

Lebegtetett hordalékmérési módszerek összehasonlító vizsgálata balatoni részvízgyűjtőkön

¹POTYÓ I., ¹KÁSA I., ^{1,2}FARKAS Cs., ¹GELYBÓ GY., ¹BAKACSI Zs., ¹DENCŐ M., ¹TÓTH E.,
¹HOREL Á.

¹MTA ATK Talajtani és Agrokémiai Intézet, Budapest
²NIBIO, Norwegian Institute of Bioeconomy Research, Ås

Bevezetés

A földhasználat-váltások, mint például mezőgazdasági területté történő konverzió megnövelhetik a talajok eróziós rátáját és kitettségét, ezáltal a finom talajszemcsék felszíni vizekbe mosódását. Az éghajlatváltozás következtében bizonyos extrém időjárási események előfordulási gyakoriságának változásával számolhatunk világszerte (BENISTON et al., 2007; IPCC, 2007; BARTHOLY et al., 2011; SENEVIRATNE et al., 2012). Például a heves esőzések gyakoriságának növekedése is hatással lesz a különböző földhasználatú területek, főként az intenzív mezőgazdasági területek eróziójára és vízháztartására (ZIADAT & TAIMEH, 2013; FARKAS et al., 2014). A várható éghajlatváltozás, valamint földhasználat váltás együttes hatása következtében az erózió veszélye megnőhet, a talajszemcsék felszíni víztestekbe jutásának valószínűsége megsokszorozódhat, megváltoztatva mind a szárazföldi, mind a vízi ökoszisztémák jelenlegi állapotát.

A vízfolyások lebegtetett hordalék szállítása és hozama időben és térben dinamikusan változó folyamat, amelyet a geológiai és geomorfológiai adottságok mellett más külső tényezők is befolyásolnak. A szállított hordalék mennyisége és minősége erősen függ a mederben lejátszódó folyamatoktól (szállított vízmennyiség, vízszint, vízáramlás), amelyekre a vízgyűjtőre jellemző éghajlati viszonyok, valamint területhasználati sajátosságok (illetve egyéb emberi beavatkozások, pl. gátak) jelentős hatást gyakorolnak (GRAY et al., 2000). A különböző intenzitású és gyakoriságú csapadékesemények erősen befolyásolják a lefolyást, ezáltal a vízfolyások lebegőanyag szállítását is. A csapadékesemények megjelenési formája mellett a hordalékszállítás függ a vízgyűjtőn jelenlévő, potenciálisan elszállítható hordaléktól és a talajok eróziós kitettségétől is (HILL, 1996; BUCHANAN & SCHOELLHAMER, 1998).

A lebegtetett hordalék mennyisége fontos vízminőségi paraméter, amely befolyásolja az adott víztest ökológiai produktivitását, valamint egyes szennyezőanyagok (pl. nitrát, foszfor) szállítási folyamataiban is kulcsszerepet tölt be (LANGLAND & CORNIN, 2003; PERLMAN, 2014a). Mérése többféle módszerrel történhet, melyek közül a legközvetlenebb a vízmintákból szűrővel kinyert hordalékszemcsék összes tömegének meghatározása, de közvetett, optikai elven alapuló módszerek is léteznek (HUGHES et al., 2015).

A lebegtetett hordalék, illetve a finom talajszemcsék a vízben haladók

Postai cím: KÁSA ILONA, MTA ATK Talajtani és Agrokémiai Intézet, 1022 Budapest Herman Ottó út 15.

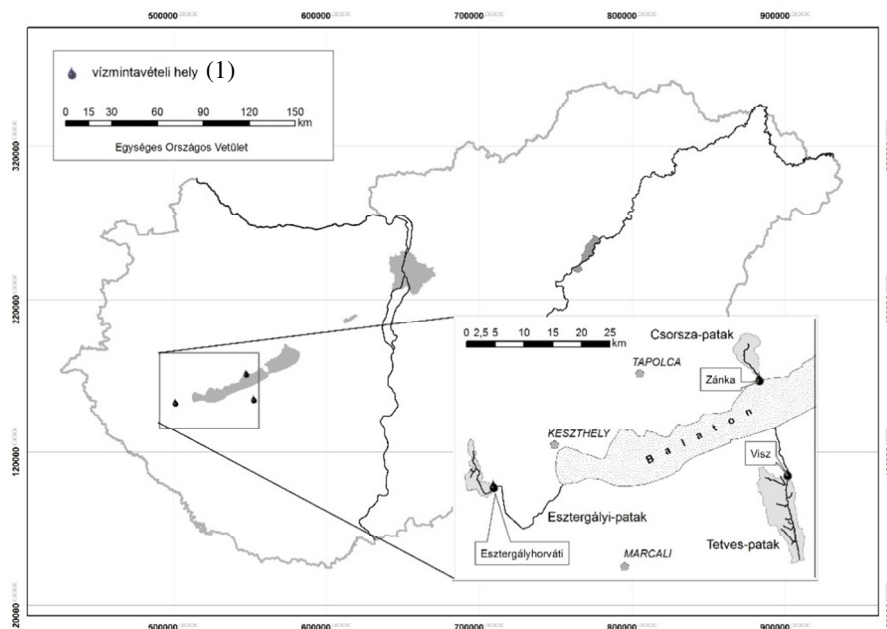
E-mail: kasa.ilona@agrar.mta.hu

fénysugarat megtörik, ezzel zavarosságot okoznak. A zavarosság mérésére optikai elven működő, ún. turbiditásmérő műszereket használnak. A folyóvíz zavarosságának mérése és monitorozása elfogadott eljárás a lebegtetett hordalékmennyiség becslésére, azonban a műszer mérési értékei és a tényleges hordalékanyag-koncentráció közötti összefüggés gyakran mintavételi helyszínenként változó (PERLMAN, 2014b). Kezdetben szükséges lehet mind a közvetlen tömegmérésen, mind az optikai elven alapuló módszer alkalmazása. A két eljárás együttes alkalmazásának köszönhetően megbízható információhoz juthatunk a monitoring pontoknál mérhető lebegőanyag-koncentrációról, amelynek köszönhetően a vízgyűjtő adott időszakban jellemző talajelmozdulás mértékéről is pontosabb becslést adhatunk (DAPHNE et al., 2011). Jelen tanulmány egyik fő célja, hogy összehasonlítsuk a közvetett optikai módszeren (zavarosságmérés) és a közvetlen, tömegmérésen alapuló lebegtetett hordalék koncentráció meghatározási módszerekkel kapott eredményeket három balatoni részvízgyűjtőről vett vízminták alapján, melyek az északi, nyugati, és déli részei a vízgyűjtőnek. Fontos cél továbbá a vízhozam és lebegtetett hordalék koncentráció összefüggésvizsgálata.

