

ALKALMAZHATÓ VIZSGÁLATI MÓDSZEREK A FELISZAPOLÓDÁS MÉRTÉKÉNEK MEGHATÁROZÁSÁRA

Pusztai-Eredics Alexandra

*ELTE Környezettudományi Doktori Iskola
e-mail: eredics.alexandra@sek.elte.hu*

Összegzés

A Kárpát-medencében napjaink egyik fontos kihívása a hatékony árvízvédelmi módszerek kifejlesztése, melyet gazdasági, illetve lakossági szempontok indokolnak. A síkvidéki helyzetnek és a medencejellegnek a következménye a potenciális árvízveszély. Az árvízvédelmi stratégiák és akciótervek elkészítése, továbbá a célok pontos meghatározása érdekében, elengedhetetlen a Kárpát-medencébe érkező folyók feliszapolódási jellegének és sebességének a vizsgálata. Napjainkban az egyre váratlanabb és heves árvizek egy új kutatási sorozatot indítottak el, amelyek során különböző módszerekkel vizsgálják a kutatók az árterek és hullámterek feliszapolódását.

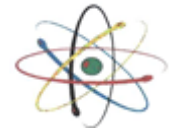
Kulcsszavak: Feliszapolódás, Mura, Rába, árvízveszély, ¹³⁷Cs-radioaktív izotóp

Bevezetés

A Kárpát-medencében napjaink egyik fontos kihívása a hatékony árvízvédelmi módszerek kifejlesztése, melyet gazdasági, illetve lakossági szempontok indokolnak. Manapság a klímaváltozás következtében olyan heves zivatarok alakulnak ki a nyári időszakban, hogy a lehullott csapadékvíz extrém mennyiségét folyóink nem tudják megfelelően elvezetni, ezért az árvízvédelem az elmúlt évtizedben kiemelt jelentőségű figyelmet kapott. A tavasz-nyár váltás egyre gyakrabban hirtelen következik be. Ilyenkor a magashegységi olvadás okoz váratlan árvizeket.

Az árvizek kialakulásának a Kárpát-medencében éghajlati és domborzati okai egyaránt vannak. A síkvidéki helyzetnek és a medencejellegnek a következménye a potenciális árvízveszély. A Kárpát-medence a Föld egyik legzártabb medencéje, minden oldalról magas hegyvonulatok veszik körül, amelyekben csak keskeny kapuk nyílnak. Főként ennek az adottságnak köszönhető a medence sajátos vízrajzi képe. A medence területén képződő és lefolyó felszíni és felszín alatti vizek nagy részét a Duna gyűjti össze és a Vaskapun kilépve szállítja tovább a Fekete-tenger felé. A Duna sajátosan megosztja a vízhálózatot a medencén belül, a folyásirány szerinti bal parti mellékvízfolyások a Kárpátok láncolatán belüli területeken lefolyó vizeket gyűjtik össze, míg a jobb oldali mellékvízfolyások alpi eredetűek (Varga et al., 2018). Tanulmányomban főként az Alpokból érkező folyók feliszapolódásának vizsgálati módszerével foglalkozom.

A Kárpát-medence folyói szélsőséges vízjárásúak, a magasabb vízállást, az ún. nagyvizeket gyakran váltják kisvizes, alacsony vízállású időszakok (Varga et al., 2018). A Kárpát-medence a síkvidéki alluviális folyóknak (saját hordalékanyagukon folyó) köszönhetően üledékelfogadóhelyként definiálható, tehát innen nem távozik az üledék, hanem éppen ellenkezőleg, itt halmozódik fel. Az üledékfelhalmozódás pedig csökkenti az árvízi befogadóképességet. A klímaváltozás és a növekvő antropogén tevékenység miatt napjainkban az árvizek veszélye fokozottan jelentkezik, ebben jelentős szerepet játszik az üledékfelhalmozódás.



A folyami vízszint emelkedés okai több területen keresendők, egyrészt a vízgyűjtő területeken végbemenő változásokban, másrészt az egyes folyószakaszok mentén lokálisan lejátszódó antropogén és szemiantropogén folyamatokban. Mindezek a tényezők külön-külön, de együtt is, egymás hatását felerősítve jelentkezhetnek. Jellegéből adódóan a Kárpát-medence, árvízi szempontból rendkívül veszélyes terület.

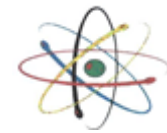
Az árvízvédelmi stratégiák és akciótervek elkészítése, továbbá a célok pontos meghatározása érdekében, elengedhetetlen a Kárpát-medencébe érkező folyók feliszapolódási jellegének és sebességének a vizsgálata.

Magyarország jelentős része csekély esésű síkvidék, amelyre hirtelen és gyakran több irányból is egyszerre érkeznek a környező hegyvidék árvizei (Varga et al., 2018). Az országban, a bekövetkezett Tisza-Szamos katasztrófák hívták fel a figyelmet a rendszeres üledékvizsgálatok fontosságára (Gémesi, 2008). A gazdaságos és hosszú távú megoldást az árvizekre való felkészülés, azaz a megelőzése jelenti. Ezért tehát az árterekkel való gazdálkodást kell előtérbe helyezni, és azt vizsgálni, mi okozza az árterek, hullámterek levezető képességének csökkenését. Napjainkban különböző kutatási ágazatok foglalkoznak az árterek hidrológiai, hidraulikai, geológiai, geomorfológiai fejlődésével. Keresik a változások okát, visszatérnek a múltba és vizsgálják a folyók valamikori nyomvonalát, számítják régi lehetséges vízhozamát. A tudományágak más-más időtávokat vizsgálnak és kutatási módszereik is különbözőek: folyamatok megfigyelése, mérések adatainak értékelése és következtetések levonása. A cél azonban minden esetben ugyanaz, mégpedig valamilyen esemény jövőbeni bekövetkezésének előrejelzése, alátámasztása, magyarázása. A fent leírtak miatt felgyorsultak az ártéri és hullámterti kutatások. Ha ismerjük hidrográfiai környezetünk múltját, tervezhetővé válik a jövő (Engi et al., 2016a).

