



**POROVNANIE STARÝCH A NOVÝCH VÝSLEDKOV MERANÍ PLOŠNEJ AKTIVITY ^{137}Cs
V POKRYVNÝCH ÚTVAROKCH V OBLASTI BLAHOVÁ (JZ. SLOVENSKO)**

**COMPARISON OF OLD AND NEW RESULTS OF MEASUREMENTS OF SURFACE ACTIVITY
OF ^{137}Cs IN THE AREA OF BLAHOVÁ (SOUTHWEST SLOVAKIA)**

Erik Andrassy¹, Andrej Mojzeš¹, Ema Nogová^{1,2}, Gabriela Wallová³, Jozef Bódi^{1,2}, Lenka Ondrášová^{1,4}

Abstrakt

Jadrová havária dňa 26. apríla 1986 v Černobyľskej jadrovej elektrárni V. I. Lenina zmenila postoj ku jadrovej energetike takmer celého sveta. Najviac zasiahnuté územia rádioaktívnym mračnom boli rozsiahle oblasti Ukrajiny, Bieloruska a Ruska. Rádioaktívny mrak postupoval aj cez územie Škandinávie, Východnej a Strednej Európy. Na Slovensku boli najviac kontaminované územia Vysokých Tatier, okolie Banskej Štiavnice, a okresy Námestovo, Galanta a Dunajská Streda. Od roku 1990 až do 2001 sa použili gamaspektrometrické dáta na zmapovanie kontaminácie celého územia Slovenska. Južne od obce Blahová na jz. Slovensku (okres Dunajská Streda), bola detegovaná vyššia aktivita rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs . Oblasť bola opakovane premeraná v roku 2021 terénnym gamaspektrometrom PGIS-2 a cieľom bolo stanoviť aktuálnu aktivitu skúmaného izotopu a jej prípadný horizontálny transport. Metóda povrchovej gamaspektrometrie poukázala na pokles hodnôt plošnej aktivity rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs v čase a na horizontálny transport skúmaného prvku.

Abstract

Nuclear accident of Vladimir Lenin Nuclear Power Plant in Chernobyl on April 26, 1986 has changed the Attitude of the whole World to Atomic Energy. The most contaminated areas by the radioactive cloud were Ukraine, Belarus, and Russia. The radioactive Cloud was transported by air flow to the territory of Scandinavia, Eastern and Central Europe. The territory of Slovakia was the most contaminated by radioactive isotope ^{137}Cs in the High Tatras, Banská Štiavnica, district of Námestovo and the south of Slovakia in the districts of Dunajská Streda and Galanta. From 1990 to 2001 was performed the gamma spectrometry to measure the activity of radioactive isotope ^{137}Cs in the whole territory of the Slovak Republic. South of the village Blahová was detected higher activity of radioactive isotope ^{137}Cs . On the area

was performed the gamma spectrometry geophysical method in 2021 to determine the present activity of examined isotope and it's possible horizontal transport. Surface gamma spectrometry showed to a decrease of values of activity of radioactive isotope ^{137}Cs and horizontal transport of radioactive isotope ^{137}Cs .

Kľúčové slová

Rádioaktivita, izotop ^{137}Cs , gamaspektrometria, Černobyl'

Keywords

Radioactivity, isotope ^{137}Cs , gamma spectrometry, Chernobyl

1. Úvod

Podľa odhadov z publikácie [Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident, 1986] bolo z havarovanej jadrovej elektrárne V. I. Lenina emitovaných do atmosféry celkovo približne 2.10^{19} Bq. V priebehu prvého dňa havárie 26. apríla 1986 bolo emitovaných zhruba 25% celkovej hodnoty, v nasledujúcich dňoch emisia klesala, pričom v 7., 8., 9. a 10. dni (2. až 5. mája 1986) emisia opäť výrazne stúpla. V 11. deň (6. mája 1986) po zakročení záchranárskych tímov na havarovanej jadrovej elektrárni V. I. Lenina bola emisia na havarovanej jadrovej elektrárne takmer ukončená. Kontinuálna emisia rádionuklidov z havarovanej jadrovej elektrárne v Černobyle bola separovaná podľa meniaceho sa smeru prúdenia ovzdušia do rôznych smerov, vďaka čomu sa v okolí začali formovať oblaky rádionuklidov, ktoré neskôr boli prenášané na veľké vzdialenosti od zdroja a separované alebo transformované podľa miestnych podmienok v atmosfére. Prvý vzostup rádioaktivity na území Československej socialistickej republiky bol zaznamenaný 29.04.1986 na všetkých pracoviskách SHMÚ (Slovenský hydrometeorologický ústav), ktoré monitorovali rádioaktivitu. Dobre to vysvetľuje trajektória centra oblaku, emitovaného z havarovanej jadrovej elektrárne V. I. Lenina o polnoci dňa 27.04.1986, ktorý v noci z 29.04.1986 na 30.04.1986 prenikol cez severnú hranicu na územie Československa a pokračoval južným smerom. Oblaky emitované z jadrovej elektrárne na konci 1. dňa havárie kontaminovali atmosféru nad strednou časťou Československa už v popoludňajších hodinách 29.04.1986. Neskôr sa ukázalo, že tento oblak priviezol najvyššie koncentrácie rádionuklidov v ovzduší nad územím Československa, spôsobené haváriou jadrovej elektrárne V. I. Lenina a koncentrácie namerané dňa 30.04.1986 aj v rámci monitorovacieho systému SHMÚ. Počas prechodu rádioaktívneho mračna v noci nad územím severného pohraničia Moravy sa vyskytli búrky. Kombinácia vysokých koncentrácií v atmosfére a intenzívneho dažďa prispela k depozícií rádionuklidov na povrchu a vytvorila v tejto oblasti miesta s najvyššími koncentraciami rádionuklidov v povrchovom depozite na území Československej socialistickej republiky (Škulec, 2016).

Mapa plošnej aktivity rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs popisuje stav kontaminácie územia Slovenskej republiky týmto rádioizotopom, vzťahnutej k referenčnému dátumu 01.01.2005. Použili sa všetky dostupné výsledky stanovení aktivity rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs z celého územia Slovenskej republiky z rokov 1990 až 2003 (Gluch et al., 2005; internet 1).

