

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM

TERMÉSZETI FÖLDRAJZI ÉS GEOINFORMATIKAI
TANSZÉK

SZÉTKAPCSOLÓ ELEMÉK VIZSGÁLATA A
TETVES-PATAK VÍZGYŰJTŐ TERÜLETÉN

KÉSZÍTETTE:
KIRÁLY DÁNIEL
GEOGRÁFUS MSc

TÉMAVEZETŐ:
DR. KISS TÍMEA
EGYETEMI DOCENS

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETI FÖLDRAJZI ÉS GEOINFORMATIKAI TANSZÉK

2012.12.19.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	2
2. Irodalmi előzmények.....	3
2.1. A táji kapcsoltság jellemzői, a pufferek-akadályok-takarók szerepe és főbb tulajdonságai.....	3
2.2. Az effektív vízgyűjtő terület fogalma, jellemzői és modellezése	7
2.3. Az érzékenység főbb jellemzői és a kapcsoltsági viszonyok alakulásában betöltött szerepe	8
2.4. A talajerózió és hordalékhozam modellezése és szerepe egy vízgyűjtő hordalékszállítási dinamikájában hazánkban	10
3. A mintaterület jellemzése.....	15
3.1. A Balaton vízgyűjtőjének kialakulása.....	15
3.2. Földrajzi helyzet, felosztás és domborzat.....	17
3.3. Geológia	17
3.4. Éghajlati jellemzők.....	18
3.5. Talajtani adottságai	19
3.6. Növényzet, területhasználat, művelési ágak	21
3.7. A szűkebb mintaterület jellemzése.....	21
3.8. Eróziós folyamatok és azok hatása a Tetves-patak vízgyűjtőjén	23
4. Alkalmazott módszerek.....	27
5. Eredmények.....	28
5.1. Hordalékforrások a Tetves-patak vízgyűjtőjén	28
5.2. Pufferek a Tetves-patak vízgyűjtő területén.....	32
5.3. Akadályok a Tetves-patak vízgyűjtő területén.....	34
5.4. A Tetves-patak effektív vízgyűjtő területének meghatározása	37
6. Összegzés	39
7. Irodalomjegyzék.....	40

1. Bevezetés

Egy adott vízgyűjtő hordalékdinamikai vizsgálata egyre több kutatási témában szerepel, hiszen az anyag- és energiaszállítás összetett kölcsönhatásrendszere egyre inkább nyilvánvalóvá válik. E folyamatok révén szállítódnak például a szennyezőanyagok és a hulladékok, kerül elvezetésre a heves esőzések során lehulló csapadékmennyiség, a hóolvadáskor keletkező többletvíz. Egy vízfolyás hordalékháztartását az hordaléktermelés és lerakás érzékeny egyensúlya határozza meg. E folyamatok térbeliségét helyspecifikus adottságok befolyásolják, amelyek determinálják az adott rendszer kapcsoltsági viszonyait. A tájelemek között beszélhetünk hosszanti, oldalirányú, függőleges kapcsoltságról (Fryirs és Brierley 1999, 2001). Némely geomorfológiai elemek bizonyos vízgyűjtők részein vagy egészen táji szétkapcsoltságot idézhetnek elő (Metivier és Gaudemer 1999). A szétkapcsoltság többek között korlátozhatja a kemikáliák tovaterjedését jelentős humán és környezet egészségügyi hatást kifejtve, valamint gátat szabhat a többletvíz elvezetése előtt, befolyásolva a belvíz-veszélyeztetettség mértékét. A szétkapcsoltságot okozó képződmények formái a vízgyűjtő rendszeren belül agressziós hullámok révén közvetített anyag- és energiaáramlás teljes vagy részleges gátlása révén fejtik ki hatásukat (Metevier és Gaudemer 1999, Meade 1982, Hooke 2003). Az agressziós hullámok erőssége, valamint a (rész)vízgyűjtő érzékenysége határozza meg a szétkapcsoltságot okozó formák ellenállását, életidejét.

Egy adott vízhálózat kapcsoltsági viszonyai tehát meghatározzák az ott jellemző anyag- és energiaáramlás mértékét, az agressziós hullámok (pl. árvíz, szennyezőanyagok, özönfajok, emberi hatások) terjedésének lehetőségeit. Mindezek hatnak a terület geomorfológiai stabilitására, a vízkémiára, a vízi élettér biotikus viszonyaira, s így az ember élőhelyére, lehetőségeire is.

Mintaterületemen – a Tetves-patak vízgyűjtőjén – számos eróziós kutatás zajlott (Jakab 2009, Jakab és Szalai 2005, Jakab et al. 2005), azonban azt nem vizsgálták, hogy az anyag véglegesen kijut-e a rendszerből. Céлом a kapcsoltsági viszonyok vizsgálata volt, azaz a szétkapcsoló formák térbeliségének feltérképezése. Munkám céljai között szerepel a Tetves-patak effektív vízgyűjtő területének meghatározása is, amely a vízgyűjtő azon térbeli egysége, amelyről az hordalék származhat.

Célkitűzéseim:

- A Tetves-patak vízgyűjtőjén található szétkapcsoló elemek feltérképezése
- Az hordalékforrások térbeliségének vizsgálata a területhasználat és a lejtésviszonyok tükrében
- A Tetves-patak digitális domborzati modelljének és lefolyástérképének elkészítése
- A Tetves-patak effektív vízgyűjtő területének meghatározása

2. Irodalmi előzmények

Egy vízgyűjtő hordalékdinamikai rendszerét az anyagszállítási és energiaáramlási folyamatok jellemzik. A szállítási folyamatok térbeliségét egyes geomorfológiai formák (pufferek, akadályok, takarók) térbelisége határozza meg (Metevier és Gaudemer 1999), amelyek befolyásolják a vízgyűjtő kapcsoltsági viszonyait, ebből következően az effektív vízgyűjtő terület nagyságát (Graf 1998). A kapcsoltsági viszonyok, s így az effektív vízgyűjtő térben és időben változik, amelynek módját, sebességét a táji elemek zavaró hatásokkal szembeni érzékenysége határozza meg (Gaudamer 1999). A dinamikai rendszer egyik fő eleme a hordaléktermelés, amelynek elsődleges helyei a nagy talajeróziós potenciállal rendelkező térszínek (Szilassi et al. 2006).

2.1. A táji kapcsoltság jellemzői, a pufferek-akadályok-takarók szerepe és főbb tulajdonságai

A vízfolyások anyag és energiaszállító tevékenysége régóta a geomorfológiai kutatások egyik preferált témája. A felszínalaktani valamint térinformatikai ismeretek bővülése által a hordalékszállítás szerteágazó hatásai napjainkra egyre inkább nyilvánvalóbbá válnak.

Egy vízgyűjtő szintű rendszerben helyspecifikus adottságok függvényében különböző energiamennyiség továbbítódik a vízfolyások által, amely befolyásolja a rendszer hordalékszállító képességét. A folyómederben rendelkezésre álló anyagmennyiség, a kitermelhető és az elszállított hordalékkészlet egymáshoz viszonyított arányaként értelmezhető. Ezt az értéket elsősorban a relatív relief, a litológiai adottságok, a folyó hordalékszállító kapacitása, valamint a tájtörténet befolyásolja (Caine és Swanson 1989). Az anyagszállítás által továbbíthatnak a vízgyűjtőt, vagy annak egy részét érő zavaró hatások (perturbációk). Az egyes agressziós hullámok térbeli terjedésének meghatározása szempontjából fontos az anyag és energiaszállítási viszonyok feltérképezése, s ezen belül az hordalékforrások (bevágódás helyei) illetve az hordalékcsapdák térbeli mintázatának felmérése (Meade 1982, Hooke 2003).

A tárolt és továbbított hordalék területi elhelyezkedése illetve annak változása megadja a folyórendszer kapcsoltságának (*connectivity*), valamint szétkapcsoltságának (*disconnectivity*) mértékét és időbeli változását. A tájelemek közötti kapcsolat jellege 3 különböző típusba sorolható. A longitudinális kapcsolat a folyó teljes futásvonalának

viszonylatában vizsgálható, amely magába foglalja a főfolyó felső és alsó szakaszának, illetve az alsóbbrendű vízfolyásoknak a kapcsolatát. Laterális kapcsolat alatt a meder és tágabb környezetének összefüggéseit értjük (Fryirs és Brierley 2001). Ennek részeként vizsgálható a lejtő-meder kapcsoltság, amelynek mértéke determinálja a meder falának átdolgozottsági fokát (Fryirs és Brierley 1999). A vertikális kapcsolat a felszíni és a felszín alatti közeg közötti interakciót testesíti meg, amelyet a mederanyag textúrája, a főbb áramlási folyamatok, a litoszféra jellemzői, illetve a hidrológiai viszonyok alapján jellemezhetünk (Fryirs és Brierley 2001).

Egyes elemek korlátozhatják a folyamatos hordalékfluxust a vízgyűjtő egészén vagy annak egyes szakaszain, táji szétkapcsoltságot előidézve (Metivier és Gaudemer 1999). Ezek az hordalékcsapdák szintén 3 csoportba sorolhatók.

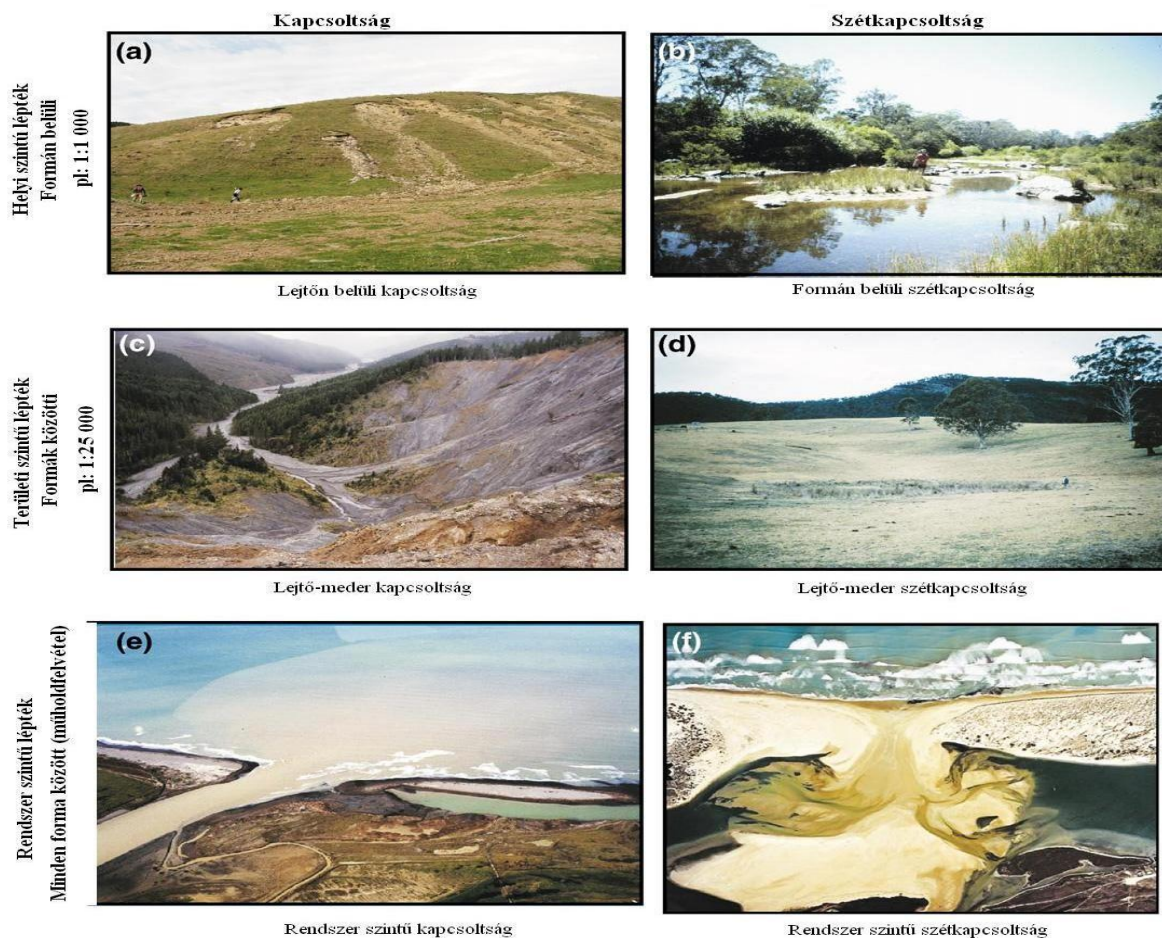
A pufferek (P) elsősorban a laterális és longitudinális kapcsoltság megszüntetésében játszanak szerepet, hiszen megakadályozzák a hordalék mederbe kerülését. Pufferként funkcionálhat egy ártéri hordalék-felhalmozódás, hordalékkúp, lejtőtörmelék, amelyek a lejtőt szétkapcsolják a fővölgytől (Harvey 2001). Megemlíthető továbbá a helyben maradó, nem bolygatott völgykitöltések (teraszok, magas árterek), kapcsolt és szétkapcsolt árterek, valamint holtágak, lecsapoló medrek szétkapcsoló szerepe is. Emelkedett ártéri vagy teraszszintek esetén a mellékfolyók csatlakozása a főfolyóba gátoltta válhat, így az anyagutánpótlódás ellehetetlenülhet az alacsonyabb térszínek irányából a vízfolyás főmedrébe. Ezek a szétkapcsoló elemek akár több 1000 évig is csapdázhatják a hordalékot, fenntartva a szétkapcsoltságot. Kizárólag extrém külső hatás mobilizálhatja a puffereket, helyreállítva a terület kapcsoltságát (Meade 1982).

A mederbe jutott hordalék tovaszállítását gátolják az akadályok (A) vagy barrierek, amelyek a longitudinális kapcsoltság mértékét befolyásolják, ami módosíthatja a mellékfolyók helyi erózióbázisának a szintjét, illetve a meder jellegét, profilját. Akadályt képezhet sziklazúgó, uszadékdugó, lépcsőzetes alapkőzet, amelynek felső szakaszán az hordalék csapdázódhat. Egy völgy feltöltődése is okozhat törést az hordalékszállítás folytonosságában. Az anyag ártéren vagy mederben történő akkumulációja meggátolhatja az hordalékfluxust (Tooth et al. 2002). A hordalék újbóli mobilizációja jelentős energiamennyiség hatására mehet végbe, amelyhez elegendő nagyságú zavaró hatás szükséges. A medertágulatok is okozhatnak akadályt, ahol a folyó nem rendelkezik elegendő energiával az hordalék tovább mozgatásához (Nicholas et al. 1995).

A takarók (T) a vertikális kapcsoltságot befolyásolják. Ezek a szétkapcsoltságot előidéző elemek jelen lehetnek ártereken homoktakarók vagy kavicsrétegek hézagait kitöltő

finomszemcsés anyag formájában. A mederben is keletkezhetnek takarók (mederpáncél), amely a felszín alatti hordalék átdolgozódását akadályozza meg. Rendszeren belüli helyzetük függvényében elkülöníthetünk nagy (és növekvő) valamint területi hatású képződményeket (Church et al. 1988). A takarók képesek megváltoztatni a hordalék szemcseméretét, a hidrológiai tulajdonságokat (pl. beszivárgás), és az ártér talajtani adottságait egyaránt. Főleg síkvidéki vízfolyások mellett találhatók meg (Harvey 2001).

A (szét)kapcsoló formák esetében figyelembe szükséges venni a különböző térbeli lépték közötti hierarchikus kapcsolatot. Az egyes szinteket egy földcsuszamlás által formált lejtő példáján keresztül mutatom be. Helyi szinten formán belüli (szét)kapcsoltságról beszélhetünk. Ha a lejtő teljes szakaszán végbemehetnek deráziós folyamatok, abban az esetben a formán belüli kapcsoltság áll fenn **(1./a ábra)**. Amennyiben a lejtős tömegmozgások hatására a sziklaaljjal rendelkező meder egyenetlenségei megszűnnek, az akkumulálódott anyag gátat szabhat a vízfolyás akadálytalan áramlásának, szétkapcsoltságot eredményezve **(1./b ábra)**. A területi lépték formák közötti, vagy folyószakaszon belüli viszonyokat vizsgálja. Lejtő és meder kapcsoltsága akkor valósul meg, ha például a földcsuszamlás által szállított anyag utánpótlást jelent a meder hordalékhozamában illetve pufferek nem találhatók a területen **(1./c ábra)**. A lejtőalapnál található szétkapcsoló elemek környezetében az árterek, vagy alluviális völgyek feltöltődhetnek, lejtő-meder szétkapcsoltságot előidézve **(1./d ábra)**. Rendszer szintű méretarány esetén a (szét)kapcsoltság az egész vízgyűjtő viselkedésére hatással van. Kapcsolt rendszer esetén a vízfolyás által szállított anyag a derázió helyéről egészen a torkolatig szállítható **(1./e ábra)**. Szétkapcsolt rendszer következtében például a vízfolyás torkolata feltöltődhet, gátolva az anyag erózióbázisig történő szállítását, valamint a partra is jelentős mennyiségű hordalék akkumulálódhat **(1./f ábra)**. A pufferek-akadályok-takarók térbeli konfigurációi, elhelyezkedési formái alapján meghatározhatók a rendszer egészén jellemző kapcsoltsági viszonyok (Harvey 2002, Thomas 2001).

