat „működtető” feszültségterek (bár egymást kölcsönösen kizárják) többször válhattak egymást. (A feszültségterek interpretációját akadályozza, hogy a vizsgált területen kevés a mélyfúrás.) A morfotektonikai vizsgálatok szerint a pleisztocénvégi-holocén neotektonikai hatások a következő szakaszokban követték egymást (Magyari, Á. et al. 2005):

1. A pleisztocén végétől ÉNy-DK-i (NyÉNy-KDK felé forduló) kompresszió alakult ki. Eredménye lapos feltolódások sorozata volt a longitudinális völgyekben. A gyakori völgyi vízváltakozók pedig elnyúlt gyűrődés következtében jöhettek létre. É-D-i irányú elnyíródások és ÉNy-DK-i normál vetők is előfordulhattak, sőt jelenleg is aktívak lehetnek. A meridionális völgyek domborzatában megjelenik a laterális transzpresszió, az en échelon redők hatása.

2. A pleisztocénben és a holocénban KDK-NyDNy-i kompresszió és rá merőleges irányban extenzió is jellemző volt. Eredményei KDK-NyDNy-i irányú normál vetők és ÉK-DNy-iból NyÉNy-KDK-ibe forduló elnyíródások, ferde feltolódások.



5.4. ábra A Dél-Dunántúl morfostruktúrája a negyedidőszak végén, neotektonikai elemzések alapján (Magyari, Á. et al. 2004). Szerkezeti elemek: 1 – sugárirányú völgyek és háta; 2 – oldalirányú eltolódások; 3 – feltolódások; 4 – kulisszás redők csapása

3. A szintén a pleisztocén végén kezdődhetett É-D-i (ÉÉK-DDNy-i) kompresszió valószínűleg jelenleg is tapasztalható és (Magyari és szerzőtársai szerint balos) eltolódásokat

okoz. A megújult vetők akár száz méteres elcsúszásokat is okozhatnak a longitudinális völgyek futásában és D-i vergenciájú feltolódásokkal párosulhatnak (5.4. ábra). (Az eltolódások jellegének azonosítását az általuk kiváltott rotációs mozgások nehezíthetik.)

A törésvonalak, amelyek mentén ezek a mozgások lezajlanak, azért azonosíthatók nehezen, mert az aljzat törései a felszín felé közeledve seprűsen szétágaznak. Főleg a Koppány völgyében mutattak ki pozitív virágszerkezeteket szeizmikus szelvényekben (Magyari Á. et al. 2005), de ilyenek a hasonló szerkezetű Kapos-völgyben is előfordulhatnak. A feltolódások a domborzatban aszimmetriát okoznak, máskor a törések hatása esetleg egyáltalán nem észlelhető a felszínen, vagy csupán közvetett módon nyilvánul meg a felszínformákban. Már Erdélyi M. (1962) is említi, hogy a leggyorsabb kiemelkedés sávja nem esik egybe a Kapos-völgy D-i, meredek oldalának dombvonulatával, a suvadások és a medervándorlás miatt a domborzat lényegesen módosulhatott. Ebben a sávban a hosszanti völgyekben futó folyók meanderező medermintázata fonatosra vált. Az alámosott völgyoldalak ma is jól rekonstruálhatók.

A jelenlegi tektonikus aktivitásnak szeizmológiai bizonyítékai is vannak. A harmad- és negyedidőszaki szeizmikus események nyomai (ún. szeizmiték alakjában) gyakran kimutathatók a külső-somogyi feltárásokban (Magyari, Á. et al. 2005; Csontos, L. et al. 2005). A magyarországi földrengések fészekmélysége általában a felszín alatti 10–12 km-nél sekélyebbek (Tóth L. 2001), mivel a Kárpát-medencében a litoszféra vékony. A sekély fészekmélységek azt sugallják, hogy a rengések és a felszínalakító folyamatok között közvetlen kapcsolat lehet (Síkhegyi F. 2008). A Kapos-vonal csapásában igen markánsan kirajzolódik egy aktív szeizmikus öv. A történelmi időkben a Kapos meder 5 km-es körzetébe 16 földrengés epicentruma esett, 1994 (a paksi szeizmológiai monitoring kezdete óta) pedig 8 darab, a Richter-skálán 3-as magnitudónál kisebb rengés fordult elő (Tóth, L. et al. 2008). Itt is jellemző azonban az, hogy a rengésfészkek nem közvetlenül a főtörés felett, hanem attól északra helyezkednek el. Síkhegyi F. véleménye szerint „a felszín közelében virágszerkezetté szétváló felületek felszíni vetületéről van szó” (Síkhegyi F. 2008 – 43.o.).

Külső-Somogy keleti felében a meridionális völgyek (Pogány-völgyi-víz, Tetves-, Orcipatak) oldala több helyen feltárja azokat a homoktesteket, amelyeket a Dunántúli-középhegységből D-i, DK-i irányban folyó vízfolyások raktak le a korai-középső pleisztocénben. A homokkibúvások egyfelől arról tanúskodnak, hogy a meridionális völgyek egy része már ekkorra kialakult, másfelől a középhegység előtere (a mai Balaton-árok) akkoriban kiemelt helyzetű, lepusztulási terület volt. A patakok folyásiránya csak később, a Balaton-árok besüllyedése után fordult meg, váltott ÉÉNy-i irányba.

5.1.2. A jelenlegi domborzat

A dél-dunántúli völgyhálózat legfőbb jellegzetessége a hosszanti, a szerkezeti főirány csapásába eső, aszimmetrikus völgyek (Zala, Kapos, Koppány, Jaba, Alsó-Válicka stb.) sajátos rajzolata: gyakori és meglehetősen szabályos irányváltásuk, a völgytalpak öblözeteinek és szűkületeinek váltakozása. Bármilyen szembetűnő is, erre a cikcakkos, fűrészfog jellegű lefutásra a korábbi szakirodalomban nem található kielégítő magyarázat. A geomorfológiai kutatások során Külső-Somogy hosszanti völgyeit kibillent táblák É-i szegélyén kialakult süllyedékeként értelmezték (Marosi S. & Szilárd J. 1958). Az aszimmetrikus völgyek D-i, meredekebb oldalán normál vetőket feltételeztek, amelyek mentén a kompresszió hatására a táblák kiemelkedtek, ill. feltolódtak (Erdélyi M. 1962). Erdélyi M. (1962) szerint az egyes táblák DDK-i, lesüllyedő sarkán alakultak ki az öblözetek, az ÉÉNy-i sarkuknál pedig a szűkületek, amelyek valószínűleg kaptúrák sorozatain keresztül kapcsolódtak össze egyetlen völgygé.

Külső-Somogy hosszanti irányú fővölgyeit Síkhegyi F. (2008) szubszekvensnek tartja, amelyek megszakítják, elfedik, vagy elmozdítják a meridionális völgyeket, ezért náluk korban fiatalabbak. A hosszanti völgyek keletkezésére legutóbb a következő – a korábbiaktól lényeges pontokban eltérő – elvi magyarázat született (Síkhegyi F. 2008, 85–86. o.): az eredetileg sugaras vízhálózatú területeken oldalirányú nyomásra nyírófeszültségek és oldalirányú elmozdulások lépnek fel, ami elfordulással (rotációval) is jár, kompressziót és redőződést, végső soron „fűrészfogas” szerkezetet okoz. „A fő oldalelmozdulás felett a kiemelkedő és elforduló képződmények burkoló vonala cikcakkos lefutású lesz” (Síkhegyi F. 2008). Van a fő oldalelmozdulással közel derékszöget bezáró áruk, és vele párhuzamos, kevésbé elforduló áruk. Mindez azonban csak egy keskeny, néhány kilométer széles elnyíródási sávban jellemző a fő törésvonal mentén, kb. Kurd környékéig. A Kapos völgye ezután ÉK-i, majd É-i irányba fordul. Szerkezeti preformáltságára a 6.6. ábrán közölt modell sem ad magyarázatot. Az irányváltozás oka az lehet, hogy a Tamási-vonal mentén kompresszió lép fel (Síkhegyi F. 2008), amely a Tolnai-hegyhát recens kiemelkedését is okozza.

Az antitetikus mozgó homlokfrontok feltolódnak a völgyet szegélyező blokkokra és zárt extenziós medencéket választanak el egymástól. A homlokfrontok feltolódása meredek lejtőket hoz létre, amelyek felszínleöblítéssel és suvadással is pusztulnak, a lösztakaró eltávolításával helyenként feltárják a késő-miocén rétegsort. A lejtőüledékek nagyrészt recens suvadásos képződmények, amelyek légifelvételekről jól kimutathatók (Síkhegyi F. 2008). A mellékvölgyek kijárataiban hordalékkúpok halmozódtak fel. Az öblözetekben tavi, majd a

történelmi időkben mocsári, lápi üledékképződés folyt az óholocén mogyoró fázistól (kb. 8000 évvel időszámításunk kezdete előtt) a bükk I. fázisig (kb. i.e. 1000 év), sőt helyenként egészen a lecsapolásokig (Dömsödi J. 1988). A tőzeglápokkal kitöltött ártéri lapályok lefolyástalanságát csak a folyószabályozás szüntette meg (Bencze G. 1970). Az 1970-es években összeállított tőzegkataszter a Kapos és mellékvizei völgyében 851 ha területen $9\,140\,000\text{ m}^3$ tőzegkészletet regisztrált (erősen csökkenő trenddel – Dömsödi J. 1980). A forrásvidéken rostos tőzeg fordul elő 5–6 m vastagságban, az alsó szakaszon Regölynél a lápföldes-kotus réteg 1 m vastag (Gergely E. et al. 2000).

A Dél-Dunántúl nagy részére jellemző, a Kapos vízgyűjtőjén (Külső-Somogyban) pedig különösen erős völgyaszimmetriából következik, hogy az É-i völgyoldalakon általában nincsenek markáns teraszok, a völgyek mentén üledékmentes terasszerű tereplépcsők sorakoznak. Gyakran a mellékvölgyek hordalékkúpjai is beleolvadnak ezekbe a szintekbe. Az É-i völgyoldalak jellemzően mindössze 2.5–3.5°-kal lejteneek, míg a jóval meredekebb D-iek 15–25°-os É-ias lejtők is előfordulnak (5.1. táblázat). Az É-i lejtőket csuszamlások, vízmosások tagolják és teszik változatossá domborzatukat. Ugyanakkor mindkét völgyoldalon megfigyelhetők a medervándorlás következtében alámosott szakaszok.

A völgyésűrség a Mecseknek a Kapos vízgyűjtő területéhez tartozó részén a legnagyobb, de a Zselicben és a Koppány mentén is igen nagy, 8-10 völgy/km², a völgyközi háta általában csupán 150-200 m szélesek (Völgy Hangja 2009). A domborzat aszimmetriája az É-i és a D-i völgyoldalon a mellékvölgyek különböző futásirányában is tükröződik (5.1. ábra). A Balatontól D-re emelkedő háta (Boglári-, Karádi- és Földvári-hát) É-on, a vízválasztón eléri a 300 m tengerszint feletti magasságot (a Gyugy-hát Kőröshegy felett 311 m magas), majd a Koppány völgyén túl még egyszer csaknem ugyanilyen szintre emelkednek (a József-hegy Somogydöröcske felett 297 m) (Ádám L. et al. 1981). A Kapos mentén Dél-Külső-Somogy lapos löszfelszín 150 m körüli tengerszint feletti magasságban, tál alakú deráziós völgyek szabdalják fel.

5.2. Éghajlat

A vízgyűjtő terület uralkodó éghajlattípusa a Ny-i felén, a Kapos felső szakasza mentén szubatlanti. Az évi középhőmérséklet néhány tized fokkal 10°C felett van (5.2. táblázat). Az évi csapadék összege 660–720 mm, Dombóvárott az 1901–1970 közötti időszak átlagában 714 mm (Hajósy F. et al. 1975), 1951-2000 átlagában 673 mm (5.3. táblázat). K-en az éghajlat inkább szubkontinentális (az évi középhőmérséklet 10,5°C, a csapadék mennyisége 570–700 mm). A csapadék évi eloszlása meglehetősen egyenletes, a kapásnövények

tenyészidőszakára sokéves átlagban 350–400 mm jut. A legcsapadékosabb hónap a május, de mediterrán hatásra a téli félév csapadéka is jelentős (300 mm feletti), októberben pedig gyenge másodlagos csapadékmaximum mutatható ki (Ádám L. et al. 1981). A csapadékosabb években bármelyik hónap csapadékösszege meghaladhatja a 100 mm-t, a májusé és a júniusé pedig a 200 mm-t is. A Kapos vízgyűjtőjén a 24 órás csapadék abszolút maximuma 1929 június 21-én Kaposvárott volt észlelhető (92 mm). Ezt a rekordot megközelítette az 2010 május 16-án, Csikóstóttősen hullott 86 mm, amely villámárvizet okozott a Hábi-csatornán (Pirkhoffer E. et al. 2010). A csapadékatadatokból is kiderül, hogy aszályosság szempontjából a Kapos völgye nem veszélyeztetett terület. Külső-Somogyban az uralkodó szélirány az É-i és az ÉK-i, így a hosszú, D-ies lejtők szélvédelmet élveznek (Ádám L. et al. 1981). A „szubmeridionális” (ÉÉNy–DDK-i irányú) völgyek viszont gyakran szélcsatornák.

5.2. táblázat A havi középhőmérséklet sokéves átlaga a Sió-Kapos vízgyűjtő egyes meteorológiai állomásain, °C (forrás: OMSz)

állomás (tszf. mag.)		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	év
Högyész (134 m)	1901-1950	-1,6	-0,1	5,2	10,4	15,4	18,9	21,2	20,4	16,0	10,4	4,7	0,6	10,1
Kaposvár (151 m)	1901-1950	-1,0	0,7	5,7	10,5	15,4	18,6	20,7	19,5	15,8	10,8	5,4	1,3	10,3
	1961-2000	-0,5	1,5	5,8	11,0	15,9	18,9	20,7	20,0	16,1	10,8	5,2	0,7	10,5
Siófok (112 m)	1901-1950	-1,1	0,5	5,6	10,6	15,9	19,0	21,0	20,1	16,2	10,8	5,0	0,9	10,3
	1957-2000	-1,0	1,1	5,3	10,9	16,1	19,5	21,2	20,7	16,5	11,1	5,5	1,0	10,7

5.3. táblázat A havi átlagos csapadékmennyiség sokéves átlaga a Sió-Kapos vízgyűjtő egyes meteorológiai állomásain, mm (forrás: Hajósy F. et al. 1975; OMSz)

állomás (tszf. mag.)		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	év
Dombóvár (140 m)	1901-1950	40	40	43	61	77	73	64	64	63	69	65	48	707
	1951-2000	38	38	38	51	59	81	75	66	58	49	64	55	673
Högyész (134 m)	1901-1950	39	40	40	56	67	70	59	61	56	61	61	44	654
	1955-2000	43	43	40	52	57	84	78	70	57	49	68	62	702
Kaposvár (151 m)	1901-1950	42	41	44	59	77	76	66	63	61	72	64	50	715
	1951-2000	40	38	40	54	68	91	75	72	57	52	69	54	710
Karád (205 m)	1901-1950	38	38	40	55	75	69	62	72	59	63	60	45	676
Siófok (112 m)	1901-1950	37	39	36	48	65	63	58	63	54	59	56	45	623
	1951-2000	34	33	34	43	54	68	57	58	48	43	60	48	579
Tab (175 m)	1901-1950	39	40	38	53	72	68	58	69	57	61	62	47	664
	1951-2000	38	37	36	48	62	84	72	71	52	45	64	52	661

5.3. Vízrajz

5.3.1. A vízhálózat mintázata

A dél-dunántúli vízhálózat sajátos rajzolata régóta tárgya a szerkezetmorfológiai kutatásoknak. Dél-Dunántúlon belül a Kapos-vízgyűjtő legnagyobb részét kitevő Külső-Somogy vízhálózata tulajdonképpen három alaptípus közötti átmenet:

1. Ha a vízrendszer összhosszában túlnyomó részt kitevő, merev, ÉÉNy-DDK-i futású, ún. „szubmeridionális” mellékvölgyek sorozatát tekintjük, leginkább *párhuzamos* vízhálózatról beszélhetünk.

2. Ha figyelembe vesszük, hogy ezeknek a vízfolyásoknak az É-i iránnyal bezárt szöge K felé egyre növekszik, a vízhálózatot kis mértékben *radiális* jellegűnek, legyezőszerűen szétterülőnek is minősíthetjük.

3. Ha pedig Külső-Somogy jelentősebb, (legalábbis a táj Ny-i kétharmadán) Ny-K-i irányú vízfolyásait is a vízhálózat szerves részének tekintjük, sakktáblás megjelenésű, megközelítőleg *derékszögű* mintázati kép rajzolódik ki. (Megemlítendő azonban, hogy a vízhálózat jelenlegi rajzolata csak nagy vonalaiban természetes eredetű, részleteiben az emberi beavatkozások, azaz a folyószabályozások, mellékág-feltöltődések, torkolat-áthelyezések, duzzasztások következménye.)

5.3.2. Folyószabályozás

A domborzat kialakulásával kapcsolatban már volt szó a vízhálózat fejlődéséről. A Kapos vízrendszer vízfolyásai azonban csak nagyon kis százalékban, csupán a legfelső szakaszaikon vannak természetközeli állapotban, egyébként az Európai Unió Víz Keretirányelve (European Commission 2000) szerint az *erősen módosított vízfolyások* kategóriájába tartoznak.

A 19. század legelején, a napóleoni háborúk idején megnövekedett a gabona iránti kereslet, új termőföldek művelésbe vételére nem csak az Alföldön, hanem a Dunántúlon is lecsapolási munkák kezdődtek (pl. az ozorai és a dombóvári Eszterházy-uradalmakban, a piarista mernyei uradalomban stb. Bencze G. 1970). Az 1802 és 1805 közötti vízrendezések célja egyben a Kapos és a Koppány árvízi kártételeinek csökkentésére, árterük szabályozása is volt. Beszédes József két mérnöktársával, Herman Jánossal és Obersteiner Antallal 1816-1820 között elkészítették a már szabályozás alá fogott Sárvízzel összefüggő Kapos teljes rendezési tervét. Beszédes 1819-től kapcsolódott be a Kapos szabályozásának munkálataiba. 1820-ban alakult meg a Kapos vizét szabályozó társulat, de az érdemi szabályozási munkálatokat csak 1826-ban kezdték meg és 1829-re fejezték be Tolna megyében. A felső, Somogy megyei szakaszt 1830 és 1839 között szabályozták (Ihrig D. 1973). Nagyobb szabású szabályozási munkálatok újra 1929–1931 között folytak. A meder és az ártér azonban jelenlegi alakját a legutóbbi, az 1950-es években végzett beavatkozások során kapta. Teljesen mesterséges mederkeresztmetszetet alakítottak ki (5.2. ábra), a hullámteret minimálisra szűkítették.

A Kapos mocsaras völgyében Beszédes a fő- vagy szárítócsatorna mellett a völgytalp két szélén, a mellékvizek felfogására egy-egy „*félreszorító csatornát*” (mai szóhasználattal övcsatornát) tervezett kialakítani. Pénzhiány miatt azonban csak a fő Kapos-csatorna épült

meg (Bencze G. 1971, 2000). 1835-re készült el a Sió és a Kapos 176 km hosszú csatornája. A társulati adatok szerint összesen 55 000 ha árteret mentesítettek (Károlyi Zs. 1960), ezen belül a Kapos völgyében 1545 ha, malomgátak mögötti tavat szüntettek meg (Ihrig, D. 1973).

A 20. században – a gátak magasításán, javításán kívül, a legfontosabb vízrajzi változás az volt, hogy a Kapos mellékvizein, ill. a Koppány mentén *árapasztó tározókat* létesítettek. Ezek funkciója idővel megváltozott, egyre inkább halastavakként hasznosították őket, ami fokozatos feliszapolódásukkal jár, és veszélyezteteti eredeti feladatkörük betöltését. Ugyanakkor a halastavak felfogják a nem pontszerű mezőgazdasági forrásokból eredő N- és P-terhelés jelentős részét. (A rendszerváltozás óta pedig ez a folyó szennyeződésének fő oka.)

A szabályozás nem szüntette meg teljesen az árvíz- és belvízveszélyt a Kapos völgyében. A Dombóvár alatti szakaszon, különösen a Döbrököz–Szakály-öblözetben, a nedvesebb időjárási szakaszokban a talajvíz szintje gyorsan megemelkedik, belvízelöntést okoz (Gergely E. & László T. 2003). A gátak alatt árszivárgó vizek, ill. a mellékpatakok visszaduzzasztó hatása tovább rontja a belvízhelyzetet. 1999 május-júniusában az elöntött területek nagysága elérte a 17 200 ha-t (ebből 11 000 ha bevetett szántóföld volt – Szlávik L. 2007).

A *globális éghajlatváltozás* helyi hatásai következtében, az időjárási szélsőségek méretének és gyakoriságának növekedésével fokozódik az elöntésveszély, különösen a meredekebb részvízgyűjtőjű területeken a villámárvizek veszélye (Czigány Sz. et al. 2010). (2010 májusában, amikor három nap alatt kb. 300 mm hullott a vízgyűjtő egyes részein, még az Orci-patakot, a Kapos hosszabb mellékvizei közül a legkisebb esésűt is visszaduzzasztotta a főfolyó, minek következtében a patak ártere víz alá került. Az 5.4. táblázat azt tanúsítja, hogy a legaszályosabb években ez a patak teljesen ki is száradt.)

5.3.3. Vízhatalóság

A Kapos vízminősége az 1970-es évek óta fokozatosan romlott, majd a rendszerváltozás óta lényegesen javult. Az ipari pontszerű helyett a mezőgazdasági eredetű, nem pontszerű terhelések váltak uralkodóvá (az oldott szervesetlen nitrogén 90%-a, a foszfor 63%-a) az 1994 – 1996 közötti EUROHARP kutatás szerint (Kronvang, B. et al. 2004). A vízgyűjtő mezőgazdasági területeinek N-veszteségét 10,0 kg/ha-ra, a teljes P-veszteségét 0,69 kg/ha-ra becsülték. A vízfolyások jelenlegi vízminőségi állapotát az 5.5. táblázat érzékelteti.

5.4. táblázat Alapvető hidrológiai adatok a Kapos vízrendszerének vízfolyásaira, az 1995–2005 közötti időszakra (forrás: Vízrajzi Évkönyvek 1997–2008; Dövényi Z. 2010)

<i>vízfolyás</i>	<i>hossza (km)</i>	<i>vízgyűjtő terület (km²)</i>	<i>vízmérce helye, folyókm</i>	<i>kisvíz- hozam (m³ s⁻¹)</i>	<i>középvíz- hozam (m³ s⁻¹)</i>	<i>nagyvízhozam/ abszolút rekord (m³ s⁻¹)</i>
Kapos	112,7	3126,4	Kaposvár- Fészerlak, 86,0	0,14	1,69	7,54/42
			Kurd, 43,7	1,00	6,16	46,8/130
			Pincehely, 7,9	1,04	6,19	42,4/174
Koppány	63,6	747,1	Tamási, 14,5	0,16	1,21	30,9/77
Baranya-csat.	38,0	606,5	Csikóstóttós, 3,2	0,12	1,83	68,0/110
Orci-patak	27,2	133,1	Orci, 5,1	0	0,55	27,0/27
Surján-patak	23,8	112,8	Szentbalázs, 4,5	0	0,29	10,3/37

5.5. táblázat A Kapos és mellékvizeinek vízminőségi jellemzői (forrás: Völgy Hangja 2009).
A. Oxigénháztartás. B. Tápanyag háztartás. C. Mikrobiológiai paraméterek. D. Szerves és szervetlen szennyezők. E. Egyéb paraméterek. I = kiváló; II = jó; III = tűrhető; IV = szennyezett; V = erősen szennyezett víz

<i>vízfolyások, mintavételi hely</i>	<i>vízminőségi paraméterek</i>				
	A	B	C	D	E
Kapos, Kaposvár Ny	III	IV	-	III	IV
Kapos, Kaposvár K	III	III	III	III	IV
Kapos, Kaposhomok	IV	V	V	IV	IV
Koppány	III	V	-	III	IV
Hábi csatorna	III	IV	-	III	IV
Kis Koppány	III	-	V	III	

5.4. Talajok

Az egykori természetes növénytakarónak megfelelően Külső-Somogy talajtakaróját barna erdőtalajok alkotják. Közöttük is kb. 54%-ban a gyengén kilúgozott, kissé savanyú kémhatású, mészmertes *barnaföldek* (Ramann-féle barna erdőtalajok, az új talajosztályozás [World Reference Base – FAO, 1998] szerint Chromic Cambisols) uralkodnak (Barczy A. et al. 2000). Jó víznyelő és vízvezető képességű talajok. Termőréteg vastagságuk eredetileg 80 cm-nél is nagyobb volt, 100–200 t/ha szervesanyag-készlettel, amely a talajvédelmi szempontokat kevésbé érvényesítő belterjes dombsági szántóföldi művelés következtében alaposan lecsökkent. Az erős talajerózióra mindenfelé a lösz talajképző kőzet kopár feltjai utalnak. A Kapos menti hátacon a *talajerózió* általában jóval erősebb, mint a vízgyűjtő É-i részén, a Koppány mentén.

A lösszel fedett dombok lejtők egyéb talajtípusai közül a legfontosabb a csapadékosabb Ny-i vidékeken, ill. a magasabb térszíneken előforduló *agyagbemosódásos barna erdőtalajok* (kb. 20%, szintén Chromic Cambisols), amelyekben az erősebb kilúgzás, az agyagvándorlás feltűnő fakó szintet hoz létre és kémhatásuk is savanyúbb. Külső-Somogy Ny-i peremén, homok talajképző kőzeten rozsdabarna erdőtalajok alakultak ki. A táj 19%-án, a Kapos-

vízgyűjtő ÉK-i szögletében szárazabb körülmények között képződött *csernozjom barna erdőtalajok* (Phaeozems) találhatók, sőt a kontinentálisabb K-i sávban a jó vízgazdálkodású és termékeny mészlepedékes csernozjomok (Calcic Chernozems) is megjelennek. A meredekebb, gyorsan pusztuló lejtők lábánál felhalmozódó hordalékon, a magas talajvízállás miatt glejes lejtőhordalék-talajokat (Gleyic Cambisols) találunk.

A szabályozások előtt a Kapos és mellékvizei völgyeiben gyakoriak voltak a berkek, azaz a vízállásos tőzeglápok. A völgytalpakon tehát *lápos réti talajok* (Histosols, kb. 90 km², 3%) és folyóvízi homokon képződött *réti öntéstalajok* (Fluvisols, kb. 84 km²) váltakoznak (Dövényi Z. 2010). Tőzegtartalmuk az ártér vízmentesítése után kotusodott vagy lápfölddé alakult, vízháztartásuk – a belvízelöntés időszakait kivéve – kedvezőbbé vált. A hidromorf hatásra rozsdafoltok, vasborsók emlékeztetnek.

A Koppány völgyében vályog fizikai féleségű réti öntéstalaj alakult ki (Völgy Hangja 2009). Vízgazdálkodása minden szempontból (víznyelés, -vezetés és -raktározás) kedvező. Felszíntől karbonátos, szervesanyag-készlete 100–200 t·ha⁻¹, termőrétege >1m vastag. A vízgyűjtő É-zselici részén a barnaföldek és kisebb elterjedésben agyagbemosódásos barna erdőtalajok jellemzők. Vízartó képességük jó, de vízvezetésük közepes.

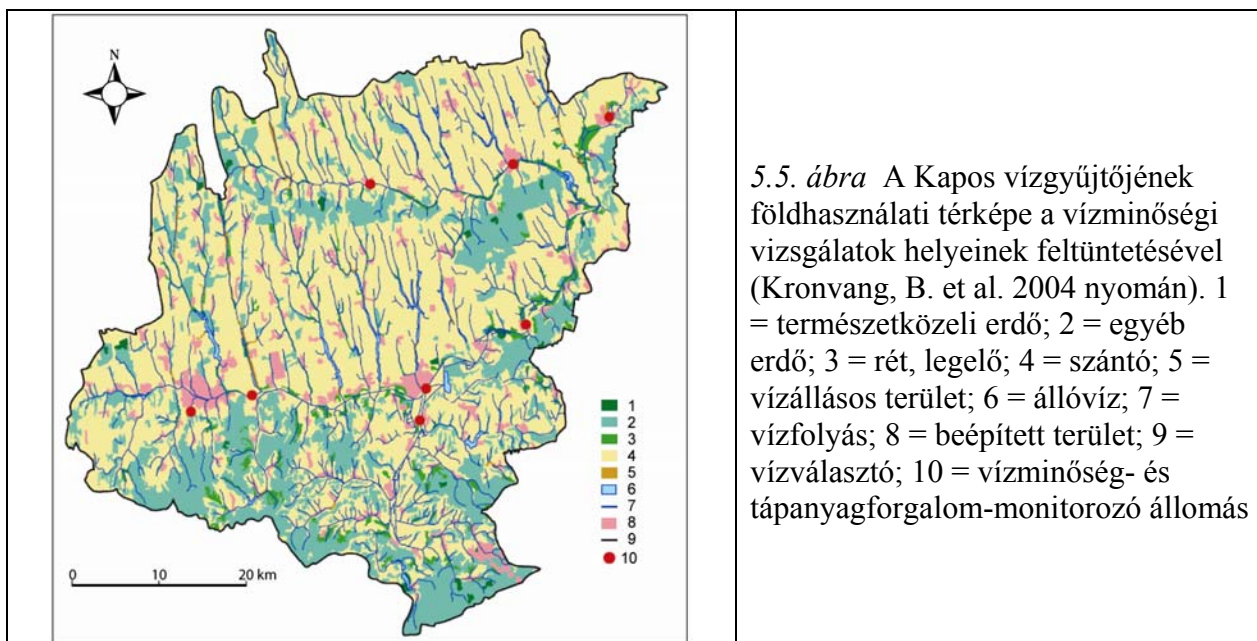
5.5. Növényzet

A Kapos vízgyűjtője természetes növénytakaró szempontjából legnagyobb részben a Külső-somogyi (Kaposense), kisebb részben a Mecseki (Sopianicum) flórajárásba tartozik (Lehmann A. in: Ádám L. et al. 1981). A Kapos-völgy legalsó szakasza és a Tolnai-Hegyhát pedig már a Mezőföld (Colocense flórajárás) része.

Felszínborítottság tekintetében a Kapos vízgyűjtője szinte teljes egészében lösz kultúrmező (5.5. ábra). Az összterület 55.6%-a öntözés nélküli művelésű szántó, amely a CORINE felszínborítottsági osztályozásban a 211-es kódot kapta (CLC, 2000). A lombhullató erdők (CLC kód: 311) 23.2%-ot tesznek ki, elsősorban a meredekebb, vízmosásokkal felszabdalt, tehát szántóföldi művelésre alkalmatlan lejtőket borítják. A természetes erdők cseres tölgyesek (Quercetum petraeae-cerris), balkáni hatást mutató ezüsthársas gyertyános-tölgyesek (Tilio-argenteae-Quercetum petraeae-cerris) és középhegységi mészkedvelő molyhos tölgyesek (Vicio sparsiflorae-Quercetum pubescentis) voltak. Az ezüsthársas gyertyános-tölgyes újabb megnevezése a kisvirágú pimpóról (*Potentilla micrantha*) és az aranytölgyről (*Q. dalechampii*): mecseki cseres-tölgyes (Potentillo micranthae-Quercetum dalechampii – Borhidi A. 2003). A mészkedvelő tölgyesek karakternövénye a pilisi bükköny (*Vicia sparsiflora*). A legelterjedtebb fafajok a csertölgy (*Quercus cerris*), a molyhos tölgy (*Q. pubescens*), helyenként a mezei juhar (*Acer campestre*) és a virágos kőris (*Fraxinus*

ornus). É felé haladva egyre gyakoribbakká válnak a löszpusztarét (*Salvio-Festucetum rupicolae*) foltjai, ahol a barázdás csenkesz (*Festuca rupicola*) uralkodik, a K-i szegélyen az alföldi jellegű tatárjuharos tölgyesek (*Aceri tatarico-Quercetum*) maradványaival.

Az ártéri ligeterdők kis területű maradványok a folyómenti sávban, a bokorfüzesek (*Salicion triandrae*) és a puhafaligetek (*S. albae*) közé sorolhatók. A vízállásos területeken nádasok, gyékényesek terjeszkednek. Kedvezőtlen jelenség, hogy a belvízelöntések visszaszorulása után az ártér üde talaján gyorsan terjednek a közönséges gyomok, mint a fekete üröm (*Artemisia vulgaris*) és az özönnövények: a parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia*), a selyemkóró (*Asclepias syriaca*).



6. Kutatási módszerek

6.1. Az árterek hidromorfológiai vizsgálati módszerei

6.1.1. Az ártér elhatárolása

Bármilyen szempontból közelítünk is az árterek tanulmányozásához, a kutatás első lépésében az ártér kiterjedését kell megállapítani. (A továbbiakban a 2. fejezetben meghatározott, hidromorfológiai értelemben vett ártér határainak megvonásáról lesz szó.) Az elhatárolás végezhető manuálisan vagy automatizált eljárással.

A *manuális* elhatárolás történhet topográfiai térkép segítségével: az ártér pereme ott van, ahol a szintvonalak sűrűsödni kezdenek. Távérzékeléses források felhasználásával az árteret teljesen elöntő, kis valószínűségű árvizekkor tapasztalható vízborítás vehető azonosnak az ártér kiterjedésével. Mivel azonban szabályozott folyók esetében az ilyen elöntések (szerencsére) ritkán vagy egyáltalán nem fordulnak elő, a ma már mentesített ártér egykori kiterjedését csupán archív történeti források segítségével lehet rekonstruálni. Ilyen források lehetnek a Habsburg Birodalom, ill. az Osztrák-Magyar Monarchia katonai felméréseinek térképlapjai (Jankó A. 2007).

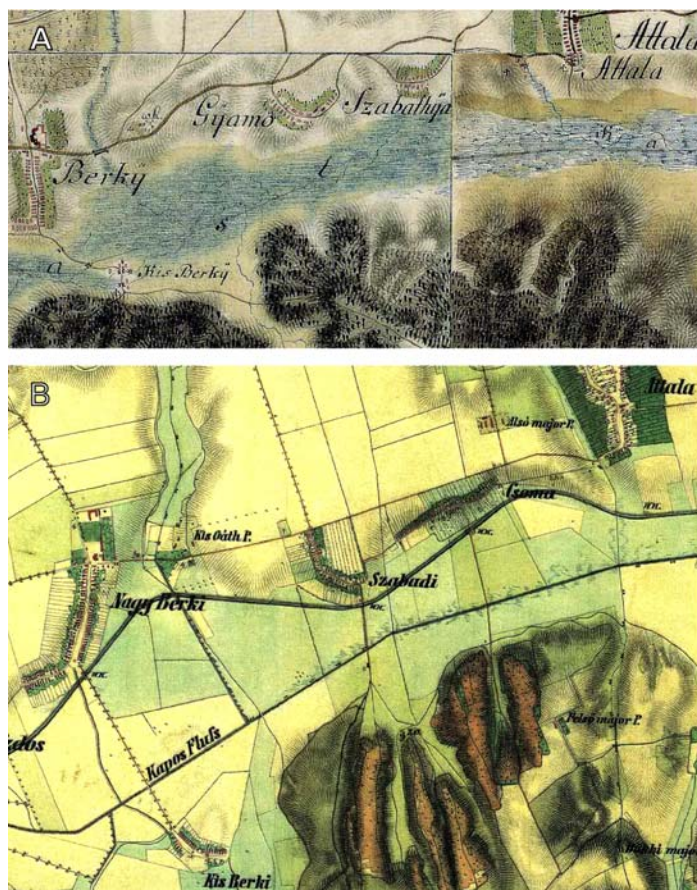
Az árterek (ill. völgytalpak) *automatikus* elhatárolására a digitális magasságmodellek (DEMs) adnak lehetőséget. Korábban a kutatók gyakran arra kényszerültek, hogy a vízhálózat elemeit kísérő lapos térszínek határát valamilyen önkényes értéknél vonják meg. W.A. Williams és munkatársai (2000) pl. hegyvidéken a folyó középvízszintje felett 15 m relatív magasságban húzzák meg azt a határt, amely alatt fekvő sík felszínek még a völgytalphoz tartozónak vehetők. A határt a folyó középvonalára merőleges keresztmetszvényeken jelölik ki. Ők is megjegyzi azonban, hogy kanyargó alluviális folyók esetében nem egyszerű ilyen völgykeresztmetszetek szerkesztése. (Ezt a problémát az Egyesült Államokban a HEC RAS modell keretében igyekeznek megoldani.)

Meggyőződésem szerint a hagyományos és az automatizált módszerek között nem kell feltétlenül választani, az egyik vagy a másik mellett dönteni. Egy folyó (jelen esetben a Kapos) hidromorfológiai ártere akkor határolható el a legmegbízhatóbb módon, ha többféle eljárást párhuzamosan alkalmazunk. A különböző megközelítésű módszerek eredményei kölcsönösen egymás ellenőrzésére is szolgálnak, ennek következtében az ártér-rekonstrukció megbízhatóbb lesz.

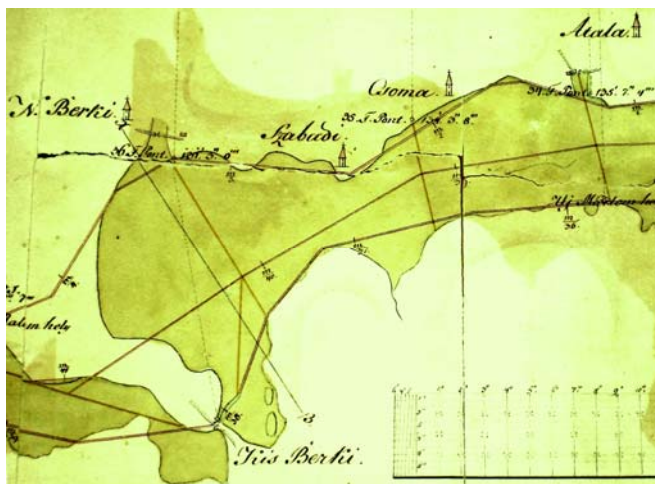
6.1.1.1. Meder- és ártérrekonstrukció a katonai felmérések térképei alapján

Az elmúlt évszázadok során bekövetkezett vízrajzi változások nyomonkövetésére a katonai felmérések georeferált térképeit (Arcanum Kft 2004, 2005) szokás használni. A Kapos

völgyében a katonai felmérés munkálatai a következő években folytak: az 1. katonai felmérésé 1784-ben; a 2. katonai felmérésé 1857–1859-ben; a 3. katonai felmérésé pedig 1881–1882-ben (Jankó A. 2007). A Kapos szabályozásának első szakasza, amikor a főmeder csatornázását végezték és ezzel megszakították a folyó és ártere közötti kapcsolatot, 1817 és 1835 között ment végbe. Tehát elméletileg az 1. katonai felmérés térképei lennének a legalkalmasabbak az árterek és a dombtelejtők elhatárolására. Ekkor azonban még a térképek leegyszerűsítve ábrázolták a domborzatot is, a földhasználatot is (6.1. ábra A), a felmérés sem volt elég pontos, a georeferálás pedig 500 m hibával terhelt. Az ártér határai jól látszanak a Kapos szabályozását és mocsarainak lecsapolását („vizes üdő jártakor is tökéletes kiszárrétását”) szolgáló, Beszédes József által irányított térképezések mappáin (Beszédes J. & Herman J. 1829 – 6.2. ábra). Szerencsére ártérrekonstrukció céljára a 2. katonai felmérés térképei is alkalmasak (6.1. ábra B). A 19. század közepén a lecsapolt ártér egyes, a településekhez közel eső szakaszait szántóföldi műveléssel hasznosították, így földhasználatuk (a többségükben mocsaras rétek ábrázolása kékeszöld tónussal) jól elkülönül a környező dombtelejtőktől. A rekonstrukció szempontjából komoly hátrány, hogy a 2. felmérés térképein már csak az újonnan kialakított Kapos-csatorna nyomvonala szerepel, a levágott holtágak nem.



6.1. ábra A
Kapos árterének
Nagyberki–Attala
közti szakasza
(77–70 folyókm)
az 1. (1784 – A)
és a 2. katonai
felmérés (1859 –
B) térképén



6.2. ábra Ugyanaz a szakasz a szabályozási térképen (1818. évi felmérés – Beszédes J. & Herman J. 1829), feltüntetve a „félreszorító” csatornákat

Az egykori (feltehetőleg újholocén) medernyomok azonosítása nem csupán az ártér elhatárolása és a folyó egykori, természetes mechanizmusának megállapításához nyújt adatokat, hanem gyakorlati célokat is szolgálhat. Földrajzi információs rendszerben superponálva az egykori medrek és az árvízvédelmi töltések vonalvezetését, ki lehet jelölni azokat a helyeket, ahol ezek metszik egymást. A feltöltött medrekre épített töltések stabilitása – az átszivárgás, buzgárok képződése miatt – potenciálisan veszélyeztetett. A terepbejárások során Kurd környékén találtunk példát arra, hogy az árvízvédelmi töltés a 2010 májusi felhőszakadások után éppen ilyen helyen roskadt meg.

6.1.1.2. Távérzékeléses eljárások

Az elöntésveszélyes területek meghatározására, először a Mississippi mentén, már legalább az 1970-es évek óta használnak légifényképeket (pl. Rango, A. & Anderson, T.A. 1974), majd később a Landsat műholdak felvételeit (pl. Sollers, S.C. et al. 1978). A Kapos árterének meghatározására felhasznált, optikai sávban készült légifelvételeket 2005-ben (részben 2010-ben) vették fel, a Földmérési és Távérzékelési Intézettől (FÖMI) származnak. A *légifelvételeken* a következő bélyegek teszik lehetővé az ártér azonosítását:

- földhasználat: rét-legelőként meghatározható, homogén textúrájú foltok, amelyeket kifehéredő (erodált) foltokkal szegélyezett szántóföldi táblák (esetleg erdőfoltok vagy bozótosok) határolnak;
- vizes élőhelyek növényzete: jellegzetes textúrájú, rendszerint szabálytalan foltok nyílt vízfelületek (vízfolyások, állóvizek) körül;
- a talaj nedvességi állapota: a nedvesebb talaj még szárazabb időben is sötétebb árnyalatban tűnik fel a fényképeken.

A másik lehetséges eljárás az *űrfelvételek* elemzése. A 2010 május végi-június eleji esőzések után kialakult, tartósan fennálló elöntések (Lóczy D. 2010c) területi kiterjedésének elemzése is hozzájárulhat a Kapos folyó árterének rekonstrukciójához. A 2010 szeptember

27-i Landsat-7 (ETM+) felvételen, a 6-os sávban – a nem kielégítő (közeli és közepes infravörös sávban 30 m-es, pánkromatikus sávban 15 m-es) felbontás ellenére is – kirajzolódik az ártér határa. Az interpretációban az ártér határának azt a vonalat tekintetem, amelynek mentén a folyótól a legtávolabb megjelenik az elöntés, azaz vízborításos pixeleket lehet találni. A vízborítás pixeleinek burkológörbéje kiadja az ártér minimális kiterjedésének, a belvízelöntéseknek a határát. (Ez az eljárás természetesen önmagában nem alkalmas az ártér rekonstrukciójára, más eljárások eredményeivel kell összevetni.)

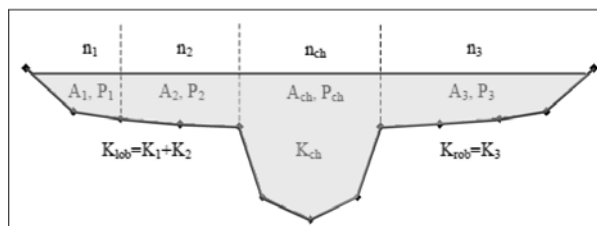
6.1.1.3. Hidrológiai-térinformatikai modellezés

A hidrológiai megközelítésű ártérrekonstrukciós módszereket – a domborzati viszonyok részletes bemutatása céljából – rendszerint térinformatikai modellezés egészíti ki (Dodov, B.A. & Foufoula-Georgiou, E. 2006).

Modellezés HEC-RAS rendszerben

A folyómeder és az ártér közötti kapcsolatok modellezésére általánosan használatos modell a HEC-RAS ArcGIS környezetben (Tate, E. & Maidment, D. 1999; Tate, E. et al. 2002). A HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center – River Analysis System*) – mint arra a neve is utal – az Egyesült Államok Hadmérnöki Karának Hidrológiai Műszaki Központjában (U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center), a kaliforniai Davisben 1964 óta fejlesztett hidraulikai modell (USACE 2002). A HEC-RAS egydimenziós, állandó áramlásra vonatkozó modell. A folyómeder hidraulikai elemzésén vagy olyan műszaki problémák megoldásán kívül, mint a hidak, bukógátak, átereszek, a hullámtéren emelt egyéb létesítmények vízügyi hatásai, felhasználható a folyó árterének meghatározására is – különösen mióta az 1990-es évek elején kifejlesztették Windows alapú változatát.

A HEC-RAS modellben *keresztshelvények* sorozatát kell felvenni a folyó mentén, és minden keresztshelvényben számos bemeneti adatra van szükség, külön-külön a főmederre, ill. jobb és a bal parti árvízi folyosóra (floodway) (6.3. ábra), hiszen ezekben a sávokban eltérők a hidrológiai paraméterek. (Az ártéri folyosókban pl. jóval nagyobb a fesztérerdesség, mint a mederben.) A HEC-RAS-ban történő modellezéshez szükséges adatokat (a keresztshelvények közötti szakasz hosszát; a Manning-féle érdességi együtthatót; a meder szűkülési, ill. tágulási együtthatóját; a mesterséges létesítmények (hidak, bukógátak, átereszek) geometriai jellemzőit) digitális magasságmodellből (DEM) lehet a legkönnyebben előállítani. A legjobban használható, nagy függőleges felbontású, és ezért a meder esését, valamint az árterek mikrodomborzatát jól tükröző domborzatmodellek aktív lézeres távérzékeléses adatokból nyerhetők, mint a LiDAR (Light Detection and Ranging – Ma, R. 2005).



6.3. ábra Az ártér felosztása hidraulikai szempontból, a vízszállítás számításához szükséges paraméterek feltüntetésével (Tate, E. & Maidment, D. 1999 nyomán). n_1 = bal parti szegély; n_2 = bal parti árvízi folyosó; n_{ch} = főmeder; n_3 = jobb parti árvízi folyosó; A_1, A_2, A_{ch}, A_3 = az egyes ártéri egységek területe; P_1, P_2, P_{ch}, P_3 = nedvesített kerülete; K_1, K_2, K_{ch}, K_3 = vízátbocsátása; K_{lob} = bal parti vízátbocsátás; K_{rob} = jobb parti vízátbocsátás

Az ártérosztályozás digitális magasságmodell segítségével történik, amelyet fotogrammetriai úton hoznak létre (Detrekői Á. & Szabó Gy. 2004). A légifelvételeket ortofotókká alakítják (Mucsi L. 2004), amelyekből magasságmodellek szerkeszthetők.

Az árterek elhatárolásának lépései ArcGIS-ben (Tate, E.C. et al. 2002): 1, vízfelületi adatok importálása a HEC-RAS hidraulikai moduljából; 2, a vízfolyás sodorvonalának kijelölése; 3, a keresztmetszvények helyzetének megadása (georeferálása); 4, domborzatmodellezés; 5, az ártér kiterjedésének térképi rögzítése.

A HEC-RAS hidraulikai elemző modellből kapott adatok: a vízfolyás sodorvonala és a keresztmetszvény metszéspontja koordinátái; az egyes keresztmetszvényekben az ártér szélső pontjainak távolsága a sodorvonal-ponttól; a partél távolsága a vízfolyás sodorvonalpontjától; a folyószakasz hossza és a vízfelület tengerszint feletti magassága. A vízfolyás *sodorvonalát* az ArcGIS Spatial Analyst kiterjesztése jelöli ki.

A keresztmetszvények *georeferálása* korábban azért jelenthetett problémát, mert a hidraulikus modell koordinátái gyakran más (a folyóhoz viszonyított) rendszerben voltak megállapítva, mint a domborzati magasságmodellé (abszolút koordináták) (Tate, E. & Maidment, D. 1999). A globális helymeghatározó rendszer (GPS) alkalmazása azonban már kiküszöböli ezt a nehézséget. Az egyenes vonalú keresztmetszvényeket a modell teljesen automatikusan jelöli ki a folyó középvonalára merőlegesen.

A domborzatmodellezés (x,y,z) koordináták felhasználásával szerkesztett *szabálytalan háromszöges hálózat* (*triangulated irregular network, TIN*) eljárással történik. Ezzel a módszerrel a domborzat tagoltságának megfelelő sűrűségű ponthálózat szerkeszthető (Carter, J.R. 1988). A TIN háromszögek sehol sem keresztezik a folyó sodorvonalát.

Az ártér kiterjedését meghatározó vízszintes koordináták nagyon érzékenyek a függőleges koordináta *felbontására*. Ha függőleges értelemben a hiba 1 m, akkor ez – ha a folyó völgyben a relatív relief kicsi – az ártér határában többször 10 m vízszintes hibát is eredményezhet. Ezért jelent nagy segítséget a pontos keresztmetszvények szerkesztése. Az ártér elhatárolásának

nyilvánvaló alapfeltétele, hogy áradáskor a vízszintnek a terepszint fölé kell esnie. A HEC-RAS modell keresztshelvényenként a vízfelület határpontjaival jelöli ki az árteret. Az ArcGIS-ben ellenőrizhetjük, hogy a keresztshelvények burkoló poligonja valóban egybeesik-e az árternek a domborzati magasságmodellen kijelölhető külső határvonalával.

Az MrVBF index

Legújabbán a „lajos völgyfenék többféle felbontásban” történő azonosítására szolgáló index (*multiresolution valley bottom flatness, MRVBF*) is segíti az árter-rekonstrukciót. Kidolgozó a következő *alapfeltételezések* alapján határozzák meg a völgytalpakat (Gallant, J.C. & Dowling, T.I. 2003):

- A völgytalp a környezetéhez képest alacsonyabban fekszik és felszíne annál laposabb.
- A völgytalpak különböző méretűek.
- A szélesebb völgytalpak laposabbak, mint a keskenyebbek.

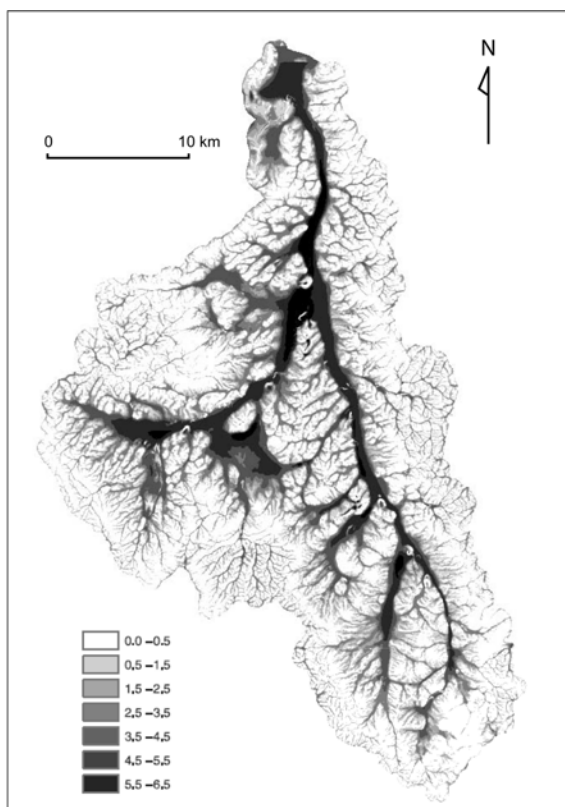
Ha az MrVBF indexet arra kívánjuk használni, hogy egy folyó árterének a kiterjedését meghatározzuk, egy további feltételezésre is szükség van: el kell fogadnunk, hogy

- az árter szélessége hegységi-dombsági környezetben inkább a szerkezeti domborzattól, mint a folyó méretétől (vízhozamától) függ. (Bár ezt mások vitatják – ld. később.)