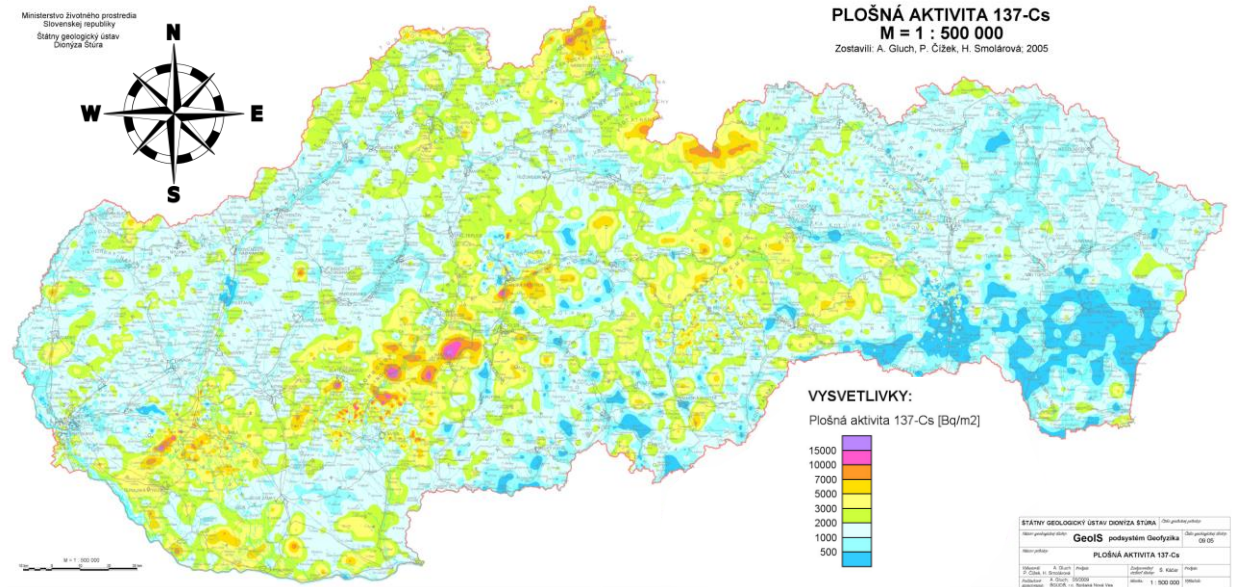
Distribúcia hodnôt plošnej aktivity rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs na území Slovenskej republiky je vo veľkej miere diferencovaná. Aktivity s najnižšími hodnotami sú skoncentrované na západe Slovenska v širšom okolí povodia Váhu a Nitry, v strednej časti juhu a na východe Slovenska. Najnižšie úrovne plošnej aktivity rádioizotopu ^{137}Cs (menej ako 500 Bq/m^2) sú v oblastiach Košickej kotliny, Východoslovenskej nížiny a v Slanských vrchoch. Zvýšené aktivity rádioizotopu ^{137}Cs (viac ako 3000 Bq/m^2) boli zaznamenané v približne 40 km širokom pásme cca sv-jz smeru, pokrývajúceho oblasť Pohronskeho Inovca, Štiavnických vrchov, Vysokých a Nízkyh Tatier, Podunajskej hornatiny a Podunajskej nížiny v okolí Dunajskej Stredy a Galanty. V tomto pásme – Pri Banskej Štiavnici (18077 Bq/m^2), Košútoch (23054 Bq/m^2) a Novom Tekove (28684 Bq/m^2) – boli vymapované aj najväčšie hodnoty plošnej aktivity rádioizotopu ^{137}Cs v rámci územia Slovenskej republiky. (Gluch et al, 2005).

Dáta v rámci celej Slovenskej republiky sú dostupné na [internet 1] v mapovej aplikácii, v rámci ktorej sú zadefinované názvy bodov, súradnice X a Y v systéme JTSK a namerané hodnoty koncentrácie rádioaktívneho cézia (obr. 1).

2. Oblasť štúdia a jej geologická charakteristika

Skúmaná lokalita Blahová na Podunajskej nížine disponuje v priemere s vyššími aktivitami rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs ako väčšina miest Slovenskej republiky. Na základe doby polpremeny skúmaného izotopu 30.17 rokov (Lehotský & Stankoviansky, 1992) bol predpoklad, že namerané hodnoty budú o 40 až 60% nižšie, čo by znamenalo, že aktivita rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs by bola naďalej výrazná. Pre určenie aktuálnej hodnoty plošnej aktivity na povrchu pôdneho prostredia bol v roku 2021 využívaný terénny gamaspektrometer PGIS-2, ktorý dokáže určiť koncentrácie prírodných rádioaktívnych prvkov ^{40}K , ^{238}U a ^{232}Th a aktivitu umelého rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs .

Záujmová oblasť sa rozprestiera v Trnavskom samosprávnom kraji v okrese Dunajská Streda. Situovaná je medzi obcami Lehnice, Horná Potôň, Potônske Lúky, Blahová a Bellova Ves. Severovýchodnú hranicu tvorí rieka Malý Dunaj. Obrázok č. 2 znázorňuje záujmovú oblasť na mape.

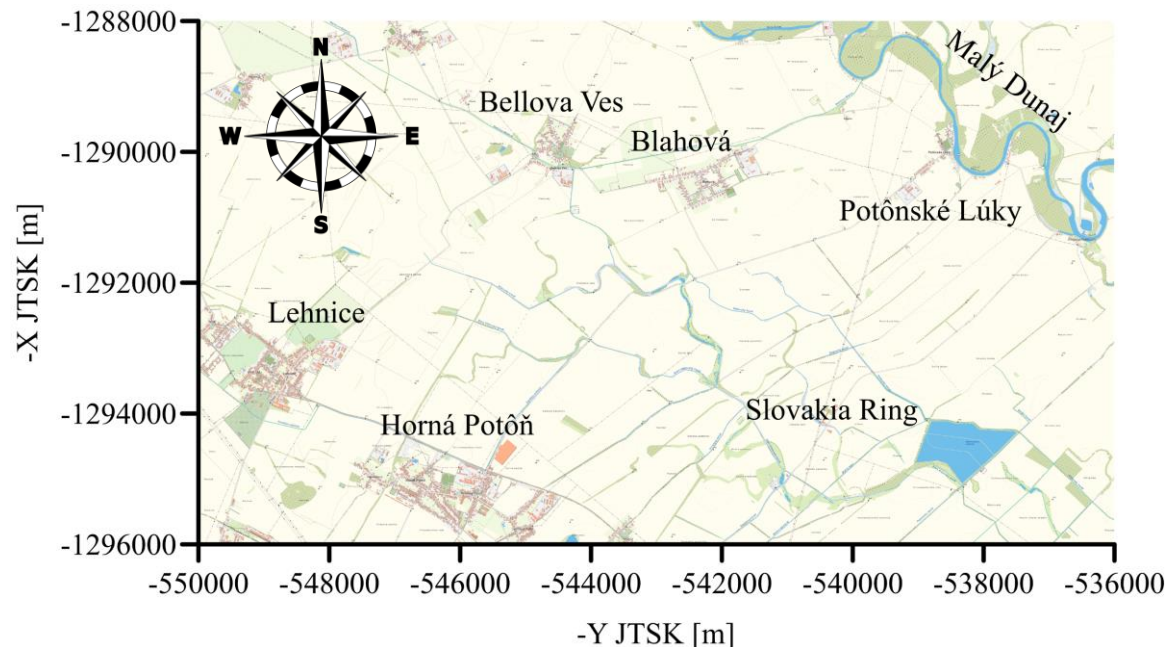


Obr. 1 Mapa kontaminácie Slovenskej republiky rádioizotopom ^{137}Cs (Gluch et al., 2005 - upravené)

Z hľadiska geologickej stavby je záujmová oblasť budovaná hlavne kvartérnymi sedimentami riečnych tokov. Podľa dochovaných historických máp bol povrch riečnych nív väčšiny tokov (najmä v ich nížinných a kotlinových úsekoch) spestrený hustou sieťou mŕtvych ramien. Väčšina týchto ramien je v súčasnosti rekultivovaných, čiže úplne zanikli alebo boli zachované iba zvyšky a neúplné úseky. Takéto mŕtve ramená sa dnes nachádzajú v rozličnom štádiu zrelosti. Ich vývoj úzko súvisel so zmenou tokov spôsobenou ich častým divočením, bifurkáciou a meandrovaním. V súčasnosti sa zachovali najmä akumulčné a pochované mŕtve ramená. Prevalu majú najmä mladé mŕtve ramená vyplnené prachovito až piesčito ílovitými slabo humóznymi hlinami. V týchto sedimentoch prevláda pôvodná zložka ílov, hlín s prímiesou polorozloženej organickej hmoty. V spodných polohách sú často oglejené. Okrem uvedených sedimentov sa zachovali nivné kalové a hnilokalové, veľmi humózne staršie mŕtve ramená. Z hľadiska zrnitosti sú to opäť väčšinou piesčité hlíny, hlíny až íly čiernosivej farby s veľkým množstvom nedostatočne rozloženej organickej hmoty. Tieto sedimenty boli vyčlenené v tých reliktoch mŕtvych ramien, kde glejový horizont narastá na hrúbku okolo 0,5 až 1,5 m a v nadloží pribúda humózných až rašelinových hlín, ktoré sú často zamočiarené a pokryté stojatými vodami (Maglay et al., 2018). Obrázok 3 znázorňuje geologickú mapu skúmanej lokality spolu so stručnou legendou.