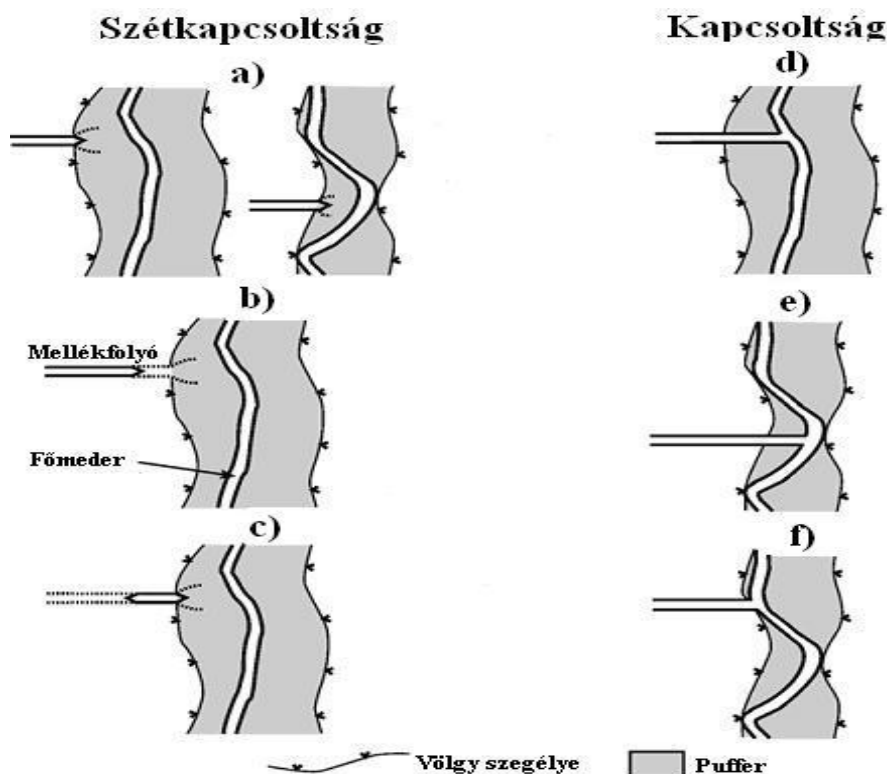


1. ábra A táji szintű kapcsoltság és szétkapcsoltság hierarchia-rendszere
(forrás: Fryirs et al. 2006/b)

Egy vízgyűjtőn belül a pufferek illetve akadályok sokszínű térbeli struktúrájának, mintázatának köszönhető a részvízgyűjtők változatossága. Például egy fő és mellékvölgy (szét)kapcsoltságában számos körülmény játszhat szerepet, fokozva a táji mintázat diverzitását. A szétkapcsoltság kialakításában kiemelkedő szerepe másodlagos akadályoknak van, amelyek elgátolják a mellékfolyót a főágtól. **(2./a ábra)**. Igen gyakran az alsóbbrendű vízfolyások a torkolathoz közeledve szélesebb mederkeresztmetszettel bírnak, amely csökkenti a folyó munkavégző képességét, erőteljes akkumulációt, ezáltal szétkapcsoltságot eredményezve **(2./b ábra)**. Ritkább esetben a mellékvízfolyások nem rendelkeznek mederrel, vagy időszakos medrüket az akkumuláció révén keletkező pufferek átmenetileg kikapcsolják az hordalékszallító rendszerből **(2./c ábra)**. Kapcsolt állapot létrejöhet puffer (pl. hordalékkúp) áttörése, mobilizálása révén **(2./d ábra)**. Egyes részvízgyűjtők területén találhatók kis tárolási

kapacitással rendelkező, szűk völgyek, ahol a teraszok és szétkapcsolt árterek 8 kombinációja révén kialakult másodlagos akadályok a szűk keresztmetszet által növekvő folyóvízi

energiakészlet révén mobilizálódhatnak (2./e ábra). Bizonyos esetben a mellékfolyó a fővölgy peremén keresztül közvetlenül a fővölgybe torkollhat, szintén kapcsolt állapotot eredményezve (2./f ábra) (Fryirs et al. 2006/a).



2. ábra A fő- és mellékvölgyek (szét)kapcsoltságának főbb esetei (forrás: Fryirs et al. 2006/a) (ábramagyarázat ld. a fenti szövegben)

2.2. Az effektív vízgyűjtő terület fogalma, jellemzői és modellezése

Fontos meghatározni a vízgyűjtő azon térbeli egységét, amely közvetlenül hozzájárul az hordalék és energiaszállításhoz, vagyis a rendszer egésze mentén továbbítja az hordalékot. Ezt nevezzük effektív vízgyűjtő területnek, amely tehát megadja a longitudinális, laterális, és vertikális kapcsolatok szorosságát, amiből számítható az egyes hordalékforrás-helyek távolsága is (Graf 1988). Az effektív vízgyűjtő területének meghatározása során figyelembe kell venni az hordalékfluxus mértékét meghatározó legfőbb tényezőt, a lejtőszöget, amely determinálja a vízfolyás energiáját és az hordalékszállításhoz rendelkezésre álló energiakészletet. Egy bizonyos lejtőszög alatt nincs elegendő energia az anyag továbbításához, így ez szétkapcsoltsághoz vezethet. Ezért e paraméter megadja a kapcsoltság térbeli mintázata is. Az effektív vízgyűjtő terület növekedésével egyenes arányban változik a kapcsoltság erőssége. Az adott terület jellegét, hordalékszállítási adottságait befolyásolja

továbbá a felületi érdesség és a beszivárgás is. A lefolyás illetve a vízsebesség a másodlagos felszínalakítást szabályozzák (Fryirs et al. 2006/a).

Az effektív vízgyűjtő terület modellezésének input adatául egy 25 m-es felbontású DDM, egy 1:25 000 méretarányú digitális ortofotó, valamint az előbbivel azonos léptékű topográfiai térkép szolgálhat. Például a texasi egyetemen végzett területi kutatáshoz az ArcView 8.3 és az ArcHydro szoftver 2005-ös verzióját használták. Utóbbi segítségével meghatározták a vízfolyás áramlási irányát, az akkumuláció mértékét illetve az árvízgyakoriságot. Alapegységként 2 km²-es folyószakaszt jelöltek ki, amelynek lejtőszög-küszöbértékét (*threshold*) határozták meg (az a lejtőszög-érték, amely fölött elegendő energia halmozódik fel az hordalék kimozdításához és mozgásban tartásához), hiszen e paraméter tükrözi leginkább a mederhálózat jellemzőit. Az ArcHydro szoftverrel a részvízgyűjtőket is azonosították. Ezután elkülönítették az akkumulációs térszíneket. A részvízgyűjtőket pedig kisebb egységekre osztották, amiket 1-1 pontként szerepeltetnek a modellezés során. A vízgyűjtőegységekhez ezután a korábban elemzett lejtőszög-küszöbértéket rendelték. Az effektív vízgyűjtő terület azokat a cellákat foglalja magában, amelyek lejtőszöge nagyobb, mint a küszöbérték, illetve amely lejtőszakasz hossza nagyobb, mint az arra vonatkozó küszöbérték. A modellezés eredménye tehát egy olyan réteg, amely a vízgyűjtő a mederrel kapcsolt elemeit tartalmazza. A művelet előnye, hogy megmutatja a (szét)kapcsolt területek térbeli mintázatát, ezen keresztül pedig a potenciális hordalékforrások helyéről ad információt. Az eljárás hátránya, hogy nem határozza meg az anyagmozgáshoz megfelelő energiájú, valamint az elegendő anyagutánpótlással szolgáló térszíneket (Fryirs et al. 2006/a).

Összefoglalva elmondható, hogy az effektív vízgyűjtő nagyságát befolyásolják egyrészt a lejtőparaméterek. Fontos az egymást követő 2 perturbáció között eltelt idő, amely meghatározza a PAT képződéséhez rendelkezésre álló időt. Továbbá a vízgyűjtő nagyságának, valamint a vízfolyás hosszának növekedésével egyenes arányban növekszik a vízfolyás energiája, amely elősegítheti a kapcsoltság fenntartását, vagy annak létrejöttét. Végül említést kell tenni a mellékfolyó és a főfolyó egymáshoz viszonyított helyzetéről, hiszen a fő-és mellékvölgy távolságával fordított arányban változik a kapcsolt állapot valószínűsége, így az effektív vízgyűjtő területe (Harvey 2001).

2.3. Az érzékenység főbb jellemzői és a kapcsoltsági viszonyok alakulásában betöltött szerepe

A táji elemek közötti kapcsolatok befolyásolják azok válaszát a különböző nagyságú és gyakoriságú eseményekre, ily módon hatással vannak a táji érzékenységre (*sensitivity*) is.

Erősen kapcsolt rendszerek esetén az agressziós hullámok térbeli terjedése nagy sebességgel, formáról formára történik. Az agressziós hullám rendszeren belüli továbbítódása erőteljes válaszreakciókat indukálhat. Az esemény-érzékeny területek erőteljesen kapcsoltak, nagy effektív vízgyűjtő területtel rendelkeznek. A visszatérő zavaró hatások gyakorisága a rendszerekben (azaz a rendszer pihenési ideje) befolyásolja a puffer-akadály-takaró áttörésének lehetőségét, ily módon pedig azok életidejét. A küszöbértékhez közeli formák a kisebb perturbációra is érzékenyen reagálnak (Schumm 1973). A kapcsoltság tehát geomorfológiai instabilitáshoz vezet, ami determinálja a területen végbemenő geomorfológiai változás irányát és mértékét, illetve annak területi kihatását (Gaudamer 1999, Costa és O'Connor 1995).

Az erősen szétkapcsolt területeken a változások hatásai a vízgyűjtő egyes pontjain elnyelődhetnek, vagy tompulhatnak, nem képesek egyik formáról a másikra adódni, ezáltal a geomorfológiai változások nem haladnak végig, vagy csak jelentős késéssel a vízgyűjtő egészén. Ezek a szétkapcsolt területek úgynevezett „eseményellenállónak” tekinthetők (Thomas 2001).

Ahhoz, hogy rendszerszinten lehessen a (szét)kapcsoltságot, valamint hordalékszállítási viszonyokat vizsgálni, valamennyi szétkapcsoló elemet és kölcsönhatásaikat is figyelembe kell venni. Az effektív vízgyűjtő terület – tájelemek közötti kapcsolat erősítése általi – növekedésének oka lehet a PAT-ok mobilizálódása mellett egyedi események (árvízi szintek emelkedése és csökkenése), különböző erősségű agressziós hullámok előfordulása (egymást követő években különböző erősségű zavaró hatások) illetve a rendszer válaszai a megváltozó peremfeltételekre (éghajlatváltozás). Csekély áramlási viszonyok között a gyakori, de kis energia-bevétel, valamint korlátozott mértékű hordalékátdolgozás jellemző, s az effektív vízgyűjtő nagysága is kicsi. Elegendő mennyiségű energia esetén a takaró anyaga és a hordalék a feltöltődő völgyön keresztül szállítódik, összekapcsolva a meder felső és alsó szakaszát, növelve az effektív vízgyűjtő területét. A ritka, de erőteljes hatású események más más szétkapcsoló elemet törhetnek át. A legnagyobb energiájú események közben jöhet létre a legerőteljesebb kapcsoltság, amit a legnagyobb területű effektív vízgyűjtő terület kialakulása kísér (Fryirs et al. 2006/a).

Összességében elmondható, hogy az hordalékszállítási folyamatok módosíthatják a PAT térbeli mintázatát a vízgyűjtőn. Az hordalékforrások-és csapdák helyének megváltozása módosíthatja az hordalékszállítási folyamatokat, ezen keresztül befolyásolja az effektív vízgyűjtő terület nagyságát, valamint a (szét)kapcsoltság effektív életidejét. A vízgyűjtő-specifikus konfiguráció és a tájtörténet meghatározza a PAT térbeli eloszlását és

geomorfológiai szerepét, ami az hordalékáramlást szabályozza (Fryirs et al. 2006/b). A tér-és időbeli táji (szét)kapcsoltság megértése révén meghatározhatjuk a perturbációk hatásterületét, valamint megjósolhatjuk, hogy a zavaró hatás adszorbeálódik, vagy transzmittálódik. Ennek következtében azok off-site hatásai is azonosíthatók, illetve a környezet agressziós hullámmal szembeni reakcióideje is megadható (Thomas 2001).

2.4. A talajerózió és hordalékhozam modellezése és szerepe egy vízgyűjtő hordalékszállítási dinamikájában hazánkban

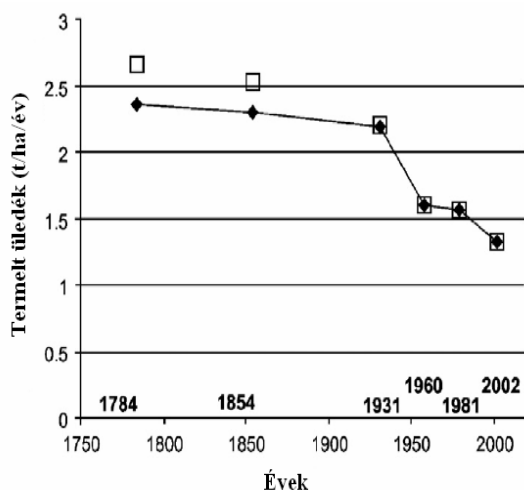
Egy adott vízfolyás hordalékháztartásának alakulásában természeti és társadalmi tényezők egyaránt szerepet játszanak. Egy vízgyűjtő hordalékhozamát alapvetően az adott területen keresztül szállított, illetve a termelt hordalék összege adja meg. A denudált anyag mennyiségét részletes terepi és analitikai vizsgálatok révén lehet meghatározni. Szilassi és munkatársai (2006) a terület talajdegradációs viszonyainak helyspecifikus jellemzésére 5 paramétert választottak ki: az „A” genetikai talajszint pH értéke, a karbonát-felhalmozódás mélysége, a felhalmozódási szint karbonát-tartalma, az „A” talajszint szervesanyag-tartalma, valamint az erózió mértéke. Minden paraméter kvantitatív jellemzésére intervallumokat használtak, amelyek segítséget nyújtanak a szubjektív értékítélet általi különbségek áthidalásában. A vizsgálatok során használtak egy hatodik, járulékos paramétert, a 100 pontos talajértékszámot, amely a talaj termékenységének meghatározásához szükséges. Az erózió-és hordalékszállítás modellezésére a Watem-Sedem modellt alkalmazták, amely alapszintű folyamategyenletek segítségével, pixelenként, topológiák alapján becsülte meg az hordalékfluxus mértékét. A modell 3 fő részből áll: a cellánkénti éves talajerózió mértékéből, a cellánkénti éves hordalékszállítási kapacitásból, valamint az hordalékszállítás útvonalából (Szilassi et al. 2006, Jordán et al. 2004).

Az éves átlagos talajerózió meghatározásához az $A=R \times K \times L \times S \times C \times P$ képlet (ahol A: az évi átlagos eróziós talajveszteség, R: a csapadék erozivitása; K: a talaj erodibilitása, L: lejtőhossz, S: lejtőszög, C: felszínborítási és gazdálkodási faktor, P: talajvédelmi faktor, amely a fenntartható gazdálkodást próbálja biztosítani) alapján dolgozó „RUSLE” (*Revised Universal Soil Loss Equation*) modellt alkalmazták, amely a tapasztalati, statikus „USLE” (*Universal Soil Loss Equation*) továbbfejlesztett változata (Wischmeier et al. 1978). Utóbbi hiányossága, hogy csupán éves átlagos talajveszteség értékét adja meg, valamint térben nem használható, hiszen a lejtőn történő hordalékmozgást nem képes modellezni (Kitka 2009/a). Az éves szállítási kapacitást az egységnyi hosszúságú cellából évenként elszállított talajtömeg nagyságával azonosították. A „RUSLE” segítségével az hordalék útját lejtésiránynak

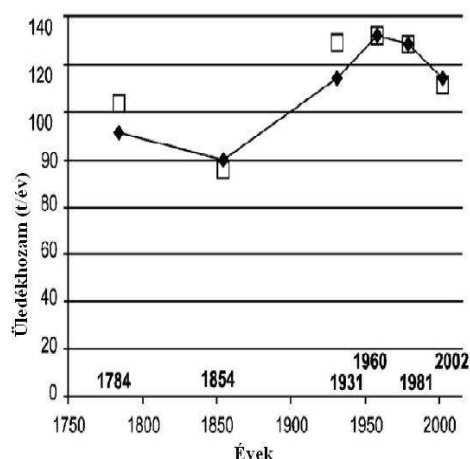
megfelelően határozták meg, amely elérve a vízfolyást, annak hordalékhozamát növeli (Jordán et al. 2004, Szilassi et al. 2006). Az anyagszállítási folyamatban igen fontos szerepe van a hordaléktermelés helyétől a vízfolyásokig tartó szakaszon az egyes lineáris (vonalas) formáknak. Kiemelkedő jelentőségűek e tekintetben a vízmosások, amelyek olyan negatív formák, amelyek átlagos szélessége, vagy mélysége meghaladja az 50 cm-t. E képződmények nem csak hordalékforrásként funkcionálnak, hanem részt vesznek annak szállításában is (Jakab 2008).

Az erózió kvantitatív jellemzése során figyelembe kell venni az egyes területek földhasznosításának jellegét, illetve annak történelmi változását is. Ennek nyomon követésére az I-II-III. Katonai Felmérés, az 1:10 000 méretarányú topográfiai valamint digitalizált talajtani térkép szolgált input adatként. A digitalizálást, georeferálást, valamint adatbázis kialakítását az ArcView és ArcGIS térinformatikai szoftverek segítségével végezték (Szilassi 2006, Jordán et al. 2004).

