

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie

Studijní obor: Geologie



Bc. Gereltsetseg Tumurkhoo

Geologický a geofyzikální průzkum kokonínského zlomu pro stavební pozemky

(Jablonec n. Nisou, ČR)

Geological and geophysical exploration of the Kokonín fault for building constructions

(Jablonec n. Nisou, Czech Republic)

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Mgr. Viktor Goliáš, Ph.D.

Konzultant diplomové práce: prof. RNDr. Milan Matolín, DrSc.

Praha, 2016.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a veškerou použitou literaturu a další informační zdroje jsem uvedla v seznamu literatury. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne 16.5.2016

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu diplomové práce, Mgr. Viktoru Goliášovi, Ph.D. za odborné vedení, věcné připomínky a rady, a vstřícnost při terénním výzkumu

Dále bych ráda poděkovala svému konzultantovi prof. RNDr. Milanu Matolínovi, DrSc. za cenné rady a čas, který mi věnoval při geofyzikálním průzkumu.

Mé poděkování patří také všem majitelům domů, zejména panu Radku Ouředníčkovi, ale i dalším, kteří nám umožnili měřit na svých soukromých pozemcích.

Za spolupráci magistrátu bych ráda jmenovitě poděkovala za vstřícnost, poskytnutí podkladových archívních materiálů a živý zájem o naše výsledky primátorovi města Jablonec ing. Petru Beitlovi, vedoucí odboru stavebního a životního prostředí ing. Mgr. Ivaně Řimnáčové a vedoucímu odboru územního a hospodářského rozvoje ing. Otakaru Kypťovi.

Za milou podporu a zájem o naši věc bych ráda poděkovala také Ing. Janu Vokurkovi; výrobci regionálních specialit a životabudičů.

V neposlední řadě také děkuji všem, kteří se na terénním měření podíleli: Ondřej Šálek, Lenka Hrušková, Martin Fanta, Tomáš Vrbický, Kristýna Jachnická, Pavel Kohn, Pavel Škácha, Jakub Plášil, Radek Škoda, Tomáš Černý a Michal Čurda.

Chtěla bych poděkovat své rodině a přátelům za podporu.

ABSTRAKT

Radioaktivita je významnou součástí životního prostředí. V letech 2014 – 2015 proběhl průzkum zaměřený na vyhledávání léčivých radioaktivních pramenů na tělese tanvaldského granitu. V rámci průzkumu jsme při podrobném průzkumu vývěrové lokality Schindlerova pramene našli u nově stavěných domů výchoz U – mineralizace na linii kokonínského zlomu. Na lokalitě se dají nalézt „horké“ úlomky uranové rudy v pokryvu. Je to nový, dosud v literatuře nepopsaný výskyt uranového zrudnění hydrotermálního (žilného) typu v exokontaktu krkonošsko-jizerského plutonu.

Po dohodě s majiteli v okolí dvou postižených domů byl realizován podrobný radiometrický průzkum obou stavebních pozemků emanometrií a gamaspektrometrií v podrobné síti. V prostoru mezi domy je širší pole s aktivitami nad $1 \text{ MBq/m}^3 \text{ }^{222}\text{Rn}$, na výchoze zrudnění bylo naměřeno 3.3 MBq/m^3 . Zvýšenou radioaktivitu vykazuje kvartérní soliflukční proud mířící pod jeden z domů. Nevyšší obsahy uranu byly naměřeny na místě výchozu U zrudnění, a to 291 ppm eU ($= 3 \text{ 595 Bq/kg }^{226}\text{Ra}$). Dávkový příkon záření gama ve výšce 1 m na lokalitě je průměrně $85,6 \text{ nGy/h}$ s maximem 261 nGy/h nad výchozem U zrudnění.

Následně byl na celé zlomové linii proveden gamaspektrometrický průzkum oblasti o velikosti zhruba $0,25 \times 1 \text{ km}$ orientované paralelně s průběhem kokonínského zlomu. Měřen byl obsah radioaktivních prvků (K, U a Th) a celková gama aktivita. Výsledky byly zpracovány ve formě izoliniových map. Mimo známých dvou čoček uranového zrudnění na malé ploše u postižených domů byla nalezena ještě další, třetí čočka vzdálená cca 120 m od kontaktu s granitem. Čočka je kryta kvartérem, její radiometrický projev je přesto výrazný. Toto místo by mělo být vyloučeno z další výstavby.

Výsledky této práce by měly být zohledněny v novém územním plánu města Jablonec n. Nisou.

Klíčová slova: geofyzika, gamaspektrometrie, emanometrie, uran, radon, tanvaldský granit, krkonošsko – jizerské krystalinikum, Kokonín

SUMMARY

Radioactivity is an important part of the environment. In the years 2014 – 2015 a survey on medicinal radioactive springs was carried out in the Tanvald granite body. During extensive radiohydrogeochemical exploration in the surrounding area of Schindler spring, the outcrop of U – mineralization has been found at a new construction site in the Kokonín fault. It is possible to find “hot” pieces of uranium ore fragments in the quaternary cover in this place. The occurrence of the hydrothermal (vein) type of uranium in the Krkonoše – Jizera is new as it hasn't been mentioned in literatures before.

After an agreement with the owners, detailed radiometric survey proceeded in the surrounding area of two affected houses by using gamma spectrometry and emanometry at the dense net. There is a wider area between two houses with activities of ^{222}Rn over 1 MBq/m^3 and on the ore outcrop was measured 3.3 MBq/m^3 . A quaternary solifluction flow with an increased radioactivity creeps down under the House 1. The highest uranium contents reached up to 291 ppm eU ($= 3\,595 \text{ Bq/kg } ^{226}\text{Ra}$) on the uranium ore lens outcrop. The average of gamma dose rate is $85,6 \text{ nGy/h}$ with maximum 261 nGy/h on the outcrop.

A further radiometric survey through the entire Kokonín fault line was carried out in an area of roughly $0.25 \times 1 \text{ km}^2$ by gamma spectrometry. Contents of radioactive elements such as K, U and Th, and gamma dose rate were measured. The results were processed in the form of isoline maps. Besides of two known lenses of uranium mineralization in a small area of affected houses, another the third lens was found approximately 120 m from the contact with granite. It is covered by quaternary cover, but the radiometric signal is still significant. This place should be excluded from further construction.

The results of this work also should be reflected in the new land – use plan of city Jablonec n. Nisou.

Key words: geophysics, gammaspectrometry, emanometry, uranium, radon, Tanvald granite, Krkonoše – Jizera crystalline, Kokonín

OBSAH

1. ÚVOD	1
2. RADIOAKTIVITA A RADIOAKTIVNÍ ZÁŘENÍ	2
2.1. Záření alfa, beta a gama	2
2.2. Radioaktivita a zdraví	2
3. PŘÍRODNÍ RADIOAKTIVNÍ PRVKY V HORNINÁCH	3
3.1. Radioaktivita magmatických hornin	4
3.2. Radioaktivita sedimentárních hornin	5
3.3. Radioaktivita metamorfovaných hornin	6
4. CHARAKTERISTIKY ZKOUMANÉHO ÚZEMÍ	7
4.1. Tanvaldský granit v rámci krkonošsko – jizerského plutonu	7
4.2. Kontaktně metamorfované horniny (metasedimenty)	8
4.3. Geologie kokonínského zlomu	8
4.4. Výskyty uranového zrudnění a radioaktivních pramenů ve zkoumané oblasti	8
5. METODIKA GEOLOGICKÉHO A GEOFYZIKÁLNÍHO PRŮZKUMU KOKONÍNSKÉHO ZLOMU	9
5.1. Etapy terénního průzkumu	9
5.2. Metodika geofyzikálního průzkumu v okolí výchozu	9
5.2.1. Metodika měření gamaspektrometrickou metodou	10
5.2.2. Metodika měření emanační metodou	11
5.3. Metodika radiometrického průzkumu podél celého průběhu kokonínského zlomu	12
5.4. Zpracování dat	13
6. VÝSLEDKY PRŮZKUMU	14
6.1. Výsledky měření gamaspektrometrií	14
6.2. Výsledky měření emanometrií	19
6.2.1. Geologie žilního výchozu v okolí postižených domů	21
6.3. Výsledky měření podél celého průběhu kokonínského zlomu	24
6.3.1. Obsahy K, U, Th a dávkový příkon záření gama	26
6.3.2. Popis radiometricky významných objektů	27
7. DISKUZE A DOPORUČENÍ	29
8. ZÁVĚR	33
9. POUŽITÁ LITERATURA	34
9.1. Internetové zdroje	36
9.2. Použité programy	36
10. PŘÍLOHA	

Seznam obrázků:

Obrázek 1. Pozice tanvaldského granitu a kokonínského zlomu v krkonošsko – jizerském krystaliniku.	7
Obrázek 2. Území v okolí postižených domů s vyznačením pozice výchozu uranového zrudnění	10
Obrázek 3. Měření radioaktivity gamaspektrometrií GT-32T v terénu	11
Obrázek 4. Gamaspektrometrie GT-32T	11
Obrázek 5. Měření Rn emanometrií RP-25 v terénu	12
Obrázek 6. Měření radioaktivity gamaspektrometrií GT-32T v terénu	13
Obrázek 7. Variogram uranu naměřeného na zemi	14
Obrázek 8. Variogram uranu naměřeného ve výšce 1 m	14
Obrázek 9. Mapa izolinií dávkového příkonu záření gama v okolí dvou postižených domů	15
Obrázek 10. Mapa izolinií dávkového příkonu záření gama ve výšce 1 m v okolí dvou postižených domů	16
Obrázek 11. Mapa izolinií obsahu U naměřeného na zemi v okolí dvou postižených domů	17
Obrázek 12. Mapa izolinií obsahu U naměřeného ve výšce 1 m v okolí dvou postižených domů	18
Obrázek 13. Mapa izolinií obsahu Rn v půdním vzduchu v okolí dvou postižených domů	20
Obrázek 14. Variogram hodnot objemové aktivity radonu	21
Obrázek 15. Geologická dokumentace výchozu uranové žíly na stanovišti v detailním měřítku	22
Obrázek 16. Alterovaný uraninit	23
Obrázek 17. Tetragonální krystaly zeuneritu	23
Obrázek 18. Hřebenitý křemen – ametyst v nové zídce domu ulice V Úvoze (Jablonec. n. Nisou, Kokonín)	24
Obrázek 19. Variogram hodnot koncentrací draslíku	25
Obrázek 20. Variogram hodnot koncentrací thoria	25
Obrázek 21. Variogram hodnot celkové aktivity gama	25
Obrázek 22. Variogram hodnot koncentrací uranu	25
Obrázek 23. Variogram hodnot celkové aktivity gama do 50 m	26
Obrázek 24. Variogram hodnot koncentrací uranu do 25 m	26
Obrázek 25. Lokality s uranovým zrudněním a jejich prvková asociace v okolí krkonošsko – jizerského plutonu	29
Obrázek 26. Interpretační schéma tektonické situace oblasti kokonínského zlomu s vyznačenými výchozy čoček uranového zrudnění, pozicí Schindlerova pramene a obrysem území pokrytého gamaspektrometrií.	31

Seznam tabulek:

Tabulka 1. Koncentrace K, U a Th v magmatických horninách	5
Tabulka 2. Koncentrace K, U a Th v sedimentárních horninách	6
Tabulka 3. Koncentrace K, U a Th v metamorfovaných horninách	6
Tabulka 4. Převodní a výpočetní vztah mezi radionuklidy a dávkovým příkonem podle Lovborga	10
Tabulka 5. Hodnoty koncentrace přirozených radionuklidů naměřené gamaspektrometrií v okolí postižených domů	19
Tabulka 6. Hodnoty koncentrace Rn naměřené emanometricky v okolí postižených domů	21
Tabulka 7. Hodnoty koncentrace přirozených radionuklidů a dávkový příkon záření gama naměřené gamaspektrometrií podél celého průběhu kokonínského zlomu	27
Tabulka 8. Porovnání radonového rizika pro dům č. 1 s našimi daty naměřenými gamaspektrometrií	31

Seznam příloh:

Příloha 1. Mapa prozkoumaného území podél kokonínského zlomu
Příloha 2. Mapa prozkoumaného území s označením procházené trasy pro měření gamaspektrometrie podél kokonínského zlomu
Příloha 3. Mapa prozkoumaného území s označením procházené trasy pro měření celkové gama aktivity podél kokonínského zlomu
Příloha 4. Mapa celkové aktivity gama záření podél kokonínského zlomu
Příloha 5. Mapa koncentrace draslíku podél kokonínského zlomu
Příloha 6. Mapa koncentrace ekvivalentního uranu podél kokonínského zlomu
Příloha 7. Mapa koncentrace ekvivalentního thoria podél kokonínského zlomu
Příloha 8. Mapa poměru U/Th podél kokonínského zlomu

1. ÚVOD

V letech 2014 a 2015 proběhl vyhledávací průzkum radioaktivních minerálních vod na tanvaldském granitu. Je to již v loňském roce obhájená diplomová práce Mgr. Pavla Kohna (Kohn 2015). Během tohoto průzkumu byl 26. září roku 2014 nalezen i Schindlerův pramen jako vůbec nejvýznamnější radioaktivní vývěr celé oblasti (2,2 – 2,4 kBq/l, 0,45 l/s). O den později po nález Schindlerova pramene byla při podrobném průzkumu vývěrové lokality nalezena u dvou nově stavěných domů oblast se zvýšenou radioaktivitou způsobenou výchozem U – mineralizace.