A gáttakkal lehatárolt hullámtereknek jelentős szerepük van az árvizek levezetésében, de a lassú feltöltődés miatt a víztározó képességük előre nem becsülhető csökkenésével is számolni kell az árvízvédelmi stratégiák meghatározásakor. Megállapítható, hogy a folyók hullámterén fellépő üledéklerakódás vizsgálata, sebességének meghatározása az árvízi események rendszertelen és többé-kevésbé véletlenszerű előfordulása miatt meglehetősen nehézkes. Telepített üledékcsapdák (Lambert és Walling, 1987) egyszeri eseményről tudnak csak információt adni, mivel az egyes árvizek változó mennyiségű üledéket hagynak maguk után az árvíz időtartamától és intenzitásától függően. Hosszú időre vonatkozó információt nagyobb üledéksorok vizsgálatával nyerhetünk, de ehhez ismerni kell legalább egy eltemetett üledékréteg korát. Ilyen információt adhat egy célzottan telepített akkumulációs-mérce, vagy az üledékben kvázi-természetesen jelenlévő időpontnyomjelző anyagok, vagyis időbélyegek. Ez utóbbiak jellemzője, hogy az üledéksornak egy bizonyos időpontban lerakódott részéhez kötődve vannak nagyobb mennyiségben jelen. Időbélyeg lehet, pl. a globális légköri kihullásból mindenhol jelenlévő ¹³⁷Cs-izotóp (Dezső et al., 2009). A ¹³⁷Cs-izotóp, azért bír nagyobb jelentőséggel, mert viszonylag hosszabb felezési idejének köszönhetően még mindig jól mérhető koncentrációban van jelen a talaj felső rétegeiben (Takenaka et al., 1998; Szerbin et al., 1999; Zhiyanski et al., 2008; Szabó et al., 2012a, b; Kiss, 2013), és a felszíni vizek üledékében (Walling és He, 1997; Braun et al., 2003; Gémesi, 2008; Dezső et al., 2009; Engi et al., 2016b).

Alkalmazható vizsgálati módszerek a feliszapolódás mértékének meghatározására

Napjainkban az egyre váratlanabb és heves árvizek egy új kutatási sorozatot indítottak el, amelyek során különböző módszerekkel vizsgálják a kutatók az árterek és hullámterek feliszapolódását.



Geoinformációs elemzések

A különböző időszakokban készült digitális terepmodellek magassági adatait hasonlítják össze. Nagyobb területeket lefedő nagy felbontású térképek készítéséhez távérzékelte adatokat használnak (remote sensing), a feliszapolódás mértékét az összehasonlított adatok különbsége adja (Engi et al., 2016b; Gilvear és Bryant, 2003; Steiger és Gurnell, 2003).

Modellezés

Az árterek feliszapolódásának meghatározása elvégezhető fizikai hidraulikai modellekkel is, de ezek a modellek többnyire más kutatási célok miatt készültek (pl. árterek kiterjedésének meghatározása), ezért az eróziós, illetve feliszapolódási folyamatok csak közvetetten kerültek elemzésre (Engi et al., 2016b; Rak et al., 2011; Šantl et al., 2010; Viziter Consult és Láng, 2009).

A numerikus hidraulikai modellezés a kapcsolódó transzport modellekkel lehetővé teszi az egydimenziós áramlási viszonyok elemzését, pl. HEC-RAS Transport Calculations, amelyben hét hordaléktranszport egyenlet áll rendelkezésre: Ackers és White 1973-ból, EnglundHansen 1967-ből, Laursen 1958-ból, Meyer-Peter-Müller 1948-ból, Toffaleti 1968-ból, Yang 1972-ből és Wilcock 2000-ből (Bruner és Gibson, 2005; Gibson et al., 2006). A tározók, tavak, vízfolyások, csatornák feliszapolódásának kutatására és a lebegtetett és/vagy görgetett hordaléktranszport modellezésére már kétdimenziós hidraulikai modellek állnak rendelkezésre, pl. MIKE 2D FM ST, HEC-RAS 2D, a nyitottkódú CCHE 2D stb., illetve 3D modellek, pl. SSIIM stb. Amennyiben az árterület nagyságáról, az áramlás irányáról, a változók térbeli eloszlásáról akarunk információkat szerezni, a kétdimenziós modellezések alkalmazására kerül sor. MIKE 21 FM program hidrodinamikai modulja numerikusan oldja meg a RANS (Reynoldsátlagolt Navier-Stokes) egyenleteket. Az egyenletek a vízmélység és a fajlagos vízhozam változását írják le. Az egyenletrendszereket numerikusan oldja meg a program az ADI módszerrel (Alternate direction implicit), a DS algoritmus használatával (Double Sweep) (Engi et al., 2011; Engi et al., 2012; Engi et al., 2016a). Engi et al., (2016a) megpróbáltak választ találni arra, hogyan alkalmazhatók a geomorfológiai kutatási módszerek a numerikus modellek eredményességének támogatására. A MIKE 21 FM programmal 2D hidraulikai modellezést végeztek, összehasonlították az árvízveszély térképeket és az öreg történelmi térképeket és értékelték az eredményeket.

Terepi mérések

Egyik lehetőség, hogy a frissen vételezett árvízi üledékminta réteg vastagságát meghatározzuk. Másik megoldás, hogy elvégezzük az ártér vagy hullámtér keresztmetszéneinek geodéziai állapotfelmérését és a terep magasságának összehasonlítását az árvízi esemény előtti állapottal. Az utóbbi években ezzel a módszerrel tanulmányozták Magyarországon a Tisza, a Hernád és a Maros hullámtéri feliszapolódását (Borsy, 1972; Kiss et al., 2002; Oroszi és Kiss, 2005; Babák, 2006; Sándor és Kiss, 2007; Vass et al., 2009). Adatokhoz juthatunk a hullámtéri holtágak feliszapolódásának üledék elemzéséből is (Braun et al., 2010; Korponai et al., 2010).

Az üledék minta rétegeinek kormeghatározása és a feliszapolódás sebességének megállapítása

Radiometrikus módszerek alkalmazásával, a hullámtéri üledék nehézfém tartalmának mérésével, az üledékben jelenlevő indikátor anyagok, markerek segítségével, meghatározható az üledékréteg kora. Ilyen információ hordozói a vízgyűjtő felső szakaszán a bányászati tevékenységből származó nehézfémek (Cu, Pb, Cr), vagy a ¹³⁷Cs az atmoszférából.



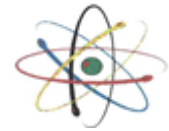
Az ártéri feliszapolódás kutatása során Magyarországon alkalmaztak már radiometrikus mérési módszereket a Tisza, a Hernád, a Maros és a Mura hullámtéri feliszapolódás vizsgálata tekintetében (Kiss et al., 2002; Braun et al., 2003; Sándor és Kiss, 2007; Soster et al., 2007; Szabó és Posta, 2008; Dezső et al., 2009; Engi et al., 2016a, b). A tapasztalatok azt mutatják, hogy a radiometrikus módszerek eredményeit számos tényező befolyásolhatja, ezért javasolt más kutatási módszerek eredményeivel történő összehasonlításuk. Ilyen módszer például a dendrokronológia, amellyel a rétegek kora a fák korának, illetve a fő gyökerek mélységének meghatározásával történik (Alestalo, 1971; Hupp és Simon, 1991), vagy a palinológia, melyet gyakran alkalmaznak az árterek feliszapolódásának vizsgálatára a növények foszilis virágpórn maradványait kutatva, de meg kell említeni, hogy egyéb paleológiai kutatásokkal együtt nyújt megbízható eredményt (Engi et al., 2016b).