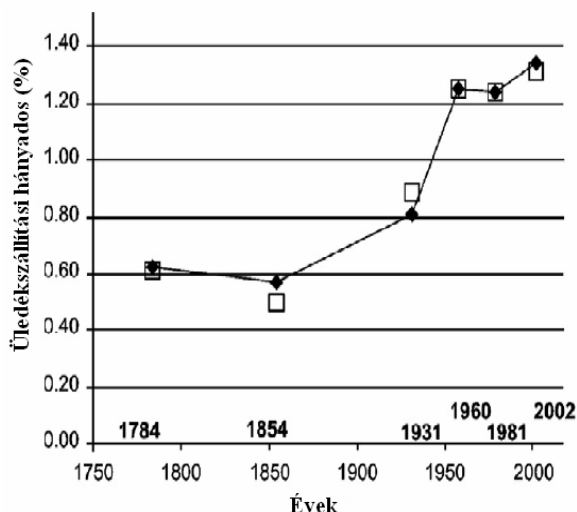
A modellezés eredményeként több következtetés vonható le. Az állandó szántóföldi művelés alatt álló területek (amelyek valamennyi vizsgált időpontban szántóterületként funkcionáltak) erózió általi anyagvesztése meghaladja az ugyanezen paraméter állandó rét, legelő vagy a művelés alá nem tartozó területeken (amely területek egyáltalán nem álltak szántóföldi művelés alatt) tapasztalható értékét. A vizsgálatok alapján kiderült, hogy az akkumuláció szintén a szántóterületek mentén jelentősebb, ahol így a termékeny talajréteg nagyobb mélységben található (Szilassi 2006).



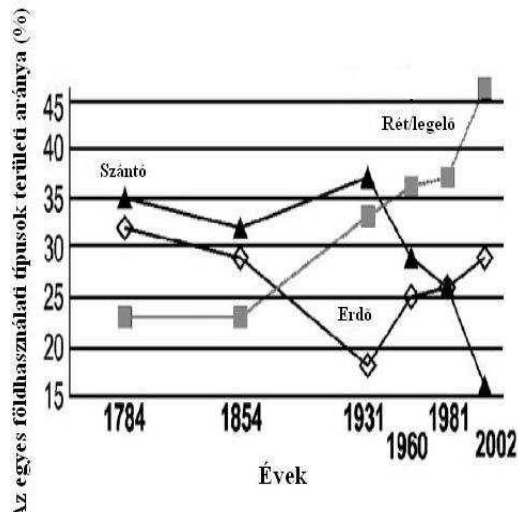
3./A ábra Az évenként átlagosan termelt hordalék mennyisége (forrás: Szilassi et al. 2006)



3./B ábra Az évenkénti átlagos hordalékhozam (forrás: Szilassi et al. 2006)



3./C ábra Az hordalékszálítási hányados időbeni alakulása (forrás: Szilassi et al. 2006)



3./D ábra A földhasználati típusok területének időbeni alakulása (forrás: Szilassi et al. 2006)

Az erózió-modellezés alapján szintén megállapították, hogy az évenként átlagosan denudált hordalékmennyiség csökkenésnek indult (**3./A ábra**), miközben a medence területéről összesen elszállított, abszolút (**3./B ábra**) valamint relatív anyagmennyiség (**3./C ábra**) növekedett. E folyamatok magyarázatát a földhasználatok térbeli mintázatának vizsgálata adta. A rétek és legelők szántóterületek rovására növekvő aránya (**3./D ábra**) a termelt hordalék csökkenését eredményezi (**3./A ábra**), amelynek háttérében a sűrűbb növényborítottság által leredukált erózióveszélyeztetettség húzódik. A vízgyűjtőt érintő növekvő hordalékvesztést pedig a táji fragmentáció erősödésével magyarázták. A fragmentáció alakulását a gazdaságipolitikai irányítási rendszer befolyásolta, hiszen a piacgazdaságra való átállással együtt járó privatizáció következtében a korábban nagy, homogén parcellák felaprózódtak. Az utóbbi évtizedekben teret hódító rekreációs tevékenységeknek köszönhetően az időszakosan művelt, valamint művelés alól kivont területek aránya növekedett (Szilassi et al. 2006). Ezek a tendenciák pedig igazodnak a vízgyűjtő hordalékszálítási hányadosának időben és térben változó mintázatához (**3./C ábra**).

A bemutatott kutatás eredményeként elmondható, hogy az egyes földhasználati típusok mérete, területi kiterjedése mellett a földhasznosítás mintázata is meghatározó tényező a talajeróziós folyamatok terén, valamint a területrendezési és fejlesztési folyamatok, célok meghatározásában (Szilassi et al. 2006). A kutatás azonban nem vették figyelembe, hogy a hordalékforrások mentén termelődött hordalék egy része jut csak keresztül a rendszer egészén, a vízfolyás erózióbázisáig. A mederbe kerülő anyag egy jelentős hányada csapdázódik, csökkentve a torkolati szakaszon mérhető hordalékhozamot (Fryirs et al.

2006/a). Valamint az anyagtermelő folyamatok részét képezi a medret mélyítő, valamint tágító (laterális) erózió is, amelyek mértékét szintén figyelmen kívül hagyták. Mindebből az következik, hogy Szilassi és munkatársai (2006) kutatása jelentős mértékben alulbecsülheti az egyes vízfolyások eróziós potenciálját, valamint az általuk termelt anyag mennyiségét, miközben túlbecsüli a rendszerből kijutó anyag mennyiségét.

Számos nemzetközi modellt fejlesztettek ki a talajerózió mérésére a Szilassi és munkatársai (2006) által alkalmazott „RUSLE” modellen kívül. A kutatások elsősorban az USA területén mentek végbe. A vízgyűjtő szintű modellezésre alkalmas „MUSLE87” rasterhálón végez számításokat (Kitka 2009/a), amely nagyobb térbeli pontosságot tesz lehetővé. A „CREAMS” (*Chemical Runoff and Erosion from Agricultural Management System*) agrárterületekre specializálódott elméleti modell, amely hidrológiai, eróziós és kémiai részmodellből áll (Schmidt 2000). Hátránya, hogy a csapadékesemény által indikált folyamatokról nem ad információt, illetve csak lejtőirányú modellezésre képes (Kitka 2009/a). Az „EPIC” (*Erosion Productivity Impact Calculator*) több részmodellből (pl. hidrológiai, klimatikus, gazdasági viszonyok) felépülő, számos bemeneti paraméterrel dolgozó, mezőgazdasági tábla szinten hasznosítható komplex modell. Az „APEX” (*Agricultural Policy*) vízgyűjtő szintű modellszámításokat végez. A lejtőn és kisvízgyűjtőn egyaránt alkalmazható „WEPP” (*Water Erosion Prediction Project*) az eróziós folyamatok tér-és időbeli változékonyságát képes szimulálni (Kitka 2009/a). Az „ANSWER” (*Areal Non-Point Source Watershed Environmental Response Simulation*) részvízgyűjtő szinten modellezi a felszíni lefolyás és erózió mértékét. Továbbfejlesztett változata az „ANGPS” (*Agricultural Non-Point Source Pollution*) már teljes vízgyűjtőre vonatkoztatva képes a lefolyás és eróziós folyamatok, valamint a nem-pontszerű forrásokból származó szennyezőanyagok kibocsátásának szimulálására (Kitka 2009/a). A „SWAT” (*Soil and Water Assessment Tool*) folyóvölgyre, medencére és teljes vízgyűjtőre egyaránt alkalmazható fizikai modell (Kitka 2009/a).

Az 1980-as években Európában is megkezdődött az erózió becslését szolgáló modellek fejlesztése, valamint az USA-ban kifejlesztett alkalmazások európai adaptálása. A „LISEM” (*Limburg Soil Erosion Model*) az utrechti egyetemen megalkotott hidrológiai és eróziós modell, amely a parcella mérettől egészen a teljes vízgyűjtő térbeli léptékig alkalmazható (Kitka 2009/a). A Németországban kifejlesztett fizikai modell, az EROSION 3D, a felszíni lefolyás alapján az egy csapadékesemény során távozó hordalék mennyiségét becsüli meg. A művelet elvégzéséhez szükséges bemeneti adatok a csapadékmennyiség, a csapadékintenzitás, a domborzatmodell, a területhasználat és a fizikai talajtípus. A modell

végül minden cellára vonatkozóan megadja a nettó erózió (érkező és távozó anyag különbsége) és a távozó talajmennyiség mértékét. Az EROSION 3D csak GIS környezetben képes működni, így térinformatikai szoftverek használata elengedhetetlen (Kitka 2009/b).

Hazánkban az erózió-modellezés első lépését a Kazó-féle esőszimulációs vizsgálatok jelentették, amelynek segítségével meghatározták a lejtőszög, a felszínfedettség valamint az erózió mértéke közötti kohézió nagyságát (Kazó 1966). Az „USLE” modellt 1962 óta alkalmazzák Magyarországon, s a mai napig a legelterjedtebb a talajeróziós folyamatok kutatásában, hiszen a további modellek által használt bemeneti adatok korlátozottan állnak rendelkezésre. A hazai kutatások a nemzetközi szinten kifejlesztett modelleket alkalmazták. A Balaton északi vízgyűjtőjén található Örvényesi-séd vizsgálata során az „USLE”, az „EPIC” és „CREAMS”, a Balaton déli vízgyűjtőjén levő Tetves-patak kutatásához szintén az „USLE” modell került elhasználásra (Kitka 2009/a).

Valamennyi eljárás más és más bemeneti adattal hajtja végre a talajerózió mértékének meghatározását. A külső körülmények valamint az alkalmazott technológia együttesen határozzák meg a mérés hibalehetőségeit. A rendelkezésre álló időtartam, illetve a pénzügyi háttér limitálja a megválasztható módszerek számát, ami részben determinálja a mérés várható pontosságát is. Ily módon a modell valóságtól való eltéréseinek mértéke kalkulálható.

3. A mintaterület jellemzése

A tágabb értelemben vett mintaterületem a Balaton vízgyűjtő területén terül el, ezért fontos a tó vízgyűjtőjének rövid bemutatása.

3.1. A Balaton vízgyűjtőjének kialakulása

A Balaton vízgyűjtő területének kialakulása hosszú földtörténeti folyamat eredménye, amely szoros kapcsolatban áll a tó fejlődésével. A szoros korrelációra való tekintettel a két fejlődéstörténetet összefüggéseiben mutatom be.

A paleozoikum végén, 450 millió évvel ezelőtt a területet elöntötte a tenger (Martonné 2002), amelynek mélysége a triász korban az orogenezisnek köszönhetően erősen változó értékeket mutatott. A folyamatosan ismétlődő, különböző előjelű mozgások az egész mezozoikum alatt ingadozó vízmélységet indukáltak (Illés 1981). A kainozoikum harmadidőszakában (tercier) transzgresszió-regresszió egymást követően mentek végbe. A tengerelöntés idején nagy vastagságú tengeri hordalék rakódott le, amely a visszahúzódás során pusztulásnak indult az exogén erők hatására. A miocénben volt a legteljesebb a tenger előrenyomulása, amely az alpi-kárpáti hegységkeret kiemelkedésének és a köztes terület süllyedésének a következménye. Ez a geomorfológiai inverzió jelensége (Virág 1998). A folyamatosan előrenyomuló tenger a hegységkeret nyugati kiemelkedésének köszönhetően elzáródott, lefűződött (Pannonbeltenger). A pannon korban a terület a rodániai kéregmozgások hatására kiemelkedett, a tenger a nagy mennyiségű hordalék hatására kiédesedett, illetve feltöltődött (Illés 1981). A felső pannonban a tengeri kapcsolatok megszűntek, s a „tenger” beltóvá változott (Pannon-beltó).

A Pannon-beltó a pliocénben a Dráva-süllyedék irányába visszahúzódott. Az Ős-Duna a kisalföldi deltáján durva hordalékától megszabadulva tiszta víz erózióval a Balaton vidékén elterülő pannon hordalékot pusztította (Mike 1991). A Somogyidombvidéken oldalazó eróziót végrehajtó Ős-Dunát a Dráva felé törések vezethették vissza. Mélyfúrások igazolták, hogy az ősfolyás vízhozama a mai Dunáénál is jóval nagyobb volt. A vízfolyás a Dráva és a Balaton között erőteljesen kiemelkedő vízválasztó (Dunántúli-dombság) miatt kénytelen volt a Balaton tengelyébe befordulni, ahol ezután völgyet is denudált magának és ebből a völgyből képződött a Balaton mai medencéje (Mike 1991). A déli vízválasztó kiemelkedése a későbbiekben determinálta a vízhalózat rajzolatát. Ezt a hipotézist a

geográfusok többsége azonban nem tartotta megalapozottnak. Azt azonban ők sem vitatták, hogy a pliocénben a medence nyugati részén időnként kiszáradó vízfolyások haladtak keresztül, kavicsanyagot hátrahagyva maguk után. Ezt nevezzük fluviolakusztikus (átfolyó) vízhálózatnak (Lorberer et al. 1980).

Ezt követően a pliocén végén induló, és a pleisztocénban is folytatódó szünorogén folyamatok eredményeként az Alpok és a Keszthely-Gleichenbergi vízválasztó (Dunántúli-középhegység) kiemelkedése ment végbe, amely jelentősen átalakította a vízhálózat képét. A pliocénben még a Kisalföld felől délnek induló vízfolyások a Horvát-Szlavón-süllyedék irányába haladva átvágtak a Balaton nyugati medencéjén. E folyamatok eredményeként azonban csupán a vízválasztó déli előterében eredő vízfolyások érintették a Balaton-medence térségét, így a tó elveszítette korábbi északi vízgyűjtőjének egy részét. Az átalakuló domborzati viszonyok hatására pedig megnövekedett a vízfolyások esése, s nyomában a munkavégző képességük is. A pleisztocénben gyakori kifagyások fokozták a keletkező durva törmelék mennyiségét, ami módosította a folyók által szállított anyag összetételét. A durvább hordaléknak köszönhetően a fluviolakusztikus vízrendszer uralmát a kavicsos hordalékú hálózat váltotta fel. A középső pleisztocén folyamán, a Balaton helyén és annak környékén elősüllyedések keletkeztek, amelyek a Keszthely-Gleichenbergi vízválasztó felől DK-i irányban lefutó vizek átfolyását még nem akadályozták teljesen, de hordalékukat nagyrészt felfogták (Ádám et al. 1981). Ezzel egy időben a Balaton-medence déli peremterületei kiemelkedésnek indultak. E tektonikai folyamatok az utolsó eljegesedést megelőző interglaciálisra olyan nagymértékűek lettek, hogy a domborzati viszonyokat átalakították. A déli lefutású vizek új erózióbázisul az egyre nagyobb mértékben süllyedő és mélyülő tómedence szolgált. Az első süllyedési szakasz tehát a közép-pleisztocénra tehető és a legnagyobb területet érintette. A második szakasz az újpleisztocénban történhetett, és kisebb területre korlátozódott (a mai parttól 1-2 km-re). A harmadik süllyedési szakasz a würmben ment végbe, és a tómedence kialakulását eredményezte. Mindezek eredményeként kialakult a vízhálózat mai képe (Ádám et al. 1981).

Összegzésként elmondható, hogy a Balaton mai vízgyűjtőjének kialakulását, formálódását jelentősen befolyásolták a földtörténet során végbemenő tektonikai folyamatok, s az őket kísérő kiemelkedések és süllyedések. A vízgyűjtő térbeli kiterjedését északról a Dunántúli-középhegység, délről pedig a Dunántúli-dombság limitálta. E tájegységek között eredő vízfolyások erózióbázisul szolgált a Balaton medencéje.

3.2. Földrajzi helyzet, felosztás és domborzat

Az 594 km² nyíltvízi területtel rendelkező Balaton és vízgyűjtője a dunántúli nagytáj egyik legnagyobb és legfontosabb része. Az 5774,5 km² kiterjedésű vízgyűjtő földrajzilag 4 fő részre osztható (KÖDU-KÖVÍZIG 2007, Miholics et al. 1976).

A legnagyobb részvízgyűjtő a Zala folyó vízgyűjtő területe, amely a Vasihegyhát, valamint a Vas-Zalai-dombság felszíni és felszín alatti vizeit gyűjti össze. A második az északi részvízgyűjtő, amely a Balaton felvidékre, valamint a Keszthelyi-hegységre terjed ki. A mezőföldi részvízgyűjtő lényegében keskeny partszegély Balatonfüzfő és a Sió-csatorna között. A déli részvízgyűjtő pedig a Somogyi-dombságot foglalja magába, parti sávja a Balaton medencéjének a része (Miholics et al. 1976, KÖDU-KÖVÍZIG 2007).

A tó vízgyűjtője különböző jellegű földrajzi tájrészekből tevődik össze, mivel a vízválasztó nagyobb tájegységeket keresztez. A változatos domborzati adottságok következtében két fő alaptípus különíthető el. A Balaton északi oldalán a 300-400 m magas tetőkkel bíró, különböző nagyságú medencékkel gazdagon tagolt hegységi vízgyűjtő húzódik. A vizsgálatom során górcső alá vett alacsonyabb, szabályosan tagolt dombsági vízgyűjtő pedig a Zala folyó, illetve a tó déli részvízgyűjtő területét öleli fel (Miholics et al. 1976). A térségben a pliocénben igen gyakori, kaliforniai típusú földrengések következtében a földkéreg szitaszerűen rázkódott, majd megrepedt. Az ily módon keletkező hasadékok mentén az eolikus felszínformálás eredményeként É-D-i irányú barázdák képződtek, amelyek fontos szerepet játszottak a domborzat arculatát alapvetően meghatározó, szintén É-D-i irányú völgyek formálódásában (Kubassek 2004).