Okamžitě byli informováni majitelé domu, za několik dní i primátor města Jablonec a pracovníci stavebního odboru magistrátu. Informace o nálezu léčivého radioaktivního pramene byla přijata s radostí, nikoli ale informace o U – mineralizaci. Lokalita byla za jejich doprovodu navštívena.

Přestože naše průzkumná skupina není zaměřená na radonové riziko ve smyslu „Atomového zákona“, byla problematika natolik zajímavá, že se jí byla věnována tato diplomová práce.

Po dohodě s majiteli postižených domů byl realizován v březnu roku 2015 podrobný radiometrický průzkum obou sousedících stavebních pozemků pro zjištění detailní situace. Po konzultaci s magistrátem města Jablonec byla pak v rámci naší další akce zaměřené na radioaktivní prameny změřena i celá širší zájmová oblast podél kokonínského zlomu.

Cílem této diplomové práce bylo zhodnotit projev zlomové zóny z hlediska distribuce přírodních radionuklidů (K, U a Th), na postižených pozemcích charakterizovat detailní pole radioaktivity a objemové aktivity radonu v pokryvu; na velkém území pak lokalizovat další výskyty výchozů uranového zrudnění.

Tyto získané poznatky pak jako podklady poslouží pro zhodnocené případných rizik pro zamýšlené nové stavební pozemky i jako důležitý zdroj informací pro územní plán rozvoje města Jablonec n. Nisou.

2. RADIOAKTIVITA A RADIOAKTIVNÍ ZÁŘENÍ

Z více než dvou tisíc známých nuklidů je jen 266 stálých. Ostatní, ať se nacházejí v přírodě nebo vznikají jadernými reakcemi, se více nebo méně rychle samovolně přeměňují na jiný nuklid, tj. jsou radioaktivní. (Hála 1998).

Radioaktivita je jev, při kterém se nestabilní jádra atomů určitého prvku samovolně přeměňují na jádra stabilní nebo také nestabilní jiného prvku za současného vyslání energetického záření. Atomům s takovou vlastností se říká radionuklidy. Radioaktivitu dělíme na přirozenou a umělou a rovněž tak dělíme radioaktivní prvky na přirozeně a uměle radioaktivní. Přirozeně radioaktivní prvky se vyskytují v přírodě a jejich radioaktivita je samovolná, nevyvolaná vnějším umělým zásahem. Uměle radioaktivní prvky jsou takové prvky, které původně radioaktivní nebyly, a tedy nezářily, ale vnějším umělým zásahem se radioaktivní staly, začaly zářit a měnit se v prvky jiné (Durrance 1986). Přírodní a umělé zdroje jaderného záření ovlivňují stav životního prostředí.

Proud nabitých částic, neutronů nebo kvant energie nazýváme radioaktivním zářením.

Existují tři typy radioaktivního záření:

- a) Záření alfa (proud kladně nabitých částic)
- b) Záření beta (proud záporně nabitých elektronů)
- c) Záření gama (elektromagnetické záření, fotony)

2.1. Záření alfa, beta a gama

Záření alfa je proudem kladně nabitých částic složených ze dvou protonů a dvou neutronů. Počáteční rychlost částic je řádu 10^4 km/s, průchodnost částic alfa hmotou je malá, doběh ve vzduchu je několik cm, v tuhých látkách řádu 10^{-2} mm. Částice alfa mají vysokou ionizační schopnost, na 1 cm dráhy ve vzduchu vytváří n. 104 párů iontů. Energie částic alfa při jejich emisi je diskrétní a pro každý radionuklid charakteristická.

Záření beta je proudem záporně nabitých elektronů. Energie a počáteční rychlost při emisi nabývají různých proměnných hodnot, rychlost se může blížit rychlosti světla. Doběh částic beta ve vzduchu je několik desítek cm až jednotky m, pronikají Al destičkou až 5 mm silnou, v horninách je doběh 1 cm. Spektrum energie částic beta je spojité. Beta částice ionizuje hmotu.

Záření gama má povahu elektromagnetických vln, při průchodu hmotou má korpuskulárně vlnový charakter. Rychlost šíření odpovídá rychlosti světla. Doběh kvant gama přirozených radioaktivních prvků ve vzduchu je přibližně 700 m, v horninách do 1 m, v olovu několik cm. Energie kvant gama je diskrétní a pro každý radionuklid charakteristická (Matolín 1974).

2.2. Radioaktivita a zdraví

Radioaktivita je významnou složkou životního prostředí s možnými dopady na zdravotní stav obyvatelstva. Organismy jsou vystavené radioaktivnímu záření přírodních a umělých zdrojů. Mohou být zářením poškozené nejen zvenku, ale také zevnitř v důsledku vnitřní kontaminace organismu. Tkáň a orgány, v kterých se zachytil radionuklid, jsou ozařované nepřetržitě. Radioaktivní záření může způsobit negativní změny v lidském organismu, které mají v případě nadměrného ozáření letální následky.

Produkty přeměny uranu a thoria a nuklid ^{40}K se podílejí na zevním i vnitřním ozáření lidského organismu. Zevní ozáření je způsobeno zářením, které radioaktivní nuklidy emitují z hornin na zemském povrchu nebo těsně pod povrchem. Jde o pronikavé gama záření ^{40}K a některých produktů přeměny ^{238}U a ^{232}Th . Roční ekvivalentní dávka ze záření zemského povrchu se mění v širokém rozmezí

(typicky 1 – 10 mSv/rok) (WHO 2009). Dávka bývá často větší v horských oblastech, v důsledku nárůstu kosmického záření s nadmořskou výškou (Hála 1998).

Většina lidí má obavy z neviditelného radioaktivního záření. Tyto obavy jsou ovšem iracionální. V současnosti v 21. století zasahuje využívání jaderných procesů v daleko vyšším rozsahu, než si to většina z nás uvědomuje. Už se neuplatňuje jen v jaderných elektrárnách, ale celé řadě jiných odvětví, v průmyslu, geologii, vodohospodářství, potravinářství, zdravotnictví a mnoha dalších. Velmi rozsáhlé je využívání radionuklidů a ionizujícího záření v lékařství. Radioaktivní látky a ionizující záření hrají v moderní medicíně stále důležitější roli. Ionizující záření se využívá v terapii, zejména v onkologii a v experimentální medicíně. Velice důležitou roli hraje i v diagnostice (Šáro a Tölgyessy 1985; Beneš a kol. 2015).

Velmi příznivé účinky radioaktivity pro lidské zdraví můžou poskytovat radioaktivní léčivé prameny. Podle lázeňského zákona č. 164/2001 Sb., se vody označují za minerální vody, které mají u vývěru aktivitu radonu nad 1,5 kBq/l (<http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-164>). Absorbovaná energie léčivých radioaktivních vod stimuluje regeneraci tkání a likvidaci škodlivých oxidativních stresorů. Zvyšuje se tvorba hormonů, včetně těch protibolestivých, protizánětlivých a pohlavních. Následně v organismu dochází k fázi zklidnění bolestivých a zánětlivých potíží a zlepšení funkce všech složek pohybového aparátu – kloubů, svalstva, šlach a příslušného cévního i nervového zásobení. Úleva trvá ve většině případů déle než půl roku, zlepšuje se kvalita života u chronicky nemocných, snižuje se spotřeba analgetik a jiných léčiv (<http://www.laznejachymov.cz/>). Radioaktivní prameny tedy můžeme považovat za přírodní dar.

Dávka ionizujícího záření nemusí nutně představovat nebezpečí. Při určitých dávkách existuje jen pravděpodobnost genetického poškození, které navíc závisí na individuální vnímavosti organismu k dávkám ionizujícího záření. Z přísně vědeckého hlediska ale škodlivost nízkých dávek záření včetně přirozeného pozadí nebyla prokázána. Radioaktivita má i příznivé vlivy.

3. PŘÍRODNÍ RADIOAKTIVNÍ PRVKY V HORNINÁCH

Přirozená radioaktivita je jednou ze základních fyzikálních vlastností hornin. Různé koncentrace přirozených radioaktivních prvků jsou obsaženy v horninách všech geologických útvarů. Zemská kůra obsahuje asi třicet radioaktivních nuklidů s poločasem většinou většími než 10^9 roků. Většina z nich jsou izotopy vzácnějších prvků s velmi malým zastoupením v zemské kůře a vliv jejich záření na životní prostředí proto není nutné uvažovat. Významné jsou pouze ^{232}Th a ^{238}U se svými produkty přeměny a izotop draslíku ^{40}K (Hála 1998).

Rozpadem přirozených radioaktivních prvků v horninách vzniká alfa, beta a gama záření. Radioaktivita hornin bývá při terénních i laboratorních výzkumech nejčastěji určována detekcí gama záření, které má největší průchodnost hmotou, a charakterizuje tak největší objem měřeného objektu.

Zdrojem gama záření v horninách je velké množství radioaktivních izotopů prvků. Posoudíme-li však jejich koncentrace, typy a rychlost rozpadu, má pro gama aktivitu hornin praktický význam pouze přítomnost U a Th se svými produkty rozpadu, a K, které emitují záření gama. Přeměnami ^{238}U a ^{232}Th v horninách vznikají plynné radionuklidy ^{222}Rn (radon) a ^{220}Rn (thoron). Vzhledem k poločasům přeměn 3,82 dne (^{222}Rn) a 54,5 s (^{220}Rn) a odpovídajícím difúzním délkám je pro posouzení radiačních rizik významný jen ^{222}Rn . Ten vzniká přeměnou z ^{226}Ra , člena rozpadové řady ^{238}U (IAEA, 1982).

Uran je přítomný v horninách v nejrůznějších geochemických formách. V zemské kůře je zastoupen v koncentraci 2 – 4 ppm. V horninách je přítomen ve třech formách: tvoří samostatné minerály, je izomorfně přimíšen v horninotvorných minerálech a vyskytuje se ve stavu rozptýleném. V horninách se uran nachází ve zvýšené míře v akcesorických minerálech zirkonu, titanitu, apatitu, xenotimu monazitu a allanitu. V přirozené směsi izotopů uranu jsou zastoupeny ^{238}U 99,27 %, ^{235}U 0,72 %. Uran je v horninách značně mobilní za různých teplotních a tlakových podmínek (Mareš kol. 1990).

O mobilitě uranu za vysokých teplot a tlaků svědčí formy jeho přítomnosti v magmatických horninách. V hypergenních procesech mají pro pohyb U význam především vody a jejich chemické složení, opětovné vysrážení U může tvořit užité akumulace.

Thorium má rovněž složité geochemické formy přítomnosti v horninách. Průměrná koncentrace Th v zemské kůře je 8 – 13 ppm Th. Thorium je v horninách přítomno ve třech obdobných formách. Význačným geochemickým znakem Th je jeho stabilita. Většina Th se zachycuje v horninotvorných nerostech vznikajících v počátečních stádiích tuhnutí magmatu. V horninách je thorium přítomno ve zvýšené míře v akcesorických minerálech monazitu, allanitu, zirkonu, titanitu, epidotu a apatitu. Th nevytváří sekundární minerály a prakticky jedinou formou pohybu je mechanický transport (Durrance 1986).

Draslík je v horninovém prostředí mobilní. Je v zemské kůře přítomen v průměrné koncentraci 2,6 %. Draslík je velmi rozšířeným prvkem litosféry. V magmatických a metamorfovaných horninách mají největší obsah K (5 – 15 % K₂O) draselné živce, leucit a nefelin, biotit, muskovit, sericit a flogopit. Draslík je obecně pohyblivý za různých teplotních a tlakových podmínek, a proto může obohacovat různé horniny. Přírodní draslík je směsí 3 izotopů o hmotnostních číslech 39, 40 a 41, z nichž je radioaktivní právě nejméně zastoupený izotop ⁴⁰K, jehož je v přírodním draslíku pouze 0,0117 % (Haynes 2012). Radioaktivní záření draslíku může být podstatnou částí radioaktivity hornin (Matolín 1970).

Radioaktivní plyn radon, generovaný v horninách přírodními radionuklidy U a Th, je významný při geologických výzkumech a při monitorování a hodnocení radioaktivity přírodního prostředí (Matolín a Jáně 2002).

Radioaktivita půdního vzduchu je způsobena přítomností emanací izotopů Rn, vznikajících rozpadem U a Th v horninách. Radon je nejtěžší známý plyn.

Ke zvyšování koncentrace radonu v budovách mohou přispívat v zásadě tři více – méně nezávislé zdroje. Jsou to geologické podloží, stavební materiály a voda a zemní plyn přiváděné do domů.

Geologické podloží je hlavním zdrojem radonu v obytných domech. Stanovení kategorie radonového indexu ze základových půd indikuje potřebnou ochranu staveb proti vnikání radonu. Hlavními měřenými parametry je objemová aktivita ²²²Rn v půdním vzduchu a propustnost zemin pro plyny. Výsledky se vyjadřují v kBq/m³, obvykle hodnoty jsou v ČR v mezích 0 – 100 kBq/m³ (Mareš a kol. 1996). Dlouhodobě vysoké koncentrace radonu v domech mohou mít neblahé zdravotní následky.