¹³⁷Cs-izotóp használati lehetősége a feliszapolódás datációban

Környezetünkben a ¹³⁷Cs radioaktív izotóp jelenlétét antropogén tevékenységek idézték elő. Az első globális forrásnak az 1945–1963 között végzett léghő nukleáris fegyvertesztek tekinthetőek. Az 1963-as Atomcsend Egyezmény (Partial Nuclear Test Ban Treaty, Traité d'interdiction partielle des essais nucléaires) előtt az érintett nagyhatalmak felgyorsították a kísérleti programjaikat, mivel utána már nem volt lehetőségük tesztek elvégzésére. Ezért 1963-ban kimutatható egy csúcs a ¹³⁷Cs esetében. Ebben a rétegben a cézium 136-os izotópja is megtalálható. A kísérleti robbantások eredményeképpen a radioaktív nuklidok a sztratoszférába kerültek, majd a földfelszínre kiülepedve viszonylag egységes regionális képet rajzoltak ki. Ezt az eloszlást Európában az 1986-ban bekövetkezett csernobili atomerőmű baleset átalakította. Az atomerőmű 4. reaktorblokkjának aktív zónájában történt gőzrobbanás és tűz hatására az atmoszférába nagy koncentrációban kerültek ki különböző radioaktív izotópok különféle fiziko-kémiai formákban. A légmozgás hatására a radioaktív felhő szétterjedt, az elpárolgott illékony elemek, mint a cézium is, Európa jelentős részét érintették az akkori időjárási körülmények függvényében (Szabó et al., 2012a, 2012b). Mint számos európai országot, Magyarországot is érintette a viszonylag magas fokú radioaktív kiülepedés.

A csapadék jelenléte és intenzitása jelentősen befolyásolja a ¹³⁷Cs kihullását, mivel nagy része nedves ülepedéssel jut a troposzférából a földfelszínre (Szabó et al., 2012a). A kihullás szoros kapcsolatot mutat a helyi csapadékhullási mintázatokkal, illetve intenzitásokkal (Ritchie és Henry, 1990). Mivel a mesterséges radioaktív izotópok főleg léghő, és hidrológiai folyamatokkal szállítódnak a keletkezési helyükről a távolabbi területekre, a léghő ¹³⁷Cs-tartalma is csapadékvízhez kötötten érkezik a talaj felszínére, majd vele együtt beszívárog a talajba (Dezső et al., 2009). Tehát a hidrológiai lefolyás a fő folyamatok egyike, amelyben a radionuklidok lerakódnak a felszíni környezetben, valamint vándorolnak széles körben részecske és oldott formákban egyaránt. A folyók szállítják e részecskéket és oldott anyagokat szélesebb területekre (Amano et al., 1999).

Radiometrikus módszerek alkalmazásával, a hullámtéri üledék radioaktív nuklidok tartalmának mérésével, az üledékben jelenlevő indikátor anyagok, markerek segítségével, meghatározható az üledékréteg kora, ilyen információhordozó a ¹³⁷Cs is az atmoszférából. A környezetbe került mesterséges izotópok közül a ¹³⁷Cs kimondottan alkalmas az utóbbi 40–50 év során keletkezett feliszapolódás üledékének kormeghatározására (Walling és He, 1997, Wyzga, 1999; Zhao et al., 1999, Engi et al., 2016b). A ¹³⁷Cs-izotóp elegendő mennyiségben van jelen ahhoz, hogy alkalmassá váljon a Kárpát-medencében a természeti folyamatok megfigyelésére. A ¹³⁷Cs-izotóp mivel viszonylag nagy mennyiségben keletkezett az atombomba robbantások során, valamint a fizikai felezési ideje 30,17 év, így a környezetben hosszú ideig megmarad (Kiss, 2013).



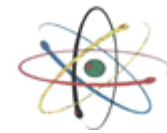
A mintavételi helyek kiválasztásánál a helyi viszonyokhoz kell alkalmazkodni. A mintavételnél fontos szempont a terület növény borítottsága, kövessége, lejtése stb. A mintavételi helyeket úgy kell megválasztani, hogy kellő távolságban (min. 1,5 - 2m) legyenek az erdőt alkotó fáktól, mert azok közvetlen közelében jelentős ¹³⁷Cs készletingadozások is megfigyelhetők Takenaka et al. 1998-as tanulmánya szerint. Az erdővel borított területen jelentős lehet az élőlények általi bolygatottság, gyökerek menti ¹³⁷Cs vándorlás (Kiss, 2013). Továbbá a folyók hullámterében olyan holtágakból célszerű üledékmintákat venni, amelyek üledékcsapdaként szolgálnak. A részletes kutatáshoz olyan holtágakat érdemes választani, amelyek vízpótlást kizárólag árvízkor kapnak. Az árvízi időszakban a folyó előnti a hullámteret, ahol bőven jut idő a hordalék kiülepedésére. A mintavételi helyek kijelölésénél fontos szempont még, hogy azok biztosan bolygatatlan területek legyenek.

A mintavételi területekről begyűjtött minták teljes száradása után mozsárban történik a porításuk. A minták ¹³⁷Cs aktivitásának meghatározása gamma-spektrometriával történik. A ¹³⁷Cs-aktivitáskoncentrációjának meghatározására egy nagy felbontású HpGe (High Purity Germanium) félvezető germánium detektoros γ -spektrométer használatos.

A spektrometriának azaz elvi alapja, hogy adott izotópból kibocsátott radioaktív részecskék, vagy g-fotonok energiája jellemző a kibocsátó atommagra. Tehát az energiaméréssel következtetni lehet a kibocsátó izotópra (minőségi meghatározás), az időegység alatt regisztrált részecskék számából pedig az adott izotóp aktivitására (mennyiségi meghatározás) (Bódisz, 2006).

A mérések kiértékeléséhez az analizátor kártyához tartozó ORTEC MAESTRO kiértékelő szoftver a csúcsterület és annak hibája számítását automatikusan végzi. A program csatorna-energia kalibrációja egy ismert aktivitású ¹³⁷Cs hitelesített etalonforrás segítségével készül. A kalibráció a labor működése során néhány havonta elvégzésre kerül. A mintákat ½ literes kis-Marinelli mintatartó edénybe kell helyezni, és ezek után kerül sor a minták aktivitásának meghatározására. Az aktivitásmérés előtt a minták tömege hitelesített mérlegen kerül meghatározásra (minta tömege (g) = teljes tömeg (g) – Marinelli edény tömege (g)). A kivett mintákat ¹³⁷Cs-izotópos vizsgálattal elemezzük. Minden minta esetében a mérés ideje 3600 másodpercet vesz igénybe. A mérést követően a MAESTRO programmal kijelölhető az adott izotóphoz tartozó, ¹³⁷Cs esetén 661,62 keV energiánál a csúcsterület, és a program kiszámolja a csúcsterülethez tartozó nettó beütésszámot (nettó beütésszám = csúcsterület - háttér) és annak hibáját. A kapott értékekből a mérési idő, a hatásfok és a gamma hozam felhasználásával számítható ki a minták aktivitása Bq-ben. Ez azt mutatja meg, hogy az adott mintában a ¹³⁷Cs-izotóp aktivitás milyen nagy, vagyis az abszolút, teljesenergia-csúcs hatásfok értéke azt adja meg, hogy a sugárforrásból kibocsátott, adott energiájú összes gamma fotonból mennyi kerül regisztrálásra a teljesenergia-csúcsban. Az így kapott aktivitás értékekből a tömeg ismeretében egyszerűen számolható a minta tömegegységre vonatkoztatott aktivitáskoncentrációja.