Az MrVBF indexnek egyszerre kell kimutatni a völgytalp *lajos* jellegét és *alacsony* relatív fekvését (6.4. ábra). Az előbbi mértéke a lejtő reciproka, az alacsony helyzeté pedig a viszonylagos magasság (egy bizonyos sugarú környezetben. Mindkét mérőszám 0-tól 1-ig vehet fel értéket, összeszorozva lágy halmazok (fuzzy sets) tagsági függvényértéke.

A völgytalpat jellemző értékeket a program *különböző méretarányban* számítja ki. Egy bizonyos méretarányban egy felszín völgytalpna számít, ha megfelelőképpen alacsony fekvésű és sík felszínű ebben a méretarányban és kellőképpen lapos (de nem feltétlenül alacsony helyzetű) minden finomabb felbontásban. Az eljárás minden lépésében, ahogyan a program fokozatosan generalizálja a DEM-t, a cellaméret háromszorosára nő, a lejtés küszöbértéke pedig felére csökken. (Ezáltal melleleg a számításához szükséges idő minden lépésben csökken.)

Az MrVBF index számítási algoritmus a kompatibilis az ArcInfo GRID moduljával (Gallant, J.C. & Wilson, J.P. 2000; ESRI 2008). Meg kell adni minden cellára a *lejtést* és a tengerszint feletti *magasságot*, valamint a vizsgálandó környék minimális sugarát, amelyen belül a program egy-egy cellaközéppont magassági helyzetét értékeli. A következő lépésekben a sugarat mindig a kétszeresére növeli. A vizsgálnál alacsonyabb helyzetűnek minősített cellaközéppontok arányát a környék összes cellaközéppontjához képest külön modul számolja az adott sugarú körben (Gallant, J.C. & Wilson, J.P. 2000).



6.4. ábra MrVBF módszerrel meghatározott völgytalpak (árterek) ArcGIS-ben ábrázolva 25 méteres felbontású DEM-ről (a Kyeamba folyó [Új-Dél-Wales, Ausztrália] vízgyűjtő – Gallant, J.C. & Dowling, T.I. 2003, 2. ábra). A jelmagyarázatban az MrVBF értékek osztályai láthatók. A főfolyó árteréhez azok a cellák tartoznak, ahol az MrVBF > 2,5. A folyó völgye olyan szűkületeket és tágulatokat mutat, amelyek kissé hasonlítanak a Kaposéra

A bemeneti értékeket az algoritmus nem lineáris transzformációval 0-1 közötti skálán helyezi el, a következő képlet segítségével:

$$N(x, t, p) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{t}\right)^p},$$

ahol **t** = küszöbérték;
p = alaki paraméter.

A függvény értéke növekvő **x** értékekkel csökken: $N = 1$, ha $x = 0$, $N = 0,5$, ha $x = t$. Minél nagyobb a **p** értéke, annál inkább ugrásszerű az átmenet az 1-es (ha $x \ll t$) és a 0-s (ha $x \gg t$) érték között. A **p** alaki paraméter értéke pontosításának tehát kulcsfontosságú szerepe van ebben a módszerben.

Az első lépésben legyen **p** = 4, így a völgytalp lapos jellegét kifejező függvény

$$F_1 = N(S_1, t_{s,1}, 4)$$

ahol S_1 = a lejtés az első lépésben;
 $t_{s,1}$ = a lejtés küszöbértéke az első lépésben.

A magassági percentilist az *első lépcsőben* ($PCTL_1$) a DEM három cella sugarú környezetére számítja a modell. Az (1) egyenlet segítségével a magasságérték 0 és 1 közöttivé alakítható ($t = 0,4$; $p = 3$), majd a „laposság” F_1 értékét figyelembe véve megkapjuk a „lapossági” index első előzetes értékét:

$$PVF_1 = F_1 N(PCTL_1, 0,4, 3).$$

A *második lépésben* is ugyanazt a DEM-et alkalmazzuk, csak a vizsgált környék sugarát növeljük meg 6 cellányira. A „lapossági” indexet ugyanúgy számítjuk ki, mint az első lépésben, s a módosítása is hasonlóképpen történik. Ezután a magasságmodellt fokozatosan simítjuk, felbontása egyre kisebb lesz. A kombinált „lapossági” index arra szolgál, hogy a következő lépésekben ne veszítsük el a finomabb felbontásban meghatározott lapos felszíneket. Az eljárás – az ártér valós leképezése érdekében – Gauss-féle simítást tartalmaz három cellányi effektív sugárral. Minden lépésben háromféle információt kell átvenni a megelőző lépésből a magasságmodellt; a kumulatív „lapossági” indexet és az összesített „völgyfenék lapossági indexet”.

Mint említettem, a módszer kidolgozói feltételezik, hogy az ártér szélességét sokkal inkább a völgy domborzata, mintsem a folyó nagysága szabja meg, így az ártérszélességet az MrVBF indexből a maximális völgy szélesség küszöbértékével lehet megadni: $W_{\max} = 2,5$ (Thompson, C. et al. 2008). Az MrVBF index a völgyi korlátozottság (Brierley, G.J. & Fryirs, K. 1997, 2005) kifejezésére is alkalmas.

Az MrVBF index kiszámítása az ArcGIS újabb változataiba (9.2) már be van építve, használata tehát külön programozást nem igényel. Alkalmazásakor leginkább a betorkolló mellékvölgyek árterének viszonylag pontos „leválasztására” kell ügyelni. A kétféle árteret úgy lehet elkülöníteni, hogy a főfolyó árterét a mellékvizek betorkollásánál is ugyanolyan szélesnek tekintjük, mint közvetlenül az összefolyás felett. Az MrVBF indexszel végzett ártérelhatárolás validációjára az index kidolgozói is a völgytalpak manuális körülrajzolását javasolják (Gallant, J.C. & Dowling, T.I. 2003).

RBT morfolometriai indexek

A fenti indexen kívül a folyómeder geomorfometriai paramétereinek (esésének, futásfejlettségének) megállapítására használható egy még frissebb eljárás is, a *River Bathymetry Toolkit* (RBT – McKean, J. et al. 2009), amelyet – az Egyesült Államok Erdészeti Szolgálatának Sziklás-hegységi Kutató Állomása megbízásából – az ESSA Technologies Ltd (Vancouver, B.C., Kanada) nevű cég fejlesztett ki. Ez a programcsomag bármilyen, nagy felbontású digitális magasságmodellből automatikusan előállítja a folyómedrek hálózatát, az ártereket és a szokványos hidraulikus paramétereket. A módszert – LiDAR adatok hiányában – a Kapos mentén nem lehetett alkalmazni.

DEM derivátumok alkalmazása

A digitális terepmodellekből számos domborzati és azzal kapcsolatos paraméter származtatható (a geomorfometriai eljárások legújabb összefoglalása: Hengl, T. & Reuter, H.

2009): lejtőszög, horizontális (alaprajzi) görbültség (plan/tangential curvature), vertikális (szelvény-) görbültség (vertical/profile curvature), kumulatív vízhozam (accumulation flow), összetett domborzati index (Compound Topographic Index, CTI) stb. (Hengl, T. & Rossiter, D.G. 2003). A vízhálózat digitális adatbázisával kiegészítve meghatározható az egyes pontok távolsága a legközelebbi vízfolyástól, hidrológiai adatbázisból pedig beszerezhetők a talajvíztükör mélységére vonatkozó információk.

A *CTI index* is a DEM egyik derivátuma, elsődleges domborzati paraméterekből számítható. Talajveszteség-becslési céllal, a talajeróziós modellezéshez fejlesztették ki az 1990-es évek legelején, a megosztott lefolyási modellek (distributed runoff models) egyik első képviselőjeként. Domborzati nedvességi indexnek (Topographic Wetness Index, TWI) is nevezik, hiszen azt fejezi ki, hogy mennyi víz gyülekezik össze a felszín egy adott pontján (Quinn, P. et al. 1991; Moore, I.D. et al. 1993):

$$CTI = \ln(A_f/tg\beta),$$

ahol A_f = az adott ponthoz tartozó vízgyűjtő terület (tehát azoknak a celláknak a száma, ahonnan a vizsgált cellába folyik le a víz);

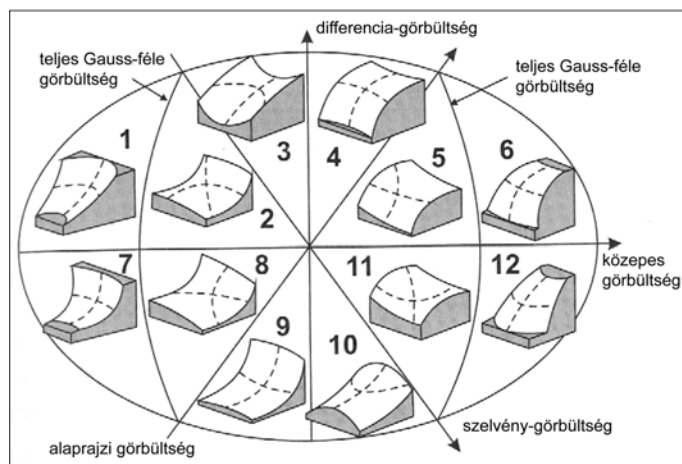
β = az adott cella felszínének lejtőszöge.

A CTI nagy értékei meredek (dombsági, hegységi) felszíneket jeleznek. Ahol kicsi az értéke, enyhék a lejtők, lapos térszínek, süllyedékek találhatók. Az árterek peremét tehát a CTI-nek a környezethez képest magasabb értékeivel lehet kijelölni, hiszen ott nagyobb mértékű a lefolyó vizek összegyülekezése. A kijelölés pontossága a DEM felbontásától függ.

Az index alkalmazásakor gondot jelentenek a teljesen sík felszínek ($\beta = 0$, tehát $tg\beta = 0$ a nevezőben). Ilyenkor a megoldás egészen kis szögértékek behelyettesítése (Hengl, T. & Rossiter, D.G. 2003), ami az általunk vizsgált Kapos völgyben is elfogadható eljárás, hiszen a környező dombságról a szegélyeken tetemes mennyiségű hordalék mosódott az ártérre, ezért az itt nem tökéletesen sík. (Ez általában is igaz, és más modellekben is figyelembe veszik – ld. pl. az 6.3 ábra n_1 szegélysvóját). A CTI módszer a lejtősebb területek jellemzésére jobban használható, mint a sík felszínékre, bár az említett dél-baranyai vizsgálat szerzői a fotointerpretációs tanulóterületek „besűrítésével” valamelyest javítottak a kapott eredményen.

A morfometriai kézikönyvek szerzői hangsúlyozzák (MacMillan, R.A. & Shary, P.A. in: Hengl, T. & Reuter, H. 2009), hogy a domborzati indexnél megbízhatóbb eredmények várhatók a görbültség és a *gradiens-(lejtés-)különbség elemzésétől* (6.5. ábra – Dikau, R. 1988), amelyet SAGA GIS 2.04 környezetben hajtottunk végre (Böhner, J. et al. 2006). A SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) a Göttingeni Egyetemen 2001 óta fejlesztett információs rendszer. A lejtés mint elsődleges és a görbültség mint másodlagos DEM derivátum együttesen alkalmasak az ártér szegélyének kijelölésére.

A görbültségnek (amelyet a geometriában már Karl Friedrich Gauss is meghatározott) több fajtáját különböztetik meg, mióta Richard Dikau (1988) bevezette ezt a fogalmat a geomorfometriába. (A téma legújabb áttekintése: Florinsky, I.V. 2011.) Számunkra a függőleges vagy szelvény-görbültségnek van kiemelkedő szerepe, mert az ártér szélén ez vált síkból homorú vagy domború típusba. A pontosabb elhatároláshoz azonban – az alaprajzi helyett egyre inkább használt – tangenciális és a közepes görbültség kiszámítására is szükség volt (MacMillan, R.A. & Shary, P.A. in: Hengl, T. & Reuter, H. 2009).



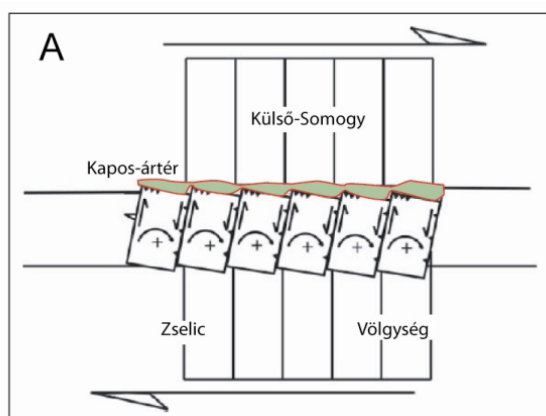
6.5. ábra A görbültségtípusok Shary-féle rendszere (MacMillan, R.A. & Shary, P.A. in: Hengl, T. & Reuter, H. 2009 nyomán)

Szintén a SAGA GIS-ben automatikusan hajtható végre az eséskülönbség (gradient difference) elemzése (Hjerdt et al. 2004). Az ártér peremét az esés hirtelen megnövekedése jól kijelöli. Az automatikus módszer eredményét a peremi löszleomosódások miatt a terepen ellenőrizni kell. Az eséskülönbség elemzést kombinálni lehet a peremek alámosását jelző lejtőprofilok analízisével (ld. később).

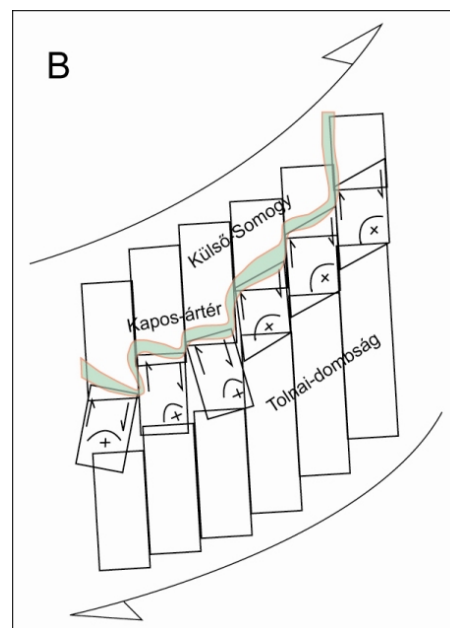
6.1.2. Az ártér neotektonikai meghatározottságának elemzése

A Dél-Dunántúl szerkezetére irányuló újabb neotektonikai kutatásokban (Magyari Á. et al. 2004, 2005; Csontos L. et al. 2005; Bada G. et al. 2007; Síkhegyi F. 2008) különböző modellekkel értelmezik a szerkezeti mozgásokat. Kevésbé világos azonban, hogy a földtani szerkezet mennyire közvetlenül tükröződik a vízhálózatban (Síkhegyi F. 2008), ill. mennyire aktívan befolyásolja a jelenlegi vízhálózat elemeinek futásirányát.

A Kapos völgyének „fűrészfogas” futása mindenképpen tektonikai preformáltságra utal (Erdélyi M. 1962). Síkhegyi Ferenc (2008) egyszerű modellt javasol ennek a jellegzetes alaknak a kialakulására (6.6. ábra A). Ez az elnyíródásos-rotációs-feltolódásos modell némi módosítással – kulisszásan eltolt vetődésrendszer feltételezésével – kiterjeszthető a Kapos völgyének alsó, ÉK-i, É-i irányba forduló, tehát az ún. Tamási-vonallal párhuzamos szakaszára is (6.6. ábra B).



6.6. ábra A Kapos-völgy „fűrészfogas” futásának elvi magyarázata Síkhelyi F. (2008) szerint. A. Felső szakasz; B. Alsó szakasz (továbbfejlesztve: Lóczy D.)



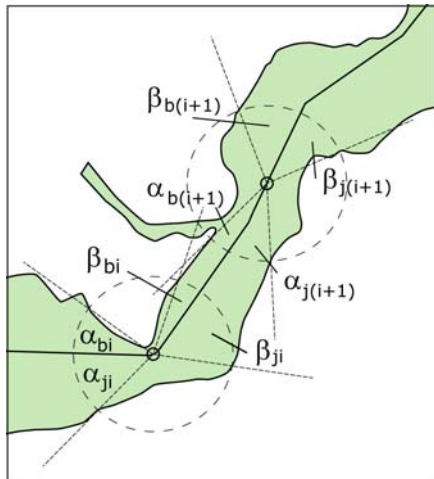
6.1.2.1. Ártérszűkületi/-tágulati szögek vizsgálata

Ha elfogadjuk, amit a modellek sugallanak, hogy a fiatal (transzpressziós) szerkezeti mozgások tették függőleges értelemben aszimmetrikussá a Kapos vízgyűjtőjének domborzatát, abból az következik, hogy ezt az aszimmetria alaprajzban, a térképen is kimutatható. A Kapos völgytalpa (ezzel együtt a folyó mentesített ártere) alakjában megfigyelhető jellegzetes szűkületek és tágulatok jelentős részben szerkezeti eredetűek lehetnek. (Természetesen tagadhatatlan, hogy a folyómeder vándorlása, meanderezése bizonyos mértékben átformálta a szerkezeti eredetű tágulatokat.) A szűkületek és tágulatok geometriájának mennyiségi elemzése tehát igazolhatja (esetleg cáfolhatja) a neotektonikai modellt. A szűkületek elemzésekor figyelembe kell venni egymástól való távolságukat és a szűkület mértékét (tehát az elkeskenyedő ártér minimális szélességét) is.

Mindenekelőtt pontosan meg kell határozni az *ártérszűkület* és *-tágulat* fogalmát. A Kapos mentén ártéri szűkületként értelmeztem azt a folyó hossz-szelvénye mentén kijelölhető (a folyókilométer értékkel egyértelműen azonosítható) pontot, ahol az ártér szélessége a fölötte, ill. alatta fekvő 2–2 km-es szakaszon a legkisebb, kevesebb, mint a legnagyobb szélesség fele. (A küszöbértékek meghatározása korlátozza a szűkületek számát.) A mérnöki szakirodalomban, a kismintás vízáramlási kísérletekben az ártérszűkület kritikus értékének a legalább 22°-os szögű elkeskenyedést tartják (Proust, S. et al. 2006). A szűkületek azonosítása már megszabja a tágulatok (völgyi öblözetek, nagyobb méret esetén völgymedencék) értelmezését is: ezek olyan ártérszakaszok, amelyek szélessége az átlag felénél mindenütt nagyobb, minimális völgyirányú kiterjedésük pedig 2 km.

Az ártér szűkületeit és tágulatait morfológiai szempontból a következő módszerrel vizsgáltam. Az egyes szűkületeket az ártér elkeskenyedéséből a térképen azonosítva a Kapos-

csatorna vonalán egy-egy ponthoz rendeltem hozzá. Ehhez feltételeztem, hogy a szabályozás előtti folyómeder (amely nem bomlott több ágra) is ugyanezen a ponton haladt át a szűkületen. (Ezt a feltételezést alátámasztja, hogy a legtöbb szűkületben – a kedvező átkelőhelyet kihasználva – hosszú történelmi múltra visszatekintő település jött létre, később híd épült, a folyómeder ezután már nem helyeződött át.) A szűkületi pontok köré változó átmérővel köröket rajzoltam. A körök átmérőjét aszerint választottam meg, hogy mekkorra volt a Kapos árterének maximális szélessége a közvetlenül a szűkület feletti öblözetben. A körök négy pontban metszik az árternek a domborzat elemzésével (ld. fentebb) megállapított határvonalát (6.7. ábra). Ezek a metszéspontok a szűkületi középponttal és a Kapos-csatorna egyenes vonalával (amelyet a völgytalp középvonalának tekintek) szögeket alkotnak. A folyásirányban a szűkülettől felfelé kirajzolható szög szűkületi, az onnan lefelé felvett tágulati szögnek nevezem. Az ártér elkeskenyedésének, ill. kiszélesedésének valódi szöge természetesen csak kivételes esetben állapítható meg pontosan, a metszéspontok többnyire esetlegesek, de az általuk kirajzolt szögek statisztikailag értékelhető számban már valódi információt adhatnak az ártér szerkezeti meghatározottságáról. (A Kapos mentén a fenti meghatározás szerint összesen $n = 32$ szűkület azonosítható, ami már lehetővé tesz bizonyos statisztikai elemzést.)



6.7. ábra A szűkületi és tágulati szögek meghatározásának módszere (Lóczy D.)

A bal- és jobboldali szögek egy indexben (SzT) összegezhetők:

$$SzT = \sum_1^n \frac{\alpha_{bi} + \alpha_{ji}}{\beta_{bi} + \beta_{ji}},$$

ahol SzT = szűkületi/tágulati arány,

α_{bi} = baloldali szűkületi szög,

α_{ji} = jobboldali szűkületi szög,

β_{bi} = baloldali tágulati szög,

β_{ji} = jobboldali tágulati szög.

Ha a $\alpha_{bi} + \alpha_{ji}$ szűkületi szögek és a $\beta_{bi} + \beta_{ji}$ tágulati szögek – a Kapos teljes folyása vagy akár csak egy-egy hosszabb szakasza mentén – következetesen eltérnek egymástól, az a

domborzat tektonikus meghatározottságát támasztja alá. Ha a szűkületi szögek rendszeresen nagyobbak, mint a tágulati szögek, az arra utal, hogy a völgy mentén a szerkezeti elemek az elnyíródás hatására rotációval az óramutató járásával ellentétesen elfordultak (6.7. ábra). Ezáltal igazolható a dombság területén feltételezett jobbos horizontális elmozdulásnak megfelelő elnyíródás a Kapos völgyében.

Mivel az öblözetekben, kis mederesés mellett, a folyószabályozás előtt a meanderezés volt az uralkodó folyómechanizmus, a meanderfejlődés miatt eltolódó medrek alámoshatták a löszös vagy homokos üldékekből álló domboldalakat, tágítva a szögeket, különösen az ártér tágulati szögét. (Ilyen helyzet fordul elő pl. a Kapos középső szakaszán, Döbrököz község alatt.) Ezért az ártér kiterjedésének meghatározása után az egykori medrek futását mutató rekonstrukció, valamint a völgyi korlátozottságot tükröző LPI index (ld. lentebb) felhasználásával, a topográfiai térképek elemzésével és terepi felméréssel meghatároztam az ártér peremének azokat a szakaszait, amelyeket a szabályozás előtt a Kapos intenzíven alámosott. (Elméletileg természetesen az ártér peremén mindenütt előfordult valamilyen mértékű alámosás a holocén során.)

A szögelemzési módszer sarkalatos pontja a szűkületi pontok köré húzott körök átmérőjének megválasztása, hiszen a körök mérete jelentősen befolyásolhatja a szűkületi/tágulati szögek arányt. Ezért ellenőrzésképpen a számítást más körátmérőkkel is elvégeztem: egyrészt abszolút maximális, másrészt a közepes ártérszélességre:

$$w_{\text{med}} = w_{\text{min}} + (w_{\text{max}} - w_{\text{min}})/2,$$

ahol w_{med} = az ártér közepes szélessége (m);

w_{max} = legnagyobb ártérszélesség (m);

w_{min} = legkisebb ártérszélesség (m).

A mellékvizek vízbeszállításának elemzésével és következményeik feltárásával ellenőrizhetjük, hogy az ártéri öblözetek kialakulása valóban tektonikai hatásoknak vagy inkább a torkolatokban megnövekedett vízhozamnak, a Kapos nagyobb energiájának és a nagyobb mértékű hordalékszállításnak, a peremek alámosásának köszönhető.

A mellékvízgyűjtőkön ugyan nincs vízmérce, de vízgyűjtő területükből és a lefolyási tényezőből a digitális terepmodell és a Csermák-féle becslés (Csermák B. 1957) segítségével megbecsülhetők a maximális vízhozamok, amelyeket össze lehet vetni az ártér kiszélesedésének mértékével.

6.1.3. Az ártér szakaszainak geomorfológiai jellemzése

6.1.3.1. A folyó energiáján alapuló genetikus ártértipológia

Gerard C. Nanson és Jackie C. Croke (1992) Ausztráliában kidolgozott módszere nagyon határozottan a folyó felszínformáló tevékenysége és az általa létrehozott ártér szoros kapcsolatára épül. Az ártérosztályozás két alapvető ismérve szerintük: a *folyó fajlagos energiája* (a hordalékelragadás és -szállítás képessége – Bull, W.B. 1979) és a *mederanyag kohéziója* (az allúvium ellenállása az erózióval szemben – Knighton, A.D. 1998).

A folyó specifikus energiáját a következő képletből lehet kiszámítani:

$$\omega = \gamma \cdot Q \cdot S \cdot w^{-1},$$

ahol γ = a víz fajsúlya;

Q = a folyó mederkitöltő vízhozama;

S = a folyómeder esése;

w = a meder szélessége mederkitöltő vízhozam esetén.

A szükséges bemeneti adatok a DEM-ekből és hidrológiai forrásokból szerezhetők be. Ugyanúgy könnyen megállapítható, mennyire kohézív a meder anyaga.

Az árterek három *fő típusát* a formakincsükből is meg lehet határozni:

1. Az *egyensúlytalan* állapotú (nagy energiájú, nem kohézív anyagú) ártereket epizodikusan előforduló, szélsőséges események formálják. Nagy esésű forrásokakat szegélyeznek, ahol nagy a völgyi korlátozottság és durva a meder anyaga. Az uralkodó folyamat a vertikális akkréció, az uralkodó formák a görgetegekből álló folyóhátak (parti gátak), homok- és kavicsfoltok, üstök.

2. A *dinamikus egyensúlyi* állapotú (közepes energiájú, nem kohézív anyagú) ártereket rendszeresen ismétlődő vízhozam-események alakítják. A medrűkből kilépő folyók energiája eloszlik a széles ártéren. Az uralkodó folyamat a laterális akkréció (övezet-képződés, lerakódás fonatos mederben), az uralkodó formák az elhagyott medrek, zátonyok, szigetek, morotvák, övezet-sorozatok, ártéri lapályok.

3. A *kis esésű árterek* (kis energia, kohézív mederanyag) rendszeresen ismétlődő vízhozam-események hatására széles völgyben fejlődő, oldalirányban stabilizálódott medreket kísérnek. A finom hordalék vertikális akkréciója jellemző, esetenként a meder avulziója (hirtelen áthelyeződése) is előfordul. A medrek lehetnek fonatosak, meanderezők vagy szövevényesek; az uralkodó formák a folyóhátak, szigetek, homokfoltok, ártéri lapályok.

Az ismertett elméleti szakaszok a legtöbb folyó mentén valóban szabályosan követik egymást. A Kapos árterét azonban Nanson és Croke módszerével igen nehéz szakaszokra bontani. A módszer alkalmazásának legfontosabb akadályai a következők:

- A Kapos szabályozás előtti vízhozama jóval nagyobb lehetett a jelenleginél, de pontosan nehezen rekonstruálható.

- Sem a szabályozott folyó medrének esése, szélessége (tehát specifikus energiája), sem a meder és a partok anyaga nem mutat olyan változatosságot, amely lehetővé tenné az ártér szakaszokra bontását.

- A rendelkezésre álló terepmodellek felbontása nem elegendő az ártér (és ezzel a meder) esésének megfelelő pontosságú, folytonos nyomonkövetésére.

- Az ártéri fluviális formakincs csak töredékesen, csupán egyes szakaszokon maradt fenn, az uralkodó formák alig állapíthatók meg. Még a korábbi meder rekonstrukciója is töredékes és egyes szakaszokon meglehetősen bizonytalan.

A folyó fajlagos energiáján alapuló ártérostályozást ezért a „folyóstílusok” meghatározása keretében végeztem el.

6.1.3.2. „Folyóstílusok” (River Styles) megállapítása

A folyóstílusok már bemutatott módszere (ld. 3.2.2) elsősorban ugyan a folyómedrek osztályozásával foglalkozik, de egyes elemei az ártér jellemzésére is felhasználhatók. Az egyes folyóstílusok határait bevallottan szubjektíven vonják ugyan meg, de bizonyos küszöbértékekre tekintettel vannak (6.8. ábra). Gary J. Brierly és Kirstie A. Fryirs (1997, 2005) típusai közül 18 releváns az ártérostályozás szempontjából, hiszen ezeket a folyótípusokat kíséri jól kijelölhető ártér. A kutatási területen azonban mindössze öt fordul elő közülük (ezeket csillaggal* jelöltem, leírásukat némileg egyszerűsítettem):

a nagy energiájú folyók közül:

- völgyi korlátozott medrek szaggatott ártérrel vagy ártér nélkül;
- részlegesen korlátozott folyók közepes szélességű, lapos vagy domború ártérrel;
- lapos, vertikális akkrécióval épülő, homokos és iszapos ártérrel*;
- részlegesen korlátozott folyók laterális akkrécióval épülő homokos ártérrel*;
- völgyi korlátozottság nélküli folyók széles ártérrel;

a közepes és kis energiájú folyók közül:

- meanderező folyók laterális akkrécióval, övzátonyok sorozatával épülő ártérrel*;
- homokos medrű folyók nem kohézív anyagú ártérrel*;
- vegyes hordalékú folyók laterális akkrécióval épülő ártérrel*.

Az ártéri hordalékfelhalmozódás hét fő folyamatát írták le (Brierly, G.J. & Fryirs, K.A. 2005; a kutatási területen előfordulókat szintén csillaggal jelöltem): laterális akkréció (terméke: övzátónysorozat); vertikális akkréció részlegesen korlátozott völgyekben*; vertikális akkréció széles ártereken (völgyi korlátozás nélkül); fonatos medrek akkréciója;

ferde akkréció a mederszegélyen; ellenpont akkréció a folyásszétválási zónában; az elhagyott medrek akkréciója*.

Ehhez járulnak az olyan ártérformáló folyamatok, mint az oldalirányú medervándorlás* (a kanyarok tágulása, „lecsúszása”, elfordulása), a lefűződés, a mederáthelyeződés (avulzió)*, helyi ártéri erózió*, valamint a mederszélesedés*.

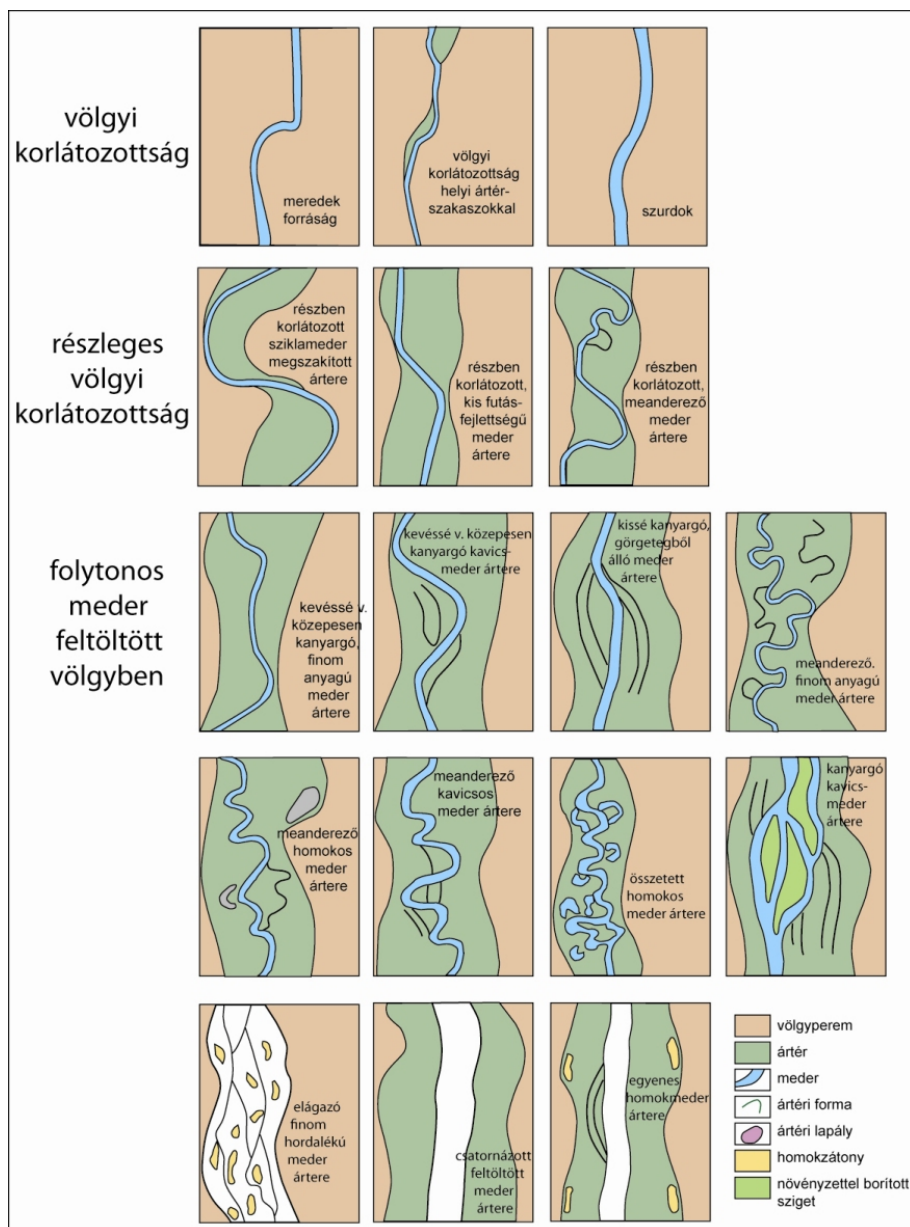
A módszer első lépése tehát a meder völgyi korlátozottságának és az ártér folytonosságának megállapítása (6.8. ábra). Az ausztrál szerző csak akkor beszélnek völgyi korlátozottságról, ha a meder a vizsgált folyószakasz hosszának 90%-ában szorosan valamelyik völgyoldalhoz „tapad”. (Ez túl szigorú követelménynek tűnik a gyakorlati alkalmazás számára.) A szabadon fejlődő medrek korlátozottsága <10%-os, az összes többi folyómeder részlegesen korlátozott.

A következő lépés a folyóstílusra jellemző felszínformák (meder- és ártéri alakzatok) számbavétele, valamint a medrek számának, mintázatának, kanyargósságának, oldalirányú stabilitásának megállapítása (Schumm, S.A. 1977 rendszere szerint). Differenciál még a mederfenék és a partok uralkodó anyaga. A módosított állapotú (erős antropogén befolyást mutató, szabályozott medrek) külön kategóriába esnek. Az osztályozás előnye, hogy csak a referencia-szakaszokat kell részletesen felvételezni, utána a többi szakasz már akár távérzékeléses forrásokkal is besorolható. (Ami Ausztráliában különösen nagy előny.)

A jelenlegi állapot szerinti geomorfológiai osztályozás a következő lépésben kiegészíthető a folyómeder és az ártér fejlődéstörténetének, a visszafordítható, ill. visszafordíthatatlan antropogén hatások egymásutánjának a feltárásával, értékelésével. A folyó stílusa a szerzők szerint a folyó jellegéből és mechanizmusából (behaviour) tevődik össze. Az előbbi ismérvei (amelyeket szabadságfokoknak neveznek):

- a mederfenék jellemzői (szemcseméret, osztályozottság, stabilitás, hidraulikus diverzitás, hordalékszállítás);
- a meder minősége (méret, alak, partok morfológiája, növényzet, uszadék is);
- a meder mintázata (kanyargósság, oldalirányú stabilitás, felszínformák, a parti sáv növényzetének szerkezete).

Mivel a folyóstílusok meghatározása elsősorban a rehabilitációt szolgálja, megállapítják a meder és az ártér helyreállási potenciálját (recovery potential) is, pl. milyen tényezők akadályozzák egy természetközeli állapot bekövetkeztét 50–100 év távlatában. Az árteret a folyóstílusok módszerét a hazai viszonyokra alkalmazva is igyekeztük jellemezni.



6.8. ábra
„Folyóstílusok”
(Brierly, G.J. & Fryirs, K.A. 2005 nyomán)

6.1.3.3. Ártérosztályozás az LPI index alapján

A fent ismertetett, a folyó energiáján alapuló ártértípezés azt feltételezi, hogy az árteret mai formájában azt a keresztülszelő folyó hozta létre. Hasonlóképpen, a folyóstílusokat megállapító osztályozás a típusokat szintén a folyó mechanizmusából vezeti le. A teljes mértékben szabályozott Kapos ártere esetében ezért változatlan formában egyik módszer sem használható az ártér jellemzésére, amelyet egy egészen más típusú folyó épített fel.

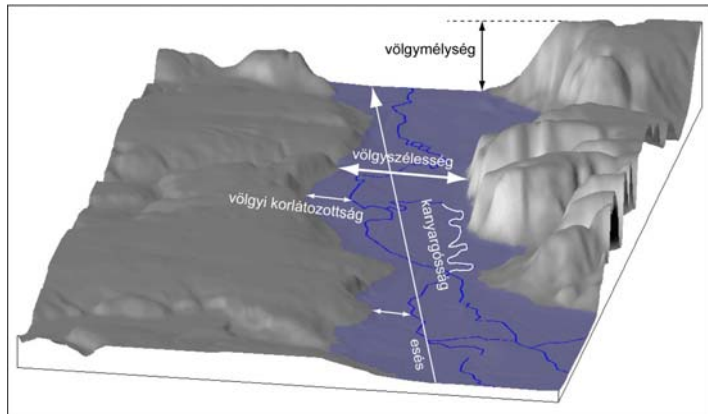
A kutatócsoportunk által kidolgozott, térinformatikai alapú ártérosztályozás (Lóczy, D. et al. 2011) – a Gary J. Brierly és Kirstie A. Fryirs (1997) által megfogalmazott követelményeknek megfelelően – többféle geomorfometriai ismerv integrálásának eredménye. A diagnosztikus paraméterek következő három csoportját tekintettük a leglényegesebbnek az ártér különböző szakaszainak elhatárolásában (6.9. ábra):

- magának az ártérnek a legfontosabb morfológiai paraméterét, szélességét (a szűkületek és tágulatok mintázatát) és lejtését;
- az árterek természetes viszonyok között kialakító medrek paramétereit (esés, futásfejllettség, más néven kanyargósság);
- valamint a folyó völgyének, ill. a meder (medrek) és a völgy kapcsolatának alapvető paramétereit (völgymélység és völgyi korlátozottság).

Ilyen megközelítésben láttuk biztosítottak azt, hogy az árteret összefüggéseiben, („lefelé”, a mederhez fűződő, ill. „felfelé”, a völgy, esetenként az egész vízgyűjtő felé mutató) hierarchikus kapcsolataiban vizsgáljuk (Frissell, C.A. et al. 1986).

Az ártérostályozás ilyen megközelítésben a következő lépésekben valósítható meg:

1. Az *ártér* egykori, a folyószabályozás előtti kiterjedésének *rekonstrukciója* (ld. fentebb) archív térképes, távérzékeléses elemzés és hidrológiai-térinformatikai modellezés (MrVBF index, eséskülönbség és görbületség elemzése) segítségével történt. A Földmérési és Távérzékelési Intézet (FÖMI) 50 m és 10 m horizontális felbontású digitális domborzatmodelljét az ArcGIS 9.2 verzió Spatial Analyst kiterjesztésének segítségével dolgoztuk fel. Ellenőrzésképpen a – rövidebb távon síknak tekintett – vasúti pályát is felhasználtuk a vízszintes felszínek azonosításának megerősítésére.



6.9. ábra Az ártérostályozásban felhasznált morfológiai paraméterek (Lóczy D.)

2. A következő lépés a folyómeder, ill. az ártér (völgytalp) *esésének* meghatározása. Ennek eljárását a villámárvizek természetföldrajzi feltételeivel és előrejelzésének lehetőségeivel foglalkozó projekt keretében dolgozták ki (Pirkhoffer, E. et al. 2009). Az ArcGIS 9.2 3D Analyst program segítségével megállapítottuk a Kapos és főbb mellékvízeinek hossz-szelvényét, árterük lejtését. Vizsgáltuk az esés és a vízhozam közötti kapcsolatot. Mivel az utóbbiról igen kevés mérésadat állt rendelkezésre, a villámárvíz-modellek a 100 éves visszatérési idejű (1%-os valószínűségű) árvizzel számolnak (Pirkhoffer, E. et al. 2009).

3. A fentebb tárgyalt módszerekben is fontos szerep jut a folyómeder *völgyi korlátozottságnak* (pl. Brierley, G.J. & Fryirs, K. 1997, 2005) és *kanyargósságának*

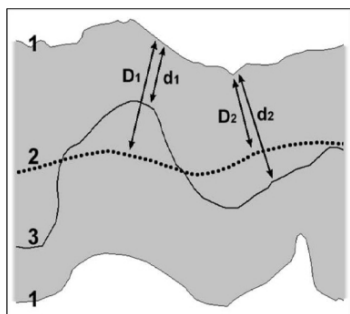
(Richards, K.S 1982; Bridge, J.S. 2003). A folyómeder természetesen ebben az esetben is a Kapos szabályozások előtti, archív térképek és távérzékeléses források alkalmazásával rekonstruált és az Idrisi Distance moduljával feldolgozott medrét/medreit jelenti. A völgyi korlátozottság a meder „kilengésének” mértékét fejezi ki a völgy oldalaihoz képest (6.8. ábra). A völgyi korlátozottságot még jelenleg aktív medrek esetében sem könnyű megállapítani, különösen nehéz egykori, rég elhagyott és feltöltődött, csak megközelítőleg rekonstruálható futású medrekre. Meghatározására a következő közelítést alkalmaztuk (Lóczy, D. et al. 2011 – 6.10. ábra). Ha a d_1/D_1 hányados értéke 100%-nál kisebb, az azt jelenti, hogy a vizsgált meder az ártér bal parti pereme közelében halad, ha a hányados 100%-nál nagyobb, a jobb oldali peremet közelíti meg jobban. Ha a mederszakaszokat kellőképpen rövidnek választjuk meg, akkor a meder „kilengéséről” és egyben kanyargósságáról is elég részletes képet kapunk. A Kapos mentén az Idrisi programban 10 m hosszú mederszakaszokat vettünk fel. Ez a részletesség azonban azzal is járt, hogy – különösen a felső szakaszon, ahol az ártér keskeny volt – a meder túl sokszor lendül át az egyik part közeléből a másikra. Egy jobban áttekinthető, az osztályozás céljára alkalmasabb görbe generálása érdekében simítást kellett alkalmaznunk. Ennek során minden 100 m hosszú szakaszon csak a maximális kitérési értékeket tartottuk meg a következő képlet szerint:

$$LPI = \max \left| \left(\frac{d_{i+1}}{D_{i+1}} \right) - \left(\frac{d_i}{D_i} \right) \right|_{i=1}^{i=n} (\Delta 100),$$

ahol LPI = hossz-szelvény index (simított medereltérés a völgy tengelyétől, ill. az ártér középvonalától);

d_i = a rekonstruált egykori meder és a középvonal megfelelő pontja közötti távolság;

D_i = a középvonal és az ártér egyik pereme közötti távolság.



6.10. ábra A völgyi korlátozottság meghatározási módszerének bemutatása: mennyire tér el az ártér pereméhez (1) képest a völgy tengelyétől (2) a régi meder (3) (Lóczy, D. et al. 2011). d_1 , d_2 – a meder középvonala és a balparti ártérperem közötti távolság; D_1 , D_2 – a völgy tengelye és a balparti ártérperem közötti távolság

4. További diagnosztikus paraméter a meder *kanyargóssága* (futásfejlettsége), amely szoros kapcsolatban van a völgyi korlátozottsággal. A folyó mechanizmusa pontosan tükröződik a kanyargósság mértékében. Az egykori folyómeder rekonstrukciója – korlátozottan ugyan, mégis – lehetőséget nyújt a kanyargósság értékének megállapítására. Azt a felfogást követtük, hogy a fonatos medrek mindegyik ágán figyelembe vettük a kanyarok ívhosszát és összegeztük a futásfejlettségüket. Természetesen a rekonstrukció jelentős

hibaforrásai – különösen a fonatos medrű szakaszokon – nagyban befolyásolják a kapott kanyargóssági értékeket. A hibaforrások közé tartoznak a Kapos-völgy mocsarai, amelyekben a meder futását nem (vagy csak nehezen) lehetett kimutatni, ill. a már igen régen kialakított malomcsatornák miatt. Néhány szövevényes mintázatú szakaszon még a korábbi fattyúágak számát se egyszerű megállapítani.

5. Az ártér és a befoglaló völgy közötti kapcsolatot jellemzi a *völgy mélysége*. Ez a paraméter érzékelteti, hogy milyen mélyre vágódott be a folyó, ill. hogy az ártér peremén milyen tömegmozgásokkal (omlásokkal, suvadásokkal), víz általi eróziós lehordódással (hordalékkúp-képződéssel) kell számolni. A folyó nagyvízi (mederkitöltő vízhozamhoz tartozó) szintje és a környező, a mederhez legközelebbi kiemelkedéseket összekötő vonal közötti magasságkülönbség adja az ártérperemi felszínalakító folyamatok energiaforrását. Az így értelmezett relatív relief értékét 50 m-es felbontású DEM-ből az ArcGIS Spatial Analyst kiterjesztése segítségével lehet számolni.

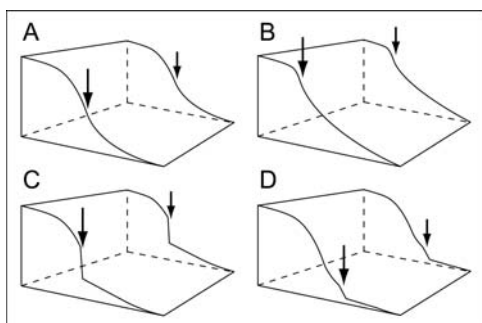
A fenti jellemzők együttes alkalmazásával a folyó árteréről háromdimenziós képet kaphatunk, ez lehet az ártér egyes szakaszai tipizálásának alapja. Az LPI index tesztelése (Lóczy, D. et al. 2011) azt mutatta, hogy ez az index jól tükrözi a többi morfometriai paramétert is (talán a völgymélység kivételével), ezért alkalmas arra, hogy az ártér hossz-szelvényét jellemezze. (Rövidítése a Longitudinal Profile Index elnevezésből származik, egyben utal az index kidolgozóira, Lóczy Dénesre és Pirkhoffer Ervinre is.)

Az ártér szélessége kivételével minden paraméter a Cholnoky Jenő (1925) szerint felsőszakasz jellegűnek minősített (hegyvidéki) folyószakaszok mentén kapja a legmagasabb értékeket, amelyek – rendes körülmények között – folyásirányban csökkennek. A Kapos esetében az ártér szélessége és a meder völgyi korlátozottsága együtt differenciálja az osztályozást, lehetővé teszi az ártér finomabb szakaszolását.

6.1.3.4. Peremi lejtőprofilok elemzése

Az árteret határoló dombblejtők alakja megmutatja, milyen régen és milyen mértékben mosta alá a lejtőt a folyómeder, tehát milyen volt a völgyi korlátozottság a folyószabályozás előtt. Elvileg az ártér pereme teljes hosszában alámosottnak tekinthető, de ennek ideje és mértéke nagyon különböző lehet. Ez az adat a DEM-ből, a felszín görbületségéből automatikusan nem nyerhető ki, így terepi összehasonlításra volt szükség: referencia-lejtőprofilokat kerestünk alámosott völgyperemeken. A négy alapprofilon a legmeredekebb lejtőszakasz helyzetének megállapításával lehet az alámosásra következtetni (6.11. ábra). Az A-típusú (konvex-konkáv, tehát „normál”) lejtő korábbi és kisebb mértékű alámosásra utal (6.1. táblázat), a B-típusú (konkáv) legmeredekebb szakasza a legmagasabban található, ami erős, de nem

feltétlenül legfiatalabb lejtőalámosás jele. A C-típusú lejtő a legerősebb és legfiatalabb, a D típus is újkeletű, de kis mértékű folyamat mutatója (Melléklet 8. 1. fénykép). A településeken belül és közvetlen környékükön a lejtőprofilokat nem minősítettük.



6.11. ábra A négyféle viszonyítási lejtőszelvény elvi vázlata (Lóczy D.). A magyarázatot ld. a szövegben és a 6.1. táblázatban

6.1. táblázat A lejtőlábak alámosásának ideje és mértéke a lejtőprofilok tükrében

típus	maximális lejtőszög (°)	az alámosás	
		ideje	mértéke
A (konvex-konkáv)	35	korábbi	gyenge
B (konkáv)	40	korábbi	erős
C (meredek fal)	90	friss	erős
D (erodált lejtőláb)	30	friss	gyenge

Többféle megközelítésben igyekeztem tehát meghatározni a Kapos egykori árterét, annak geomorfometriai jellemzőit, amelyek valószínűsíthetően befolyásolják a tájökológiai viszonyokat is.

6.2. Az árterek tájökológiai értékelő módszerei

6.2.1. Az ártéri tájszerkezet értékelése

A tájökológia alaptörvénye értelmében a táj szerkezetének valamilyen mértékben tükröznie kell a táj működését (Forman, R.T.T. & Godron, M. 1986; Csorba P. 1997; Kertész Á. 2003). Ugyanakkor az „egészséges” állapotú táj szerkezetének valamilyen mértékben igazodnia kell a domborzathoz, a geomorfológiai térszerkezethez. (Ez az összhang – már ahol létezett – bomlott meg Magyarországon pl. a termőföld privatizációja következtében – Lóczy D. et al. 1999.) Mivel a tájszerkezet vizsgálata csak részben kvantifikálható, az értékelésbe számos minőségi mutatót is bevontam.

6.2.1.1. Egyedi tájelemek értékelése

A mezőgazdasági hasznosítású ártereken előforduló tájelemek multifunkcionális értékelésének fő szempontjai: méretük, helyzetük és a tájban betöltött funkciójuk (Lovell, S.T. et al. 2010). Az agroökológiai fenntarthatóság egészében nehezen megfogható fogalom – különösen az ártéren, ahol egymással konfliktusban álló funkciók jelennek meg. Külön-külön

kell tehát értékelni az egyes (részben természetes, részben mesterséges eredetű) tájelemek viszonylagos jelentőségét a különböző táji funkciók szempontjából (Lovell, S.T. et al. 2010).

A tájelemek értékelési „skálája” – a nemzetközi tapasztalatok figyelembevételével – +2-től -2-ig terjed. A megítélés alapja az, hogy a Kapos árterén előforduló tájelemek milyen fontos szerepet töltenek be a táj működésében (6.2. táblázat). A pontszámok az elérhető legalacsonyabb, ill. legmagasabb értékek. Magyarán: a nagy kiterjedésű szántóterületek jelenléte pl. egyértelműen káros (-2) a táj szerkezetére nézve, az egészen kis, kertszerű parcellák azonban terület szempontjából -1 értéket is kaphatnak.