Objemová aktivita radonu v horninách (půdním vzduchu) v České republice se dělí na 3 kategorie (Matolín, ústní sdělení):

0 – 100 kBq/m ³	–	běžné hodnoty
100 – 400 kBq/m ³	–	vysoké hodnoty
až X000 kBq/m ³	–	extrémně vysoké lokální hodnoty

3.1. Radioaktivita magmatických hornin

Přítomnost radioaktivních prvků v magmatu závisí na jeho chemismu. Radioaktivita magmatických hornin má tendenci růstu s rostoucí kyselostí hornin. Radioaktivní prvky K, U a Th vykazují afinitu s obsahy SiO₂, nízká aktivita odpovídá rostoucím podílům FeO, MgO a CaO. Radioaktivita magmatitů roste s klesajícím geologickým stářím těles.

Obsah radioaktivních prvků v akcesorických minerálech závisí na podmínkách jejich vzniku, a proto akcesorie nejsou vždy radioaktivní. Efusivní formy magmatitů bývají aktivnější než jejich hlubinné ekvivalenty. Magmatity středních a závěrečných fází tektonomagmatického cyklu mají vyšší koncentrace radioaktivních prvků. Vysokou radioaktivitou se vyznačují magmatity finálních fází

magmatogenních cyklů. Poměr Th/U je charakteristickým parametrem hornin. Radioaktivita syenitů, fonolitů, žul, granodioritů bývá vysoká, extrémně nízkou aktivitou jsou charakteristická ultrabazika a bazika.

Tab.1. Koncentrace K, U a Th v magmatických horninách (Schön 2015)

Intruzivní horniny	K [%]	U [ppm]	Th [ppm]
Granity	2,75 – 4,26	3,6 – 4,7	19 - 20
Granodiority	2 – 2,5	2,6	9,3 - 11
Diority	1,1	2	8,5
Gabra	0,46 – 0,58	0,84 – 0,9	2,7 – 2,85
Dunity	< 0,02	< 0,01	< 0,01
Peridotity	0,2	0,01	0,05
Vulkanické horniny	K [%]	U [ppm]	Th [ppm]
Ryolity	2 - 4	2,5 – 5	6 – 15
Trachyty	5,7	2 – 7	9 – 25
Alkalické čediče	0,61	0,99	4,6
Příkrovové čediče	0,61	0,53	1,96
Andezity	1,7	0,8	1,9
Dacity	2,3	2,5	10
Liparity	3,7	4,7	19

3.2. Radioaktivita sedimentárních hornin

Radioaktivita sedimentárních hornin závisí převážně na složení usazovaného materiálu. Peltické sedimenty jsou zpravidla radioaktivnější než psamity. Klastické terigenní sedimenty vykazují v průměru vyšší radioaktivitu než chemogenní sedimenty. Nejvyšší radioaktivitou se vyznačují jíly, jílovce, fosfority, draselné soli a bituminosní sedimenty, k nejméně aktivním patří vápenec, sádrovec, kamenná sůl, křemenec, dolomit (Matolín a Chlupáčová 1997). Některé hlubokomořské sedimenty mají obsah radioaktivních prvků obvykle vyšší než kontinentální sedimenty. Pohybem uranu v roztocích bývají sedimentární horniny někdy epigeneticky obohaceny. V zeminách je někdy pozorován odnos U a K, zatímco Ra a Th jsou relativně stabilní. Poměr Th/U se u sedimentů mění v širokém intervalu.

Tab.2. Koncentrace K, U a Th v sedimentárních horninách (Schön 2015)

Horniny	K [%]	U [ppm]	Th [ppm]
Karbonáty	0 - 2	2,5 – 2,8	0,1 – 7
Vápence	0,3	1,6	1,8
Dolomity	0,4	3,7	2,8
Anhydrity	0,4	0,1	0,3
Soli	0,1	0,02	0,3
Pískovce	0,7 – 3,8	0,2 – 0,6	0,7 – 2
Droby	1,3	2	7
Břidlice	2,7	3,7	12
Černé břidlice	2,6	20,2	10,9
Jíly (pleistocén)	1,9 – 2,5	1,1 – 3,8	5,7 – 10,2
Terciérní jíly	1,3 – 3,1	1,2 – 4,3	1,4 – 9,3

3.3. Radioaktivita metamorfovaných hornin

Radioaktivita metamorfovaných hornin závisí na radioaktivních vlastnostech výchozího materiálu a na látkových změnách spojených se stupněm metamorfózy. Změny radioaktivity jsou odrazem pochodů metamorfózy hornin, kterou provází změny chemismu hornin, rekrystalizace minerálů a pohyb látek. Obsahy radioaktivních prvků v metamorfitech odpovídají intervalu koncentrace K, U a Th v magmatitech a sedimentech. K metamorfitům s vyšší radioaktivitou náleží některé ortoruly, grafiticko – sericitické břidlice a migmatity, extrémně nízkou aktivitou jsou charakteristické amfibolity, kvarcitické břidlice a serpentinity. Nízká radioaktivita některých granulitů je podmíněna velmi nízkými obsahy U a Th (Matolín a Chlupáčová 1997).

Tab.3. Koncentrace K, U a Th v metamorfovaných horninách (Schön 2015)

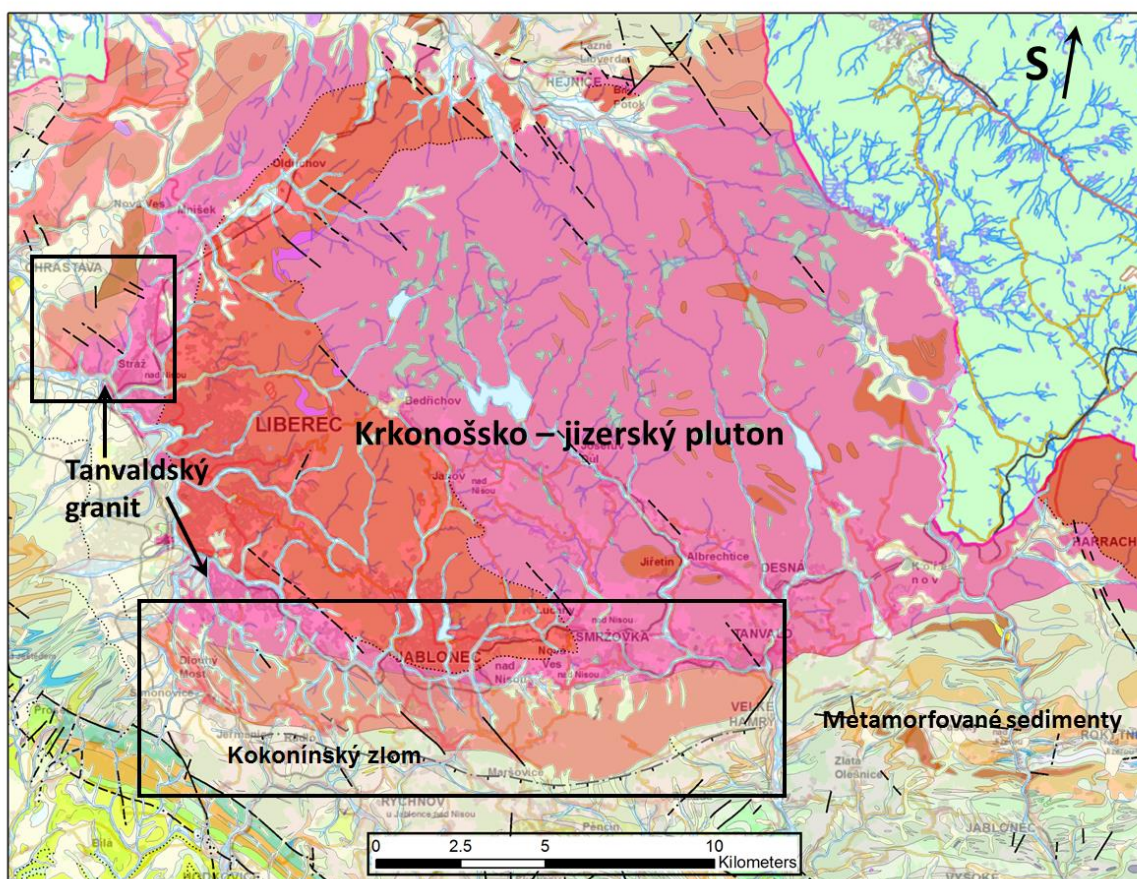
Horniny	K [%]	U [ppm]	Th [ppm]
Ruly	2,28 ± 0,17	2,6 ± 1,2	8,2 ± 2
Eklogity	0,8	0,2	0,4
Amfibolity	0,6	0,7	1,8
Metabazity	0,6 ± 0,5	2,5 ± 1,6	2,5 ± 1,6
Svory	0,39 – 4,44	0,4 – 3,7	1,6 – 17,2
Kvarcity	0,6	0,8	3,1
Mramory	0,2	1,1	2,2

Obecně vyšší koncentrace nacházíme v kyselých magmatických horninách, nejnižší pak v některých horninách sedimentárních.

4. CHARAKTERISKTIKY ZKOUMANÉHO ÚZEMÍ

4.1. Tanvaldský granit v rámci krkonoško-jizerského plutonu

Tanvaldský granit odpovídá v petrologické klasifikaci dvojslídne žule. Při jižním a západním okraji české části krkonoško – jizerského kompozitního masivu tvoří dvě samostatná tělesa deskovitého tvaru, protažena ve směru kontaktu s libereckým granitem (Obr. 1). Větší těleso na jihu se strmě uklání k jihu pod spodnopaleozoické epizonálně metamorfované horniny železnobrodského krystalinika, tvořeného převážně různými druhy pelitů (Klomínský a kol. 2009).



Obr.1. Pozice tanvaldského granitu a kokonínského zlomu v krkonoško – jizerském krystaliniku. Geologická mapa 1 : 50 000 ze serveru ČGS (<http://mapy.geology.cz/arcgis/services>).

Krkonoško – jizerské krystalinikum je vzhledem k přítomnosti kadomského, částečně i kaledonského a téměř úplného hercynského patra s granitoidy nejdůležitější částí lugické oblasti. Jeho východní a jižní hranici na povrchu tvoří styk se sedimenty limnického permokarbonu v několika samostatných pánvích. Styk je z části tektonický – na východě; z části transgresivní i tektonický – na jihu. Na severu pokračuje Krkonoško – jizerské krystalinikum mimo naše území až k vnitřnímu zlomu lugika. K tomuto krystaliniku patří i některé metamorfity vystupující na několika místech z podloží české křídové pánve (Mísař a kol. 1983). Granitoidní horniny Krkonoško – jizerského plutonu vykazují zvýšenou radioaktivitu (Černík a Goliáš 2014).

Tanvaldský granit je zastoupen varietou středně zrnitého nevýrazně porfyrického biotitického alkalicko-živcového granitu s muskovitem, jež tvoří několik set metrů širokou zónu při jižním okraji tělesa krkonoško-jizerského plutonu. Hornina má světle pleťovou barvu, je středně až hrubě zrnitá s granitickou strukturou. Nehojné nepravidelně roztroušené vyrostlice tvoří draselný živec zpravidla do velikosti 3 cm, jejich podíl obvykle kolísá kolem 5 %. Základní hmota je složena z draselného živece, albitu (An do 05), křemene, biotitu a muskovitu. Křemen tvoří velká našedlá a čirá agregátová zrna,

kteřá výrazně undulozně zřášejí. Biotit ve většině případů převládá nad muskovitem. Podíl slíd se pohybuje kolem 5 %, takže hornina běžně přechází do leukokratního granitu, nežřídka však obsahuje hojně drobné uzavřeniny a shluky tvořené hrubě zrnitým biotitem. Tyto nehomogenity mohou reprezentovat rekrystalované restity hornin krystalinického pláště tanvaldského granitu. V akcesorickém množství se vyskytují granát, apatit, zirkon, ilmenit, magnetit a turmalín (Klomínský a kol. 2006).

4.2. Kontaktně metamorfované horniny (metasedimenty)

Krkonoško – jizerský pluton po svém proniknutí do starších hornin působil na své okolí vysokou teplotou a způsobil v něm řadu změn, které shrnujeme pod pojmem kontaktní metamorfóza. Přeměna se však v okolí plutonu neprojevila všude stejně. Na jižní straně plutonu lze sledovat vliv tepelné přeměny až na vzdálenost 2 km od okraje plutonu, jinde je kontaktní dvůr mnohem užší nebo dokonce chybí. (Žitný 1966)

Směrem ke kontaktu s krkonoško – jizerským plutonem pozorujeme změnu minerální asociace a struktury regionálně metamorfovaných sedimentů. Nejdříve se objevují cordierit – andalusitické břidlice, které přechází do cordieritických, cordierit – andalusitických až cordierit – sillimanitických kontaktních rohovců. V průběhu kontaktní metamorfózy vznikaly ve fylitech až svorech porfyroblasty biotitu, andalusitu a cordieritu, které často přerůstají starší metamorfní stavbu (Buriánek a kol. 2013).

Ojedinele se v plášti metamorfovaných hornin vyskytují i tělesa metabazitů. Tyto kontaktně metamorfované horniny jsou charakterizovány vyšším podílem křemene na úkor amfibolů a nižší bazicitou plagioklasů. V horninách se vyskytuje biotit (Šída a Kachlík 2009).