A fenti alapokon nyugvó módszert az 1980-as években kezdték kifejleszteni, a sikeres alkalmazásokra 1990-től már számos példát lehet találni (Froehlich és Walling, 1994; Battaglia et al., 1996; Walling és He, 1997). Tehát a bemutatott ¹³⁷Cs-izotópos módszer a hatékonyabb árvízi védekezéshez szolgáltat adatokat, megfelelő adatot nyújt a hullámtér feliszapolódási gyorsaságának hosszú távú előrejelzéséhez, amely a térségi tervezési folyamatok lényeges eleme.



Mérések és eredmények a Mura és Rába folyók vizsgálata alapján

A hullámtéri feliszapolódás mértékének megállapítása a Mura folyó árterén

Engi et al. (2016b) a rétegek kormeghatározását az üledékoszlop röntgenfelvétel adatai, a hidrológiai adatok (vízállás) és a minták kiemelkedően magas homokfrakciójának adatai alapján végezték el. A fúrásmagok kivétele után a rétegeket először röntgen vizsgálattal elkülönítették, majd meghatározták a minták szemcseeloszlási összetételét és az eredményeket statisztikailag értékelték.

A meghatározás elve, hogy adott méretű szemcséket monokromatikus fényvel ($\lambda=750$ nm) megvilágítva, azok bizonyos szögben térítik ki a fényt, méghozzá úgy, hogy ez a szög növekszik a szemcse méretének csökkenésével. Ezt a diffraktált fényt detektorok fókuszálják. A szemcseméret eloszlás kiszámításához két különböző elméletet alkalmaz a készülékhez tartozó szoftver, méghozzá a Mie elmélet szerint határozza meg a részecske eloszlást. Eredményeik statisztikai értékeléséhez a GRADISTAT programot használták (Blott és Pye, 2001). A következő szemcseméretes százalékos tartalma: közepes homok (250-500 μm), finom homok (125-250 μm), nagyon finom homok (63-125 μm), nagyon durva iszap (31-63 μm), durva iszap (16 -31 μm), közepes iszap (8-16 μm), finom iszap (4-8 μm), nagyon finom iszap (2-4 μm), agyag (<2 μm) volt meghatározva az üledékmintában. A szemcseméret-kategóriákat a Folk és Ward módszer segítségével számították ki.

A minta rétegeinek datálásához/kormeghatározásához a homokfrakciók szemcséit választották, mert az ettől nagyobb frakciókat az árvízkor előálló nagyobb sebesség elsodorja. Kiválasztották a röntgenfelvétel alapján elkülönülő, megfelelő rétegeket és megkeresték a hozzájuk tartozó árvízi eseményeket. Az üledékminták elemzése alapján az említett frakciók jelenlétét is ellenőrizték. Az adatokat táblázatban és grafikusán ábrázolva megkeresték az összefüggést. A kutatási eredmények alapján meghatározták a holtág feliszapolódási sebességét, illetve közvetve a hullámtér feliszapolódási tendenciáját. Az eredmények értékelése alapján a hullámtér feliszapolódási sebessége 20 cm 17 év alatt, azaz 1,17 cm/év.

A holtág által leülepitett anyag döntő többsége közetliszt (silt) kategóriába esik. Ennek az anyagnak a felhalmozódása az évenkénti rendszeres árvizekhez kapcsolódik. A homok frakció megjelenése különlegesen magas vízhozamoknál jelentkezik, melyek 10-15 éves ciklusban fordulnak elő. A feliszapolódás gyors folyamatáért tehát elsősorban a 2-63 μm frakció felelős. Az előzetes adatok alapján a feliszapolódás mértéke 1-2 cm/év nagyságrendű, mely hasonlóan alakul a nagy kárpát-medencei folyók többségén. A medence fekvéséből adódó természetes jelenséget tovább fokozza a 2-63 μm frakció nagy aránya. Ez a frakció kifejezetten a meanderező folyókra jellemző szemcseméret, melyet a Mura a szabályozási beavatkozások ellenére megtartott. Az adatok azt bizonyítják, hogy a folyó törekszik saját meanderzőképességének fenntartására és eredeti meanderövének visszaállítására. A folyó és környezetének jövőjét elemezve figyelembe kell vennünk az ismert klimatikus trendeket is. Ezek alapján arra kell számítanunk, hogy az árvizek gyakorisága nőni fog a régióban. A gyakoriság mellett pedig az árvizek évi eloszlása is változni fog. Egyre több „menetrenden kívüli” árvízre kell felkészülnünk. A szokásos május-júniusi és október-novemberi szezonális árvizeken kívül is számolnunk kell gyors lefolyású árvizekkel. Az pedig közismert, hogy ezek mobilizáló hatása lényegesen nagyobb, mint a szezonális árvizeké. A két tényező változása arra enged következtetni bennünket, hogy a feliszapolódás mértéke nőni fog, amiből egyértelműen következik a hullámtér befogadóképességének csökkenése. Abban az esetben tehát, ha a védművek koronamagassága műszaki, vagy tájképi okokból már tovább nem növelhető, elkerülhetetlenné válik a folyó eredeti árterének helyreállítása, legalábbis a kritikus szakaszokon.