A tájfoltok helyzetét ez a rendszer a folyómederhez viszonyítja, eszerint bontja három kategóriára. A termelékenység arra vonatkozik, viszonylagosan mekkora biológiai produkció jellemzi az adott élőhelytípust, a hatékonyság arra utal, mennyire felel meg a termőhelyi adottságoknak az adott földhasználat, a változatosság mértéke pedig azt fejezi ki, szükség esetén mennyire rugalmasan alakítható át. A gazdasági érték a megtermelt termények piaci értékesíthetőségét jelenti. Az ökológiai (bio-)gazdálkodás lehetőségeit azonban nem gazdasági szempontból, hanem az ökológiai funkción belül veszi figyelembe. A feltételezett éghajlatváltozásra való tekintettel szerepeltetem a CO₂-elnyelés képességét is az értékelési szempontok között. Az egyedi tájelemek a talaj és a vízminőség védelme szempontjából is jelentősek lehetnek, ezt is pontozom. Az árterek különböző növényzetfoltjainak kulturális szerepköre is lehet: gazdagítják az ártér látványát, lehetővé tesznek bizonyos rekreációs tevékenységeket, sőt tanulmányozható ökológiai működésük, tehát művelődési jelentőségük is van. Ezek közül néhány funkcióval a földutak, árkok, töltések is rendelkezhetnek.

A nagyobb, több hektár kiterjedésű élőhelyfoltokon kívül a táj szerkezetét a jóval kisebb, de markáns mesterséges tájelemek is erősen befolyásolják, hiszen ökológiai folyosóként vagy akadályként (barrierként) egyaránt működhetnek. Az árteret felszabdalo antropogén formák (utak, vasutak töltései, csatornák depóniái stb.) rendszerint olyan kis területűek, keskenyek, hogy a CORINE adatbázisban nem szerepelnek külön foltokként. Térképezésük nem oldható meg viszonylag kis felbontású űrfelvételek interpretációjával, ezért GPS alkalmazásával történő terepi felvételezésükre volt szükség. Az antropogén formák abból a szempontból is értékelhetők, hogy szükséges lenne-e fennmaradásuk a táj esetleges rehabilitációja után is. Ebből a szempontból kritikusak a közlekedési hálózat főlsleges elemei. Megszüntetésre értek a lecsapoló árkok is, ha nem képesek elvezetni a belvizet (*Melléklet 8. 2. fénykép*).

6.2. táblázat A Kapos árterén előforduló egyedi tájelemek minősítő táblázata (Lóczy D.)

		<i>rét, legelő</i>	<i>szántó</i>	<i>parlag</i>	<i>erdő</i>	<i>folyóparti fűs növényzet</i>	<i>nádas, magaskórós</i>	<i>faiskola, ültetvény</i>	<i>burkolt út</i>	<i>földút</i>	<i>árok, töltés</i>	<i>vízfelület</i>
méret	terület	1	-2	-2	2	1	1	1	-	-	-	2
	hossz	-	-	-	1	1	1	-	-2	-1	-2	-
	szélesség	-	-	-	1	2	1	1	-	-	-1	-
hely- zet	folyó menti	-1	-2	-2	2	2	2	1	-	1	-2	2
	árteret átszelő	1	-2	-2	2	2	-	2	-1	-1	-1	1
	elszigetelt	2	-1	-1	1	1	1	1	-	-	-	2
termelő funkció	termelékenység	2	2	-	1	1	1	2	-	-	-	1
	hatékonyság	2	-1	-	1	1	-1	2	-	-	1	1
	változatosság	2	-1	1	2	2	1	-1	-	-	-	1
	gazdasági érték	2	-1	-	2	1	1	2	1	-	1	2
ökológiai funkció	biodiverzitás	2	-1	1	2	2	1	1	-	1	1	2
	biogazdálkodás	2	2	-	-	-	-	2	-	-	-	2
	CO ₂ -elnyelés	1	1	1	2	2	1	2	-	-	-	1
	vízminőség	1	-2	1	2	2	2	2	-1	-	-1	1
	talajvédelem	2	-2	1	2	2	2	2	-1	1	-	-
kulturá- lis funkció	látványérték	1	-1	-1	2	2	2	1	-1	-	-1	2
	rekreáció	1	-	-	2	1	1	-	-	2	1	2
	történelmi	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	1
	közművelődési	1	-	-	2	2	2	-	-	-	1	2
	összesen	22	-13	-4	30	27	19	21	-5	3	-2	25
kíváncos-e fennmaradásuk a rehabilitáció után is? i = igen, n = nem, r = részben		i	n v. r	n	i	i	i	r	r	r	n	i

6.2.1.2. Az ártéri élőhelyek összekapcsoltságának jellemzése

Az egyedi elemeken kívül az ártérnek sajátos térszerkezete is van. Ennek sajátos jellegét akkor lehet a legérzékletesebben bemutatni, ha elemezzük, mennyiben és milyen okokból különbözik a vízgyűjtő dombsági térszíneinek tájszerkezetétől. A tájak térszerkezetével kapcsolatos alapfogalmak: a tájdiverzitás, tájmintázat, összekapcsoltság/elszigeteltség és a tájak hierarchiája (Lang, S. & Blaschke, T. 2007). Mindezek tovább bonthatók és sokféle mérőszámmal fejezhető ki, amelyeket a nemzetközi szakirodalom részletesen ismertet (Haines-Young, R. & Chopping, M. 1996 – 6.3. táblázat; Forman, R.T.T. 1995; Jaeger, J.A.G. 2000; magyar nyelvű összefoglalás: Szabó Sz. 2009). Kevésbé van feltárva ugyanakkor az egyes mutatók alkalmazhatósága. Milyen célra, milyen jellegű tájakon melyikük a legmegfelelőbb? Melyek azok az indexek, amelyek az ártéri tájszerkezet sajátosságait a legjobban kimutatják? (Sajnos, a legtöbb index [pl. a magterületek mutatói, CAI, CY] ezen az erősen átalakított ártéren nyilvánvalóan nem használható.)

Konnektivitás

A Kapos völgye fontos közlekedési útvonal, amely a folyó által határolt tájak között korábban létezett összekötő pályákat jórészt megszakítja. Ezért a kutatási területen a tájszerkezeti

mérőszámok közül az összekapcsoltság (konnektivitás) mutatóinak van különleges jelentősége (Amoros, C. & Bornette, G. 2002; Ward, J.V. et al. 1999). A nemzetközi szakirodalom hangsúlyozza, hogy a *valódi, funkcionális összekapcsoltság* (angolul: connectivity) értékeléséhez ökológiai, az élőlények (elsősorban természetesen állatok) foltok közötti mozgásának, terjedésének, kicserélődésének részletes adataira is szükség van. Ilyen irányú vizsgálatok hiányában csak az összekapcsolódás lehetőségét, földrajzi kereteit lehet feltárni. A lehetséges kapcsolódások hálózatának neve a szakirodalomban *potenciális* vagy *szerkezeti összekapcsoltság* (angolul: connectedness – Baudry, J. & Merriam, H. 1988; Csorba P. 2008a). Matematikai jellemzése térinformatikai módszerekkel közelíthető meg (Kindlmann, P. & Burel, F. 2008; konkrétan ártéri tájra alkalmazva: Blaschke, T. 1997).

6.3. táblázat A legáltalánosabban használt tájmetriai mutatók (Haines-Young, R. & Chopping, M. 1996 és Lang, S. & Blaschke, T. 2007 nyomán)

Területi mutatók	foltsűrűség (szám/100 ha)
	a legnagyobb folt aránya (%)
	közepes foltméret és szórása (ha)
	permeabilitás (átbocsátóképesség – alkalmas foltok/összterület)
	dominancia (egy/több folt uralkodik-e)
Alaki mutatók	alakindex (összkerület/összterület, m)
	közepes alakindex (foltok összkerülete/terület négyzetgyöke, m)
	területtel súlyozott alakindex
	a foltok fraktáldimenziója
	megnyúltság
Szegélymutatók	torzultság (tengelyek mentén)
	össz-szegélyhossz (m)
	szegélysűrűség (m/ha)
	össz-szegélykontraszt (foltok eltérése a szegély két oldalán, %)
	közepes szegélykontraszt (%)
	elszigeteltség (izoláció, szegélyek hány %-a határos „idegen” folttal)

A hasonló minőségű tájelemek, élőhelyfoltok *hálózatban* kapcsolódnak össze (6.12. ábra). A magterületekből (forrás-élőhelyekből) különböző típusú ökológiai folyosók indulnak ki, amelyek csomópont-foltokban (knots) keresztezik egymást. A hálózat alakjában, sűrűségében a természetes és a mesterséges élettelen környezet viszonyai (pl. víz- és úthálózat, a talajok változatossága) tükröződnek.

A lehetséges összekapcsoltság két fő mutatója az α - és a γ -index (Forman, R.T.T. & Godron, M. 1986). Az α -index viszonylag pontosan tájékoztat arról, milyen mértékben rendeződnek önmagukba visszatérő körpályákba („hurkokba”, angolul: loops vagy circuits) a kapcsolatok, milyen sűrűn alkotnak csomópontokat (azaz a 6.12. ábrán feltüntetett, természetközeli ökotópokat). Ezzel az α -index az állatok foltok közötti mozgását is igyekszik érzékeltetni, a lehetséges összekapcsoltságot fejezi ki számszerűen, de közelít a valódi összekapcsoltsághoz is. Kiszámításának módja a következő:

$$\alpha = H/H_{\max},$$

ahol H = a tényleges hurkok száma;

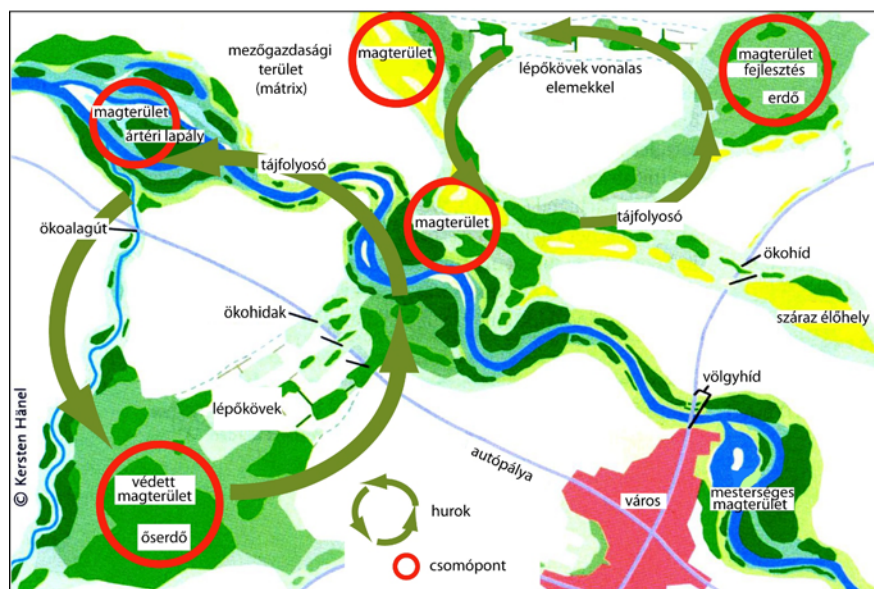
$H_{\max}$ = az összes lehetséges hurok száma.

A ténylegesen kialakuló kapcsolatok száma az összeköttetések (angolul: links) és a csomópontok számától függ:

$$H = L - (V - 1) = L - V + 1,$$

ahol L = az összeköttetések száma;

V = a csomópontok száma.



6.12. ábra Ártéri élőhelyfoltok összekapcsoltsága ökológiai folyosók hálóján („hurkok”) keresztül (Böttcher, M. et al. 2005 nyomán, kiegészítve). A feltüntetett élőhelyfoltoknak lehet ökológiai szempontból értékes magterületük

A hurkok maximális számát úgy kapjuk meg, ha a lehetséges összes kapcsolat számából kivonjuk a minimális összekötöttséghez szükséges kapcsolatok számát:

$$H_{\max} = 3(V-2) - (V-1) = 2V-5. \quad \text{Tehát az } \alpha\text{-indexet a következő képletből számoltuk:}$$

$$\alpha = \frac{L - V + 1}{2V - 5}$$

Az $\alpha = 0$ érték azt jelenti, hogy a tájban egyetlen körpályán sem lehet mozogni, az $\alpha = 1$ pedig tökéletes összekapcsoltságot jelez.

Hasonló, de még egyszerűbb mérőszám a százalékos γ -index, a tényleges (L) és az összes lehetséges kapcsolat ($L_{\max}$) hányadosa. A következőképpen számítható:

$$\gamma = L/L_{\max} \cdot 100, \quad L_{\max} = 3(V-2), \quad \gamma = \frac{L}{3(V-2)} \cdot 100$$

Egy 50% feletti érték már jó összekapcsoltságra utal, a lehetséges pályák több mint fele „járható”. Az összekapcsoltság-vizsgálatot GoogleEarth 2007. évi felvételeinek felszínborítottsági adatbázisán végeztem el a Kapos-ártérre. Egy-egy jelenet a Kapos-csatorna kb. 3–4 km széles környezetét ábrázolja (lehetőleg az összefüggő erdőségek nélkül). Döntő a

felbontás, tehát a legkisebb, még figyelembe veendő „csomópont” (növényzetfolt), amelyet 0,5 ha-ban határoztam meg. A kapcsolatvonalak folytonosságához is küszöbértéket rendeltem: a legnagyobb megszakítás hossza ne legyen több, mint 50 m. A csomópontok legkisebb távolsága pedig 100 m. A nagyobb (erdő-)foltokat részcsomópontokra osztottam fel, amelyek között (kettős nyíllal) jeleztem a „széles sávú” kapcsolatot (ld. az eredménytérképeken). Összehasonlítottam a Kapos-ártér öt jellegzetes szakaszának egy-egy mintaterületét.

Táji gradiensek

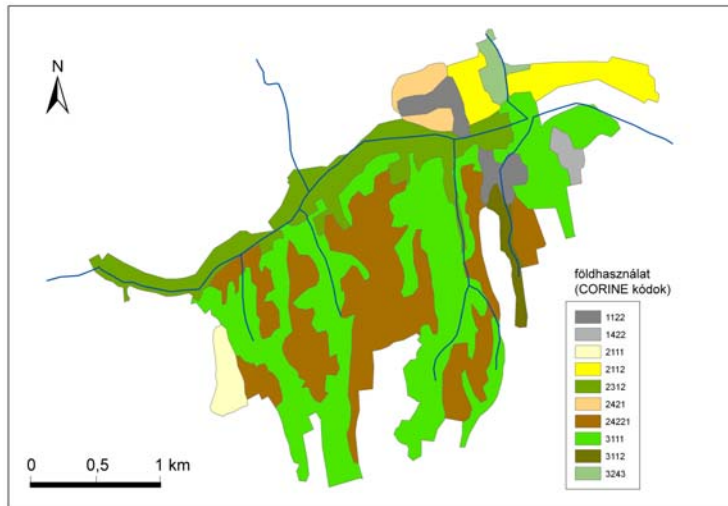
Ha a táji kapcsolatok „hurkai” nem is fejlődtek ki tökéletesen, a táji *gradiensek* módszerével (Müller, F. 1998; Csorba P. 2008b) a tájban egyéb – talán kevésbé kedvező, de ténylegesen használt – pályák is nyomozhatók. A módszer azon a felismerésen alapul, hogy a táj mátrixa sem tökéletesen homogén, különböző szempontokból (pl. a különböző állatfajok számára) egyes sávokban jobban átjárható, mint másokban. A hasonló jellegű, de nem teljesen azonos felszínborítottsági/földhasználati osztályba eső ökotópok (foltok) sorozatba rendeződhetnek és lépőkövekként (stepping stones) működhetnek. A vízellátottságból mint döntő jelentőségű tulajdonságból kiindulva, sorba állítottam a folyó környezetében előforduló természetes és mesterséges élőhelyeket a legnedvesebektől a dombtetőkön előforduló legszárazabbakig (6.4. táblázat). A terepen ellenőrzött CORINE CLC50 felszínborítottsági térképen kerestem olyan katénákat, amelyek megfelelnek a gradiens elmélet követelményeinek: egymással érintkező, vízellátottságukban rendszerint csak egy fokozattal különböző élőhelyeik kedveznek a (kis testű, kis rádiuszú) állatok mozgásának.

6.4. táblázat Gradiens-sorozatok a Kapos árterén és környezetében

sorszám	a gradiens-sorozat tagjai	példa a Kapos-völgyből
1	hullámtéri puhafás ligeterdő – dombsági akácerdő	Döbröközi-öblözet
2	hullámtéri puhafás liget (fasor) – nádas – nyárültetvény	Dúzs–Szakályi-öblözet
3	hullámtéri puhafás liget (fasor) – út- vagy árokmenti jegenyenyár fasor – facsoportos rét	Dúzs–Szakályi-öblözet
4	hullámtéri puhafás liget – magaskórós növényzet – szőlő	Kapospula–Dombóvári Szőlőhegy
5	halastó – sásos mocsár – nyírerdő	Kaposfő

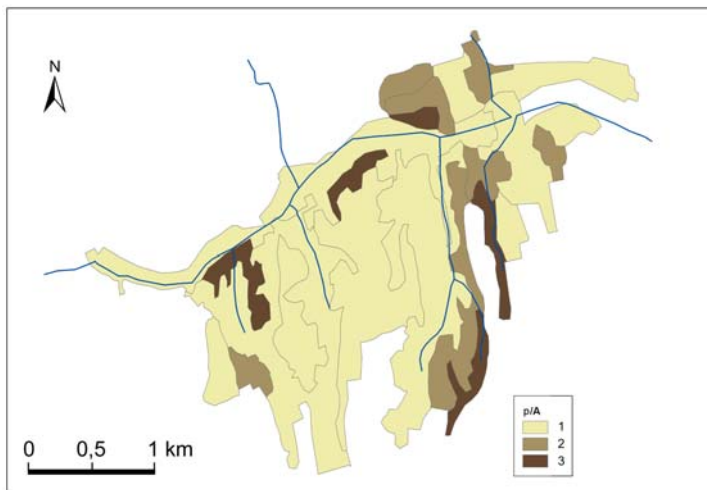
Foltalak-indexek

A táji elemek önmagukban történő vizsgálatát a folt-folyosó-mátrix elmélet (Forman, R.T.T. & Godron, M. 1986) értelmében foltalak-indexekkel lehet elvégezni. A 6.13. ábra a Kapos-völgy CORINE felszínborítottsági térképének egy részletét ábrázolja. Ez az a mintaterület, amelyen a különböző alak- és tájindexeket mutatom be.



6.13. ábra A Kapos-völgy felszínborítottsági térképének (CORINE CLC50) egy részlete, a Kaposmérő és Kaposújlak közötti szakasz

A legegyszerűbb folt szintű indexeket használva (Szabó Sz. 2009) az ártéren és közvetlen környezetében megvizsgáltuk, vannak-e olyan természetközeli maradványfoltok (erdők, bozótok, nádasok), amelyek természetvédelmi szempontból értékesek: megfelelő méretűek valamilyen állat vagy növénypopuláció számára, ill. alakjuk kellőképpen kompakt. Ennek megállapítására többféle mutató szolgál, amelyek közül a legegyszerűbb a *kerület/terület*, *p/A* index (6.14. ábra). Látható, hogy az index értékei nem szóródnak kellőképpen és nagyban függnek a vizsgált területfoltok nagyságától.

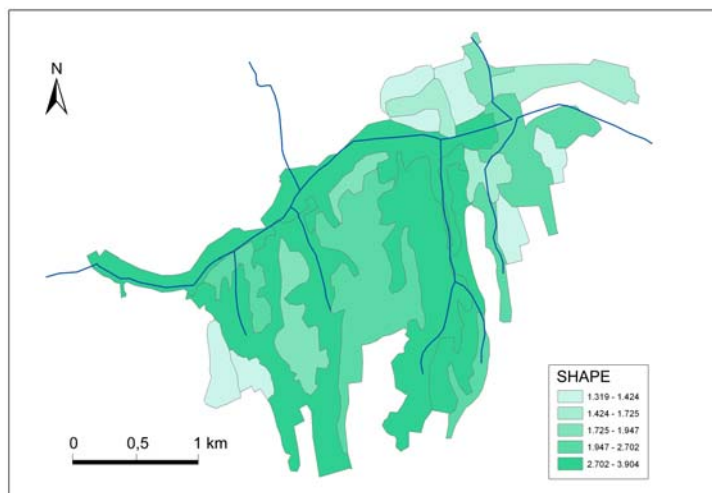


6.14. ábra A p/A index bemutatása Kaposmérő környékének tájszerkezetén.
1 = 0,011–0,015; 2 = 0,016–0,021; 3 = 0,022–0,027

A növényzetfoltok kompaktsága legjobban a foltmérettől független *SHAPE-index*szel mutatható ki, amely a folt alakját vele azonos területű körhöz hasonlítja (Forman, R.T.T. & Godron, M. 1986):

$$SHAPE = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot a}}$$

ahol p = a folt kerülete,
 a = a folt területe.



6.15. ábra A SHAPE index értékei a kaposmérői mintaterületen

A pontosan kör alakú foltok SHAPE-indexe 1. Általában <1,4 értékűek a valóban kompakt foltok, itt húzódik az alakosztályok határa (6.15. ábra). A SHAPE-et a tartják a legértékesebb alakindexnek (Lang, S. & Blaschke, T. 2007).

Hasonló célú a *GYRATE* nevű mutató is, szintén a foltok kompakt jellegével kapcsolatos. Ez az index a folt területét a köré írt köréhez hasonlítja. A hosszanti irányultságú Kapos-ártéren azonban már a folyószabályozás előtt is kevés lehetett a megközelítőleg kör alakú folt, ezért érdemes inkább a foltoknak a völgy tengelye irányába történő *elnyúltságát* felmérni (6.16. ábra). Ez a folyó futásával párhuzamos és a rá merőleges tengely hosszának hányadosa. Ha a rövidebb tengelynek egy minimális küszöbértéket határozzunk meg, kijelölhetők a tájban meghatározó szerepet játszó (pl. a szaporodó őzpopulációnak rejtekhelyet adó) foltok.

Fragmentációs indexek

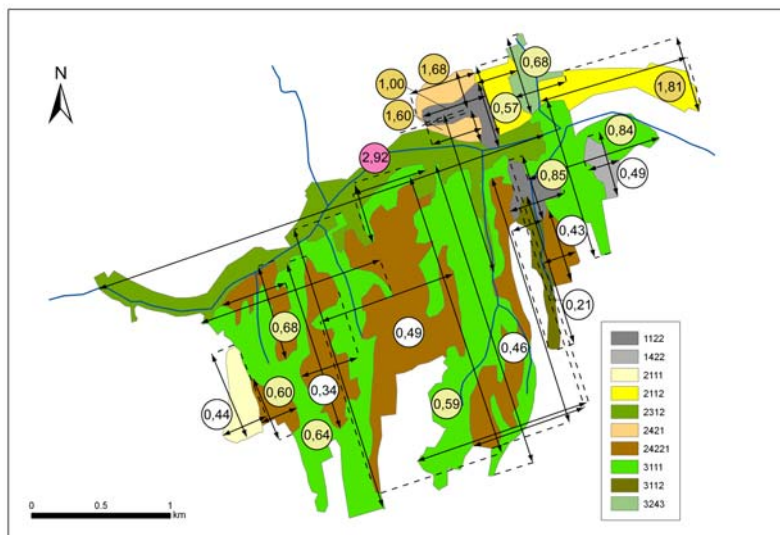
A foltszerkezet táji szinten a legjobban *fragmentációs* indexekkel ragadható meg (Szabó Sz. 2009). A gyakorlati tájtervezésben is használt fragmentációs mutatók: a táj összefüggősége, felosztottságának foka, a szétválasztási index és a hatékony hálósűrűség (Jaeger, J.A.G. 2000). A táj *összefüggősége*, *koherenciája* (C) a biológusok számára azt fejezi ki, hogy egy adott területen ugyanabban az időben két véletlenszerűen jelen lévő állat mekkora eséllyel találja meg egymást (Szabó Sz. 2009). Erősen felszabdalt tájban az állatok találkozásának a valószínűsége kicsi. A koherencia meghatározásának módja a FRAGSTATS szerint (McGarigal, K. et al. 2002):

$$C = \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i}{A_t} \right)^2$$

ahol n = foltszám;

A_i = az i-edik folt mérete;

A_t = teljes terület.



6.16. ábra Elnyúltsági értékek a kaposmérői mintaterületen

A vele komplementer mutató, a táj *felosztottsága* (DIVISION: degree of landscape division, D) (6.5. táblázat): azt mutatja meg, mekkora a valószínűsége annak, hogy a vizsgálati területen véletlenszerűen elhelyezkedő két állat NEM ugyanazon a foltban található meg (Szabó Sz. 2009). A felosztottság értéke $D = 0$, ha a táj egyetlen foltból áll, ill. $D = 1$, ha a táj maximálisan felosztott. (Az utóbbi, szélsőséges esetben nyilván nem beszélhetünk a foltok összefüggéséről.) Az összefüggőségi és a felosztottsági index jól érzékelteti, mennyire fontos a méretarány, a vizsgálat térbeli felbontása. A Kapos árterén legalább kb. 0,5 ha kiterjedésű foltok elrendeződésének vizsgálata legalább 10 km² területen adhat felvilágosítást a táj szerkezetéről. Ennek megfelelően választottuk ki a mintaterületeket.

6.5. táblázat A felszínborítottsági osztályok területe (CA), a felosztottsági (DIVISION), a szétválasztási (SPLIT) és a hatékony hálósűrűség mutató (MESH) értékei a kaposmérői mintaterületen

osztály (CORINE kód)	foltok száma	CA index (m)	DIVISION index	SPLIT index	MESH index
3243	1	86734,55	0,00	1,00	86734,55
2112	2	345890,55	0,44	1,77	195307,34
2421	2	121345,64	0,47	1,88	64588,22
1122	2	205338,89	0,50	2,00	102729,82
3111	5	2378901,55	0,68	3,14	757574,64
2312	1	792190,91	0,00	1,00	792190,91
1422	1	62450,58	0,00	1,00	62450,58
24221	6	1565528,76	0,71	3,47	451464,65
3112	1	99921,08	0,00	1,00	99921,08
2111	1	120403,42	0,00	1,00	120403,42

A fragmentációs mutatók értékeit a FRAGSTATS és a V-Late programcsomaggal számoltuk ki. Ezek egymástól függenek, de egyenként is jellemzik a Kapos árterének felszabdaltságát a vízgyűjtő környező, dombsági területeihez képest.

6.2.1.3. A kritikus tájszerkezeti övek folytonossága

Az ártéri tájak működési feltételei között kiemelkedő szerepe van a vízellátottságnak. Ennek megfelelően értékelésükben különös hangsúlyt kell kapniuk a hidrológiai viszonyoknak, ill. az azokat közvetlenül befolyásoló tényezőknek. Ilyen megfontolásból a hagyományos tekinthető tájszerkezet-elemzéseket egy újabb megközelítésű eljárással egészítettem ki.

Az alapul szolgáló tanulmányokban (Burt, T.P. & Haycock, N.E. 1996; T.P. Burt & G. Pinay 2005) brit szerzők az ártéri tájszerkezetet a funkcionális összekapcsoltság (functional connectedness) szempontjából tartják szükségesnek értékelni. A hidrológiai viszonyok összekapcsolódása (amelynek elsődleges útvonala a köztes lefolyás pályája) szerintük kifejezésre jut az ártéri tájelemek kölcsönös helyzetében is, mégpedig nem csupán folyásirányban (folyó menti ökológiai folyosók), hanem arra merőlegesen (a gradiens-elmélet értelmében az „ökoklinek” mentén – Müller, F. 1998; Csorba P. 2008b), a megfelelő vízvezetésű talajok katénaszerű elhelyezkedésében is. (Az összekapcsoltság ebben az esetben is csak lehetőség, a kijelölhető lefolyási pályák nem működnek folyamatosan, többnyire évszakosan aktívak – Burt, T.P. & Pinay, G. 2005).

A hidrológiai pályák értékelésének elméleti háttere a *táj érzékenysége* (Brunsden, D. & Thornes, J.B. 1979), amelyet elsősorban kétféle „ellenállás”: az *elhelyezkedés* és a *szűrőképesség* szabja meg. Az árteret szegélyező lejtőkön vagy magukon az ártereken megjelenő, sekély negatív felszíni alakzatok (mélyedések) magukhoz vonzhatják a felszíni lefolyást, telített hidrológiai viszonyokat idézhetnek elő, és megnövekedett köztes lefolyás kiindulópontjai lehetnek. Érzékenység szempontjából tehát elsősorban ezek jönnek számításba. A mélyedések domborzati megjelenését növényzeti (ha ennek helyi jelentősége van, esetleg talaj-) típusukkal együtt kell figyelembe venni a tájszerkezet értékelésekor. Az árterek tájszerkezetének a hidrológiai pályák kialakulása szempontjából történő értékelése többféle módszerrel végezhető el.

A tájszerkezeti elemek ártéri eloszlásának nagy a jelentősége (Burt, T.P. & Haycock, N.E. 1996; Burt, T.P. & Pinay, G. 2005). A folyómedret a külső hatásoktól védő, legerősebb tompító hatású tájfoltok (pl. erdők, vizes élőhelyfoltok) hatékonyságuk szerint aszerint értékelhetők, hogy melyik sávban helyezkednek el: a dombblejtők lábánál, az ártér szegélyén (a brit szerzők szerint a leghatékonyabb helyzet); a folyóparti sáv (riparian zone) (a következő fokozat); a folyóra nagyjából merőlegesen, összeköttetést biztosítva az ártérszegély és a parti sáv növényzete között.

Az ártér szegélyövét a Kapos-ártér esetében 100 m szélességűnek érdemes megválasztani, hogy a lejtőlábakra is kiterjedjen. Ennél valamivel keskenyebb lehet a folyóparti sáv. Az

említett zónák folytonosságát az ártér korábban (geomorfológiai alapon) meghatározott szakaszaira (ld. 6.1.3. alfejezet) százalékban számítottam ki.

6.2.2. Az elöntésveszély minősítése

Az ártér elöntéssel leginkább (leghamarabb) fenyegetett helyeit a felszínformák részletes térképezésével és értékelésével lehet a legegyszerűbben meghatározni (Kis É. & Lóczy D. 1985; Balogh J. & Lóczy D. 1990). Ilyen módon információt nyerhetünk az ártér „alapszerkezetéről”, amely az ártér tájökológiai szerkezetének az alapját is megadja, az ártér helyreállításához is tájékoztatást nyújt. Nagyobb területek elöntésveszélyességi minősítésére a hagyományos térképezésnél korszerűbb, gyorsabb és pontosabb megoldás a távérzékeléses és térinformatikai (digitális terepmodellből származtatott) információk kiértékelése.

6.2.2.1. Multispektrális felvételek kiértékelése

Az ártér és a vízgyűjtő szomszédos sávjának hidrológiai szempontú funkcionális összekapcsoltságára utaló tájelemeket a legegyszerűbben távérzékeléses eszközökkel lehet felmérni. Szabályozott folyók árterein is egyszerűen térképezhetők az egykori ártéri lapályok (a maximális telítettség helyei) a magas vízálláskor elöntött, belvizes területek elterjedéséből a *Landsat ETM+ űrfelvételek* közeli infravörös sávjának kiértékelésével.

A Kapos völgyében folytatott kutatás keretében a 2010 május végi–június eleji csapadékos időszakban kialakult és tartósan fennmaradt felszínelöntések távérzékeléses elemzése különösen alkalmas volt az ártéri domborzati-hidrológiai viszonyok feltárására. A *Landsat ETM+* felvételeket abból az időszakból lehetett beszerezni és felhasználni, amikor a csapadékot okozó erős mediterrán ciklon már elvonult a Kárpát-medence felül és a felhőzettség mértéke nem érte el a 10%-ot. Az időben legközelebbi jelenet a 2010 szeptember 27-én készült felvételen volt hozzáférhető. Az elöntött felszínek meghatározása a közeli infravörös sávban történt. Összefüggő elöntést jeleznek a több pixelből kirajzolódó foltok, a szórványosan elhelyezkedő elöntést jelző pixelekből pedig kisebb mértékű (gyakoriságú) elöntésveszélyt lehet rekonstruálni.

Az *elöntésveszélyes területek* körülhatárolására többféle térinformatikai módszer ismeretes. Ezek választékából kiemelkedik az Ausztráliában kidolgozott, geomorfometriai megközelítésben használt, már említett *MrVBF index* (Gallant, J.C. & Dowling, T.I. 2003). Tulajdonképpen ugyanúgy működik, mint amikor az árteret határoltuk el vele, csak ebben az esetben a geomorfológiai (mentesített) ártéren belül kell elöntésveszélyességi fokozatokat elkülöníteni. Ausztráliában a földértékelés nagyobb, a táji szintnek megfelelő egységein (land pattern) belül ez módot ad – az elöntésveszély mint fő kritérium szerint – alacsonyabb

hierarchiaszintű egységek (land units) elhatárolására. Az értékelésben fontos szerepe van a talajok vízgazdálkodásának, hiszen ez befolyásolja, hogy mennyi ideig tart és ezáltal mennyire súlyos következményekkel jár a vízborítás. (Aminek a mezőgazdaság, de a természetes növényzet számára is nagy jelentősége van.)

A módszer hazai változatának kidolgozásához az MrVBF egyik regionális alkalmazásához (nem feltétlenül ártéri környezet vizsgálatára) készített táblázat szolgált alapul (6.6. táblázat). Az ötfokozatú *érzékenységi értékelés* alapja az elöntés gyakorisága, a talajok vízgazdálkodása és a vizsgált felszín domborzati helyzete. A Kapos-ártér viszonyaira úgy lehetett alkalmazni, hogy a táblázatot példákkal (referencia-helyszínekkel) egészítettem ki (6.6. táblázat). Ilyen kalibrálás után ez a kvalitatív módszer – az MrVBF index értékeinek összehasonlítása alapján alkalmazhatóvá vált. Mivel a talajok vízgazdálkodási besorolásáról megfelelő méretarányú térkép nem állt rendelkezésre, elöntésre való hajlamukat a 2010 májusi ártéri vízborítások kiterjedésének ürfelvételekről történt rekonstrukciójával becsültem meg (ld. fentebb) (6.7. táblázat). Talajszelvény-adatok birtokában az angol talajtérképezésbe beépített nedvességállapot-osztályozás is alkalmazható (McRae, S.G. & Burnham, C.P. 1981). Az osztályozás alapja, a talajvíz mélysége és tartóssága (víztelítettség) a talajszelvényben.

A három táblázatban bemutatott megközelítések eredményei jól összehasonlíthatók, mivel mindhárom tipizálás hatosztályos.

6.6. táblázat Az ártér érzékenységi osztályai

rang-sor-szám	érzékenység-osztály	leírás	példa a Kapos-völgyből
0	nincs (elöntés nem valószínű)	közepes és jó vízháztartású talajok kiemelt helyzetben	folyóhát (Regölytől D-re)
1	kicsi	télen, tavasszal esetleg víz alá kerülő, közepes vízgazdálkodású talajok dombtetőn vagy -lejtőn	a jobbparti (tolnai-hegyháti) lejtők lába (pl. Keszőhidegkút, Belecska)
2	kicsi-közepes	télen, tavasszal potenciálisan elöntött, korlátozottan művelhető, közepes vízgazdálkodású talajok dombsági lejtőderékon, -lábán	terasserű felszínek lejtőlábi sávja (pl. Döbrököz, Kurd – kertek alja)
3	közepes	a legtöbb év egy szakaszában telítődés vagy vízborítás miatt nehezen művelhető, rossz vízgazdálkodású talajok lejtőlábán, sík felszínen, süllyedékben	ártéri lapály pereme a Dombóvár–Döbrököz közötti öblözetben
4	közepes–nagy	az év egy szakában rendszeresen vízborította és nem művelhető, rossz vízgazdálkodású talajok lejtőlábán, sík felszínen, süllyedékben	ártéri lapály fenéksíntje a Szakályi-öblözetben
5	nagy	hosszabb ideig tartó vízborítás, amely a művelést egész évben korlátozza; rossz lefolyású talajok völgytalpon, süllyedékben	régi meanderek (Regölytől DK-re)

6.7. táblázat A Kapos-ártéren előforduló talajtípusok értékelése belvízelöntésre való hajlam szerint (Lóczy D., VGI 1983; Várallyay Gy. 2002 és mások nyomán)

rang-sor-szám	az elöntés várható		talaj(al)típusok	vízgazdálkodási jellemzők		
	gyakorisága	tartóssága		víznyelés (mm/nap)	vízvezetés (mm/nap)	vízraktározás (mm/m)
0	50-100 évente	<1 hét	régi csernozjom, csernozjom réti talaj	jó: 300–1000	jó: 150–500	jó: 100–150
1	20-50 évente	1-2 hét	régi talaj, meszes öntés réti talaj	nagy: >1000	nagy: 500–1000	közepes: 50–100
2	évtizedenként	3-4 hét	lápos réti talaj	közepes: 100–300	közepes: 50–150	nagy: 150–200
3	5-10 évente	1-2 hónap	láp föld	gyenge: 50-100	gyenge: 10–50	nagy: 150–200
4	2-5 évente	több hónap	kötös láptalaj	gyenge: 10–100	igen gyenge: <10	nagy: 150–200
5	évente	több hónap	tőzeges láptalaj	gyenge: 10–100	igen gyenge: <10	igen nagy: >200

6.8. táblázat A talajok vízgazdálkodási típusai a vízkapacitásig telített talajszint mélységi helyzete szerint (forrás: Soil Survey of England and Wales)

nedvességi osztály	a víztelítettségi állapot		vízgazdálkodási osztály
	helyzete (cm)	tartóssága (nap/év)	
I	>70	<30	jó vízgazdálkodás
II	<70	30–90	mérsékelten kedvező vízgazdálkodás
III	<70	90–180	nem tökéletes vízgazdálkodás
IV	<40	>180	vízzel telített talajok
V	<40 vagy <70	>180, ill. >335	vízállásos talajok
VI	<40	>335	vízenyős területek

6.2.3. A helyreállíthatósági lehetőségek minősítése

A folyómedrek és -árterek helyreállításának tudományos megalapozására az utóbbi évtizedekben világszerte igen sok tanulmány született (Manci, K.M. 1989; National Research Council 1992; Sear, D. 1994; Kondolf, G.M. 1995; Hey, D.L. & Philippi, N.S. 1995; Brookes, A. & Shields, F.D. Jr. 1996; Fennessy, M.S. & Cronk, J. K. 1997; Kauffman, J.B. & Beschta, R.L. 1997; Macdonald, K.B. & Weinmann, F. (eds) 1997; Theiling, Ch. 1998; Wissmar, R.C. & Beschta, R.L. 1998; FISRW 1998; U.S. Department of Commerce 1998; Tockner, K. et al. 1999; Zöckler, C. 2000; ECRR 2001; Bratrich, C. et al. 2002; Buijse, A.D. et al. 2002; Clarke, S.J. et al. 2003; Hulse, D. & Gregory, S. 2004; Hohausova, E. & Jurajda, P. 2005; Kline, M. 2007; WWF International 2010). A háttérben a természethez igazodó tervezés klasszikus, tájökölógiai szempontokat érvényesítő elképzelése (McHarg, I. 1995) húzódik meg.

A helyreállítási (rehabilitációs) alternatívák három csoportba sorolhatók (Smith, M.P. et al. 2008): *beavatkozás nélküli* („no action”), *passzív* vagy *aktív helyreállítás* (6.10. táblázat). A „no action” alternatíva azt jelenti, hogy a szabályozott folyó minden segítség nélkül is képes visszaállítani természetközeli állapotát, nagy tehát a „helyreállási potenciálja” (recovery

potential). Teljesen természetes állapotot azonban az ilyen stratégiától még nagyon hosszú távon sem várható.

Passzív helyreállításkor úgy befolyásoljuk a folyót, hogy kiiktassa a hátrányos külső hatást, ezzel helyreállítsa környezetét, anélkül, hogy közvetlenül beavatkoznánk a folyami rendszerbe. A kétféle megközelítés különbsége úgy is megfogalmazható, hogy az aktív rehabilitáció célja „termékek” (kedvezőbbnek vélt felszínformák, növényzet) előállítás, míg a passzív rehabilitáció a kedvező állapotokhoz vezető folyamatokat kívánja beindítani (Richards, K.S. et al. 2002).

6.10. táblázat A három helyreállítási megközelítés összehasonlítása (Smith, M.P. et al. 2008, kiegészítve)

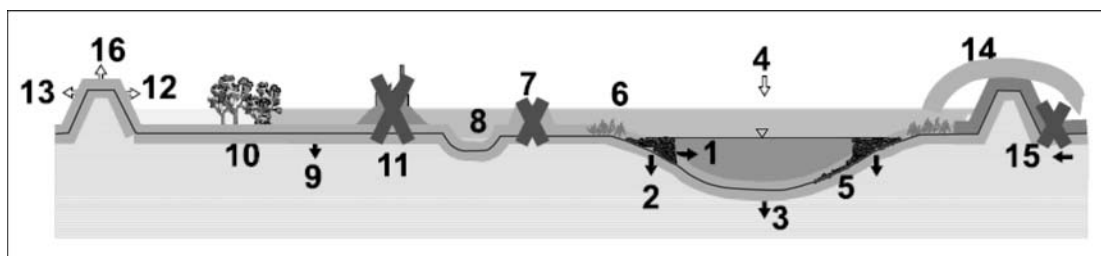
<i>általános megközelítés</i>	<i>stratégia</i>	<i>példa</i>	<i>helyreállási potenciál</i>
„no action”	nincs beavatkozás, remélhető, hogy a folyó kiküszöböli a kisebb zavarás következményeit	a természetes zavarások (pl. árvizek) hosszabb időtávlatban egyensúlyi állapothoz vezetnek	nagy
passzív	az árvízvédelmi intézkedések megtétele után lehetővé tenni a meder szabad reakcióját	a folyómenti sávban fekvő földek felvásárlása, hogy rajtuk szabadon kialakulhasson a meanderövezet	közepes
aktív	a meder mesterséges vonalvezetésének kiigazítása stabil meder kialakítása érdekében, a passzív eljárások beépítésével	új medervonalvezetés, partok megerősítése természetes eljárásokkal, de teret hagyva a folyónak, hogy esését és mintázatát „finomra hangolhassa”	kicsi

A passzív eljárások közé tartozik pl. az ártér beépítését tiltó jogszabályok érvényesítése vagy az ártér természetvédelmi területté nyilvánítása. Ezzel megakadályozható a további állapotromlás és elősegíthető a természetes helyreállítás (recovery). A legtöbb rehabilitációs projektben előbb a passzív, majd kiegészítésként helyi aktív („kemény” vagy „lágy” mérnöki) beavatkozásokat kell alkalmazni, hogy a folyómeder és tágabb környezete minél hamarabb elérje a megkívánt egyensúlyi állapotot. Az intenzív aktív beavatkozásokat igénylő folyók helyreállíthatósági potenciálja (restoration potential) is lehet nagy, pl. ha megvannak a feltételek (a hely) a meanderövezet mesterséges kialakítására.

A meder helyreállításának *empirikus* módszerű tervezéséhez felhasználják a hidraulikus geometria egyenleteit, a folyók mintázatára (Leopold, L.B. & Wolman, M.G. 1957), a meanderek geometriájára (Williams, G.P. 1986, 1988; Simon, A. 1989) vonatkozó ismereteket. Az összefüggések átvitele más környezeti viszonyok közé azonban jelentős hibák forrása lehet. Kevesebb adatot kell gyűjteni az ún. *analóg* módszerhez, amikor valamely természetes(ebb), „egészséges” állapotú folyó képére igyekeznek formálni a helyreállítandó vízfolyást, és a referenciaként használt vízfolyás esése, mederanyaga és parti növényzete lesz

a helyreállítás modellje (ld. pl. Rosgen, D.L. 1998) - de a tökéletes referenciák felkutatása nehéz feladat. Az *analitikus* módszerek alapvető fizikai egyenletek segítségével, számítógépes modellezéssel, különböző tér- és időbeli méretarányban tervezik meg a helyreállítást. Hátrányuk, hogy leginkább távol állnak a valódi viszonyoktól, így nem teszik feleslegessé az empirikus és az analóg eljárásokat. Általános szabály, hogy a folyóhelyreállítási projektek annál sikeresebbek, minél nagyobb teret engednek a természetes helyreállási folyamatoknak (Smith, M.P. et al. 2008) és minél több figyelmet fordítanak az ártér rehabilitációjára is (holisztikus megközelítés). Ökológiai szempontból a legfontosabb feladat (Brookes, A. & Shields, F.D. Jr. 1996): a természeteshez közeli árvízi lefolyásgörbe kialakítása; a parti öv és az ártéri ökológiai hálózat minél tökéletesebb helyreállítása; az ártéri mátrix helyreállítása minél kisebb aktív beavatkozással; a medervándorlás útjában álló akadályok eltávolítása.

Egy helyreállítási javaslatnak – a helyreállíthatósági potenciál meghatározásán kívül – tartalmaznia kell azokat a *beavatkozásokat*, amelyek segítségével az ártér természetközeli állapota helyreállítható lesz (Buijse, A.D. et al. 2002 – 6.17. ábra). A Kapos esetében természetes helyreállási potenciálról csak nagyon korlátozott értelemben lehet beszélni. Ezért a folyó és ártere hidromorfológiai szakaszait a helyreállíthatósági potenciál szempontjából aszerint minősítettem, hogy melyik szakaszon milyen passzív változtatások vagy aktív beruházások szolgálnak leginkább az árvízvédelem és az élőhelymegőrzés (-kialakítás) céljait. (A hajózási feltételek javítása a Kaposon nyilván nem releváns cél.)



6.17. ábra Lehetséges beavatkozások alluviális folyók mentén a hajózási és árvízvédelmi feltételek, valamint az ökológiai állapot javítása céljából (forrás: Buijse, A.D. et al. 2002; 7. ábra) 1 = a főmeder szűkítése; 2 = sarkantyúk magasságának csökkentése; 3 = mederkotrás; 4 = hordalék áthelyezése; 5 = állandó mederburkolás; 6 = természetes partok kialakítása; 7 = a nyári gátak elbontása; 8 = mellékmedrek létesítése; 9 = a hullámtér szintjének csökkentése; 10 = a természetes élővilág terjedésének elősegítése; 11 = feltöltések eltávolítása; 12 = a gátak megerősítése; 13 = a gátak áthelyezése; 14 = vízvisszatartás a hullámtéren kívül; 15 = a hozzáfolyások megakadályozása; 16 = a gátak magasságának emelése

6.3. Földminősítési módszerek

6.3.1. Az árterek termőképességének minősítése

Az *általános termőképesség* (angolul: land capability) a táj általános mezőgazdasági (esetleg erdőgazdasági) értékét, agroökológiai potenciálját hivatott feltárni (McRae, S.G. & Burnham,

C.P. 1981; Lóczy D. 2002). Az ilyen célú felmérések alapozzák meg a területfejlesztési politikát. Az értékelés alapja elsősorban a talaj típusa vagy fizikai félesége, a pontozást másodlagos paraméterek finomítják. A Magyarországon kidolgozott D-e-meter földminősítési rendszerben kiemelt jelentőségű tényező a domborzat, a talajok víz- és tápanyag-ellátottsága, komplex tulajdonságai, valamint a művelés módja (6.18. ábra). Az ártéri talajok az intenzív változatban 30–70, az extenzívben 20–50 közötti pontértékekkel szerepelnek. Ezen kívül az éghajlatot is figyelembe veszik a következő módon: Magyarország 75 agrometeorológiai alkörzetében a növények termésmennyisége szerint háromféle évjárat határozható meg:

I. optimális évjárat (amely maximális produkciót eredményez);

II. ún. várható évjárat (amely átlagos produkcióval jár) és

III. rossz évjárat (jelentősen gyengébb terméssel).



6.18. ábra A D-e-meter földminősítő rendszer sémája szántóföldi növénytermesztésre (Tóth G. et al. 2009)

A D-e-meter módszerrel az ártér termőképességéről megbízható képet lehet alkotni. Alkalmazása azonban a művelési módok és a terméseredmények részletes adatbázisának feldolgozását tette volna szükségessé, amire a jelen kutatásban nem volt lehetőség.

A leghasználhatóbbnak egy gyors, viszonylag kevés alapadatot megkövetelő eljárás, az ún. „gyakorlati földminősítés” (Dömsödi J. 2011) bizonyult, melynek nyolc tényező az alapja (6.11. táblázat). A szántók (ártereken előforduló) talajainak genetikai típusait négy minőségi kategóriába sorolja (a két utóbbi kategória legcélszerűbb földhasználata inkább a rét- vagy a nádgazdálkodás):

I. Réti csernozjom, csernozjom réti talajok.

II. Lejtőhordalék talajok (a peremeken).

III. Réi talajok, öntés réti talajok, szolonyeces réti talajok, lápos réti talajok, pszeudoglejes barna erdőtalajok, nyers öntéstalajok.

IV. Nyers öntéstalajok és humuszos öntéstalajok (mindkettő homokon).

Az összesített termőhelyi értékszám szerint a termőképesség minősítése: kiváló: 86–100 pont; jó (71–85 pont); közepes (51–70 pont); gyenge (<50 pont).

Az általános termőképességi felmérés csak nagy vonalakban tájékoztat a terület hasznosítási lehetőségeiről. A legkedvezőbb földhasználat megtervezéséhez pontosabb célok megfogalmazására, és ennek megfelelően részletesebb vizsgálatokra van szükség.

6.11. táblázat A gyakorlati célú földminősítés főbb tényezői (Dömsödi J. 2011 nyomán, átdolgozva)

<i>sor-szám</i>	<i>földminőségi tényező</i>	<i>maximális termőhelyi értékszám</i>
1	domborzat (domborzati helyzet, lejtés, a talajvíz közepes szintje, erózió- és deflációveszély), helyi klíma (kitettség)	18
2	genetikai talajtípus (Magyarország genetikai talajterképe alapján)	9
3	a feltalaj kémiai tulajdonságai (pH, mészállapot, sótartalom)	10
4	a talaj fizikai félesége, kötöttsége (fajlagos ellenállás), szerkezete	9
5	az altalaj minőségromtó tulajdonságai (vízvezető képessége, talajhibák 150 cm-ig)	18
6	a humuszos réteg és a termőréteg vastagsága	9
7	alkalmasság földhasználati ágakra (szántó és egyéb földhasználati minőségi osztály)	9
8	növényi alkalmasság (hány növény termeszthető sikeresen)	18
	összesen	100

Az ártéri szántóföldeken rendszerint sorban vetett („kapás”) növényeket termesztenek. A Kapos árterén elterjedt a kukorica, napraforgó és a takarmánynövények termesztése, míg a cukorrépa – az ismert felvásárlási gondok miatt – innen is visszaszorult.

Lényeges kritérium az, hogy a növények milyen tartós tavaszi-nyár eleji előntést képesek elviselni súlyos terméscsökkenés nélkül (Petrasovits I. & Balogh J. 1975). A napraforgó termesztetősége mellett szól, hogy áprilisban egyhetes előntés csak kb. 20%-kal rontja a várható termésmennyiséget (bár a kéthetes előntés kb. 80%-os terméskiesést okoz). A kukorica esetében már egyhetes előntés is 80% veszteséggel jár. A napraforgó a májusi vízborítást is valamivel jobban elviseli. Ugyanilyen fontos a talajvíztükör helyzete is.