Vizsgálati anyag és módszer

A vizsgálati területek jellemzése

A Balaton és környéke Magyarország kiemelt turisztikai és természeti értéke. A Balatont a Zala-folyó mellett hozzávetőleg 30 kisebb vízfolyás is táplálja (NAGY, 2013). A tanulmányban három, a Balaton északi, déli és nyugati partján elhelyezkedő, a térségre talajtípus és felszínhasználat szempontjából jellemző kisvízgyűjtőt vizsgáltunk (*1. ábra*; JAKAB, 2005; TÓTH & SZALAI, 2007; SZÚCS, 2012). Mindhárom vízgyűjtő eróziónak erősen kitett területnek minősül (DÖVÉNYI, 2010). A lebegtetett hordalék (*Total Suspended Sediment*; TSS), a zavarosság (*Formazin Nephelometric Unit*; FNU), valamint a vízhozam összefüggéseinek vizsgálataihoz a Tetves-patakon (Visz; 46,7293972N, 17,7756777E; 123,14 m t.sz.f.m., hatósági monitoring pont, vízrajzi állomás), az Esztergályi-patakon (Esztergályhorváti; 46,7008944N, 17,1077222E; 112,17 m t.sz.f.m.) és a Csorszapatakon (Zánka-befolyás; 46,8817639N, 17,7070666E; 124,36 m t.sz.f.m.) vettünk vízmintákat.



1. ábra

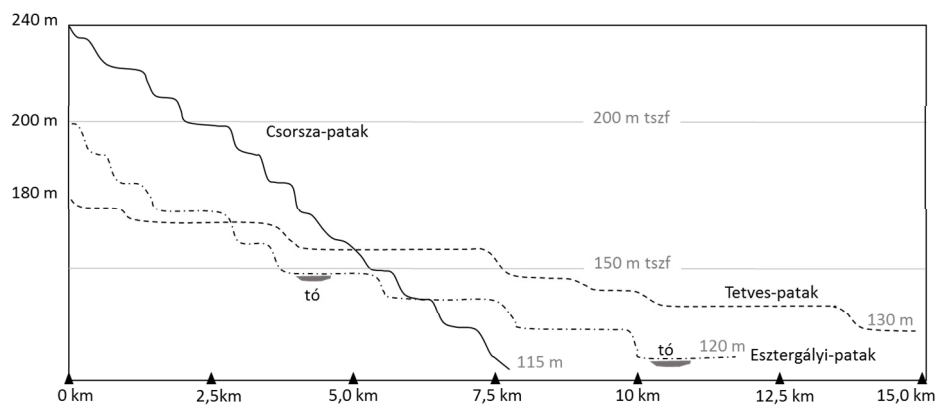
Mintaterületek: A Tetves-, Esztergályi- és Csorsza-patak vízgyűjtői.

A Somogy megyei Víz község a Nyugat-Külső-Somogy kistáj északi részén, a Tetves-patak vízgyűjtőterületén helyezkedik el, ahol a Víz feletti részvízgyűjtő területe 69 km^2 , a főmederhossz 15 km . A vízgyűjtő legmagasabb pontja 302 m , a kifolyási pont magassága 126 m . A vízgyűjtő kiemelt löszhátain főként agyagbemosódásos barna erdőtalajok fordulnak elő, erodáltságuk helyenként jelentős. A mélyebben fekvő részekben könnyű mechanikai összetételű barnaföldek a jellemzőek (DÖVÉNYI, 2010).

Esztergályhorvát az Alsó-Zala-völgy kistáj déli részén helyezkedik el az Esztergályi-patak (11 km folyáshossz a mintavételi pontig, 19 km^2 terület) közelében. A vízgyűjtő legmagasabb pontja 257 m , legalacsonyabb pontja 116 m . A magasabb térszíneken agyagbemosódásos barna erdőtalaj az uralkodó (DÖVÉNYI, 2010).

Zánka település a Balaton-Riviéra kistáj délnyugati részén, a Csorsza-patak vízgyűjtőterületén (8 km folyáshossz, 21 km^2 terület) helyezkedik el. A vízgyűjtő legmagasabb pontja 385 m , míg a kifolyási pont magassága 113 m . A terület mérsékelt csapadékhányos, így vízfolyásai általában alacsony vízhozamúak. Legnagyobb változatosságban és területi részarányban erdőtalajok fordulnak elő (pl. agyagbemosódásos barna erdőtalaj), a szőlőterületekre barna rendzina jellemző. A három vízfolyás hossz-szelvényének geometriája jól jellemzi a vízgyűjtőterületek átlagos lefolyási viszonyait (2. ábra). A teljes szelvényre eső magasságváltozásból számított átlagos mederesés a Csorsza-, az Esztergályi- illetve a Tetves-patak

esetében, sorrendben: 15,6; 7,3, illetve 3,3 m km⁻¹. Az Esztergályi-patakon, a mintavételi pont felett két halastó található.



2. ábra

A Tetves-, Csorsza-, és Esztergályi-patak hossz-szelvénye a feltételezett forrástól a mintavétel helyéig, az Esztergályi-patakon létesített tavak feltüntetésével, EUDM domborzatmodell alapján.

A vizsgált három vízgyűjtő területre jellemző felszínhasznosítást az 1. táblázat összegzi, míg általános meteorológiai adatait a 2. táblázat tartalmazza.

1. táblázat

A Tetves-, Esztergályhorváti- és Csorsza-patak vízgyűjtőjének földhasználata százalékos bontásban. Corine Land Cover 1:50,000 (2006) alapján.

Terület jellemzés (4)	Tetves-patak vízgyűjtő (1) (%)	Esztergályi-patak vízgyűjtő (2) (%)	Csorsza-patak vízgyűjtő (3) (%)
Vízfelszín (5)	1	1	1
Cserjés (6)	4	3	17
Erdő (7)	45	24	29
Legelő (8)	5	1	6
Szőlő/gyümölcsös (9)	5	8	29
Szántó (10)	38	61	13
Beépített terület (11)	3	1	5

2. táblázat

A vizsgált részvízgyűjtők meteorológiai adatai 1961-1990 időszakra (CRU CL v2.0; NEW et al., 2002).