3.3. Geológia

A Balaton vonalától délre a DNY-ÉK-i irányú, bonyolult tektonikai folyamatok során kialakuló alaphegység pásztás elrendeződésű kőzetei tömör kristályos paleozoós képződményekből épülnek fel, amelyek a tó medencéjétől távolodva egyre mélyebb orográfiai helyzetbe süllyednek, miközben fokozatosan adják át helyüket a permi-triász mészkő és dolomit formációknak. Az alaphegységre nyugodt településű miocén (azon belül pannon) korú hordalékek rakódtak le (Csicsákné et al. 1997). A Pannon-beltenger lerakódásai közül az alsó-pannon hordalékek nem kerültek felszínre, 19 csupán a Zamárditól DNY-ra végzett mélyfúrásokból ismeretesek (Szilárd 1967). Főleg agyagos, márgás, aleuritós rétegekből áll, amely vízzáró (*impermeabilis*) tulajdonsága révén gátolja a függőleges irányú vízmozgást

(Csicsákné et al. 1997). A sok helyen már felszínre bukkanó és a felszín felépítésében nagy szerepet játszó felső-pannon hordalékeket igen változatos kőzetanyag jellemzi. A rétegsorok zömét homok, agyagos homok, homokos agyag tölti ki, és az hordaléksort vízáteresztő (*permeábilis*) édesvízi mészkőpadokból felépülő réteg zárja le. A pliocén korú, fluviolakusztikus hordaléket homogén, durvaszemű, erőteljes beszivárgással (*infiltráció*) jellemezhető homokrétegek képviselik (Szilárd 1967).

Az idősebb, alsó-pleisztocén képződményeket a folyóvízi kavics, patakhordalék, vörös és tarka agyagfészeségek képviselik. A középső-pleisztocénban (mindel-riss, riss) helyenként tekintélyes vastagságban akkumulálódott (Somogyi-dombság K-i, Ny-i és D-i, valamint belső-somogyi hordalékkúpon) a folyóvízi homok. Általában É-D-i irányú pásztákban, a nagyobb meridionális völgyek mentén található a felszínen vagy a felszín közelében (Szilárd 1967). A felső-pleisztocénban, főleg az utolsó jégkorszakban (würm) keletkezett a legfontosabb felszíni képződmény, a talajtakaró bázisaként is szolgáló, laza, jó vízádó képességű lösz. Vastagsága a Somogyi-dombság DK-i részein akár a 20 m-t is meghaladhatja (Szilárd 1967, Vadász 1960). A lösz a lehulló csapadékvizet gyorsan elnyeli, és kedvező függőleges áteresztő képességével biztosítja az alsó rétegek vízutánpótlását (Csicsákné et al. 1997).

A holocén képződmények sorába a tavi hordalékek, az alluviális síkságok, völgytalpak ártéri hordalékei, valamint a szélfújta homokanyagok tartoznak. A Balaton D-i partját kísérő alacsony térszínnek legmélyebb részeit, valamint a meridionális völgyek kijáratánál kialakult öblözeteket több méter vastagságban iszapos, kavicsos homok, kotu és tőzeg tölti ki (Szilárd 1967).

A felszín alatti első vízzáró, féligáteresztő réteg fölött megjelenő talajvíz a vízgyűjtő alsóbb térszínű területein (vízfolyások völgyében, a Balaton parti sávjában) összefüggő víztükröt alkot. A mély fekvésű területek talajvízszintje 1-2 m, áramlása a tó irányába mutat, és a vízfolyások a talajvizet jellemzően megcsapolják (*effluens állapot*). A magasabb térszínű területeken az első vízmegjelenés 10-30 m-es mélységben tapasztalható. A talajvízáramlás iránya szintén a Balaton felé mutat, de a partközeli területeken az emberi (*antropogén*) beavatkozás következtében ez módosulhat. A kutak adatai alapján a talajvíz magas és alacsony talajvízállás esetén is a tó felé áramlik, kivéve a Balatonszemes-balatonlelleli öblözetet, valamint a Nyugati-övcSATORNA környékét (Csicsákné et al. 1997).

3.4. Éghajlati jellemzők

A Balaton déli vízgyűjtőjén az 1960-as évek közepétől kezdődően folyik, a szakmai szempontok és a pénzügyi lehetőségek függvényében a vízrajzi, hidrometeorológiai

észlelőhálózat kiépítése, fejlesztése. A kezdeti időkben létesített mérőállomások üzemeltetője a VITUKI volt, majd a decentralizálás következtében az 1970-es évek végén a Dél-dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság (DÉDUKÖVÍZIG) átvette, és tovább fejlesztette azokat. A felszíni állomások által nyújtott adatok megbízhatósága – a felszínközeli állomásokkal ellentétben – hagy maga után kívánni valót. Ennek oka a heves záporok, zivatarok következtében végbemenő többszöri feliszapolódás, amely fokozza a mérőállomás pontatlanságát (Csicsákné et al. 1997).

A vizsgált terület a mérsékelt meleg és a mérsékelt csapadékos éghajlati főkörzetbe esik (KÖDU-KÖVÍZIG 2007). A levegő évi középhőmérsékletének sokévi átlaga a tóparton 11 °C, a vízgyűjtő belső területein 10,5 °C. A legalacsonyabb hőmérsékleti érték 9 °C (Iregszemcsén, 1980-ban), míg a legmelegebb évben 12,4 °C (Kaposváron, 1994-ben). A vízgyűjtőn 18 db csapadékmérő állomás található, amelyek 1966-1996 közötti adatai alapján az évi átlagos csapadékmennyiség 675 mm, amely az országos átlag (500 mm) felett van. A sokévi csapadékadatok szerint minimum érték 614 mm (Ordacsehi), míg maximálisan 744 mm (Nagybajom) hullott. A csapadék mennyisége Ny-ról K felé csökken. Az évi napsütéses órák száma 1750-2050 között változik (Csicsákné et al. 1997, KÖDU-KÖVÍZIG 2007).

A párolgás főbb jellemzői a területen elszórtan valamint a mintaterületen kívül elhelyezkedő állomások által szolgáltatott adatok alapján határozhatók meg. Ezek alapján a párolgás területi átlaga a 4 állomás mért értékei alapján 592 mm, míg a potenciális párolgás éves átlagértéke 986 mm. E paraméter éven belüli változásának vizsgálatakor kitűnik, hogy a július a legnagyobb párolgással bíró hónap (88-92 mm), míg a téli hónapokban a legkisebb értékek (19-22 mm) jellemzőek (Csicsákné et al. 1997, KÖDU-KÖVÍZIG 2007).

A vízgyűjtő szélviszonyait a domborzati tényezők erősen meghatározzák. Az uralkodó szélirány általában az északi (KÖDU-KÖVÍZIG 2007, Csicsákné et al. 1997). Viharos erejű szelek évente átlagosan 50 alkalommal fordulnak elő, amelyek nagy szerepet játszanak a termőtalaj pusztításában (Csicsákné et al. 1997).

3.5. Talajtani adottságai

A terület talajtípusok tekintetében meglehetősen diverz adottságokkal bír. A legnagyobb arányban az erdőtalajok találhatók meg (Csicsákné et al. 1997). Közülük kiemelkedő térbeli elterjedésű a Ramann-féle barna erdőtalaj (barnaföld). E talajtípus fő ismérve az erőteljes agyagosodás (amelynek során erőteljes mállás mellett agyagásványok képződnek az egyes talajszintekben), valamint a gyenge savanyodás (a talajban lejátszódó biológiai folyamatok hatására a talaj kémhatása savassá válik). Így a többnyire morzsás

szerkezetű barnaföld kémhatása gyengén savanyú, vagy semleges. Vízgazdálkodásuk kedvezőnek mondható, vízáteresztő képességük közepes, víztartó képességük optimális, a hasznos vizet az egész talajszelvény egyenletesen szolgáltatja. Területük a szárazabb medencékhez, valamint a déli kitettségű lejtőkhöz kapcsolódik (Stefanovits et al. 1999).

Szintén nagy elterjedési területű a csernozjom területek határán elterülő csernozjom barna erdőtalaj. Az e típusú talajok szelvényében két fő folyamat nyomai mutathatók ki. Az egyik a kilúgozás (a kalcium-karbonát és az annál könnyebben oldható sók kimosódása az egyes talajszintekből), a másik pedig a humuszosodás (a növényi részek különböző mértékű átalakulása szerves anyaggá). A közepes vízáteresztő és jó víztartó képességének köszönhetően vízgazdálkodásuk kedvező. Savanyúságuk általában csekélynek mondható, nem haladja meg a 6,6 pH-t (Stefanovits et al. 1999).

A vizsgált részvízgyűjtő hozzávetőlegesen 20%-át vízhatású (*hidromorf*) talajok borítják (Csicsákné et al. 1997). Területi részarányuk alapján egyrészt a típusos réti talajt emelem ki. A túl sok nedvesség hatására kialakult levegőtlen (*anaerob*) viszonyok keletkeznek, az így létrejövő nagy mennyiségű szervesanyag a talaj „A” szintjét szürkésfeketére, feketére színezi. A réti talaj vízgazdálkodása az egyes évek tavaszi, túlságosan nedves időszakától eltekintve kedvezőnek mondható. A túl nedves időszakot követően a megtelepedő növényzet számára elegendő nedvességet szolgáltat a szárazabb időszak átvészeléséhez. A szelvény kémhatása a talajképző közet függvényében változik (Stefanovits et al. 1999). Továbbá megemlítenéd a vízfolyások mentén húzódó árterek magasabban fekvő részeihez kapcsolódó, átmeneti talajtípus, az öntés réti talaj. Fő ismérve, hogy a réti talajokra jellemző humuszosodás valamint az öntésterületek hordalékanyagának kialakulatlansága egymás mellett jelenik meg. Vízgazdálkodásuk többnyire kedvezőnek mondható, alacsony talajvízállás esetén a tavaszi túl nedves időszak sem tart hosszú ideig (Stefanovits et al. 1999).

Az egy összefüggő foltot képező, löszös alapkőzeten kialakuló mészlepedékes csernozjom a mezőgazdasági hasznosítás céljához leginkább adaptálódó talajtípus (Csicsákné et al. 1997). Megfelelő porizitása, szemcsés szerkezete, ezért jó vízgazdálkodási tulajdonságai, nagy szervesanyag tartalma, semleges pH-ja az agrárgazdaság preferált célterületévé tette (Stefanovits et al. 1999).

Az előbbieken felsoroltakon kívül még számos további talajtípus differenciálja a pedoszféra (pl. réti csernozjom, lápos réti talaj, tőzeges láptalaj stb.), azonban részletes bemutatásuktól a csekély területi részarányuk következtében eltekintek.

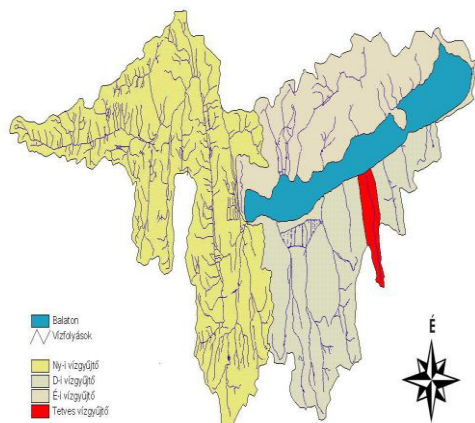
3.6. Növényzet, területhasználat, művelési ágak

A tó vonalától délre elterülő vízgyűjtő természetes állapotban néhány hektárnyi területfolttól eltekintve növényzettel fedett volt. A dombvidékek potenciális vegetációjaként említhető gyertyános és mészkedvelő tölgyesei, a Balaton-part meszes homokján kialakuló hajdani homokpusztai növényzet szinte teljes egészében ún. „lőszkultúra” területté vált. A mezőgazdasági művelés következtében az év egy részében a felszín jelentős részéről hiányzik a növénytakaró, ami az ökológiai egyensúly megbomlásával, az erózió fokozódásával, a lefolyás-viszonyok átalakulásával jár együtt (Csicsákné et al. 1997, Miholics et al. 1976).

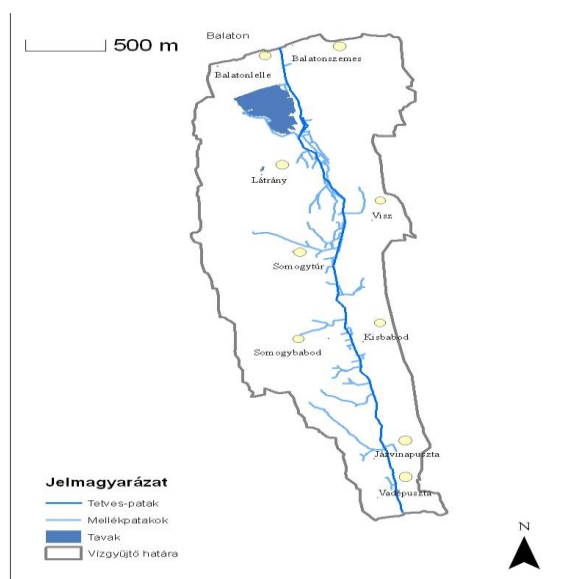
A részvízgyűjtő közel 2/3-a mezőgazdasági művelés alatt áll. E terület közel felét szántó borítja, hiszen a löszös-homokos térszín e hasznosítási mód számára kedvező lehetőségeket kínál. A rét-legelő kiterjedése előbbi 1/3-át teszi ki. A szőlő és gyümölcsös részaránya 5% körüli. Az erdők a mezőgazdasági területek mintegy 30%-át teszik ki. Általános tendenciaként megemlíthető, hogy az elmúlt évtizedekben az erdőterületek növekedésnek indultak a szántók rovására (Csicsákné et al. 1997).

3.7. A szűkebb mintaterület jellemzése

A Tetves-patak vízgyűjtője a Balaton déli, dombsági részvízgyűjtőjének 100,2 km² területű része (**4. ábra**). Döntően a Nyugat-Külső-Somogy kistáj részét képezi, az északi, torkolatkörnyéki szakasz pedig a Somogyi parti sík kistáj alkotója. A Tetves-patak főmedrének hossza 25,1 km, folyásiránya délről észak felé van (Tóth et al. 2001) (**5. ábra**).



4. ábra A Tetves-patak vízgyűjtője a Balaton részvízgyűjtőjeként (Forrás: Jakab 2009)



5. ábra A Tetves-patak vízgyűjtő területe

A Tetves-patak és vízgyűjtőjének, valamint litológiai környezetének kialakulása Külső-Somogy felszínfejlődésének folyamatába integrálódik. Geofizikai felmérések szerint a Dunántúli-középhegység és a Balaton-árok csapásával megegyezően ÉK-DNY-i irányban két nagyobb és egy kisebb kiemelkedés (maximumsor) található. A nagyobb, északi kiemelkedés Buzsák-Nagyberény, a déli Inke-Igal-Németkér között húzódik, míg a kisebb Kaposvár-Döbrököz vonalában húzódik. A maximumsorokkal azonos csapású minimumsorok találhatók, amelyek vetődésekkel kialakított, árkos süllyedékek. E süllyedékek egyikében (Tetves-árok) található mintaterületem, a Tetves-patak vízgyűjtőterülete (Szilárd 1967).

A térség alapját ősi kristályos mészkődarabok képezik, amelyek ÉK-DNY és ÉNY-DK-i irányú törésrendszerek mentén több 100 m mélységbe zökkentek. Erre rakódott a (felső)pannon kori transzgresszió hordaléke. A pliocénben 20-30 m vastagságú ferde-és kereszttrétegzett homokréteg akkumulálódott, amely litológiai hátterét nyújtotta e korban jellemző, tavak és váltakozó vízfolyások által meghatározott fluviolakusztikus vízhálózatnak. Ekkor a terület gyengén süllyedő, lapos felszín lehetett. Az alsópleisztocénben a szerkezeti mozgások intenzívebbé váltak, amelyek ÉNY-DK-i irányú, egymással párhuzamosan futó vonalakkal tagolták a térszint. A Bakonyból lefutó patakok a maguk által kialakított meridionális völgyekben haladtak a Drávamenti süllyedékbe. A középpleisztocén végén újból aktivizálódó szerkezeti mozgások hatására kialakultak a mai domborzat alapformái, amelynek nagy szerepe volt a hidrográfiai hálózat irányának megváltoztatásában is. Ekkor a pannóniai tábla egyes darabjai ÉK-DNY és erre merőleges irányú vetősíkok mentén délről északi irányba kimozdultak eredeti helyzetükből. Eközben északnyugati peremeik emelkedtek, a délkeleti részük lépcsőzetesen süllyedt, majd a denudáció hatására hosszan elnyúlt formát öltött. Mindezek eredményeként az újpleisztocén elejére egy DNY-ÉK irányú völgyhálózat jött létre, amely a Tetves-patak folyásirányát is magyarázza. A würm végi szerkezeti mozgások eredményeként zökkentek be a jelenlegi helyén a Balaton medencéje, amit a délről lefutó völgyek (Tetves-patak völgye is) posztglaciális kori bevágódásai is alátámasztanak (Szilárd 1967). A holocén folyamán mintaterületem fő felszínformáló erőhatásaként az éghajlat megváltozása, s nyomában a lineáris erózió említhető.