3. Gamaspektrometrická preskúmanosť územia

V septembri 1998 bolo na skúmanej lokalite realizovaných sedem bodových povrchových gama-



Obr. 2 Mapa skúmaného územia (GCI & NFC, 2017-2019 - upravené)

Tab. 1 Zoznam nameraných bodov na študovanom území (Gluch et al., 2005)

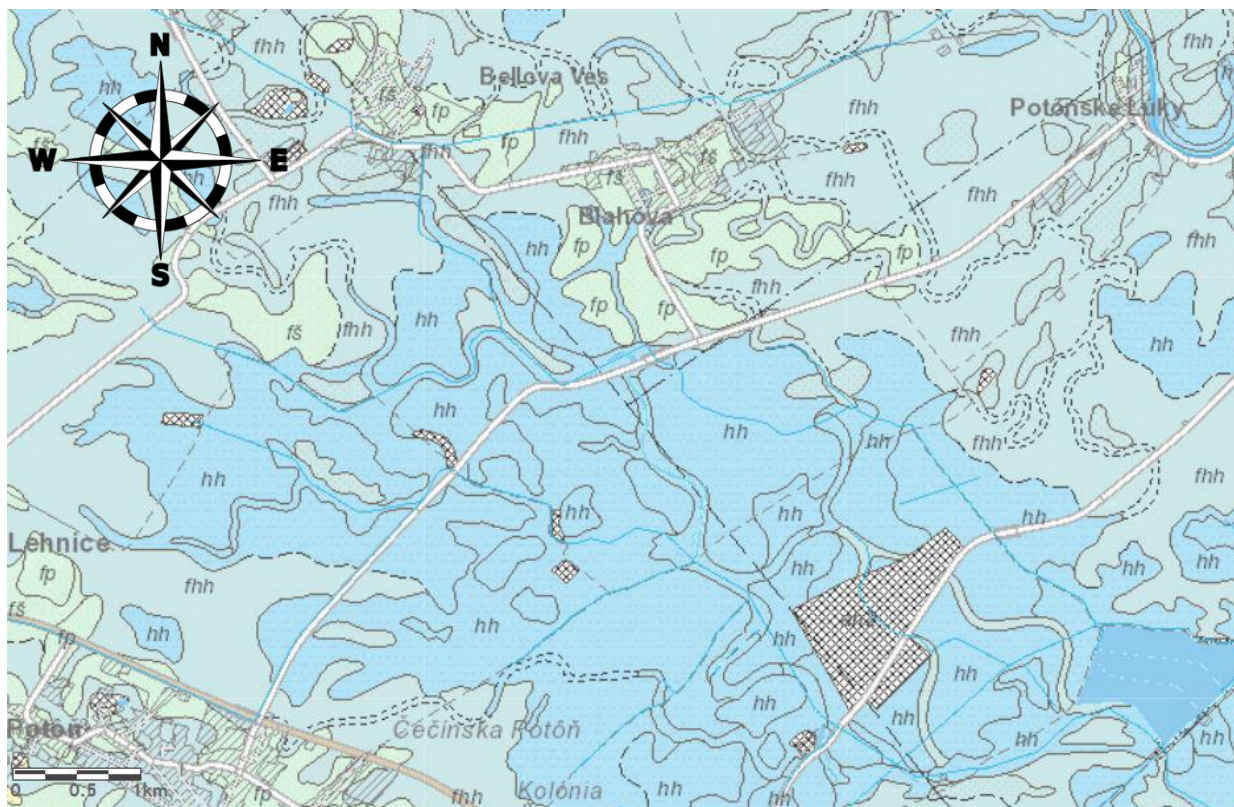
Názov bodu	Dátum merania	-Y JTSK [m]	-X JTSK [m]	Plošná aktivita ¹³⁷ Cs [Bq/m ²]
4513E4	25.09.1998	-543622	-1292370	8685
4513F4	25.09.1998	-541395	-1291580	7772
4513F3	25.09.1998	-540675	-1289530	1544
4513E3	25.09.1998	-544204	-1289520	2334
4513D4	25.09.1998	-546877	-1291960	4047
4513G4	23.09.1998	-538071	-1292460	5012
4513D5	23.09.1998	-548534	-1294680	4977

spektrometrických meraní. Tieto body popisujú stav povrchovej aktivity umelého rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs . Jednotlivé body sú popísané v tabuľke 1.

Najvyššie hodnoty plošnej aktivity rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs vykazujú body 4513E4 a 4513F4, ktoré sú situované južne od obce Blahová (obr. 4). Mierne zvýšené hodnoty boli namerané na bodoch 4513D4, 4513G4 a 4513D5. Body 4513D4 a 4513D5 sú situované pri obci Lehnice a bod 4513G4 leži severovýchodne od pretekárskej dráhy Slovakia Ring. Najnižšie namerané hodnoty aktivity rádioaktívneho izotopu boli zistené na bodoch 4513E3 a 4513F3. Tieto body sú situované v severnej časti skúmaného územia.

Obrázok 4 zobrazuje mapku záujmového územia s anomálnymi hodnotami izotopu rádioaktívneho cézia ^{137}Cs získanú jednoduchým výrezom z mapy plošnej aktivity celého územia Slovenska, ktorá bola vypočítaná z nameraných hodnôt z rokov 1990 až 2001 vzťahnutých k referenčnému dátumu 01.01.2005.

Hodnoty a polohy jednotlivých bodov sú popísané vyššie. Body 4513E4 a 4513F4 vytvárajú anomáliu zvýšených hodnôt južne od obcí Blahová a Bellova Ves. Anomália má dĺžku 3.6 km, šírku približne 2 km. Toto územie sa považuje za najviac kontaminované rádioaktívnym izotopom ^{137}Cs v okolí. Polohy s mierne zvýšenými hodnotami a najnižšími nameranými hodnotami nevytvárajú žiadnu lokálnu anomáliu, ale spadajú do anomálie s väčšou rozlohou.