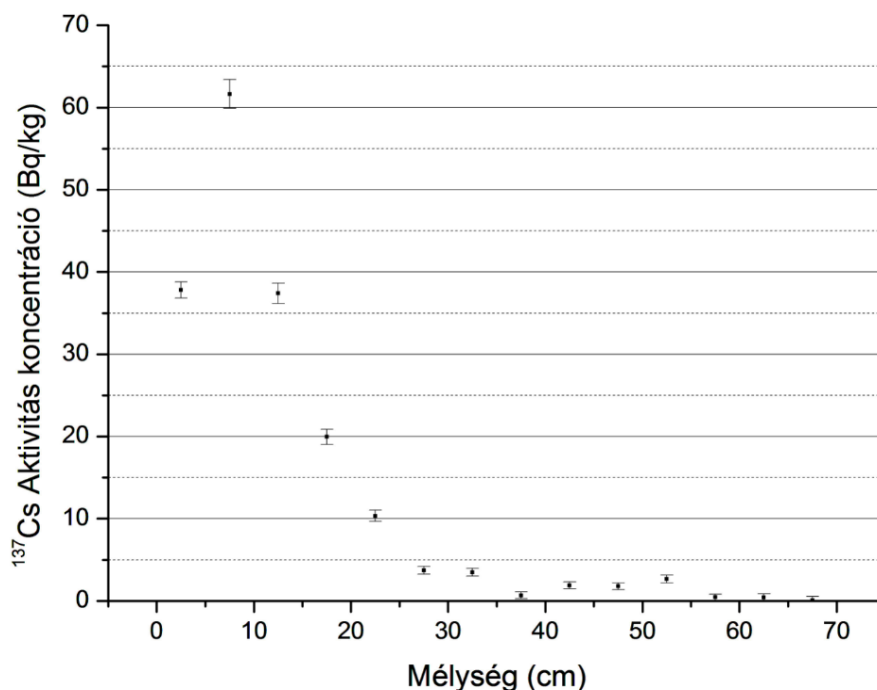
Ez jelentősen befolyásolhatja a Mura-folyó két partján élő lakosság mindennapjait és gazdasági tevékenységét. Az általunk alkalmazott geinformatikai módszer alkalmas a korábbi korok ártereinek kimutatására, a feliszapolódás mértékének meghatározása pedig képes megmutatni a beavatkozást igénylő helyeket.

A hullámtéri feliszapolódás mértékének megállapítása a Rába folyó árterén

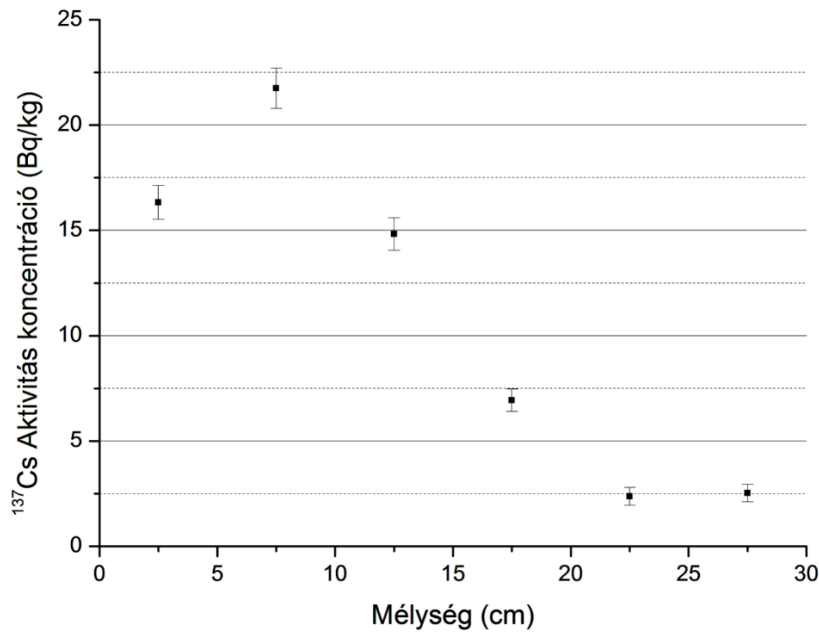
A vizsgált területen az előzetes próbamérések alapján a Rába folyó árteri területének talajában a ^{137}Cs -aktivitáskoncentrációja került vizsgálatra. A mérések során bemutatásra kerül a vizsgált terület talajában a ^{137}Cs mélység szerinti eloszlása, valamint e mélységi eloszlás térbeli, és időbeli változása.

A 70 cm, illetve a 30 cm mély kutatógödrökkel feltárt üledéksor 5 cm-es rétegenként lett mintázva. Majd a fent leírtak alapján felvettük a ^{137}Cs mélységi eloszlását és kerestük a kihullási eseményeket jelző maximumokat.

A 20 mintára kapott ^{137}Cs -adatok egy viszonylag szűk értéktartományra korlátozódnak, ugyanakkor a mélységgel határozott szisztematikus változást mutatnak. Mind két mintaterület (1-2. ábra) esetében a talaj felső 0-5 cm-ben a koncentráció magasabb értéket mutat, ennek valószínűleg az lehet az oka, hogy a vízgyűjtő terület felső részéről folyamatosan szállítódik az anyag az alacsonyabb területekre, így a mintavételi területre is. Ezután a mélységgel, az 5-10 cm-es rétegben a koncentráció meredek emelkedése tapasztalható. A magas ^{137}Cs értékéből is jól látszik, hogy üledékcsapdaként funkcionál a mintaterület. Ezt a markánsan kiemelkedő 5-10 cm között megjelenő keskeny csúcsot, az 1986-os rövid idejű csernobili kihullás időbélyegének tekinthető. A ^{137}Cs -aktivitáskoncentrációja 10-70 cm mélyséig monoton csökken, ez a természetes migráció része, ugyanis a ^{137}Cs mennyisége bolygatatlan területen exponenciálisan csökken.



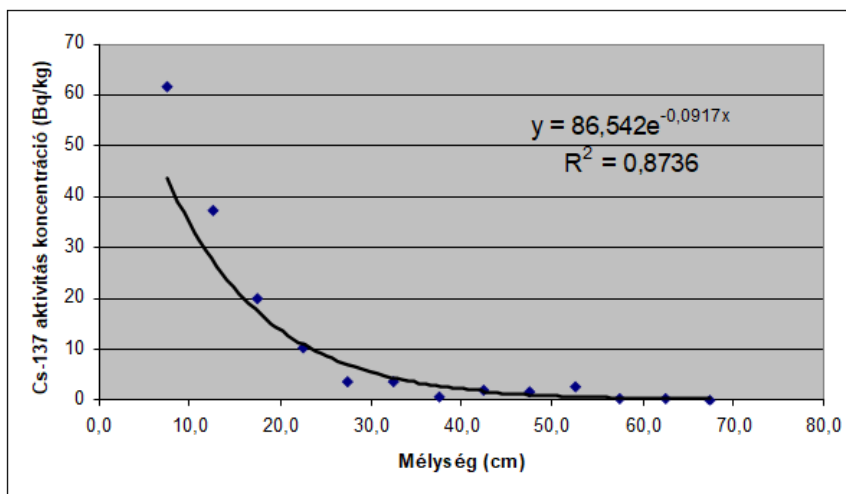
1. ábra: A ^{137}Cs -izotóp mélységi eloszlása a holtág A- mintavételi helyén