Vízgyűjtők (1)	Évi középhőm. (°C) (2)	Évi csapadék-összeg (mm) (3)	Átlagos szélsősebesség (m/s) (4)
Csorsza-patak (5)	10,9	604	3
Tetves-patak (6)	10,3	633	3
Esztergályi-patak (7)	10,1	662	2,5-3

Vizsgált változók

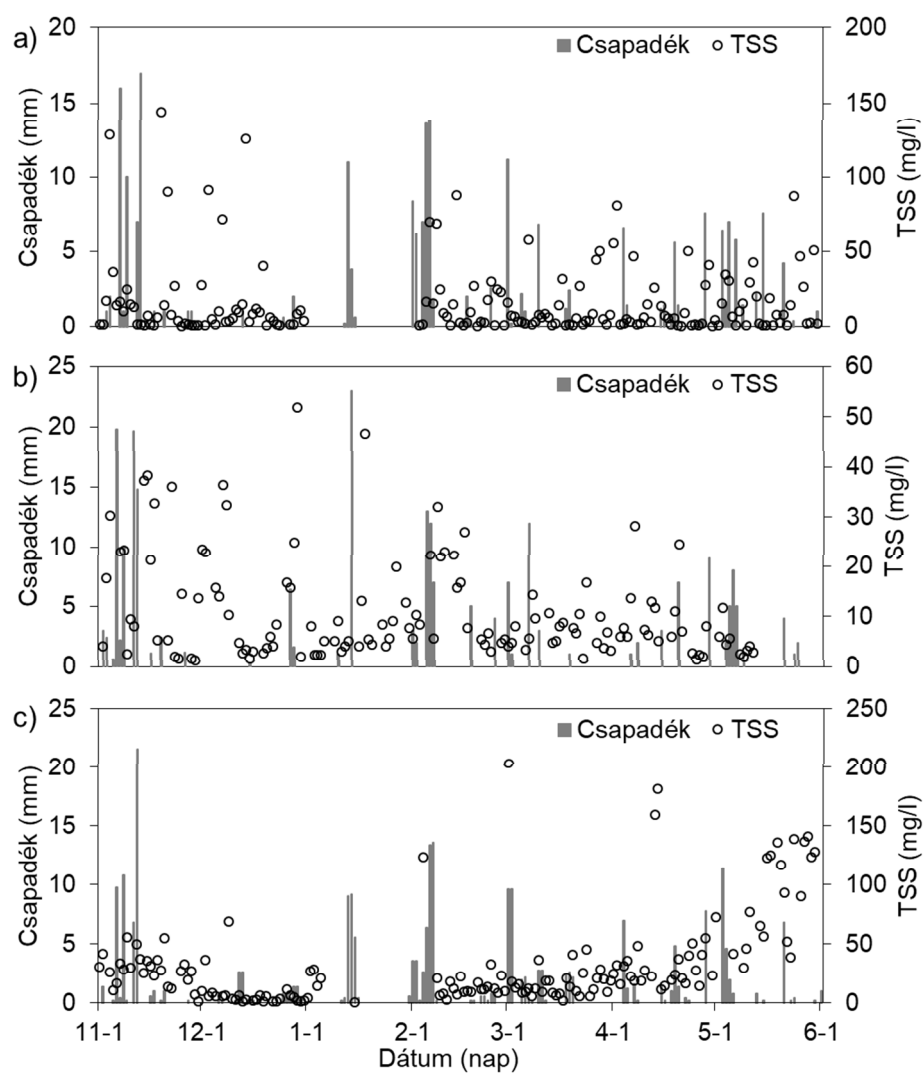
A vízhozam, TSS és FNU kapcsolatának összehasonlító vizsgálatához a 2016. november 1-től 2017. május 31-ig terjedő időszakban naponta egyszer mért értékeket használtuk, kivéve az Esztergályi-pataknál, ahol heti 5 alkalommal gyűjtöttünk mintákat (3. ábra; Tetves-patak $n = 175$, Esztergályi-patak $n = 134$, Csorsza-patak $n = 158$). A Tetves-patak és a Csorsza-patak befagyása több hetes adathiányt okozott a téli időszakban (Tetves-patak esetében 33 nap, míg Csorsza-patak esetében 30 napos adathiány keletkezett, 3. ábra).

A napi csapadékadatokat a Tetves-, és az Esztergályi-patak vízgyűjtőjének jellemzéséhez rendre Visz és Zánka községben, 2 m magasságban kihelyezett csapadékmérők (Decagon ECH₂O Rain model ECRN-100; illetve Davis Instruments) rögzítették 0,2 mm pontossággal a mintavételi pont közelében. Az Esztergályi-patak vízgyűjtőjére hullott csapadékmennyiségre vonatkozó adatok a közeli sármelléki meteorológiai állomás méréseiből származnak.

A napi szintű átlagos vízhozam adatokat a Tetves-patak Visz mérőállomásáról a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, az Esztergályi-patak Esztergályhorváti mérőállomásáról a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság szolgáltatta. A Csorsza-patak zánkai szakaszáról saját, napi egy méréssel rendelkezünk.

Mérési módszer

A vízmintákat 1l-es műanyag palackokba vettük, amelyeket háromszor átöblítettük patakvízzel mintavétel előtt. Mivel a lebegtetve szállított hordalék koncentráció mind horizontálisan, mind vertikálisan változik a keresztmetszvényben, így a mintákat igyekeztünk (amennyiben a vízállás lehetővé tette) vertikálisan egyenletes sebességgel le-fel mozgatva megvenni a sodorvonalban, vigyázva, hogy a fenékről származó hordalék ne kerüljön a palackba. A vízminták lebegtetett hordalék mennyiségének (TSS; mg l⁻¹) vizsgálatát Millipore vákuumszűrővel, és CVÉ membránszűrővel (47 mm, 0,45 mikrométer) végeztük. A vízmintákból általánosan 1000 ml-t szűrtünk meg, azonban nagyon magas lebegtetett hordalék koncentráció esetén 500 ml mintát vizsgáltunk. Ezt követően a szűrőpapírokat szárítószekrénybe helyeztük 105 °C-os hőmérsékleten 2 órára, végül pedig analitikai mérlegen megmértük a tömegüket.



3. ábra

Lebegtetett hordalék (TSS) és csapadék idősorok a részvízgyűjtő kifolyásánál a) Tetves-, b) Esztergályi-, c) Csorsza-patak esetén.

A közvetett, optikai módszer esetén a zavarosság mértékének megállapításához YSI ProDSS turbiditás mérő kézi műszert használtunk. A ProDSS műszerrel történő FNU mérésekkor az adatokat egy 860 nm hullámhosszú fény (közel infravörös tartomány) segítségével mértük 90 fokos látómezővel (ISO7027 szabványnak megfelelően). A műszerhez szolgáltatott mérőhenger anyaga és színe ennek megfelelően készült. Mérés előtt minden mintát felráztuk, és a méréseket háromszori ismétlésben végeztük.