A területen jelentkező sokévi csapadék átlaga 700 mm, azonban a tér-és időbeli eloszlása egyenlőtlen. A Balatontól távolodva növekvő csapadékmennyiség maximuma júniusra tehető. A nyári hónapokban átlagosan 70 mm csapadék hull a vízgyűjtőn, a téli időszakban 40 mm. A tavasz és nyár végén jelentkező heves zivatarok, felhőszakadások jelentős eróziós potenciállal rendelkeznek, amelynek mértéke a felszínborítottság függvényében változhat (Dezsény 1984). Mediterrán ciklonok kisebb intenzitású, hosszabb

időtartamú esőzéseket idéznek elő, amelyek hordaléktermelés szempontjából kisebb jelentőségűek (Jakab és Szalai 2005). Az évi középhőmérséklet 10,1oC. A fagyos napok száma sok év átlagában 95, míg a hótakarós napoké 35-40 között mozog. A jellemző szélirány É-ÉNy. Az átlagos evapotranspiráció 555-560 mm (Tóth et al. 2001).

A Somogy flórajárásba tartozó Tetves-patak vízgyűjtő területén egészen a XVIII. századig az őshonos vegetáció uralkodott. Azonban az emberi beavatkozások fokozódása révén a természeti környezet hemeróbia szintje erőteljesen növekedett, a szántóterületek mind nagyobb mértékben kiszorították a tölgyerdőket. A természetes növényzet csupán foltokban lelhető fel, legjelentősebb maradvány a látránypusztai ősgyep. Napjainkban a fás szárú vegetációt elsősorban telepített társulások – így akácok és erdei fenyvesek – jellemzik, de helyenként cseres tölgyesek emlékeztetnek az őshonos erdőségekre (Jakab 2009).

A Tetves-patak vízgyűjtő területének uralkodó természetes növénytakaróját a zárt erdőségek jelentették, amelyek jellemző talajtípusa a barna erdőtalaj, amely a löszös talajképző kőzeten ma is jelentős részarányban képviselteti magát a patakmedertől távolabbi, nagyobb átlagmagasságú térszíneken. Az ember mind nagyobb mértékű megtelepedése miatt jelentkező erdőirtások, s nyomukban a szántóterületek területi arányának növekedése az uralkodó talajtani folyamatok átalakulásával járt. A növénytakaró változása révén megváltozó pH viszonyok, valamint az intenzívebb kilúgozódás hatására agyagbemosódásod barna erdőtalajok vették át helyenként a zonális talajtípus helyét. A talajtani folyamatok másik legjellemzőbb átalakulása a szelvényben jelentkező kétirányú vízmozgás, amelynek köszönhetően a löszös alapkőzeten megkezdődött a felső talajréteg meszesedése, és a talajprofil egyre inkább eltolódott a csorozjom-képződés felé.

Az alacsonyabb, patakmeder közelében lévő területeken a vízborítás mértékének függvényében öntés-és réti talajok találhatók (Jakab 2009).

3.8. Eróziós folyamatok és azok hatása a Tetves-patak vízgyűjtőjén

A Tetves-patak vízgyűjtőjén végbemenő különböző eróziós folyamatok termőföldekre gyakorolt káros hatása ismert, ám a denudált anyag akkumulációja által előidézett kedvezőtlen folyamatok mostanáig nem képezték a tudományos vizsgálatok tárgyát. Azonban a lepusztult majd felhalmozott anyag jelentős veszélyt jelent egyes településekre, eltemeti a növényeket, feltölti a csatornákat, valamint az úton átfolyva balesetveszélyt idézhet elő. Az e hatásokat megelőző denudáció különböző mélységben érinti a talajszelvényt. A csepperózió, a felületi rétegerózió (lepelerózió) és a vonalas erózió a talaj

felső, 20 cm-ét pusztítja, míg az árkos erózió a mélyebb rétegekre is hatással van (Jakab et al. 2006).

Az egyes lineáris formák elkülönítése napjainkban is nehézkes feladat a nem következetesen használt fogalmak miatt. Az általánosan elfogadott tipológia szerint (a korábban definiált vízmosások mellett) elkülönítenek többek között barázdákat, időszakos vízmosásokat és mélyutakat. A barázdák a vízmosásnál kisebb, 50 cm-t nem meghaladó szélességű és mélységű negatív formák. Az időszakos vízmosások kizárólag művelt területeken (szántóföldeken) jelennek meg, amelyek a folyamatos mezőgazdasági tevékenység következtében nem jutnak túl a barázda fázison. A víz koncentrált lefolyása általi bevágódás és a talajmunka periodikus ismétlődésének hatására deráziós völgyhöz hasonló formák jönnek létre, amelynek hiányzó anyaga a lineáris erózió által került elszállításra. Ezek a képződmények a művelés felhagyását követően megszűnő talajmunka révén vízmosássá válhatnak, méretbeli korlátozásoktól függetlenül. A mélyutak a közlekedés hatására megjelenő keskeny és mély eróziós formák (Jakab 2008).

E folyamatokhoz feltétlenül szükséges pillér a laza talajképző kőzet. A Tetvespatak vízgyűjtőjén lösz, löszös homok, folyóvízi homok, valamint homokos lösz az uralkodó, így az erózió litológiai feltétele adott (Jakab et al. 2005).

A létrejövő lineáris formák kialakulásában és funkcionalitásában a meteorológiai/hidrometeorológiai viszonyok is jelentős szerepet játszhatnak. Egy adott csapadékmennyiség és intenzitás révén a vízmosások „csupán” az anyagszállításban vesznek részt, azaz a felületi rétegerózió által megmozdított feltalajt transzportálják az erózióbázis irányába. Azonban egy bizonyos csapadékindenzitás fölött a vízmosás maga is erodálódni kezd, ezért az anyagtermelés, a lineáris erózió színterévé is válik (Jakab 2008).

A területhasználatban jelentkező változások szintén erős korrelációt mutatnak az erózió mértékének alakulásával (Szilassi et al. 2006). A korábban bemutatott gazdasági-társadalmi politikai folyamatok hatására a Tetves-patak vízgyűjtőterületén is az országos tendenciákhoz igazodó változások mentek végbe földhasználat vonatkozásában. A rét-legelő és szántóterületek csökkenése, valamint az erdők folyamatos terjeszkedése figyelhető meg. Utóbbi oka részben a felhagyott, korábban művelés alatt álló földterületek spontán beerdősülése, valamint a szervezett erdőtelepítés. A kertek és gyümölcsösök arányának növekedését a nyári turizmus szülte igény idézte elő, és a kertes nyaralóházak tulajdonosai saját szükségleteik kielégítése céljából is telepítették őket. A művelés alól kivont területek az úthálózat valamint a települések térhódítása következtében jelentősen növekedtek (Szilassi

2006). A földhasználat jellege és a lineáris erózió közötti kapcsolat igazolására több kutatási eredmény említhető (Jakab et al. 2005).

A Tetves-patak vízgyűjtő területén vizsgált lineáris eróziós formák hossza erőteljesen növekedett a mintaterületen végzett tudományos kutatás időintervallumában (1970 és 2004 között). 1984-es évet megelőzően a rövidebb vízmosások hosszának növekedése volt erőteljesebb, míg a vizsgálat utolsó 2 évtizedében a növekedés a hosszabb képződményekre tevődött át. Ennek háttérében egyrészt a mezőgazdasági táblák tömbösítése által generált koncentrált lefolyás, másrészt a privatizációt követő csatorna-és árokrendszer karbantartási munkálatok elmaradása húzódik (Jakab et al. 2005).

A mintaterületen található vízmosások aktivitása összességében csekélynek mondható, azaz e formák túlnyomó része (kb. 75%-a) nem aktívan formálódó, csupán a lepelerózió által termelt anyagot szállítják tovább. A lineáris formák típusa és aktivitásuk között kapcsolat mutatható ki. A kisebb számban előforduló időszakos vízmosások mentén a gazdálkodás következtében nagymértékű talajveszteség tapasztalható, ily módon e formák az anyagtermelés folyamatában is részt vesznek. A mélyutak szintén jelentős mennyiségű anyagot szállítanak az erózióbázis felé. A járművek denudáló hatása végett a keréknyomokban koncentrált lefolyás mehet végbe, amely erőteljes bevágódást indukál. Ezért ezek az eróziós formák szintén nagy aktivitással rendelkeznek. Az utak felhagyását követően a káros hatás megszűnhet és megkezdődhet a növénytakaró megtelepedése is (Jakab et al. 2005).

Elterjedt az a tévhit, hogy vízmosások erdőterületek alatt nem találhatók. Valójában a Tetves-patak mentén e formák döntő többsége (70%) éppen erdőben húzódik. Egy adott területen a vízmosások fejlődésének a fásítás mellett az egész vízgyűjtőt érintő, a felszíni lefolyás minimalizálását célul kitűző vízrendezés szabhat határt. A vízmosások növekedésének megakadályozása szántóföldeken megfelelően karbantartott vízelvezető csatorna-és árokrendszerekkel valósítható meg (Jakab et al. 2005).

A vízmosások döntő többsége barna erdőtalajokkal fedett, nagyobb reliefenergiával bíró területeken fordul elő (58%). Azonban a völgyfenéken elhelyezkedő, kis szabdaltságú réti-és öntéstalajokon (9%) is megtalálhatók e formák. E talajokon a lineáris formák létrejötte főképp a szántóföldi műveléshez köthető, ily módon az időszakos vízmosások dominálnak (Jakab et al 2005).

Az eróziós folyamatok hatással vannak az érintett közeg kémiai összetételére, közvetett módon pedig az ökoszisztémára is. Vizsgálatok alapján bebizonyosodott, hogy a Balaton eutrofizációjában nagy szerepet vállaló foszfor oldott formában is migrál, amely a

talajvízbe mosódva szállítódik a tó felé. Az oldott nitrogénformák közül a felszíni elfolyásokban az ammónium, míg a felszín alatti közegben a nitrát dominált. Az alkalmazott szerves-és műtrágyák szintén hozzájárulnak a környezetterhelés növeléséhez (Tóth et al. 2001).

Összegzésként elmondható, hogy a felületi erózió és a lineáris erózió által megmozdított, majd a vízgyűjtő területéről eltávozó anyag mennyisége közel azonos. Ennélfogva felmerült a kérdés, hogy melyik folyamatba érdemes beavatkozni? Mindkét folyamat jelentős kárt okoz, így védekezni kell ellenük. A lehető legkisebb befektetéssel a maximális haszon elérése a lineáris erózió folyamatába történő beavatkozással érhető el, hiszen az általa létrehozott formák szerepe kettős: egyrészt anyagszállító funkcióval bír, valamint az anyagtermelés színterei is lehetnek. Döntéshozáskor figyelembe kell venni a gazdasági, ökológiai, turisztikai szempontból egyaránt kiemelkedő jelentőségű Balaton védelmét (Jakab 2008).

4. Alkalmazott módszerek

A vízgyűjtőn belüli (szét)kapcsoló formák térben és időben változó képződmények, amelyek az hordalékszállításra gyakorolt hatásukon keresztül számos folyamatot befolyásolnak. E formákról szerzett tudományos ismeretek bővítése a geomorfológia fontos jövőbeni feladata. Ezért is tartom fontosnak a puffer-akadály-takaró vizsgálatát. Feladatom két részfolyamatból tevődött össze: egyfelől terepi mérésből, illetve az előbbit alátámasztó és kiegészítő számítógépes adatfeldolgozásból.

1. Terepi mérés

Munkám terepi szakaszában a Tetves-patak futásvonalán gyalogosan haladtam végig. A helyi és területi méretarányhoz integrálható, vizuálisan azonosítható (szét)kapcsoló elemek (zsilipek, áterasz, ok növényzeti sávok, útvonalak, töltések, falvak, uszadék- és hordalékdugók) pontos helyzetét GPS segítségével rögzítettem, valamint az egyes formákat osztályba soroltam. A hordalékcsapdák magasságát, szélességét, hosszát meghatároztam, valamint anyagi összetételüket jellemeztem.

2. Térinformatikai szoftverrel végzett vizsgálatok

Munkám során az ArcGIS 9.3. térinformatikai szoftvert használtam. Elkészítettem a mintaterületem digitális domborzati modelljét, amely segítségével lehetőségem nyílt az eróziós és akkumulációs térszínek rendszerszintű vizsgálatára. Adatforrásul az 1:10 000 méretarányú topográfiai térkép adott területet ábrázoló szelvényei szolgáltak. Első lépésként az elsődleges bemeneti adatként szolgáló szintvonalak (polilyne típusú adat) digitalizálását végeztem el. A modell pontosítása érdekében további vonalas objektumok (Tetves-patak és mellékvízfolyások, vízmosások) valamint a sokszög alapú (poligon típusú adat) tavak digitalizálása következett. A modell térbeli határát a vízválasztó jelentette. Az előbbieken bemutatott bemeneti adatokból a „topo to raster” eszköz segítségével készítettem el a mintaterületem domborzati modelljét. Majd a hidrológiai modul segítségével elkészítettem a terület lefolyás-térképét. Ezután a terepi fázisban feltérképezett hordalékforrások és csapdák térbeli megjelenítését végeztem el. A két munkafázis során nyert információk egyfajta szintéziseként a szoftver segítségével meghatároztam a Tetves-patak effektív vízgyűjtő területének nagyságát is.

5. Eredmények

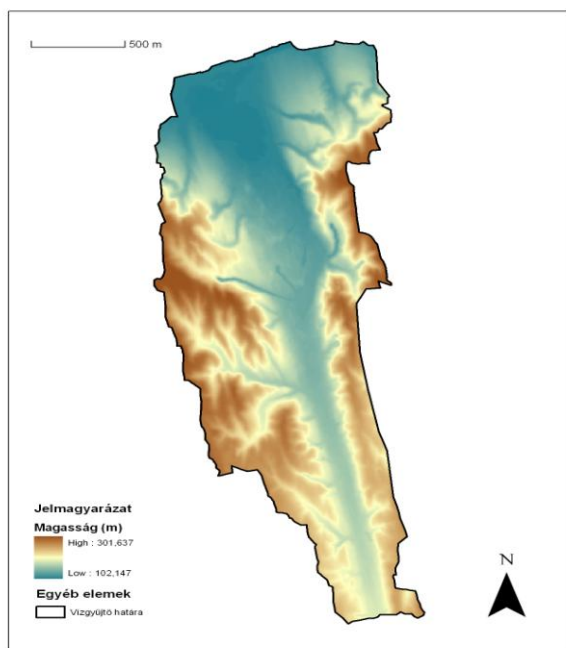
Munkám során az volt a célom, hogy a Tetves-patak vízgyűjtőjén a kapcsoltsági viszonyok komplex módon kerüljenek bemutatásra. Munkám fő vizsgálati tárgya az hordalékcsapdák bemutatása, de a rendszerszintű elemzés miatt az hordalékforrások taglalása is elengedhetetlen, hiszen az akkumulált anyag termelődésének térbelisége is a hordalékdinamika szerves része. A hordalékdinamika fenntartásában a lejtőviszonyok szerepe meghatározó, ezért mindenek előtt szükséges a mintaterület digitális domborzati modelljének elkészítése és a lefolyás modellezése.

5.1. Hordalékforrások a Tetves-patak vízgyűjtőjén

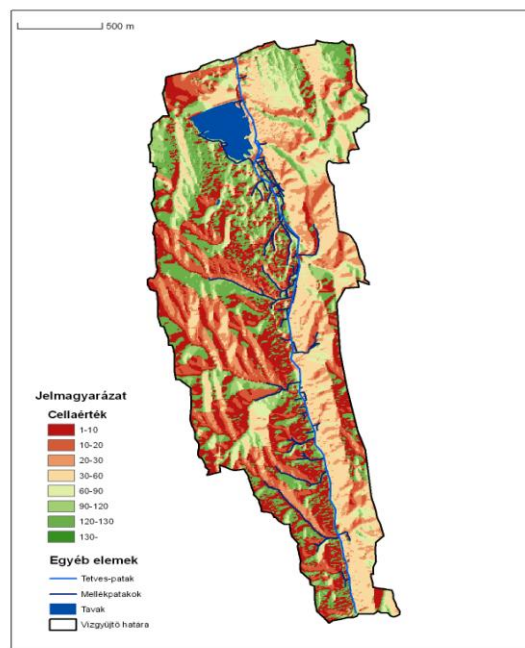
A Tetves-patak vízgyűjtő területének tengerszint feletti magassága 102-302 m közé tehető. A mintaterület domborzati viszonyai alapján két részvízgyűjtő területre osztható: egy vízmosások által felszabdalt felső (déli), valamint egy síkvidéki alsó (északi) szakaszra (Jakab 2009). A patak futásvonala a völgyi vízválasztóból kiindulva északi irányba fokozatosan alacsonyodó térszínen halad, miközben a tágabb földrajzi környezet a fővölgytől keleti és nyugati irányban emelkedik (**6. ábra**). A vízgyűjtő nyugati oldalán északnyugat-délkeleti, míg a fővölgytől keletre délkelet-északnyugati lefutású völgyek húzódnak (**7. ábra**). A lefolyástérkép által jelzett számok az adott cella felé lejtő cellák számát adják meg. A kisebb számok magasabb térszíneket (eláramlási zóna), a nagyobbak pedig alacsonyabb területeket (összegyülekezési zóna _ völgyek, medencék) jelölnek. A vizsgálat során a lefolyás iránya mellett meghatározó tényező az esés nagysága, amely az erózió mértékét határozza meg. A vízgyűjtőn a 0-5%-os lejtőterületek dominálnak (~45%), amelyek a patak fővölgye mentén, valamint a déli síkvidéki szakaszon koncentrálnak. A fővölgytől távolodva a vízgyűjtő pereme, illetve a vízgyűjtő déli szakasza felé haladva fokozatosan nagyobb meredekségű lejtők kerülnek túlsúlyba. Az 5-12%-os lejtőkategóriába tartozó területek a vízgyűjtő közel 30%-át teszik ki (28%), a 12-17%-os és a 17-25%-os lejtők a terület 10-10%-át érintik, míg a 25% feletti lejtőkategóriába tartozó térszínek a vízgyűjtő terület mintegy 5%-át adják (**8. ábra**). E lejtőviszonyok kedveznek a mezőgazdasági tevékenység számára. A mintaterületen a löszös alapkőzet fokozza az erózió-veszélyeztetettség mértékét (Stefanovits et al. 1999).