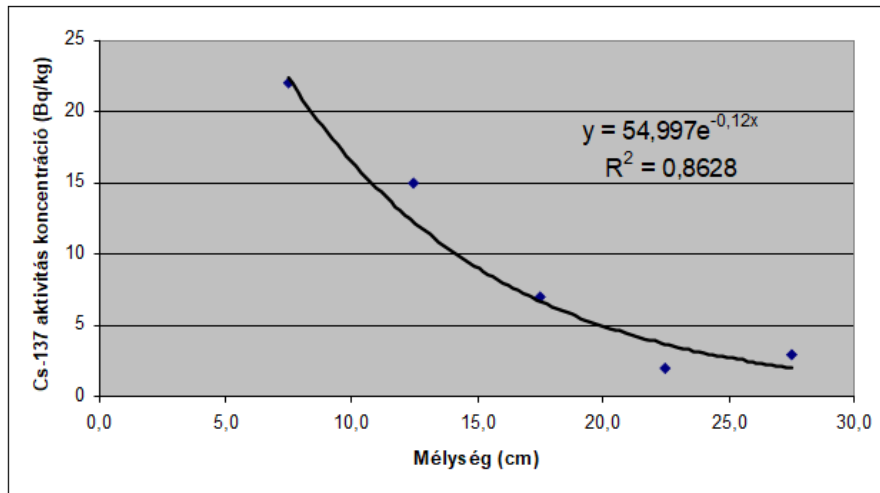
2. ábra: A ¹³⁷Cs-izotóp mélyégi eloszlása a holtág B- mintavételi helyén

Megfigyelhető, hogy a mélységgel gyorsan csökken a ¹³⁷Cs koncentrációja, vagyis a ¹³⁷Cs igen lassan mozog a talajban, ezt a lassú mozgást a korábbi kutatások anyagvizsgálati eredményei a talaj agyagásvány tartalmával (Tamura és Jacobs, 1960; Valcke és Cremers, 1994; Szabó et al., 2012a, 2012b), elsősorban a kaolinit és az illit jelenlétével magyarázzák. A légköri nukleáris fegyvertesztek időben elhúzódó cézium kihullása miatt várhatóan szélesebb csúcs 70 cm mélyen még nem mutatkozik.

A mérések igazolták, hogy a vizsgált területek talajában a ¹³⁷Cs-aktivitás a talajmélységgel csökken. Ezen csökkenést a talajmélység függvényében ábrázolva és függvényt illesztve az adatokra az tapasztalható, hogy az aktivitás talajbani eloszlása csökkenő exponenciális függvény szerint változik (3-4. ábra), amit már korábbi kutatási eredmények is igazoltak (He és Walling, 1997; Dezső et al., 2009; Szabó et al., 2012a, 2012b; Kiss, 2013).



3. ábra: A- mintaterület talajának ¹³⁷Cs aktivitáskonzentrációja a talajmélység függvényében, valamint a mélyégi eloszlásokra illesztett függvény (0- 70 cm)



4. ábra: B- mintaterület talajának ^{137}Cs aktivitáskoncentrációja a talajmélység függvényében, valamint a mélységi eloszlásokra illesztett függvény (0- 40 cm)

A talajprofil további elemzéséből arra lehet következtetni, hogy a terület bolygatatlan talajprofiljában a ^{137}Cs -összaktivitás nagy része a talaj felső 15 cm-es rétegében koncentrálódik. A kutatási eredmények alapján meghatározhatóvá vált a holtág feliszapolódási sebessége. Az eredmények értékelése alapján a hullámtér feliszapolódási sebessége 5 cm 30 év alatt, azaz 0,17 cm/év. A kapott értékek rámutatnak, hogy a hullámtér e szakaszán az iszapoldás mértéke csekély. A fentiekben említett mérések alapján a csernobili szint a felső 5-10 cm-es talajszelvényben helyezkedik el. A Rába e szakaszán, a folyó hordalékszállító képességének a megnövekedése miatt nagyarányú üledékképződés nincs.

Ha a kapott eredményeket a folyamatban lévő kutatások eredményeivel próbáljuk összehasonlítani, figyelembe kell venni azt, hogy más jellegű folyók árteréről van szó, mások a hidrológiai és morfológiai viszonyok. A Tisza menti árterén végzett feliszapolódás vizsgálat előtérbe került az országos Vásárhelyi Terv Továbbfejlesztése (VTT) kapcsán. A hosszútávú üledékvizsgálat értékei a 19. századi szabályozási munkák után a Közép- és Alsó Tiszán az 1838-1957. évek közötti időszakot figyelembe véve a VO kövek felmérésével 0,6-1,3 cm/év (Károlyi, 1960). Szlávik (2001) szerint 1976-1983 között a hullámtéren átlagosan 1 cm/év. Szabó et al. (2008) nehézfém markerek segítségével 0,9-1 cm/év értéket kapott. Sándor (2011) vizsgálatai az árterén az 1889-2005 időszakra több szelvény alapján 0,29-0,75 cm/év értéket mutatott. A Maroson Oroszi (2009) mért a holtágokban 1,3-2,4 cm/év feliszapolódási sebességet. Az árterre ő is 0,2-0,6 cm/év értéket állapított meg. Keesstra (2007) a Dragonja folyón 1960 óta mért adatokat vizsgálva állapította meg a 0,41-1,96 cm/év értéket, míg egy áradás után átlagosan 0-1,6 cm/év feliszapolódást jelzett terepi mérés alapján.

Összefoglalás

A bemutatott módszerek (üledékvizsgálat, röntgenvizsgálat, vízrajziadat elemzés, ^{137}Cs -izotóp vizsgálat) alkalmazhatóságának feltétele, hogy legyen olyan holtág, amely csak árvízkor kap vízutánpótlást és így lehetőség adódik a hordalék kiülepedésére. A kutatás során bebizonyosodott, hogy nem minden holtágból lehet megfelelő mintát venni. Napjainkban gyakori, hogy egyes holtágakat bevonják valamilyen revitalizációs felújításba, például megnyitják a bevezető és kivezető szakaszát, és így az árvíz ezt levonulási sávként használja, de ezzel viszont megbolygatják a természetes feltöltődésének ütemét. Ilyen helyszínről reprezentatív mintát már nem lehet venni, mert az árvíz kimossa, átöblíti a holtág medrét.

A vizsgálati módszerek megfelelő adatot nyújtanak a hullámtér feliszapolódási gyorsaságának hosszútávú előrejelzéséhez, amely a térségi tervezési folyamatok lényeges eleme. A meanderező vízfolyások gyakran változtatják a nyomvonalukat, a kanyarok fejlődnek vagy átszakadnak és ezzel új nyomvonalak alakulnak ki. Amennyiben a levonuló árhullám rátalál a régi holtágak nyomvonalára, azokat is bekapcsolja a hullámtéri vízszállításba. Ha azonban a holtágak feliszapolódtak, a folyó nem használhatja őket pufferkapacitásként az árvizek levonulása során. Ezért új levonulási útvonalakat keres, amivel az árvízveszély növekedhet.