Statisztikai vizsgálatok

Az adatok elemzéséhez egyszerű lineáris regressziót használtunk (Model I, legkisebb négyzetek módszere vagy OLS módszer), ahol a magyarázó változó a lebegtetett hordalék (TSS) mennyisége, a függő változó pedig a zavarosság (FNU) értéke volt. A regressziós egyenes együtthatóit az adatokból becsüljük az OLS módszer szerint. A lebegtetett hordalékadatok összehasonlító elemzéséhez egytényezős variancia-analízist (one-factor ANOVA) használtunk. A csoportok páronkénti összehasonlítását Tukey-próbával végeztük. A varianciaelemzés alkalmazhatósági feltételeinek részletes vizsgálatát grafikus módszerekkel, a modell diagnosztikus ábráival állapítottuk meg REICZIGEL et al. (2007) alapján. Ahol szükséges volt, az adatokon *box-cox* transzformációt hajtottunk végre.

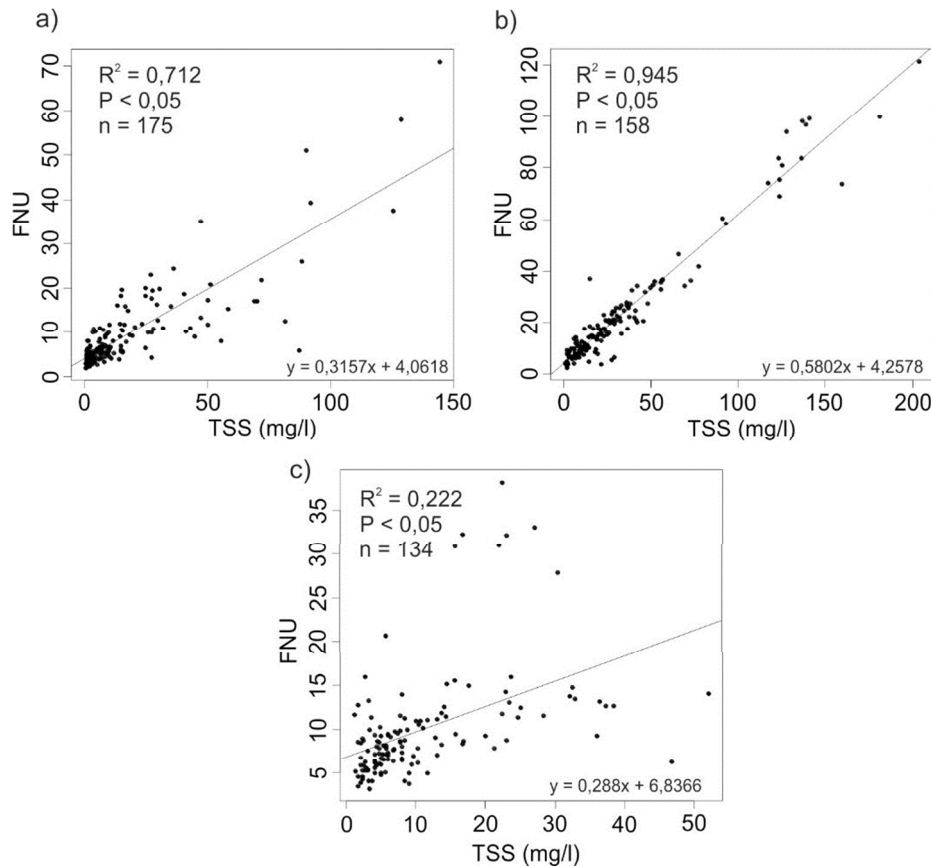
Az adatok összehasonlító statisztikai vizsgálatát R-programmal végeztük (R Core Team 2012). A statisztikailag szignifikáns összefüggéseket a $P < 0,05$ alatti értékek képezik.

Vizsgálati eredmények és következtetések

A lebegtetett hordalék (TSS) és a zavarosság (FNU) kapcsolatának vizsgálata

A TSS és az FNU értékek lineáris regressziós analízise alapján a Tetves-patak ($R^2=0,712$, $P < 0,05$) és a Csorsza-patak ($R^2=0,945$, $P < 0,05$) esetében állapítottunk meg erős, illetve nagyon erős pozitív és szignifikáns lineáris kapcsolatot. Az FNU értékével tehát valóban jól közelíthető a TSS várható értéke (4. a és b ábra).

Az Esztergályi-pataknál a lineáris regressziós egyenes szerint szintén igazolható a lebegtetett hordalék és a zavarosság mértékének szignifikáns összefüggése ($P < 0,05$, $n=134$), azonban a determinációs koefficiens értéke a két adatsor között csak gyenge pozitív kapcsolatot jelez ($R^2=0,222$). A szűrés során sárgás elszíneződésű vízmintákat tapasztaltunk, amit feltételezhetően a közeli, duzzasztott halastóba került, oldott állapotban szállított anyag (szervesanyag feldúsulás) okozhatott. Az oldott szennyeződés befolyásolhatja az átlátszóságot, ugyanakkor a mért lebegtetett hordalék koncentrációt nem vagy csak csekély mértékben növeli, ezáltal eltorzíthatja a TSS és FNU között fennálló valós összefüggést. A vizsgált időszakban mindvégig igen alacsony, illetve kiegyenlített TSS (átlag = $11,4 \text{ mg l}^{-1}$, maximum = 52 mg l^{-1}) és ezzel párhuzamosan alacsony FNU értékeket kaptunk (4c. ábra).

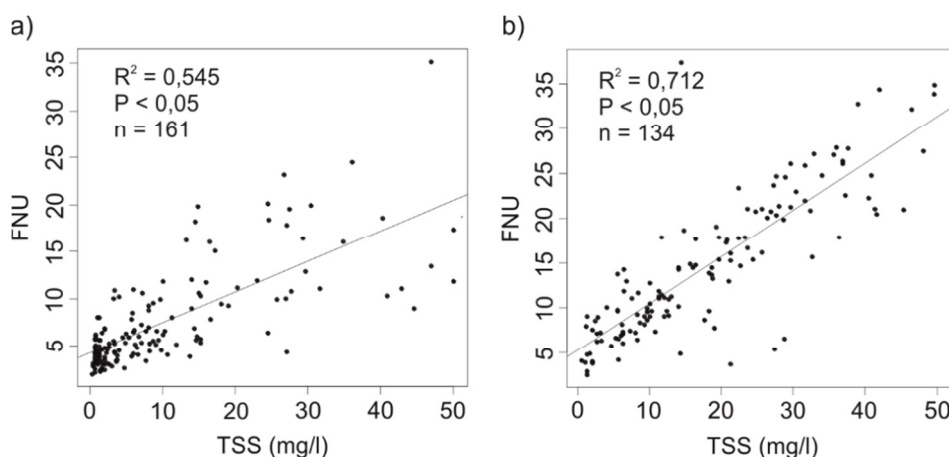


4. ábra

Lineáris regressziós kapcsolat a lebegtetett hordalék (TSS) mennyisége és a zavarosság (FNU) értéke között a Tetves-, b) a Csorsza- és c) az Esztergályi-patak esetén.