4.3. Geologie kokonínského zlomu

Zkoumané území se nachází na jižním okraji krkonoško – jizerského plutonu v oblasti lugika, nejsevernější geologické jednotky Českého masivu. Lugickou oblast považujeme za součást saxothuringika. V minulosti bylo lugikum oblastí, kde řada autorů předpokládala pokračování kaledonského orogénu ze severozápadní evropy. Paleontologické nálezy na Ještědu v klodském krystaliniku a datování metamorfních událostí Ar – Ar metodou však ukázala, že hlavní orogeneze, která měla rozhodující význam pro dnešní stavbu oblasti je variská (Kachlík 2003).

Studiu zlomových struktur byla v Krkonoško – jizerských krystaliniku věnována mnohem menší pozornost než analýze vrásové stavby. Dominují vedle diagonálních zlomů směru SZ – JV, méně SV až JZ, zlomy směru V – Z, zčásti S – J. Kokonínský zlom je také v směru SZ – JV. Ten zlom je nejvýznamnější tektonickou strukturou celého tělesa tanvaldského granitu.

Kokonínský zlom je velice významná tektonická porucha posouvající kontakt tanvaldského granitů se spodnopaleozoickými metasedimenty na vzdálenost jednoho kilometru. Zkoumané území je charakterizováno dvěma geologickými celky – tanvaldským granitem a kontaktně metamorfovanými horninami.

4.4. Výskyty uranového zrudnění a radioaktivních pramenů ve zkoumané oblasti

U – mineralizace, mineralogicky reprezentovaná uranitem, autunitem, torbernitom, gumitem a U – černěmi, se nachází v proterozoických a spodnopaleozoických metamorfitech (fylity, svory, amfibolické břidlice, rohovce, ortoruly aj.), zejména v širším exokontaktu krkonoško – jizerského masivu. Krkonoško – jizerský žulový masív variského stáří podmiňuje proměnné zvýšené pole intenzity gama záření v prostoru svého rozšíření (Matolín 1970).

Akumulace uranu jsou vázány na struktury typu krátkých puklin podél větších zlomu či na jejich křížení. (Chaloupský a kol. 1989).

Oblast krkonošského rajónu byla v padesátých a šedesátých letech prozkoumána gama průzkumem, emanačním a autogama průzkumem v různém měřítku (Kadlčíková 1975). V roce 1952 započal emanační průzkum v měřítku 1 : 5 000 na nových úsecích v ortorulách a okolí exokontaktu krkonoško – jizerského granitového plutonu. V červnu 1955 byl při detailním mapování pomocí pěšího gama průzkumu v exokontaktu krkonoško-jizerského granitového plutonu objeven úsek Příchovice. Dále v roce 1957 byly nalezeny úseky Harrachov a Rádlo u Jablonce n. Nisou (Pašek 2015). Na úseku Rádlo bylo nalezeno 5 žil s uranovým zrudněním, kdy jedna poloha byla velmi perspektivní. Ale na novém úseku Harrachov byly rýhami ověřeny 3 aktivnější žíly.

Z hlediska výskytu uranového zrudnění se jedná o jednu ze tří hlavních zón v Krkonoších a Jizerských horách (Rádlo – Příchovice, další zóny jsou Medvědin – Harrachov – Kowary a Labská). Z řady míst, kde byly v minulosti provedeny povrchové a důlní průzkumné práce, lze zařadit mezi uranová ložiska lokality Medvědin a Labská v Krkonoších. Ostatní jako např. Příchovice, Svatý Petr, Černý důl, Harrachov – Ryžoviště, Rádlo aj. jsou podle tonáže vytěženého kovu klasifikovány pouze jako rudní výskyty.

Průzkum zaměřený na vyhledávání radioaktivních pramenů na tělese tanvaldského granitu v letech 2014 – 2015 odhalil celkem 20 vodních projevů, jejichž objemová aktivita ^{222}Rn přesahuje 1 500 Bq/l. Všechny radioaktivní zdroje se nacházejí v západní a v centrální části tohoto tělesa, ve východní části tělesa nebyly nalezeny žádné prameny s radioaktivitou překračující hodnotu 1 500 Bq/l (Kohn 2015). Dalším projevem výskytů uranové mineralizace jsou významný Schindlerův radioaktivní pramen a několik anomálií uranové mineralizace, které byly nalezeny také naším pěším gama průzkumem (zaměřeným ale na vodní projevy) v endo i exokontaktu variského tanvaldského granitu.

5. METODIKA GEOLOGICKÉHO A GEOFYZIKÁLNÍHO PRŮZKUMU KOKONÍNSKÉHO ZLOMU

5.1. Etapy terénního průzkumu

Terénní práce proběhly ve dvou etapách. První terénní etapa se uskutečnila ve dnech 25. a 26. března 2015 přímo v okolí výchozu uranového zrudnění nalezeného na stavebních pozemcích. Zde byly aplikovány metody gamaspektrometrie a emanometrie. V součinnosti s ostatními výzkumníky byl také geologicky dokumentován výchoz uranového zrudnění a odebrány vzorky pro mineralogické rozborů a naměřena objemová aktivita radonu v domě.

Druhá etapa terénní práce proběhla v období od 15. do 20. června 2015 ve velké ploše podél celého kokonínského zlomu. V této velké ploše byla realizována zejména terénní gamaspektrometrie. Bylo však provedeno i terénní geologické mapování a ověření nově nalezeného výchozu uranového zrudnění.

Malá zbývající plocha v zastavěné oblasti byla doměřena dne 17. března 2016. V rámci této třetí akce bylo plánováno doměření území s chybějícími daty. Díky odporu několika vlastníků pozemků, kteří nechtěli vpustit měřicí skupinu na své pozemky, nedopadl plán prací úplně podle původních představ. Naštěstí dle předpokladu nejzajímavější pozemky patřily vstřícným majitelům otevřeným vědeckému poznání.

5.2. Metodika geofyzikálního průzkumu v okolí výchozu

V březnu 2015 proběhl po dohodě s majiteli v okolí dvou postižených domů podrobný radiometrický průzkum. Obsahy přirozených radioaktivních prvků na území o velikosti přibližně 50 x 70 m v okolí dvou postižených domů byly měřeny gamaspektrometrickou metodou, kdy byly zjišťovány hodnoty K, U a Th a dávkový příkon záření gama. Obsah Rn v půdním vzduchu byl měřen emanometrickou metodou.



Obr.2. Území v okolí postižených domů s vyznačením pozice výchozu uranového zrudnění, stav 26. 3. 2015. Foto: Jakub Plášil, se svolením majitele domu.

Měření bylo provedeno v pravidelné, geodeticky vytyčené síti bodů stabilizovaných dočasně kolíky. Měření oběma metodami bylo měřeno základním krokem v klidném poli, v poli zvýšených hodnot byly měřené body zahuštěny na dvojnásobek.

Na lokalitě bylo vytyčeno osm rovnoběžných, cca 70 metrů dlouhých a 5 a 10 metrů od sebe vzdálených profilů. Na nich byly s krokem 5 až 2,5 metrů označeny jednotlivé měřené body.

5.2.1. Metodika měření gamaspektrometrickou metodou

Terénní gamaspektrometrie je především rychlou, cenově dostupnou a nedestruktivní metodou (Obr. 3 a 4). K měření byl použit terénní spektrometr gama záření GT-32T (GEORADIS Brno) s BGO detektorem 2 x 2 palce. Přístroj byl kalibrován výrobcem na sadě objemových standardů se známými koncentracemi K, U a Th. Správnost vypočítaných koncentrací radioaktivních prvků byla ověřena porovnáním s údaji jiných cejchovaných gamaspektrometrů (GT-30, GS-256) na totožných bodech mimo měřenou lokalitu.

Měření je doplněno stanovením dávkového příkonu záření gama v jednotkách nGy/h (někdy označovaném jako úhrnná aktivita gama). Tyto hodnoty jsou počítány z hodnot koncentrací K, U a Th podle známých vztahů příkonu záření gama ve vzduchu nad rovinným povrchem horninového prostředí o jednotkové koncentraci K, U a Th.

Tab.4. Převodní a výpočetní vztah mezi radionuklidy a dávkovým příkonem podle Lovborga 1984.

Veličina, jednotka	1 % K	1 ppm U	1 ppm Th
Da [nGy/h]	13,078	5,675	2,494

Gamaspektrometrická měření byla provedena s detektorem umístěným na zemi ($h = 0$ m) a ve výšce 1 m nad zemským povrchem ($h = 1$ m). Doba měření na každém bodě byla zvolena na 2 minuty. Po dvou minutách lze na LCD displeji vyčíst přímo hodnoty K, Th a U vypočítané z naměřených četností v zájmových oblastech (energetických oknech).

Základní krok měření byl 10 x 5 metrů, v poli zvýšených hodnot (v okolí výchozu čočky uranového zrudnění) byla síť zahuštěna na 5 x 5 m. Celkem bylo naměřeno 98 bodů.



Obr.3. Měření radioaktivity gamaspektrometrií GT-32T v terénu. Foto: Viktor Goliáš



Obr.4. Gamaspektrometrie GT-32T
Foto: Gereltsetseg Tumurkhuu

5.2.2. Metodika měření emanační metodou

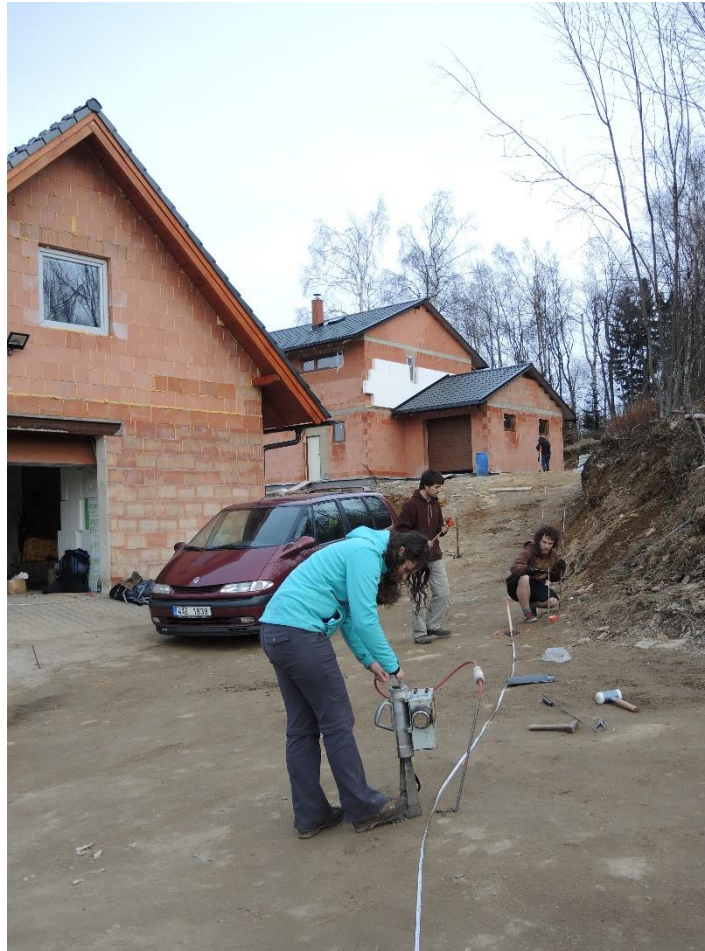
Emanační metoda průzkumu je založena na ionizačních vlastnostech emanací, které vznikají rozpadem přirozených radioaktivních prvků v horninách. Podle přítomnosti emanací v půdním vzduchu, jejichž účinek měříme v ionizačních komorách, můžeme usuzovat na přítomnost radioaktivních minerálů, obsahujících uran, thorium i aktinouran (Matolín 1974).

Přítomnost ^{222}Rn a ^{220}Rn v půdním vzduchu se stanovuje měřením záření alfa vzorků půdního vzduchu a to nejčastěji ionizační komorou nebo Lucasovou (scintilační) komorou. K terénnímu měření radonu byl použit terénní emanometr RP-25 (ZMA Ostrov. n. Ohří) s ionizační komorou objemu 0,43 l (Obr. 5).

Kalibrační konstanta přístroje byla stanovena porovnáním s cejchovaným ověřeným přístrojem RM-2 (Fronka, ČR, také ionizační komora) na společných bodech na jiné lokalitě. Mimo to byl na tomto měřeném území použit také kalibrovaný ověřený emanometr LUK-3A pracující na principu Lucasovy komory. Zde bylo provedeno srovnávací měření na pěti bodech s uspokojivou shodou. Je však nutno říci že přístroj LUK-3A poskytoval hodnoty poněkud vyšší, a to zejména z důvodu odlišné metodiky vzorkování půdního vzduchu. Zatímco RP-25 měří po prosátí zhruba pěti litrů půdního vzduchu, tedy „dynamický radon“, pro LUK-3A je užíváno vzorkování stříkačkou Janette, tedy pouze malý objem (150 ml). Tak mohou být zachyceny i „kapsy“ stagnujícího radonu nahromaděné pod stínícími jílovými horizonty. Údaje obou přístrojů nejsou tak z důvodu odlišné metodiky vzorkování plně srovnatelné. Proto byly pro tvorbu mapy použity pouze hodnoty naměřené emanometrem RP-25.

Vzorky vzduchu byly odebírány pomocí zatlučených dutých ocelových tyčí (firma RADON v.o.s.) do hloubky 80 cm v zeminách. Po zatlučení duté ocelové tyče s kovovým hrotem, který se po zaražení vytlačí ven do půdy, je vzorek půdního vzduchu a ruční pumpou převeden do detektoru. Následuje změření alfa záření radonu.