A mintaterület egyik legfontosabb hordalékforrásai az **erodálódó mezőgazdasági területek**. Az eróziós potenciál mértékét az adott terület talajtani adottságai mellett a

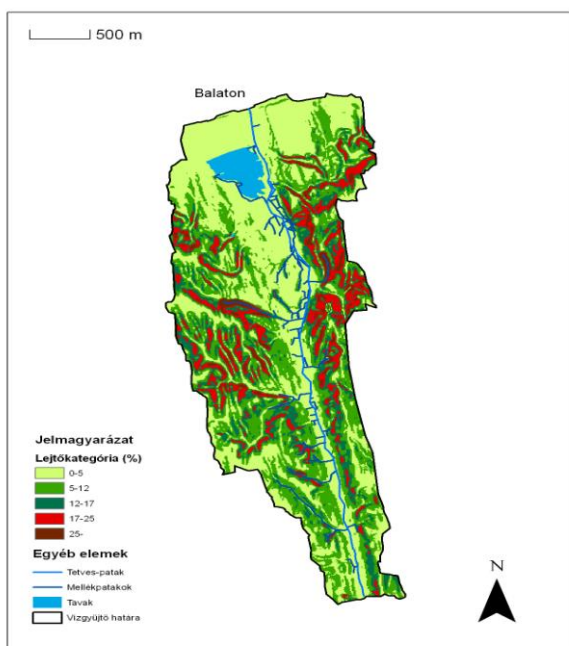
felszínborítás mértéke határozza meg, amit a területhasználat jellege befolyásol. A szántóföldi művelés 0-5%-os meredekségű lejtőn a legoptimálisabb. A 12-17% közötti lejtők már talajvédelmi beavatkozást igényelnek. 17% feletti meredekség esetén már jelentős az erózióveszélyeztetettség mértéke (Stefanovits et al. 1999). Ezért a vízgyűjtő elsődleges hordalékforrásai a nagy lejtőszögű (17% feletti) szántók. A szántóterületek 45 km²-en húzódnak (**9. ábra**), ebből 8 km² található 17% fölötti meredekségű lejtőn (**10. ábra**).



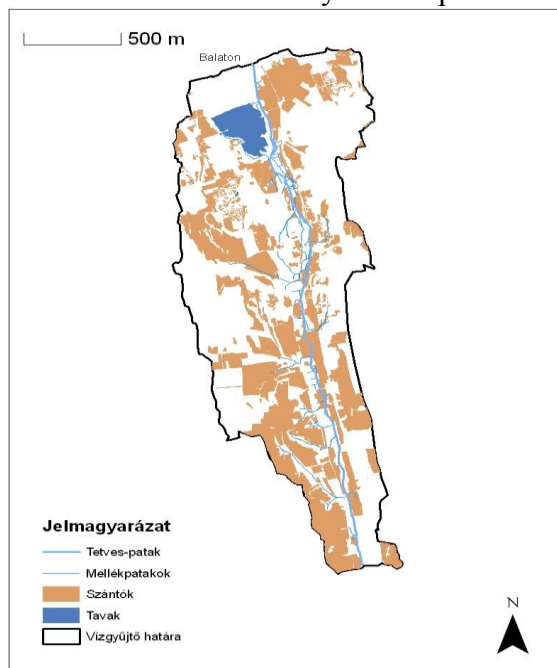
6. ábra A Tetves-patak vízgyűjtő területének digitális domborzati modellje



7. ábra A Tetves-patak vízgyűjtő területének lefolyás-térképe

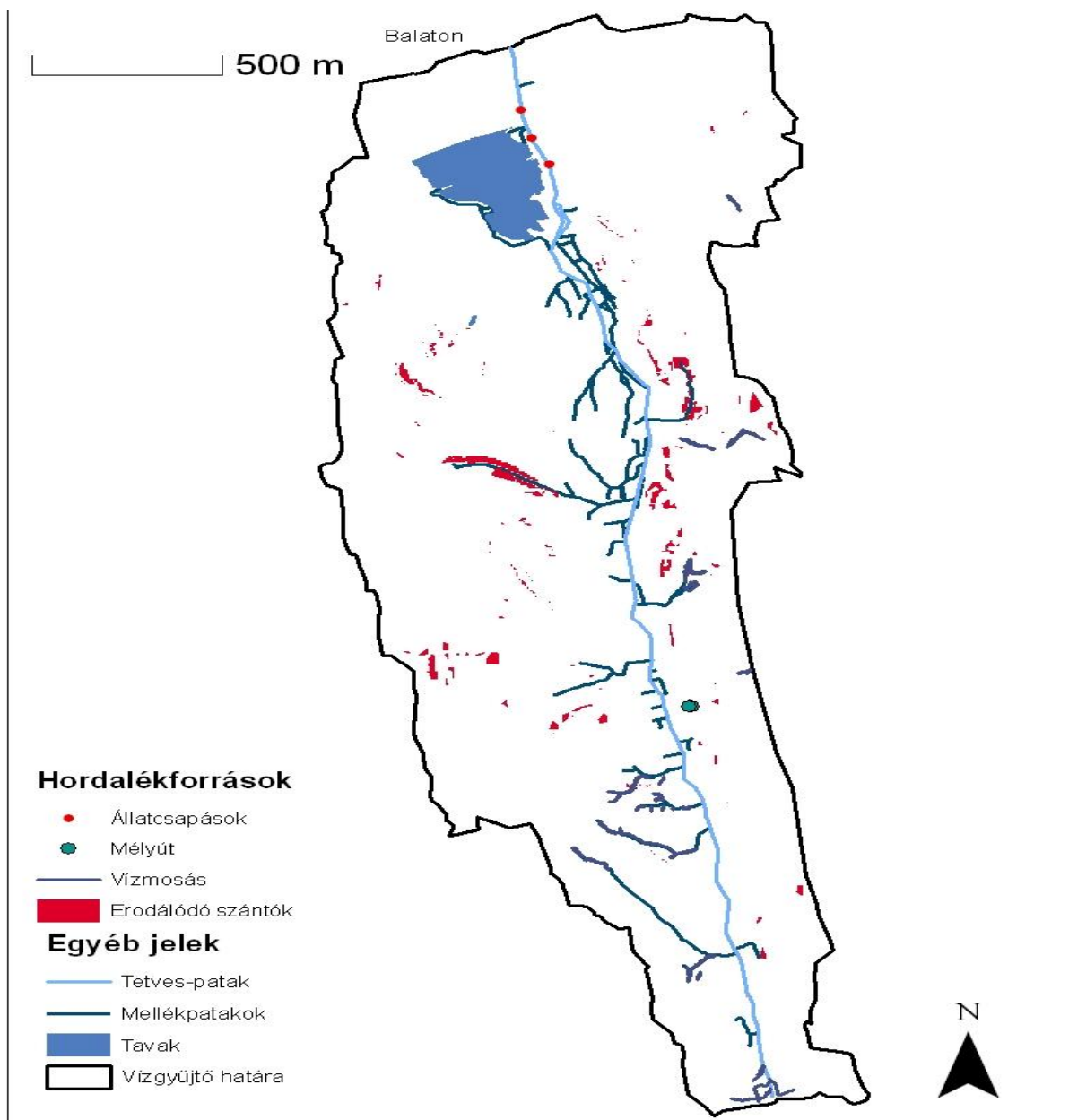


8. ábra A Tetves-patak vízgyűjtő területének lejtőkategória-térképe



9. ábra A Tetves-patak vízgyűjtő területén található szántók

További fontos hordalékforrások a **vízmosások**. A Tetves-patak forrásvidéke völgyi vízválasztóhoz köthető. Ezen a területen a környező szántókról és a keleti oldalon levő erdőből (Jakab et al. 2005) a lehulló csapadékvíz és az általa szállított hordalék elvezetésre kerül a topográfiai térkép által nem jelölt – a terepbejáráskor száraz – vízmosásokban a patakmeder felé (**9. ábra**). A vízmosások a nagy esésű térszíneken a heves esőzések eróziója miatt alakultak ki.



10. ábra A Tetves-patak vízgyűjtő területén található hordalékforrások térbelisége

A középső részvízgyűjtőn a patak futásvonala egyre közelebb kerül a 67-es út nyomvonalához. Keleti partján a patak felé alacsonyodó, löszös térszín húzódik, amely optimális lehetőséget teremt mezőgazdasági hasznosításra. A területen egy mélyút vezette el a

lehulló csapadékvizet, amely a lejtésviszonyokhoz igazodva a patakba került. Azonban 2010 áprilisában a nagy mennyiségű csapadék hatására a stabilitását veszített mélyút 7-8 m mélyen kimélyült **(11.a és 11.b ábra)**. A számításaim szerinti több mint 100 m^3 anyag erodálódott le a löszszakadékból.



11.a ábra A mélyút erodálódó oldala



11.b ábra A mélyút erodálódása révén keletkezett löszszakadék

Bár hordalékot alig szolgáltatnak, hordalékforrásnak tekinthetők az állatcsapások, amelyeket az erózióbázishoz közeledve találtam a patakon keresztül (3 darab), ahol a taposáserózió révén az érzékenyebb növényfajok kipusztultak **(9. ábra)**. A vadak patakon történő átkelésének helyszínei hordalékforrásként funkcionálnak. A vadak élettevékenységüktől (átkelés, dagonyázás stb.) függően a fél métertől egészen a 2-3 méteres sugarú körben mélyíthetik a patak medrét 30-40 cm mélységig, valamint taposásuk révén erodálhatják a mederfal anyagát, a meder (akár 20-30 cm-es) oldalirányú tágulását eredményezve.

Összefoglalásként elmondható, hogy a hordalékforrások által szolgáltatott anyag mennyisége jelentősen eltér. A felső részvízgyűjtőn, valamint a középső részvízgyűjtő keleti peremén nagy számban előforduló vízmosások az erodált anyag mintegy 60%-ának szállítását végzi. A mélyút térben koncentráltan több 100 m^3 hordalékot juttat a dinamikai rendszer számára. Az alsó részvízgyűjtő területen található állatcsapások igen csekély hordalék-utánpótlást (az összesen erodált anyag mennyiségének mintegy 0,01%-a) eredményeznek.

5.2. Pufferek a Tetves-patak vízgyűjtő területén

A pufferek elsődleges szerepe az agressziós hullám energiatranszportjának, a leerdálódó, valamint szállított hordalék mederbe jutásának gátlása (Meade 1982). Többféle forma vagy forma-együttes található a mintaterületemen is, amelyek különböző idő-és térbeli méretarányban végzik puffer-hatásukat.

A felső részvízgyűjtőn nagyméretű, lépcsőzetes lejtésű térszínek találhatók, amelyek az eltérő keménységű kőzeteken a különböző mértékű erózió hatására alakulnak ki. A hordalék a tereplépcső peremén lerakódik, növelve annak magasságát (Lampért 2006), valamint gátolva az anyag patakmederbe kerülését. E szétkapcsoló formák szélessége 4-5 m, hosszuk 30-40 m.

Ezen kívül különböző kiterjedésben gátolhatja az anyag-és energiaáramlást a rendkívül sűrűn elhelyezkedő növényzet is. A felső szakasz erdősödő, bokrosodó részein fás szárú vegetáció fejti ki elsődlegesen pufferelő hatását, a vízgyűjtő alsóbb részein pedig lágy szárú növényzet (zsiókás) akadályozza az anyag valamint az agressziós hullám tovaterjedését **(12. ábra)**.

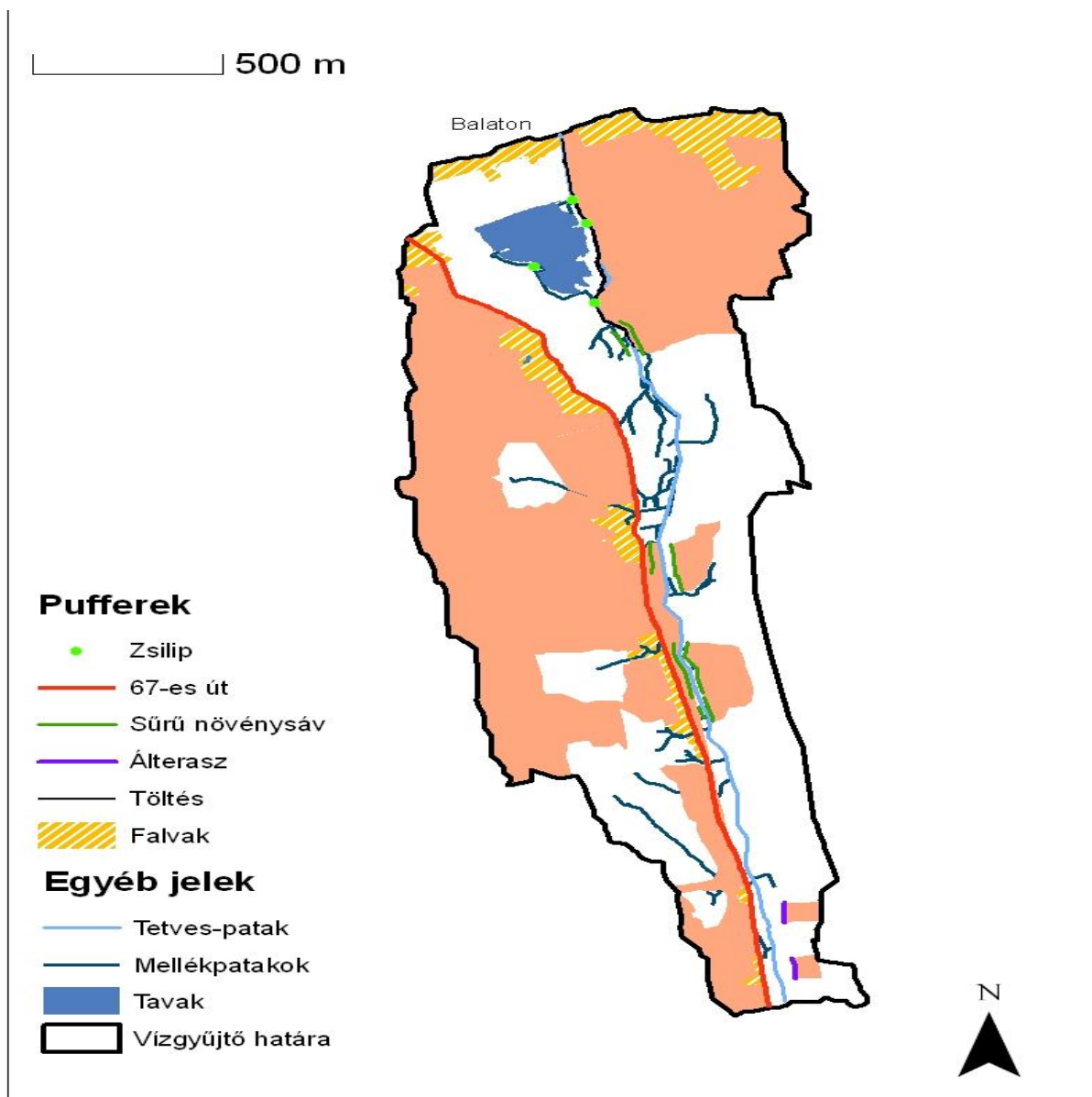
A 67-es főút – az előterében húzódó falvakkal – elsődleges szerepet tölt be orográfiai helyzete révén a nyomvonal túlsó oldaláról származó anyag szállítódásának gátlásában. E hatást leginkább a vízgyűjtő középső szakaszán fejti ki a medertől való kis távolságának köszönhetően. A mögöttes növényzeti sáv (nádas-zsiókás) pedig másodlagos puffer-sávként az agressziós hullám haladását gátolja.

Az alsó részvízgyűjtő egy részén, a patakmeder két oldalán mesterséges töltés húzódik. Létrehozásának elsődleges célja a villámárvizek kivédése, és azok következményeinek mérséklése. A töltés a keleti parton hosszabb, folyamatos vonalú. A vízgyűjtő keleti pereme irányából érkező anyagutánpótlás a töltés teljes hosszában csapdázódik. Ezen kívül a nyugati parti töltéstől szélesebb, medertől pedig kismértékben távolabb helyezkedik el, másodlagos puffer-sávként funkcionál. Az anyag- és energiaszállítás elsődleges puffer-sávja a 67-es út, a töltés az agressziós hullám továbbítódását gátolja.