A Tetves-pataknál az Esztergályi-patakhoz képest átlagosan magasabb lebegőanyag koncentrációt mértünk (átlag = $16,0 \text{ mg l}^{-1}$, maximum = $144,4 \text{ mg l}^{-1}$), csakúgy, mint a Csorsza-patak esetében (átlag = $31,6 \text{ mg l}^{-1}$, maximum = $203,8 \text{ mg l}^{-1}$). Mindkét vízfolyásnál megvizsgáltuk az Esztergályi-patakban tapasztalt, 50 mg l^{-1} -nél alacsonyabb lebegtetett hordalék koncentrációk és a vonatkozó zavarosság-értékek regressziós kapcsolatát. Az analízis alapján megállapíthatjuk, hogy az alacsony TSS és FNU értékek esetén csak közepes erősségű pozitív kapcsolat mutatkozott mindkét vízfolyás esetében (Tetves-patak, $R^2 = 0,545$; Csorsza-patak, $R^2 = 0,712$), ez a statisztikai kapcsolat gyengébb, mint a magasabb koncentrációkat is figyelembe véve kapott értékek (5. ábra). Általánosságban elmondhatjuk, hogy minél magasabb az átlagos és a maximális lebegőanyag koncentráció, annál erősebb az összefüggés a két változó értéke között. Ez valószínűleg a mérési módszer pontosságával áll összefüggésben: nagyobb tömegű lebegtetett hordalékanyag esetén

a mérési hiba relatíve kisebb lesz. Mindazonáltal a három patak esetén kapott különböző mértékű összefüggések felhívják a figyelmet a módszer alkalmazhatóságának területi változékonyságára, illetve korlátaira alacsony lebegtetett hordalék-koncentrációk mellett.



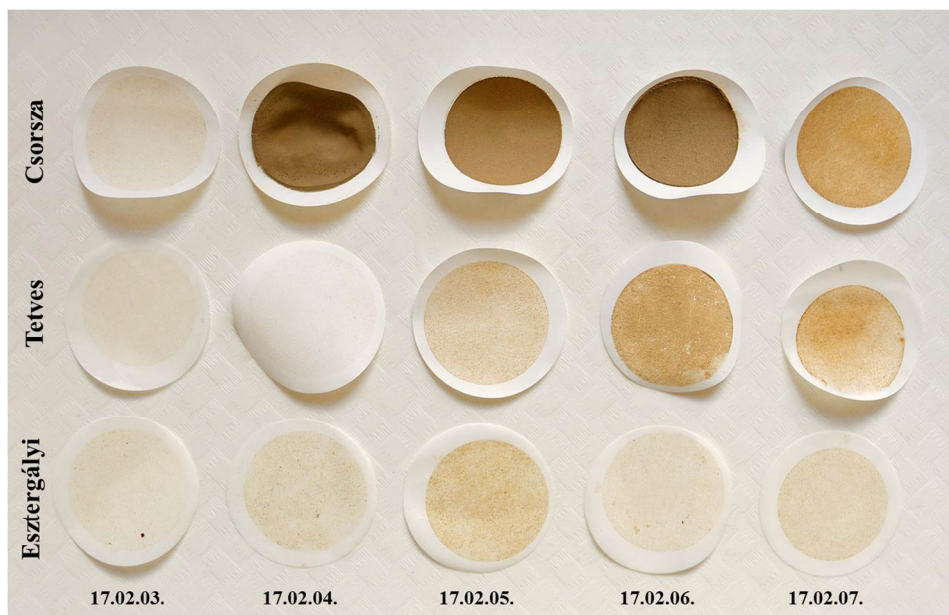
5. ábra

Az 50 mg l^{-1} -nél alacsonyabb lebegtetett hordalék (TSS) mennyiségének és a zavarosság (FNU) értékének lineáris regressziós kapcsolata a) a Tetves- és b) a Csorsza-patak esetén.

A téli időszakban (2017. január közepén) a Tetves- és a Csorsza-patak mintegy három-négy hétre befagyott (3. ábra), az olvadást követően pedig hirtelen megemelkedett a lebegőanyag koncentráció, amelyet jól szemléltet az 5. ábrán látható szűrőpapírok elszíneződése is. Az Esztergályi-pataknál nem képződött jég réteg a közeli mesterséges tó folyamatos jégtelenítése miatt. A hóolvadás következtében megnövekedett vízhozammal egyszerre gyakran fordulnak elő megnövekedett TSS értékek (RUZYCKI, 2014). Az olvadással egyidejűleg nagyobb csapadékesemények is előfordultak a vizsgált vízgyűjtők területén, amelyek együttesen hirtelen kialakuló, majd gyorsan levonuló árhullámokat és ezzel párhuzamosan növekvő, majd csökkenő TSS értékeket eredményeztek (3. ábra).

Általánosságban, a téli időszakban a Tetves-pataknál $18,16 \text{ mg l}^{-1}$, az Esztergályi-pataknál $12,70 \text{ mg l}^{-1}$, és a Csorsza-pataknál $18,03 \text{ mg l}^{-1}$ lebegtetett hordalékot mértünk. Noha a téli időszakban a fenti eltérések statisztikailag nem szignifikánsak ($P=0,1865$), az Esztergályi-patak esetén mért alacsonyabb átlagos lebegtetett hordalék koncentrációt okozhatja az Esztergályi-patak duzzasztásával létrehozott tavak kiülepítő hatása. Míg a téli időszakban mind a Tetves-, mind a Csorsza-patak hasonló lebegtetett hordalék koncentrációkat mutatott, addig a tavaszi adatok között erős különbséget találtunk. Tavasszal a Csorsza-patakban mért értékek szignifikánsan nagyobbak az Esztergályi-, és a Tetves-patakban mérthez viszonyítva ($P<0,001$). A Tetves-pataknál átlagban $13,9 \text{ mg l}^{-1}$, az Esztergályi-pataknál $9,1 \text{ mg l}^{-1}$, és a Csorsza-pataknál $45,6 \text{ mg l}^{-1}$ koncentrációjú lebegtetett hordalékot mértünk,

mely különbségek a csapadékesemények következtében a patakok meredekségi különbségeiből is származhatnak (2. ábra). A tavaszi áradással megemelkedett TSS értékek a Csorsza-pataknál kiemelkedőek, míg a másik két részvízgyűjtő kifolyásánál hasonlóak a téli időszakban mutatott értékekhez. A Csorsza-patakon gyakran jelentkeznek gyors lefolyású árhullámok, amelyekkel hirtelen növekvő TSS mennyiséget szállít a Balaton irányába, majd a csapadékesemények végét követően a TSS értékek is gyorsan visszaállnak esemény előtti állapotra (HOREL et al., 2017). A változó TSS értékeket a Tetves és Csorsza vízgyűjtők felszínhasznosítása közötti különbség is befolyásolhatja (AHEARN et al., 2005; KÁSA et al., 2017). A Csorsza-patak vízgyűjtőterületén 29% gyümölcsös és szőlő található, míg ez a szám csak 8% a Tetves vízgyűjtőn (2. táblázat). A két vízgyűjtő erdőterületeinek aránya szintén befolyásolhatja a TSS értékeket a kifolyási pontoknál, mely 37% a Tetves és 29% a Csorsza vízgyűjtő esetén. A területhasználati változások erősen befolyásolják a vízgyűjtők hidrológiai paramétereit (HOREL et al., 2015).