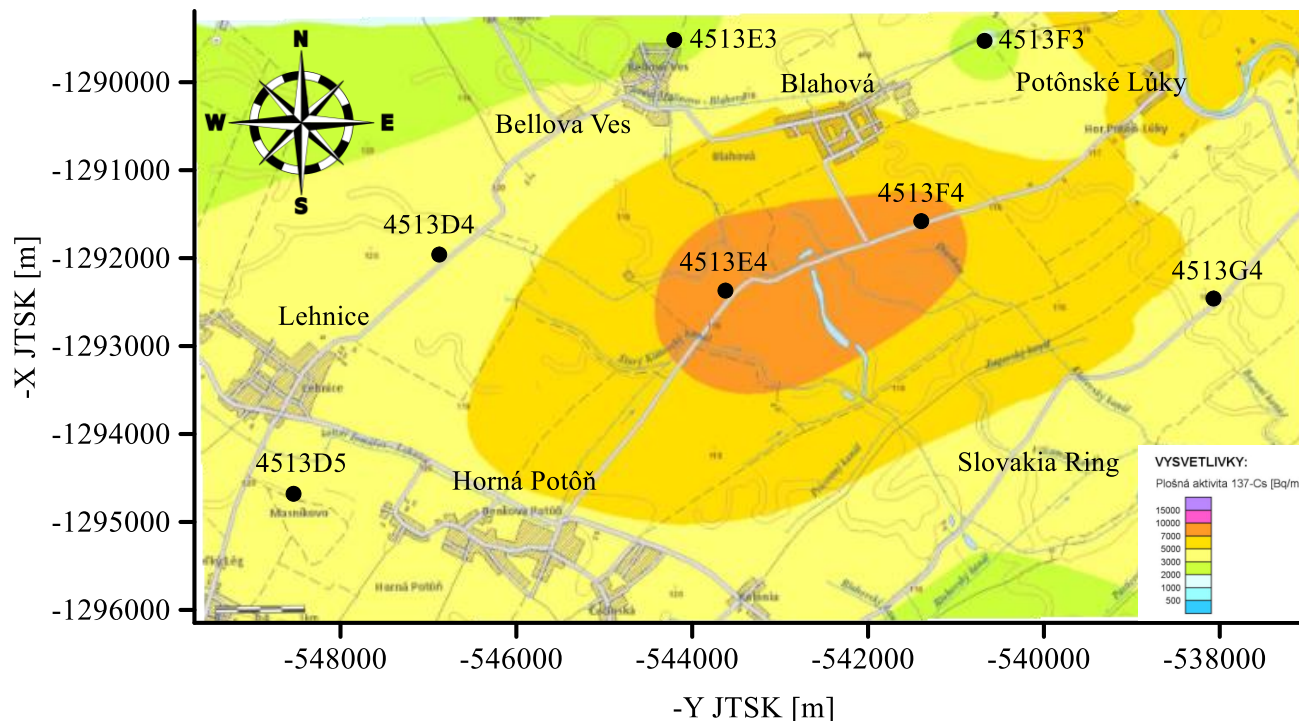
Obr. 3 Geologická mapa skúmaného územia (Maglay et al., 2018)

Vysvetlivky: fhh – najmladšie fluviálne sedimenty

hh – piesčité hliny, hliny až íly

fp – fluviálne a čiastočne až fluviálno-eolické vápnité piesky

fs – štrkopiesčité fluviálne sedimenty



Obr. 4 Mapa distribúcie plošnej aktivity rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs (Gluch et al., 2005)



Obr. 5 Použitý prístroj terénny gamaspektrometer PGIS-2 (foto: vlastné)

4. Metodika práce a použitej prieskumnej metódy

Gamaspektrometrické meranie patrí do skupiny rádionuklidových metód, ktoré sú skupinovým označením všetkých metód súvisiacich s využitím primárne na geologické a environmentálne účely. Namerané hodnoty gamaspektrometrom sa pri stanovení U a Th v geovedách udávajú v jednotkách koncentrácie ppm ($1 \text{ ppm} = 10^{-4} \%$) a K v %. Pri stanovení plošnej aktivity ^{137}Cs sa používa jednotka Bq/m^2 , ktorý udáva aktivitu rádionuklidu na ploche 1 m^2 .

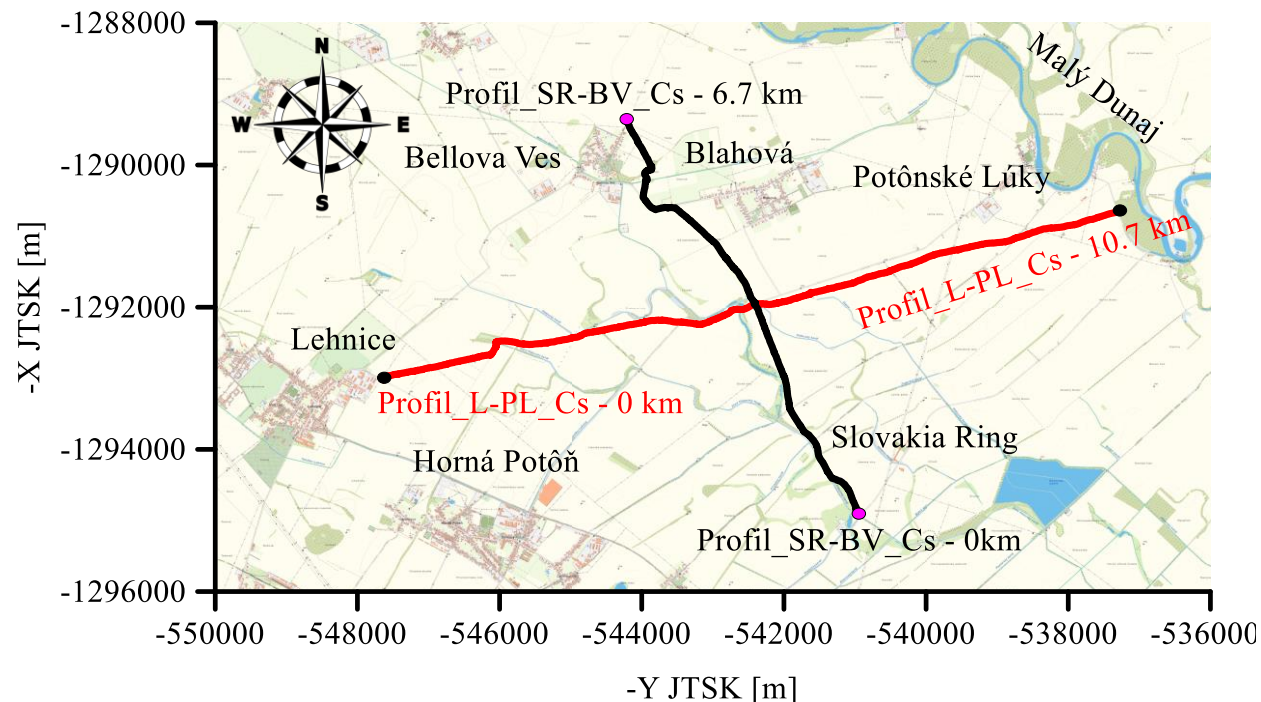
Prístroj, ktorým boli merania realizované má označenie PGIS-2 (výrobca PicoEnvirotec, Ltd., Kanada). Je to terénny prenosný gamaspektrometer založený na pokročilých mikroprocesorových a mobilných technológiách (obr. 5). Systém je vybavený automatickou stabilizáciou spektra a bola použitá kalibrácia nastavená výrobcom. Celý prístroj pozostáva z radiacej jednotky, detektorovej jednotky (scintilačný detektor z kryštálu jodidu sodného aktivovaného táliom $\text{NaI}(\text{Tl})$ – samotný kryštál má objem 0.347 l) a GPS zariadenia.

Zámerom terénneho prieskumu je meranie gama žiarenia emitovaného hlavne z troch prírodných rádioaktívnych prvkov – draslíka ^{40}K , uránu ^{238}U a tória ^{232}Th a umelého rádioaktívneho prvku – cézia ^{137}Cs . Násobná tvorba elektrónov vznikajúca pri interakcii gama žiarenia so scintilačným kryštálom umožňuje zmeranie gama žiarenia a na základe veľkosti energie gama kvanta ho dokáže priradiť ku prvku, od ktorého gama kvantum pochádza. Pri dopade gama kvanta na scintilačný kryštál sa gama kvantum premieňa na elektrické impulzy. Detegované gama žiarenie sa prejavuje určitými znakmi, ktoré sú vytvárané spojeným spektrom energií vznikajúcich vďaka prechodu žiarenia hmotou, pri ktorom dochádza k jeho rozptylu a vzniku sekundárneho gama žiarenia.

Profilové merania boli realizované kontinuálnym zberom dát v chôdzi. Prístroj PGIS-2 dokáže v priebehu jednej sekundy uskutočniť jedno meranie. Samotné jednosekundové meranie je nepresné, preto je potrebné pri kontinuálnom meraní vypočítať priemer z viacerých nameraných hodnôt. Pri priemernej rýchlosti chôdze 4 km/h je hustota nameraných dát každých 1.1 m.