Az bemutatott geomorfológiai üledékvizsgálati módszerek további előnyei, hogy amíg azonos az ártér szerkezeti felépítése, a minta reprezentatívan ábrázolja a környezeti helyzetet és nem szükséges minden egyes holtágat megmintázni, ami a költségeket nagyban csökkenti. Ugyanígy nem kell minden egyes árvíz után felmérést végezni, mert hosszútávú módszerről van szó, amivel előre is lehet jelezni.

Jövőbeni kutatásként a folyók még több holtágának vizsgálatával, azok mintáinak ¹³⁷Cs-aktivitáskoncentrációjának elemzésével további, pontosabb információk nyerhetők a folyó hosszabb szakaszán a feliszapolódási sebességének, illetve mértékének alakulásáról. Ha sikerülne kiépíteni egy hálózatot a folyók bolygatás nélküli holtágaiból, annak eredményeképpen már elegendő adat állna rendelkezésre ahhoz, hogy az árvizeket feliszapolódási adatokkal is jellemezni lehessen. A könnyebb átláthatóság érdekében térképen ábrázolni lehetne az ártéri feliszapolódás értékeit, amely összevethető lenne az éppen aktuális állapottal (Engi et al., 2016b).

Felhasznált irodalom

1. Alestalo, J. (1971): Dendrochronological interpretation of geomorphic processes. *Fennia* 105: pp. 1–140.
2. Amano, H., Matsunaga, T., Nagao, S., Hanzawa, Y., Watanabe, M., Ueno, T., Onuma, Y. (1999): The transfer capability of long-lived Chernobyl radionuclides from surface soil to river water in dissolved forms. *Organic Geochemistry* 30: pp. 437-442.
3. Babák, K. (2006): A Hármas-Körös hullámterének feltöltődése a folyószabályozások óta. *Földrajzi értesítő* 55, 3–4: pp. 393–399.
4. Battaglia, D., Capra, L., Guzz I., Martinotti, W. (1996): “¹³⁷Cs and naturally occurring radionuclides as a tool for sedimentation study in river reservoirs.” *Proc. Int. Conf. on Reservoir Sedimentation*. pp. 217-232.
5. Borsy, Z. (1972): Üledék- és morfológiai vizsgálatok a Szatmári-síkságon az 1970. évi árvíz után. *Földrajzi Közlemények* 96, 1: pp. 38–42.
6. Bódizs, D. (2006): *Atomnugsugárzások mérés technikái*. Typotex Kiadó, Budapest 271p.
7. Braun, M., Szalóki, I., Posta, J., Dezső, Z. (2003): Üledék felhalmozódás sebességének becslése a Tisza hullámterében. *MHT XXI. Vándorgyűlés, Szolnok*.
8. Braun, M., Papp, I., Korponai, J., Lukács, V., Gyulai, I., Forró, L., Hubay, K., Szalóki, I. (2010): A Tisza vízjárásának nyomai a Marótzugi-Holt-Tisza üledékében. *Hidrológiai Közöny* 90, 6: pp. 20–22.
9. Bruner, G., Gibson, S. (2005): *Sediment Transport Modeling in HEC-RAS*. Proceedings World Water and Environmental Resources Congress. Editor: Raymond Walton, Anchorage, Alaska, American Society of Civil Engineers, 1–12. DOI: 10.1061/40792(173)442
10. Dezső, Z., Szabó, SZ., Bihari, Á. (2009): Tiszai hullámtér feltöltődésének időbeli alakulása a ¹³⁷Cs-izotóp gamma-spektrometriai vizsgálata alapján. In: *Proc. V. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Sapientia-Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Kolozsvár*, pp. 443-438.
11. Engi, Zs., Tóth, G., Braun, M., Hubay, K., Hercsel, R. (2011): Study of the silting up process of the Mura River's floodplain in Hungary. *XXVth Conference of the Danubian Countries*. Budapest. ftp://152.66.121.2/Floodrisk/_DC/docs/6_06_Engi%20Zsuzsanna.pdf
12. Engi, Zs., Tóth, G., Steinman, F., Braun, M. (2012): Historical morphological reconstruction of the Mura River (SW of the Carpathian Basin) by using GIS methods, *Zeitschrift Für Geomorphologie, Stuttgart*. Vol. 56, Suppl. 2, pp. 63-77.
13. Engi, Zs., Tóth, G., Somogyi, K., Lanter, T., Hercsel, R., Bozay, F. (2016a): A Mura folyó kanyarulatvándorlásainak elemzése és hullámterének feliszapolódás vizsgálata 2D modellezéssel. *Hidrológiai Közöny* 96, 1: pp. 33–48.
14. Engi, Zs., Tóth, G., Braun, M. (2016b): A Mura folyó hullámterének feliszapolódás vizsgálata II. rész. *Hidrológiai Közöny* 96, 2: pp. 52-63.