6. ábra

A szűrőpapírok felületén kiülepített lebegtetett hordalék (TSS) változása 2017. február 03-07 között, a tavaszi olvadási időszakban.

A lebegtetett hordalék (TSS) és a vízhozam kapcsolatának vizsgálata

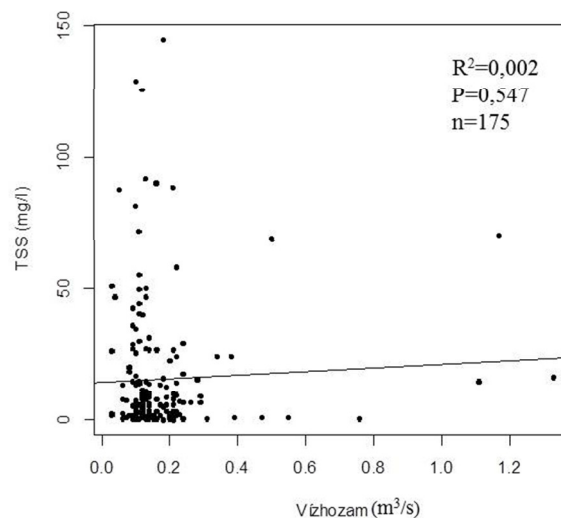
Feltételezzük, hogy a vízgyűjtőkön lehullott csapadék következtében megnövekedett felszíni lefolyás hatására a mederben szállított víz mennyiségével a lebegtetett hordalék mennyisége is növekszik. Ezért a Tetves-patak vízgyűjtőn összehasonlítottuk a vizsgált kisvízfolyások vízhozamának és lebegtetett hordalék

koncentrációjának kapcsolatát (6. ábra). A statisztikai elemzések szerint nagyon gyenge, valamint nem szignifikáns összefüggést találtunk a vízhozam és a lebegtetett hordalék mennyisége között ($R^2 = 0,002$, $P=0,55$). Ez az összefüggés annyira elhanyagolható vagy minimális, hogy a vízhozam adatok alapján a lebegtetett hordalék koncentráció változására ezen a vízgyűjtőn nem vonhatunk le következtetéseket. Feltételezhetően a mintavétel időpontja és gyakorisága nagymértékben befolyásolja a vízhozam és TSS közötti összefüggést. Jellemzően a kisvízgyűjtőkön heves esőzések hatására kialakuló, gyorsan levonuló árhullámoknál a folyamatos (például percenkénti vagy 10 percenkénti) monitoring helyetti napi egy mintavétel rossz időzítés esetén (például az esőzést megelőző) jelentős információvesztéshez vezethet. Nagyobb esőzés előtti mintavételek eredményei alacsony TSS értékeket mutatnak, míg az esőzést követő áradásban gyűjtött mintáknál jelentősen emelkedett értékek tapasztalhatóak (HOREL et al., 2017). A TSS és a vízhozam összefüggéseinek vizsgálata változatos eredményt hozott a szakirodalomban (DODDS & WHILES, 2004; RÜGNER et al., 2013). Megállapításainkhoz hasonló következtetésekre jutott LEWIS et al. (2013), ahol a kutatók napi egy mérésből származó adatokat dolgoztak fel. Vizsgálataik során több esetben egyértelműen kimutatták a megnövekedett vízhozammal emelkedő TSS értékeket, míg sokszor kevésbé erős összefüggést kaptak. DODDS & WHILES (2004) hasonlóan általánosságban csak közepes erősségű összefüggést találtak több száz monitoring állomás TSS és vízhozam adatai között, bár a mérések között nagyon alacsony ($R^2 = 0,01$), valamint nagyon erős kapcsolatot ($R^2 = 0,91$) is megfigyeltek. Alacsony vízhozamú folyók esetében akár negatív összefüggés is előfordulhat a TSS és a vízhozam között (LEHRTER, 2006). Száraz és nedves időszakok szintén befolyásolják a lebegtetett hordalékok mennyiségét (HANNOUCHE et al., 2011). Míg a már nedves talajra hulló csapadék által hamarabb telítetté válik a talaj, így a talajszemcsék könnyebben elmozdulhatnak (CASTILLO, 2003), addig a száraz talaj először a talaj mélyebb rétegei felé vezeti a vizet, ezzel csökkenti a felszíni lefolyások mértékét (ZIADAT & TAIMEH, 2013). Természetesen, heves zivataroknál vagy extrém csapadékmennyiségnél a felszíni lefolyás és az általa elhordott talajszemcsék mennyisége alacsonyabb kezdeti talajnedvességnél is jelentős lehet. A vízhozam és lebegtetett hordalék közötti összefüggések mélyebb megértéséhez, az erősebb kapcsolat kimutatásához tehát szükséges a folyamatos monitoring napi szintű mintavétel helyett, illetve a mérési adatok felosztása egyrészt a szezonális figyelembevételével, másrészt a vízhozamgörbék áradó és apadó fázisainak elkülönítésével (PAVANELLI & PAGLIARANI, 2002).

Összefoglalás

2016. november 1. és 2017. május 31. között naponta gyűjtöttünk vízmintákat három balatoni részvízgyűjtő kifolyásánál a patakok lebegtetett hordalék koncentrációjának (TSS) szezonálisának tanulmányozására. A téli és tavaszi időszak lebegtetett hordalék koncentrációjának meghatározására kétféle módszert alkalmaztunk. A TSS értékeket laboratóriumi szűrés, szárítás és mérés után kaptuk, míg a turbiditás adatokat egy kézi zavarosságmérő műszerrel mértük. A három

balatoni részvízgyűjtőről gyűjtött vízminták alapján az Esztergályi-patakban figyeltük meg a legalacsonyabb lebegtetett hordalék koncentrációt. A téli időszakban a Csorsza- és a Tetves-patakokban mért TSS értékek hasonlóak voltak, azonban tavasszal a lebegtetett hordalék-koncentráció a Csorsza-patakban nagymértékben növekedett, míg a Tetves-patakban alig változott.