6.3.2. Növényi alkalmasság vizsgálatok

Az egyes növények termesztésére való területi alkalmasságot (land suitability) a legegyszerűbben alkalmassági táblázatokkal, pontozással lehet felmérni (Lóczy D. 2002).

6.3.2.1. Zöldségtermesztésre való alkalmasság

Ha a termények választékát bővíteni kívánjuk, kevésbé gyakori, *speciális termények* előállíthatóságával is érdemes foglalkozni. Laza talajú ártereken ilyen lehet a torma, a rebarbara vagy a spárga. Tekintettel a hazai termesztési hagyományokra és a fogyasztói szokásokra, a – Kapos árterén régóta termesztett – torma területi alkalmasságát érdemes megvizsgálni.

A torma (*Armoracia lapathifolia Usteri*) – a szakirodalom alapján (Géczi L. 1998) – alacsony hőigényű növény, hazánknál hűvösebb éghajlaton is megterem. Az évelő torma a száraz, kemény fagyokat takarás nélkül is elviseli, tehát a keskeny, mély völgyek talpának fagyzugaiban is termesztethető. Levelei csak mínusz 4–5 °C-on fagynak el, gyökerei pedig különösen fagyállóak. A levegő megfelelő páratartalma esetén forró időben is szépen díszlik. Félárnyékos helyen is fejlődik, de az ízanyagok kialakulásához sok napfényre (legalább évi 1400–1500 napsütéses órára) van szüksége. Jó minőséget csak nyílt terepen, napsütötte helyen lehet elérni – az árterek ilyenekkel is tudnak szolgálni.

A környezeti tényezők közül a talajjal szembeni igénye a legjelentősebb. A talaj kedvező kémhatása tekintetében a szakirodalomban meglehetősen eltérő véleményekkel lehet találkozni: Géczi László (1998) szerint az enyhén savanyú, 5,5 és 6,8 pH közötti, Lenchés Ottó (in: Bernáth J. 2006) szerint a semleges (pH 6,2–7,5) talajokat kedveli. Vitathatatlan azonban, hogy gyors növekedése közben sok vizet párologtat, erősen vízigényes, vadon is csak ártereken, mocsaras helyeken fordul elő. Termőhelyi alkalmasság szempontjából elsősorban a talajok vízgazdálkodását kell minősíteni. Pangóvizes talajokon nem fejlődik jól. Ideális termőhelye a jó vízellátású, állandóan nyirkos, humuszban gazdag, laza szerkezetű öntéstalaj, kotus láptalaj vagy lápföld. Az agyagos talajokon gyorsan megfásodik, túl csípős lesz, ugyanakkor sovány homokon ízetlen és kevés termést ad. A talaj vízgazdálkodását bakhátas műveléssel (30–40 cm magas háta, 80–100 cm-es sortávolsággal) lehet javítani. Száraz időszakban a bakhátak közé vizet lehet vezetni, a torma minősége öntözéssel kedvezően befolyásolható. A 60–70 cm mély forgatás azért is szükséges lehet, hogy a gyökerek hosszúak és egyenesek legyenek. A tormaföldek szomszédságában előnytelen a gyomvegetáció, mert a gyomokról a vírusbetegségek bogarakkal áttejeshetnek a tormára.

6.3.2.2. Gyógynövények termesztésére való alkalmasság

Az ártéri mezőgazdálkodás terményválasztékának bővítésére további lehetőségek is kínálkoznak. A dísnövények, díszfák nevelésére, zöldségtermesztésre ott van lehetőség, ahol közel a felvevőpiac. Az ártereken, vizenyős területeken sokféle higrofil gyógynövény előfordul, de ezeket nagyrészt nem termesztik, hanem begyűjtik. (Tulajdonképpen a torma is gyógyhatású növénynek számít, hiszen kedvező egészségügyi hatásai vannak, fogyasztását légúti, emésztési és húgyúti megbetegedésekkel ajánlják.) Még két, nedves élőhelyet kedvelő drognövényt szokás nagyobb mennyiségben termesztetni, hogy hatóanyagukat megbízható minőségben lehessen előállítani: az orvosi zilizt (*Althea officinalis*) és a macskagyökeret vagy fehérmályvát (*Valeriana officinalis*) (Bernáth J. 2006). Az árterek – az öntözési lehetőségek miatt is – kedvezőek termesztésükre.

A macskagyökér a kaszálórétek, ártéri ligeterdők, láperdők növénye. Nagy vízigénye (évi 600–700 mm csapadékmennyiség) miatt csak Magyarország nedvesebb éghajlatú vidékein termesztik (pl. Tolna megyében is), mély rétegű, közép kötött, homok vagy homokos vályog fizikai féleségű, jó víz- és tápanyagellátottságú talajokon. A túl nedves talajokon lassan fejlődik. Gyökere, gyöktörzse nyugtató, szorongáscsökkentő, enyhe görcsoldó hatású gyógyszer, valamint – illóanyag-tartalmának köszönhetően – illatszertápanyaga. Az orvosi ziliz folyók menti, mély fekvésű vizes élőhelyeken tenyésző, évelő növény. A laza öntéstalajokat kedveli, de a szikes talajt is tűri, gyomtársulásokban gyakori. Hőigénye nagy, 20°C feletti hőmérsékleten kezd csírázni, ezért tenyészideje hosszú (Bernáth J. 2006). Áprilisban (télire augusztus-november között) vetik, ill. palántáról június elején ültetik. A gyökeréből vagy leveléből készített teát köhögés ellen fogyasztják, légúti vagy gyomor-, bélhurut ellen is alkalmazzák.

A gyógynövények ökológiájáról kevesebb szakirodalmi adat áll rendelkezésre. A botanikai vizsgálatok eredményeként kidolgozott ökológiai mutatók (Borhidi A. 1993) tájékoztatnak a gyógynövények hő-, víz-, pH- és nitrogén-igényéről (6.12. táblázat).

6.12. táblázat Termesztett gyógynövények ökológiai igényei (Borhidi A. 1993 rendszerében)

gyógynövény	latin név	T-érték	W-érték	R-érték	N-érték	Z-érték	TVK
macskagyökér	Valeriana officinalis	lomberdő klíma	mérsékelt enyhe üde	enyhén meszes	kis vagy közepes N-igény	degradációt jól tűri	kísérő faj
orvosi ziliz	Althea officinalis	lomberdő klíma	mérsékelt nedves	meszes	kis N-igény	degradációt jól tűri	zavarástűrő faj

Termőterületeik az alkalmassági követelmények (6.13. táblázat) („kereslet” oldal) és a talajtérképezés eredményei („kínálat” oldal) összevetésével, földértékeléssel határozhatók meg. A Kapos árterén egyéb növények (pl. mák, majoránna, bazsalikom) is eredményesen termesztethetők lennének. Növényvédelmüket agrotechnikai módszerekkel kell megoldani, vegyszeres kezelésük nem ajánlott.

6.13. táblázat A vizsgált gyógynövények termesztésére való alkalmasság minősítő táblázata

gyógynövény	kedvező fekvés (felszíninforma)	kedvező talajtípus (-változat)	talajvíz kedvező mélysége (m)
macskagyökér	közepes ártéri szint (peremi lejtők, folyóhát külső lejtője, ártéri lapály szegélye)	meszes öntés réti talaj, kotus réti talaj, homokos réti talaj, lápföld	<1,5
orvosi ziliz	ártéri lapály, feltöltött morotva fenékszintje	lápós réti talaj, agyagos réti talaj	<1

6.3.2.3. Gyepgazdálkodásra való alkalmasság

A Kapos ártere szinte mindenütt alkalmas kaszálórétként vagy legelőként történő hasznosításra. Kivételek a tartósan vízállásos területek, amelyeket a savanyú füvek, sásos

növények emésztésére alkalmas állatok, pl. szürkemarha, bivaly tartásával célszerű hasznosítani (Gergely E. 2000). Az árvízvédelmi töltések kaszálása minden szempontból kívánatos. A mélyebb fekvésű kaszálóréteken a vízborítottság megakadályozhatja a gépi kaszálást, a legeltetés nehézségét pedig az állatállomány – társadalmi okokból fakadó – fokozatos csökkenése jelenti. Legeltetési korlátozást tulajdonképpen csak a védett növények és állatok megóvása érdekében kellene érvényesíteni. A gyephasználatot a vadgazdálkodás (fácán, fogoly, őz) szempontjaihoz is hozzá kell igazítani. A gyepgazdálkodási célú földminősítésben (6.14. táblázat) a D-e-meter rendszer gyepminősítését (6.15. táblázat), adathiány miatt nem tudtam felhasználni.

6.14. táblázat Szarvasmarha legeltetésére való területi alkalmasság ötfokozatú minősítése (McRae, S.G. & Burnham, C.P. 1981 és egyéb források, pl. DME 1995 nyomán). D_w = diszponibilis víz; EC = elektromos vezetőképesség (sótartalom)

osztály	$D_w(mm)$	termőréteg-vastagság (cm)	EC a gyökérzónában (mS/cm)	kövesség (% kavics a felszínen)	pH	nedves-ségi osztály*	lejtés (%)	előntés-veszély (nap)
1	>125	>120	<0,15	<20	5,6–6,6	I	<3	0
2	100–125	90–120	0,15 – 0,3	20–50	6,6 – 8,0 vagy 5,0–5,6	II	3–12	<30
3	75–100	50–90	0,3 – 0,9	50–90	8,0–9,0 vagy 4,5–5,0	III	12–20	30–90
4	50–75	30–50	0,9 – 1,2	>90	9,0–10,0 vagy 4,0–5,0	IV	20–45	90–180
5	<50	<30	>1,2	sziklás vagy kavicsos felszín	>10,0 vagy <4,0	V, VI	>45	>180

* ld. 6.8. táblázat

6.15. táblázat A gyep termékenységét befolyásoló tényezők (Dér F. et al. 2007)

sor-szám	minősítési paraméter	mértékegység	súlyozás	megjegyzés
1	a gyeptípus termőképessége	szárazanyag (t/ha)	0,8–1,2	a gyeptípusok több éves termőképességének becslése szakirodalmi adatokból
2	a talaj vízgazdálkodása	víznyelés, -raktározás (mm/nap)	0,8–1,2	5 talajvízszint tartomány a 9 fizikai talajfőleségre
3	agroökológiai körzet	-	0,6–1,6	35 alkörzet jellegzetes ökológiai viszonyokkal
4	lejtőkategória	%	0,6–1,2	4 lejtőkategória
5	a gyeptelepítés ideje	év	2–10 éves: 1,6; ösgyepek (>10 év): 1,2	a még nem beállott gyep súlya: 0,8
6	az évjárat hatás	-	0,8–1,2	mint a szántóföldek esetében (optimális, várható, rossz évjárat)
7	a művelés intenzitása	intenzív, félintenzív, extenzív	0,8–1,2	tápanyag-visszapótlás és a hasznosítás rendszeressége szerint
8	minőség	-	0,8–1,2	gyepalkotó növényfajok, -fajták takarmányozási értéke
9	állatteltartó képesség	nagyállat egység/ha	0,8–1,2	a gyepterületek valós értékét mutatja

Az agroökológiai értékelés célja, hogy megtaláljuk az ártér tájszerkezetébe illeszkedő földhasználati módokat, amelyek a lehető legkevesebb környezeti konfliktussal járnak.

7. Eredmények

7.1. A hidromorfológiai vizsgálatok eredményei

7.1.1. Az ártér kiterjedése

A 2. katonai felmérés georeferált térképeit összehasonlítva az 1999-ben reambulált topográfiai térképekkel sikerült nagy pontossággal feltárni, mekkora területre terjedhetett ki a 18. század végén a Kapos folyó ártere. A digitalizált adatokból készített térinformatikai rekonstrukció szerint az ártér legnagyobb kiterjedése 104,2 km² lehetett (a vízgyűjtő 3,3%-a – ugyanannyi, mint a Duna esetében!). Ez a vízrendszerhez tartozó összes ártér kb. 70 %-a. Nem tartoznak bele azok a magasabb helyzetű sík felszínek, amelyek – főleg a Külső-Somogyi-dombság déli szegélyén sokhelyütt kísérik az árteret, és helyet adnak a völgyi települések többségének (*Melléklet 8. 3. fénykép*). Ez a terület kb. 1 km átlagos ártérszélességet jelent, ami – mint a legtöbb átlag – félrevezető, hiszen a Kapos árterére különösen jellemző a tágulatok és szűkületek többszöri váltakozása. A hullámtér (vízfelszín nélkül kb. 2,75 km²) aránya az egykori ártérhez képest mindössze 2,6%. Ez az adat jól érzékelteti, hogy milyen mértékben leszűkült a folyó „mozgástere”, felszínalakító hatása a folyószabályozások következtében.

7.1.2. A különböző eljárásokkal végzett ártér-elhatárolások összehasonlítása

Az archív térképek manuális feldolgozásán kívül a Kapos eredeti árterét háromféle automatikus (GIS) eljárással is igyekeztünk rekonstruálni (*7.1. táblázat, 7.1., 7.2. ábra*). Az automatikus modellezések eredményeit egy kiválasztott, több ártéregységet tartalmazó szakaszon a térképi rekonstrukcióval vetettük össze, amelyet szintén digitális formában állítottunk elő. Ezt a rekonstrukciót önkényesen a legmegbízhatóbb eljárásnak fogadtuk el.

Látható, hogy a legújabb eljárás, az ausztrál völgyfenék index (MrVBF) nagyon jól közelítette, csak igen kis mértékben becsülte alá az ártér kiterjedését. Ennek a mutatónak a használata mellett szól az az előnye is, hogy viszonylag kevésbé érzékeny az alapul vett DEM felbontására, 25–250 m közötti felbontási tartományban alkalmazható (Gallant, J.C. & Dowling, T.I. 2003). A többi térinformatikai eljárásra az jellemző, hogy a mellékvizek ártereinek becsatlakozásánál nehezen tudta kettéválasztani a két árteret, ezért erősen (negyedével, felével) túlbecsülte a Kapos árterének kiterjedését, még inkább az ártér szélességét (általában másfélszeresen). Feltűnő, hogy az összehasonlító táblázat gyakorlatilag

csak egyetlen esetben mutat alulbecslést, annak is minimális a mértéke. A 7.1. táblázatban összehasonlításként bemutatok egy mecseki kisvízfolyás, a Bükkösdi-víz árterének modellezési eredményét is (Lóczy, D. et al. 2011). A szembevető módon különböző eredmény magyarázatához figyelembe kell venni a következőket:

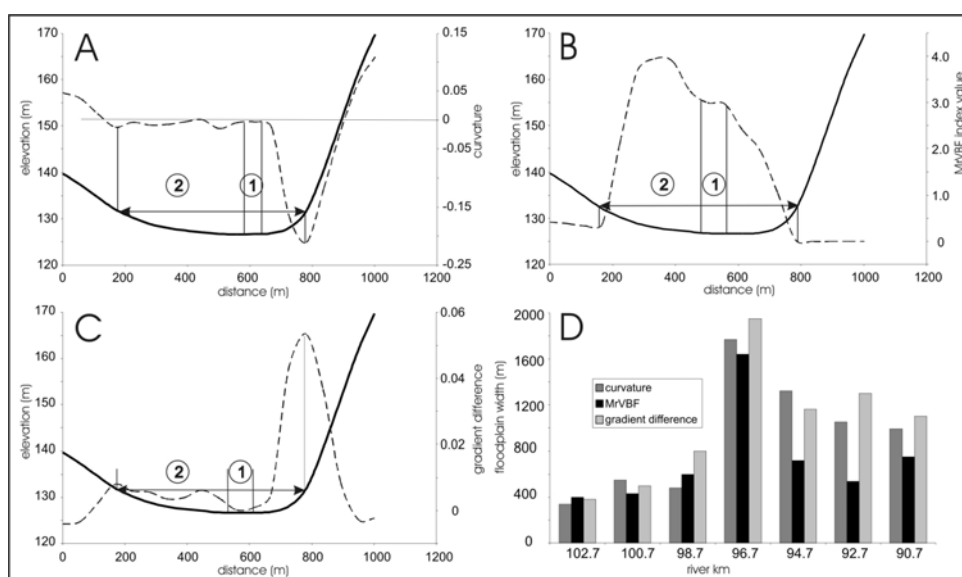
- A Bükkösdi-víz ártere jóval keskenyebb, nagyobb relatív reliefű, hegyvidéki környezetben fekszik, ezért pereme jóval élesebben rajzolódik ki.
- A Bükkösdi-víz vízgyűjtőjére – egy másik projektnek köszönhetően – jobb függőleges felbontású DEM állt rendelkezésre, mint a Kapos vízgyűjtőjére.
- A patak árterének peremén kevésbé jellemzők azok a sík, enyhe lejtéssel lealacsonyodó terraszzerű felszínek, amelyek a Kapos esetében különösen megnehezítik az elhatárolást.

Így érthető, hogy a Bükkösdi-víz árterének területét mind az MrVBF, mind a görbültségi eljárással kitűnően modelleztük, míg a gradiens-különbség némileg túlbecsültük.

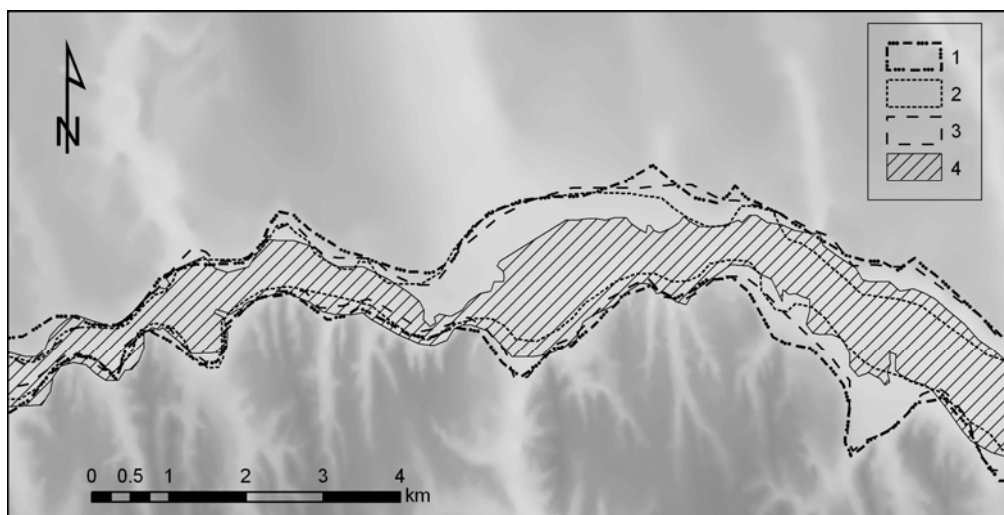
7.1. táblázat Az automatikus elhatárolási eljárással kapott és az archív térképek interpretációjával rekonstruált árter méretének összehasonlítása a Kapos Kaposvár és Dombóvár (87–65 folyókm) közötti szakasza mentén (összehasonlításul a Bükkösdi-víz ártere adatai) (Lóczy, D. et al. 2011)

	az alkalmazott elhatárolási eljárás			
Kapos (Kaposvár – Dombóvár szakasz)	gradiens-különbség*	MrVBF*	görbültség*	archív térképek interpretációja
terület (km ²)	171,5 (146,1%)	114,4 (97,4%)	150,8 (128,4%)	117,4
legkisebb szélesség (m)	285 (180,4%)	172 (108,9%)	255 (161,4%)	158
legnagyobb szélesség(m)	1950 (158,0%)	1652 (133,9%)	1770 (143,4%)	1234
<i>Bükkösdi-víz</i>				
terület (km ²)	18,04 (110,0%)	16,3 (99,4%)	16,4 (100%)	16,4
legkisebb szélesség (m)	29,5 (136,6%)	33,4 (154,6%)	34,6 (160,2%)	21,6
legnagyobb szélesség(m)	1671 (119,1%)	1561 (111,3%)	1652 (117,7%)	1403

* Az archív térképek interpretációjával megállapított adatok százalékában

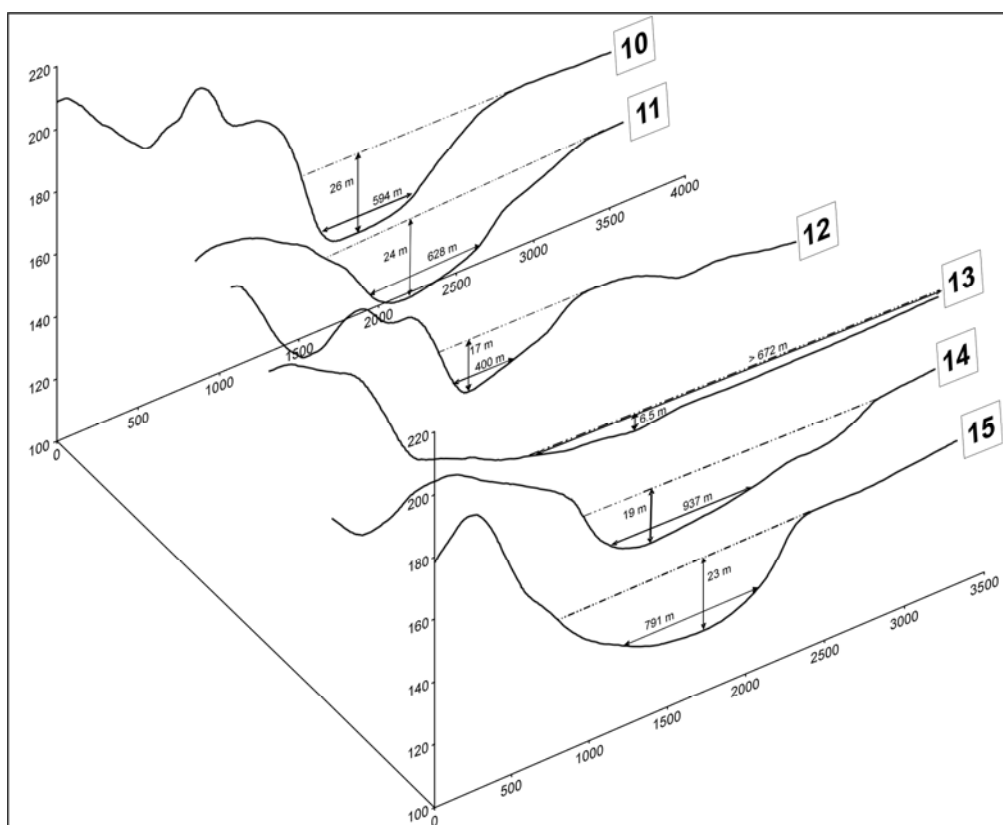


7.1. ábra Az 50%-os (1) és az 1%-os árvízgyakoriságú árter (2) meghatározása a görbültség (A); az MrVBF index (B) és a gradiens-különbség (C) módszerével (Lóczy, D. et al. 2011). D. A háromféle eredmény összehasonlítása a Kapos Kaposvár–Dombóvár közötti szakaszára



7.2. ábra A 7.1. táblázatban összehasonlított rekonstrukciók eredményeinek térképi bemutatása (Lóczy, D. et al. 2011). 1 = gradiens-különbségből; 2 = az MrVBF módszerrel; 3 = domborzati görbültségből; 4 = archív térképek és légifelvétel segítségével

Egymástól 2 km-re felvett keresztmetszvények alapján a HEC-RAS modell szerint is megállapítottuk az ártér közelítőleges kiterjedését (7.2. ábra). Ez a módszer azonban – az alkalmazott DEM gyenge felbontása miatt – nem volt az előzőekhez mérhetően pontos.

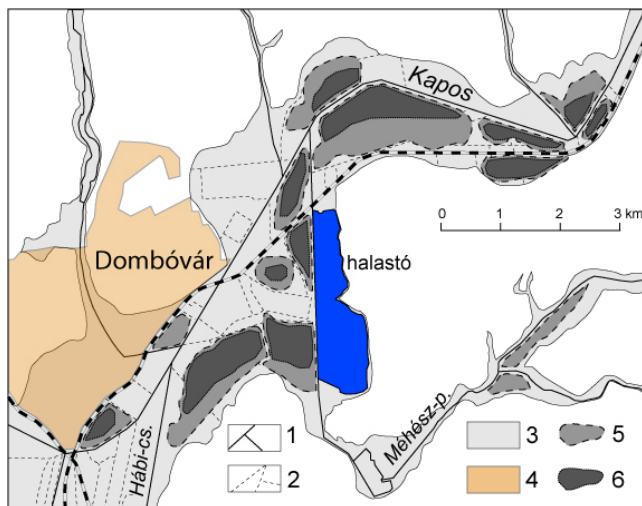


7.3. ábra Keresztmetszvényekből megállapított ártérszélesség (m) és relatív relief (m) a 102,7–92,7 fkm szakaszon. A számok a szelvények sorszámai. A 13. szelvény az Orci-patak befolyásánál van (Lóczy, D. et al. 2011)

A távérzékeléses módszerek felhasználásához a 2010. évi árvíz adott lehetőséget (Lóczy D. 2010c). 2010 május 15-én erős mediterrán ciklon frontrendszere érte el hazánkat, amely több napig tartó heves esőzést okozott. Kaposvárott május 14–17-e között – a sokéves (1951–2000) májusi átlaggal (68 mm) szemben – 139,5 mm eső hullott (az Országos Meteorológiai

Szolgálat adatai). A Kapos mellékvizeinek tetőző vízállása (vízhozama) 17–18-án a következő volt: a Surján-pataké a szentbalázsi vízmércén 265 cm-re (ez vízhozamban 9,5 m³/s-t jelent, szemben a 0,29 m³/s középvízhozammal), a Baranya-csatornáé Csikóstóttősnél 416 cm-re (65,0 m³/s; középvízhozam: 1,83 m³/s). Maga a Kapos Kaposvár-Fészerlaknál 30,8 m³/s vizet szállított, 18-szorosát az átlagos 1,69 m³/s-nak (a Dél-Dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság adatai). A levonuló árhullám ellenében sikerült megvédeni a völgy településeit, csak Döbrököz községben lépett ki a folyó a medréből (*Melléklet 8. 4. fénykép*).

A tartós hűvös időben alacsony volt a párolgás értéke, az ismétlődő csapadékesemények és a megemelkedett talajvíz jelentős területeken okoztak sekély, de a völgytalp nagy részét elborító belvívelöntést, elsősorban a Kapos-völgy rétjein, legelőin, az erdőkben, de sok szántóföldön is. Az öblözetek mindegyikében sekély időszakos tavak keletkeztek (Lóczy D. 2010c). Mélységük a vetemények (elsősorban a kukorica), ill. a szénabálák elöntési magasságából átlagosan 15–20 cm lehetett, de helyenként elérte a fél métert is. A júliusi és augusztusi néhány hetes kánikula sem volt képes jelentősen csökkenteni az elöntött területek kiterjedését, viszont felmelegítette a tavak vizét, és felgyorsította bennük a biológiai produkciót. A belvívelöntések helyét helyszíni felmérésekkel és távérzékeléses (ferde tengelyű légi- és felszíni felvételek) módszerekkel lehet rögzíteni (7.4. ábra). A lecsapolás előtti ártér határát a GoogleEarth 2007 február 5-i felvételén húztam meg a nedvesebb talajfelszínek alapján. A légifelvételeket Szabó Máté (Pécsi Légerégészeti Téma) készítette.



7.4. ábra A belvívelöntés alakulása a Kapos árterén Dombóvár környékén 2010 május vége és augusztus vége között (Lóczy D. 2010). 1 = a Kapos és mellékvizei, csatornák; 2 = közutak, földutak, egyéb, az árteret tagoló vonalas létesítmények (árkok, töltések); 3 = a Kapos egykori (topográfiai és üledékföldtani alapon meghatározott) ártere; 4 = beépített terület; 5 = elöntött terület 2010 május 20-án; 6 = elöntött terület 2010 augusztus 25-én

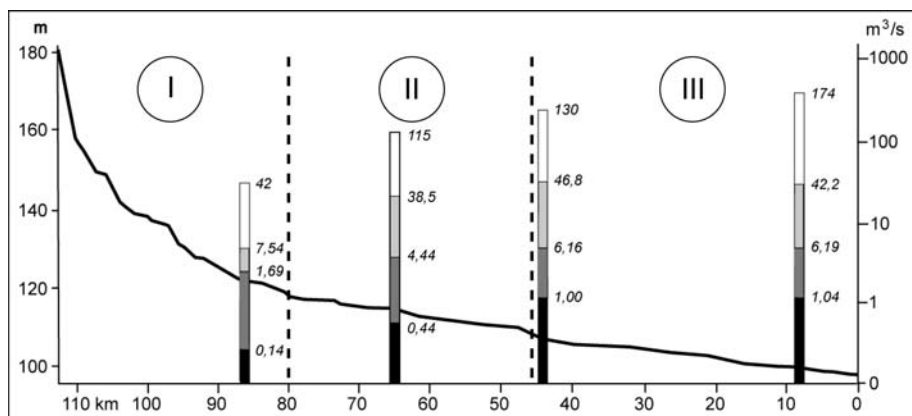
7.1.3. Az ártér szakaszokra bontása

7.1.3.1. Osztályozás Nanson és Croke módszerével

A folyó esésgörbéje és energiája alapján a Kapos árterét mindössze három szakaszra lehetett bontani. Határaikat részben a nagyobb vízhozamú mellékvizek (az Orci- és Surján-patak)

torkolatai jelölik ki (7.5. ábra). Az ártér formálásában főképp az árvízi vízhozamnak (fajlagos energiának) volt jelentősége, ezért a vízhozamok becsült abszolút maximumait is feltüntettem.

A nagyobb folyókra, amelyeknek a Kaposénál változatosabbak az ártérképző folyamataik, ill. völgyük változatosabb közettani felépítésű, az ausztrál osztályozás megfelelő eredményt ad. A Kapos esetében azonban nem differenciál kellőképpen, újabb osztályozási módszerrel kell kiegészíteni, amely a folyó természetes állapotát is figyelembe veszi. Ezért fejlesztettük ki a hosszanti ártérszelvény jellemzési eljárását, az LPI indexet.

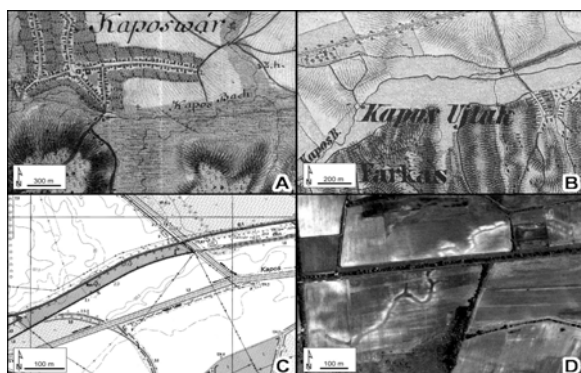


7.5. ábra A Kapos eséggörbéje és vízhozama (kis-, közép-, nagy- és maximális előforduló vízhozam) mint az ártérosztályozás alapadatai (forrás: Vízrajzi Évkönyvek)

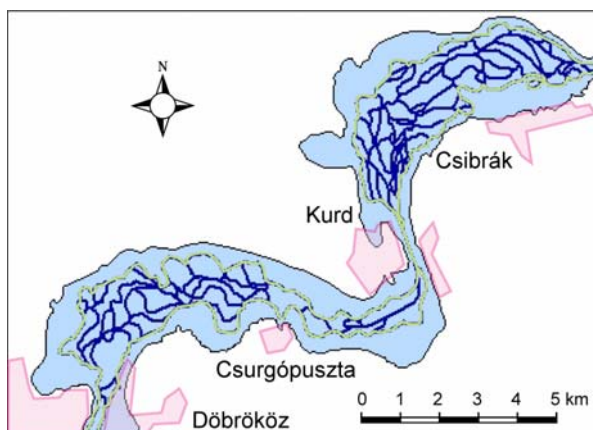
7.1.3.2. Osztályozás az LPI index alapján

Az LPI index segítségével (Lóczy, D. et al. 2011) pontosabb szakaszbeosztást tartottunk lehetségesnek. Reméltük, a szakaszok részletes morfológiai jellemzésére is alkalmas lesz.

Az archív térképeket nem csak az ártér peremének rekonstruálására használtuk, hanem segítségükkel meghatároztuk a Kapos szabályozás előtti medrének futását is. Ezt – legalábbis tudomásom szerint – közvetlenül egyetlen régi térképről sem lehetett leolvasni, de többféle információforrás együttes interpretálásával mégis kideríthető volt a „természetes” vízrajzi állapot (7.6. ábra). A kimutatható medrek szövevényéből mindig a két legszélsőt vettük figyelembe a folyómeder völgyi korlátozottságának megbecslésekor (7.7. ábra). A medrek viszonyát az ártér pereméhez képest 500 m-es közzel állapítottuk meg. A görbe amplitudója azonban túl nagy, minden esetben, amikor a meder keresztezi az ártér középvonalát, 100% az értéke (7.8. ábra). Így nehéz értelmezni a görbét, jellemezni vele a meder helyzetét az ártéren.

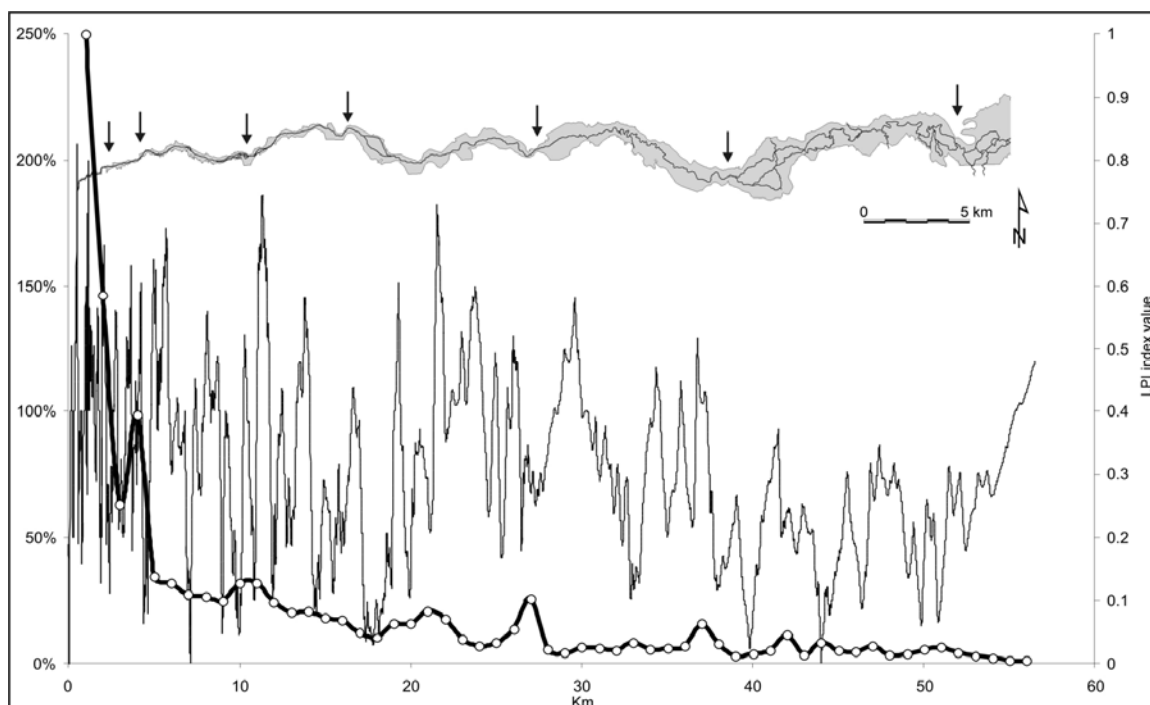


7.6. ábra Adatforrások a folyószabályozás előtti (holocén) Kapos-medrek rekonstrukciójához. A. Az 1. katonai felmérés (1783–84) térképlapja. B. A 2. katonai felmérés (1783–84) térképlapja. C. Aktuális topográfiai térképlap (reambulálva 1999-ben). D. Légifelvétel (2005)



7.7. ábra A Kapos régi medrei az archív térképi források és légifelvételek felhasználásával végzett rekonstrukció alapján, a Döbrököz–Kurdi- és a Csibráki öblözetben (IV–V. hidromorfológiai szakasz, 38–51 folyókm) (Gyenizse P.). A színes vonalak a szélső helyzetű medreket jelzik

Símitási eljárásra van szükség, amelynek eredménye az LPI index (7.8. ábra), amely nem csak a völgyi korlátozottság mértéke, hanem jól tükrözi az ártér egyéb jellemzőit is (7.9. ábra).



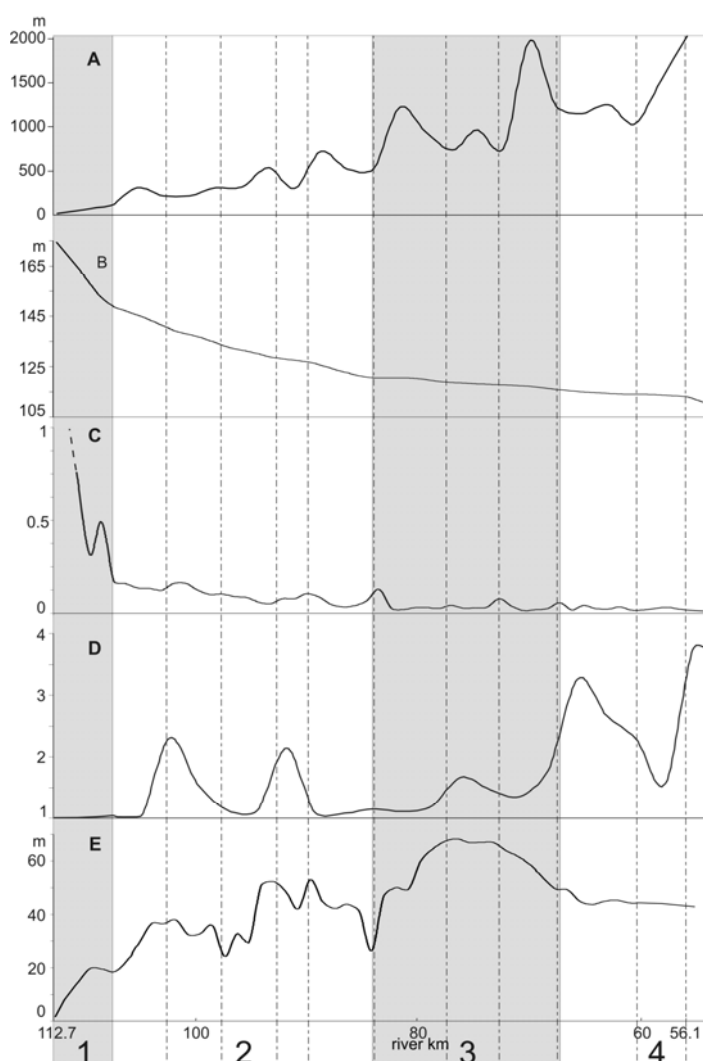
7.8. ábra A szabályozás előtti medrek rekonstrukciója (felső térképvázlat); a szélső helyzetű meder távolsága az ártér peremétől a 6.10. ábrán bemutatott módszerrel megállapítva (középső, vékony vonalas görbe); valamint a görbe simításával kialakított LPI index lefutása (alsó, vastag görbe a mérési pontokban körökkel) a Kapos forrástól Dombóvárig terjedő szakaszán (112,7–65 folyókm – Lóczy, D. et al. 2011). A nyilak a folyómechanizmus váltásának helyeit jelzik

A legfelső szakaszon az LPI értéke rendkívül nagy, hiszen a keskeny völgyben a meder – annak ellenére, hogy kanyargóssága minimális, számtalanszor keresztezi a csupán néhány méter széles „ártér” középvezetét. Tulajdonképpen valódi, folytonos ártérrel itt még nem is beszélhetünk. Az esés csökkenése, a völgy bevágódottságának mértéke és természetesen az ártér szélessége az LPI indexszel nagyon jó összhangban jelzi a (nem folytonos) ártér kezdetét (109,2 folyókm), ami bizonyos eltolódással a kanyargósság megnövekedése is követ. Az LPI

index lefutása a továbbiakban is szorosan kapcsolódik a többi görbéjéhez. A helyi csúcsok pl. az ártér összeszűkülését, a minimumok kitágulását jelzik.

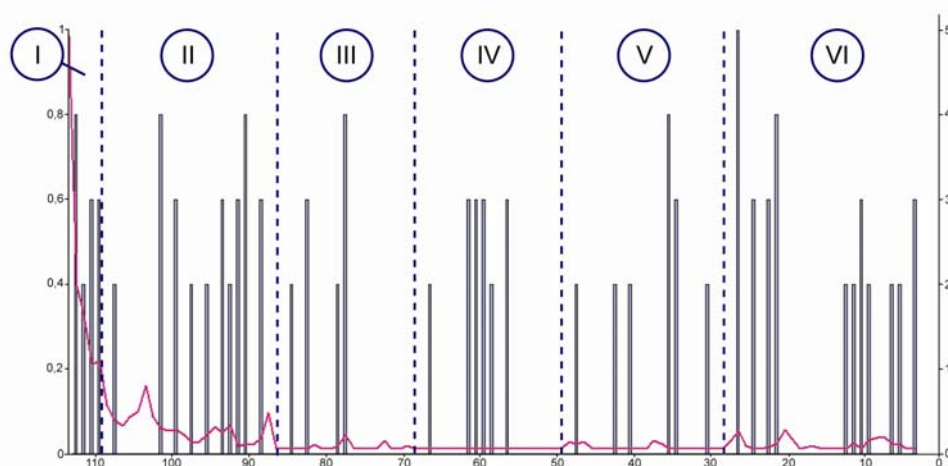
7.1.3.3. A Kapos-ártér szakaszai

Elsősorban az LPI-index értékei alapján a Kapos árterét egyértelműen elkülönülő szakaszokra oszthatjuk (7.9., 7.10., 7.11. ábra, 7.2. táblázat). Egyedül az átlagértékek alapján nem lehetne az árteret hosszirányban tagolni. Az indexnek azonban nem csak értéktartománya alkalmas az ártérszakaszok megkülönböztetésére, hanem görbéjének általános lefutása (a maximumok gyakorisága), ill. az LPI értékek szórása is. Figyelemre méltó, hogy az index alapján kijelölt szakaszok nem felelnek meg teljesen annak a tagolásnak, amely csupán a Kapos-csatorna jelenlegi térképi futásából, irányváltozásaiból, „kanyargósságából” következne.

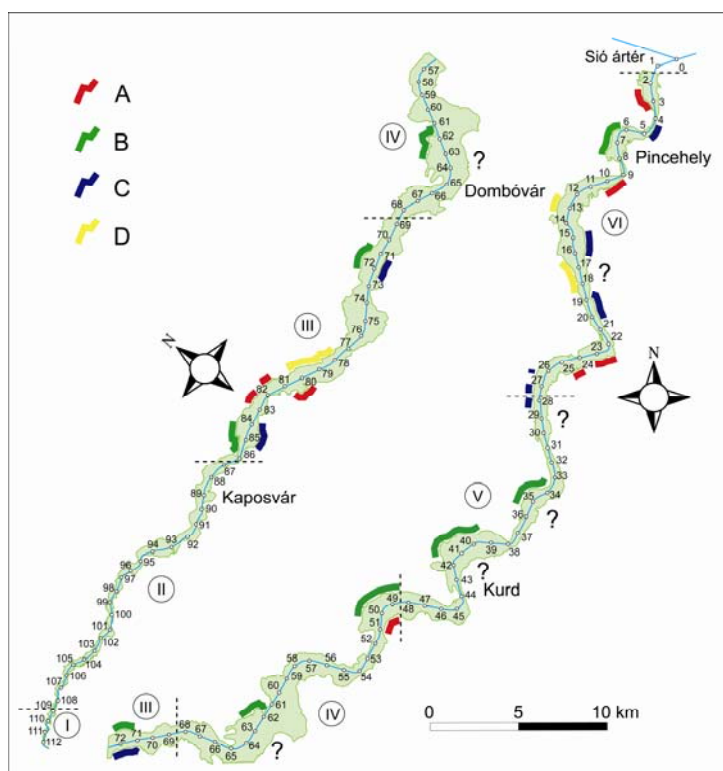


7.9. ábra Az árterek osztályozása szempontjából felhasználhatónak tartott paraméterértékek változásának grafikus összevetése a Kapos felső, Dombóvárig terjedő szakaszán (Lóczy, D. et al. 2011). A = az ártér szélessége; B = a meder esése; C = a völgyi korlátozottságot jellemző LPI index; D = a meder kanyargóssága (futásfejettsége); E = az ártérperem környezetében mérhető maximális relatív relief. A függőleges szaggatott vonalak a jelentősebb mellékvizek befolyási helyeit mutatják. 1 – 4 = ártérszakaszok

Az LPI index görbéjének futása, ill. a szakaszokat jellemző statisztikai értékek arra utalnak, hogy a Kapos ártere – viszonylag kis hossza ellenére – nem oszlik egyszerűen felső, középső és alsó szakaszra.



7.10. ábra A Kapos-ártér szakaszai az LPI index görbéje alapján a forrástól a torkolatig (Lóczy D.). A vízszintes tengelyen a folyókilométer értékei olvashatók; az oszlopok azt mutatják, hány régi meder keresztezi km-enként a Kapos-csatorna gátjait



7.11. ábra Az ártérszakaszok térképen ábrázolva, folyókilométeres beosztással (Lóczy D.), az ártérperemek lejtőprofiljainak feltüntetésével (a 6.11. ábra kategóriái szerint). A kérdőjel arra utal, hogy a lejtő alakját helyenként tömegmozgások alakíthatták

7.2. táblázat A Kapos-ártér szakaszai (Lóczy D.)

a szakasz sorszáma	határai (folyó km)	LPI értéktartomány	az LPI átlagértéke	LPI szórása	LPI helyi maximumainak száma/10 km
I.	112,7–109,2	0,2–1	0,429	0,309	5,7
II.	109,2–86,4	0,015–0,16	0,055	0,035	2,6
III.	86,4–68,7	0,013–0,046	0,017	0,192	2,8
IV.	68,7–49,5	0,012–0,015	0,013	0,0007	0,3
V.	49,5–28,2	0,012–0,031	0,026	0,007	1,4
VI.	28,2–0	0,012–0,058	0,023	0,006	2,1
teljes folyó	0–112,7	0,012–0,987	0,047	0,108	1,8

A felső kb. 50 km-en (tehát nagyjából Dombóvárig) ilyen „szabályos” sorrendben követik egymást a szakaszok, folyásirányban lejjebb azonban az LPI értékek ismét megnövekednek, tehát a völgyi korlátozottság ismét fokozódik. A rekonstruált medrek kumulatív kanyargóssága, ill. az öblözetekben kialakult összetett, jórészt szövevényesen elágazó medrek a folyó mechanizmusának átalakulására utalnak. (Ennek feltehetően tektonikai okai lehettek: a folyó innen kezdve a Kapos-vonal helyett inkább a Tamási-vonalat követi.) Az alsóbb szakaszon egyre nagyobb a völgyaszimmetria is, ahogyan az az ártér menti relatív relief értékének emelkedésében is tükröződik.

Geomorfológiai szempontból a Kapos árterének egyes szakaszait így lehet jellemezni:

I. A legfelső szakaszon valódi ártér nincs (pontosabban szélessége a DEM horizontális hibahatárán belülre esik). Az LPI értékek 0,2 felettiek.

II. Fokozatosan szélesedő, eleinte nem folytonos ártér (ld. 6.8. *ábra*). Az esés és az LPI értéke még viszonylag nagy és meglehetősen állandó (az LPI szórása kicsi). A völgy szélesség és a régi medrek kanyargóssága a sok mellékvízfolyás becsatlakozása miatt változó.

III. Az Orci- és a Surján-patak kétoldali befolyása alatti szakaszon az ártér jelentősen kiszélesedik, az LPI lecsökken, de görbéje meredek csúcsokat mutat. A völgyi korlátozottság is tovább mérséklődik, ugyanakkor megnő a relatív relief és eléri első maximumát.

IV. A Baranya-csatorna torkolata alatt az ártér szélessége jelentősen ingadozik, az esés állandó és kis mértékű, a relatív relief is stabilizálódik.

V. A jelenlegi Kapos-csatorna alaprajzi futásából már nem mutatható ki az a változás, amely a Völgyesség és a Tolnai-hegyhát határán következik be. Az esés kissé megnő, ugyanakkor az ártér kiszélesedik. Az öblözetek és a szűkületek váltakozása még markánsabbá válik. A széles árteret szövevényes (gyakran a lápokba belevesző) mederrendszerek alakították ki (ld. pl. 7.7. *ábra*). Jelentősebb mellékvizek a Koppány torkolatáig a bal parton sem ömlenek a Kaposba. Az LPI index értékeinek tartománya és szórása nő.

VI. Az utolsó kb. 25 km-en, a valamivel a Koppány torkolata alatt, a Fürgedi-patak befolyásánál kezdődő alsó szakaszon a völgyaszimmetria (relatív relief) és a völgyi korlátozottság tovább fokozódik. Mérséklődő esés mellett a tágulatok-szűkületek váltakoznak, az LPI számos helyi maximumot mutat.

A Kapos legalsó, kb. 1,5 km-es szakaszán (a tolnanémedi volt kendergyár környékén) már a Sió árterén fut, így ez nem tartozik bele a VI. ártérszakaszba.

7.1.4. Az öblözetek és szűkületek vizsgálata

A Kapos mentén megfigyelhető mind a 32 szűkületi pontra kiszámítottam a szűkületi/tágulati szögek arányát, külön összegezve az ártérszakaszokra (7.3. *táblázat*). A valamivel Dombóvár

felett kezdődő IV. szakaszon igazolódni látszik az a feltételezés, hogy a medrek a szűkületekben alaprajzban is aszimmetrikusak, amit a Kapos-vonal hatására fellépő rotáció okozhat. A legelső szakaszon ez a jelenség még markánsabb, de a szűkületek kis száma miatt statisztikailag nem támasztható alá. Ugyanakkor nem mond ellent a 6.6. ábra B részének.