Az alsó részvízgyűjtőn több zsilip is található, amelyek a környező halastavak vizének patakba áramlását hivatottak szabályozni. Ezek a zsilipek zárt állapot mellett működtetésükből fakadóan puffert képeznek a víz és a benne szállított anyag mederbe kerülésével szemben.

Összességében a pufferek által szétkapcsolt terület 56 km^2 , amely a teljes vízgyűjtő 56/-a. A 67-es út a falvakkal kapcsolja szét a nyugati részvízgyűjtő jelentős részét (33 km^2). A

keleti részvízgyűjtő felső-középső szakaszán azonban több, kisebb kiterjedésű (álteraszok és növényzeti sávok által) szétkapcsolt terület található.



12. ábra A Tetves-patak vízgyűjtő területén található pufferek és az általuk szétkapcsolt részek

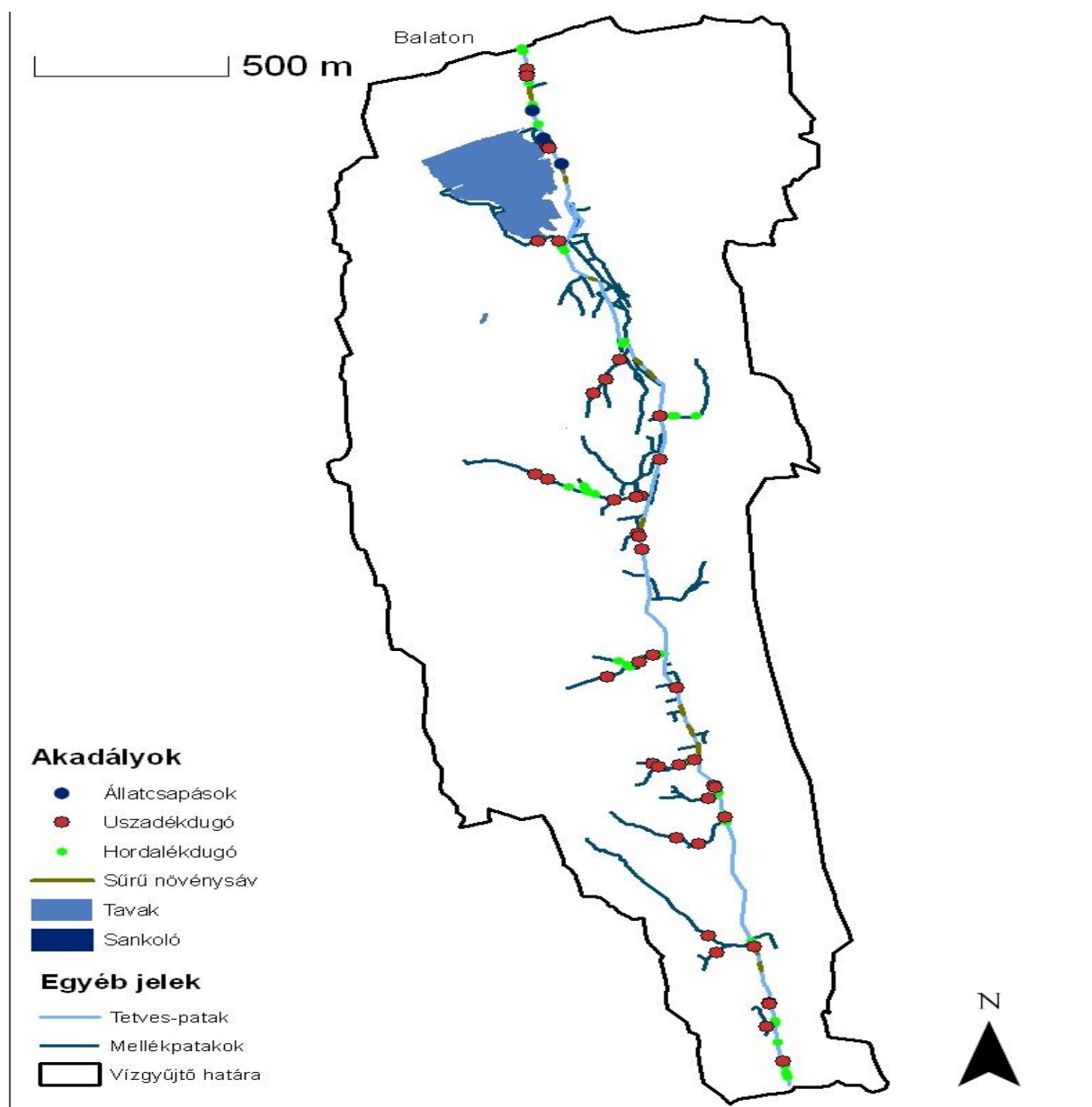
5.3. Akadályok a Tetves-patak vízgyűjtő területén

Az akadályok elsősorban a mederbe került anyag tovaszállítását gátolják, azaz a longitudinális szétkapcsoltság kialakulását idézik elő (Tooth et al. 2002). A pufferekhez hasonlóan az agressziós hullámok hatására idő- és térbeli konfigurációjuk eltérő lehet.

A Tetves-patak vízgyűjtő területén az egyik leggyakoribb akadályként az uszadékdgúg tartható számon (**13. ábra**). A mintaterület felső szakaszán a vizsgálat idején számos uszadékdgúg fordult elő, melynek elsősorban hidrológiai és hidrometeorológiai okai vannak. A patakmeder a felső szakasz tekintélyes hányadán (45%) teljesen kiszáradt állapotban volt, így kitűnően látszottak az inaktív mederben a korábbi villámárvizek nyomai. Mindezt a mederben található, változatos méretű gallyak, ágak, helyenként fák törzsei által épített fauszadékok bizonyították. E formák eredetükből kifolyólag igen nagyméretűek, hiszen akár a meder teljes keresztmetszetét kitölthetik (előfordult 2,5 m hosszúságú, 25-30 cm vastagságú uszadék is). A teljes keresztmetszetet átölelő akadályok mögött feltorlódó vízkészlet tömege révén nagy energiával rendelkeznek, s a fauszadékon átjutva nagy eséssel egyenlíti ki a generált szintkülönbséget, a hordalék pedig az uszadék mögött akkumulálódik. Ez a jelenség az ún. „filter-hatás”, ami a hidrodinamikában energiaszabályozó folyamat, a cascaderendszer önszabályozó mechanizmusa (Fryirs és Brierley 1999). A középső és alsó szakaszon a kisebb esés következtében a lágyszárú uszadékok akkumulációját tapasztaltam (főleg gallyak, levelek), amelyek kisebb kiterjedésűek (40-60 cm hosszú, csupán néhány cm magas uszadékok). A kisebb méretük ellenére a csekély áramlási sebesség következtében jelentős befolyásuk van a hordalékdinamikára. Közepes erősségű zavaró hatás mellett már mobilizálódhatnak a lágyszárú növényzeti részekből felépülő uszadékdgúgok, ellenben az erős, vagy extrém nagyságú agressziós hullámok hatására mozgásba jövő fauszadékokkal.

A vízgyűjtő felső szakaszán, a szűk völgyek azon részein, ahol hirtelen eséscsökkenés figyelhető meg, hordalékdgúgokat találtam. Kialakulásának oka a vízmunkavégző képességének leredukálódása. E formák két, jelentősen eltérő lejtőkategóriába tartozó terület határán figyelhetők meg (**ld. 8. ábra**). E szétkapcsoló elemek nagyobb szemcseméretű anyagból épülnek fel, szabálytalan formájúak, általában 45-50 cm szélesek, maximum 25 cm magasak. Előfordulnak meglehetősen nagy számban (6-7 db) a felső, vizsgálatom idején kiszáradt mederszakaszon, a fauszadékok előterében (**13. ábra**). Ennek okai a fatörzsek által befolyásolt áramlási viszony, hiszen itt a víz anyagszállító-képessége töredékére csökkent. A felső részvízgyűjtő alsó szakaszán az epizodikusan megjelenő hozzáfolyások torkolatánakközelében medertágulatok találhatók, ahol a lecsökkent fluviális

munkavégző képesség hatására szintén hordalékdugók képződnek. Utóbbiak finomabb anyagból épülnek fel, ezért laposabb formájúak, mintegy 30-40 cm szélesek, 15-20 cm magasak. A vízgyűjtő alsó szakaszán a csekély áramlási viszonyok következtében a legfinomabb anyagból kialakuló hordalékdugók jönnek létre, amelyek az akkumuláció révén szélesebbek (40 cm) és alacsonyabbak (10-15 cm), valamint a torkolat közelében találhatók nagyobb számban (5-6 db). E formák már közepes erejű zavaró hatások mellett mobilizálódhatnak.



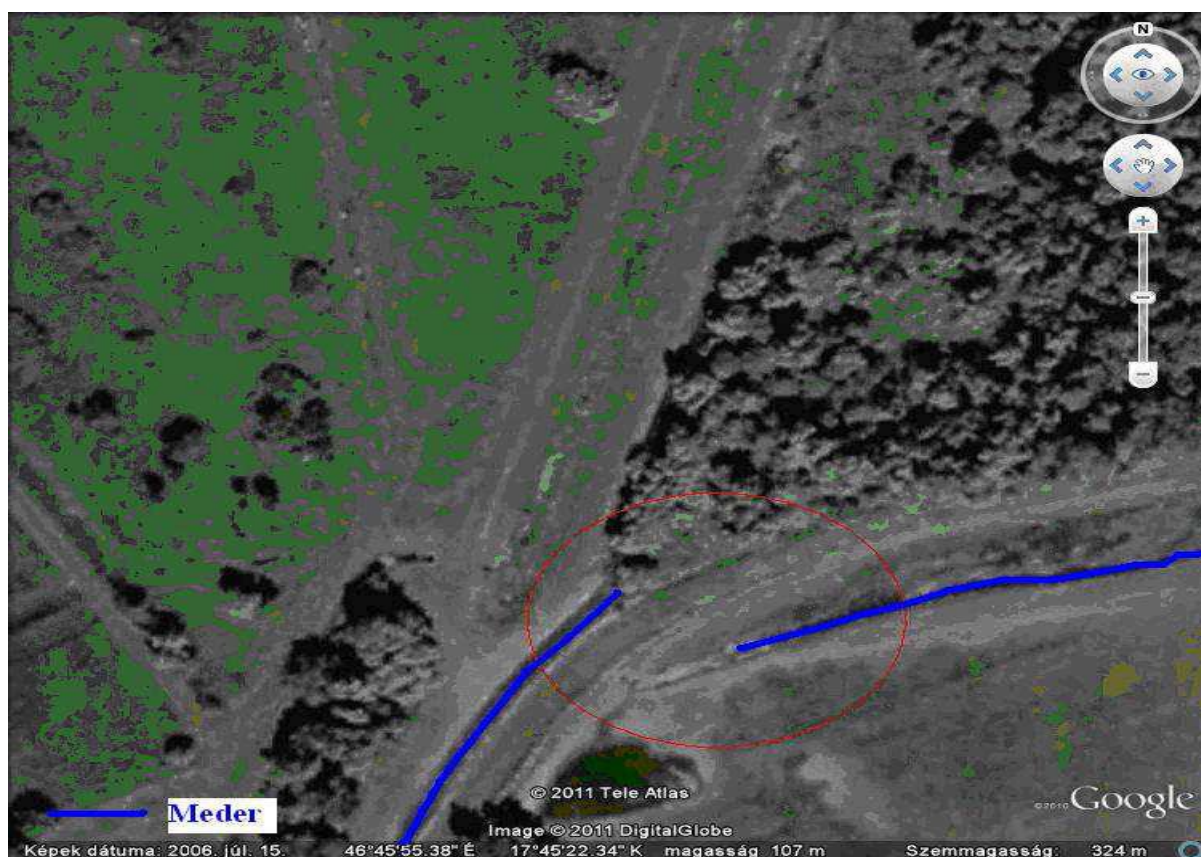
13. ábra A Tetves-patak vízgyűjtőjén található akadályok térbelisége

Az alsó részvízgyűjtőn a relatív relief jelentős csökkenése révén az áramlás erőssége, így a fluvialis munkavégző képesség is csökken. Mindez kedvez a gyékény, a nád és a sás

megtelepedésének. E növényfajok a patakmeder keresztmetszetét részben vagy teljes egészében lefedik, jelentős akadályt képezve a hordalékszállítás előtt.

A patak alsó szakaszán a nagy mennyiségű hordalék visszatartására az 1970-es években sankolóteret hoztak létre, amelynek keleti oldala természetes völgyoldal, a nyugati pedig mesterséges. 1985-től tervben van egy újabb sankolóter kialakítása, de azóta sem valósult meg. Előterében, a patak nyugati partján húzódó halastavak szintén hordalékfogó funkciót töltenek be. Mindkét antropogén akadály vízutánpótlása a Tetvespatakából történik, amelyre középvíz és nagyvíz idején nyílik lehetőség, a tavaszi és nyárvégi időszakban (Jakab et al. 2006).

A Tetves-patak alsó szakaszán az akadályok egy igen különleges példája említendő meg. Antropogén beavatkozás következtében a meanderező patak medre elgátolódott, és a közvetlen közelében egy új mederben folytatja útját, ezzel teljes gátat szabva nem csak a vízmozgás, hanem a teljes anyag-és energiátranszport előtt **(14. ábra)**.



14. ábra A két meder fekvése, helyzete műholdfelvételen *(forrás: GoogleEarth)*

5.4. A Tetves-patak effektív vízgyűjtő területének meghatározása

Az effektív vízgyűjtő a vízgyűjtő azon része, amelyről a hordalék a rendszerbe juthat. Nagysága térben és időben változhat, amelyet a szétkapcsoló elemek konfigurációja határoz meg. E formák mintázatát az agressziós hullámokkal szembeni ellenálló képességük befolyásolja, mobilizálódásuk következtében az effektív vízgyűjtő területe is változhat (Graf 1988).

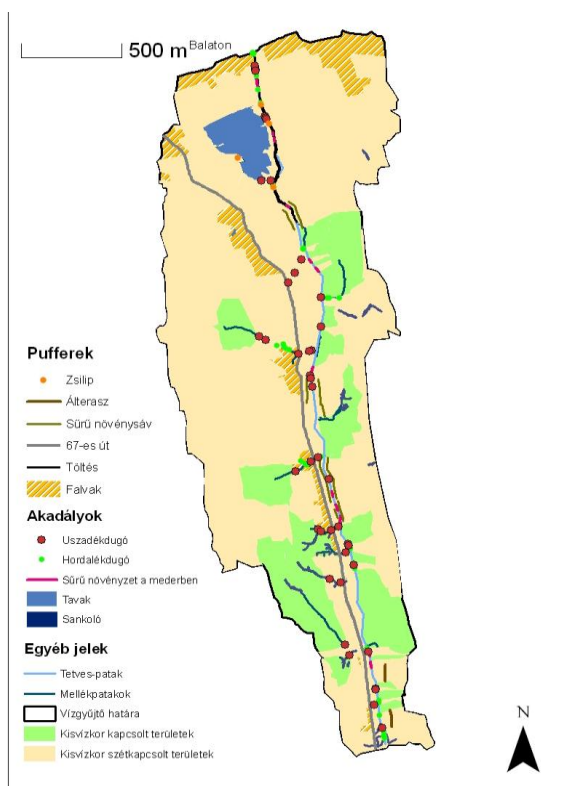
Mintaterületem effektív vízgyűjtő területét a vizsgált, kisvizes időpontban azok a vízfolyás-szakaszok és a velük kapcsolt állapotban levő térszínek adják, ahol a megfelelő mértékű esés – szétkapcsoló elemek hiányában – biztosítja az anyag-és energiaáramlást. A Tetves-patak effektív vízgyűjtő területe 23,9 km²-nek adódott az ArcGIS 9.3. térinformatikai szoftver segítségével végzett számításaim alapján, amely a 100,2 km²-es teljes vízgyűjtő területnek hozzávetőlegesen 25%-a. A kapcsolt térszínek elsősorban a nyugati parti mellékfolyók felső szakaszán, valamint a fővölgy felső-középső szakaszához kapcsolódó nagy relatív relief energiával bíró lejtőin találhatók. A vízgyűjtő alsó szakaszán nincsen az effektív vízgyűjtő terület részét képező terület.

A mintaterületemen vizsgált szétkapcsoló elemek ellenálló képességük függvényében különböző erősségű agressziós hullámok hatására mobilizálódhatnak, módosítva az általuk befolyásolt földrajzi környezet kapcsoltsági viszonyait, továbbá az effektív vízgyűjtő nagyságát és térbeliségét.