Základní síť měření byla 10 x 2,5 metru, na anomálii bylo měřeno v zahuštěné síti 5 x 2,5 metru. Celkem bylo naměřeno 109 bodů.



Obr.5. Měření Rn emanometrií RP-25 v terénu. Foto: Pavel Škácha

5.3. Metodika radiometrického průzkumu podél celého průběhu kokonínského zlomu

Situace byla natolik zajímavá, že se náš zájem o studium lokality dále zvyšoval. Po dohodě s magistrátem proběhl další radiometrický průzkum celého průběhu kokonínského zlomu na území zhruba 0,25 x 1 km (Příloha 1). Z důvodu snadného použití, rychlosti, operativnosti a nízkých nákladů, bylo pro tentokrát užito pouze gamaspektrometrické metody. Tato metoda však nemá oproti emanometrii takový hloubkový dosah a je výrazně ovlivněna pokryvem.

Oblast byla proměřena v síti zhruba paralelních, poněkud nepravidelných profilů vzdálených 20 – 25 m od sebe, které byly orientovány přibližně kolmo na zlomovou linii. Pro orientaci bylo využito mapy a ruční GPS pro kontrolu a dodržování vzdálenosti profilů.

Byl použit totožný přístroj jako pro měření malé plochy – gamaspektrometrie GT-32T. Přístroj pracoval v režimu kontinuálního záznamu. Přístroj byl nošen na popruhu detektorem ve výšce zhruba 1 metr (Obr. 6). Načítací čas pro celkovou gama aktivitu byl 5 sekund. Pro spektrometrii byl načítací čas 2 minuty, se záznamem dat po 30 sekundách. Data spektrometrických hodnot jsou tedy použitou metodikou poněkud shlazena. Přístroj k naměřeným hodnotám zaznamenává do své paměti i pozici z GPS loggeru komunikujícího se spektrometrem prostřednictvím Bluetooth rozhraní (GEORADIS 2012).



Obr.6. Měření radioaktivity gamaspektrometrií GT-32T v terénu. Foto: Viktor Goliáš.

Na průzkumném území bylo celkem změřeno 1 637 bodů spektrometrických (K, U a Th). Jejich pozice je vyznačena na příloze 2. Celkem 11 326 bodů bylo změřeno pro celkovou gama aktivitu, (Příloha 3). V tomto případě však není hodnota dávkového příkonu záření gama vypočtena ze spektrometrických hodnot (K, U a Th), ale přímo z údajů celkově detektorem zaznamenaných impulsů. Převodní konstanta byla stanovena empiricky měřením. Z důvodu rozdílné odezvy na obsahy radioaktivních prvků má proto tento údaj relativní vypovídací hodnotu.

5.4. Zpracování dat

Z paměti gamaspektrometru byla data stažena pomocí USB do počítače v prostředí programu GeoView (GEORADIS 2012). Odtud byla exportována do tabulkového editoru Excel pro další využití. Souřadnice bodů (WGS84) byly převedeny do systému JTSK. Data z obou území byla zpracována v programu SURFER, výsledky jsou prezentovány ve formě map izolinií. Tyto izoliniové mapy byly posléze rektifikovány v prostředí GIS (ArcMap 10.2) a superponovány do katastrální mapy území.

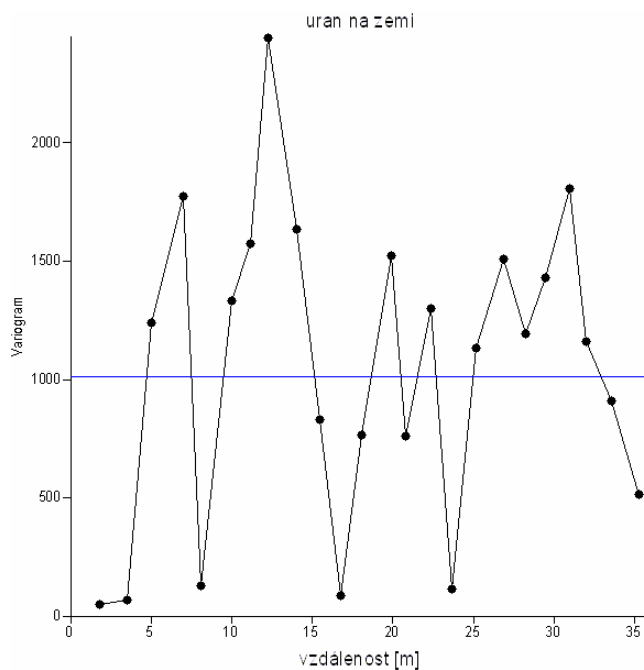
Primární data, z nichž byly konstruovány izoliniové mapy pro malé i velké území, tedy naměřené dávkové příkony gama i koncentrace K, U, Th a radonu společně se souřadnicemi bodů jsou přiloženy k této práci na CD ROM nosiči. Současně jsou na tomto CD i zdrojové soubory příloh 1 – 8 (izoliniové mapy).

6. VÝSLEDKY PRŮZKUMU

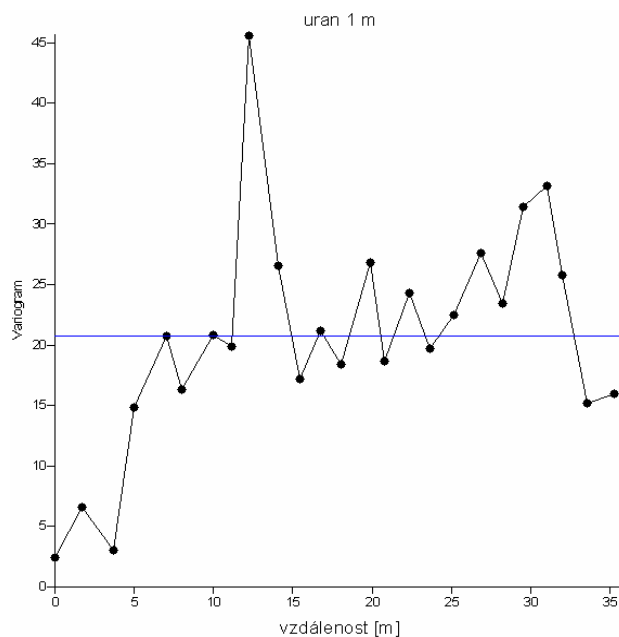
6.1. Výsledky měření gamaspektrometrií

Výsledky detailního terénního gamaspektrometrického měření u postižených domů byly z map jednotlivě hodnoceny podle distribuce draslíku, uranu, thoria a dávkového příkonu gama záření. Práce záměrně nepředstavuje mapy zastoupení Th a K, protože extrémně vysoké hodnoty uranu částečně ovlivňují hodnoty výsledku stanovení nuklidů. Výsledky hodnot pro ně tak nejsou objektivní.

Variogramy obsahů uranu ukazují v případě měření na zemi souvislost bodů do vzdálenosti max. 3 metry. Pak jsou již hodnoty nezávislé a hodnotu variogramu silně ovlivňuje přítomnost ostrého bodového maxima (Obr. 7). Naproti tomu variogram uranu ve výšce 1 m již není tak rozkolísaný neboť maximum je již sníženo (shlazeno) technikou měření (Obr. 8).

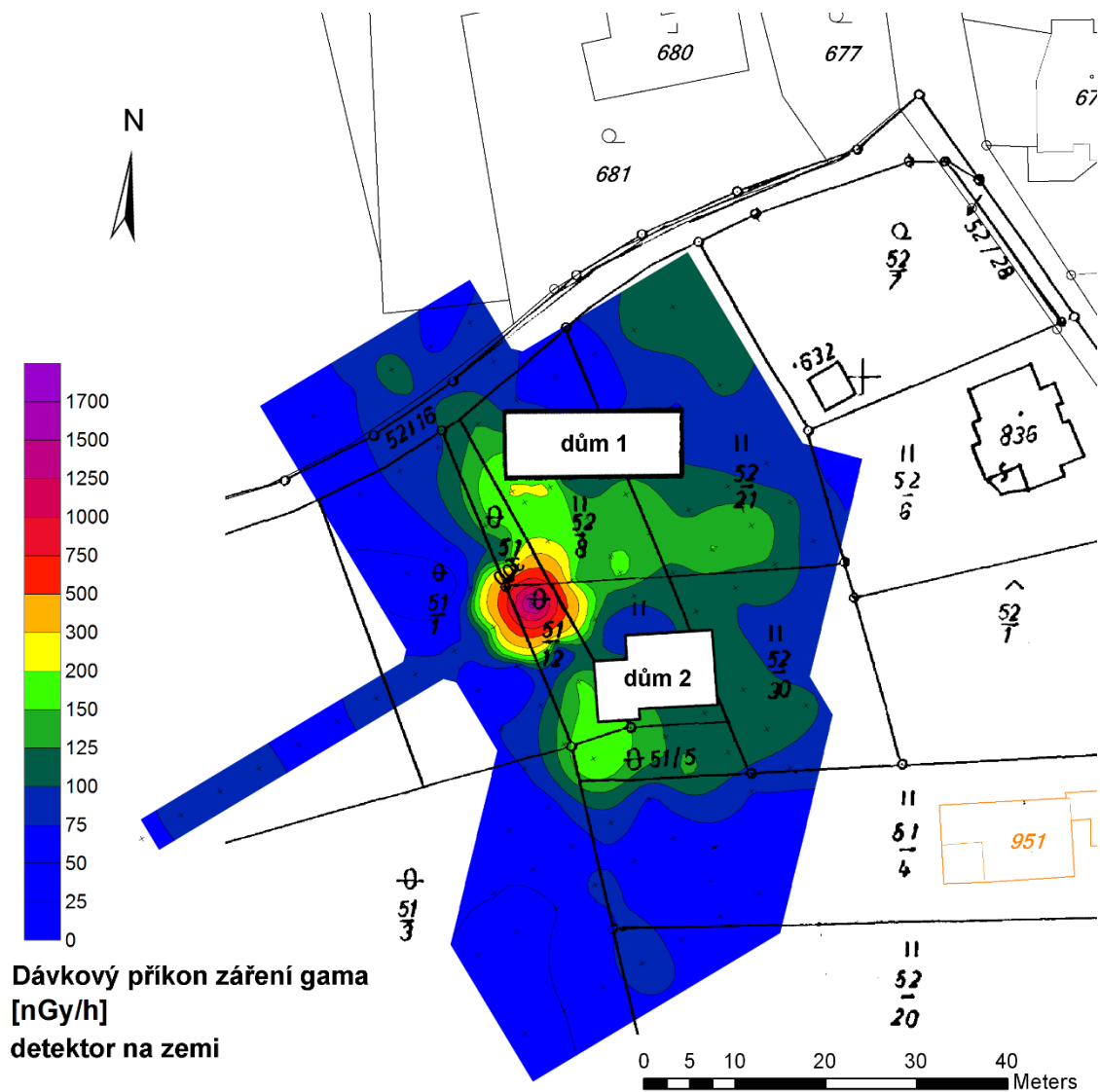


Obr.7. Variogram uranu naměřeného na zemi

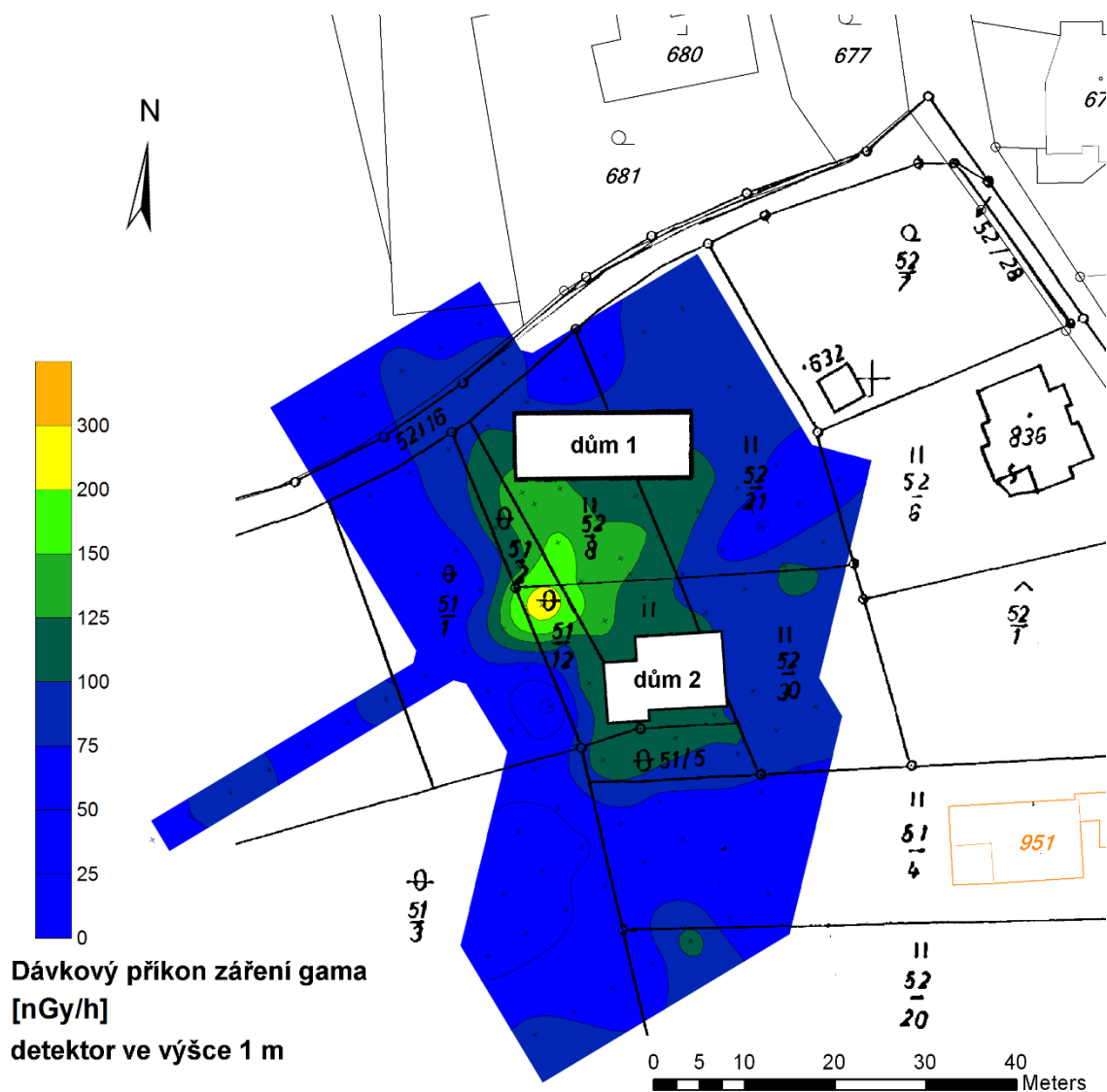


Obr.8. Variogram uranu naměřeného ve výšce 1 m

Jednotlivé měřené body jsou vyznačeny na obrázcích 8 až 11. Nejvyšší hodnota dávkového příkonu dosáhla až 1 700 nGy/h nad výchozem čocky U zrudnění (Obr. 9). V ostatních bodech dosahuje dávkový příkon záření gama rozmezí 41,7 – 212,7 nGy/h.