7. ábra

A Tetves-patak lebegtetett hordalék (TSS) mennyiségének és vízhozamának lineáris regressziós kapcsolata.

A Tetves-patak vízhozam és TSS értékei között nem találtunk egyértelmű összefüggést, ezáltal a Tetves-részvízgyűjtőn a vízhozam alapján a TSS koncentrációra vonatkozó következtetéseket vagy becsléseket nagy pontossággal nem adhatunk.

Vizsgálataink alapján elmondhatjuk, hogy a munkaigényes lebegtetett hordalék méréseket magas hordalék koncentráció esetén jó közelítéssel helyettesíthetjük a kézi zavarosságmérő készülékkel, mely gyorsan szolgál pontos eredményekkel. Azonban, a részvízgyűjtők térbeli változatossága nagyban befolyásolja a patakokba jutó lebegtetett hordalék mennyiségét, ezáltal a műszeres alkalmazásra épülő becsléseket más módszerek, mint például a TSS értékek mérése, alkalmankénti alkalmazásával párosítva pontosabb eredményeket kaphatunk.

Munkánkat az OTKA K–101065 projekt, az OTKA PD–116157 és OTKA PD–116084 kutatási projekt, valamint a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatta.

Külön köszönet Szántó Beáta, Soltész Endréné, valamint Szegvári Győző és kollégáinak a vízminták gyűjtésében való hatalmas segítségükért.

Kulcsszavak: lebegtetett hordalék; zavarosság; vízhozam; Balaton;

Irodalom

- AHEARN, D.S., SHEIBLEY, R.W., DAHLGREN, R.A., ANDERSON, M., JOHNSON, J., KENNETH W. TATED, K.W. Land use and land cover influence on water quality in the last free-flowing river draining the western Sierra Nevada, California. *Journal of Hydrology* **313**. 234-247.
- BARTHOLY, J., BOZÓ, L., HASZPRA, L. (Ed.) 2011. Klímaváltozás - 2011 MTA-ELTE Meteorológia Tanszék – Budapest. 281. ISBN: 978-963-284-232-5
- BENISTON, M., STEPHENSON, D.B., CHRISTENSEN, O.B., FERRO, C.A.T., FREI, C., GOYETTE, S., HALSNAES, K., HOLT, T., JYLHÄ, K., KOFFI, B., PALUTIKOF, J., SCHÖLL, R., SEMMLER, T., WOTH, K. 2007. Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change* **81**. 71-95.
- BUCHANAN, P.A. & SCHOELLHAMER, D. 1998. Summary of suspended-solids concentration data, San Francisco Bay, California, Water Year 1996: U.S. Geological Survey Open-File Report **98-175**. 59.
- CASTILLO, V.M., GÓMEZ-PLAZA, A., MARTÍNEZ-MENA, M. 2003. The role of antecedent soil water content in the runoff response of semiarid catchments: a simulation approach. *Journal of Hydrology*. **284**. 114-130.
- DAPHNE, L.H.X., UTOMO, H.D., KENNETH, L.Z.H. 2011. Correlation between turbidity and total suspended solids in Singapore Rivers. *Journal of Water Sustainability*, **1**. 313-322.
- DODDS, W.K., WHILES, M.R. 2004. Quality and quantity of suspended particles in rivers: Continent-scale patterns in the United States. *Environmental Management*. **33**. 355-367.
- DÖVÉNYI, Z. (Szerk.) 2010. Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest.
- FARKAS, Cs., GELYBÓ, Gy., BAKACSI, Zs., HOREL, A., HAGYÓ, A., DOBOR, L., KÁSA, I., TÓTH, E. 2014. Impact of expected climate change on soil water regime under different vegetation conditions. *Biologia*. **69**. 1510–1519.
- GRAY, J.R., GYLSSON, G.D., TURCIUS, L.M. & SCHWARZ, G.E. 2000. Comparability of Suspended-Sediment Concentration and Total Suspended Solids Data. USGS Water-Resources Investigations Report **00-4191**. Reston, VA: U S Geological Survey.
- HANNOUCHE, A., CHEBBO, G., RUBAN, G., TASSIN, B., LEMAIRE, B.J., JOANNIS, C. 2011. Relationship between turbidity and total suspended solids concentration within a combined sewer system. *Water Science and Technology*, IWA Publishing, **64**. 2445-52.
- HILL, B.R. 1996, Streamflow and suspended-sediment loads before and during highway construction, North Halawa, Haiku, and Kamooalii drainage basins, Oahu, Hawaii: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report **96-4259**. 34.

- HOREL, Á., TÓTH, E., GELYBÓ, GY., KÁSA, I., BAKACSI, ZS., FARKAS, CS. 2015. Effects of land use and management on soil hydraulic properties. *Open Geosciences*. **1**. 742–754.
- HOREL, Á., BAKACSI, ZS., DENCŐ, M., FARKAS, CS., GELYBÓ, GY., KÁSA, I., MOLNÁR, S., KOÓS, S. 2017. Eső hatása a Csorsza-patak vízgyűjtőjének téli hidrológiai folyamataira. *Agrokémia és Talajtan*. **66**. 61–77.
- HUGHES, A.O., DAVIES-COLLEY, R.J., ELLIOTT, A.H. 2015. Measurement of light attenuation extends the application of suspended sediment monitoring in rivers. *Sediment Dynamics from the Summit to the Sea, Proceedings of a symposium held in New Orleans, Louisiana, USA, 11–14 December 2014*. IAHS Publ. 367.
- IPCC 2007. Climate Change. Impacts, adaptation and vulnerability. In: PARRY M.L., CANZIANI O.F., PALUTIKOF J.P., VAN DER LINDEN P.J. & HANSON C.E. (eds), *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge. 976.
- JAKAB, G. 2008. Természeti tényezők hatása a talajpusztulás vonalas formáinak kialakulására. (Influence of natural factors on the development of linear erosion types.) PhD Thesis. Budapest. 140.
- KÁSA, I., GELYBÓ, GY., HOREL, Á., BAKACSI, ZS., TÓTH, E., KOÓS, S., DENCŐ, M., MOLNÁR, S., DEELSTRA, J., FARKAS, CS. 2017. Evaluation of three semi-distributed hydrological models in simulating discharge from a small forest and arable dominated catchment. *Biologia*. **72(9)**. 1002–1009.
- LANGLAND, M., CRONIN, T. (Eds.) 2003. A summary report of sediment processes in Chesapeake Bay and watershed. In *Water-Resources Investigations Report 03-4123*. New Cumberland, PA: US Geological Survey. Retrieved from <http://pa.water.usgs.gov/reports/wrir03-4123.pdf>
- LEHRTER, J.C. 2006. Effects of land use and land cover, stream discharge, and interannual climate on the magnitude and timing of Nitrogen, Phosphorus, and Organic Carbon concentrations in three coastal plain watersheds. *Water Environmental Research*. **78**. 2356–2368.
- NAGY, S.A. 2013. Hidroökológia. Debreceni Egyetem. 39.
- NEW, M., LISTER, D., HULME, M., MAKIN, I. 2002. A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Climate Research*. **21(1)**. 1–25.
- PAVANELLI, D., PAGLIARANI, A. 2002. Monitoring water flow, turbidity and suspended sediment load, from an Apennine catchment basin, Italy. *Biosystems Engineering*. **83(4)**. 463–468.
- PERLMAN, H. 2014a. Sediment and suspended sediment. In *The USGS Water Science School*. Retrieved from <http://water.usgs.gov/edu/sediment.html>
- PERLMAN, H. 2014b. Turbidity. In *The USGS Water Science School*. Retrieved from <http://water.usgs.gov/edu/turbidity.html>
- R CORE TEAM 2012. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. ISBN: 3-900051-07-0
- REICZIGEL, J., HARNOS, A., SOLYMOSI, N. 2007. *Biostatisztika nem statisztikusoknak*. Pars Kft., Nagykovácsi. 329. ISBN: 978-963-06 -3736-7
- RUZYCKI, E. M., AXLER, R. P., HOST, G. E., HENNECK, J. R., WILL, N. R. 2014. Estimating sediment and nutrient loads in four western lake superior streams. *Journal of the American Water Resources Association*. **50**. 1138–1154.