7.3. táblázat A bal (α_b) és jobb oldali (α_j) szűkületi szögek aránya a bal (β_b) és jobb oldali (β_j) táglalati szögekhez a Kapos árterén (Lóczy D.)

szűkület sorszáma	szűkület távolsága (m)	szűkület szélessége (m)	$\alpha_b(^{\circ})$	$\alpha_j(^{\circ})$	$\beta_b(^{\circ})$	$\beta_j(^{\circ})$	$\alpha_b + \alpha_j / \beta_b + \beta_j$	szakaszonkénti átlag
1.	500*	80	20	35	80	35	0,44	II. 0,99
2.	580	110	35	30	40	15	1,18	
3.	380	60	30	15	30	35	0,69	
4.	340	70	20	30	35	10	1,11	
5.	720	220	60	55	80	55	0,85	
6.	520	170	55	70	40	40	1,69	
7.	2200	190	15	65	55	75	0,62	
8.	1000	180	30	65	50	40	1,06	III. 1,11
9.	510	200	65	35	50	10	1,67	
10.	860	190	40	45	20	55	1,13	
11.	1460	180	65	45	60	30	1,22	
12.	1630	170	25	60	25	55	1,06	
13.	2720	300	20	45	25	30	1,18	
14.	1130	300	20	85	35	30	1,62	
15.	2730	420	40	25	65	25	0,72	
16.	2650	150	55	15	25	55	0,88	
17.	2330	650	80	55	45	70	1,17	
18.	1160	520	50	40	45	45	1,00	
19.	5620	650	45	40	40	40	1,06	IV. 1,22
20.	4230	600	20	50	50	15	1,08	
21.	4930	790	30	60	40	45	1,06	
22.	2760	900	45	60	70	40	0,95	
23.	4030	300	30	85	20	40	1,92	
24.	3080	490	25	60	115	15	0,65	
25.	5610	240	50	15	50	25	0,87	
26.	4460	330	50	45	25	25	2,11	
27.	3890	690	50	50	30	60	1,11	
28.	2680	320	15	30	30	15	1,00	V. 1,96
29.	6230	590	40	50	50	45	0,95	
30.	2200	480	50	45	30	20	1,90	
31.	10270	230	15	45	5	10	4,00	
32.	3440	220	25	25	10	10	2,50	VI. 2,50

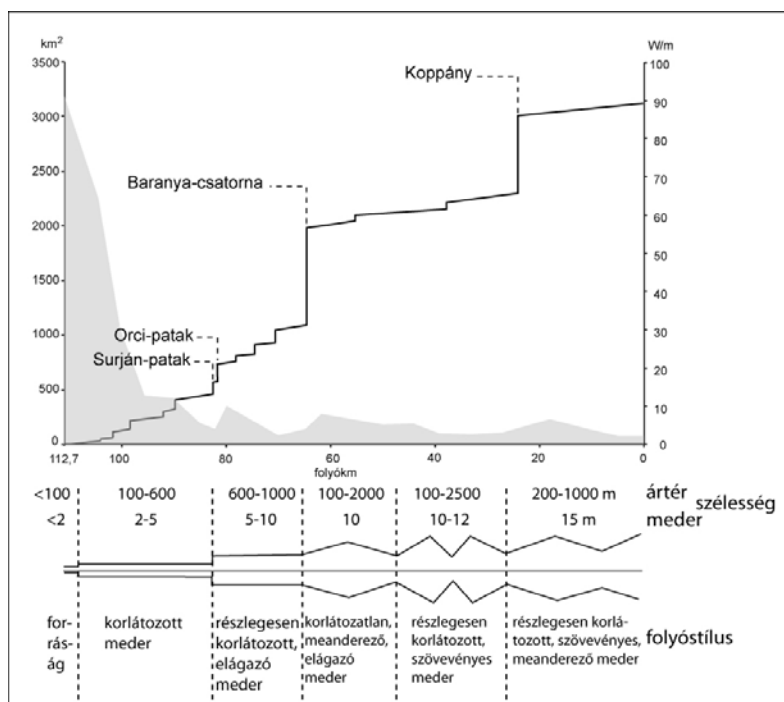
* az I. szakasztól mért távolság

7.1.5. Alámosott ártérperemek

A neotektonikai mozgásokon kívül természetesen a folyó mechanizmusa is alakíthatta az ártér alaprajzi alakját. A lejtőprofilok ártér menti eloszlása (7.11. ábra, színes sávokkal jelölve) a III. szakasztól jól mutatja az öblözetekben alámosott homorú lejtőket és a konvex-konkáv lejtőlábakat. A lejtőprofilokat a bal szegélyen könnyebb volt meghatározni, mint az erdős jobbon, ahol csuszamlások is alakították a lejtőket.

7.1.6. Folyóstílusok megállapítása

Az ártér különböző szakaszait az ausztrál folyóstílusok módszerrel is meg lehet állapítani. Nanson és Croke (1992) módszerével szemben a folyóstílusok közvetlenül utalnak a folyó mechanizmusára és a meder völgyi korlátozottságára. Az utóbbi paraméter miatt a szakaszok határai nagyjából ott húzódnak, ahol az LPI index esetében (7.12. ábra). Mivel azonban a korlátozottság megállapítása másképpen történik, a szakaszok jellemzése eltérő, tulajdonképpen a hagyományos „anyag, folyamat és forma” sémát követi (ld. 6.8. ábra).



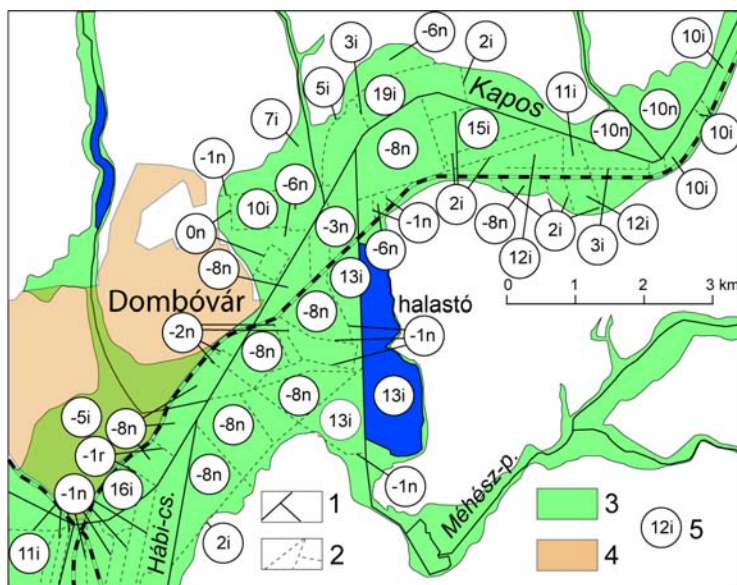
7.12. ábra A Kapos medrének és árterének szakaszai az ausztrál folyóstílusok szerint (Brierly, G.J. & Fryirs, K.A. 2005 módszere nyomán)

7.2. Az ártér tájökölógiai értékelése

7.2.1. Az ártér tájszerkezete

7.2.1.1. Az egyedi tájelemek értékelése

A természetes és mesterséges egyedi tájelemek funkcionális értékelése a 6.2 táblázat pontozásos rendszerében történt. Az értékelő térkép kivágata (7.13. ábra) is érzékelteti, hogy a Kapos-ártér gazdag egyedi tájelemekben, amelyek különböző funkciót töltenek be az ártér környezeti rendszerében. Az egyéb módszerekkel végzett vizsgálatok is azt mutatják, hogy az antropogén tájelemek (pl. a vízlevezető árkok, csatornák) nagy része nem tölti be hatékonyan feladatát. A felületi és a vonalas elemek értékelése egyaránt fontos ahhoz, hogy meg lehessen állapítani, mely elemekre lesz szükség a táj rehabilitációja után is (ezeket jelzi a 7.13. ábrán az „i” betű). A megítélés különösen a földutak esetében nehéz, mert kedvező és kedvezőtlen hatásuk egyaránt lehet. A Döbröközi-öblözetben láthatóan túl sok a szántó, kevés a rét és kis kiterjedésűek (s ezért korlátozott értékűek) az erdők és a vizes élőhelyek (7.13. ábra).



7.13. ábra Egyedi tájelemek értékelése a Dombóvár-Döbröközi-öblözetben (a 6.2. táblázat alapján, Lóczy D.). 1 = vízfolyások, árkok, csatornák; 2 = műutak, földutak; 3 = ártér; 4 = település; 5 = az egyedi tájelemek összesített pontértéke

7.2.1.2. A tájszerkezet értékelése

A Kapos-ártér kiválasztott szakaszain egyes települések 5–7 km-es körzetében végeztem tájszerkezeti felméréseket. (A Kurd környéki szakasz csak a Kapos zezugos futása miatt hosszabb ennél.) Az α - és a γ -index értékei azt mutatják, hogy a legfelső szakaszon, Kaposfő környékén a csomópontok és az összeköttetések száma egyaránt nagy (7.14. ábra A, 7.4. táblázat). A megfigyelhető csomópontok száma ugyan részben a kiválasztott kivágat felszínborítottságától függ, az összekapcsoltsági mutatók értékei azonban már inkább lehetővé teszik a szakaszok közötti összehasonlítást. Az α -index egyharmados összekötöttséget jelez, a γ -index értéke meghaladja az 50%-ot, tehát az összekapcsoltság foka magas. Az árterre ugyan a csomópontoknak alig egytizede esik, de az árteret érintő, ill. azt a környező domboldalakkal összekötő kapcsolatvonalak száma 24, ami az összes kapcsolat 22%-a. A Kapos bal partján sokkal ritkább a hálózat, mint a magasabb fekvésű, erdős jobb parton (a Zselicben).

A II. ártérszakaszt, Kaposújlak környékét bemutató tájszerkezeti vázlaton (7.14. ábra B) valamivel kisebb a csomópontok száma, viszont jóval kevesebb közöttük a kapcsolat, így az indexek értékei is lényegesen alacsonyabbak. (Kaposvár belterületén a vizsgálat a beépítettség miatt nem végezhető el.) A mellékvölgyek ártereivel együtt összesen 15 (25%) ártéri csomópont regisztrálható, a kapcsolatok közül 22 (31%) érinti az árteret. Kedvezőtlen viszont, hogy a Kapos bármelyik partját vizsgáljuk is, csak az összhossz kb. 20%-án vannak kapcsolatok, holott a felsőbb szakaszon, a jobb parton ez az arány még közel 100% volt. Megállapítható, hogy a bal parti hálózat tovább ritkul.

7.4. táblázat Az α - és a γ -index értékei a Kapos-ártér különböző szakaszain

szakasz sorszáma	folyó-kilométer	település	csomópontok száma (V)	kapcsolatok száma (L)	α -index	γ -index (%)
I	107–100	Kaposfő	68	110	0,328	55,55
II	97–92	Kaposújlak	59	71	0,106	41,52
III	74–68	Kaposhomok	49	62	0,136	43,97
IV	52–38	Kurd	177	250	0,212	47,62
V	30–24	Szakály	171	183	0,039	36,09



7.14. ábra Tájszerkezeti térkép az ártér I. (A, Kaposfő környéke) és II. szakaszáról (B, Kaposújlak környéke) (Lóczy D). A körök csomópontok, a nyilak összeköttetések, a kettős nyilak a szokásosnál szélesebb sávú kapcsolati lehetőségek, a zöld vonal pedig az ártér határát jelöli

Az ártér következő szakaszát Kaposhomok környéke képviseli, ahol – bár kevesebb a csomópontok is, a kapcsolat is – az indexek értékei mégis kisebb emelkedést mutatnak. A 7.15. ábra (A) azt tanúsítja, hogy ez az emelkedés jelentős részben a Kapost kísérő, Kaposvár–Dombóvár vasútvonal menti zöld folyosónak köszönhető, amely a lehetséges összekapcsoltságot mesterségesen megnöveli. A Kapos bal parti töltése mentén folytonos az összeköttetés, alig kapcsolódik viszont az ártérhez a jobb parti, zselici dombok – egyébként sűrű – ökológiai hálózata. (A folyó itt már olyan széles, hogy összekapcsoltság szempontjából a két partját külön-külön kell kezelni.) Az ártéren 15 (meglehetősen kis területű, „gyenge”) csomópont van, tehát az összes 30%-a, a kapcsolatokból viszont 26 (42%) esik az ártérre, ebből azonban a mesterséges (vasúti vagy árvízvédelmi töltés menti) összeköttetések 50%-ban részesednek.

A Kapos Dombóvár alatti szakasza, a IV. ártérszakasz (7.15. ábra, B) a hirtelen folyásirány-váltások és kiszélesedések, összeszűkülések miatt tájökölógiai szempontból is különlegesen érdekes. A szűkületekben rendszerint települések terülnek el, így csak az

öblözetek tájszerkezetét lehetett vizsgálni. A csomópontok száma azért nagy, mert a Tolnai-hegyhát erdeire tökéletes összekapcsoltság jellemző. Ugyanakkor az ártéri lapályokon sok a csomópont (az ártéren összesen 67 csomópont, 38%), jó az összekötöttség, de kevés (17, alig 7%) kapcsolat az ártér határán keresztül. A Kapos mentén csak a kurdi szűkületben alakult ki hosszabb, folyamatos folyosó, amely kedvező módon biztosít összeköttetést két szomszédos völgytágulat között.



7.15. ábra Tájszerkezeti térkép az ártér III. szakaszáról (A, Kaposhegy környéke) és IV. szakaszáról (B, Kurd környéke) (Lóczy D.). A jelek magyarázatát ld. a 7.14. ábránál

Az V. számú ártérszakasz bemutatására Szakály környékét választottam ki (7.16. ábra). Az ártéren ugyan 26 csomópont alakult ki (főleg vizes élőhelyeken), de ezek kapcsolata a Dél-Külső-Somogyi-dombság felé szegényes. Az általános összekapcsoltság is a legalacsonyabb az eddig tárgyalt szakaszok közül: az α -index értéke egy nagyságrenddel alacsonyabb minden eddiginél, az γ -indexé is csupán 36%, tehát a lehetséges kapcsolatoknak mindössze alig több mint egyharmada valósul meg.

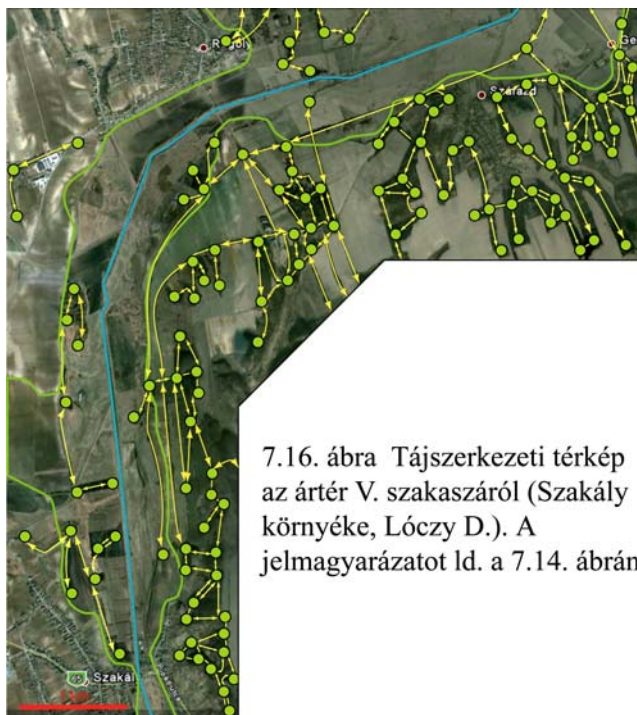
Az itt kezdődő VI. szakasz földhasználata annyira ellentétes az ártér két oldalán (jobb parti összefüggő erdőségek, bal parti szántóföldek), hogy a „hurkok” módszere nyilvánvalóan nem alkalmas a jellemzésére (Lang, S. & Blaschke T. 2007).

A tájszerkezeti mutatók használatáról a következő tanulságok halmozódtak fel:

- Az ártér és környékének tájökölógiai szerkezete egy folyó mentén is szakaszonként nagy változatosságot mutat.

- A mutatók inkább csak viszonylag nyílt, ligetes tájakon használhatók. Az összefüggő erdőterületeken nem jellemző ez a „hurkos” tájszerkezet, nehéz csomópontokat és kapcsolatokat meghatározni, ill. ezek mindig a lehető legnagyobb számban fordulnak elő. Ugyanez a helyzet – csak ellenkező előjellel – az intenzív mezőgazdasági hasznosítású

területeken. Ezért kellett a kiértékeléskor az ártér és a környező dombokat összekötő kapcsolatvonalakra összpontosítani.



7.16. ábra Tájszerkezeti térkép az ártér V. szakaszáról (Szakály környéke, Lóczy D.). A jelmagyarázatot ld. a 7.14. ábránál

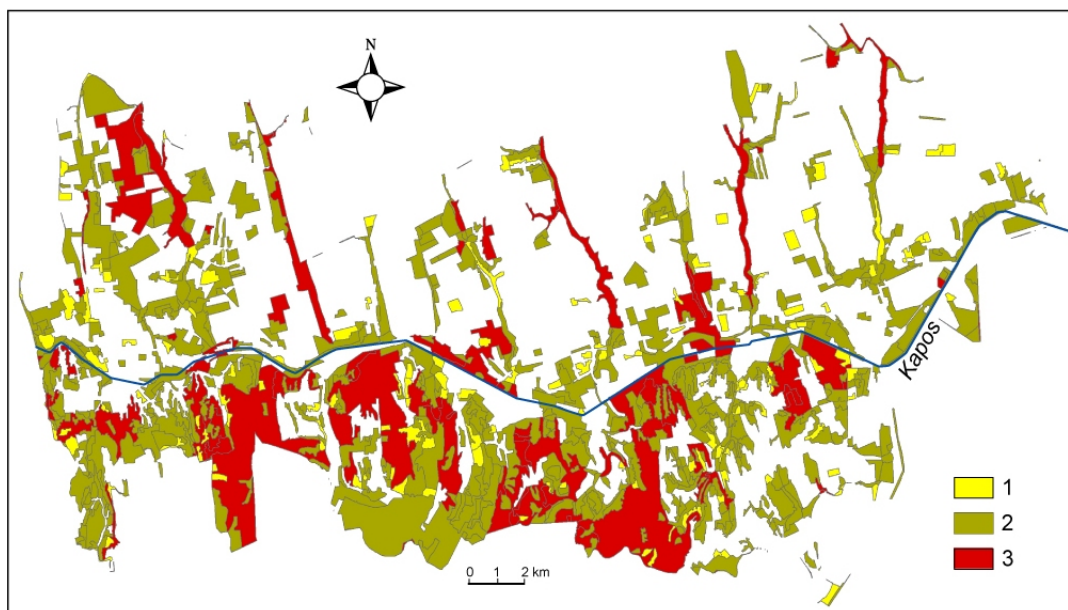
- Ennek a módszernek az alkalmazásakor is döntő a méretarány szerepe. Meg kell határozni, mekkora legyen a csomópontok legkisebb kiterjedése, ill. milyen megszakítottságot engedünk meg a kapcsolatok esetében.

7.2.1.3. Egyéb tájszerkezeti mutatók

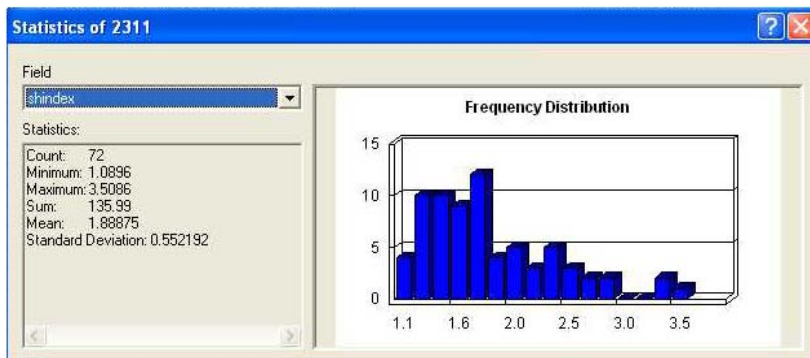
A mintaterületi tapasztalatok alapján a foltalak-indexek közül a SHAPE mérőszámot választottuk ki az egész ártér jellemzésére. A teljesen antropogén (pl. nagyüzemi mezőgazdasági művelés alatt álló) foltokat kivettük az értékelésből. Az eredménytérkép (7.17. ábra) igen kevés kompakt ($<1,4$ értékű) foltot jelöl, ezek is nagyrészt mesterségesen elhatárolt területek, nagyrészt intenzíven hasznosított legelők (statisztikájukat ld. 7.18. ábra). Feltűnő, hogy a SHAPE-index sem képes egyértelműen osztályozni a vízfolyás menti erdősávokat alakjuk szerint. Gyakran előfordul, hogy a 3. kategóriába tartozók alacsonyabb értéket kapnak és „átcsúsznak” a 2. kategóriába. Pedig a foltok alakjának fontos szerepe lehet az ártérrehabilitáció tervezésében.

Az ártérperemi kritikus övek földhasználatát folytonosság szempontjából értékeltem (7.5. táblázat) részletes földhasználati térkép alapján (ld. Melléklet 5.A.). A tápanyagok hasznosulása, lemosódásuk megelőzése szempontjából kedvezőbb lenne az ártérszegély erdősítése vagy legalább fasorok, gyepsávok létesítése. Ebből a szempontból az ártér szakaszai közül (az I.-n kívül) a IV. és V. számúak is megfelelő állapotúak. A Kapos menti és az egyéb (köztes helyzetű, tehát kevésbé értékes) ártéri erdőterületek és ültetvények

szempontjából szintén ezek a szakaszok vannak kedvezőbb helyzetben (ld. *Melléklet 5.B.*), bár mindenütt jellemző a szántók magas (40% feletti) aránya. A folyó alsó szakasza mentén az ártérszegély növényzete kevésbé hatékony, a parti sáv 50% feletti erdősültsége viszont jó védelmet nyújt a mezőgazdasági eredetű vízszennyeződés ellen.



7.17. ábra A SHAPE-index értékei a Felső-Kapos árterére (III. ártérszakasz, 87–65 folyókm). 1 = kompakt foltok (1–1,4); 2 = közepes (1,4 – 2,8); 3 = nagy (>2,8) értékek



7.18. ábra Az intenzív fátlan legelők (CORINE 2311 kategória) statisztikája a 7.17. ábrán ábrázolt területre

7.5. táblázat A 100 m széles ártérszegély földhasználatának folytonossága a különböző ártérszakaszokon (Lóczy D.)

szakasz sorszáma	a folyószakasz hossza (km)	erdős, bokros szegély területe (km ²)		természetközeli növényzetsávok a szegélysávban	
		bal	jobb	összterülete (km ²)	aránya (%)
III.	17,7	0,88	1,63	2,51	25,35
IV.	19,2	1,19	2,14	3,34	30,38
V.	21,3	1,12	2,07	3,19	30,31
VI.	28,2	1,96	1,52	3,48	27,21

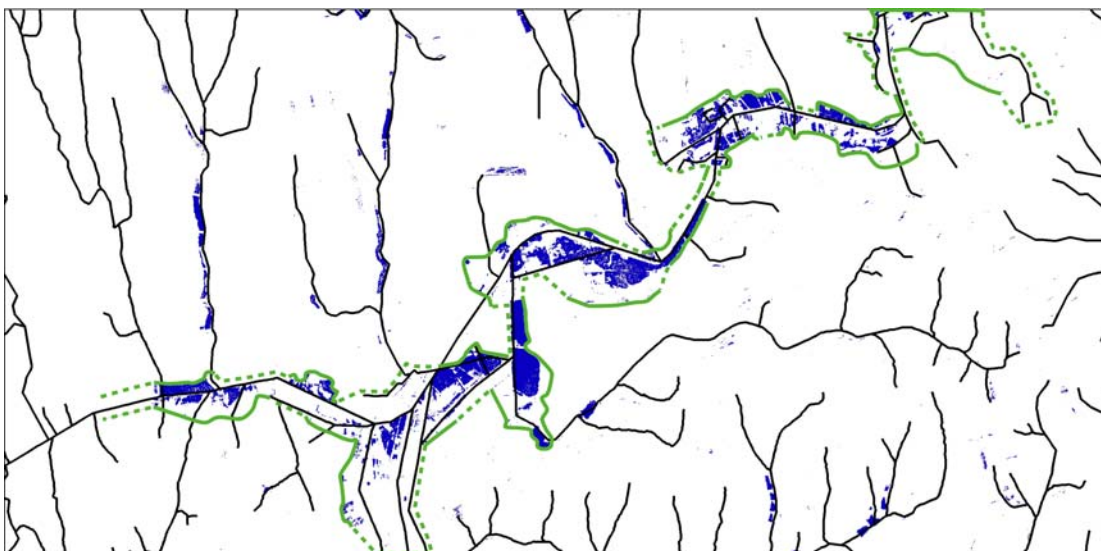
7.2.2. Az elöntésveszély értékelése

7.2.2.1. A belvizes területek távérzékeléses kimutatásának eredményei

Miután meghatároztuk a Kapos árterének lehetséges maximális kiterjedését, ezen belül kísérletet tettem a különösen elöntésveszélyes felszínek körülhatárolására. A 2010 szeptember

27-i Landsat-7 (ETM+) felvétel 6-os sávjának felhasználásával készült elöntéstérképen a vízborítást mutató pixelek simított burkológörbéje (7.19. ábra). Az ilyen rekonstrukció nyilvánvalóan azért sem lehet teljes körű, mert egyes szakaszokon egyáltalán nem alakult ki ártéri belvizeleöntés. (Ezek a szakaszok nagyon bizonytalan az ártér peremének meghatározása, ezért szaggatott vonallal jelöltem.)

A vízfolyáshálózatot ráhelyezve a vízfelületek leválogatott pixeljeire – kb. 100 m-es „elcsúszás” mellett – látható, hogy a nagyobb, összefüggő elöntött területek szorosan kapcsolódnak a vízhálózat elemeihez (a Kapos-csatornához, a szintén csatornázott mellékpatakokhoz, valamint az ártéri lecsapoló csatornákhöz). Az ártér peremén, a környező dombhátról lefolyó csapadékvízből is kialakultak kisebb elöntések. Ezek elhelyezkedéséből különösen jól lehet következtetni az ártér kiterjedésére, alacsonyabb szintjeire.



7.19. ábra Belvízzel elöntött területek a Kapos árterén Nagyberki és Kurd között, 2010 szeptember 27-én (Landsat-7 ETM+ felvétel). A szaggatott vonal azokat a szakaszokat jelöli, ahol az elöntésből az ártér kiterjedésére egyáltalán nem lehet következtetni

A rendkívüli méretű elöntés is inkább csak az ártér alacsonyabb szintjét jelöli ki. A víz alá került felszínformák az ártéri lapályok; feltöltött morotvák; ártérperemi, hordalékkúpok elgátolta mélyedések. Látható, hogy az ártér antropogén formái (maguk az árvízvédelmi töltések, a vasút és a burkolt utak töltései, de még a földutak, valamint csatornák depóniái is) milyen erősen befolyásolják a belvizeleöntést (Lóczy D. 2010). Különösen jellemző, hogy az árteret a Kapos-csatornára merőleges elemek tagolják, amelyek egyáltalán nem hatékonyak a víz levezetésében, inkább vizzaduzzasztják a lefolyó vizeket.

7.2.2.2. A belvizeveszélyes területek meghatározása a talajok eloszlásából

Az ártéri talajok térképezésével többféle célra is használható információhoz jutottunk. Nem csak a korábbi medrek maradványait, ill. a táj szerkezetében egykor fontos szerepet játszó

vizes élőhelyeket tudtuk így rekonstruálni, hanem a talajvizsgálatok a jelenleg is belvízelöntéssel fenyegetett felszínek körülhatárolásához is segítséget nyújtottak.

A Kapos alsó szakaszán, az ártér legszélesebb öblözeteiben három keresztaszelvénnyel összesen 40 helyen vettünk fel talajszelvényeket. (A talajvizsgálatokat Dr. Dezső József, a PTE Környezettudományi Intézet tanársegéde végezte.) A talajmintákat talajszintenként elemeztük: szemcseösszetétel, ásványos összetétel, szervesanyag-tartalom és fajta, valamint mésztartalom szempontjából (ld. *Melléklet 1–3.*). A nagy szervesanyag-tartalmú talajokat a Post-féle tözeglebomlási fokozatok (7.6. táblázat) szerint tipizáltam (Dömsödi J. 1980, 1988).

7.6. táblázat A tözeglebomlási fokozatok Lennart von Post által 1925–26-ban kidolgozott táblázata (Dömsödi J. 1988 és Gergely E. et al. 2000 nyomán, egyszerűsítve)

típus	leírás	előfordulása a Kapos- árterén	humusz- tartalom (%)	hamu (%)*	szerves anyag (%)*	vízfel- vétel (súly%)*
H ₁	lebomlatlan, iszapmentes, rostos	-	80–90	-	-	
H ₂	lebomlatlan, szerves és ásványi iszaptól csaknem teljesen mentes, rostos	-	75–85	<10	>60	>200
H ₃	nagyrészt lebomlatlan, kevés szerves iszapot tartalmazó, rostos	-	70–80	10–13	57–60	190–200
H ₄	többnyire lebomlatlan, jelentős mennyiségű szerves iszapot (lebomlott részt) tartalmazó, vegyes	a Kapos forrásvidéke	65–75	13–16	54–57	180–190
H ₅	fele részben lebomlatlan (rostos), fele részben szerves iszap, vegyes	Dombóvár	60–70	16–19	51–54	170–180
H ₆	főleg lebomlott részt tartalmazó, kissé rostos, vegyes	Dombóvár	55–65	19–22	48–51	160–170
H ₇	keves rostos részt tartalmazó, érett (szuroktőzeg)	Belecska	55–75	22–25	45–48	150–160
H ₈	részben lebomlott, nyomokban rostos, érett	Belecska, Regöly	45–65	25–27	43–45	120–150
H ₉	teljes mértékben lebomlott, rostok nem ismerhetők fel, nedvesen „folyós, szárazon kotu	Belecska, Regöly	30–50	27–28	42–43	100–120
H ₁₀	teljes mértékben lebomlott, morzsás szerkezetű lápföld	Belecska, Regöly	20–40	>28	<42	<100

* 30% nedvességtartalomra számítva

A talajok változatosságának feltárása érdekében a Kapos ártér egyik kulcsfontosságú szakaszáról (V. szakasz), a Koppány torkolatának környékéről részletes – geomorfológiai alapon szerkesztett – talajtérképet készítettünk (ld. *Melléklet 4.B.*). A kirajzolódó talajfoltok jól követik a felszínformák eloszlását: a homokos folyóhátakon humuszkarbonátok, humuszos öntések az ártéri lapályokban kotus réti talaj, lápföld található. A térképen azonosíthatók a réti

talajoknak azok az altípusai, változatai, amelyek csapadékos időszakokban – különböző gyakorisággal – víz alá kerülhetnek: lápos réti talaj, kotus réti talaj, lápföld, tőzeges réti talaj.

A talajtípusok leírását (ld. *Melléklet 1*) a Kapos-ártér földminősítésében is felhasználtam.

7.3. A Kapos-ártér földminősítése

A lecsapolás után előnyös domborzati és talajviszonyai miatt a Kapos árterét is birtokba vette a nagyüzemi mezőgazdaság. Az enyhén bázisos pH-jú, nagy szervesanyag-tartalmú réti talajok és a folyó által szállított tápanyagok (Ca, K, Mg, Na) termékennyé tették.

7.3.1. Az ártér mezőgazdasági hasznosítása

A nagytáblás szántóföldi művelés csak egyes ártéri öblözetekben lehetséges ill. kívánatos, ahol a belvízelöntés veszélye mérsékelt. A termőképességi osztályozás térképe hasznosítási prioritásokat mutat be két öblözetben (*Melléklet 6.A.* és *6.B.*). A szántóföldi művelés legkedvezőbb területei az ártér löszleomosódással megemelt, humuszkarbonát talajú peremei. Ezeket a burkolt közutak vagy a vasúti pálya töltései – az ártér esetleges vízrendezése, rehabilitációja után is – megvédik az elöntéstől. A talajvíz szintje az április-októberi tenyészidőszak túlnyomó részében megfelelő mélységben (>1–1,8 m) helyezkedik el. Szántóföldi művelésre alkalmas földeket a II–III. ártérszakaszon is meghatároztunk: ezek az itt jellemző, függőlegesen alig tagolt sík felszínek. Az élénkebb domborzatú IV–VI. ártéri szakaszon kevésbé javasolható a nagyobb táblák kialakítása és intenzív művelése.

Mint az ártereken általában, a Kapos mentén is a gyepgazdálkodás a természetvédelmi szempontból leginkább megfelelő földhasználati forma. Helyenként a kisparcellás, kertszerű művelésben folytatott zöldségtermesztés felel meg a legjobban az adottságoknak. Ennek vezető növénye a már ma is széles körben – a tartós belvízelöntés elleni védekezésül bakhátas műveléssel – termelt torma lehet. A parcellák kialakításakor a mikrodomborzatot és a gépi művelés igényeit is figyelembe kell venni.

A Dombóvár alatti szakaszon a Dömsödi-féle rendszerben készített földminősítés is a felszínformák jelentőségét hangsúlyozza (*7.7. táblázat*). Az itt kiválasztott és részletesen vizsgált három öblözetben a termőképesség a 100 pontos skálán közepes (48–67) értékeket ér el. (Kivétel az ártérszegély termékenyebb, löszös lehordási sávja.) A különbségek a talajképző közet és a talaj szemcseméretével (ld. *Melléklet 2.B.*), valamint a vízborítás eltérő gyakoriságával magyarázhatók.

7.3.2. Növénytermesztésre való alkalmasság

A 6.3.2.1. és 6.3.2.2. alfejezetekben tárgyalt ökológiai igényeket figyelembe véve térképet készítettem, amelyen feltüntettem azokat a területeket, ahol a speciális kultúrák (pl. a torma és a gyógynövények) elterjesztése a talajadottságok alapján javasolható (*Melléklet 6*).

7.7. táblázat Az általános termőképesség minősítése a Kapos-ártér öblözeteiben (Lóczy D., Dömsödi J. 2011 nyomán) A. Döbrököz-Csibrák között. B. Szakály-Keszőhidegkút között

talajtípus, -változat	ártéri felszínforma	a legfontosabb jellemzők	talajértékszám	
			A.	B.
csernozjom réti talaj	peremi löszleemosódás	enyhe lejtés, mélyebb talajvíz, löszös talajképző kőzet	70	70
humuszkarbonát homokon	folyóhát	nagyobb relief, mélyebb talajvíz, homok talajképző kőzet	50	52
régi talaj, régi öntéstalaj	ártér középszintje	sík, időnként vízállásos, finomhomok talajképző kőzet	67	65
lápos régi talaj	morotva	vízállásos, meszes, iszapos, kotus	48	48
lápfield	ártéri lapály	vízállásos, agyagos	58	57

7.4. Javaslatok a Kapos árterének helyreállítására

A hidromorfológiai és tájökológiai értékelés eredményeit hasznos lenne az ártér helyreállításában is kamatoztatni. A Duna és mellékfolyói árterének rehabilitációjáról szóló új jelentés (WWF International 2010) ugyan csak 4000 km²-nél nagyobb vízgyűjtőjű folyókkal foglalkozik, a nagy folyók árterét azonban akkor lehet megfelelő állapotba hozni, ha a kisebb mellékfolyóké is megfelelő (ECRR 2001). A csapadékok a kisvízgyűjtők kopár lejtőinek erdősítésével lehet a leghatékonyabban visszatartani (Kaliczka L. 1998). A nemzetközi tanulmányok – természetesen a folyómeder helyreállításán túl – a tájmetriai mutatókkal kimutatható összekapcsoltság megteremtését, a referencia-szakaszok kijelölését, a megfelelő növényzetborítás kialakítását, a biodiverzitás fokozását, valamint számos társadalmi (pl. a föld tulajdonjogára vonatkozó) célt tűznek ki. Általános szabály, hogy az ártereken meg kell békélni a rendszeres elöntéssel, a földhasználatnak ehhez kell igazodnia. Ennek a feltételnek a legjobban a rétgazdálkodás felel meg (Kaliczka L. 1998).

7.4.1. Sajátos szempontok a Kapos-ártérre

A magyar vízügyi szakemberek a kis vízfolyások helyreállítására a következő elveket és gyakorlati feladatokat fogalmazzák meg (Bognár Gy. 1989):

- természetközeli partalak és meder menti élőhelyek megteremtése;
- a nyers rézsű füvesítése (erózió elleni védelem a fás növényzet gyökérzetének kialakulásáig);
- magas növésű, a környezetbe illő fák (fűzfélék, éger) csemetéinek telepítése a rézsű felső harmadától (lejtőállékonyság növelése, elbokrosodás megakadályozása, a folyóparti sáv

elkülönítése a mezőgazdasági területektől). (Emellett – mint fentebb láttuk – a vízminőség szempontjából az ártérszegély még inkább kritikus sáv – Burt, T.P. & Haycock, N.E. 1996.)

A Kapos vízgyűjtőjének környezetvédelmi fejlesztésére készült ugyan a földhasználatot természetvédelmi szempontból elemző jelentés (ÖKO Rt., FÖMI & VÍZPART Kft. 2000) és lehetőségterv (Gergely E. & László T. 2003) de ez természetesen nem foglalkozik a folyó árterének teljes átformálásával. Az alábbi rendezési javaslatok alaposan meghaladják a régió lehetőségeit, a környezetvédelmi rendelkezésre álló forrásokat, részleteikben és hosszabb azonban talán mégis megfontolandók és megvalósításra érdemesek. A Kapos mentén a *helyreállítás fő céljai* a következőkben foglalhatók össze:

- Az 1999., 2005. és 2010. évi események az *árvizek elleni védekezés* fontosságára hívják fel a figyelmet, ami az ártér *vízrendezésével* és *földhasználatával* is szorosan összefügg.

- Az ártéri *tájszerkezet*, az ökológiai hálózat fejlesztése összeköttetést teremtene Ny felé a Balaton-Boronkamellék ökológiai folyosó, K felé a Duna ártere, É felé pedig a Koppány völgye irányában, a tompító övek a jelenleg rossz *vízminőséget* is javítanak.

- Az ártéri *gazdálkodás* (mezőgazdálkodás, halastavak, esetleg lápföld kitermelése) összehangolandó a környezetvédelmi szempontokkal.

A fenti célok konkretizálást segítik a geomorfológiai vizsgálatokkal feltárt sajátosságok (öblözetek/szűkületek, völgy- és ártéraszimmetria, összetett medrek) és a tájszerkezeti vizsgálatok tanulságai.

A nemzetközi irodalom körvonalazza, milyen beavatkozásokkal valósítható meg a folyók és árterük helyreállítása (6.17. ábra). Az LPI index segítségével meghatározott ártérszakaszok a rehabilitációs lehetőségek tervezésében is relevánsak: megszabják, hogy az ártérrehabilitáció a beavatkozások milyen kombinációjával képzelhető el szakaszonként (7.8. táblázat). A sűrűn betelepült Kaposvár–Dombóvár szakaszon a lehetőségek igen mérsékeltek, lejjebb, a tágas öblözetekben viszont sokkal kedvezőbbek, az ártér helyreállíthatósági potenciálja nagy. Az átalakítási javaslatok érinthetik (ld. *Melléklet 7.A. és B.*):

- a vízfolyások mechanizmusát (felszínalakító tevékenységét), vonalvezetését (mederáthelyezés, új medrek létesítése, csatornák megszüntetése), ami a közlekedési hálózat egyes szakaszainak átrendezésével is járhat;

- a gátaknak a folyótól távolabbra helyezését, a lapályok, morotvák újra elárasztását;

- a földhasználat megváltoztatását, új kultúrák, extenzívebb művelési módok bevezetését.

7.8. táblázat Lehetséges meder- és ártérrehabilitációs beavatkozások a Kapos egyes szakaszai mentén (Lóczy D.)

sor-szám	ártérszakasz (kezdet és vége, folyókm)	az ártérszakasz jellege	helyreállítási potenciál	a szükséges beavatkozások kódja (ld. 6.17. ábra)
I.	112,7–109,2	keskeny völgy, ártér nélkül	nagy	6, 10
II.	109,2–86,4	fokozatosan szélesedő, egyre folytonosabb ártér	kicsi	6, 9, 10, 11, 12, 15
III.	86,4–68,7	részlegesen korlátozott ártér, igen gyakori szűkületek	közepes	6, 7, 8, 10, 13
IV.	68,7–49,5	részlegesen korlátozott, erősen ingadozó szélességű ártér, gyakori szűkületek	nagy	6, 7, 8, 10, 11
V.	49,5–28,2	alig korlátozott ártér, tágas öblözetek, ritkább, de keskenyebb szűkületek	nagy	4, 7, 8, 10, 11, 13, 14
VI.	28,2–0	részlegesen korlátozott ártér, gyakori szűkületek	közepes	3, 4, 5, 9, 12, 16

7.4.3. A Kapos-ártér rendezése

7.4.3.1. Vízirajzi rendezés

Az árvízveszély csökkentése született javaslatok (pl. Gergely E. et al. 2000) a probléma megoldását a Kapos kurdi szakaszának mederrendezése révén kívánják biztosítani. A mederrendezés kedvező tájszerkezetet is lehetővé tenné. A folyó és környezete *jó ökológiai állapotának* (European Commission 2000) eléréséhez azonban egyes szakaszokon az egész ártér átalakítására/átalakulására szükség van.

Mint már említettem, a Kapos új mederbe terelése csak a nagyobb öblözetekben lehetséges, a szűkületekben a meglévő infrastruktúra és beépített területek miatt a jelenlegi medret kell fenntartani. A szabályozás előtti meder- és ártéri viszonyok feltárása arra a következtetésre vezetett, hogy a tágasabb öblözetekben a Kapos *szövevényesen elágazó* medermintázatú vízfolyás volt. Geomorfológiai szempontból tehát egymás mellett több, kanyargó meder kialakítása lenne kívánatos. A mikrodomborzatban még nyomozható, nem teljesen feltöltött medermaradványok felhasználásán kívül a Beszédes-féle vízrendezési tervhez (Beszédes J. & Herman J. 1829) is vissza lehet nyúlni. A vízügyi szakemberek hajlandók elismerni: „Számos olyan régi terv található, melyben a tervezett mederméretek alig feleltek meg – a mai felfogás szerint – közepes árhullámok elvezetésére, mégis kielégítették az igényeket” (Bognár Gy. 1989; 9.o.). Szerintem a Beszédes-féle „félreszorító csatornák” elképzelés is ilyennek minősül. Az ártér peremén kialakított, a természetes medrekéhez hasonló futású *csatornák* (később élővé fejlődő mederkezdemények – Melléklet 7.A. és B.) *szerpe* sokoldalú lehetne:

- elvezetnék a mellékvizeken kialakuló hirtelen árhullámokat, villámárvizeket (a 2010 májusi események azt igazolják, hogy ezek is veszélyesek lehetnek);
- megosztanák a Kapos felső szakaszán kialakuló árhullámok vízhozamát;
- elszigetelnék a főmedret a diffúz mezőgazdasági (vagy haváriából eredő) szennyezéstől;
- a szárazabb időszakokban is javítanák az ártér vízellátottságát (emelnék a talajvíz szintjét);
- ezáltal biztosítanák a kritikus ártérszegélyi zóna növényzetének fennmaradását, a főmederrel összekötve pedig az ártéri tájszerkezetet is javítanák, nagy diverzitású tájat eredményeznének.

Megjegyzendő, hogy az új medrek kialakítása ugyan drága földmunkát igényelne, de ezt részben a kitermelt lápföld értékesítésével esetleg fedezni lehetne.

7.4.3.2. A gátak áthelyezése és elárasztás

A hullámtér kiterjesztésére, ezáltal az árvizek tetőzési magasságának mérséklésére Nyugat-Európában már alkalmazzák a *gátaknak a folyómedertől távolabbra helyezését* (németül: Deickrücklegung) (Clarke, S.J. et al. 2003; ECRR 2001, 2008). (Természetesen rutinszerű alkalmazásról még nem beszélhetünk, hiszen ez a leginkább költségigényes és a legvitatottabb megoldás.) Magyarországon, a Tisza és mellékfolyói mentén a Vásárhelyi Terv Továbbfejlesztése (VÁTI 2004) hasonló elven, a *hullámtér* (ugyan csak átmeneti) *kiterjesztésén* alapul. Ez a beavatkozás nagy területigénnyel járhat, de egyben a mezőgazdasági területek védelmét is szolgálja (Bognár Gy. 1989).

A jobb parti gát áthelyezése kézenfekvő (és olcsó) megoldásnak tűnik a Szakály és Regöly közötti szakaszon (27–24 folyókm), ahol már eleve pazarló beruházás volt a gátépítés. A gáttól kb. 50 m-re, vele párhuzamosan ugyanis a gáttal megegyező magasságú, homokos összetételű *folyóhát* húzódik, amely az árvízvédelmet (és mellesleg az ártér vízellátottságát is) kitűnően biztosítaná (*Melléklet 8. 7. fénykép*). A mai gát és a folyóhát közötti, elárasztandó terület (megfelelő meder- és partkiképzést feltételezve) a vizes élőhelyeket gyarapítaná.

A Döbrököz és Csibrák közötti ártérszakasz rehabilitációját bonyolítja, hogy kb. 4 km-es szakaszon a *vasútvonalat* is ki kellene helyezni a völgy szélére (*Melléklet 7.A.*). Ez azonban azzal az előnnyel járna, hogy a töltést kevésbé veszélyeztetné az árvíz, ill. a lápos aljzat tömörödése miatti süllyedés. A nyereség egy kanyargó medrekből álló összetett rendszer és egy 1,5 km²-es *vizes élőhely* megteremtése lenne az ártéri lapály fenékszintjében. A gátakat a döbröközi szakaszon a bal parton kb. 7 km, a jobbon kb. 10 km hosszan kellene kijebbi helyezni, a csibráki öblözetben ez 3 km, ill. 4 km lenne.

A Regöly környéki, Koppány torkolati szakasz rehabilitációs potenciálja szintén kiemelkedő (*Melléklet 7.B.*). A nagy elöntésveszély miatt itt még inkább a természetvédelmi hasznosítás kerül előtérbe. Az kialakítandó vizes élőhelyek összekapcsolhatók lennének a jelentős magyarországi madárélőhelyként nyilvántartott Pacsmagi-halastavak 487 ha-os Természetvédelmi Területével. A létrehozandó vízfelület növelné a táj esztétikai potenciálját.

7.4.3.3. Az ártéri földhasználat ésszerűsítése

A nagy folyószabályozások után, még az 1960–1980-as években is a szántók területének növelése (25–30%-kal), a nagy (akár 300 ha-os) táblák kialakítása volt a vízrendezések fő célja (Bognár Gy. 1989). Az 1980-as évek második felétől kapnak hangsúlyt a környezetvédelmi, tájökológiai igények.

A mentesített ártér szegélyén – a fent említett kutatási eredmények értelmében – intenzív mezőgazdasági művelés helyett tompító övként és ökológiai folyosóként egyaránt működő parti növényzetsávot kellene kialakítani. A parti övek hatékonyságát jelentősen növeli, ha összetett szerkezetűek, azaz fás, bokros és füves sávot is tartalmaznak (Forman, R.T.T. & Godron, M. 1986). Különösen a szántóföldi táblák és a gátak közé szükséges kellő szélességű, tehát komplex ökológiai szerep betöltésére is alkalmas (legalább 30–50 m széles) összetett szerkezetű parti sávot beiktatni. Az árterek ökológiai szerepéről írottak értelmében a madarak és sok kétlábú, hüllő élethelye szempontjából azonban ez a sáv szélesség nem elegendő. A gátak áthelyezésével kialakítandó nyílt vízfelületek körül legalább 100 m széles, természetközeli növényzetű zónát kellene kialakítani.

Szántóföldeket csak ott szabad kialakítani, ahol a belvízelöntés kockázata csekély. Ez nem csupán a termés kiesés megakadályozása érdekében fontos, hanem azért is, nehogy a csapadékos időszak elmúltával a bevetetlen, nyirkos talajokon elterjednek az özönnövények. (A Kapos árterén az ürömlevelű parlagfű és a selyemkóró a leggyakoribb – *Melléklet 8. 5. fénykép.*)

7.4.3.4. Az ártérrendezés távlati hatásai

Az ártér hasznosításában bekövetkező változások hatásai már rövid távon érzékelhetők lennének. Fokozódna az ártéri víz visszatartás, csökkenne az árvízveszély. A rekreáció számára is új lehetőségek nyílnának (magas látványértékű ártérszakaszok: vízfelületek és völgyszűkületek). Szántók helyett a lapályokban az ökológiai hálózatba bekapcsolható rétek válhatnak uralkodóvá a folyó mentén galériaerdőkkel (Gergely E. et al. 2000). A tanulmányozott tájökológiai mutatók javulásával fokozódna az ártér biodiverzitása, erősödne természetvédelmi szerepe. A szántóföldi művelés (esetleg biogazdálkodás) a terasszerű

magasabb felszínekre korlátozódna, ahol minimális a belvívvesztély, de a talaj- és a vízellátottsági viszonyok igen kedvezőek (ÖKO Rt., FÖMI & VÍZPART Kft. 2000). A gyenge termőhelyi adottságú szántók gabonafélék helyett energianövények termesztésére, a mély fekvésűek gyepként vagy erdősítve hasznosíthatók – mindig a tájökölógiai szempontok figyelembe vételével.

8. Az eredmények összefoglalása

A célkitűzésben megfogalmazott kérdésekre az alábbi válaszok adhatók:

1. A szabályozások előtti tényleges (tehát a jelenlegi mentesített) *ártér kiterjedésének* – a lehetőségekhez képest pontos meghatározása (104,2 km²) az ártérhelyreállítás tervezésének alapadata. Az ártérperemi lejtőprofilok elemzése is segítette a határ megvonását. Az öblözetekben alámosott homorú lejtők, konvex-konkáv lejtőlábak erős laterális erózió jelei.

Az alkalmazott térinformatikai módszerek közül ausztrál völgyfenék index (MrVBF) nagyon jól közelítette, csak igen kis mértékben becsülte alá az ártér kiterjedését (a térképi rekonstrukcióhoz képest). A többi térinformatikai eljárás inkább túlbecsülte a Kapos árterének kiterjedését, főként az ártér szélességét.

2. Az általunk kidolgozott LPI index pontosabb szakaszbeosztást tesz lehetővé, mint Nanson és Croke módszere. Az indexnek nem csupán értéktartománya alkalmas az *ártérszakaszok* megkülönböztetésére, hanem görbéjének általános lefutása (a maximumok gyakorisága), ill. az LPI értékek szórása is. Szembetűnő, hogy az index alapján kijelölt szakaszok nem felelnek meg teljesen annak a tagolásnak, amely a Kapos-csatorna jelenlegi térképi futásából, irányváltozásaiból, „kanyargósságából” következne.

A kutatás eredményei azt igazolják, hogy az ártér hosszirányú tagolásának árvízvédelmi, földhasznosítási és tájrehabilitációs jelentősége is van.

3. Az értekezésnek nem célja a Kapos-völgy sajátos futását kialakító *neotektonikai* folyamatok megismerése, de az ártérszükületi és -tágulati szögek elemzése – véleményem szerint – adalékul szolgál a geológusok vázolt szerkezetfejlődési elméletének bizonyításához.

4. Az *ártér tájszerkezetére* rányomja a bélyegét a folyószabályozás okozta káros fragmentáció. A Kapos-csatorna mentén nem tudott kialakulni olyan növényzetsáv, amely hatékony tompító öv, ill. ökológiai folyosó szerepet tudna betölteni. Az öblözetekben végzett talajtérképezés feltárta, hogy a talajok eloszlásának jobban megfelelő földhasználat kialakítása és az élőhelyrekonstrukció kompaktabb alakú foltszerkezetet, valamint sűrűbb ökológiai hálózatot eredményezhetne.

5. Az ártér *tágabb környezetének tájszerkezetére* vonatkozó, az α - és a γ -index kiszámítása, valamint az ártérszegélyi kritikus sávok folytonosságával kapcsolatos vizsgálatok szakaszonként különböző eredményekkel jártak. A táji gradiensek továbbfejlesztésével az összekapcsoltság elsősorban a II. és a III. szakaszon javítható.

6. A tájszerkezet hiányosságai gátolják az ártér árvízvédelmi (vízviisszatartási), élőhelyi (vándorlási útvonal) és egyéb *funkciók* betöltését. Az időszakosan ismétlődő elöntések ugyan vizes élőhelyeket hoznak létre, de ezek az intenzív mezőgazdasági hasznosítású tájban rendszerint elszigeteltek maradnak. Pozitív élőhelyi hatásukat a gyenge konnektivitás miatt csak korlátozottan tudják kifejteni.