Samotné meranie sa uskutočnilo na dvoch profiloch (obr. 6) dňa 10.3.2021 v priaznivom suchom počasí, pričom profil L-PL_Cs má dĺžku 10.7 km a profil SR-BV_Cs je dlhý 6.7 km. Profil L-PL_Cs má počiatočný bod pri obci Lehnice a bol meraný severovýchodným smerom ku obci Potônské Lúky. Celý profil je situovaný na ornej pôde s výnimkou približne 500 metrov dlhého úseku od metráže 5000 po 5500, ktorý je situovaný na asfaltovej ceste. Východiskový bod profilu SR-BV_Cs sa nachádza v bezprostrednej blízkosti pretekárskej dráhy Slovakia Ring, smer merania bol severný až severo-západný. Úvodné dva kilometre profilu ležia v blízkosti kanála Starý klátovský kanál a zvyšné na ornej pôde. Na obrázku 6 sú znázornené profily, po ktorých boli merania realizované.

Pozdĺž profilu L-PL_Cs bolo nameraných 8446 bodov a na profile SR-BV_Cs 5245 bodov. Na spracovanie dát bola využívaná metóda kĺzavých priemerov o veľkosti okna 39 (obrázky 7 a 8).



Obr. 6 Situácia profilov v rámci skúmaného územia (GCI & NFC, 2017-2019 - upravené)

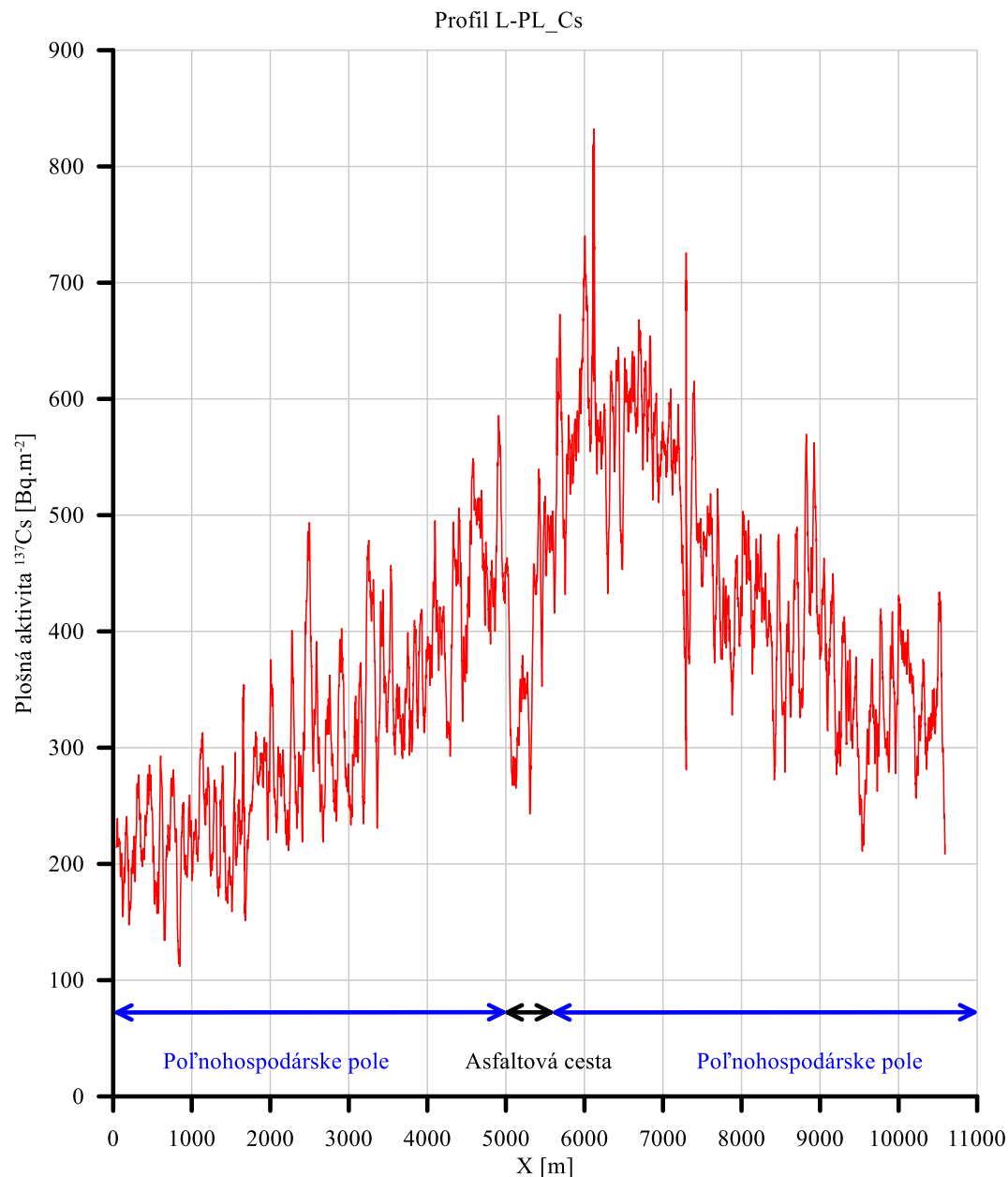
5. Výsledky meraní

Pozdĺž profilu L-PL_Cs bola najnižšia nameraná hodnota detegovaná ešte pred prvým kilometrom s hodnotou 100 Bq/m² (obr. 7). Celkový priemer nameraných hodnôt je 384 Bq/m², čo zodpovedá celkovo nízkej plošnej aktivite prostredia. V tabuľke 2 sú stručne popísané jednotlivé štatistické parametre pozdĺž meraného profilu L-PL_Cs. Štandardná odchýlka v tabuľkách 2 a 3 bola vypočítaná z nameraných hodnôt pred aplikovaním vyhladzovacej metódy klzavých priemerov.

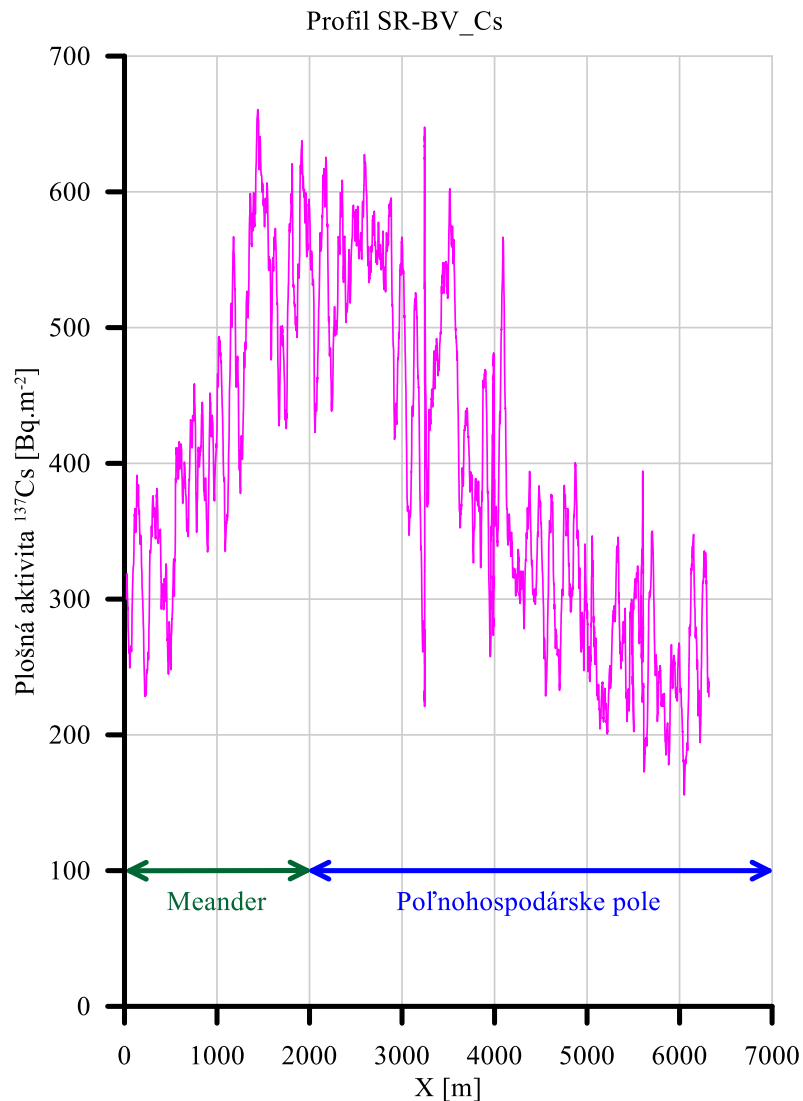
Tab. 2 Základné štatistické parametre z nameraných hodnôt pozdĺž profilu L-PL_Cs

