

Nyugat-magyarországi Egyetem

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Radioaktív izotópok terjedése a környezetben (Cs-137-el  
történő talajeróziós vizsgálati módszer)**

Kiss Ervin

Sopron  
2013

Nyugat-magyarországi Egyetem  
Erdőmérnöki kar

Az értekezés a Nyugat-magyarországi Egyetem Kitaibel Pál  
Környezettudományi Doktori Iskola  
Geokörnyezettudomány program keretében készült

Témavezető: Dr. Divós Ferenc egyetemi tanár

## Témaválasztás, célkitűzések

Az elmúlt több mint fél évszázad nukleáris eseményei elindítottak egy folyamatot, egy igényt arra, hogy a nukleáris események történései ne csak utólag derüljenek ki. Ennek hatására fejlődtek mind a nukleáris mérési módszerek, mind a mérésekhez használt detektorok, mérőrendszerek. Felmerült a jogos igény arra, hogy ne lehessen elhallgatni az esetlegesen bekövetkező nukleáris eseményeket, melyek szennyezése általában nem maradt az adott ország területén, hanem a különböző transzport utakon eljutott távolabbi országokba, területekre. A mérési módszerek fejlődésével, egyre érzékenyebb detektorok kifejlesztésével, és az ezekből kialakított országos vagy nemzetközi mérőhálózatok kialakításával nyomon lehet követni egy-egy radioaktív szennyezés terjedését, mértékét, és a meteorológiai viszonyokat számításba véve elég jól meghatározható a kibocsátás forrása is. Azonban a kifejlesztett rendszerek nem csak a nukleáris baleseteknél és utóhatásaiknál használhatók eredményesen, hanem a meglévő természetes radioaktív izotópok felderítésére, detektálására is. Mind a természetes, mind a mesterséges radioizotópok viselkedéséről szerzett ismeretek a természetes és természet közeli ökoszisztémákban segítenek az adott izotóp ökológiai szerepét jobban megérteni, valamint segít a környezeti folyamatok nyomon követésében, modellezésében és az esetleges szennyezőanyag hatásaival kapcsolatos kockázatok kezelésében. A környezetbe került mesterséges izotópok közül, a sugárzás biológiai hatásainak szempontjából, a Cs-137 az egyik legfontosabb izotóp. Viszonylag nagy mennyiségben keletkezett az atombomba robbantások során, valamint a fizikai felezési ideje ~30,2 év, így a környezetben hosszú ideig megmarad.

Az európai kontinensen a csernobili atomerőműben 1986 áprilisában bekövetkezett nukleáris baleset után a radionuklidok kiülepedése eredményezte a magasabb radioaktív szennyezettséget a talajban, a növényzetben és egyéb ökológiai rendszerekben. Ezen szennyezés távoli hatásaiban is nagy szerepet játszott a Cs-137.

A léghőri atomfegyver kísérletek globális Cs-137 kihullása és a csernobili balesetből származó kihullás is érintette Magyarország területét, amely nálunk is lehetővé tette a Cs-137 mérésén alapuló modellek használatát a talajeróziós vizsgálatokban. Az értekezés keretei közt a soproni hegyvidéken, egy kísérleti területen (Farkas-árok) került alkalmazásra a nemzetközi, és hazai viszonyok között is használt vizsgálati modellek egyike (profil eloszláson alapuló talajátrendeződési ráta becslési modell) a helyi viszonyokhoz igazítva. A modell alkalmazásához kapcsolódóan az értekezés célja feltárni, és bemutatni a soproni hegyvidék egyik vízgyűjtőjének (Farkas-árok) talajában a Cs-137 mélység szerinti eloszlását, valamint bemutatni ezen mélységi eloszlás térbeli és időbeli változását. Ezen eredményeket felhasználva további cél meghatározni, bemutatni a vízgyűjtőre jellemző referencia készletet, mélységi eloszlásfüggvényt, amely a jövőbeli vizsgálatokhoz szolgáltat adatokat. Ezen adatokra építve a Cs-137 mélységi eloszlásán alapuló modell segítségével megbecsülhetők a terület eróziós viszonyai, nyomon követhetők ezen eróziós viszonyok változása, és értékelés adható a modell területre vonatkozó használhatóságával kapcsolatban.

## **Anyag és módszer**

### **Vizsgálati terület, mintavételi helyek**

A Farkas-árok (0,63 km<sup>2</sup>), mint vizsgálati terület a Soproni-hegység nyugati részén helyezkedik el, egy délnyugat - északkelet tájolású árok a Rák patak mellékága mentén. Az árok tengerszint feletti magassága 401 m-től 545 m-ig terjed, a völgyben az átlagos lejtés meghaladja a 21%-ot.