7. Az ártér *mezőgazdasági hasznosításában* lényeges kritérium, hogy a termesztett növények milyen tartós elöntést képesek elviselni. Az árvizek kiszámíthatatlansága miatt a szántóföldi művelést az ártérszegélyi löszös és a magasabb fekvésű, a folyómedertől távolabb eső térszínekre kell korlátozni. Az elöntésveszélyes földek használatának legmegfelelőbb módja gyakran a takarmánytermesztés, ill. az extenzív rét- és legelőgazdálkodás, amely az évszakos elöntésre a legkevésbé érzékeny. A IV-VI. szakasz morotvainak és az ártéri lapályainak területén a természetvédelemnek kell prioritást kapnia.

8. A geomorfológiai (öblözetek/ szűkületek, völgy- és ártéraszimmetria, összetett medrek) és a tájszerkezeti vizsgálatokkal feltárt sajátosságokat figyelembe kell venni a *helyreállítás* megtervezésekor, melynek fő céljai: az árvizek elleni védekezés időszakos ártéri víztározással (a földhasználat alárendelése az árvízvédelemnek); az ártéri tájszerkezet, az ökológiai hálózat fejlesztése (összeköttetés Ny felé a Balaton-Boronkamellék ökológiai folyosó, K felé a Duna ártere, É felé pedig a Koppány völgye irányában), a tompító övek folytonosságának fokozása a jelenleg rossz vízminőség javítása érdekében; a környezetvédelmi szempontokkal összehangolt ártéri gazdálkodás.

9. További kutatási feladatok

A hidromorfológiai és tájökológiai viszonyok feltárása, értékelése csupán az első lépés a Kapos árterének helyreállítása felé. Az alábbi jövőbeli tudományos kutatási feladatok körvonalazhatók:

- A régi medrek kronológiájának, fejlődéstörténetének feltárása, feltérképezése korszerű kormeghatározási módszerekkel.

- Meg kell állapítani az ártér terhelhetőségét, ennek kritikus szakaszait és a tájökológiai szerkezet átalakítását ennek tükrében kell megtervezni.

- Tanulmányozni kell a parti sáv növényzetének helyreállítási lehetőségeit, a növénytársulások optimális szerkezetének megtervezése érdekében.
- További alternatívákat kell kidolgozni az ártér helyreállítására, hogy megvalósíthatósági tanulmánnyal ki lehessen választani közülük a legmegfelelőbbet.

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetet mond az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramoknak (OTKA) a pénzügyi támogatásért (T 46 930 és K 68 903), a kutatásban nyújtott nagy segítségért Dr. Gyenizse Péternek (archív térképek, földhasználat feldolgozása), Dr. Pirkhoffer Ervinnek (térinformatikai módszerek), Dr. Dezső Józsefnek és Balogh Rékának (talajtani vizsgálatok), adatszolgáltatásért Dr. Dömsödi Jánosnak, valamint az Országos Meteorológiai Szolgálatnak.

Hivatkozások

- Abbe, T.B. & Montgomery, D.R. 1996. Large woody debris jams, channel hydraulics and habitat formation in large rivers. *Regulated rivers: Research and Management* 12.201-221.
- Ádám L. 1969. A Tolnai-dombság kialakulása és felszínalaktana. Akadémiai Kiadó, Budapest. 186 p. (Földrajzi Tanulmányok 10)
- Ádám L. 1980. A Baranyai-dombság mezőgazdasági potenciálja. *Földrajzi Értesítő* 29.1.35-59.
- Alabyan, A.M. & Chalov, R.S. 1998. Types of river channel patterns and their natural controls. *Earth Surface Processes and Landforms* 23. 467-474.
- Allan, J.D. & Castillo, M.M. 2007. *Stream ecology: structure and function of running waters*. 2nd edition. Springer, Dordrecht. 436 p.
- Allen, J.R.L. 1965. A review of the origin and characteristics of recent alluvial sediments. *Sedimentology* 5. 89-191.
- Allen, J.R.L. 2001. *Principles of Physical Sedimentology*. Reprint of First Edition (1985), with corrections. Blackburn Press, Caldwell, NJ. 272 p.
- Altieri, A.M. 1995. *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture*. Westview Press, Boulder, CO. 433 p.
- Amoros, C. & Bornette, G. 2002. Connectivity and biocomplexity in waterbodies of riverine floodplains. *Freshwater Biology* 47. 761-776.
- Amoros, C., Roux, A.-L., Reygrobellet, J.L., Bravard, J.P. & Pautou, G. 1987. A method for applied ecological studies of fluvial hydrosystems. *Regulated Rivers: Research and Management* 1. 17-36.
- Arcanum 2004. Az első katonai felmérés. A Magyar Királyság teljes területe. Arcanum Kft., Budapest. 965 színes térképszelvény
- Arcanum 2005. A második katonai felmérés. A Magyar Királyság és a Temesi Bánság nagyfelbontású, színes térképei. Arcanum Kft., Budapest. 1112 színes térképszelvény
- Arscott, D.B., Tockner, K. & Ward, J.V. 2002. Aquatic habitat dynamics along a braided Alpine river ecosystem (Tagliamento River, N.E. Italy). *Ecosystems* 5. 802-814.
- Bada G., Dövényi P., Horváth F., Szafián P. & Windhoffer G. 2007. Jelenkori feszültségtér a Pannon-medencében és alpi–dinári–kárpáti környezetében. *Földtani Közlöny* 137. 3. 327-359.
- Bagnold, R.A. 1977. Bed load transport by natural rivers. *Water Resources Research* 13.2. 303-312.
- Baker, V.R., Kochel, R.C. and Patton, P.C. (eds) 1988. *Flood Geomorphology*. John Wiley, New York. 503 p.
- Ballais, J.L., Garry, G. & Masson, M. 2005. Contribution of hydrogeomorphological method to flood hazard assessment: the case of French Mediterranean region. *Compte-Rendus des Geosciences* 337.13. 1120-1130.
- Balogh J. & Lóczy D. 1990. Ökofaciesek térképezése dunai ártéren. *Földrajzi Értesítő* 39.1-4. 71-80.
- Baptist, M.J. 2001. Review on Biogeomorphology in Rivers: Processes and Scales. Technical University of Delft, Delft. 12 p. <http://www.tudelft.nl/live/binaries/1aeb973a-3c4b-4cab-8efe-5960b845b8ab/doc/biogeolitreview.pdf>
- Barati S. (szerk.) 2001. Élőhelyek, ökológiai folyosók. 3., átdolgozott kiadás. Ökológiai Intézet a Fenntartható Fejődésért Alapítvány, Miskolc. 34 p.
- Bastian, O. & Schreiber, K-F. 1999. *Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft*. 2., neubearbeitete Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg-Berlin. 564 p.
- Baudry, J. & Merriam, H. 1988. Connectivity and connectedness: Functional versus structural patterns in landscapes. In: Schreiber, K.-H. (Hrsg.): *Connectivity in landscape ecology*. Münstersche Geographische Arbeiten 29. 23-28.
- Bayley, P.B. 1995. Understanding large river-floodplain ecosystems. *BioScience* 45. 153-158.
- Bencze G. 1971. A Kapos vízrendezési munkálatai Somogyban, 1820-1835. In: Kanyar J. (szerk.): *Somogy megye múltjából*. Somogy Megyei Levéltár, Kaposvár. 91-108. (Levéltári Évkönyv 2)
- Bencze G. 2000. Vízimunkálatok a Sió-Kapos-Sárvíz vízrendszerén a XVIII-XIX. században. *Honismeret*, 28/2. 4 p. <http://www.vjrkth.hu/carus/honisme/ho000222.htm>
- Bernáth J. (szerk.) 2006. *Gyógy- és aromanövények*. 4., átdolgozott kiadás. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 667 p.
- Beschta, R.L. 1997. Riparian shade and stream temperature. *Rangelands* 9.2. 25-28.
- Beszédes J. & Herman J. 1829. Kapos mocsárainak Plánuma... Somogy megyei Levéltár, Kaposvár

- Beyer, J.L. 1974. Global Summary of Human Response to Natural Hazards: Floods. In: White, G.F. (ed.): *Natural Hazards Local, National, Global*. Oxford University Press, New York. 265-274.
- Bilby, R.E. 1984. Removal of woody debris may affect stream channel stability. *Journal of Forestry* 82. 609-613.
- Bíró P. & Oertel N. 2004. A hidrobiológia főbb irányvonalai és feladatai. *Magyar Tudomány* 2004/1. 37-45.
- Bisson, P.A., Montgomery, D.R. & Buffington, J.M. 2006. Valley segments, stream reaches, and channel units. In: Hauer, R. & Lamberti, G. (eds): *Methods in Stream Ecology*. Elsevier, New York. 23-49.
- Blaschke, T. 1997. Landschaftsanalyse und -bewertung mit GIS. *Methodische Untersuchungen zu Ökosystemforschung und Naturschutz am Beispiel der bayerischen Salzachauen*. *Forschungen zur deutschen Landeskunde*, Trier 243. 320 p.
- Bognár Gy. (szerk.) 1989. *Vízfolyások környezetbe illő szabályozása*. VITUKI, Budapest. 70 p.
- Bohl, M. 1986. Zur Notwendigkeit von Uferstreifen. *Natur und Landschaft* 61.4. 134-136.
- Borhidi, A. 1993. A magyar flóra szociális magatartás típusai, természetességi és relatív ökológiai értékszámai. *Janus Pannonius Tudományegyetem*, Pécs. 95 p.
- Borhidi A. 2003. Vízi növényzet. In: *Magyarország növénytársulásai*. Akadémiai Kiadó, Budapest. 55-146.
- Boulton, A.J. 1993. Stream ecology and surface-hyporheic hydrologic exchange implications techniques and limitations. *Australian Journal of Marine and Freshwater Resources* 44. 553-564.
- Boulton, A.J. 1999. An overview of river health assessment: philosophies, practices, problems and prognosis. *Freshwater Biology* 41. 469-479.
- Boulton, A.J. Findlay, S., Marmonier, P., Stanley, E.H. & Valett, H.M. 1998. The functional significance of the hyporheic zone in streams and rivers. *Annual Review of Ecological Systems* 29. 59-81.
- Böhner, J., McCloy, K.R. & Strobl, J. 2006. SAGA – Analysis and Modelling Applications. *Göttinger Geographischen Abhandlungen* 115. 130 p.
- Böttcher, M., Reck, H., Hänel, K. & Winter, A. 2005. Lebensraumkorridore für Mensch und Natur in Deutschland. *GAIA* 14.2. 163-166.
- Bradley, J.B. & Whiting, P.J. 1991. Stream Characterization and a Stream Classification for small streams. Interim report prepared for Washington Department of Natural Resources, Seattle, WA. 20-31.
- Branson, J., Hill, C., Hornby, D.D., Newson, M. & Sear, D. A. 2005. A refined geomorphological and floodplain component River Habitat Survey (GeoRHS). Environment Agency, Bristol. 115 p. (R&D Technical Report SC020024/TR) <http://www.defra.gov.uk/env/fcd/research>
- Bratrich, C., Truffer, B. & Wehrli, B. 2002. River restoration projects – understanding success and failure. Report to the NCEAS National River Restoration Synthesis (NRRS) working group meeting in 14 September 2002. 1-13.
- Bravard, J.-P. & Peiry, J.-L. 1999. The CM pattern as a tool for the classification of alluvial suites and floodplains along the river continuum. In: Marrott, S.B. & Alexander, J. (eds): *Floodplains: interdisciplinary approaches*. Geological Society Special Publication 163. 259-268.
- Bren, L.J. 1993. Riparian zone, stream, and floodplain issues: a review. *Journal of Hydrology* 150. 277-299.
- Brice, J.C. & Blodgett, J.C. 1978. Countermeasures for hydraulic problems at bridges. Vol. 1. Analysis and Assessment. Federal Highway Administration, Washington, D.C. 169 p.
- Bridge, J.S. 2003. *Rivers and Floodplains: Forms, Processes and Sedimentary Record*. Blackwell Publishing, Oxford, UK. 504 p.
- Brierley, G.J. & Fryirs, K. 1997. River Styles™ in Bega catchment: Implications for management. LWRDC Project MQU1, Workshop and Field Days, October 1-3, 1997. 24 p.
- Brierley, G.J. & Fryirs, K.A. 2005. *Geomorphology and River Management. Applications of the River Styles Framework*. Blackwell Publishing, Carlton, Victoria. 398 p.
- Brierley, G.J., Fryirs, K. & Jain, V. 2006. Landscape connectivity: the geographic basis of geomorphic applications. *Area* 38.2. 165-174.

- Brierley, G.J. & Hickin, E.J. 1991. Channel planform as a non-controlling factor in fluvial sedimentology: the case of the Squamish River floodplain, British Columbia. *Sedimentary Geology* 75.1-2. 67-83.
- Brookes, A. 1988. *Channelized rivers: Perspectives for environmental management*. John Wiley and Sons, Chichester. 326 p.
- Brookes, A. & Shields, F.D. Jr. (Eds.) 1996. *River Channel Restoration: Guiding Principles for Sustainable Projects*. John Wiley & Sons, Chichester. 433 p.
- Brooks, K.N., Ffoliott, P.F., Gregersen, H.M. & DeBano, L.F. 2003. *Hydrology and the Management of Watersheds*. Iowa State Press, Ames, IA. 574 p.
- Brown, S., Brinson, M.M. & Lugo, A.E. 1979. Structure and function of riparian wetlands. In: Johnson, R.R. & McCormick, J.F. (eds): *Strategies for protection and management of floodplain wetlands and other riparian ecosystems*. USDA Forestry Series, Portland, OR. 17-31. (General Technical Report WO-12)
- Bruns, D.A., Minshall, G.W., Cushing, C.E., Cummins, K.W., Brock, J.T. & Vannote, R.L. 1984. Tributaries as modifiers of the river-continuum concept: analysis by polar ordination and regression models. *Archives of Hydrobiology* 99. 208-220.
- Brunsdon, D. & Thornes, J.B. 1979. Landscape sensitivity and change. *Transactions of the Institute of British Geographers* 4. 463-484.
- Buijse, A.D., Coops, H., Staras, M., Jans, L. H., van Geest, G.J., Grift, R.E., Ibelings, B.W. Oosterberg, W. & Roozen, F.C.J.M. 2002. Restoration strategies for river floodplains along large lowland rivers in Europe. *Freshwater Biology* 47. 889-907.
- Bull, W.B. 1979. Threshold of critical power in streams. *Geological Society of America Bulletin* 90. 453-464.
- Burt, T.P. 1997. The hydrological role of floodplains within the drainage basin system. In: Haycock, N., Burt, T., Goulding, K. & Pinay, G. (eds): *Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection*. Quest Environmental, Harpenden, Hertfordshire, U.K. 21-32.
- Burt, T.P. & Haycock, N.E. 1996. Linking hillslopes to floodplains. In: Anderson, M.G., Walling, D.E. & Bates, P.D. (eds): *Floodplain Processes*. John Wiley and Sons, Chichester – New York. 461-492.
- Burt, T.P. & Pinay, G. 2005. Linking hydrology and biogeochemistry in complex landscapes. *Progress in Physical Geography* 29.3. 297-316.
- Butzer, K.W. 1976. *Geomorphology from the Earth*. Harper and Row, New York. 463 p. (magyarul: 1986. A földfelszín formakincse. Gondolat Kiadó, Budapest. 520 p.)
- Carter, J.R. 1998. Digital representation of topographic surfaces. *Photogrammetrical Engineering and Remote Sensing*. 54.11. 1577-1580.
- Castelle, A.J., Conolly, C., Emers, M., Metz E.D., Meyer, S. & Witter, M. 1992. Wetland buffers: An annotated bibliography. Washington State Department of Ecology, Olympia, WA. 71 p. (Publication 92-11)
- Castelle, A.J., Johnson, A.W. & Conolly, C. 1994. Wetland and stream buffer size requirements: A review. *Journal of Environmental Quality* 23. 878-882.
- CEN 2002. A guidance standard for assessing the hydromorphological features of rivers. European Committee for Standardization (CEN), Brussels. 21 p. (CEN Report TC 230/WG 2/TG 5: N32)
- Cholnoky J. 1918. A Balaton hidrográfiája. In: Cholnoky J. (szerk.): *A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei I. kötet 2. rész*. Magyar Földrajzi Társaság Balaton-bizottsága, Budapest. 316 p.
- Cholnoky J. 1925. A folyóvölgyekről. *Matematikai és Természettudományi Értesítő* 42. 101-108.
- Chovanec, A., Waringe, J., Straif, M., Graf, W., Reckendorfer, W., Waringer-Löschenkohl, A., Waidbacher, H. & Schultz, H. 2005. The Floodplain Index – a new approach for assessing the ecological status of river/floodplain-systems according to the EU Water Framework Directive. *Large Rivers* 15.1-4. 169-185.
http://www.boku.ac.at/hfa/forschung/graf/publications/large_rivers.pdf
- Church, M., 1992. Channel morphology and typology. In: Calow, P. & Petts, G.E. (eds): *The Rivers Handbook: Hydrological and Ecological Principles*, Vol. 1. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 126-143.

- Cierjacks, A., Kleinschmit, B., Babinsky, M., Kleinschroth, F., Markert, A., Menzel, M., Ziechmann, U., Schiller, T., Graf, M. & Lang, F. 2010. Carbon stocks of soil and vegetation on Danubian floodplains. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 173.5. 644-653.
- Clarke, S.J., Bruce-Burgess, L. & Wharton, G. 2003. Linking form and function: towards an eco-hydromorphic approach to sustainable river restoration. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 13. 439-450.
- Collinson, J.D. 1978. Alluvial sediments. In: Reading, H.G. (ed.): *Sedimentary environments and facies*. Elsevier, New York – Amsterdam. 15-60.
- Connell, J. 1978. Diversity in tropical rainforests and coral reefs. *Science* 199. 1302-1310.
- Correll, D.L. 1997. Buffer zones and water quality protection: general principles. In: Haycock, N.E., Burt, T.P., Goulding, K.W.T. & Pinay, G. (eds): *Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection*. Quest Environmental, Harpenden, Hertfordshire, UK. 7-20.
- Cotton, C.A. 1941. *Landscape as developed by the processes of normal erosion*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 301 p.
- CSIRO 2000. *Floodplain Management in Australia: Best Practice Principles and Guidelines*. CSIRO Publishing, Collingwood, VIC. 101 p. (SCARM Report 73)
- Culbertson, D.M., Young, L.E. & Brice, J.C. 1967. *Scour and Fill in Alluvium Channels*. U.S. Geological Survey Open-File Report, Washington D.C. 58 p.
- Cummins, K.W. 1974. Structure and function of stream ecosystems. *BioScience* 24. 631-641.
- Cupp, C.E. 1989. *Stream Corridor Classification for Forested Lands of Washington*. Report Prepared for Washington Forest Protection Association, Olympia, WA. 44 p.
- Csermák B. 1957. Kisvízfolyások árvízhozamának számítása. In: *Beszámoló a VITUKI 1954. évi munkájáról*. VÍZDOK, Budapest.
- Csontos, L., Magyar, Á., Van Vliet-Lanoë, B. & Musitz, B. 2005. Neotectonics of the Somogy hills (Part II): Evidence from seismic sections. *Tectonophysics* 410.1-4. 63-80.
- Csorba P. 1997. *Tájökológia*. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen. 113 p.
- Csorba P. 2008a. Tájmetriai mérések felhasználási lehetőségei. In: Csorba P. & Fazekas I. (szerk.): *Tájkutatás – tájökológia*. Meridián Alapítvány, Debrecen. 65-72.
- Csorba P. 2008b. Tájhatárok és foltgrádiensek. In: Csima P. & Dublinszki-Boda B. (szerk.): *Tájökológiai kutatások*. Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest. 83-89.
- Csorba P., Szabó Sz. & Csorba K. 2006. Tájmetriai adatok tájökológiai célú felhasználása, Földrajzi tanulmányok Dr. Lóki József tiszteletére. *Debreceni Egyetem, Debrecen*, 24-34.
- Czigány Sz., Pirkhoffer E., Balassa B., Bugya T., Bötkös T., Gyenizse P., Nagyvárad L., Lóczy D. & Geresdi I. 2010. Villámárvíz mint természeti veszélyforrás a Dél-Dunántúlon. *Földrajzi Közlemények* 134.3. 281-298.
- Dahl, T.E. 1990. Wetlands: Losses in the United States 1780's to 1980's. U.S. Fish and Wildlife Service, Washington, DC. 13 p.
- Davis, W.M. 1914. Meandering Valleys and Underfit Rivers. *Annals of the American Association of Geographers* 3. 3-28.
- Deffontaines, J.P., Thenail, C. & Baudry, J. 1995. Agricultural systems and landscape patterns – how can we build a relationship? *Landscape and Urban Planning* 31. 3-10.
- Delong, M.D. & Brusven, M.A. 1991. Classification and spatial mapping of riparian habitat with applications toward management of streams impacted by nonpoint source pollution. *Environmental Management* 15.4. 565-572.
- Dent, C.L., Grimm, N.B. & Fischer, S.G. 2001. Multiscale effects of surface-subsurface exchange on stream water nutrient concentrations. *Journal of North American Benthological Society* 20. 162-181.
- Dér F., Fábrián T., Hoffmann R., Speiser F. & Tóth T. 2007. Gyepterületek földminősítése, földértékelése és földhasználati információja a D-e-Meter rendszerben. In: Gaál Z. (szerk.): *Földminősítés, földértékelés és földhasználati információ*. Veszprémi Egyetem, Veszprém. 59-64.
- Detrekői Á. & Szabó Gy. 2004. *Térinformatika*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest. 380 p.
- Dévai Gy., Nagy S., Wittner I., Aradi Cs., Csabai Z. & Tóth A. 1998. A vízi és a vizes élőhelyek sajátosságai és tipológiája. *KLTE, Ökológiai Tanszék, Debrecen*. 52 p.
- Dietrich, W.E. & Dunne, T. 1978. Sediment budget for a small catchment in mountainous terrain. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband* 29. 191-206.

- Dikau, R. 1988. Entwurf einer geomorphographisch-analytischen Systematik von Reliefeinheiten. *Heidelberger Geographische Bausteine* 5. 1-45.
- Dillaha, T.A., Sherrard, J.H. & Lee, D. 1989. Long-term effectiveness of vegetative filter strips. *Water Environmental Technology*, November 419-421.
- DME 1995. Land Suitability Assessment Techniques. Queensland Department of Minerals and Energy, Brisbane. 16 p. <http://www.derm.qld.gov.au/register/p01206ae.pdf>
- Dobrosi D., Haraszty L. & Szabó G. 1993. Magyarországi árterek természetvédelmi problémái. WWF Magyarország, Budapest. 18 p. (WWF Füzetek 3)
- Dodov, B.A. & Fofoula-Georgiou, E. 2006. Floodplain morphometry extraction from a high-resolution digital elevation model: a simple algorithm for regional analysis studies. *Geoscience and Remote Sensing Letters* 3. 410-413.
- Dosskey, M.G., Heltersy, M.J. & Eisenhauerz, D.E. 2008. A design aid for determining width of filter strips. *Journal of Soil and Water Conservation* 63.4. 232-241.
- Dömsödi J. 1980. A hazai tőzeglápok (tőzegek) osztályozása. *Földrajzi Értesítő* 29.3-4. 485-494.
- Dömsödi J. 1988. Lápképződés, lápmegsemmisülés. MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest. 120 p. (Elmélet – Módszer – Gyakorlat 46)
- Dömsödi J. 2011. Földminősítés és földértékelés. Szent Gellért Kiadó, Budapest. 155 p.
- Dövényi Z. (szerk.) 2010. Magyarország kistájainak katasztere I-II. 2. kiadás. MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest. 876 p.
- Eaton, B.C., Millar, R.G. & Davidson, S. 2010. Channel patterns: Braided, anabranching, and single-thread. *Geomorphology* 120. 353-364.
- ECRR 2001. River restoration in Europe. Conference on River Restoration, Proceedings. Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment (RIZA), Lelystad, The Netherlands. 348 p. (Riza report 2001.023)
http://distance.ktu.lt/kbridge/IRBM/Unit1_2/resources/documents/Annex1_1.2F.pdf
- ECRR 2008. River restoration in Europe. Proceedings of the 4th ECRR Conference on River Restoration, Venice, 16-21 June, 2008. European Center for River Restoration (ECRR) and Centro Italiano per la Riqualificazione Fluviale, Venice. 788 p.
<http://www.ecrr.org/archive/conf08/pdf/proceed1.pdf>
- Elwood, J.W., Newbold, J.D., O'Neill, R.V. & Van Winkle, W. 1983. Resource spiraling: an operational paradigm for analyzing lotic ecosystems. In: Fontaine, T.D. & Bartell, S.M. (eds): *Dynamics of Lotic Ecosystems*. Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI. 3-27.
- Environment Agency 1998. River Geomorphology: A Practical Guide. National Centre for Risk Analysis and Options Appraisal, London. 56 p. (Environment Agency Guidance Note 18)
- Environmental Laboratory 1987. Corps of Engineers Wetlands delineation manual. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. 143 p. (Technical Report Y-87-1)
<http://el.erdc.usace.army.mil/elpubs/pdf/wlman87.pdf>
- Epstein, M.C. 2002. Application of Rosgen Analysis to the New Jersey Pine Barrens. *Journal of American Water Resource Association* 38.1. 69-78.
- Erdélyi M. 1961. Külső-Somogy vízföldtana I. *Hidrológiai Közlöny* 41. 441-458.
- Erdélyi M. 1962. Külső-Somogy vízföldtana II. *Hidrológiai Közlöny* 42. 56-65.
- ESRI 2008. ArcGIS Extensions. Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA. 20 p.
<http://www.esri.com/software/arcgis/about/desktop-extensions.html>
- European Commission 2000. Directive 2000/60/EEC. Establishing a framework for community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, Luxemburg. L327. 1-71.
- FAO, 1998. World Reference Base for Soil Resources. UN Food and Agriculture Organization, Rome. 88 p. (World Soils Report 84)
- Farber, S., Costanza, R., Childers, D.L., Erickson, J., Gross, K., Grove, M., Hopkinson, C.S., Kahn, J., Pincetl, S., Troy, A., Warren, P. & Wilson, M. 2006. Linking ecology and economics for ecosystem management. *BioScience* 56. 121-133.
- Farina, A. 1998. Principles and Methods in Landscape Ecology. Chapman and Hall, London. 235 p.
- FEMA & NRC 2009. Mapping the Zone: Improving Flood Map Accuracy. Committee on Flood Maps, Federal Emergency Management Agency – National Research Council, Washington, DC. National Academies Press, Washington, DC. 136 p. <http://www.nap.edu/catalog/12573.html>

- Fenneman, N.M. 1906. Floodplains produced without floods. *Geological Society of America Bulletin* 38. 89-91.
- Fennessy, M.S. & Cronk, J. K. 1997. The effectiveness and restoration potential of riparian ecotones for the management of nonpoint source pollution, particularly nitrate. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 27. 285-317.
- Ferguson, R.I. 1993. Understanding braiding processes in gravel-bed rivers: Progress and unresolved problems. In: Best, J.L. & Bristow, C.S. (eds): *Braided Rivers*. Geological Society Special Publication 75. 13-71.
- Ferguson, R.I. & Ashworth, P. 1991. Slope-induced changes in channel character along a gravel-bed stream: The Allt Dubhaig, Scotland. *Earth Surface Processes and Landforms* 16. 65-82.
- Findlay, S. 1995. Importance of surface subsurface exchange in stream ecosystems: the hyporheic zones. *Limnology and Oceanography* 40.1. 159-164.
- Fischer, R.A. 2000. Widths of riparian zones for birds. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. 7 p. (EMRRP TN EMRRP-SI-09) <http://el.erdc.usace.army.mil/elpubs/pdf/si09.pdf>
- Fischer, R.A., Martin, C.O., Barry, D.Q., Hoffman, K., Dickson, K.L., Zimmerman, E.G. & Elrod, D.A. 1999. Corridors and Vegetated Buffer Zones: A Preliminary Assessment and Study Design. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. 62 p. (Technical Report EL-99-3)
- Fischer, R.A., Martin, C.O. & Fischenich, J.C. 2000. Improving riparian buffer strips and corridors for water quality and wildlife. *Proceedings of International Conference on Riparian Ecology and Management in Multi-Land Use Watersheds*, August, 2000. American Water Resources Association, 7 p.
- Fischer, R.A., Martin, C.O., Ratti, J.T. & Guidice, J. 2001. Riparian Terminology: Confusion and Clarification. U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. 7 p. (EMRRP Technical Note Series) <http://el.erdc.usace.army.mil/elpubs/pdf/sr25.pdf>
- FISRW 1998. Stream Corridor Restoration – Principles, Practices and Processes. Federal Interagency Stream Restoration Working Group, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C. (Subdocument 57.6/2:EN3/PT.653)
- Florinsky, I.V. 2011. Digital terrain analysis in soil science and geology. Elsevier/Academic Press, Amsterdam. 430 p.
- Forman, R.T.T. & Godron, M. 1986. *Landscape Ecology*. John Wiley and Sons, New York. 620 p.
- Forman, R.T.T. 1995. Land mosaics. The ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press, Cambridge. 632 p.
- Frissell, C.A., Liss, W.J., Warren, C.E. & Hurley, M.D. 1986. A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. *Environmental Management* 10.2. 199-214.
- Froehlich, W., Kaszowski, L. & Starkel, L. 1977. Studies of present day and past river activity in the Polish Carpathians. In: Gregory, K.J. (ed.): *River Channel Changes*. John Wiley and Sons, Chichester, UK. 411-422.
- Gabor, T.S., North, A.K., Ross, L.C.M., Murkin, H.R., Anderson, J.S. & Raven, M. 2004. Natural Values. The Importance of Wetlands and Upland Conservation Practices in Watershed Management: Functions and Values for Water Quality and Quantity. Ducks Unlimited Canada, Oak Hammock Marsh, MB. 56 p.
- Gábris Gy. 1986. Alföldi folyóink holocén vízhozamai. *Alföldi Tanulmányok* 10. 35-52.
- Gábris Gy. 2004. Övzóna vagy parti hát? *Földrajzi Közlemények* 126.(52.) 1-2. 178-184.
- Galays, V.J., Kellerhals, R. & Bray, D.I. 1973. Diversity of River Types in Canada. In: *Fluvial Process and Sedimentation. Proceedings of Hydrology Symposium*. National Research Council of Canada, Ottawa, Canada. 217-250.
- Gallant, J.C. & Wilson, J.P. 2000. *Terrain Analysis: Principles and Applications*. John Wiley and Sons, New York, 479 p.
- Gallant, J.C. & Dowling, T.I. 2003. A multiresolution index of valley bottom flatness for mapping depositional areas. *Water Resources Research* 39. 1347.
- Géczi L. 1998. *A torma termesztése*. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. 95 p.

- Gergel, S.E., Turner, M.G., Miller, J.R., Melack, J.M. & Stanley, E.H. 2002. Landscape indicators of human impacts to riverine systems. *Aquatic Sciences* 64. 118-128.
- Gergely E., Géczi Cs., Horváth J., Jakab A., Jónás Gy.-né, Károlyi Z.-né, Mattányi Zs., Szalai Z., Szabó I. & Rész S. 2000. Kapos folyóvízgyűjtő – Lehetőségtérkép. Öko Zrt. Budapest. 157 p.
- Gerner P. 1994. Dél-dunántúli neotektonikai modellek a magyar földtani szakirodalom alapján. *Földtani Közlemények* 124.3. 381-402.
- Gibert, G., Dole-Olivier, M.-J., Marmonier, P. & Vervier, P. 1990. Surface water-groundwater ecotones. In: Naiman, R.J. & Décamps, H. (eds): *The Ecology and Management of Aquatic-Terrestrial Ecotones*. UNESCO MAB – Parthenon Publishing Group, Paris–Carnforth. 199-216.
- Gippel, C.J., O'Neill, I.C., Finlayson, B.L. & Schnatz, I. 1996. Hydraulic guidelines for the re-introduction and management of large woody debris in lowland rivers. *Regulated Rivers: Research and Management* 12. 223-236.
- Góczán L. 1980. Mezőgazdasági területek agroökológiai kutatása, tipizálása és értékelése. Akadémiai Kiadó, Budapest. 125 p. (Földrajzi Tanulmányok 18)
- Gomez, B., Phillips, J.D., Magilligan, F.J. & James, L.A. 1997. Floodplain sedimentation and sensitivity: Summer 1993 flood, upper Mississippi valley. *Earth Surface Processes and Landforms* 22. 923-936.
- Grant, G.E., Swanson, F.J. & Wolman, M.G. 1990. Pattern and origin of stepped bed morphology in high-gradient streams, western Cascades, Oregon. *Geological Society of America Bulletin* 102. 340-352.
- Grau, S. 2005. Großflächige Planungen zur Entschneidung in Deutschland. *GAIA* 14.2. 153-162.
- Gregory, K.J. 1979. Hydrogeomorphology: how applied should we become? *Progress in Physical Geography* 3. 84-101.
- Gregory, S.V., Swanson, F.J., McKee, W.A. & Cummins, K.W. 1991. An ecosystem perspective of riparian zones. *BioScience* 41. 540-551.
- Gren, I.-M., Groth, K.-H. & Sylvén, M. 1995. Economic values of Danube floodplains. *Journal of Environmental Management* 45. 333-345.
- Groot, J.C.J., Rossing, W.A.H., Jellema, A., Stobbelaar, D.J., Renting, H. & Van Ittersum, M.K. 2007. Exploring multi-scale trade-offs between nature conservation, agricultural profits and landscape quality – a methodology to support decisions on land-use perspectives. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 120. 58-69.
- Gurnell, A.M. 1997. The hydrological and geomorphological significance of forested floodplains. *Global Ecology and Biogeography Letters* 6. Special Issue: Floodplain forests. 219-229.
- Haines-Young, R. & Chopping, M. 1996. Quantifying landscape structure: a review of landscape indices and their application to forested landscapes. *Progress and Physical Geography* 20. 418-445.
- Hajósy F., Kakas J. & Kéri M. 1975. A csapadék havi és évi összegei Magyarországon a mérések kezdetétől 1970-ig. *Az Országos Meteorológiai Szolgálat Hivatalos Kiadványai* 42. kötet. OMSz, Budapest. 355 p.
- Hankó Z., Bauer M. & Kiss Z. 2003. A mértékadó árvíz: múlt és jövő. *Vízügyi Közlemények Különszám IV.* 117-132.
- Harwood, K. & Brown, A.G. 1993. Fluvial processes in a forested anastomosing river: flood partitioning and changing flow patterns. *Earth Surface Processes and Landforms* 18. 741-748.
- Hawkes, H.A. 1975. River zonation and classification. In: Whitton, B.A. (ed.): *River Ecology*. Blackwell Scientific, Oxford, UK. 312-374.
- Hawkins, C.P., Kershner, J.L., Bisson, P.A., Bryant, M.D., Decker, L.M., Gregory, S.V., McCullough, D.A., Overton, C.K., Reeves, G.H., Steedman, R.J. & Young, M.K. 1993. A hierarchical approach to classifying stream habitat features. *Fisheries* 18.3-12.
- Haycock, N.E. & Burt, T.P. 1993b. The sensitivity of rivers to nitrate leaching: The effectiveness of near-stream land as a nutrient retention zone. In: Thomas, D.S.G. & Allison, R.J. (eds): *Landscape Sensitivity*. John Wiley and Sons, London. 261-272
- Haycock, N.E., Burt, T.P., Goulding, K. & Pinay, G. 1997. Buffer zones: their processes and potential in water protection. *Quest Environmental*, Harpenden, Hertfordshire, UK. 326 p.
- Hengl, T. & Rossiter, D.G. 2003. Supervised landform classification to enhance and replace photo-interpretation in semi-detailed soil survey. *Journal of Soil Science Society of America* 67. 1810-1822.

- Hengl, T. & Reuter, H.I. (eds) 2009. *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Elsevier, Amsterdam. 772 p. (Developments in Soil Science 33)
- Hey, D.L. & Philippi, N.S. 1995. Flood reduction through wetland restoration: The Upper Mississippi River Basin as a case history. *Restoration Ecology* 3.1. 4-17.
- Hickin, E.J. 1984. Vegetation and river channel dynamics. *Canadian Geographer* 28.2. 111-126.
- Hickin, E.J. & Nanson, G.C. 1984. Lateral migration rates of river bends. *Journal of Hydraulic Engineering* 110/111. 1557-1567.
- Hjerdt, K.N., McDonnell, J.J., Seibert, J. & Rodhe, A. 2004. A new topographic index to quantify downslope controls on local drainage. *Water Resources Research* 40. W05602.
- Hohausova, E. & Jurajda, P. 2005. Restoration of a River Backwater and Its Influence on Fish Assemblage. *Czech Journal of Animal Science* 50.10. 473-482.
- Holling, C.S. 1992. Cross-scale morphology, geometry and dynamics of ecosystems. *Ecological Monographs* 62. 447-502.
- Hooper, B.P. & Duggin, J.A. 1996. Ecological riverine floodplain zoning. Its application to rural floodplain management in the Murray–Darling Basin. *Land Use Policy* 13.2. 87-99.
- Horton, R.E. 1932. Drainage Basin Characteristics. *Transactions of American Geophysical Union* 13. 350-361.
- Horton, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins. *Geological Society of America Bulletin* 56. 275-370.
- Howard, A.D. 1980. Threshold in River Regimes. In: Coates D.R. & Vitek, J.D. (eds): *Threshold in Geomorphology*. Allen and Unwin, London. 275-370.
- Howard, A.D. 1996. Modelling Channel Evolution and Floodplain Morphology. In: Anderson, M.G., Walling, D.E. & Bates, P.D. (eds) *Floodplain Processes*. John Wiley and Sons, Chichester. 15-62.
- Hudson, P.F. 2003. Floodplains: environment and process. *Geomorphology* 56.3-4. 225-352.
- Huet, M. 1959. Profiles and biology of western European streams as related to fish management. *Transactions of the American Fisheries Society* 88. 155-163.
- Hughes, F.M.R. 1997. Floodplain biogeomorphology. *Progress in Physical Geography* 21.4. 501-529.
- Hulse, D. & Gregory, S. 2004. Integrating resilience into floodplain restoration. *Urban Ecosystems* 7.3. 295-314.
- Hupp, C.R. 1992. Riparian vegetation recovery patterns following stream channelization: A geomorphic perspective. *Ecology* 73.4. 1209-1226.
- Hupp, C.R. & Osterkamp, W.R. 1996. Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes. *Geomorphology* 14. 277-295.
- Hynes, H.B.N. 1970. *The Ecology of Running Waters*. University of Toronto Press, Toronto, Ontario. 555 p.
- ICPDR 2010. Danube River basin management Plan (DRBMP) 2009. Vienna. 91 p.
http://www.icpdr.org/icpdr-pages/danube_rbm_plan_ready.htm
- Ihrig, D. (szerk.) 1973. *A magyar vízszabályozás története*. Országos Vízügyi Hivatal (OVH), Budapest. 398 p.
- Illies, J. 1961. Versuch einer allgemein biozönotischen Gliederung der Fliessgewässer. *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie* 46. 205-213.
- Ingegnoli, V. 2002. *Landscape Ecology: A Widening Foundation*. Springer Verlag, Berlin – Heidelberg. 357 p.
- Jaeger, J.A.G. 2000. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology* 15. 115-130.
- Jain, V., Fryirs, K. & Brierley, G. 2008. Where do floodplains begin? The role of total stream power and longitudinal profile form on floodplain initiation processes. *Geological Society of America Bulletin* 120. 127-141.
- Jankó A. 2007. *Magyarország katonai felmérései, 1763-1950*. Argumentum Kiadó, Budapest. 196 p.
- Johnson, A.W. & Ryba, D.M. 1992. A literature review of recommended buffer widths to maintain various functions of stream riparian areas. Prepared for King County Surface Water Management Division. Aquatic Resource Consultants, Renton, WA. 29 p.
- Johnson, B.L., Richardson, W.B. & Naimo, T.J. 1995. Past, present, and future of concepts in large river ecology. *BioScience* 45.3. 134-141.

- Johnson, L.B., Richards, C., Host, C.E. & Arthur, J.W. 1997. Landscape influences on water chemistry in Midwestern stream ecosystems. *Freshwater Biology* 37. 193-208.
- Johnson, W.C. 2000. Tree recruitment and survival in rivers: influence of hydrological processes. *Hydrological Processes* 14. 3051-3074.
- Junk, W.J., Bayley, P.B. & Sparks, R.E. 1989. The flood-pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 106: 110-127.
- Kaliczka L. 1998. Hegy- és dombvidéki vízrendezés. Eötvös József Főiskola, Baja. 114 p.
- Kauffman, J.B. & Beschta, R.L. 1997. An ecological perspective of riparian and stream restoration in the Western United States. *Fisheries* 22.3. 12-24.
- Kellerhals, R., Church, M. & Bray, D.I. 1976. Classification and Analysis of River Processes. American Society of Civil Engineers, New York. 813-829. (Report 102(HY7))
- Kerényi A. 2007. Tájvédelem. Pedellus Tankönyvkiadó, Debrecen. 184 p.
- Kertész Á. 2003. Tájökológia. Holnap Kiadó, Budapest. 166 p.
- Kindlmann, P. & Burel, F. 2008. Connectivity measures: a review. *Landscape Ecology* 23.8. 879-890.
- Kis É. & Lóczy D. 1985. Geomorfológiai térképezés környezetminősítési céllal. *Földrajzi Értesítő* 34.4. 475-482.
- Kiss, T., Fiala, K. & Sipos, Gy. 2008. Alterations of channel parameters in response to river regulation works since 1840 on the Lower Tisza River (Hungary). *Geomorphology* 98. 96-110.
- Kline, M. 2007. River Corridor Planning Guide to Identify and Develop River Corridor Protection and Restoration Projects. Draft. Vermont River Management Program, Vermont Agency of Natural Resources, Waterbury, VT. 120 p.
- Knighton, A.D. 1998. Fluvial Forms and Processes. 2nd edition. Edward Arnold, London. 218p.
- Knighton, A.D. 1999. Downstream variation in stream power. *Geomorphology* 29. 293-306.
- Knighton, A.D. & Nanson, G.C. 1993. Anastomosis and the continuum of channel form. *Earth Surface Processes and Landforms* 18. 613-625.
- Knopf, F.L., Johnson, R.R., Rich, T., Samson, F.B. & Szaro, R.C. 1988. Conservation of riparian ecosystems in the United States. *Wilson Bulletin* 100. 272-284.
- Kollmann, J., Vieli, M., Edwards, P.J., Tockner, K. & Ward, J.V. 1999. Interactions between vegetation development and island formation in the Alpine river Tagliamento. *Applied Vegetation Science* 2. 25-36.
- Kondolf, G.M. 1995. Geomorphological stream channel classification in aquatic habitat restoration: Uses and limitations. *Aquatic conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 5. 127-141.
- Kondolf, G.M. & Piégay, H. 2002. Tools in Geomorphology. John Wiley and Sons, Chichester. 384 p.
- Koris K. 2002. A hazai hegy- és dombvidéki kisvízgyűjtők árvízhozamainak meghatározása. *Vízügyi Közlemények* 84.1. 64-74.
- Kovács Gy. & Domokos M. 1984. Segédletek a dunántúli kisvízfolyások szélsőséges vízhozamainak becslésére. *Vízügyi Közlemények* 66.4. 573-585.
- Kronvang, B., Larsen, S.E., Jensen, J.P., Andersen, H.E., Lázár, A. & Féher, J. 2004. Catchment report: Kapos, Hungary. Trend analysis, retention and source apportionment. Oslo, Norway. 28 p. (EUROHARP report 7-2004, NIVA report SNO 4790-2004)
- Ladson, A.R., White, L.J., Doolan, J.A., Finlayson, B.L., Hart, B.T., Lake, P.S. & Tilleard, J.W. 1999. Development and testing of an Index of Stream Condition for waterway management in Australia. *Freshwater Biology* 41.2. 453-468.
- Lane, E.W. 1957. A Study of the Shape of Channels formed by Natural Streams Flowing in Erodible Materials. U.S. Army Corps of Engineers, Missouri River Corps of Engineers, Omaha. (Missouri River Division Sediment Series 9)
- Lane, S.N. 1995. The dynamics of dynamic river channels. *Geography* 80/2. 147-162.
- Lang, S. & Blaschke, T. 2007. Landschaftsanalyse mit GIS. Eugen Ulmer, Stuttgart. 404 p.
- Lastra, J., Fernández, E., Díez, A. & Marquinez, J. 2007. Flood hazard delineation combining geomorphological and hydrological methods: an example in the Northern Iberian Peninsula. *Natural Hazards* 45. 277-293.
- LAWA, 2000. Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland. Verfahren für kleine und mittelgroße Fließgewässer. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Schwerin. 186 p.
- Lehotský, M. 2004. River Morphology Hierarchical Classification (RMHC). *Acta Universitatis Carolinae, Geographica* 1. 33-45.

- Leopold, L.B. 1994. *A View of the River*. Harvard University Press, Cambridge, MA. 290 p.
- Leopold, L.B. & Maddock, T. Jr. 1953. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. US Geological Survey, Washington, D.C. (Professional Paper 252)
- Leopold, L.B. & Wolman, M.G. 1957. *River Channel Patterns: Braided, Meandering, and Straight*. U.S. Geological Survey, Washington D.C. 39-85. (Professional Paper 282-B)
- Leopold, L.B., Wolman, M.G. & Miller, J.P. 1964. *Fluvial Processes in Geomorphology*. W.H. Freeman, San Francisco. Unabridged Republication: 1995. Dover Publications, Inc, New York. 522 p.
- Lewin, J. 1976. Initiation of bed forms and meanders in coarse-grained sediment. *Geological Society of America Bulletin* 87. 281-285.
- Lewin, J. 1978. Floodplain geomorphology. *Progress in Physical Geography* 2. 408-437.
- Ligetvári F. 2004. Vízározók jóléti hasznosítása. In: Füleky Gy. (szerk.): *A táj változásai a Kárpát-medencében. Víz a tájban. Környezetkímélő Agrokémiáért Alapítvány, Gödöllő*. 390-395.
- Little, C.E. 1990. *Greenways for America*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD. 237 p.
- Lóczy, D. 1997. Human impact on rivers in Hungary as reflected in changes of channel planform. In: Bremer, H. & Lóczy, D. (eds): *Geomorphology and Changing Environments in Central Europe. Zeitschrift für Geomorphologie Supplement-Band 110*. 219-231.
- Lóczy D. 2002. Tájértékelés, földértékelés. *Dialóg Campus Kiadó, Budapest–Pécs*. 307 p.
- Lóczy D. 2005. Folyóvízi felszínformálás. In: Lóczy D. & Veress M. *Geomorfológia I. Földfelszíni folyamatok és formák. Dialóg Campus Kiadó, Budapest–Pécs*. 17-130.
- Lóczy D. 2010a. Az árterek tájökölógiai jelentősége. In: Kertész Á. (szerk.): *Tájökölógiai kutatások 2010. IV. Magyar Tájökölógiai Konferencia, Kerekegyháza, 2010. május 13-15. MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest*. 147-154.
- Lóczy, D. 2010b. Flood hazard in Hungary: a re-assessment. *Central European Journal of Geosciences* 2.4. 537-547. <http://www.springerlink.com/index/V278623108647T07.pdf>
- Lóczy D. 2010c. A Kapos-völgy lehetséges elmocsarasodása. In: Lóki J. (szerk.): *Interdiszciplinaritás a természet- és társadalomtudományokban. Debreceni Egyetem Természetföldrajzi és Geoinformatikai Tanszéke, Debrecen*. 203-208.
- Lóczy D., Csighy T., Huszár T. & Mészáros E. 1999. Tájökölógiai szempontok a termőföld-privatizáció hatásainak megítéléséhez. *Földrajzi Értesítő* 48.1-2. 173-187.
- Lóczy, D., Kis, É. & Schweitzer, F. 2009. Local flood hazards assessed from channel morphometry along the Tisza River in Hungary. *Geomorphology* 113. Special Issue: Latrubesse, E., Chen, Zh. & Stevaux, J.C. (eds): *Short and Long-Term Processes, Landforms and Responses in Large Rivers*. 200-209.
- Lóczy, D., Pirkhoffer, E. & Gyenizse, P. 2011. Geomorphometric floodplain classification in a hill region of Hungary. *Geomorphology*. doi: 10.1016/j.geomorph.2011.06.040
- Lovell, S.T., DeSantis, S., Nathan, C.A., Olson, M.B., Méndez, V.E., Kominami, H.C., Erickson, D.L., Morris, K.S. & Morris, W.B. 2010. Integrating agroecology and landscape functionality in Vermont: An evolving framework to evaluate the design of agroecosystems. *Agricultural Systems* 103. 327-341.
- Ma, R. 2005. DEM generation and building from LiDAR data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 71. 847-854.
- MABOSZ 2011. *A Növényvilág Megőrzésének Világstratégiája. Magyar Arborétumok és Botanikus Kertek Szövetsége, Budapest*. 22 p.
- McCartney, M.P. & Naden, P.S. 1995. A semi-empirical investigation of the influence of floodplain storage on flood flow. *Journal of CIWEM* 9. 236-246.
- McCormack, D.E. 1971. Use of soil surveys in the identification of floodplains. *Ohio Journal of Soil Science* 71.6. 370-375. https://kb.osu.edu/dspace/bitstream/1811/5657/1/V71N06_370.pdf
- Macdonald, K.B. & Weinmann, F. (eds) 1997. *Wetland and riparian restoration: Taking a broader view*. U.S. Environmental Protection Agency, Seattle, WA. 284 p. Report EPA910-R-97-007)
- McEwen, L.J. 1994. Channel planform adjustment and stream power variations on the middle River Coe, Western Grampian Highlands, Scotland. *Catena* 21. 357-374.
- McGarigal, K. et al. 2002. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. University of Massachusetts, Landscape Ecology Lab, Amherst, MA. http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/fragstats_documents.html

- McGarigal, K. & Cushman, S.A. 2005. The gradient concept of landscape pattern. In: Wiens, J. & Moss, M. (eds): *Issues and Perspectives in Landscape Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge. 112-119. (Cambridge Studies in Landscape Ecology)
- McGinnity, P. et al. 2002. Water Framework Directive: A desk study to determine a methodology for the monitoring of the 'morphological conditions' of Irish Rivers. Final Report (2002-W-DS/9-M1), Environmental Protection Agency, Dublin
- McHarg, I. 1969. *Design with Nature*. Natural History Press, Garden City, NY. new edition: 1995. John Wiley and Sons, New York. 208 p.
- McKean, J., Nagel, D., Tonina, D., Bailey, P., Wright, C.W., Bohn, C. & Nayegandhi, A. 2009. Remote sensing of channels and riparian zones with a narrow-beam aquatic-terrestrial lidar. *Remote Sensing* 1. 1065-1096. doi: 10.3390/rs1041065
- Macklin, M., Benito, G. & Gregory, K. 2006. Past hydrological events reflected in the Holocene fluvial record of Europe. *Catena* 66. 145-154.
- McRae, S.G. & Burnham, C.P. 1981. *Land Evaluation*. Clarendon Press, Oxford. 239 p. (Monographs of Soil Survey 7)
- Magyari Á., Musitz B., Csontos L, Vliet-Lanoë B. van & Unger Z. 2004. Későnegyedidőszaki szerkezetfejlődés vizsgálata Külső-Somogyban terepi mikro- és morfológiailag módszerekkel. Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése a 2002. évről. 111-128.
- Magyari, Á., Musitz, B., Csontos, L. & Vliet-Lanoë, B. van 2005. Quaternary neotectonics of the Somogy Hills, Hungary (part I): Evidence from field observations. *Tectonophysics* 410. 43-62.
- Makaske, B. 1998. *Anastomosing rivers: forms, processes and sediments*. Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap/Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Universiteit Utrecht, Utrecht. 287 p.
- Malanson, G.P. 1993. *Riparian Landscapes*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 296 p.
- Manci, K.M. 1989. *Riparian Ecosystem Creation and Restoration: A Literature Summary*. U.S. Department of the Interior, Fish & Wildlife Service Research & Development, Washington, DC. 59 p. (Biological Report 89-20)
- Mander, Ü., Kuusemets, V., Lohmus, K. & Mäuring, T. 1997. Efficiency and dimensioning of riparian buffer zones in agricultural catchments. *Ecological Engineering* 8. 299-324.
- Márkus F. 1992. Az intenzív mezőgazdaság és földhasználat hatása a természeti értékekre. WWF-füzetek 1. 1-18.
- Marosi S. & Szilárd J. 1979. Somogyi tájtypusok jellemzése és értékelése. *Földrajzi Értesítő* 27.1-2. 51-85.
- Marriott, S.B. 2004. Floodplain. In: Goudie, A.S. (editor-in-chief): *Encyclopedia of Geomorphology* I. Routledge, London. 381-384.
- Marriott, S.B. & Alexander, J. (eds) 1999. *Floodplains: Interdisciplinary Approaches*. Geological Society London, Special Publications 163. 330 p.
- Mason, L. & Maclean, A.L. 2007. GIS Modeling of Riparian Zones Utilizing Digital Elevation Models and Flood Height Data: An Intelligent Approach. ASPRS 2007 Annual Conference, May 7-11, 2007, Tampa, FL. 10 p.
- Melton, F.A. 1936. An Empirical Classification of Flood-plain Streams. *Geographical Review* 26. 593-609.
- Mezősi G. 2011. Magyarország természetföldrajza. Akadémiai Kiadó, Budapest. 393 p.
- Miall, A.D. 1985. Architectural element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth Science Reviews* 22. 261-308.
- Miall, A.D. 1996. *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology*. Springer, Berlin. 582 p.
- Michaelides, K. & Wainwright, J. 2004. Modelling Fluvial Processes and Interactions. In: Wainwright, J. & Mulligan, M. (eds): *Environmental Modelling: Finding Simplicity in Complexity*. John Wiley and Sons, Chichester. 123-142.
- Millar R.G. 2000. Influence of bank vegetation on alluvial channel patterns. *Water Resources Research* 36.4. 1109-1118.
- Miller, J. R., & Ritter, J. B. 1996. An examination of the Rosgen classification of natural rivers. *Catena* 27. 295-299.