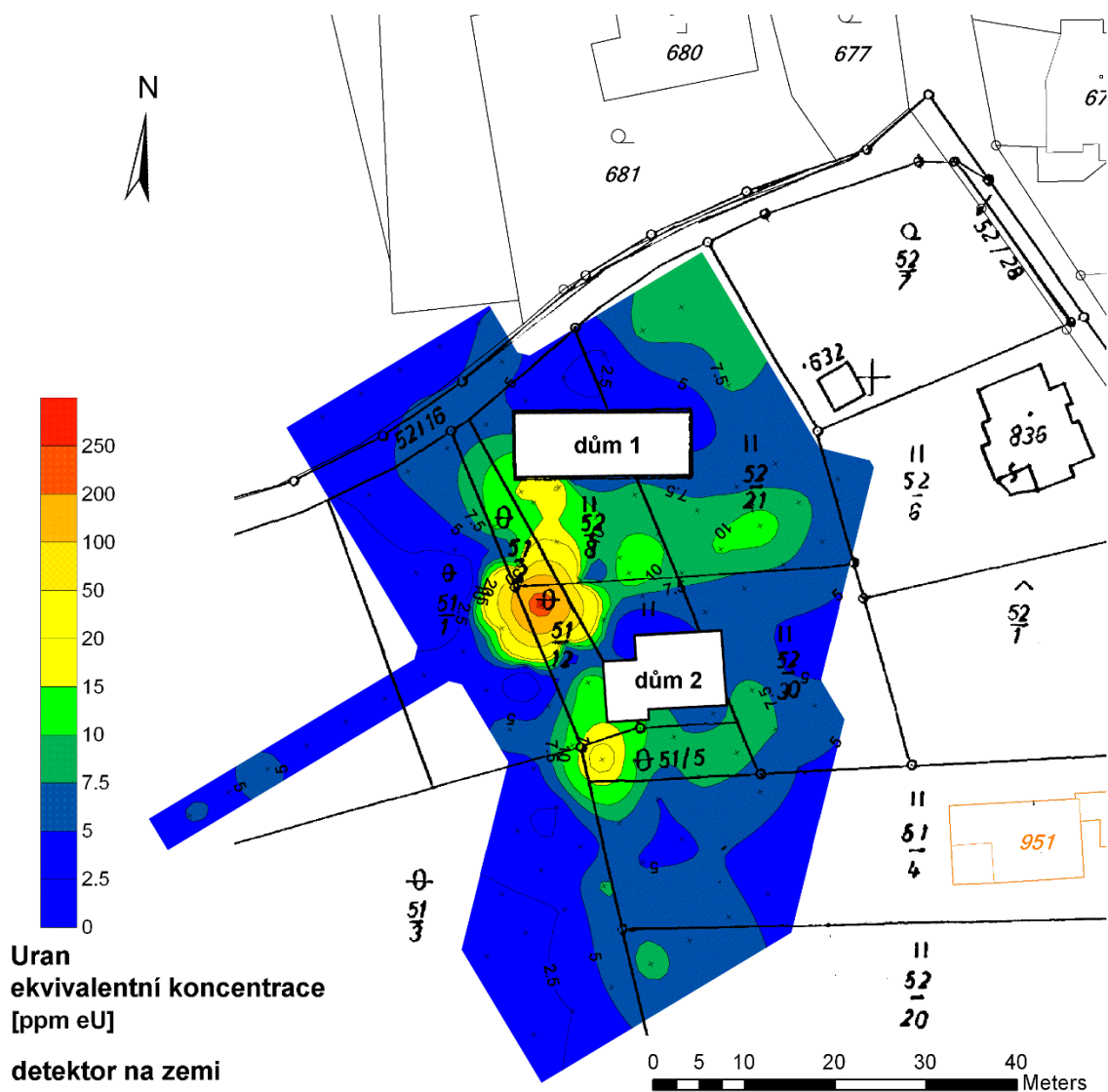


Obr.9. Mapa izolinií dávkového příkonu záření gama v okolí dvou postižených domů. Katastrální mapa převzata ze serveru ČÚZK (<http://services.cuzk.cz/wms/wms.asp>).



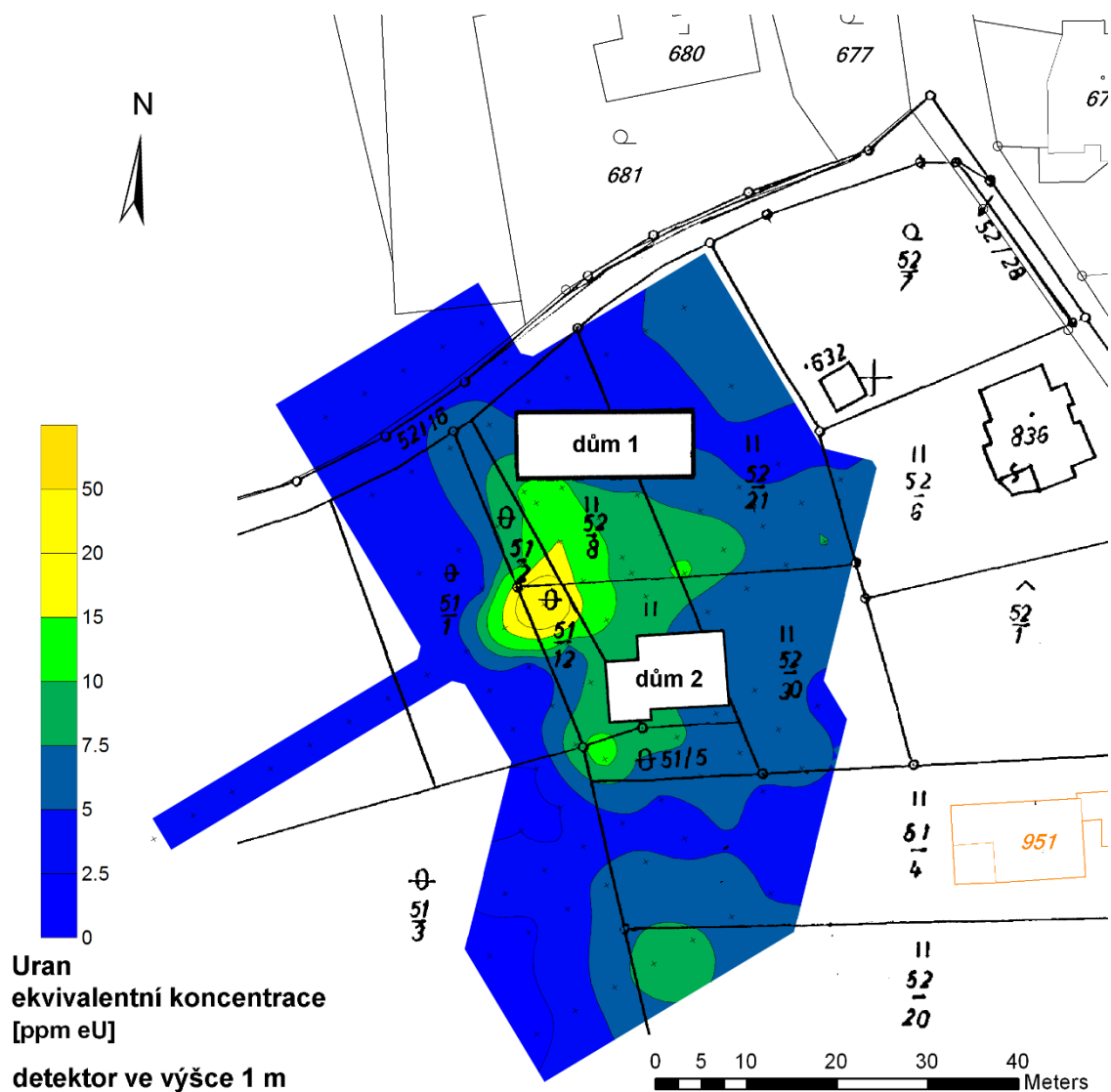
Obr.10. Mapa izolinií dávkového příkonu záření gama ve výšce 1 m v okolí dvou postižených domů. Katastrální mapa převzata ze serveru ČÚZK (<http://services.cuzk.cz/wms/wms.asp>).

Měřená zóna detekce závisí na výšce detektoru nad terénem. Pro objektivnější zhodnocení dávkového příkonu na lidský organismus je vhodnější údaj ve výšce 1 metr. I v tomto případě jsou hodnoty relativně velmi vysoké (max. 261 nGy/h), nikoli však tak extrémní jako v případě detektoru na zemi (Obr. 10).



Obr.11. Mapa izolinií obsahu U naměřeného na zemi v okolí dvou postižených domů. Katastrální mapa převzata ze serveru ČÚZK (<http://services.cuzk.cz/wms/wms.asp>).

Výsledky měření obsahu uranu jsou znázorněné na obr. 11. Na základě gamaspektrometrického měření je průměrná hodnota celého území 10 ppm eU a anomálně dosáhla až 291,1 ppm eU nad výchozem uranové žíly (Obr. 11). Tato hodnota odpovídající po přepočtu hodnotě hmotnostní aktivity ^{226}Ra 3 595 Bq/kg, což je velmi vysoká hodnota.



Obr.12. Mapa izoliní obsahu U naměřeného ve výšce 1 m v okolí dvou postižených domů. Katastrální mapa převzata ze serveru ČÚZK (<http://services.cuzk.cz/wms/wms.asp>).

Koncentrace uranu na zemi jsou obvykle vyšší než koncentrace uranu naměřené ve vzduchu 1 m. Nejzajímavější je v jižním okraji těchto map zvýšení koncentrace uranu v 1 m (Obr. 12). Při měření bezprostředně u země nedošlo k zastižení maxima, které se nevyskytovalo v bezprostřední blízkosti měřeného bodu. Zvýšené hodnoty se proto projeví až v poloze přístroje ve výšce 1 m.

Mapy koncentrace ekvivalentního uranu a dávkového příkonu záření gama jsou velmi podobné, protože uran je zde hlavním radionuklidem způsobujícím vysoké dávkové příkony.

Statistické hodnoty spektrometrie gama malého území jsou v tabulce 5. Tabulka 5 ukazuje minimální, maximální a průměrné hodnoty jednotlivých prvků a jejich poměrů ve zkoumané oblasti kolem výchozu.