A vizsgálati területen a mintavétel az EOV koordinátarendszerben meghatározott mintavételi helyeken, lejtők mentén, az erdőt alkotó fáktól kellő távolságban (min. 1,5 - 2m), acéllemez mintavevő segítségével történt, 10 - 12 cm mélységig, 2 cm-es mélységközönként. A hálózatban történő mintavétel a domborzati viszonyok miatt nehézségekbe ütközött volna, helyette több helyen kijelölt lejtő menti mintavétel történt. Az előzetes mintavételek azt mutatták, hogy a vizsgálati területen a Cs-137 mennyiség jelentős része a talaj felső 10 cm-es rétegében található, ezért a mintavételi mélység is ehhez igazodott. 2001-ben a referencia helyeken 10 cm-es mélységben, legalább egy nagyságrenddel alacsonyabb Cs-137 aktivitáskoncentráció volt mérhető, mint a felszíni rétegben (0 – 2 cm). A vizsgálati területről 2001-ben 30 helyen összesen 151 minta, majd 9 év múlva 2010-ben 5 helyen 27 minta került begyűjtésre.

### **Aktivitás mérési módszer**

A területről begyűjtött minták szétbontás, szárítás, porítás, szitálás (<2mm) után kerültek mérésre. A minták ½ vagy 1 literes Marinelli mintatartó edénybe kerültek, és ezek után került sor a minták aktivitásának meghatározására. A minták Cs-137 aktivitásának meghatározása gamma spektrometriával történt a Nyugat-magyarországi Egyetemen, az Országos Sugárzásfigyelő Jelző és Ellenőrző Rendszer soproni laboratóriumában. A Cs-137 aktivitásának mérése egy nagy felbontású ORTEC HPGe detektorból (GEM-10185), nagyfeszültségű tápegységből, erősítőből, alacsony háttérű ólomkamrából és PC-be illesztett sok csatornás (8K) analizátor kártyából álló mérőrendszerrel történt.

### **A vizsgálathoz használt modell**

A vizsgálati területen a Cs-137 készletek térbeli eloszlásának mérése szolgáltatja az alapját az eróziós és ülepedési ráta becslésének. Amennyiben a készletek relatív kimerültek a helyi referenciaértékekhez képest, ott feltételezhető, hogy erózió is történt. Az eróziós ráta mértékét lehet becsülni a Cs-137 készlet csökkenésének mértékéből, viszonyítva a referencia értékhez. Ez az érték egy átlagos értéket képvisel a kihullás és a mérési idő közti időszakra vonatkozóan. Ahol lerakódás történt, ott a Cs-137 készletek növekedése fogja ezt jelölni, viszonyítva a referencia értékekhez. Az átlagos lerakódási rátát a kihullás óta eltelt időszakban a felesleges Cs-137 készlet nagyságából lehet megbecsülni.

A vizsgálati terület eróziós viszonyainak becslésére, a talaj Cs-137 készletének talajeróziós rátává történő átalakításához a profil eloszlás modell került használatra. A modellt eredetileg az atomfegyver kísérletek általi kihullásból eredő Cs-137 mérésekre találták ki, amely ebben a környezetben számos kezdeti egyszerűsítést tartalmaz, pl.

hogy a kihullás egy meghatározott évben történt. A csernobili balesetet követő Cs-137 kihullási idő, és ezen kihullás után létrejövő Cs-137 profil azonban áthidalja az eredeti modellben csak feltételezésként megadott viszonyítási időpontot és az ehhez kötődő bizonytalanságot. Ebben az esetben itt ténylegesen időben rövid ideig tartott a kihullás, míg az eredeti modellben az 1963-as évszám egy sok éves kihullási időintervallum egyik évét jelenti. Így egyszerűsége ellenére a modellnek létjogosultsága van a vizsgálati területen a viszonylag egyszerű, de hatékony talajeróziós ráta becslésnél.

Az irodalmi adatok szerint a vizsgálati területen a Csernobilból származó kiülepedés mértéke, közel egy nagyságrenddel nagyobb volt, mint a balesetkor a talaj meglévő, atomfegyver kísérletekből származó aktivitáskoncentrációja. Mivel ugyanarról az izotópról van szó, ezért utólag már nem lehet elkülöníteni az 1986 előtt, illetve után kiülepedett Cs-137 izotópot és aktivitást, így a vizsgálat során megállapított talajátrendeződési viszonyok elsősorban az 1986 óta eltelt időszakról adnak tájékoztatást.