15. Froehlich, W., Walling, D.E. (1994): "Use of Chernobyl-derived radiocaesium to investigate contemporary overbank sedimentation of the floodplains of Carpathian rivers." International Association of Hydrological Sciences Publication, No. 224, pp. 161-169.
16. Gémesi, Z. (2008): Radiológiai mérési módszerek, modellek alkalmazása természetes ökoszisztémák és az épített környezet vizsgálatára, Doktori (PhD) értekezés, Szent István Egyetem, Környezettudományi Doktori Iskola, Gödöllő, 131p.
17. Gibson, S., Brunner, G., Piper, S., Jensen, M. (2006): Sediment Transport Computations in HEC-RAS. PROCEEDINGS of the Eighth Federal Interagency Sedimentation Conference (8thFISC), Reno, NV: pp. 57–64.
18. Gilvear, D., Bryant, R. (2003): Analysis of aerial photography and other remotely sensed data. In: Kondolf, G.M. in Piégay H. (ed.) Tools in fluvial geomorphology. Wiley, Chichester: pp. 135–170.
19. He, Q., Walling, D.E. (1997): "The Distribution of Fallout 137Cs and 210Pb in Undisturbed and Cultivated Soils." Appl. Radiat. Isot., Vol. 48, pp. 677-690.
20. Hupp, C. R., Simon, A. (1991): Bank accretion and the development of vegetated depositional surfaces along modified alluvial channels. *Geomorphology* 4: pp. 111–124.
21. Károlyi, Z. (1960): A Tisza mederváltozásai, különös tekintettel az árvízvédelemre. Budapest, VITUKI, Tanulmányok és kutatási eredmények sorozat 8: 102p.
22. Keesstra, S.D. (2007): Impact of natural reforestation on floodplain sedimentation in the Dragonja basin, SW Slovenia. *Earth Surface Processes and Landforms* 32: pp. 49– 65.
23. Kiss, E. (2013): Radioaktív izotópok terjedése a környezetben (Cs-137-tel történő talajeróziós vizsgálati módszer), Doktori (PhD) értekezés, Nyugat-magyarországi egyetem, Erdőmérnöki kar, Sopron, 97p.
24. Kiss, T., Sipos, Gy., Fiala, K. (2002): Recens üledék felhalmozódás sebességének a vizsgálata az Alsó-Tiszán, *Vízügyi Közlemények* 84. 3: pp. 456–467.
25. Korponai, J., Braun, M., Buczko, K., Gyulai, I., Forró, L., Nédli, J., Papp, I. (2010): Transition from shallow lake to a wetland: a multi-proxy case study in Zalavari Pond, Lake Balaton, Hungary. *Hydrobiologia* 641, 1: pp. 225–244.
26. Lambert, C.P., Walling, D.E. (1987): "Floodplain sedimentation: A preliminary investigation of contemporary deposition within the lower reaches of the River Culm, Devon, UK." *Geografiska Annaler*, Vol. 69A, pp. 47–59.
27. Oroszi, V. (2009): Hullámtér-fejlődés vizsgálata a Maros magyarországi szakaszán. Doktori disszertáció, Szeged
28. Oroszi, V. Gy., Kiss, T. (2005): The analysis of sediment accumulation and silting-up of a cutoff channel on River Maros near the city of Makó. *Acta Geographica Szegediensis*, 38: pp. 27–38.
29. Rak, G., Müller, M., Steinman, F., Šantl, S., Novak, G. (2011): Hybrid hydraulic models of hydro power plants Brežice and Mokrice. *Erozija* 36: 43–55.
30. Ritchie J.C., Mc Henry, J.R. (1990): "Application of radiation fallout 137Cs for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns." a review, *J. Environ. Qual.*, Vol. 19, pp. 215–233.
31. Šantl, S., Novak, G., Rak, G., Steinman, F. (2010): Hybrid hydraulic modeling approach in the process of hydropower plant design. V: ZHANG, Jianyun (ur.). *Advances in Hydraulic Physical Modeling and Field Investigation Technology: proceedings of International Symposium on Hydraulic Physical Modeling and Field Investigation*, September 13–15, 2010, Nanjing, China.
32. Sándor, A. (2011): A hullámtér feltöltődés folyamatának vizsgálata a Tisza középső és alsó szakaszán. Doktori disszertáció, Szeged
33. Sándor, A., Kiss, T. (2007): A 2006. tavaszi árvíz okozta feltöltődés mértéke és az azt befolyásoló tényezők vizsgálata a Közép-Tiszán, Szolnoknál. *Hidrológiai Közöny* 87, 4: pp. 19–24.
34. Soster, F.M., Matisoff, G., Whiting, P.J., Fornes, W., Ketterer, M., Szechenyi, S. (2007): Floodplain sedimentation rates in alpine watershed determined by radionuclide techniques. *Earth Surface Processes and Landforms* 32: pp. 2038–2051.
35. Steiger, J., Gurnell, A.M. (2003): Spatial hydrogeomorphological influences on sediment and nutrient deposition in riparian zones: observations from the Garonne River, France. *Geomorphology* 49: pp. 1–23.
36. Szabó, K.Z., Udvardi, B., Horváth, Á., Bakacsi, Zs., Pásztor, L., Szabó, J., Laczkó, L., Szabó, Cs. (2012a): A talajok cézium-137 koncentrációja Pest megyében, *Nukleon*, V. évf. 109p.
37. Szabó, K.Z., Udvardi, B., Horváth, Á., Bakacsi, Zs., Pásztor, L., Szabó, J., Laczkó, L., Szabó, Cs. (2012b): Cesium-137 concentration of soils in Pest County, Hungary. *Journal of Environmental Radioactivity* 110: pp. 38-45.
38. Szabó, Sz., Posta, J. (2008): A földtani közeg nehézfém tartalma és a feltöltődés sebessége a tiszai hullámtéren. In: Püspöki, Z. (ed.): *Tanulmányok a geológia tárgyköréből dr. Kozák Miklós tiszteletére*. Debrecen. pp. 85–90.



39. Szabó, Sz., Molnár, L. Sz., Gosztonyi, Gy., Posta J., Prokisch, J. (2008): A nehézfém-szennyezettség vizsgálata egy felső-tiszai holtmeder környezetében. In: Demeter G. (ed.): *Geographia Generalis et specialis*. Debrecen. pp. 255– 260.
40. Szerbin, P., Koblinger-Bokori, E., Koblinger, L., Végvári, I., Ugron, Á. (1999): Caesium-137 migration in Hungarian soils. *The Sci. Total Envir.*, 227, pp. 215-227.
41. Szlávik, L. (2001): A Tisza-völgy árvízvédelme és fejlesztése. I. Magyar Földrajzi Konferencia, Szeged, CD: pp. 1– 52.
42. Takenaka, C., Onda, Y., Hamajima, Y. (1998): Distribution of cesium-137 in Japanese forest soils: Correlation with the contents of organic carbon. *The Science of the Total Environment* 222: pp. 193-199.
43. Tamura, T., Jacobs, D.G. (1960): Structural implications in cesium sorption, *Health Phys.* 2, pp. 391–398.
44. Valcke, E., Cremers, A. (1994): Sorption-desorption dynamics of radiocaesium in organic matter soils. *Sci. Tot. Env.* 157, pp. 275–283.
45. Varga György, Alföldi László, Gábris Gyula, Horváth Gergely, Kocsis Károly, Lázár Ildikó, Maginecz János, Szalai József, Szalay Miklós (2018): *Vizek. Magyarország nemzeti atlasza 2. kötet. Természeti környezet* pp. 70-81
46. Vass, R., Szabó, G., Szabó, J. (2009): Hullámtéri feltöltődés vizsgálata geoinformatikai módszerekkel a FelsőTisza vidékén. *HunDEM Konferencia in GeoInfo 2009*.
47. Viziterv Consult, Láng, M. (2009): Hullámtéri lefolyásvizsgálatok a Mura árvízvédelmi szakasz fejlesztésének előkészítő és tervezési feladataihoz. Budapest. Tanulmány.
48. Walling, D.E., He, Q. (1997): Use of fallout ¹³⁷Cs in investigation of overbank sediment deposition on river floodplains. *Catena* 29: pp. 263–282.
49. Wyzga, B. (1999): Estimating mean flow velocity in channel and floodplain areas and its use for explaining the pattern of overbank deposition and floodplain retention. *Geomorphology* 28: pp. 281–297.
50. Zhao, Y., Marriott, S., Rogers, J., Iwugo, K. (1999): A preliminary study of heavy metal distribution on the floodplain of the River Severn, U.K. by a single flood event. *Science of the Total Environment*, 243–244: pp. 219–231.
51. Zhiyanski, M., Bech, J., Sokolovska, M., Lucot, E., Bech, J., Badot, P.M. (2008): Cs-137 distribution in forest floor and surface soil layers from two mountainous regions in Bulgaria, *Journal of Geochemical Exploration* 96 (2), pp. 256-266.