Počet bodov	8445
Minimálna nameraná hodnota	100 Bq/m ²
Maximálna nameraná hodnota	1114 Bq/m ²
Priemerná hodnota	384 Bq/m ²
Medián	368 Bq/m ²
Štandardná odchýlka	180 Bq/m ²

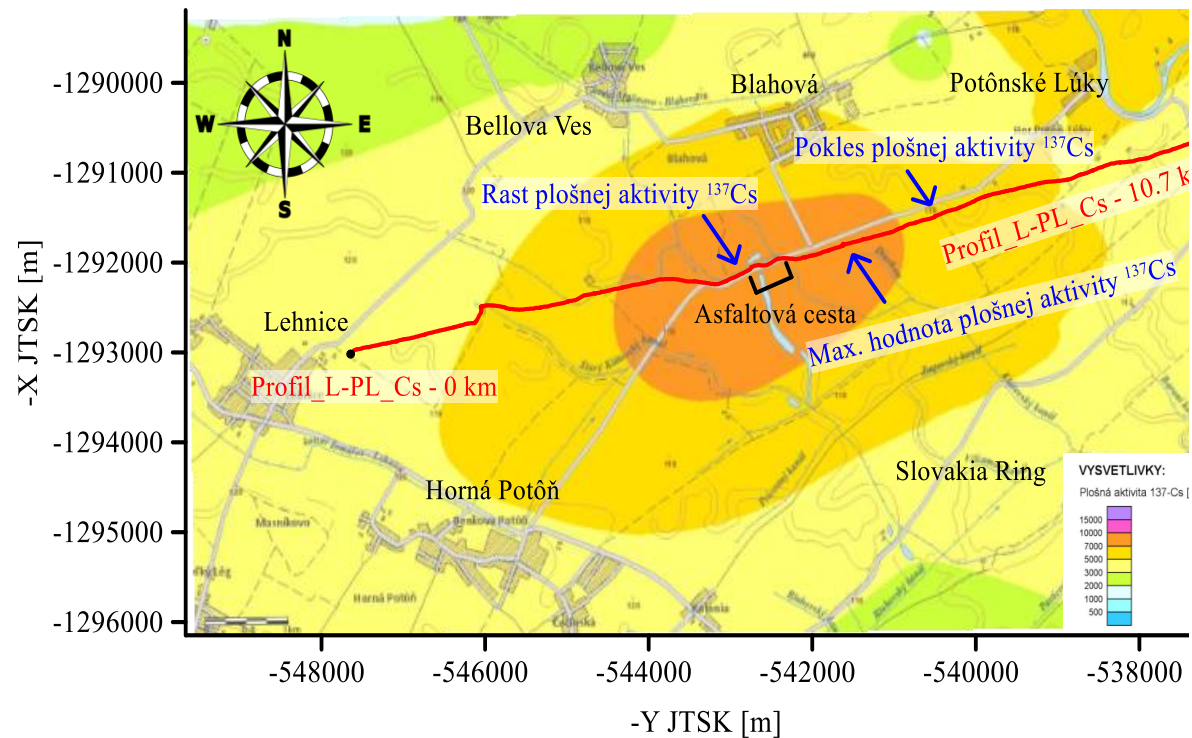
Profil L-PL_Cs začínajúci pri obci Lehnice vykazuje prvé dva kilometre nízke hodnoty plošnej aktivity rádioaktívneho izotopu ¹³⁷Cs. Na treťom kilometri došlo ku nárastu hodnôt, ktorý pretrval až do šiesteho kilometra pozdĺž profilu, následne plošná aktivita rádioaktívneho izotopu ¹³⁷Cs začala klesať (obr. 7). Ku regresii hodnôt medzi piatym a šiestym kilometrom dochádza v dôsledku zmeny prostredia z ornej pôdy na



Obr. 7 Graf priebehu hodnôt pozdĺž profilu L-PL_Cs



Obr. 8 Graf priebehu hodnôt pozdĺž profilu SR-BV_Cs



Obr. 9 Mapa plošnej aktivity distribúcie rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs s vyznačeným profilom L-PL_Cs ([internet 1] upravené)

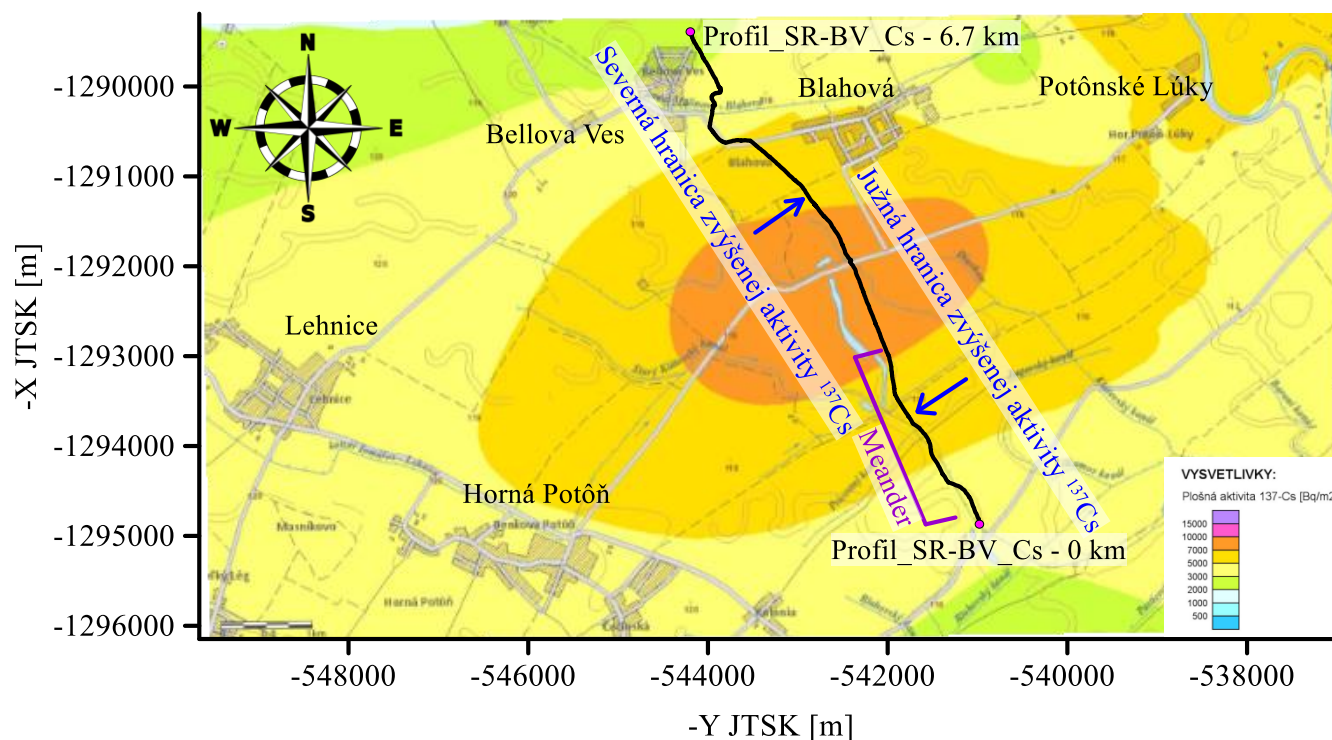
asfaltovú cestu, ktorá má schopnosť tieniť rádioaktívne žiarenie. V prípade, že kontaminácia rádioaktívnym izotopom ^{137}Cs nastala po vybudovaní asfaltovej cesty, tak následne zrážkovou činnosťou bola z nej odplavená. Najvyššia nameraná hodnota na profile L-PL_Cs bola 1114 Bq/m^2 a nachádza sa na šiestom kilometri.