Tab.5. Hodnoty koncentrace přirozených radionuklidů naměřené gamaspektrometrií v okolí postižených domů

	Dávkový příkon [nGy/h]	Dávkový příkon v 1m [nGy/h]	U [ppm eU]	U v 1m [ppm eU]	Th [ppm eTh]	K [%]	Poměr U/Th	Poměr U/K
MIN	41,7	13	1,8	2,1	5	1	0,26	1,1
MAX	1700	261,1	291,1	36,2	20,6	6,1	14,13	47,72
Průměr	115,07	85,55	9,85	6,09	10,23	2,6	0,82	3,17
Směrodatná odchylka	165,76	33,57	28,9	4,14	3,37	1,02	1,41	4,75
Medián	91,7	81,5	5,8	5,1	9,2	2,6	0,63	2,35

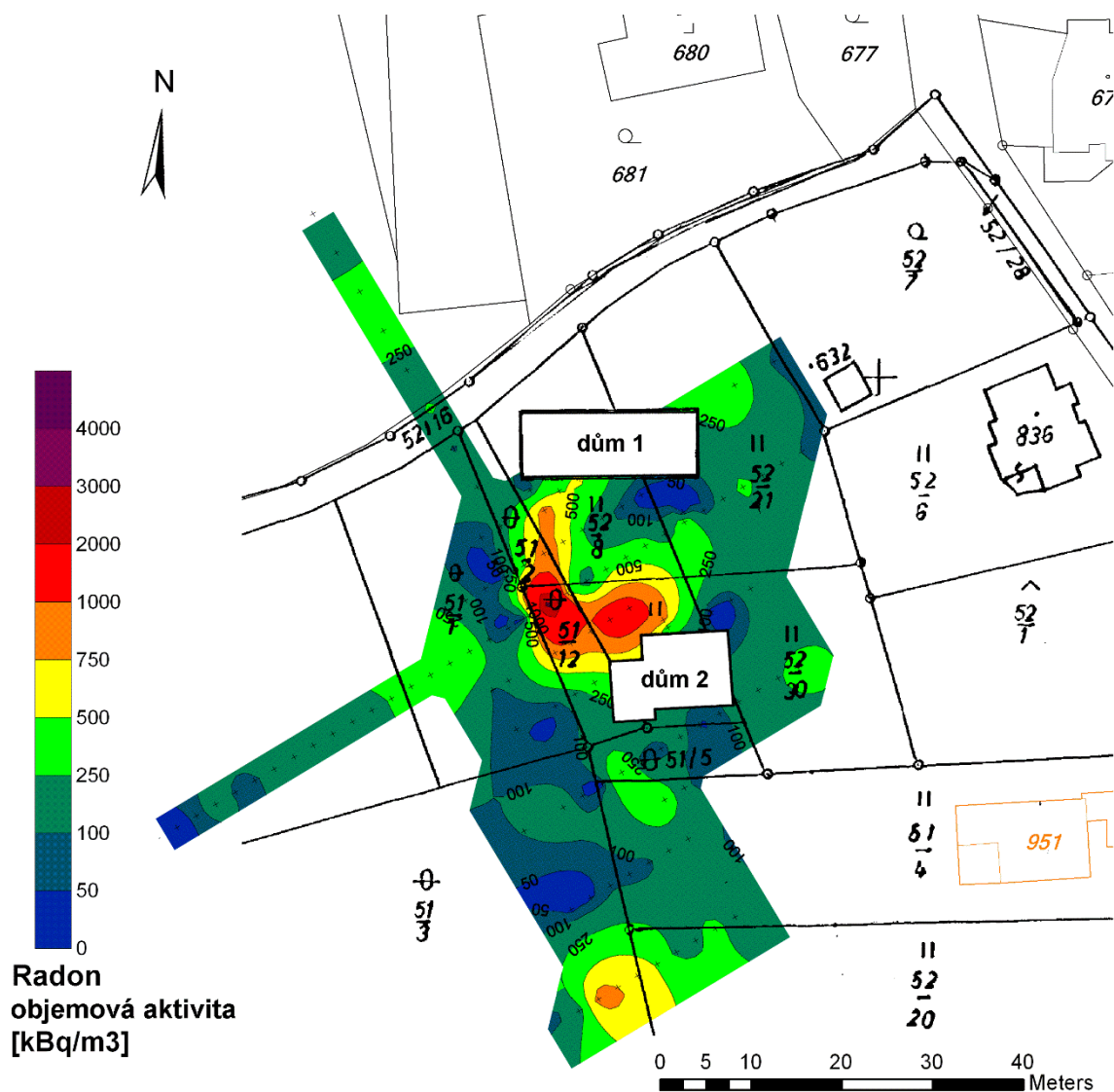
Z mapy koncentrace uranu je zřejmé, že se zde vyskytují nad sebou ležící anomálie koncentrace ekvivalentního uranu (Obr. 11). Mimo výrazného výchozu na rampě mezi domy je druhé maximum hned vedle domu č. 2. To je však velice nektrastní (bez silných gradientů aktivity). Mělkým odkopem však byla zjištěna vazba aktivity na rezavé oxidy Fe přímo na tektonickém kontaktu mezi žulou a paraséřím. Emanometricky zde nebyly zjištěny zvýšené aktivity radonu. Předpokládáme, že to je pouze infiltrační, povrchově vzniklá anomálie sorbovaného uranu bez vztahu k podloží.

Mnohem zajímavější je relativně nenápadné zvýšení na nejjihnějším profilu. Zde je emanační maximum naopak velmi výrazné. Navíc se projevilo i zvýšení eU ve výšce 1 m, neboť profil nevede přes maximum této anomálie. Předpokládáme, že zde vychází k povrchu druhá čočka uranového zrudnění, která je však kryta kvartérem a nemá tak výrazný gamaspektrometrický projev jako čočka první, odkrytá stavebními pracemi na rampě mezi domy.

Na lokalitě bylo a je možno nalézt pochůzkou s radiometrem v pokryvu menší i větší „horké“ kusy horniny – úlomky uranové rudy, zejména nad výchozem čočky U zrudnění a v kvartérním soliflukčním proudu vedoucím pod dům č. 1. Lokalita byla postupně navštívena několikrát (i během 2. a 3. akce). V důsledku dalších stavebních úprav, přemodelování terénu a zejména bagrovému výkopu pro inženýrské sítě pro dům č. 2 realizovaném přímo přes čočku uranového zrudnění vycházející „na den“ v rampě mezi domy došlo k dalšímu vynesení a redistribuci radioaktivního materiálu. Současná situace tak neodpovídá radiometrickému obrazu z března roku 2015 zobrazenému v mapách.

6.2. Výsledky měření emanometrií

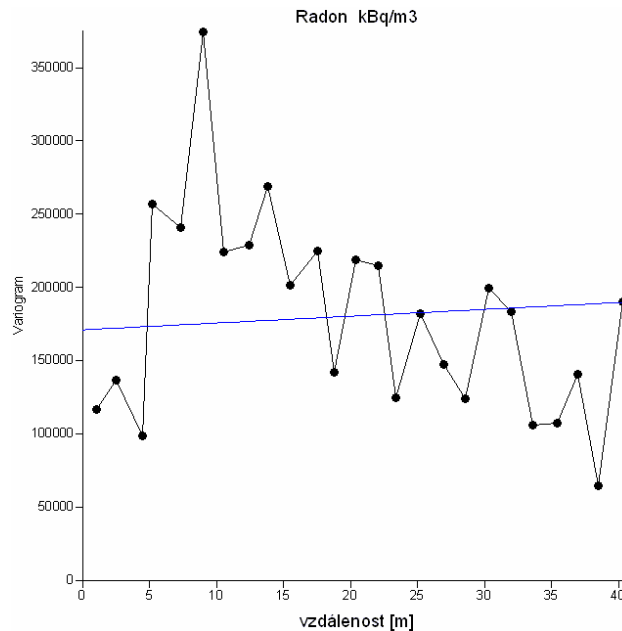
Výsledky emanometrie nám ukazují extrémní koncentraci radonu v půdě, která dosáhla až 3 330 kBq/m³ Rn nad žilným výchozem. Tato hodnota patří do kategorie „Extrémně vysoká lokální hodnota“ podle klasifikace Matolína. Na rozdíl od gamaspektrometrie kde byla naměřena pouze jediná extrémní hodnota je pole extrémních hodnot radonu značně širší. Ve velké části plochy území mezi oběma domy jsou hodnoty nad 750 či 1000 kBq/m³. V případě domu č. 1 zejména v okolí jihozápadního rohu kam zasahuje kvartérní soliflukční proud (nebo dále probíhá žíla?), a také v těsném severním okolí domu č. 2 (Obr. 13).



Obr.13. Mapa izolinií obsahu Rn v půdním vzduchu v okolí dvou postižených domů. Katastrální mapa převzata ze serveru ČÚZK (<http://services.cuzk.cz/wms/wms.asp>).

V prostoru severně od domu nebylo možno emanaci měřit. Plocha zde je již kryta až k příjezdové cestě silnou betonovou dlažbou, která způsobuje i minimum v mapách gamaspektrometrických. Nebylo tak možno zhodnotit i v tomto místě ani aktivitu soliflukčního proudu. Během měření širšího území – na příjezdové komunikaci ani na níže ležícím soukromém pozemku - však nebyly gamaspektrometrií zachyceny výrazně zvýšené hodnoty uranu. Aktivita soliflukčního na tomto místě již vyznívá.

Variogram naměřených hodnot ukazuje, že částečně závislé jsou body do maximální vzdálenosti 5 m (Obr. 14). Při delším kroku se jedná již o nezávislé hodnoty, kde z přísně geostatistického hlediska nemá smysl konstruovat izoliniovou mapu a hodnoty mezi sebou propojovat. Zajímavý je také klesající trend křivky variogramu pro delší vzdálenosti bodů. Hovoří o tom, že vzdálenější hodnoty jsou si u našeho emanometrického měření paradoxně vzájemně podobnější než body sobě bližší.



Obr.14. Variogram hodnot objemové aktivity radonu

Výsledná reprezentativní hodnota měření radonu v půdním vzduchu je třetím kvantilem souboru hodnot objemové aktivity radonu. V našem případě dosáhla na 360 kBq/m³, což odpovídá vysokému radonovému indexu pozemku.

Tab.6. Hodnoty koncentrace Rn naměřené emanometricky v okolí postižených domů, celkem 109 bodů, korigováno na podíl ²²⁰Rn (thoronu).

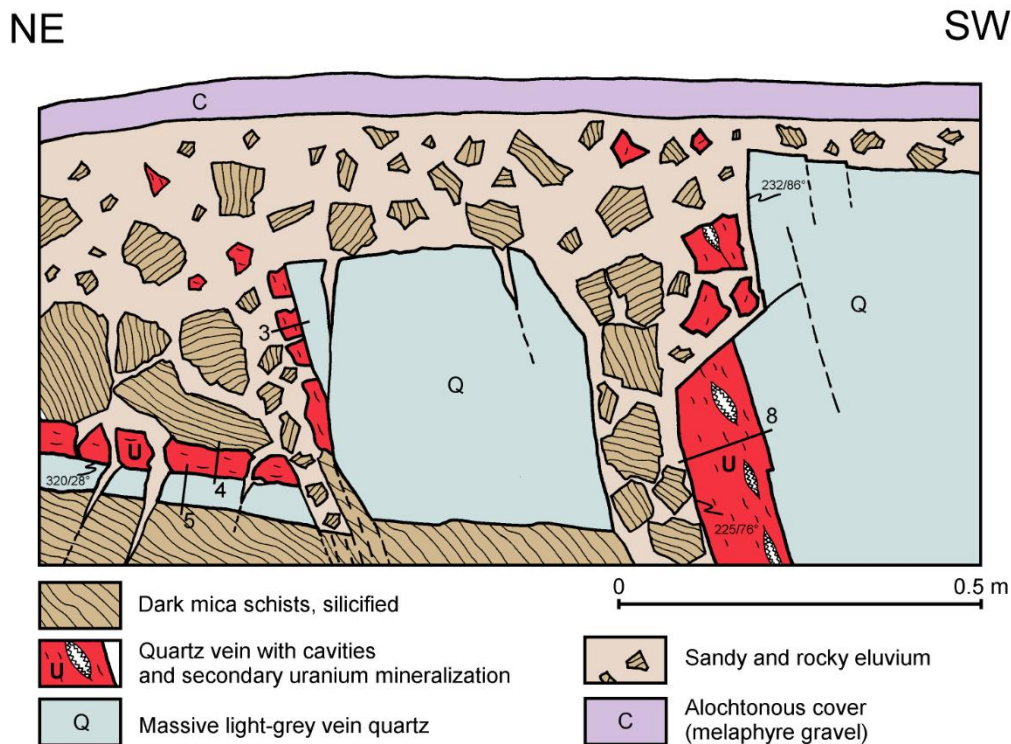
	²²² Rn [kBq/m ³]
MIN	7,2
MAX	3330
Průměr	287,82
Směrodatná odchylka	402,68
Medián	165
3.kvartil	360

6.2.1. Geologie žilného výchozu v okolí postižených domů

Lokalita se nachází takřka přesně na linii kokonínského zlomu. Situace však není příliš jasná, neboť v širším okolí se nachází pouze několik málo izolovaných výchozů a odkrytů skalního podloží.

Výchoz čocky uranového zrudnění leží v těsném exokontaktu tanvaldského granitu. Okolní horninou jsou tmavé břidlice až svory. Jsou kontaktně metamorfované, silicifikované, často pláštěvně; biotit je rekrystalován do soustředěných hnízdovitých agregátů.

Rudní zóna nemá směr totožný s hlavní zlomovou linií, je více severo-jihní. Geologicky byl dokumentován malý výkop na popisované rudní zóně (Obr. 15). V něm byla zachycena subvertikální křemenná žíla severojižního směru se třemi generacemi křemene. První je masivní, světle šedý křemen s velkou mocností, následován křemenem bílým s uranovou mineralizací o mocnosti do 10 cm. Poslední generací je bílý až čirý hřebenitý křemen s častými drůzovými dutinami v centrální části švu. V odkryvu byla dokumentována nejen subvertikální křemenná žíla, ale také žíla tenčí, s výrazně plošším úklonem, která také nese uranovou mineralizaci. Popisovaný výchoz je silně postižen zvětrávacími procesy v supergenní zóně a při povrchu přechází do kamenito-písčitého eluvia, ve kterém je „ztraceno“ mnoho rudních fragmentů.



Obr.15. Geologická dokumentace výchozu uranové žíly na staveništi v detailním měřítku (Goliáš a kol. 2016).