- Miller, J.R. 1991. Development of anastomosing channels in south-central Indiana. *Geomorphology* 4. 221-229.
- Minshall, G.W. 1988. Stream ecosystem theory: a global perspective. *Journal of North American Benthological Society* 7. 263-288.
- Mitsch, W.J. & Gosselink, J.G. 1993. *Wetlands*. Van Nostrand Reinhold, New York. 722 p.
- Mollard, J.D. 1973. Air Photo Interpretation of Fluvial Features. In: *Fluvial Processes and Sedimentation*. Research Council of Canada, Ottawa. 341-380.
- Montgomery, D.R. & Buffington, J.M. 1993. Channel Classification, Prediction of Channel Response, and Assessment of Channel Condition. University of Washington, Seattle, WA –Washington State Department of Natural Resources, Olympia, WA. 84 p. (Report TFW-SH10-93-002)
- Montgomery, D.R. & Buffington, J.M. 1997. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin* 109.5. 596–611.
- Moody, J.A., Pizzuto, J.E. & Meade, R.H. 1999. Ontogeny of a flood plain. *Geological Society of America Bulletin* 111. 291-303.
- Moody, J.A. & Troutman, B.M. 2000. Quantitative model of the growth of floodplains by vertical accretion. *Earth Surface Processes and Landforms* 25. 115-133.
- Moore, I.D., Gessler, P.E., Nielsen G.A. & Peterson, G.A. 1993. Soil attribute prediction using terrain analysis. *Journal of Soil Science Society of America* 57. 443-452.
- Morisawa, M. 1985. *Rivers*. Longman, New York. 222 p.
- Moseley, M.P. 1987. The classification and characterization of rivers. In: Richards, K. (ed.): *Rivers – Environment and Process*. Blackwell Publishing, Oxford. 295-320.
- MTA TAKI 1996. Magyarország genetikai talajtérképe 1:100 000. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet, GIS Labor. Budapest.
- Mucsi L. 2004. Műholdas távérzékelés. Libellus, Szeged. 237 p.
- Müller, F. 1998. Gradients in ecological systems. *Ecological Modelling* 108. 3-21.
- Nagy I.R. 2004. Kisvízfolyás rendezések tájépítészeti szempontjai – Patakhelyreállítások külföldi példákon, hazai lehetőségeik. In: Fülek Gy. (szerk.): *A táj változásai a Kárpát-medencében. Víz a tájban. Környezetkímélő Agrokémiáért Alapítvány, Gödöllő*. 127-131.
- Naiman, R.J. & Decamps, H. 1997. The ecology of interfaces: Riparian zones. *Annual Review of Ecological Systems* 28. 621-658.
- Naiman, R.J., Decamps, H. & Pollock, M. 1993. The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. *Ecological Applications* 3.2. 209-212.
- Naiman, R.J. & McClain, M.E. 2005. *Riparia: Ecology, Conservation and Management of Streamside Communities*. Elsevier Academic Press, Burlington, MA. 430 p.
- Nanson, G.C. & Croke, J.C. 1992. A genetic classification of floodplains. *Geomorphology* 4. 459-486.
- Nanson, G.C. & Knighton, A.D. 1996. Anabranching rivers: their cause, characteristics and classification. *Earth Surface Processes and Landforms* 21. 217-239.
- Nanson, G.C. & Hickin, E.J. 1986. Statistical Analysis of Bank Erosion and Channel Migration in Western Canada. *Geological Society of America Bulletin* 97.4. 497-504.
- National Research Council. 1992. *Restoration of Aquatic Ecosystems*. National Academy Press, Washington, DC. 576 p. online version: <http://www.nap.edu/catalog/1807.html>
- Némedi Varga Z. 1977. A Kapos-vonal. *Földtani Közlöny* 107.3-4. 313-328.
- Newson, M.D. 2002. Geomorphological concepts and tools for sustainable river ecosystem management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 12. 365-379.
- Newson, M.D. & Newson, C.L. 2000. Geomorphology, ecology and river channel habitat: mesoscale approaches to basin-scale challenges. *Progress in Physical Geography* 24.2. 195-217.
- Norris, V. 1993. The use of buffer zones to protect water quality: A review. *Water Resources Management* 7. 257-272.
- OAS 1991. *Primer on Natural Hazard Management in Integrated Regional Development Planning*. Organization of American States, Washington, DC.
<http://www.oas.org/DSD/publications/Unit/oea66e/begin.htm>
- Oláh J. 2004. Ártéri erőforrások és haszonvételek. In: Fülek Gy. (szerk.): *A táj változásai a Kárpát-medencében. Víz a tájban. Környezetkímélő Agrokémiáért Alapítvány, Gödöllő*. 49-55.
- Orr, H.G., Large, A.R.G., Newson, M.D. & Walsh, C.L. 2008. A predictive typology characterizing hydromorphology. *Geomorphology* 100. 32-40.

- Ortmann-Ajkai, A., Lóczy, D., Gyenizse, P. & Pirkhoffer, E. (in press). Vegetation types linked to hydromorphological reaches along the Upper Kapos River, Southwest-Hungary. *River Research and Applications* (in press)
- Owens, H.J. & Wall, G.R. 1981. *Floodplain Management Handbook*. U.S. Water Resources Council, Washington, D.C. 92 p. (Contract No. WR18745467)
- ÖKO Rt., FÖMI & VÍZPART Kft. 2000. A magyarországi folyók töltésezett szakaszán kialakult hullámterek területhasználatának jellemzése. KÖM TVH kutatási jelentés, Budapest
- Padisák J. 2005. Általános limnológia. Egyetemi tankönyv. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest. 310 p.
- Padmore, C.L. 1998. The role of physical biotopes in determining the conservation status and flow requirements of British rivers. *Aquatic Ecosystem Health Management* 1. 25-36.
- Parker, C., Clifford, N.J. & Thorne, C.R. 2011. Automatic delineation of river reach boundaries for river research and applications. *River Research and Applications* (preview) doi: 10.1002/rra.1568
- Parsons, M., Thoms, M.C. & Norris, R.H. 2002. Australian River Assessment System: review of physical river assessment methods – a biological perspective, monitoring river health initiative. Commonwealth of Australia, Canberra. 65 p. (Technical Report no 21)
<http://www.environment.gov.au/water/publications/environmental/rivers/nrhp/pubs/protocol-2.pdf>
- Pautou, G. 1984. L'organisation des forêts alluviales dans l'axe Rhodanien entre Genève et Lyon; comparaison avec d'autres systèmes fluviaux. *Documents de Cartographie Ecologique Grenoble* 27. 43-64.
- Pávai Vajna F. 1926. A földkéreg legfiatalabb tektonikai mozgásairól. *Földtani Közlöny* 55. 63-85.
- Pécsi Márton munkássága 2003. Összeállította: Kókai S. MTA Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei Tudományos Testülete – Nyíregyházi Főiskola Földrajz Tanszéke, Nyíregyháza. 179 p. (Tudomány- és Oktatóstörténeti Tanulmányok 1)
- Pécsi M. & Kerekes S. 1973. Folyóvízi eróziós formák és folyamatok értelmező szótára. *Földrajzi Közlemények* 21.(97.)1. 75-89.
- Petrasovits I. & Balogh J. 1975. *Növénytermesztés és vízgazdálkodás*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 316 p.
- Petts, G.E. & Foster, I.D.L. 1985. *Rivers and Landscape*. Edward Arnold, London. 274 p.
- Petts, G.E., Möller, H. & Roux, A.L. (eds) 1989. *Historical Change of Large Alluvial Rivers: Western Europe*. John Wiley and Sons, Chichester. 355 p.
- Pickup, G. & Marks, A. 2001. Identification of Floodplains and Estimation of Floodplain Flow Velocities for Sediment Transport Modelling. NLWRA Sediment Project (CLW12). CSIRO Land and Water, Canberra, Australia. 28 p. (Technical Report 14/01)
- Piégay, H., Bornette, G., Citterio, A., Herouin, E. & Moulin, B. 2000. Channel instability as a control on silting dynamics and vegetation patterns within the perifluvial aquatic zones. *Hydrological Processes* 14.16-17. 3011-3029.
- Piégay, H. & Gurnell, A.M. 1997. Large woody debris and river geomorphological pattern: Examples from Southeast France and South England. *Geomorphology* 19. 99-116.
- Pinay, G., Ruffinoni, C. & Fabre, A. 1995. Nitrogen cycling in two riparian forest soils under different geomorphic conditions. *Biogeochemistry* 30. 9-29.
- Pirkhoffer E., Czigány S. & Geresdi, I. 2009. Impact of rainfall pattern on the occurrence of flash floods in Hungary. *Zeitschrift für Geomorphologie* 53. 2. 139-157.
- Poole, G.C. 2002. Fluvial landscape ecology: addressing uniqueness within the river discontinuum. *Freshwater Biology* 47. 641-660.
- Post, D.M., Doyle, M.W., Sabo, J.L. & Finlay, J.C. 2007. The problem of boundaries in defining ecosystems: A potential landmine for uniting geomorphology and ecology. *Geomorphology* 89. 111-126.
- Proust, S., Riviére, N., Bousmar, D., Paquier, A., Zech, Y. & Morel, R. 2006. Flow in compound channel with abrupt floodplain contraction. *Journal of Hydrological Engineering* 132. 958-971.
- Quinn, P., Beven, K., Chevallier, P. & Planchon, O. 1991. The prediction of hillslope paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models. *Hydrological Processes* 5. 59-79.
- Rango, A. & Anderson, T.A. 1974. Flood Hazard Studies in the Mississippi River Basin Using Remote Sensing. *Water Resources Bulletin* 10.5. 1060-1081.
- Raven, P. J., Fox, P. J. A., Everard, M., Holmes, N. T. H. and Dawson, F. D. 1997. River Habitat Survey: a new system for classifying rivers according to their habitat quality. In: Boon, P. J. and

- Howell, D. L. (Eds.), *Freshwater Quality: Defining the Indefinable?* The Stationery Office, Edinburgh. 215-234.
- Raven, P.J., Holmes, N.T.H., Charrier, P., Dawson, F.H., Naura, M. & Boon, P.J. 2002. Towards a harmonised approach for hydromorphological assessment of rivers in Europe: a qualitative comparison of three survey methods. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 12. 405-424.
- Raven, P.J., Holmes, N.T.H., Dawson, F.D., Fox, P.J.A., Everard, M., Fozzard, I.R. & Rouen, K.J. 1998. *River Habitat Quality. The Physical Character of Rivers and Streams in the UK and Isle of Man*. Environmental Agency, Bristol. 86 p. (River Habitat Survey Report No 2)
- Reinfelds, I.V., Cohen, T.J., Batten, P., Brierley, G.J. 2004. Assessment of downstream trends in channel gradient, total and specific stream power: A GIS approach. *Geomorphology* 60, 403-416.
- Richards, K.S. 1982. *Rivers: Form and process in alluvial channels*. Methuen, London. 357 p.
- Richards K.S., Brasington J. & Hughes, F. 2002. Geomorphic dynamics of floodplains: ecological implications and a potential modelling strategy. *Freshwater Biology* 47. 559-579.
- Risser, P.G., Karr, R.J. & Forman, R.T. 1984. *Landscape ecology – directions and approaches*. Illinois Natural History Survey, Champaign, IL. USA
- Ritter, D.F., Kochel, R.C. & Miller, J.R. 2002. *Process Geomorphology*. 4th edition. McGraw Hill, Boston. 560 p.
- Rosenberg, D.K., Noon, B.R. & Meslow, E.C. 1997. Biological Corridors: Form, Function, and Efficacy. *BioScience* 47.10. 677-687.
- Rosgen, D.L. 1994. A classification of natural rivers. *Catena* 22. 169-199.
- Rosgen, D.L. 1996a. *Applied River Morphology*. Wildland Hydrology, Pagosa Springs, CO. 133 p.
- Rosgen, D.L. 1996b. A classification of natural rivers: reply to comments of J.R. Miller and J.B. Ritter. *Catena* 27. 301-307.
- Rosgen, D.L. 1998. The Reference Reach – a Blueprint for Natural Channel Design. Wetlands and Restoration Conference, ASCE, Denver, CO. 9 p.
http://www.wildlandhydrology.com/assets/The_Reference_Reach_II.pdf
- Salomonson, V.V. 1983. Water Resources Assessment. In: Colwell, R.N. (ed.): *Manual of Remote Sensing*, 2nd edition. American Society of Photography, Falls Church, VA. 1497-1570.
- Savery, T.S., Belt, G.H. and Higgins, D.A. 2001. Evaluation of the Rosgen Stream Classification System in Chequamegon-Nicolet National Forest, Wisconsin. *Journal of American Water Resource Association* 37.3. 641-654.
- Schiemer, F. 1999. Conservation of biodiversity in floodplain rivers. *Archiv für Hydrobiologie, Large Rivers* 11. 423-438. (Supplement 115)
- Schirmer, W. 1995. Valley bottoms in the late Quaternary. In: Hagedorn, J. (ed.): *Late Quaternary and present-day fluvial processes in Central Europe*. *Zeitschrift für Geomorphologie Supplement* 100. 27-51.
- Schmudde, T.H. 1968. Floodplain. In: Fairbridge, R.W. (ed.): *The Encyclopedia of Geomorphology*. Reinhold, New York. 359-362.
- Schreiber, K-F. (ed.) 1988. *Connectivity in Landscape Ecology*. Münstersche Geographische Arbeiten 29. Schöningh Verlag, Paderborn. 255 p.
- Schumann, R.R. 1989. Morphology of Red Creek, Wyoming, an arid-region anastomosing channel system. *Earth Surface Processes and Landforms* 14. 277-288.
- Schumm, S.A. 1963. A Tentative Classification of Alluvial River Channels. U.S. Geological Survey Circular 477, Washington D.C. 10 p.
- Schumm, S.A. 1973a. River Morphology. In: *Benchmark Papers in Geology*. Dowden, Hutchinson, and Ross, Stroudsburg, PA. 429 p.
- Schumm, S.A. 1977. *The Fluvial System*. Wiley Interscience, New York. 338 p.
- Schumm, S.A. 2005. *River Variability and Complexity*. Cambridge University Press, New York. 234 p.
- Schwarz, U. 2011. Floodplain restoration potential and flood mitigation along the Danube. *Geophysical Research Abstracts* 13. EGU2011-13713
- Sear, D. 1994. River restoration and geomorphology. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 4. 169-177.
- Sebe, K., Csillag, G., Ruszkiczay-Rüdiger, Zs., Fodor, L., Thamó-Bozsó, E., Müller, P. & Braucher, R. 2011. Wind erosion under cold climate: A Pleistocene periglacial mega-yardang system in

- Central Europe (Western Pannonian Basin, Hungary). *Geomorphology*. doi: 10.1016/j.geomorph.2011.08.003
- Sedell, J.R., Reeves, G.H., Hauer, F.R., Stanford, J.A. & Hawkins, C.P. 1990. Role of refugia in recovery from disturbances: modern fragmented and disconnected river systems. *Environmental Management* 14. 711–724.
- Sedell, J.R., Richey, J.E., & Swanson, F.J. 1989. The river continuum concept: a basis for the expected ecosystem behavior of very large rivers? *Canadian Special Publication for Fishery and Aquatic Sciences* 106. 110-117.
- Semlitsch, R.D. 1998. Biological Delineation of Terrestrial Buffer Zones for Pond-Breeding Salamanders. *Conservation Biology* 12.5. 1113-1119.
- Shreve, R.L. 1967. Infinite topologically random channel networks. *Journal of Geology* 75. 178-186.
- Síkhegyi F. 2008. A Somogyi- és Zalai-dombság neotektonikája – morfostrukturális vizsgálatok. PhD értekezés. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron. 159 p.
<http://ilex.efi.hu/sikhegyif/disszertacio.pdf>
- Simon, A. 1989. A model of channel response in disturbed alluvial systems. *Earth Surface Processes and Landforms* 14. 11-26.
- Simon, A. & Rinaldini, M. 2006. Disturbance, stream incision, and channel evolution: The roles of excess transport capacity and boundary materials in controlling channel response. *Geomorphology* 79. 361-383.
- Šípek, V., Matoušková, M. & Dvořák, M. 2010. Comparative analysis of selected hydromorphological assessment methods. *Environmental Monitoring and Assessment* 169. 309-319.
- Smith, M.P., Schiff, R., Olivero, A. & MacBroom, J. 2008. The Active River Area: A Conservation Framework for Protecting Rivers and Streams. The Nature Conservancy, Boston, MA. 64 p.
http://www.floods.org/PDF/ASFPM_TNC_Active_River_Area.pdf
- Snyder, N.J., Mostaghimi, S., Berry, D.F., Reneau, R.B., Hong, S., McClellan, P.W. & Smith, E.P. 1998. Impact of riparian forest buffers on agricultural nonpoint source pollution. *Journal of American Water Resources Association* 34.2. 385-395.
- Sollers, S.C., Rango, A. & Henniger, D.L. 1978. Selecting Reconnaissance Strategies for Floodplain Surveys. *Water Resources Bulletin* 14.2. 359-373.
- Somlyódi L. (szerk.) 2002. A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései. MTA, Budapest. 400 p.
- Somlyódi L. (szerk.) 2011. Magyarország vízgazdálkodása: helyzetkép és stratégiai feladatok. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest. 336 p. (Köztisztületi Stratégiai Programok)
- Somogyi S. (szerk.) 2000. A XIX. századi folyószabályozások és ármentesítések földrajzi és ökológiai hatásai Magyarországon. MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest. 302 p.
- Stanford, J.A. & Ward, J.V. 1988. The hyporheic habitat of river ecosystems. *Nature* 335. 64-66.
- Stanford, J.A. & Ward, J.V. 1993. An ecosystem perspective of alluvial rivers: connectivity and the hyporheic corridor. *Journal of North American Benthological Society* 12: 48-60.
- Stanford, J.A., Lorang, M.S. & Hauer, F.R. 2005. The shifting habitat mosaic of river ecosystems. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 29. 123-136.
- Statzner, B. & Higler, B. 1986. Stream hydraulics as a major determinant of benthic invertebrate zonation patterns. *Freshwater Biology* 16. 127-139.
- Stefanovits P. 1963. Magyarország talajai. 2. kiadás. Akadémiai Kiadó, Budapest. 442 p.
- Stefanovits P., Filep Gy. & Fülek Gy. 1999. Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 470 p.
- Steiger, J., James, M. & Gazelle, F. 1998. Channelization and consequences on floodplain system functioning on the Garonne River Southwest France. *Regulated Rivers: Research and Management* 14. 13-23.
- Steiger, J., Tabacchi, E., Dufour, S., Corenblit, D. & Peiry, J.-L. 2005. Hydrogeomorphic processes affecting riparian habitat within alluvial channel–floodplain river systems: a review for the temperate zone. *River Research and Applications* 21. 719-737.
- Stoddard, J.L., Larsen, D.P., Hawkins, C.P., Johnson, R.K. & Norris, R.H. 2006. Setting expectations for the ecological condition of streams: the concept of reference condition. *Ecological Applications* 16.4. 1267-1276.
- Strahler, A.N. 1957. A Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *American Geophysical Transactions* 38. 913-920.

- Swanson, F.J., Caine, N. & Woodmansee, R.B. 1988. Landform effects on ecosystem patterns and processes. *BioScience*. 38.2. 92-98.
- Szabó J. 2006. A vízgazdálkodás geomorfológiai vonatkozásai. In: Szabó J. & Dávid L. (szerk.): *Antropogén geomorfológia*. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen. 168-190.
- Szabó M. 2008. Vizes élőhelyek helyreállításának elméleti kérdései és gyakorlati vonatkozásai. In: Csorba P. & Fazekas I. (szerk.): *Tájkutatás-tájökológia*. Meridián Alapítvány, Debrecen. 177-183.
- Szabó M., Hajdúné Darabos G. & Szabóné Veres É. 2006. Övzátonyok tájökológiai szempontú vizsgálata a Szigetközben. In: Csima P. & Dublinszki-Boda B.: *Tájökológiai kutatások*. Corvinus Egyetem, Budapest. 219-227.
- Szabó Sz. 2009. Tájmetriai mérőszámok alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata a tájanalízisben. *Habilitációs értekezés*. Debreceni Egyetem, Tájvédelmi és Környezetföldrajzi Tanszék, Debrecen. 107 p.
- Szilárd J. 1965. A külső-somogyi meridionális völgyek. *Földrajzi Értesítő* 14.2. 201-227.
- Szilárd J. 1967. Külső-Somogy kialakulása és felszínalaklata. *Akadémiai Kiadó, Budapest*. 150 p. (Földrajzi Tanulmányok 7)
- Szlávik L. 2007. Hegy és dombvidéki kisvízfolyások szélsőséges árvizeinek vizsgálata. A T 34490 sz. OTKA Zárójelentése. Budapest. 22 p. http://real.mtak.hu/38/1/34490_ZJ1.pdf
- Tabacchi, E., Correll, D.L., Hauer, R., Pinay, G., Planty-Tabacchi, A.M. & Wissmar R.C. 1998. Development maintenance and role of riparian vegetation in the river landscape. *Freshwater Biology* 40. 497-516.
- Tate, E. & Maidment, D. 1999. Floodplain Mapping Using HEC-RAS and ArcView GIS. Center for Research in Water Resources, The University of Texas at Austin, Austin TX. 223 p. <http://www.ce.utexas.edu/centers/crwr/reports/online.html>
- Tate, E.C., Maidment, D.R., Olivera, F. & Anderson, D.J. 2002. Creating a terrain model for floodplain mapping. *Journal of Hydrologic Engineering* 130.3-4. 100-108.
- Taylor, C. 2002. Recognising channel and floodplain forms. Water – Rivers Commission, East Perth, Western Australia. 21 p. (River Restoration Report No. RR17)
- Theiling, Ch. 1998. Floodplain Geomorphology and River Habitat. Chapter 4 in: *River Restoration*. U.S. Geological Survey, Reston, VA. 21 p. http://www.umesc.usgs.gov/documents/reports/1999/status_and_trends/99t001_ch04lr.pdf
- Thompson, C., Croke, J., Ogden, R. & Wallbrink, P. 2006. A morphostatistical classification of mountain stream reach types in southeastern Australia. *Geomorphology* 88.3-4. 307-321.
- Thompson, C., Croke, J. & Trakken, I. 2008. A catchment-scale model of mountain stream channel morphologies in southeast Australia. *Geomorphology* 95. 119-144.
- Thornbury, W.D. 1969. *Principles of Geomorphology*. 2nd edition. John Wiley and Sons, New York. 594 p.
- Tockner, K., Malard, F. & Ward, J.V. 2000. An extension of the Flood Pulse Concept. *Hydrological Processes* 14. 2861-2883.
- Tockner, K., Schiemer, F., Baumgartner, C., Kum, G., Weigand, E., Zweimüller, I. & Ward, J.V. 1999. The Danube restoration project: species diversity patterns across connectivity gradients in the floodplain system. *Regulated Rivers: Research and Management* 15. 245-258.
- Tockner, K., Schiemer, F. & Ward, J.V. 1998. Conservation by restoration: the management concept for river floodplain system on the Danube River in Austria. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 8. 71-86.
- Tockner, K. & Stanford, J.A. 2002. Riverine floodplains: present state and future trends. *Environmental Conservation* 29. 308-330.
- Tonina, D. & Buffington, J.M. 2009. Hyporheic Exchange in Mountain Rivers I: Mechanics and Environmental Effects. *Geography Compass* 3/3. 1063-1086.
- Tóth G. 2009. Hazai szántóink földminősítése a D-e-Meter rendszerrel. *Agrokémia és Talajtan*. 58.2. 227-242.
- Tóth, G. & Németh, T. (eds) 2011. *Land Quality and Land Use Information in the European Union*. University of Pannonia, Georgikon Faculty, Keszthely. 399 p.
- Tóth, L., Mónus, P., Bus, Z. & Györi, E. 2008. Seismicity in the Pannonian Basin. In: Husebye, E.S. (Ed.): *Monitoring and Seismic Hazard Mitigation in Balkan Countries*. Springer Verlag, Berlin – Heidelberg. 97-108. (NATO ARW Series Vol. 81)

- Townsend, C.R. 1996. Concepts in river ecology: pattern and process in the catchment hierarchy. *Archiv für Hydrobiologie* 113 (Supplement). 3-21.
- Trimble, S.W. 1997. Stream channel erosion and change resulting from riparian forests. *Geology* 25.5. 467-469.
- Triska, F.J., Duff, J.H. & Avanzino, R.J. 1993. Patterns of hydrological exchange and nutrient transformation in the hyporheic zone of a gravel-bottom stream: examining terrestrial-aquatic linkages. *Freshwater Biology* 29. 259-274.
- UNEP 2004. Integrated Watershed Management. *Ecohydrology & Phytotechnology*. United Nations Environmental Programme, International Environmental Technology Centre, Osaka-Shiga, Japan. 246 p.
- USACE 2002. HEC-RAS River Analysis System. User's Manual Version 5.0. U.S. Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA. 21 p.
- USDA 1998. Riparian area management: A user guide to assessing proper functioning condition and the supporting science for lotic areas. USDA Bureau of Land Management, Denver, CO. 126 p. (Report TR-1737-15)
- U.S. Department of Commerce 1998. Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices. US Department of Commerce, Springfield, VA.
http://www.nrcs.usda.gov/technical/stream_restoration/newtofc.html
- Valett, H.M., Hakenkamp, C.C. & Boulton, A.J. 1993. Perspectives on the hyporheic zone integrating hydrology and biology: Introduction. *Journal of North American Benthological Society* 12.1. 40-43.
- Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R. & Cushing, C.E. 1980. The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 130-137.
- Van Sickle, J. & Johnson, C.B. 2008. Parametric distance weighting of landscape influence on streams. *Landscape Ecology* 23. 427-438.
- Vaughan, I.P., Diamond, M., Gurnell, A.M., Hall, K.A., Jenkins, A., Milner, N.J., Naylor, L.A., Sear, D. Woodward, G. & Ormerod, S.J. 2009. Integrating ecology with hydromorphology: a priority for river science and management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 19. 113-125.
- Várallyay Gy. 1992. A Szigetköz és környékének talajviszonyai, különös tekintettel azok vízgazdálkodására. *Acta Ovariensis* 34.1. 65-75.
- Várallyay Gy. 2002. Új tudományos kihívások egy korszerű földminősítési rendszerrel szemben. *Geodézia és Kartográfia* 54.7. 3-11.
- VÁTI 2004. Megvalósítási terv a Tisza-völgyi árapasztó rendszer I. ütemére. VÁTI Magyar Regionális Fejlesztési és Urbanisztikai Közhasznú Társaság, Budapest. 110 p. + mell.
- VGI 1983. A magyarországi termőterületek vízhiányának jellemzése. Térképmagyarázó. Kézirat. Vízgazdálkodási Intézet, Budapest
- VKKI 2009. Magyarország Vízyűjtő-gazdálkodási Terve. Vízügyi és Környezetvédelmi Központ Igazgatóság, Budapest. 445 p. http://www.vizeink.hu/files2/100505/Orszagos_VGT0516.pdf
- VKKI 2010. Tájékoztató Magyarország Vízyűjtő-gazdálkodási Tervéről. Vízügyi és Környezetvédelmi Központ Igazgatóság, Budapest. 52 p.
- Völgy Hangja 2009. Koppány Rehabilitációs Program. Írta: Centeri Cs., Ereifej L., Gelencsér G., Pintér A., Siposs V. & Vona M. Völgy Hangja Fejlesztési Társaság Közhasznú Egyesület, Törökkoppány. 36 p.
- Vörös L.Zs. 1955. A Kapos-völgy természeti földrajza. Kaposvár
- VÁTI Kht. 2004. Megvalósítási terv a Tisza-Völgyi Árapasztó Rendszer I. ütemére. VÁTI Magyar Regionális Fejlesztési és Urbanisztikai Közhasznú Társaság, Budapest. 134 p.
- Ward, J.V., Malard, F. & Tockner, K. 2002. Landscape ecology: a framework for integrating pattern and process in river corridors. *Landscape Ecology* 17. Supplement 1. 35-45.
- Ward, J.V. & Stanford, J.A. 1994. The serial discontinuity concept: Extending the model to floodplain rivers. *Regulated Rivers: Research & Management* 10.2-4. 159-168.
- Ward, J.V., Tockner, K., Arscott, D.B. & Claret, C. 2002. Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology* 47. 517-539.
- Ward, J.V., Tockner, K. & Schiemer, F. 1999. Biodiversity of floodplain river ecosystems: ecotones and connectivity. *Regulated Rivers: Research & Management* 15. 126-139.

- Ward, J.V. & Wiens, J.A. 2001. Ecotones of riverine ecosystems: role and typology, spatio-temporal dynamics, and river regulation. *Ecohydrology and Hydrobiology* 1. 25-36.
- Ward, R.C. & Robinson, M. 2000. *Principles of Hydrology*. 4th Edition. McGraw Hill, New York. 365 p.
- Warner, B.G. & Rubec, C.D.A. (eds) 1997. *The Canadian Wetlands Classification System*. 2nd edition. National Wetlands Working Group Canada, Wetland Research Centre, Waterloo, Ontario. 68 p. http://www.wetlandscanada.org/Wetland_Classification_1997.pdf
- Watson, C.C., Schumm, S.A. & Harvey, M.D. 1983. Neotectonic Effects on River Pattern. In: Elliott, C.M. (ed.): *River Meandering*. American Society of Civil Engineers, New York. 55-66.
- Webb, A.A. 2005. Riparian Geomorphology. In Trimble, S.W. (ed.): *Encyclopedia of Water Science*. Francis Taylor, New York. 15.
- Weiß, A., Matoušková, M. & Matschullat, J. 2008. Hydromorphological assessment within the EU Water Framework Directive – trans-boundary cooperation and application to different water basins. *Hydrobiologia* 603. 53-72.
- Weller, D.E., Jordan, T.E. & Corell, D.L. 1998. Heuristic models for material discharge from landscapes with riparian buffers. *Ecological Applications* 8.4. 1156-1169.
- Wenger, S. 1999. A review of scientific literature on riparian buffer width extent and vegetation. Institute of Ecology, University of Georgia, Athens, GA. 57 p.
- White, D.S. 1993. Perspectives on defining and delineating hyporheic zones. *Journal of North American Benthological Society* 12.1. 61-69.
- Whited, D.C., Lorang, M.S., Harner, M.J., Hauer, F.R., Kimball, J.S. & Stanford, J.S. 2007. Climate, hydrologic disturbance, and succession: drivers of floodplain pattern. *Ecology* 88.4. 940-953.
- Whiting, P.J. & Bradley, J.B. 1993. A process-based classification for headwater streams. *Earth Surface Processes and Landforms* 18. 603-612.
- Wiens, J.A. 2002. Riverine landscapes: taking landscape ecology into the water. *Freshwater Biology* 47. 501-515.
- Williams, G.P. 1986. River meander and channel size. *Journal of Hydrology* 88. 147-164.
- Williams, G.P. 1988. Paleofluvial estimates from dimensions of former channels and meanders. In: Baker, V.R., Kochel, R.C. & Patton, P.C. (eds): *Flood Geomorphology*. John Wiley and Sons, New York. 321-334.
- Williams, W.A., Jensen, M.E., Winne, J.C. & Redmond, R.L. 2000. An automated technique for delineating and characterizing valley-bottom settings. *Environmental Monitoring and Assessment* 64. 105-114.
- Wissmar, R.C. & Beschta, R.L. 1998. Restoration and management of riparian ecosystems a catchment perspective. *Freshwater Biology* 40. 571-585.
- Wolman, M.G. & Leopold, L.B. 1957. River flood plains, some observations on their formation. *US Geological Survey Professional Paper* 282-C. 87-109.
- Wolman, M.G. & Miller, J.P. 1960. Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes. *Journal of Geology* 68. 54-74.
- WRC 2001. *Stream Channel Analysis*. Water and Rivers Commission of Western Australia, East Perth, WA. 36 p. (River Restoration Series Report RR9)
- Wu, J. & Loucks, O.L. 1995. From balance of nature to hierarchical patch dynamics: a paradigm shift in ecology. *Quarterly Review of Biology* 70. 439-466.
- WWF International 2010. *Assessment of the restoration potential along the Danube and main tributaries*. Working paper for the Danube River Basin. Final Draft. World-Wide Fund for Nature, Vienna. 60 p. http://assets.panda.org/downloads/wwf_restoration_potential_danube.pdf
- Xiang, W.-N. 1996. GIS-based riparian buffer analysis injecting geographic information into landscape planning. *Landscape and Urban Planning* 34. 1-10.
- Zöckler, C. 2000. *Wise Use of Floodplains – review of restoration projects in a number of European countries*. WWF European Freshwater Programme, Cambridge, UK. 100 p. <http://www.panda.org/downloads/europe/RiverRestoration.pdf>
- Zumbroich, T., Müller, A. & Friedrich, G. 1999. *Strukturgüte von Fließgewässern*. Grundlagen und Kartierung. Springer Verlag, Berlin – Heidelberg. 283 p.
- Zwoliński, Z. 1992. Sedimentology and geomorphology of overbank flows on meandering river floodplains. *Geomorphology* 4. 367-379.

Melléklet 1. A talajszelvények és talajtípusok leírása

1. Vizsgálati módszerek

A termogravimetriai mérést SHIMADZU TGA 50 típusú műszerrel végeztük, 10 °C/min felfűtési sebességgel. A minták bemért tömege 40-40 mg volt.

A szemcseméret-meghatározást FRITSCH Analysette A22_32-es lézeres szemcseméret-meghatározó berendezéssel végeztük. Mérési tartománya: 0,3–300 µm.

Az Arany-féle kötöttségi szám meghatározását az MSZ08 0206/1-78 szabvány szerint, a vízben oldható sótartalmat (m/m só%) az MSZ08 0206/2-78 szabvány szerint végeztük.

2. A Döbrököz-1. szelvény

A *Döbrököz-1. sz. szelvény* (ld. 3.A melléklet) a döbröközi és a kurdi völgszűkületek között, a 46,2 folyókilométernél (az V. ártérszakasz kezdeténél) keresztezi a Kapos medrét. É felől a Kapos által korábban alámosott instabil partfal határolja (C típusú lejtő). A lejtő anyaga lemosódott a mentesített ártérre. A DK1 fúrás felső 1 m-es szakasza lényegében a löszön képződött barnaföld lejtőhordaléka. Mélyebben (100–120 cm) ártéri üledék közbetelepülése jelzi, hogy a folyó laterális eróziója időnként megszakította a lejtőfejlődés folyamatát. Még mélyebben, egészen 3 m-ig áttelepített lejtőlösz, majd ismét fluviális finomhomok jelenik meg, a feküje ismeretlen. Bizonyítható a lejtő- és az ártéri üledékek összefogazódása, meghatározható a geomorfológiai-üledékföldtani értelemben vett ártér széle.

A DK2 fúrás a Kapos árvízvédelmi töltése közelében létesült – de még eléggé mentesnek tekinthető a gátépítéskor fellépett bolygatás esetleges hatásaitól. A talaj típusa réti talaj, vastag agyagos-vályogos szintjei a folyószabályozás óta lemosódó, áthalmozott löszön képződtek, ezért felépítése és vízgazdálkodása eltér a finomhomokon kialakult talajokétól. Igen vastag, fekete, ill. sárgásbarna színű vízzáró réteg található 30–220 cm között. Feküje már folyóvízi finomhomok. Az agyagos réteg felső (30–90 cm-es) szintjében gyenge másodlagos szikesedés nyomai (só%: 0,13).

A DK3 fúrás barna talaja közvetlenül kialakult csernozjomosódó réti talaj. Felső (0-50 cm-es) szintjében szintén némi másodlagos szikesedésre utaló (0,12%-os) sótartalom mérhető.

A DK4 fúrás egykori holtág területére esik. Felső szintje kotusodott magas szervesanyag-tartalmú lápos rétitalaj. A fekete agyagtartalmú réteg és az alatta lévő vöröses kiválások a réti, a mélyebb magas szervesanyag-tartalmú molluszkavázás vályogos rétegek a lápos jellegét támasztják alá.

A DK5-ös fűrés tipikus réti talaj az A és B (agyagos) szint között E szinttel. A szelvény nyomvonalában, a vasúttól D-re viszonylag nagy kiterjedésű vízállásos, lápos terület található, amely nem művelhető és kaszálórétnek sem használható.

Az ártér ezen szakasza fejlődéstörténetére erőteljesen hatott a lösz fiatal áthalmazódása, lemosódása. A vízrendezés hatására eltűntek a morotvák, viszont a vasút töltés felduzzasztó hatása tőle D-re egy vizenyős területet hozott létre. A Kapostól É-ra fekvő réti talajok igen termékenyek, ha megóvhatók a belvízelöntéstől. A másodlagos szikesedés jelei azonban már mutatkoznak a talaj sótartalmában, később nagy valószínűséggel a termés hozam csökkenésében is.

2. A Regöly-1 és Regöly-2 szelvények

A *Regöly-1.* sz. szelvény nagyjából ÉNy–DK-i irányú (350° – 170°), a Kapost a 23., a Koppányt a 0,5 folyókilométernél keresztezi, tehát a két folyó összefolyási területét, az ártér egyik jellegzetes öblözetét képviseli (ld. 3.B. melléklet). A Koppánytól a Kapos jobbparti árteréig, az ártérbe benyúló löszös maradványfelszínnek pereméig húzódik. Négy esetben keresztez egykori folyómedreket. A szelvény 12 talajfűrésből áll, melyek 5–6 m mélyek voltak. A mikrodomborzat szintkülönbsége – a gátakat nem számítva – nem haladja meg a 2 m-t. A löszös maradványfelszínnek közül a két legfontosabb: a halomsír, valamint a K-i benyúlás, amelyen kísérleti régészeti telep található (továbbiakban: Jurta-domb). A morotvák közötti magasabb helyzetű, lapos területek felépítésükben és talajtani tulajdonságaikban is eltérő jellegűek.

A *Regöly 2.* számú szelvény Regölytől D-re, a Kapos árterének szűkebb (530 m széles) szakaszán létesült, Ny–K-i irányban (ld. 3.B. melléklet). A szelvény hét fűrés alapján készült. A szelvény vonalában (nem számítva az R2/7-es fűrészt) a maximális szintkülönbség 2 m, a keresztezett holtág fenéke és mellette emelkedő parti felmagasítás (folyóhát) szintje között. A mikrodomborzat az R2/1-es fűrésztől lejt az eltemetett koturétegeket, puhatestűek váztöredékeit rejtő R2/3-as fűrészig. Ez a mélyedés a terepen alig észrevehető, 1,1 m-rel van az átlagos térszín alatt. A földhasználat kaszáló (füvel vegyesen fele-fele arányban vetett takarmánygabona). Az ártér lapos térszínébe mélyed a 40 m széles holtág, majd ismét sík felszín következik.

3. Az ártéren előforduló talajtípusok, -változatok leírása

Az Alsó-Kapos menti ártér két elkülöníthető szakaszt foglal magába: az V. és a VI. számút. Itt a következő talajtípusok, altípusok és változatok mutathatók ki.

Meszes öntés réti talaj és változatai (kód: 1, 1A – 2. melléklet)

Határozottan kétszintes talajok, az R1/1, R1/2 fúrásokban durva homokon, kőzetlisztes homokon alakultak ki, Az R1/8, R1/10, R1/11, R1/12 fúrásokban feltárt, magasabb szervesanyag-tartalmú, sötétebb színű változatot 1A kóddal különítettük el az előzőtől. Ennek talajképző köze is változatosabb, felépítésében az áthalmazott lösz dominál.

Felső, mintegy 50 cm vastag humuszos szintjük szürkésfekete (nedvesen: 2,5Y 3/1). Jellemző rájuk a 75–100 cm közötti mélységben megjelenő vasmobilizációs nyomok, a szürke, tisztán glejes szakasz a felszíntől számítva általában 2,5–3 m, a fúrás idején a talajvíz 2 m mélyen jelent meg. Nem típusos öntés réti talajok, mivel a vízrendezés miatt a talajképződési folyamatok a csernozjomosodás irányába mutatnak – főleg ott, ahol a finomabb szemcseméretű, kőzetlisztes-vályogos alapkőzet dominál. Az utóbbi esetben szerkezete szemcsés-morzsás, bioturbált, a többletvíz hatásra utaló nyomok hiányoznak, vagy csak a talajszelvény mélyebb részein jelennek meg.

Meszes öntéscsernozjom (kód: 1B – 2. melléklet)

Az ártér peremén, a löszös dombsági felszínek lábánál, a magasabb helyzetű teraszokon kialakult talaj. Alapkőzetében nemcsak az öntéstalajokra jellemző rétegzettség figyelhető meg, hanem a lösz mállottságára, áthalmazottságára utaló bélyegek is. Az R1/4. sz. fúrás kétmódusú mintájának (2. melléklet C) szemcseeloszlása bizonyítja, hogy a talajképző köze kevert eredetű. Itt 75–100 cm mélyen is észlelhetők bioturbációs nyomok. A felső, humuszos szintet sötétbarna színe (10YR 3/1, 2/2) megkülönbözteti a többitől. Az R1/5, R1/7. sz. fúrások sötétebb, barnásfekete változatát tárják fel. A meszes öntéscsernozjommal borított területeket a történelmi időkben valószínűleg már nem öntötte el a Kapos, tulajdonképpen nem tartoznak az újholocén ártérhez.

Lápos réti talaj (kód: 1C)

Jellemzően a holtágak talaja (R1/3, R1/6 és R1/9 fúrások), a szervesanyag-maradványok jól felismerhetők, színe fekete. Mivel kialakulása a holtágak feltöltődésével kapcsolatos, talajtani értelemben nem tagolhatók szintekre, vastagsága gyakran több méter. Az elkülöníthető szintek a néha 50 cm vastag, a csigák számára egykori ideális ökológiai állapotot jelző molluszkahéj-felhalmozódások. Eltemetve megtalálhatók az R3 (50-70 cm, 75-150 cm és 115-131 cm), R6 (340-360 cm!) (R9 75-150 cm) fúrásokban.

Fontos megjegyezni, hogy a lápos réti talaj és a meszes öntés réti talaj szemcseeloszlása (legalábbis a finomfrakció) igen hasonló lefutású (2. melléklet A, B), mivel előkészítéskor a hidrogén-peroxiddal kezelt minta elvesztette szervesanyag-tartalmát, így a terepen észlelhető

szöveti különbség a kezelés hatására eltűnt. Magasabb agyagtartalom az áthalmozott vályogosodott löszös rétegekben mérhető (2. melléklet, F, H). Két morotva magas szervesanyagtartalmú kitöltéséből termoderivatográfias felvétel készült (2. melléklet). A lényeges különbség az R3 50-75 cm-es minta 153 °C körüli csúcsánál van, ami a szervesanyag minőségbeli különbségét jelzi. Sorrendben a második, 300 °C körüli exoterm reakció több ásványi átalakulásból és további szervesanyag oxidációból állhat össze. A goethit (α -FeOOH), lepidokrokit (γ -FeOOH) 300 °C-tól veszíti el OH-tartalmát. Az 1000 C-ig történt izzítás során az R9 50-75 minta ásványi maradékának színe élénkvörös, az R3 50-75 mintáé „pink”. Tehát az első mintában több a hematittá oxidálható vasásvány.

Típusos réti talaj (R3F és R7F feltárások)

Jellemző rá a morzsás szerkezetű A szint, a közvetlenül alatta kialakult vörös vasas réteg. Majd mélyebben (kb. 1 m mélyen) a többletvíz hatástól kialakult erősen vasas kovárványos réteg. Az intenzíven művelt tormaföldeken az A szint elveszti szerkezetét, poros, esetleg az égetés hatására kotussá válik. Az igen elterjedt réti talajok az emberi beavatkozás következtében jelentős mértékben átalakultak, erodálódtak. Az ártér 1–2 m relatív magasságú kiemelkedései körbeveszik e területeket, róluk a hozzáfolyás is többletvízhatással jár. A megemelkedő talajvízszint hatására különböző szinteken egy határozott, 30–40 cm vastag kovárványos szint alakul ki.

Barna, csernozjomosodó réti talaj (R4F)

A réti talajtól a vízhatás gyengébb jelei, a jobb szerkezet és az A szint barnás jellege különíti el. Nincs felszínközeli vasas szint. A bioturbáció hatására a csernozjomokra jellemző átmeneti szint van kialakulóban. Mélyebb szinten itt is megtalálható a glejes iszapszerkezetű szintben kifejlődött kovárványos szint. A 30 m-re lévő morotva irányában, a tereplépcső után többszáz éves, kivágott fűzfa törzsének csonkja található.

Csernozjom réti talaj (R5F)

Szintén a szerkezeti jellemzők alapján mutatható ki a csernozjomos jelleg. Itt sincs a felszínközeli vasas szint. A bioturbációs nyomok a gyakori száraz időszakokra utalnak. A feltárástól 7 m-re lévő talajvízszint-megfigyelő kútban az aktuális vízszint - 2,5 m volt.

Humuszkarbonát talaj (R6F)

Világosbarna, éretlen, viszonylag vastag humuszos szint diagnosztizálja, finomhomokon többletvíz igen gyenge hatása mellett. Az ártéri folyóhátak talaja. A mellette mélyített fúrás

dc_269_11

4,85 m mélyen érte el a durvahomokos folyóvízi réteget. A fúraskor aktuális talajvíztükör szintén mélyen (-5,2 m) volt.

A szelvényekből és fúrásokból kitűnik, hogy a talajok térbeli elrendeződése az ártéri felszínformák mintázatát követi (Melléklet 4.A. és B.).