Najnižšia nameraná hodnota 15 Bq/m² na profile SR-BV_Cs bola situovaná v šiestom kilometri pozdĺž profilu (obr. 8). Najvyššia plošná aktivita rádioaktívneho izotopu ¹³⁷Cs bola zistená na metrži 1.5 km s hodnotou 1022 Bq/m². Priemer 387 Bq/m² rovnako, ako na profile L-PL_Cs poukazuje celkovo na nízku plošnú aktivitu skúmaného rádioaktívneho izotopu ¹³⁷Cs v prostredí. V tabuľke 3 sú popísané jednotlivé štatistické parametre pozdĺž meraného profilu SR-BV_Cs.

Profil SR-BV_Cs sa realizoval v dvoch rozličných prostrediach (obr. 8 a 10). Úvodné dva kilometre tvorí meander Starého klatovského kanála. V druhom kilometri sa prostredie mení na ornú pôdu. Namerané hodnoty pozdĺž profilu SR-BV_Cs vykazujú porovnateľný priebeh hodnôt plošnej aktivity ako na profile L-PL_Cs. V prvom kilometri majú namerané hodnoty plošnej aktivity rádioaktívneho izotopu ¹³⁷Cs rastúcu tendenciu. Najvyššie namerané hodnoty sú situované v pásme širokom dva kilometre s priemernými hodnotami od 500 do 650 Bq/m². Od metrže 4.5 km nasleduje výrazný pokles aktivity. Pri prechode „meandra“ do „poľnohospodárskeho poľa“ nebola zaznamenaná výrazná zmena charakteru meraného poľa aktivity rádioaktívneho izotopu ¹³⁷Cs.

Tab. 3 Základné štatistické parametre z nameraných hodnôt pozdĺž profilu SR-BV_Cs

Počet bodov	5245
Minimálna nameraná hodnota	15 Bq/m ²
Maximálna nameraná hodnota	1022 Bq/m ²
Priemerná hodnota	387 Bq/m ²
Medián	370 Bq/m ²
Štandardná odchýlka	172 Bq/m ²



Obr. 10 Mapa plošnej aktivity distribúcie rádioaktívneho izotopu ¹³⁷Cs s vyznačeným profilom SR-BV_Cs [internet 1 – upravený]

6. Diskusia

Meranie bolo realizované 23 rokov po prvých meraniach plošnej aktivity rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs . Dodatočné merania poukázali na zníženú aktivitu, ktorá je súčtom rozpadu ^{137}Cs a postupného vertikálneho prenikania rádionuklidu do pôdy. S hĺbkovou depozíciou ^{137}Cs rastie absorpcia gama žiarenia v pôde.

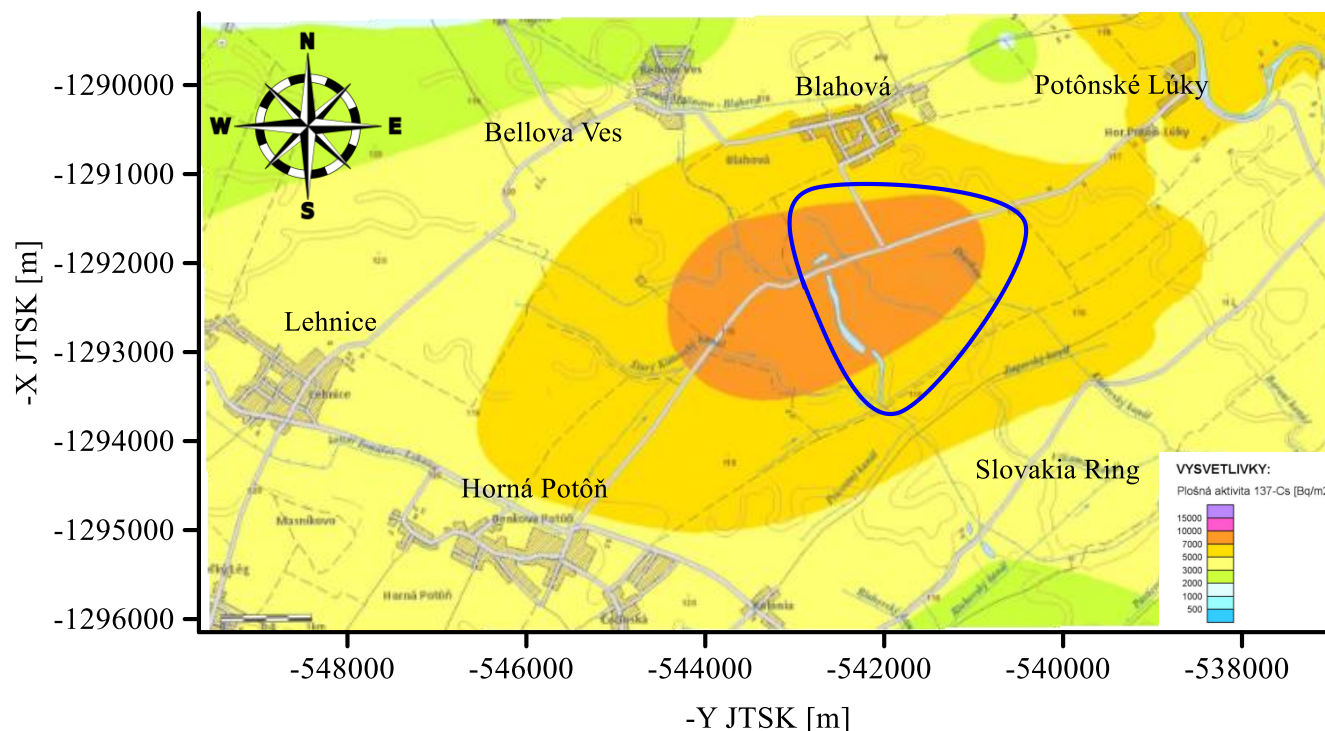
Mierny nárast hodnôt aktivity rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs voči okoliu bol poukázaný pozdĺž profilu L-PL_Cs. Tento jav je pozorovateľný na metrži od 5 km (obr. 7). Neprechodné prostredie zapríčinilo, že sa ďalších 500 m (obr. 9) meranie realizovalo po asfaltovej ceste, tým sa aktivita rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs utlmila a nebolo možné ďalej pozorovať jej nárast. Po prechode do prostredia bez tlmiaceho faktoru aktivita opäť stúpala, pričom maximálna hodnota bola detegovaná na metrži 6.1 km (obr. 7 a 9). Pokles bol zaznamenaný od metrže 7,5 km (obr. 7 a 9) v smere merania. V ďalších miestach profilu nebola detegovaná zvýšená aktivita rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs .

Obrázok 9 znázorňuje profil L-PL_Cs v rámci mapy izolínií distribúcie aktivity rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs .