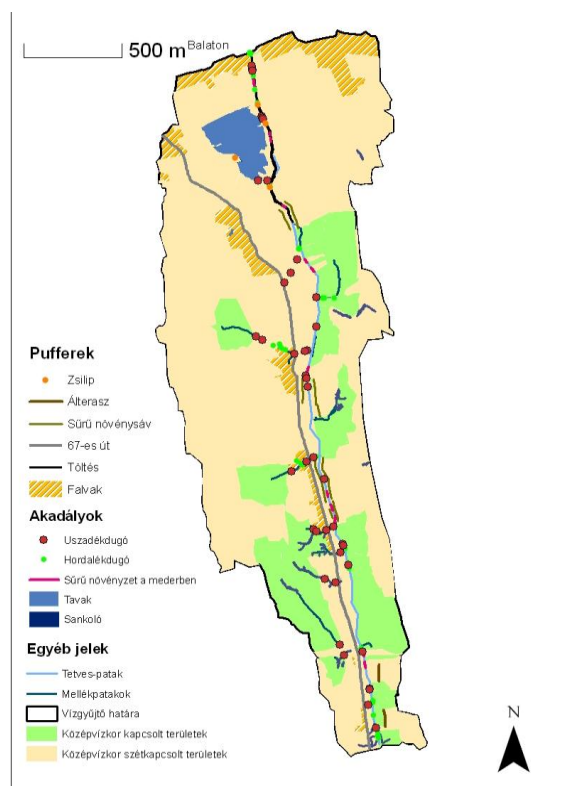
A töltés, a sankoló, a halastavak, a zsilipek és az álteraszok ellenálló formák, amelyek életidejét a zavaró hatások csak korlátozottan befolyásolják, ezért az általuk inaktivált térszínek (amelyek területe közel 29 km²) tartósan kikerültek a cascade-rendszerből. A patak nyugati partján a 67-es főútvonal nyomvonala szintén tartós szétkapcsoltságot idéz elő, amely hatást az út mellett húzódó falvak felerősítenek. E szétkapcsoló elemek nagyrészt mesterséges eredetűek. A növényzet, valamint a felső szakaszon található, fatörzsekből álló, nagyméretű uszadékok erős zavaró hatás révén (nagyvízkor) mobilizálódhatnak. Az általuk szétkapcsolt terület nagysága 13,5 km². A vízgyűjtő alsó-középső szakaszán levő, lágyszárú növényi részekből felépülő uszadékdugók, valamint hordalékdugók fizikai tulajdonságaik révén kis erősségű agressziós hullám mellett (középvízkor) is mobilizálódhatnak. E formák által 23,5 km²-es földrajzi környezet érintett.

Összefoglalásként elmondható, kisvízkor a legnagyobb a szétkapcsolt területek aránya, hiszen ekkor a legkisebb a vízfolyás munkavégző képessége (**15. ábra**). Középvízkor az agressziós hullám erejének növekedése miatt a középső- és alsó szakasz hordalék- és uszadékdugóinak mobilizálódása következhet be, s ennek révén fokozódhat a longitudinális kapcsoltság mértéke (**16. ábra**). Nagyvízkor a mederben található sűrű növényzet, a parti növényzeti puffersávok, és a felső

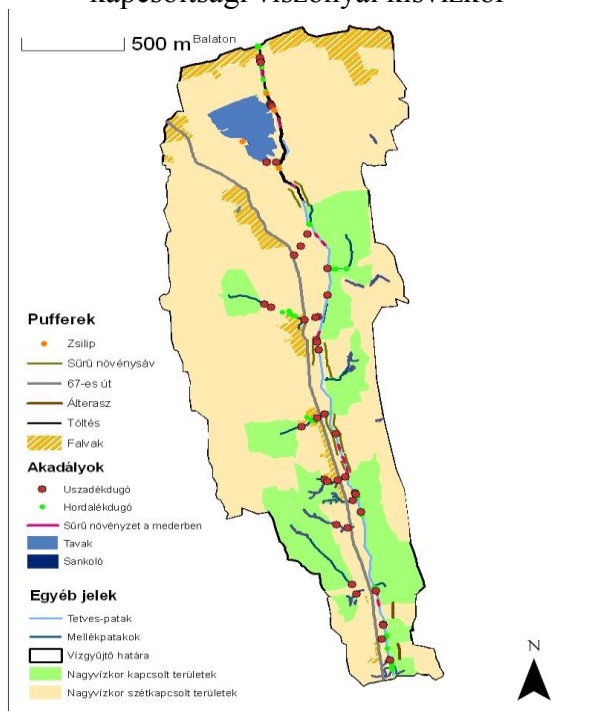
szakasz fauszadékainak mobilizálódása mehet végbe, ami a longitudinális és laterális kapcsoltság erősödését idézheti elő (17. ábra).



15. ábra A Tetves-patak vízgyűjtőjének kapcsoltsági viszonyai kisvízkor



16. ábra A Tetves-patak vízgyűjtőjének kapcsoltsági viszonyai középvízkor



17. ábra A Tetves-patak vízgyűjtőjének kapcsoltsági viszonyai nagyvízkor

6. Összegzés

A mintaterületemül szolgáló Tetves-patak vízgyűjtő területén a hordalékdinamikát az erózió és akkumuláció egyensúlya tartja fent. Az eróziós térszínekről (hordalékforrások) az anyag-és energia agressziós hullámok (pl. szennyezőanyagok, heves csapadék) révén szállítódik tovább. A Tetves-patak vízgyűjtő területén található hordalékforrások térbeliségét a lejtésviszonyok és a területhasználat módja befolyásolja. A nagy esésű (17%-os meredekség fölötti) kopár szántók a vízgyűjtő elsődleges eróziós térszínei, amelyek a 100,2 km² területű teljes vízgyűjtő 15%-át adják. A középső folyásszakaszon a heves esőzések hatására keletkező löszszakadék hatalmas mennyiségű (mintegy 100 m³) anyagutánpótlást eredményezett a cascade-rendszer számára. Az erózióbázisul szolgáló Balatonhoz közeledve találtam 30-40 cm mély állati csapásokat, amelyek a meder 20-30 cm-es oldalirányú tágítását eredményezve szintén eróziós térszínek.

Az hordalékforrásoknál termelt anyag az agressziós hullámok révén az hordalékcsapdáig szállítódik, ahol akkumulálódik. E formák gátat szabnak az anyag-és energiaszállításban, szétkapcsoltságot eredményezve. Az hordalékcsapdák (szétkapcsoló elemek) 2 típusát – a puffereket és az akadályokat – vizsgáltam. A pufferek csoportjába tartozó formák – a felső szakaszon található álteraszok; a középső folyásszakaszon a növényzet, 67-es főút nyomvonala az előterében húzódó falvakkal; az alsó szakaszon a zsilipek valamint a töltés gátolják az erodált anyag mederbe jutását. Mobilizálódásuk egyáltalán nem, vagy csupán erős agressziós hullámok révén (növényzet) valósulhat meg. E formák által szétkapcsolt térszínek (a vízgyűjtő területének mintegy 50%-a) kapcsoltsági viszonyaiban rövid távon (30-50 év) nem várható változás. Az akadályok közé tartozó hordalék-és uszadékugók a vízgyűjtő felső szakaszának szűk völgyeiben a hirtelen eséscsökkenés révén, valamint az alsó szakaszon a csekély áramlási viszonyok miatt keletkeznek. Életidejüket a kialakulási körülményeik által befolyásolt fizikai jellemzőik szabják meg. A felső szakasz formái közepesen erős, míg a torkolat közelében lévő elemek kis erejű zavarások által is mobilizálhatók. Az általuk szétkapcsolt terület kapcsoltsági viszonyaiban 1-2 árvízi esemény is változást idézhet elő. A sűrű növényzet a mederben, valamint a meder partján található sűrű növényzások nagyvízkor mobilizálódhatnak. A falvak, zsilipek, álteraszok, halastavak, valamint a sankoló, a töltés kapcsoltsági viszonyaiban csak extrém árvizek eredményezhetnek változást.

A Tetves-patak effektív vízgyűjtő területe a vizsgálat időpontjában – kisvízkor –mintegy 25 km² (a teljes vízgyűjtő negyede) volt, amely a rövid-vagy középtávon nagy eséllyel mobilizálódó, kis ellenállású szétkapcsoló elemek miatt térben és időben változhat.

7. Irodalomjegyzék

- Ádám L. – Marosi S. – Szilárd J. (szerk) 1981: Dunántúli-dombság: Dél-Dunántúl. Akadémiai Könyvkiadó Budapest, 5-70.
- Caine N. – Swanson F. J. 1989: Geomorphic coupling of hillslope and channel systems in two small mountain basins. *Zeitschrift fur Geomorphologie* 33, 189–203.
- Church M. – Hassan M. A. – Wolcott J. F. 1988: Stabilizing self-organized structures in gravel-bed stream channels: field and experimental observations. In: *Water Resources Research* 34, 3169–3179.
- Costa J. E. – O'Connor J. E. 1995: Geomorphically effective floods. In: Costa J. E. – Miller A. J. – Potter K. W. – Wilcock P. R. (Eds.): *Natural and Anthropogenic Influences in Fluvial Geomorphology. Geophysical Monograph*, 89. American Geophysical Union, Washington D.C., 45–56.
- Csicsákné Somody Á. – Horváth G. – Kvéder L. – Márk L. – Nagy F. – Pál I. – Polgár K. – Schubert J. – Szabó K. – Udud P. – Úz M. 1997: Vízyűjtőterületek vízforgalmi feltárása és vízgazdálkodási jellemzése – A Balaton déli vízyűjtőterülete. Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, Pécs, 2-30.
- Dezsény Z. 1984: A lehetséges erózió térképezése és az erózióveszély vizsgálata a Balaton-vízyűjtő területén. *Vízügyi Közlemények* 66., 311-324.
- Fryirs K. – Brierley G. J. 1999: Slope–channel decoupling in Wolumla catchment, New South Wales, Australia: The changing nature of sediment sources following European settlement. In: *Catena* 35, 41–63.
- Fryirs K. – Brierley G. J. 2001: Variability in sediment delivery and storage along river courses in Bega catchment, NSW, Australia: implications for geomorphic river recovery. In: *Geomorphology* 38, 237–265.
- Fryirs K. – Brierly G. J. – Preston N. J. – Spencer J. 2006/a: Catchment-scale (dis)connectivity in sediment flux in the upper Hunter catchment, New South Wales, Australia. *Geomorphology* 2006, 1-20.
- Fryirs K. – Brierly G. J. – Preston N. J. – Kasai M. 2006/b: Buffers, barriers and blankets: The (dis)connectivity of catchment-scale sediment cascades. In: *Catena* 70, 49-67.
- Graf W. L. 1988: *Fluvial Processes in Dryland Rivers*. Blackburn Press, New Jersey, USA. 346 p.
- Hooke J. M. 2003: Coarse sediment connectivity in river channel systems: a conceptual framework and methodology. *Geomorphology* 56, 79–94.

- Hutchinson M.F. (1989): A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*, 106, 211-232.
- Harvey A. M. 2001: Coupling between hillslopes and channels in upland fluvial systems: implications for landscape sensitivity illustrated from the Howgill Fells, northwest England. In: *Catena* 42, 225–250.
- Harvey A. M. 2002: Effective timescales of coupling within fluvial systems. *Geomorphology* 44, 175–201.
- Illés I. 1981: Tavunk, a Balaton. *Natura Kiadó Budapest* 15-120. , 245-277.
- Jakab G. 2008: Természeti tényezők hatása a talajpusztulás vonalas formáinak kialakulására – Doktori értekezés. Magyar Tudományos Akadémia Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 8-42.
- Jakab G. – Kertész Á. – Papp S. 2005: Az árkos erózió vizsgálata a Tetves-patak vízgyűjtőjén. *Földrajzi értesítő LIV. évf. 1-2. füzet*, 149-165.
- Jakab G. – Kertész Á. – Madarász B. – Dezső Z. 2006: A vonalas-és lepelerozió arányának vizsgálata vízgyűjtő léptékben. Kertész Ádám – Dövényi Zoltán – Kocsis Károly (szerk.) 2006: III. Magyar Földrajzi Konferencia: Budapest, Magyar Tudományos Akadémia, 2006. szeptember 6-7. : absztrakt kötet. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 105-115.
- Jakab G. – Szalai Z. 2005: Barnaföld erózióérékenységeinek vizsgálata esőztetéssel a Tetves-patak vízgyűjtőjén. *Tájökológiai Lapok* 3(1), 177-189.
- Jordán Gy. – Rompey A. – Szilassi P. – Csillag G. 2004: Digitális domborzatmodell alkalmazása GIS környezetben a Káli-medence talajerózió vizsgálatában. *HunDEM Konferencia, Miskolc, 2004*, 24 p.
<http://www.uni-miskolc.hu/~fkt/hundem/Cikkek/Jordan%20Gy%20-%20A%20von%20Rompey%20-%20Szilassi%20P%20-%20Csillag%20G.pdf>
- Kazó B. 1966: A talajok vízgazdálkodási tulajdonságainak meghatározása esőztető készülékkel. *Agrokémia és Talajtan* 15/2.pp. 239-252.
- Kiss Cs. 2010: Domborzatmodellezés és felszíni lefolyásvizsgálat a Kékes-tetőn. Szegedi Tudományegyetem Természettudományi Kar Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék – Szakdolgozat, 6-40.
- Kitka G. 2009/a: Az EROSION 3D modell magyarországi adaptálása és alkalmazhatóságának vizsgálata kisvízgyűjtők tájhasználati tervezésében – Doktori (PhD) értekezés. Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar Földtudományi Doktori Iskola, 11-26.

- Kitka G. 2009/b: Az EROSION 3D modell magyarországi adaptálása és alkalmazhatóságának vizsgálata kisvízgyűjtők tájhasználati tervezésében – PhD értekezés tézisei. Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar Földtudományi Doktori Iskola, 8 p. http://fftgeo.hu/files/doktori_iskola/2009-KitkaG-tezisek.pdf
- KÖDU-KÖVÍZIG 2007: Jelentős vízgazdálkodási kérdések – 4-1 Balaton közvetlen tervezési alegység. Közép-dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság, Székesfehérvár, 1-14.
- Kubassek J. (szerk.) 2004: A mindig szép Balaton – Válogatás Cholnoky Jenő írásaiból (1914-1944). Faa Produkt Kft. Veszprém, 89-91.
- Lampért K. (2006): Jelenkori felszínfejlődés vizsgálata a Decsi-szőlőhegyen. III. Magyar Földrajzi Konferencia: Budapest, 1-10.
<http://geography.hu/mfk2006/pdf/Lamp%E9rt%20Kirill.pdf>
- Lorberer Á. – Lorbererné Szentes I. – Mike K. 1980: A Balaton-vízgyűjtő földtani kialakulása, felépítése és vízföldtani viszonyai. Vízdok Nyomda Budapest, 5-75.
- Martonné Erdős K. 2002: Magyarország természeti földrajza. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, 183-188.
- Meade R. H. 1982: Sources, sinks and storage of river sediment in the Atlantic drainage of the United States. The Journal of Geology 90, 235–252.
- Metivier, F. – Gaudemer Y. 1999: Stability of output fluxes of large rivers in South and East Asia during the last 2 million years: implications on floodplain processes. In: Basin Research 11, 293–303.
- Miholics J. – Gábris Gy. – Székely A. – Zámbo L. – Nagy J. 1976: Vízrajzi Atlasz Sorozat 21 – Balaton. Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet, Budapest, 4-10.
- Mike K. 1991: Magyarország ösvízrajza és felszíni vizeinek története. Aqua Kiadó, Budapest, 331-353.
- Nicholas A. P. – Ashworth P. J. – Kirkby M. J. – Macklin M. G. – Murray T. 1995: Sediment slugs: large-scale fluctuations in fluvial sediment transport rates and storage volumes. Progress in Physical Geography 19 (4), 500–519.
- Schmidt J. 2000: Soil Erosion – Application of Physically Based Models (Environmental Science), Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York pp. 165.
- Schumm S. A. 1973: Geomorphic thresholds and the complex response of drainage systems. In: Morisawa, M. (Ed.), Fluvial Geomorphology. State University of New York, Binghamton, 299–310.
- Stefanovits P. – Filep Gy. – Füleky Gy. 1999: Talajtan. Mezőgazda Kiadó Budapest, 255-315.

- Szilassi P. 2006: A területhasználat változás főbb tendenciái a Balaton vízgyűjtőjén. Kertész Ádám – Dövényi Zoltán – Kocsis Károly (szerk.) 2006: III. Magyar Földrajzi Konferencia: Budapest, Magyar Tudományos Akadémia, 2006. szeptember 6-7. : absztrakt kötet. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 217-225.
- Szilassi P. – Jordán Gy. – Rompey A. – Csillag G. 2006: Impacts of historical land use changes on erosion and agricultural soil properties in the Kali Basin at Lake Balaton, Hungary. In: Catena 68. 96-108.
- Szilárd J. 1967: Külső-Somogy kialakulása és felszínalaktana. Földrajzi tanulmányok 7. Akadémiai Kiadó, Budapest, 15-98.
- Thomas M. F. 2001: Landscape sensitivity in time and space — an introduction. In: Catena 42, 83–98.
- Tooth S. – McCarthy T. S. – Brandt D. – Hancox P. J. – Morris R. 2002: Geological controls on the formation of alluvial meanders and floodplain wetlands; the example of Klip River Eastern Free State, South Africa. Earth Surface Processes and Landforms 27, 797–815.
- Tóth A. – Jakab G. – Madarász B. – Mészáros E. 2001: Csapadék által oldott anyagok mozgása egy kisvízgyűjtőn és szerepük az erózió folyamatában. Rakonczai János (szerk.) 2001: Földrajzi kutatások 2001: A Magyar Földrajzi Konferencia Szeged, 2001. október 25-27. absztrakt kötete. SZTE TTIK Természeti Földrajzi Tanszék, Szeged, 187-195.
- Vadász E. 1960: Magyarország földtana. Akadémiai Kiadó Budapest, 31-44.
- Virág Á. 1998: A Balaton múltja és jelene. Egri Nyomda Eger, 13-60.
- Wischmeier W. H. – Smith D. D. 1978: Predicting Rainfall Erosion Losses. United States Department of Agriculture, Washington. P. 58.