- RÜGNER, H., SCHWIENSTEK, M., BECKINGHAM, B., KUCH, B., GRATHWOHL, P. 2013. Turbidity as a proxy for total suspended solids (TSS) and particle facilitated pollutant transport in catchments. *Environmental Earth Sciences*. **69**. 373-380.
- SENEVIRATNE, S.I., NICHOLLS, N., EASTERLING, D., GOODESS, C.M., KANAE, S., KOSSIN, J., LUO, Y., MARENGO, J., MCINNES, K., RAHIMI, M., REICHSTEIN, M., SORTEBERG, A., VERA, C., ZHANG, X. 2012. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, BARROS, C.B., V., STOCKER, T.F., QIN, D., DOKKEN, D.J., EBI, K.L., MASTRANDREA, M.D., MACH, K.J., PLATTNER, G.K., ALLEN, S.K., TIGNOR, M., MIDGLEY, P.M. (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA. 109-230.
- SZÜCS, P. 2012. Az erózió léptékfüggése. (Scale dependency of erosion). PhD Thesis. Pannon Egyetem Növénytermesztés és Kertészeti tudományok Doktori Iskola. Keszthely. 139.
- TÓTH, A., SZALAI, Z. 2007. Tájökológiai és tájtypológiai vizsgálatok a Tetves-patak vízgyűjtőjén. *Tájökológia Lapok*. **5(1)**. 131-142.
- ZIADAT, F.M., TAIMEH, A.Y. 2013. Effect of rainfall intensity, slope, land use and antecedent soil moisture on soil erosion in an arid environment. *Land Degradation & Development*. **24**. 582-590.

Érkezett: 2017.09.25.

Connections between total suspended solid concentration and turbidity measurements at three catchment outlets

¹I. POTYÓ, ¹I. KÁSA, ^{1,2}C. FARKAS, ¹G. GELYBÓ, ¹Z. BAKACSI, ¹M. DENCŐ, ¹E. TÓTH & ¹A. HOREL

¹Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry, Centre for Agricultural Research, Hungarian Academy of Sciences, Budapest

²NIBIO, Norwegian Institute of Bioeconomy Research, Ås

Summary

The present study investigated the quantity of total suspended solids (TSS) in three small catchments and compared the data to turbidity measurements. The TSS data were based on filtration, drying and weight measurements, while the turbidity measurements were retrieved using a handheld device with a turbidity sensor. Water was collected daily at the catchment outlets from November 1, 2016 to May 31, 2017, representing the winter and spring seasons. The lowest quantity of TSS was detected at the catchment outlet of the Esztergályi Stream; however, there were two lakes close to the monitoring point where soil particles may have settled, possibly

explaining the low TSS values. The Csorsza and Tetves streams had similar TSS values during winter, but in the spring samples the TSS values were approximately three times higher in the Csorsza Stream than in the Tetves Stream. The relationship between water discharge and TSS values was also investigated for the Tetves Stream, but no significant correlations were observed between them. The results suggested that the labour-intensive TSS measurements (e.g. filtration, soil weight measurements) could be replaced to a good approximation using the handheld device. The spatial heterogeneity within and between the catchments influences the amount of suspended sediment and hence the measurement accuracy. Therefore, the use of the handheld device should also be complemented with other methods, such as the filtration used in the present study, to attain more precise values.

Keywords: suspended sediment; turbidity; water discharge; Lake Balaton

Tables and figures

Table 1. Land use in the catchment areas of the Tetves, Esztergályhorváti and Csorsza streams (based on Corine Land Cover 1:50.000, 2006). (1) Catchment of the Tetves Stream. (2) Catchment of the Esztergályhorváti Stream. (3) Catchment of the Csorsza Stream. (4) Land use. (5) Water surface. (6) Scrubland. (7) Forest. (8) Pasture. (9) Vineyard/orchard. (10) Arable. (11) Built-up area.

Table 2. Meteorological data for the catchment areas in the period 1961–1990 (CRU CL v2.0; NEW et al., 2002). (1) Catchment area. (2) Mean annual temperature (°C). (3) Annual precipitation sum (mm). (4) Mean wind speed (m/s). (5) Csorsza Stream. (6) Tetves Stream. (7) Esztergályi Stream.

Figure 1. Sampling areas: catchment areas of the Tetves, Esztergályi and Csorsza streams. (1) Water sampling site.

Figure 2. Longitudinal profile of the Tetves, Csorsza and Esztergályi streams from the spring to the sampling site, marking the lakes established on the Esztergályi Stream, based on the EUDEM relief model.

Figure 3. Time series of total suspended solids (TSS) and precipitation at the catchment outlets of the (a) Tetves, (b) Esztergályi and (c) Csorsza streams.

Figure 4. Linear regression relationships between the quantity of total suspended solids (TSS) and turbidity (FNU) for the (a) Tetves, (b) Csorsza and (c) Esztergályi streams.

Figure 5. Linear regression relationships between total suspended solids (TSS) values lower than 50 mg l⁻¹ and turbidity (FNU) for the (a) Tetves and (b) Csorsza streams.

Figure 6. Changes in the total suspended solids (TSS) on the surface of filter papers between February 3rd and 7th, during the spring thaw.

Figure 7. Linear regression relationship between the quantity of total suspended solids (TSS) and the water discharge of the Tetves Stream.