## Eredmények és értékelésük

Az értekezés keretében a soproni hegyvidék egyik kis vízgyűjtőjének (Farkas-árok) talajában a Cs-137 aktivitás került vizsgálatra. A mérések során bemutatásra került a vizsgálati terület talajában a Cs-137 mélység szerinti eloszlása, valamint ezen mélységi eloszlás térbeli, és időbeli változása. A mérések igazolták, hogy a vizsgálati terület talajában a Cs-137 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. A talajprofil további elemzéséből arra lehetett következtetni, hogy a terület bolygatatlan talajprofiljában a Cs-137 összaktivitás nagy része (>90%) a talaj felső 10-12 cm-es rétegében koncentrálódik.

A talaj Cs-137 tartalma mellett vizsgálatra került, hogy az izotóp megjelenik-e az élő szervezetekben. Ennek keretében a területről gyűjtött gombaminták kerültek vizsgálatra, amelyekben kimutatható volt a Cs-137 jelenléte. A gombák felvették és raktározták a talajban lévő Cs-137-t, így ennek révén is bekerülhet az izotóp az erdei táplálékláncba.

A talajprofil aktivitáskoncentráció adataiból meghatározásra kerültek a kis lejtésű (lejtőszög < 4 fok) helyek teljes szelvényre vonatkozó Cs-137 készletei, amelyek mint viszonyítási (referencia) szintek, a terület talajvándorlási viszonyainak meghatározásához lettek felhasználva (2001-ben:  $10569,9 \pm 380$  Bq/m<sup>2</sup>,  $9137 \pm 237,6$  Bq/m<sup>2</sup>,  $8909,8 \pm 363,1$  Bq/m<sup>2</sup>; 2010-ben:  $3887,7 \pm 288,4$  Bq/m<sup>2</sup>). Az árok területén, a 4 foknál nagyobb lejtésű mintavételi helyeken a Cs-137 készletek  $988,9 \pm 413,8$  Bq/m<sup>2</sup> -  $9419 \pm 253,1$  Bq/m<sup>2</sup> között változtak. A kapott értékek és annak változása viszonyítási alapot nyújthat a vizsgálati terület, és annak tágabb környezetének jövőbeli eróziós vizsgálataihoz is. Az aktivitáskoncentráció értékek alapján kijelenthető, hogy a szennyezés után sok évvel a cézium fő tárolója még mindig az erdei talaj. A 2010-es mérések adataiban látható volt, hogy a legmagasabb Cs-137 aktivitáskoncentráció a felső rétegekből lejjebb tolódott, és a Cs-137 mélységi eloszlása 4 - 6 cm mélységig egy növekvő, vagy stagnáló függvény (lejtőszög függvényében), majd egy csökkenő exponenciális függvény szerint változott. A mérési eredmények alapján a profil változás sebessége 0,44 - 0,66 cm/év-re tehető.

A vizsgálati területen a csernobili balesetből származó radioaktív kihullás közelítőleg egy nagyságrenddel nagyobb Cs-137 készletet okozott a talajban, mint a baleset előtt meglévő atomfegyver kísérletekből származó Cs-137 készlet. Ezeket az adatokat felhasználva, a vizsgálati hely Cs-137 kihullási viszonyaihoz lett igazítva a profil eloszláson alapuló talajátrendeződési ráta becslési modell. Ennek a modellnek, és a mintavételi helyek Cs-137 készletének az ismeretében becslésre került ezen helyeken a talajeróziós/felhalmozódási ráta, amely képet ad a Farkas-árok talajátrendeződési viszonyairól és annak térbeli változásáról. A mérések szerint a mintavételi helyek között, egy minta kivételével, csak eróziós helyek voltak. A patakhöz közeli minták kisebb Cs-137 készlettel rendelkeztek, amely nagyobb talajelvándorlást jelzett. A mintavételi helyek eróziós ráta értékei 0,15 - 28,55 t/ha/év között változtak, a felhalmozódással járó hely felhalmozódási ráta értéke 0,69 t/ha/év volt. A kapott értékeket az USLE modellel kapott értékekhez viszonyítva megállapítható volt, hogy a profil eloszlás modellel becsült talajeróziós ráták felülbecsülik a területen a valós talajerózió mértékét. Jövőbeli kutatásként a terület felső részének ismételt vizsgálatával,

minták elemzésével további, pontosabb információk nyerhetők a terület eróziós rátáinak időbeli alakulásáról.

A mérési adatok alapján látható volt, hogy összefüggés van a mintavételi hely talajának felszíni (0-2 cm) aktivitáskoncentrációja és a mintavételi hely lejtőszöge között. Ugyanezen vizsgálatot elvégezve a talajveszteségi rátára, az eredmények azt mutatták, hogy a talajveszteségi ráta és a lejtőszög közti összefüggés már nem mutat ilyen szoros kapcsolatot a vizsgálati területen.