Melléklet 2.A. Terepi talajfelvételi jegyzőkönyvek

helyszín	helyszín leírás					Réti talaj. Az intenzív szántóföldi gazdálkodás következtében a felső 30 cm szerkezetét veszített, kotus. a 30 cm magas buckák közötti árokban indul a feltárás, bolygatott szelvény		
kód:	R3F	Regöly, 3-as feltárás						
GPS		m	E	N				
2011.08.20		95	598925	134644				
Regöly	Tormaföld az árok mellett az R2-es szelvény közelében							
tól	ig	leírás				szín	fizikai típus	pezsgés
0	25	vörösbarna mátrix szürkésfekete bioturbált részeket tartalmaz				sárgászvörös; 5YR 5/6	kőzetliszt	xxx
25	45	tömör, hasábosan széteső, szürkésfekete fényes, kötött, homogén agyagos				fekete, 10YR 2/1	agyag	0
45	55	morzsák közt összefüggő vasas kiválások, glejes alapanyag csatornáiban fekete agyag				vegyes	finom homok - agyag	xxx
55	120	geljes homok, iszapszerkezet, halvány vasas kiválásokkal				világos sárgásbarna 2,5Y 6/4	homok	xxx
120	>	iszapszerkezet				világosszürke, 5Y 7/2	homok	xx

helyszín	helyszín leírás					Barna, csernozjomosodó réti talaj. Az ártér magasabb részén jellemző.							
kód:	R4F	Regöly, 4-es feltárás											
GPS		m	E	N									
2011.08.20		105	599024	135377									
Regöly													
tól	ig	leírás				szín	fizikai típus	pezsgés	K _A	Só%			
0	15	diós, szemcsés szerkezet, molluszkavázak, szerkezeti elemek közt halványvörös kiválások				szürkésbarna, 10YR 5/2	homokos vályog	xx	37	0,05			
15	25	szemcsés, apródiós, tömör szerkezet, bioturbált, gyakori halványvörös kiválások				sötét szürkésbarna, 10YR 3/2	homokos vályog	xxx	37	0,05			
25	50	tömör, iszapszerkezet, gyökér utáni vörös kiválások gyakoriak				világosszürke, 2,5Y 7/2	vályog	xxx	41	0,07			
50	80	tömörödött iszapszerkezet, gyakori vasas kiválásokkal				világosszürke, 2,5Y 7/1	homokos vályog	xxx	35	0,07			

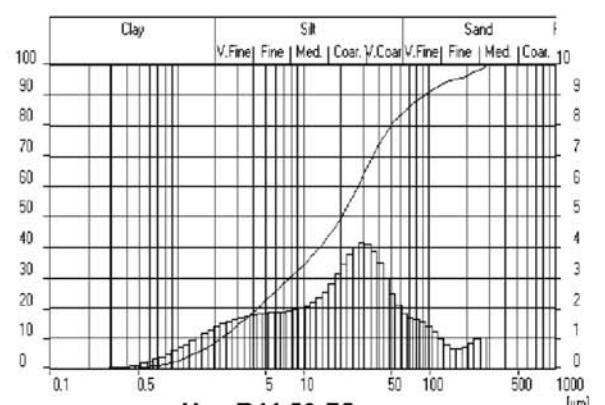
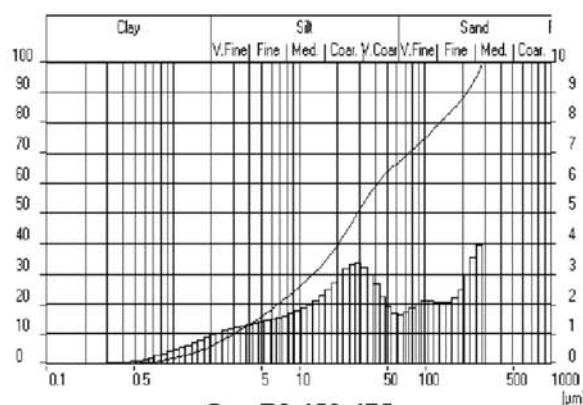
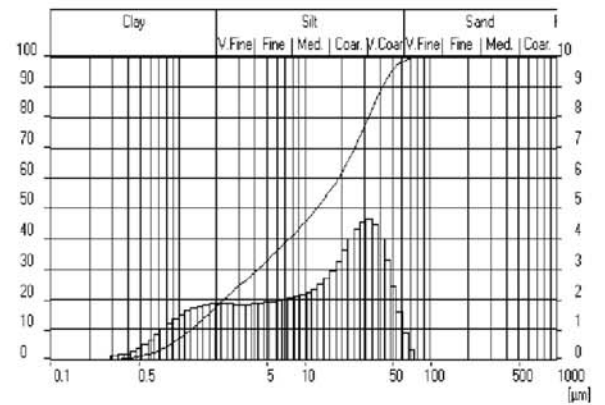
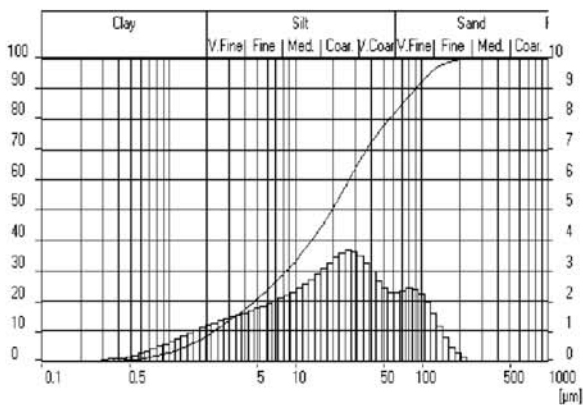
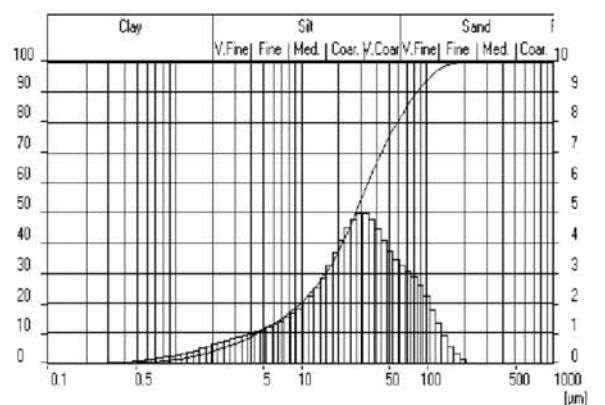
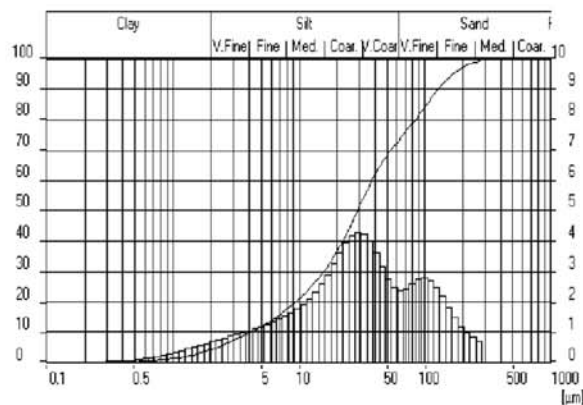
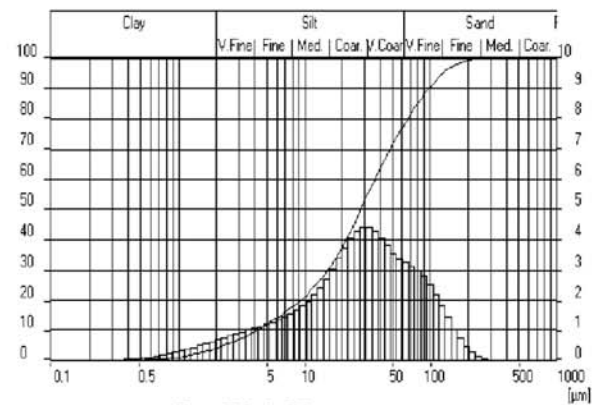
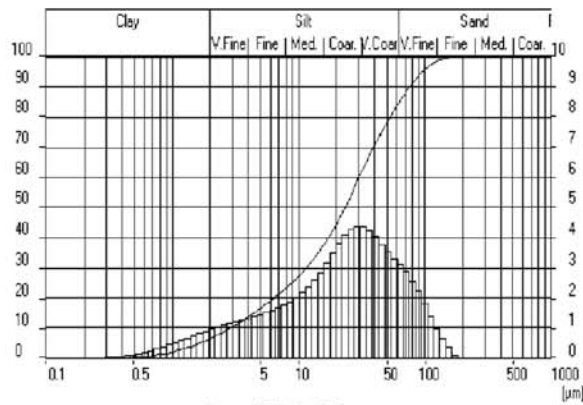
helyszín	helyszín leírás				Csernozjom-réti talaj. A morotvák és maradványfelszínek által határolt területek talaja. Az A szintben néhol kettő talajtípus keveredik: a barna az áthalmozott. Az eredeti a sötétszürke. A csernozjom jelleg leginkább a szerkezeti tulajdonságokban mutatkozik. Többnyire szántóföldi művelésben.				
kód:	R5F	Regöly, 5-ös feltárás							
GPS		m	E	N					
2011.08.20		93	599327	135894					
Regöly						szín	fizikai típus	pezsgés	K _A
tól	ig	leírás							
0	15	morzsás-poros szerkezetű, molluszkavázakat is tartalmaz			sötétszürke, 10YR 3/1	kőzetliszt	x	76*	0,05
15	35	morzsás-diós szerkezet, kevert			kevert, sötétszürke, 2,5Y 3/1	agyagos vályog	xxx	49	0,05
35	65	szemcsés szerkezet, átmeneti, lefelé kissé fakóbb, vasas kiválások megjelennek			szürke, 5Y 5/1	agyagos vályog	xxx	47	0,07
65	75	átmeneti			vegyes	agyagos vályog	xxx	x	x
75	100	hasábos, diós szerkezet, vörös kovárványos gyökér utáni vasas kiválások, bennük a felsőbb szint szürke kitöltése			vegyes, szürke mátrix	agyagos vályog	xxx	46	0,06
100	>	iszapos, szerkezet nélküli, glejes sárgás gyökérmaradványokkal			szürke, 5Y 5/1	finomhomok	xx	26	0,04
Talajvíz: a 7 m-re lévő kútban a vízszint -2,5m					* magas szervesanyag-tartalom miatt a mérés nem reprezentatív				

helyszín	helyszín leírás					finomhomokon kifejlődött humuszkarbonát talaj		
kód:	R6F	Regöly, 6-os feltárás						
GPS		m	E	N				
2011.08.21		104	599182	135993				
tól (cm)	ig (cm)	leírás				szín	fizikai típus	pezsgés
0	15	poros szerkezet, gyökérvonal				sötét szürkésbarna, 10YR 4/2	finomhomok	xx
15	33	poros, tömörödött szerkezet, gyökérvonal, nem csak lágyszárúak gyökérmaradványai				sötét szürkésbarna, 10YR 3/2	finomhomok	x
33	100	33-nál viszonylag éles határ, a vörös, gyökér utáni vaskiválások megjelennek, fakóbbá válik a szín, szürkésbarna mátrix alárendelten sárga alkotórészek, bioturbált, gyakori a kerámiatörmelék 100-nál sárga mátrix, szürkésbarna komponens alárendelten				átmeneti, világos sárgásbarnáig, 2,5Y 6/3	finomhomok	xxx
100	136	szerkezet nélküli v. iszapos szerkezet, ritkán vöröses gyökér utáni kiválások				világossárga, 5Y 7/1	finomhomok	xx

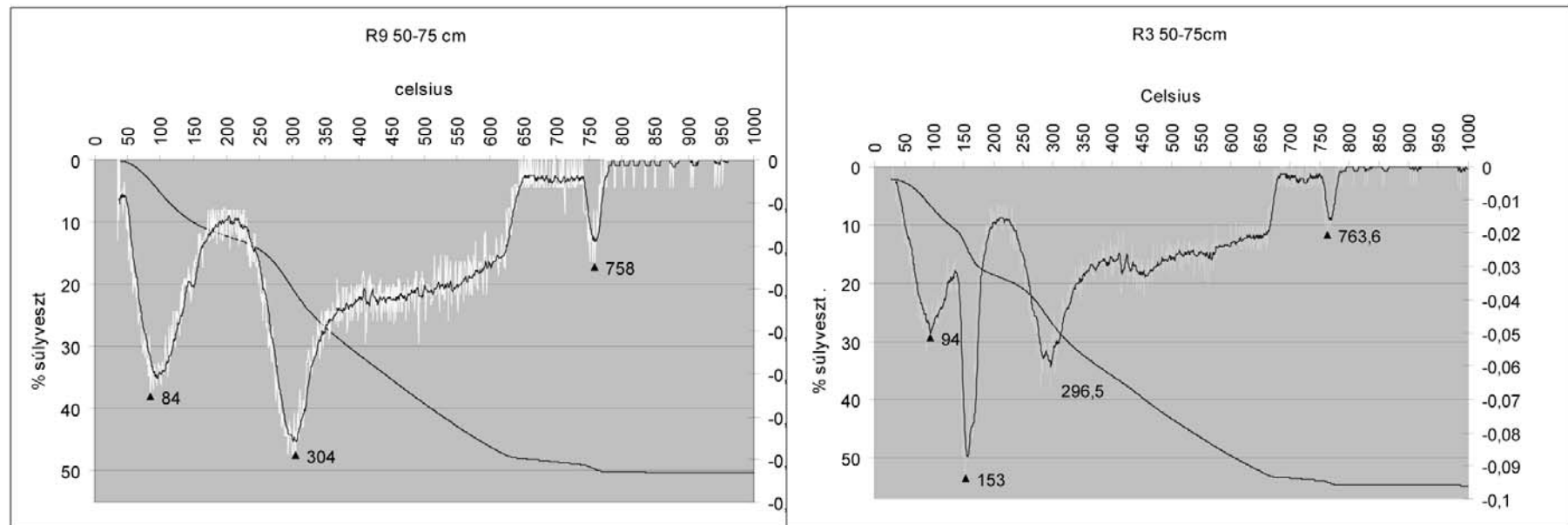
dc_269_11

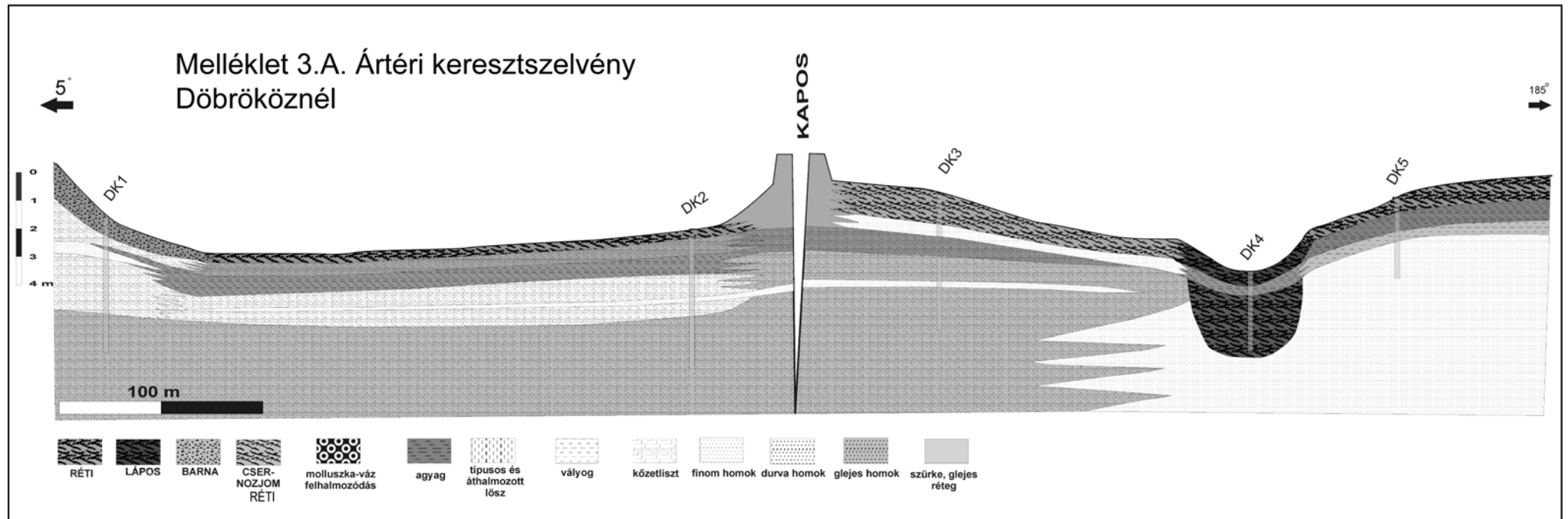
helyszín	helyszín leírás					Réti talaj. Kaszálóként, legelőként használt, ezért az A szint bolygatatlan. Genetikailag: mint R3F, de itt a szelvény felső része is bolygatatlan. Az A szint alatt közvetlenül vasas szint, majd igen kötött fényes fekete réteg. A mélyebb szinten lévő gyökérnyomok jelzik az egykori erdőszültséget.				
kód:	R7F	Regöly, 7-es feltárás és fúrás. A fúrás a feltárás aljából indult.								
GPS		m	E	N						
2011.08.21		100	601580	137711						
tól (cm)	ig (cm)	leírás				szín	fizikai típus	pezsgés	K _A	Só%
0	15	morzsás szerkezet, a gyökérzóna szintje				sötét sárgás-barna, 10YR 3/4	közetlisztes	xxx	66	0,11
15	25	poros szerkezet, vörös vasas kiválás szintje				sárgás-vörös, 5YR 6/8	-	x	66	0,11
25	45	tömör, hasábosan széteső, szurokfeke, fényes agyagos réteg				fekete 10 YR 2/1	agyagos vályog	0	47	0,08
45	50	bioturbált (?) átmenet geljes kötött rétegbe				vegyes	agyag-közetliszt	xxx	x	x
50	90	kötött, iszapszerkezetű szürke glejes réteg gyökérnyomok mentén halványvörös kiválások ritkán, gyökér után kialakult és bioturbáció hatására létrejött csatornák				szürke	kötött	xxx	47	0,09
90	120	iszapszerkezetű a mátrix olívszürke; vörös kiválásokban gazdag réteg a vörös kiválások a gyökerek csatornái mentén				vegyes, az alap: világos olíva-szürke, 5Y 6/2	finom-homok	xxx	32	0,09
120	150	vörös kiválásokban gazdag réteg a vörös kiválások a gyökerek csatornái mentén, mészkiválásokkal				vegyes	finom-homok	xxx	x	x
tól	ig	R7 fúrás a feltárás aljáról indul				szín	fizikai típus	pezsgés		
120	210	iszapszerkezet, löszbázisú? közetliszt				világos-szürke, 5Y 7/2	közetliszt	xxx		
210	270	iszapszerkezet, homogén				világos-szürke, 5Y 7/2	közetliszt	xxx		
270	310	iszapszerkezet, áthalmozott lösz, talajvíz 280-nál				világos-szürke, 5Y 7/2	közetliszt	xxx		
310	340	iszapszerkezet, homogén				világos-szürke, 5Y 7/1	finom-homok	xxx		
340	>	iszapszerkezet, homogén				világos-szürke, 5Y 7/1	közetliszt	xxx		
Talajvíz: -280 cm-nél										

Melléklet 2.B. A vizsgált talajok jellemző szemcseeloszlási görbéi

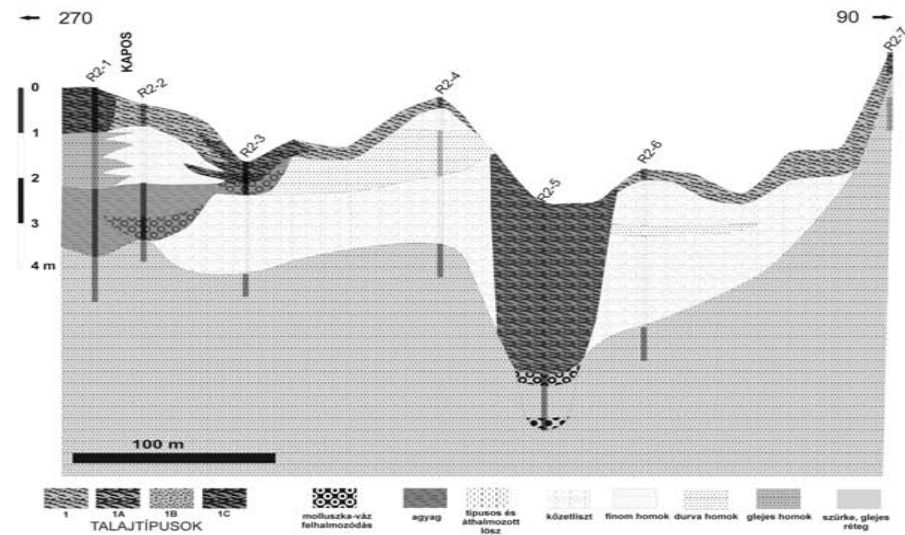
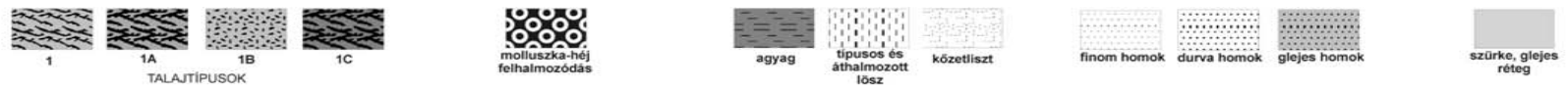
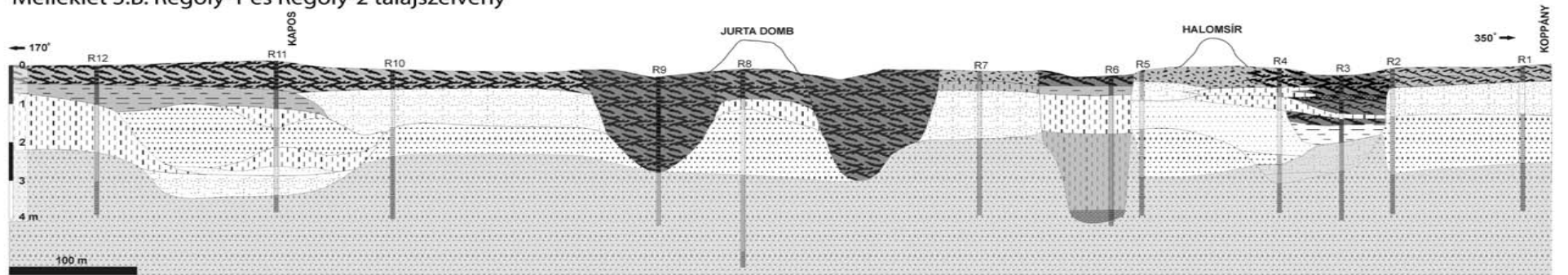


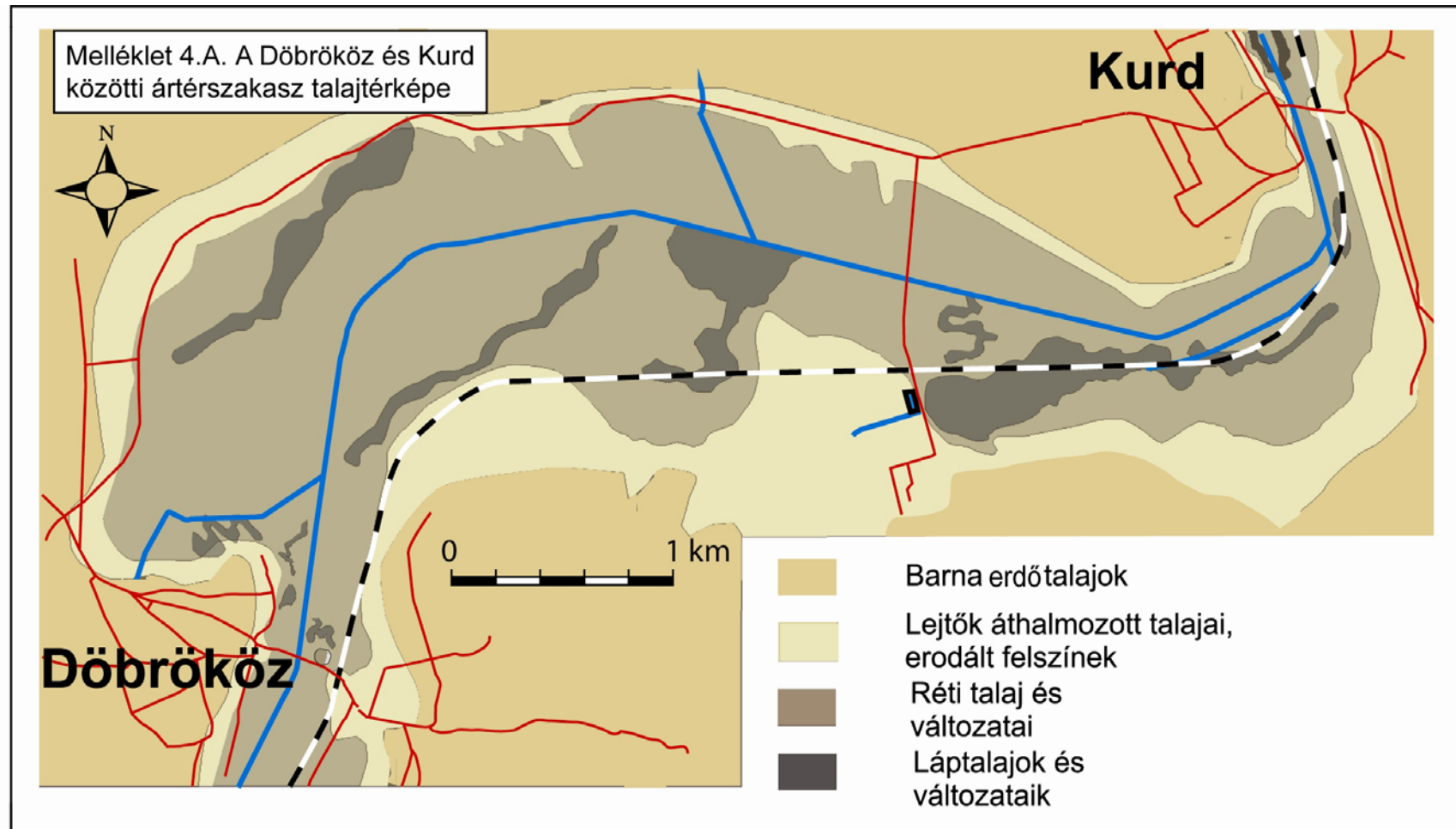
Melléklet 2.C. Termogravimetriai görbék



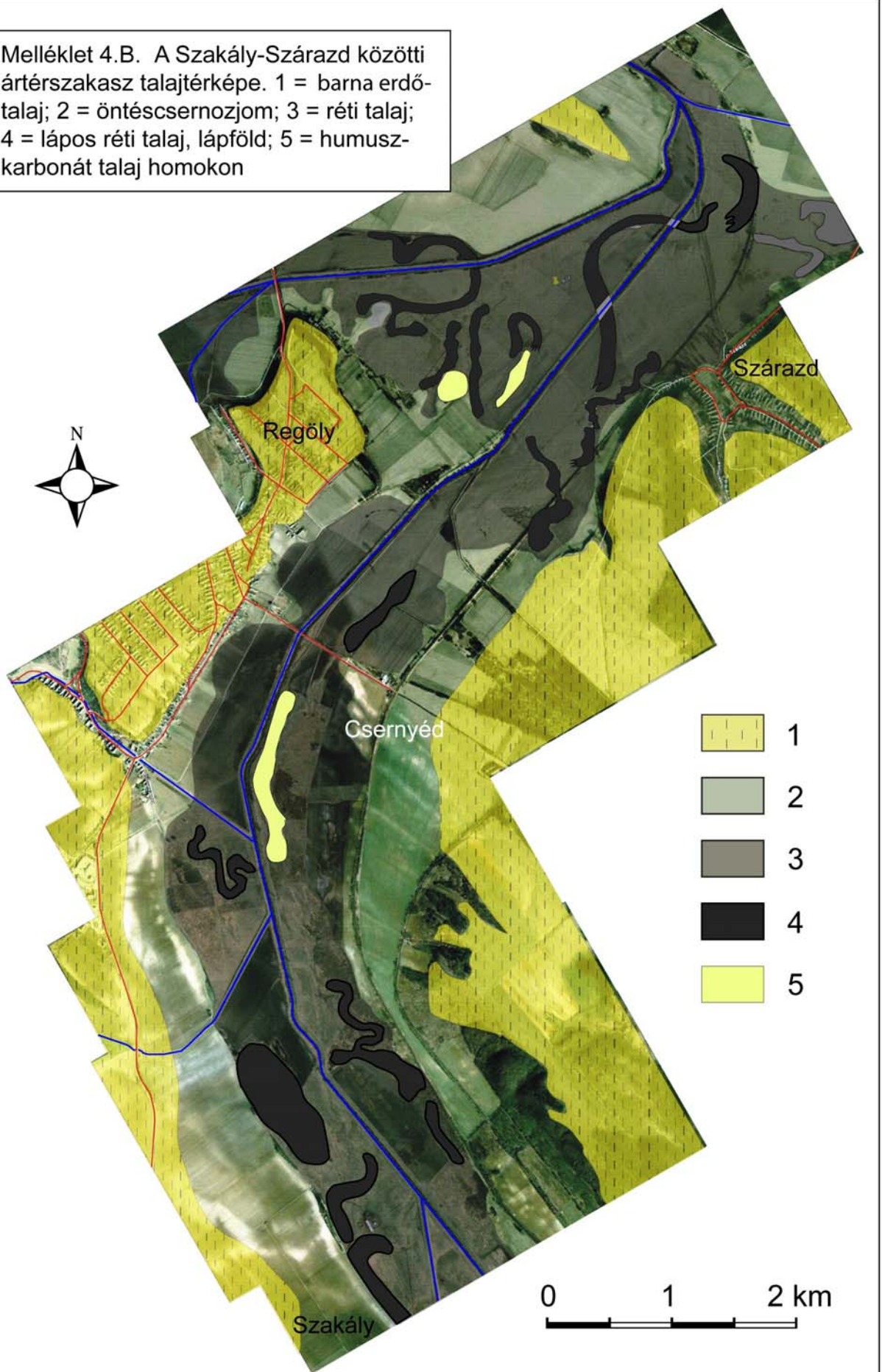


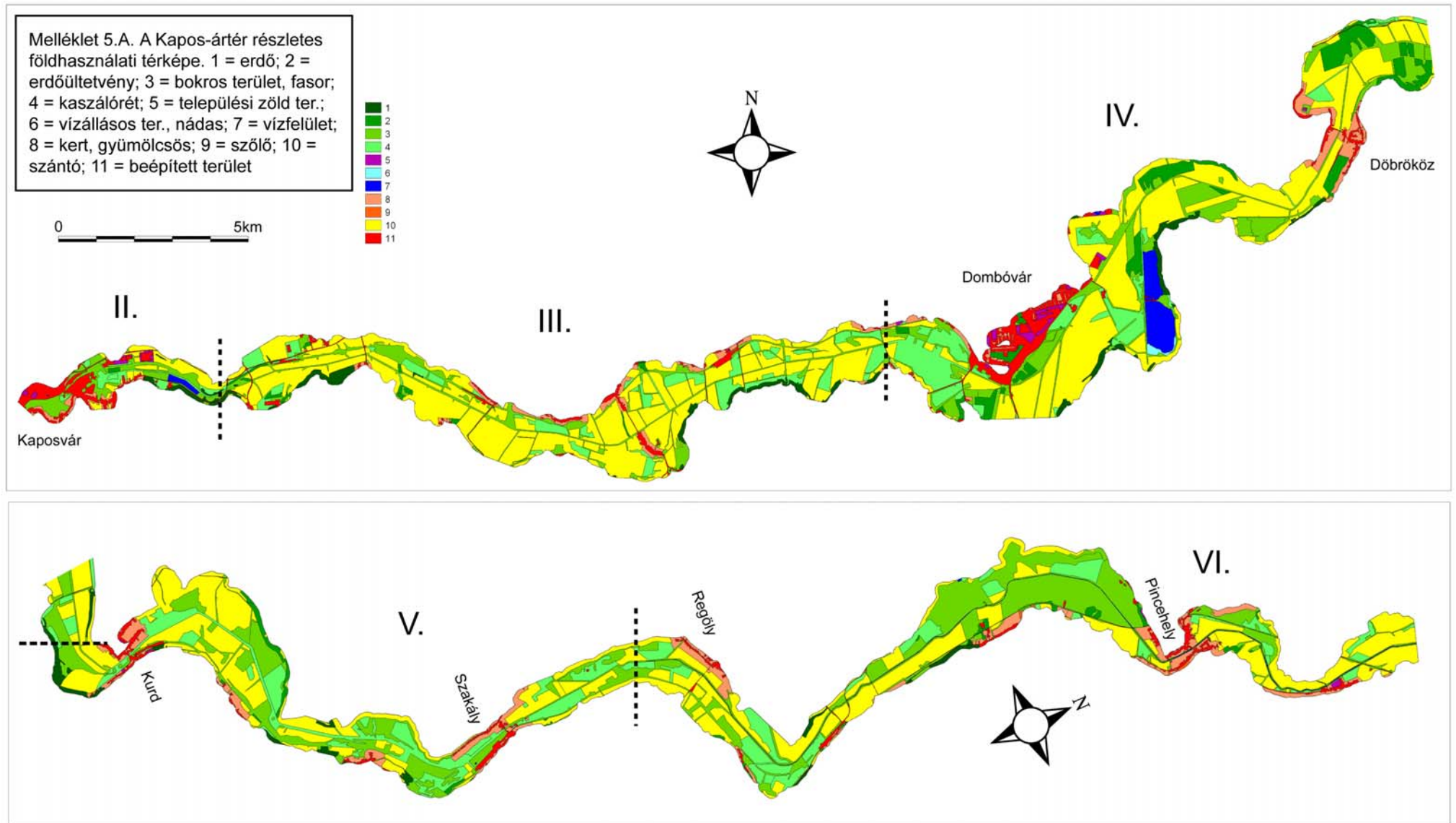
Melléklet 3.B. Regöly-1 és Regöly-2 talajszelvény



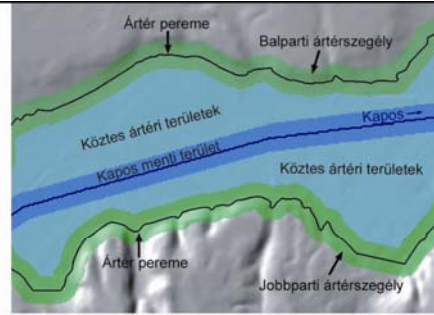


Melléklet 4.B. A Szakály-Szárazd közötti
ártérszakasz talajtérképe. 1 = barna erdő-
talaj; 2 = öntéscsernozjom; 3 = réti talaj;
4 = lápos réti talaj, lápföld; 5 = humusz-
karbonát talaj homokon

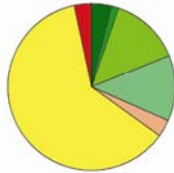




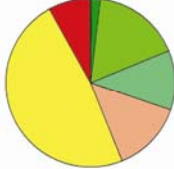
Melléklet 5.B. Földhasználat
ártérszakaszonként



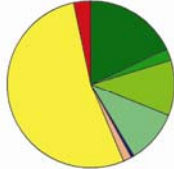
A teljes III. ártérszakasz földhasználatának megoszlása



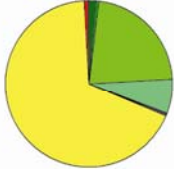
A balparti ártérszegély
földhasználatának megoszlása



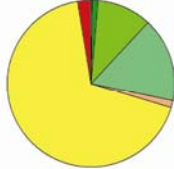
A jobbparti ártérszegély
földhasználatának megoszlása



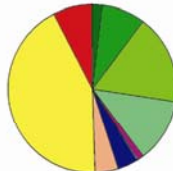
A Kapos menti
földhasználat megoszlása



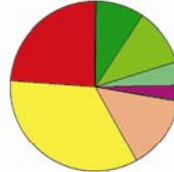
A köztes ártéri területek
földhasználatának megoszlása



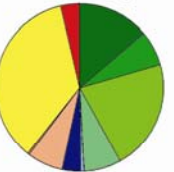
A teljes IV. ártérszakasz földhasználatának megoszlása



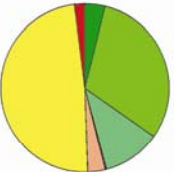
A balparti ártérszegély
földhasználatának megoszlása



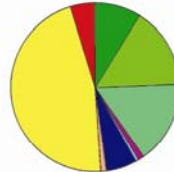
A jobbparti ártérszegély
földhasználatának megoszlása



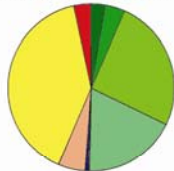
A Kapos menti
földhasználat megoszlása



A köztes ártéri területek
földhasználatának megoszlása



A teljes V. ártérszakasz földhasználatának megoszlása



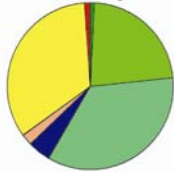
A balparti ártérszegély
földhasználatának megoszlása



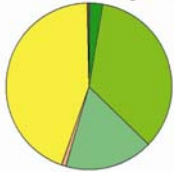
A jobbparti ártérszegély
földhasználatának megoszlása



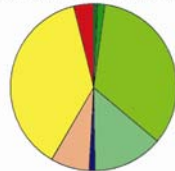
A Kapos menti
földhasználat megoszlása



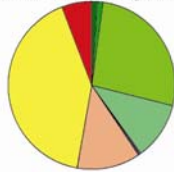
A köztes ártéri területek
földhasználatának megoszlása



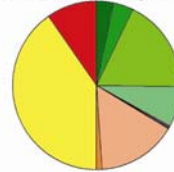
A teljes VI. ártérszakasz földhasználatának megoszlása



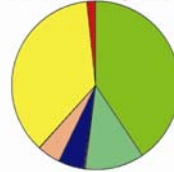
A balparti ártérszegély
földhasználatának megoszlása



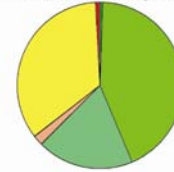
A jobbparti ártérszegély
földhasználatának megoszlása



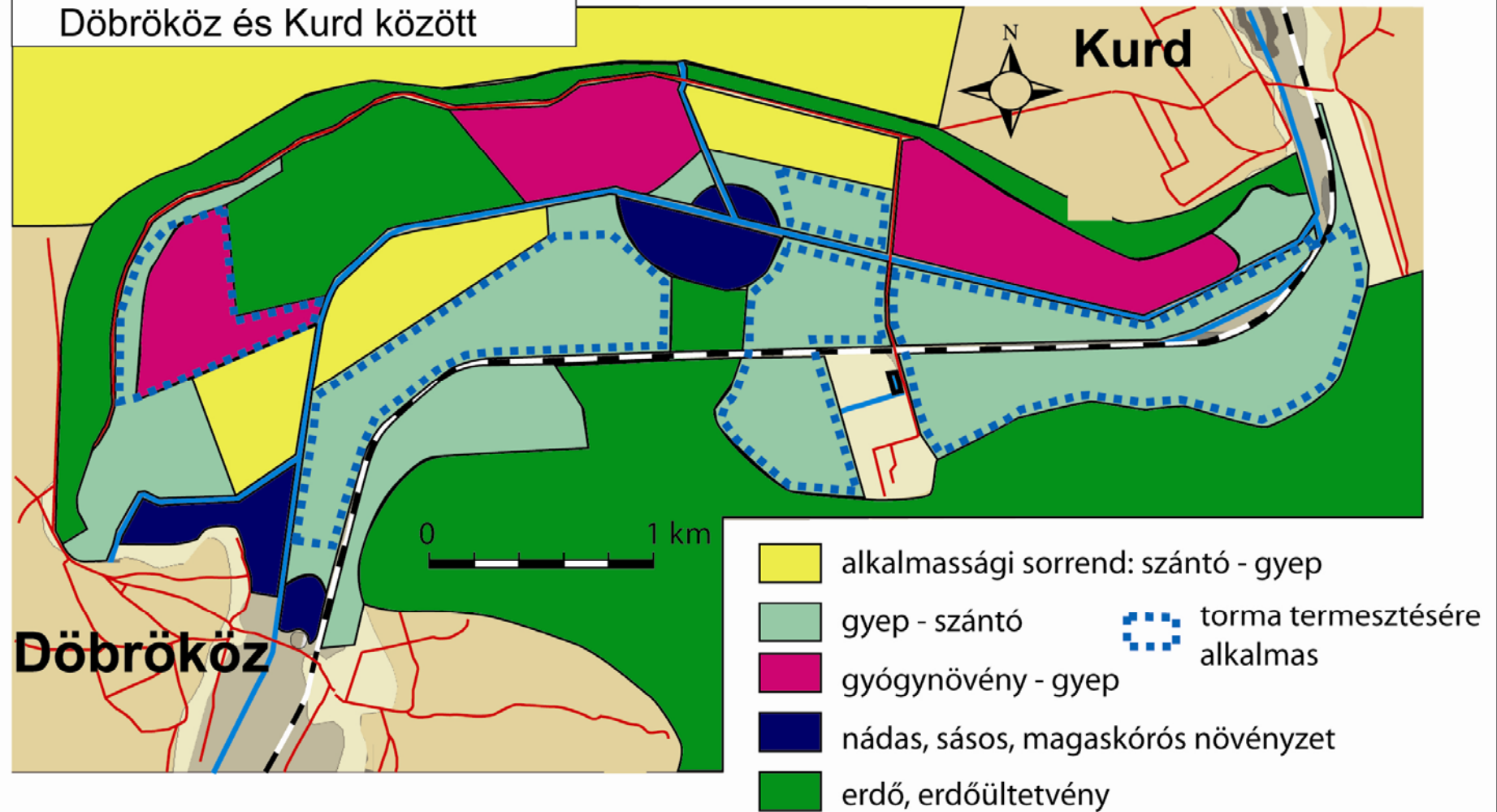
A Kapos menti
földhasználat megoszlása

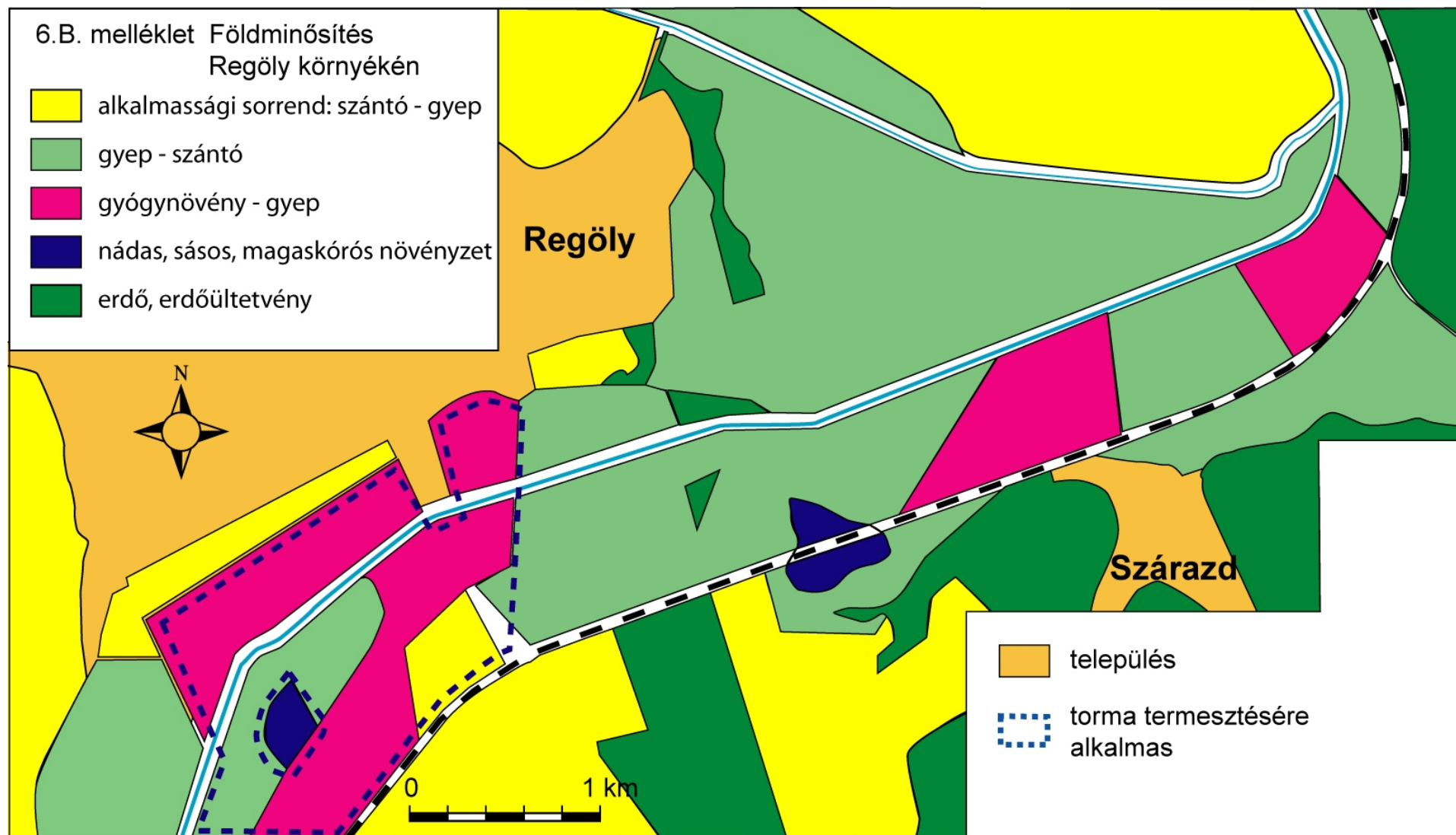


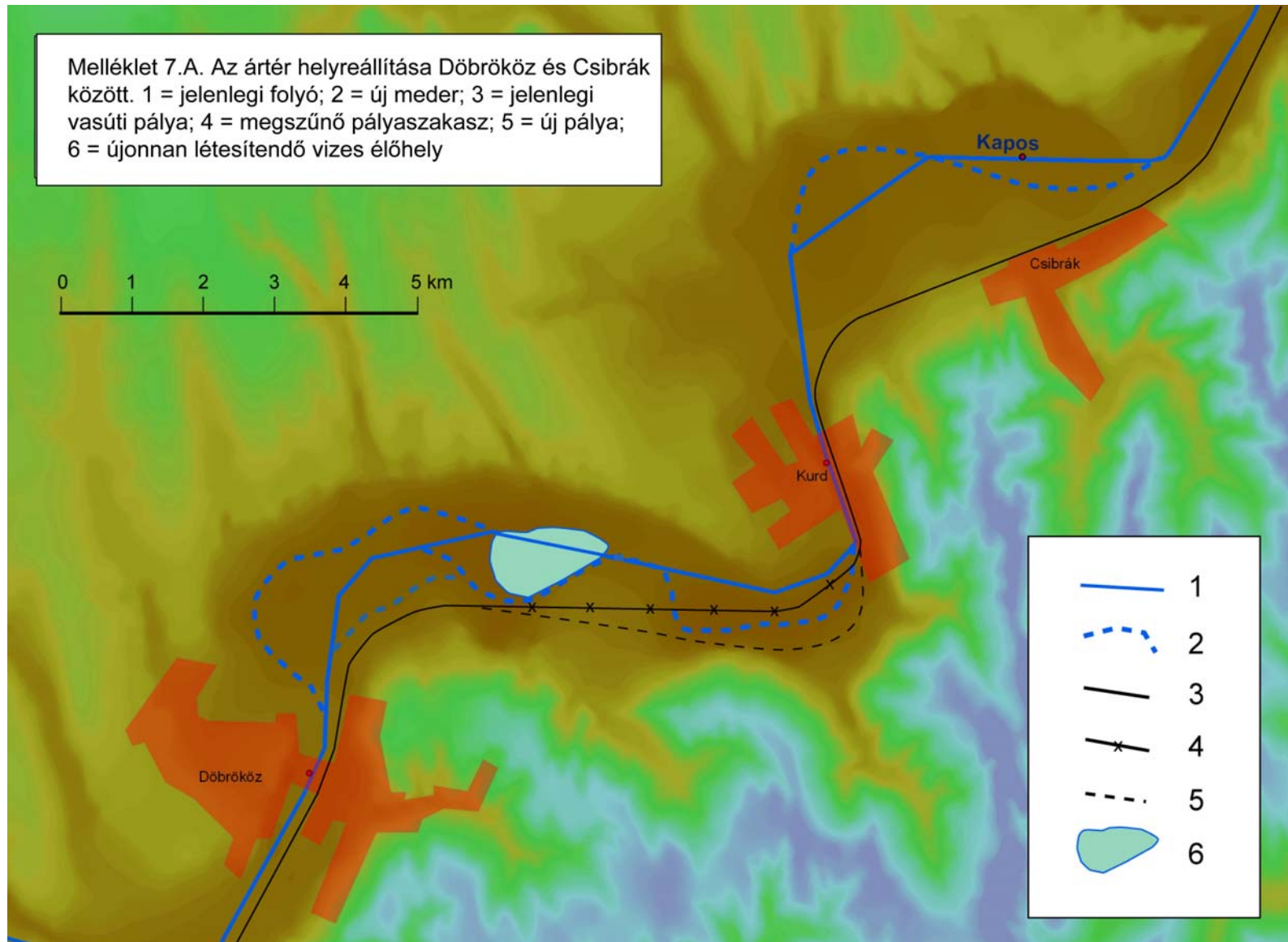
A köztes ártéri területek
földhasználatának megoszlása



Melléklet 6.A. Földminősítés
Döbrököz és Kurd között

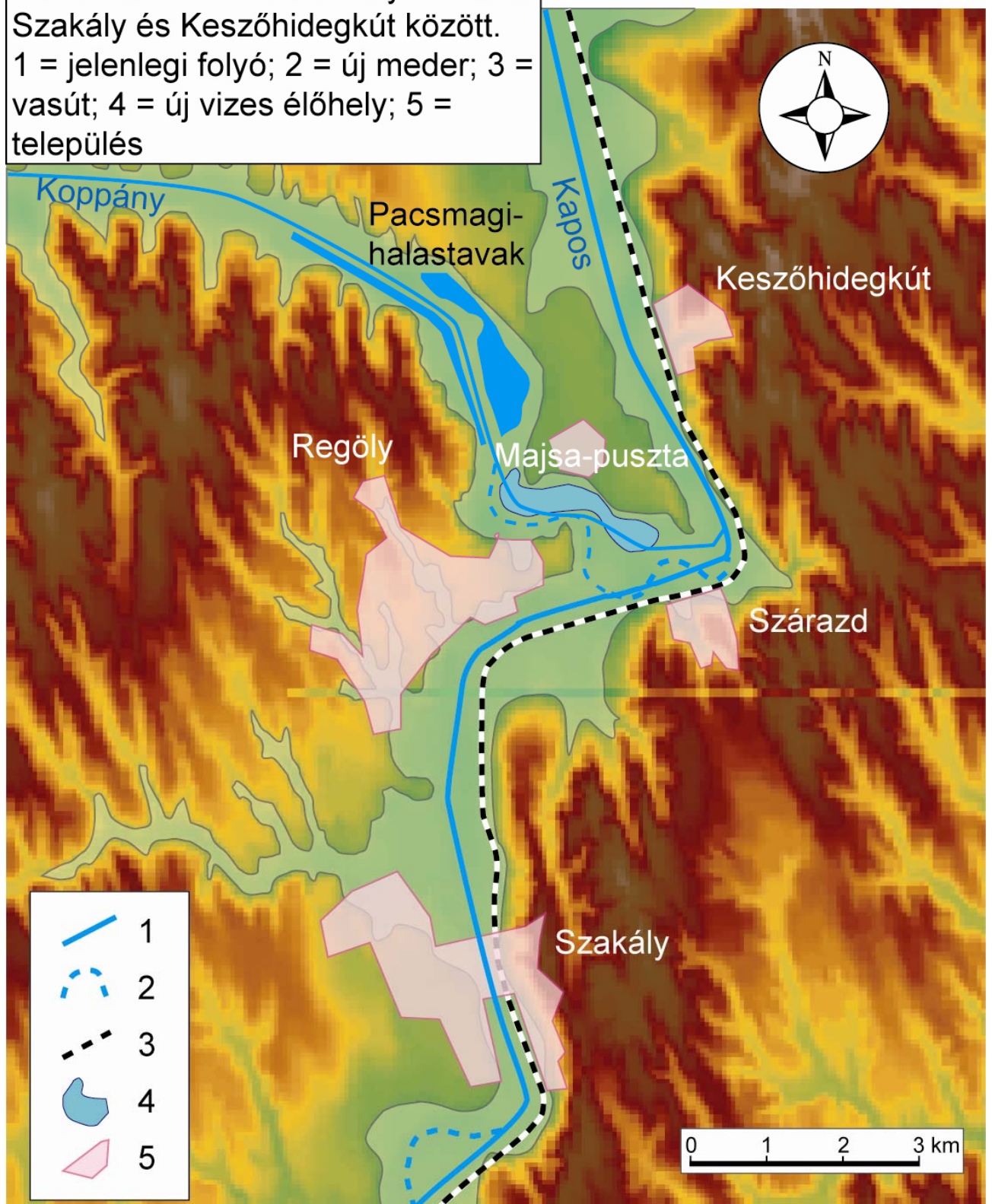






Melléklet 7.B. Az ártér helyreállítása
Szakály és Keszőhidegkút között.

1 = jelenlegi folyó; 2 = új meder; 3 =
vasút; 4 = új vizes élőhely; 5 =
település



Melléklet 8 Fényképek



1. Lábánál alámosott (D-típusú) dombblejtő Szakálynál



2. Feltöltődött, funkcióját betölteni képtelen lecsapoló csatorna Regöly környékén



3. Döbrököz magas ártéri szinten, árvízkor



4. Visszafelé folyik a víz a mederbe Döbrököznél



5. Terjed a selyemkóró az ártéren Döbrököznél



6. Szélerózió feltárta vasoxidos szint Regölynél

dc_269_11

Melléklet 8 Fényképek



7. Folyóhát a Kapos-csatorna mentén Szakály közelében



8. Árvíz után kiszáradó morotvatavak Szakály és Regöly között 2011 májusában