Na obrázku 10 je znázornený profil SR-BV_Cs v rámci mapy izolínií distribúcie aktivity rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs s vyznačenými hraničnými polohami, v ktorých dochádza ku zvýšeniu a zníženiu aktivity ^{137}Cs .

Kontinuálne povrchové gamaspektrometrické meranie potvrdzuje existenciu skúmanej anomálie zvýšených hodnôt z roku 1998. Obrázok 11 porovnáva novú a pôvodnú anomálnu plochu, na ktorej je zobrazená distribúcia plošnej aktivity ^{137}Cs . Nová anomálna plocha zvýšených hodnôt distribúcie plošnej aktivity ^{137}Cs poukazuje na určitú horizontálnu deformáciu. Pri interpolácii pôvodných nameraných dát bol použitý menší počet bodov a tým sa zvýšila chybovosť pri určovaní hraníc lokálnej anomálie. Nové merania boli rádovo vo vyššom rozlíšení a tým dokázali presnejšie zdefinovať tvar skúmanej anomálie.

Ku vertikálnemu transportu látok v orných pôdach najviac prispievajú ťažké poľnohospodárske stroje. Pri orbe nastáva premiešavanie pôdy v niekoľkých desiatkach centimetrov v priebehu sekúnd. Rádioaktívny prvok cézium v pôdach bez antropogénnych činiteľov má



Obr. 11 Mapa plošnej aktivity distribúcie rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs s vyznačenou novou anomálnou polohou ([internet 1] – upravené)

extrémne pomalý vertikálny transport, približne 1 cm/rok (Čipáková, 2020). Laboratórne skúšky dokázali, že v orných pôdach je merateľná aktivita rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs v hĺbke až 60 cm (Andrássy, 2022). Ku celkovému poklesu množstva ^{137}Cs prispievajú aj sadené obilniny. V publikácii (Amano, 2021) je popísané, ako slnečnice dokážu absorbovať rádioaktívne prvky na silno kontaminovaných územiach. Slnečnice sa následne špeciálne spracujú a narába s nimi ako s rádioaktívnym odpadom.

7. Záver

Povrchové gamaspektrometrické merania poukázali na značný úbytok aktivity rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs z povrchu vplyvom antropogénnych a poľnohospodárskych činností. Bez vplyvu antropogénnych činiteľov nedochádza ku výraznej vertikálnej distribúcii ^{137}Cs (Andrássy, 2022) – 1 cm v priebehu roka (Čipáková, 2020). Pri ornej činnosti dochádza ku premiešavaniu pôdy, tým sa prvky dokážu pretransportovať do väčších hĺbok. Vrstva s určitou mocnosťou výrazne zoslabí vyžiarené gama kvantá. Pri strate energie sa stávajú nemerateľnými alebo sa nameria iba zlomok ich skutočnej aktivity z určitej hĺbky.

V priebehu 24 rokov klesla aktivita rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs približne o 90% na kontaminovanom území. V menej kontaminovaných polohách je percentuálny úbytok menší. Polohy s vyššími hodnotami aktivity rádioaktívneho izotopu ^{137}Cs sú zachované, ale mierne deformované a ich aktivita výrazne klesla.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-21-0159, APVV-16-0146, APVV-19-0150 a grantu UK/119/2022.

Literatúra

- AMANO, O. Results of Removing Radioactive Cesium from Shallow Rice Fields by Planting Sunflower – Report from the Survey team on the Absorption and Adsorption of Cesium by Planting Sunflower. In book: *Insight Concerning the Fukushima Daiichi Nuclear Accident Vol. 2&3*. Atomic Energy Society of Japan (AESJ), 15-21, 2021. DOI: 10.15669/fukushimainsights. Vol.2.15
- ANDRÁSSY, E. *Stanovenie koncentrácie a distribúcie rádioaktívneho cézia v pokryvných útvaroch vybraných lokalít Slovenska* – Pisomná práca k dizertačnej skúške. Univerzita Komenského v Bratislave, 2022.
- ČIPÁKOVÁ, A. *Štúdium migrácie rádiostroncía a rádiocézia v pôdach s možnosťou eliminácie ich negatívnych účinkov*. Štátny zdravotný ústav, Košice, 2000.
- GCI & NFC, 2017-2019: Geodetický a kartografický ústav, Národné lesnícke centrum ©GKÚ, NLC; yrs. 2017-2019, <http://www.gku.sk/gku/>, <http://web.nlcsk.org/>.
- GLUCH, A., SMOLÁROVÁ, H., ČÍŽEK, P. Reambulácia máp rádioaktivity ^{137}Cs územia Slovenska v mierkach 1:200 000 a 1:500 000. Orientačný prieskum geofaktorov životného prostredia – záverečná správa. ŠGUDŠ, Bratislava, 2005. Archívne číslo: 86511.

- INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP. *Summary Report on the Post-accident Review Meeting on the Chernobyl Accident*. INSAG Series, 1986.
- LEHOTSKÝ, M., STANKOVIANSKY, M. Detection of pluvial erosion-accumulation processes on the basis of assessment of the isotope Cs-137 content in soil profile. *Geografický časopis* 44, 237-287, 1992.
- MAGLAY, J., FORDINÁL, K., NAGY, A., VLAČIKY, M., ŠEFČÍK, P., FRIČOVSKÁ, J., MORAVCOVÁ, M., KOVÁČIK, M., BARÁTH, I., ZLOCHA, M. (ed). Geologická mapa Podunajskej nížiny – Podunajskej roviny. Regionálne geologické mapy Slovenska 1 : 50000. ŠGÚDŠ, Bratislava, 2018.
- ŠKULEC, Š. Aktivity Slovenského hydrometeorologického ústavu pri riešení následkov havárie JE Černobyl' na území Československa. *Meteorologické Časopis* 19, 43-49, 2016.
- [Internet 1]: <https://www.geology.sk/geoinfoportal/mapovy-portal/geofyzikalne-mapy/mapa-radioaktivity-cezia/>
-

Autoři:

- ¹ Mgr. Erik Andrassy, Katedra inžinierskej geológie, hydrogeológie a aplikovanej geofyziky, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava, andrassy4@uniba.sk
- ¹ doc. RNDr. Andrej Mojzeš, PhD., Katedra inžinierskej geológie, hydrogeológie a aplikovanej geofyziky, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava, andrej.mojzes@uniba.sk
- ^{1,2} Mgr. Ema Nogová, Katedra inžinierskej geológie, hydrogeológie a aplikovanej geofyziky, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava a Oddelenie gravimetrie a geodynamiky, Geofyzikálny odbor, Ústav vied o Zemi, Slovenská akadémia vied, Dúbravská cesta 9, 840 05 Bratislava, nogova22@uniba.sk
- ³ RNDr. Gabriela Wallová, PhD., Výskumný ústav vodného hospodárstva, Národné referenčné laboratórium pre oblasť vôd na Slovensku, Nábr. arm. gen. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava, gabriela.wallova@vuvh.sk
- ^{1,2} Bc. Jozef Bódi, Katedra inžinierskej geológie, hydrogeológie a aplikovanej geofyziky, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava a Oddelenie gravimetrie a geodynamiky, Geofyzikálny odbor, Ústav vied o Zemi, Slovenská akadémia vied, Dúbravská cesta 9, 840 05 Bratislava, bodi3@uniba.sk
- ^{1,4} Mgr. Lenka Ondrašová, Katedra inžinierskej geológie, hydrogeológie a aplikovanej geofyziky, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava a Oddelenie geomagnetizmu, Geofyzikálny odbor, Ústav vied o Zemi, Slovenská akadémia vied, Dúbravská cesta 9, 840 05 Bratislava, ondrasova4@uniba.sk