## Tudományos eredmények, tézisek

1. Az elvégzett mérések bizonyították, hogy a vizsgálati terület (Farkas-árok) talajában, és élő szervezetben is (gombák) jól mérhető mennyiségben van jelen a Cs-137 izotóp, valamint a terület talajában a Cs-137 összaktivitás jelentős része (> 90%) a talaj felső 10-12 cm-es rétegében koncentráldott. A mérések kimutatták, hogy a referencia helyeknek választott (lejtőszög < 4 fok) helyeken a Cs-137 mélységi eloszlása exponenciális függvény szerint alakult, és a többi mintavételi hely (lejtőszög > 4 fok) Cs-137 profilja is közelített az exponenciális eloszláshoz.
2. Az értekezés keretében meghatározásra kerültek a Farkas-árok felső talajrétegére (0-12 cm) jellemző Cs-137 aktivitáskoncentráció értékek, valamint e rétegre vonatkozó Cs-137 készletek, és az ezekből számolt talajátrendeződési ráta értékek. A kapott értékek és azok változása képet ad a vizsgálati terület talajának Cs-137 aktivitási értékeiről, valamint viszonyítási alapot nyújt a vizsgálati terület és annak tágabb környezetének jövőbeli eróziós vizsgálataihoz.
3. A 9 év eltéréssel végzett mérések alapján igazolható volt, hogy a vizsgálati terület talajában a Cs-137 profil alakja változik, és a 2010-es méréseknél a profilban a maximális aktivitáskoncentráció nem a felszíni talajrétegben (2001-es mérések), hanem a 4-6 cm-es sávban volt található. A 4-6 cm-es réteg alatt továbbra is a csökkenő exponenciális függvény volt jellemző a profilra, míg a felszíni rétegek (0-6 cm) a lejtőszög függvényében vagy közel stagnáló (lejtőszög < 4 fok), vagy növekvő aktivitáskoncentráció értékeket mutattak (lejtőszög > 4 fok). A mérési eredmények alapján a változás sebessége 0,44 - 0,66 cm/év-re tehető.
4. A vizsgálati területen a csernobili reaktor balesetből származó radioaktív kihullás közelítőleg egy nagyságrenddel nagyobb Cs-137 készletet okozott a talajban, mint a baleset előtt meglévő atomfegyver kísérletekből származó Cs-137 készlet, így a csernobili baleset során kiülepedett Cs-137 elfedte a korábbi kihullásból származó aktivitáskoncentrációt. Ezen adatok alapján az erózióbecsléshez használt profil eloszláson alapuló talajátrendeződési ráta becslési modell az 1986 óta eltelt időszakhoz lett igazítva. A vizsgálati területre vonatkozó talajeróziós ráta értékek és más modellel (USLE) kapott becslési értékek összehasonlítása alapján megállapítható, hogy a profil eloszláson alapuló modell a vizsgálati területen csak nagyságrendi becslésekhez használható a terület jelentős, és változó növényborítottsága, valamint a jelentős lejtőszögek miatt. A profil eloszláson alapuló modellel kapott értékek túlbecsülték az erózió mértékét.
5. Bizonyítást nyert a mérési adatok alapján, hogy összefüggés van a mintavételi hely talajának felszíni (0-2 cm) aktivitáskoncentrációja és a mintavételi hely lejtőszöge között. Ugyanezen vizsgálatot elvégezve a talajveszteségi rátára, az eredmények azt mutatták, hogy a talajveszteségi ráta és a lejtőszög közti összefüggés már nem mutat ilyen egyértelmű kapcsolatot a vizsgálati területen.



## **Publikációk**

Ervin Kiss – Péter Volford (2013): Depth and Areal Distribution of Cs-137 in the Soil of a Small Water Catchment in the Sopron Mountains (Acta Silvatica et Lignaria Hungarica, Vol. 9 (2013) 147–159)

Kiss Ervin (2008): Környezeti minták radioaktivitása. Természet Világa 139. (2): 91.

Kiss Ervin (2003): Környezetünk nukleáris veszélyeztetettsége (Kankalin Környezettudományi Felsőoktatási Folyóirat (www.kankalin.bme.hu) 8/2003, Online: <http://www.kankalin.bme.hu/Dok/Dip.doc>)

Kiss Ervin (2003): Cézium-137 az erdőben. Élet és Tudomány 58. (48): 1524 - 1525.

András Varga, Ágnes Matusik, Ervin Kiss, Ferenc Divós (2000): Use of medical CT to qualify defects in wood (Proceedings of the 12th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, Sopron 13-15 September 2000, pp.466)