Následně proběhlo podrobnější mineralogické studium odebraných vzorků. Mineralogicky velmi zajímavé jsou zdejší uranové primární a sekundární minerály, které studovali Viktor Goliáš, Pavel Škácha, Jakub Plášil a Radek Škoda metodami RTG difrakce a elektronové mikroanalýzy. Přítomné sekundární minerály vznikají zvětráváním z primárních minerálů uranu. Uranové sekundární minerály mají obvykle pestré barvy křiklavých odstínů zelené a žluté. Kolegové zhotovili úžasné mikrofotografie uranových minerálů z této lokality. Ani nelze vyjádřit žádnými slovy krásu těchto minerálů, jež jsou přímo předurčeny pro potěšení nejen autorčina oka.

Ve zkoumaných vzorcích byla nalezena typická asociace minerálů uranylu (UO_2)²⁺. Časté jsou relikty hydratovaného uraninitu (varieta smolinec, Obr. 16), masivní agregáty „gummitu“, což jsou pseudomorfozy různých minerálů uranylu po primárním uraninitu. Z krystalických minerálů je častý zeunerit (arseničnan uranylu a mědi, Obr. 17), bassetit (fosforečnan uranylu a železa) a walpurgin (arseničnan uranylu a vismutu). Jiné rudní fragmenty obsahovaly zrna ryzího vizmutu s inkluzemi Ag – Pb – Bi sulfosoli z řady lillianit-gustavit. Ryzí vizmut je zatlačován masivními agregáty sillénitu (krychlový oxid vizmutu) a dalšími sekundárními fázemi vizmutu a uranylu. Podle makrotexturních znaků je primární vizmutová mineralizace poněkud starší než mineralizace uranová. Detailní mineralogický výzkum pokračuje.



Obr.16. Alterovaný uraninit. Velikost delší strany obrázku je 11 mm. Foto: Pavel Škácha.



Obr.17. Tetragonální krystaly zeuneritu $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Velikost delší strany obrázku je 4 mm. Foto: Pavel Škácha.

Na celém průběhu kokonínského zlomu je možno nalézt různé typy úlomků křemenné žiloviny, která tvoří pravděpodobně výplň některých částí zlomové linie. Není však možno z důvodu nedostatku výchozů a odkryvů zjistit mocnosti ani úložní parametry křemenných žil. Hlavní měrou to je hřebenitý drúzovitý křemen poslední generace (následující po zrudnění uranovém). Mimo bílého křemene a křišťálu je možno nalézt i křemen s barvou fialovou – ametyst. Jeden velice pěkný kus byl nedávno použit do lícové strany zídky jednoho z domů v ulici V Úvoze (Obr. 18), kde se nachází ve společnosti několika kusů horniny se zvýšenou radioaktivitou pocházejících pravděpodobně z rozptylu materiálu z terénních úprav staveniště domu č. 2.



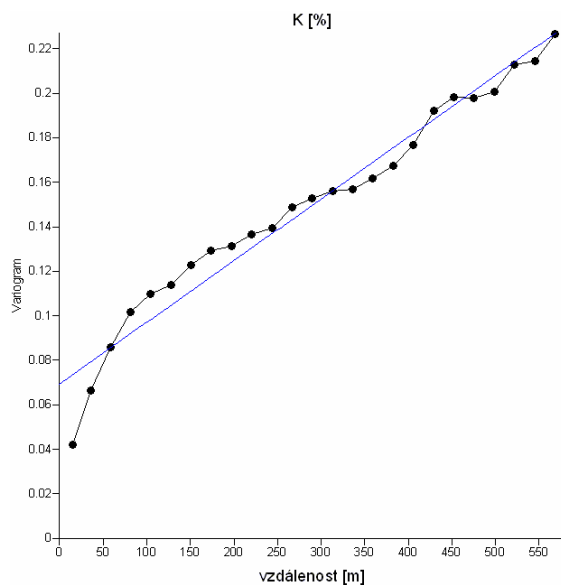
Obr.18. Hřebenitý křemen – ametyst v nové zídce domu ulice V Úvoze (Jablonec. n. Nisou, Kokonín). Foto: Viktor Goliáš.

6.3. Výsledky měření podél celého průběhu kokonínského zlomu

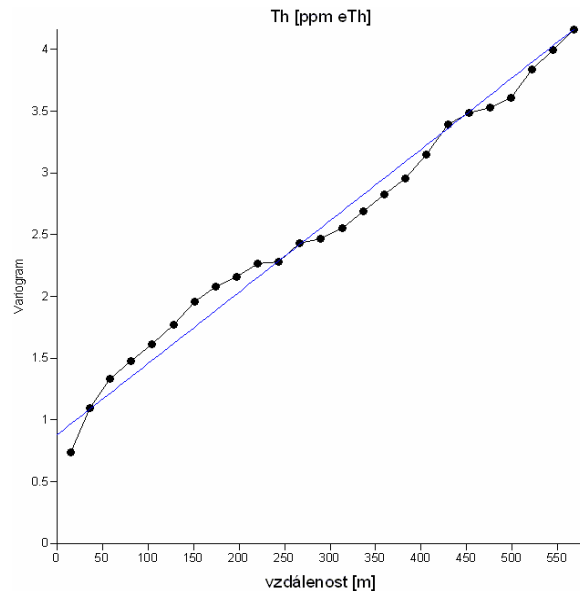
Terénní měření úhrnné gama aktivity a gamaspektrometrie jsou používána pro základní rozlišení radioaktivity hornin a geologických celků obecně. Měření gamaspektrometrie uskutečněná na lokalitě kokonínský zlom přinesla zajímavá data o distribuci radionuklidů.

Pozice měřených bodů pro spektrometrii gama a celkovou aktivitu jsou uvedeny v přílohách 2 a 3. Z dat získaných terénním gamaspektrometrickým průzkumem byly zpracovány izoliniové mapy distribuce K, U, Th, poměru U/Th a dávkového příkonu záření gama v širším okolí kokonínského zlomu (Přílohy 4, 5, 6, 7 a 8).

Variogramy hodnot koncentrací draslíku a thoria jsou velmi klidné. Hovoří o tom, že koncentrace se mění pozvolně, bez lokálních anomálií (Obr. 19 a 20). Na dlouhé vzdálenosti je změna vyšší, což souvisí s regionálním charakterem měření a přítomností dvou odlišných geologických celků na zkoumané ploše.

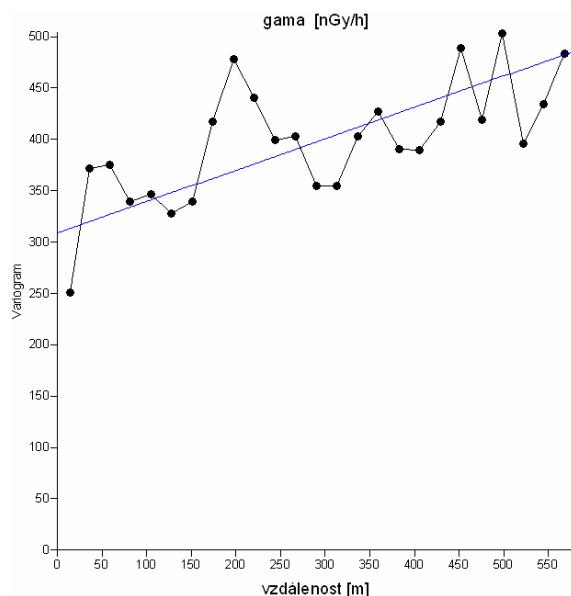


Obr.19. Variogram hodnot koncentrací draslíku

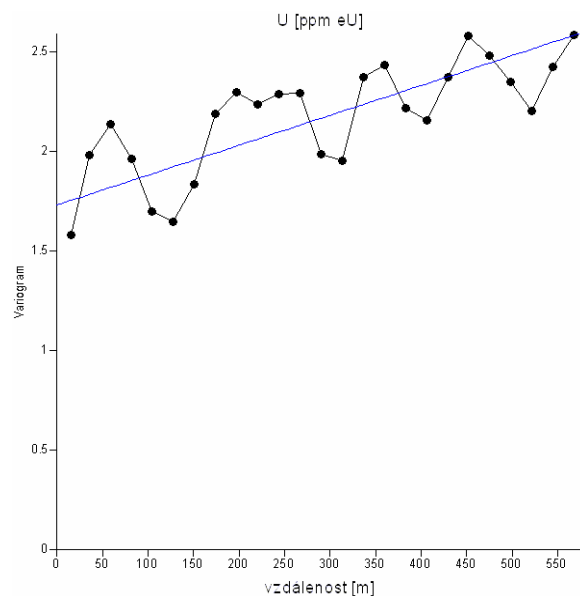


Obr.20. Variogram hodnot koncentrací thoria

Naproti tomu variogramy celkové gama aktivity i obsahu uranu (Obr. 21 a 22) jsou značně rozkolísané, což souvisí s přítomností lokálních anomálií a silnými gradienty obou hodnot.

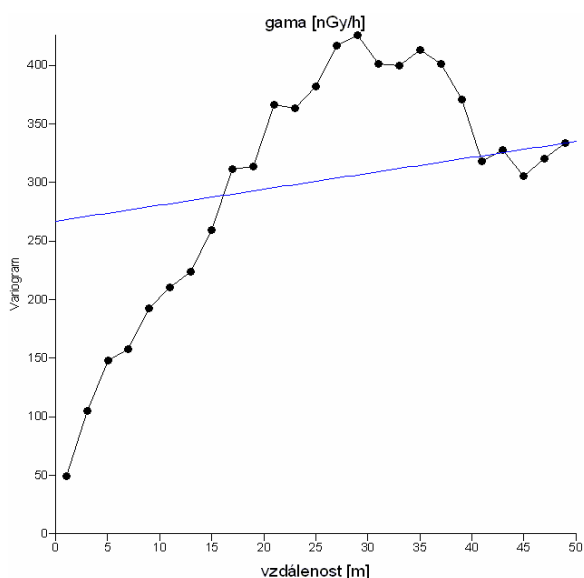


Obr.21. Variogram hodnot celkové aktivity gama

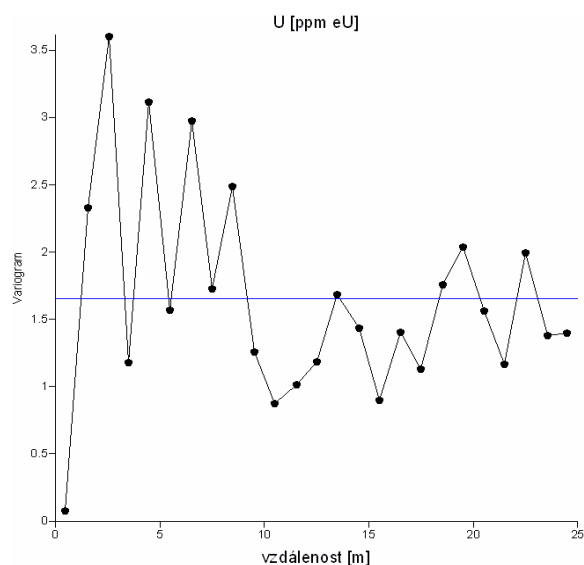


Obr.22. Variogram hodnot koncentrací uranu

Pro obě hodnoty byly konstruovány i variogramy pro menší vzdálenosti bodů (Obr. 23 a 24). Zatímco pro uran je variogram rozkolísaný od nejnižších vzdáleností bodů tak pro celkovou gama aktivitu je vidět nízká hodnota variogramu pro blízké vzdálenosti a postupný nárůst. To je způsobeno vysokou hustotou bodů měření „totálu“, která je 6 x vyšší než pro měření spektrometrické.



Obr.23. Variogram celkové aktivity gama do 50 m



Obr.24. Variogram uranu do 25 m

6.3.1. Obsahy K, U, Th a dávkový příkon záření gama

Koncentrace přírodních radionuklidů K, U a Th na měřených bodech zájmové oblasti kokonínského zlomu jsou v mezích 0,2 – 3,2 % K, 0,3 – 17,9 ppm eU 1,8 – 12,1 ppm eTh, a dávkový příkon gama záření v mezích 23,78 – 310,64 nGy/h.

Koncentrace Th a K jsou v celém studovaném území bez významných změn. Draslík je vázán do horninotvorných minerálů fylitu (živce, slídy), Th se vyskytuje v různých akcesorických minerálech (zirkon, monazit).

Na mapě poměru U/Th je v regionálním měřítku velmi dobře vidět průběh kontaktu granitu a okolních metasedimentů. Zatímco granity mají poměr v rozmezí 0,4 až 0,6 jsou okolní, uranem chudší metasedimenty charakteristické poměrem 0,2 až 0,4 (Příloha 8). Na měřeném území byly nalezeny čtyři objety s výrazně anomálním poměrem U/Th. Nejvyšší hodnota je vázána na vývěr známého radioaktivního Schindlerova pramene. Další vysoké oblasti s vysokým poměrem U/Th jsou na místě výchozů uranového zrudnění, vzhledem k vyššímu obsahu U ve srovnání s ostatními místy měření.

Tabulka 7 ukazuje minimální, maximální a průměrné hodnoty jednotlivých údajů, jejich poměru a celkové gama aktivity na kokonínském zlomu.

Tab.7. Hodnoty koncentrace přirozených radionuklidů a dávkový příkon záření gama naměřené gamaspektrometrií podél celého průběhu kokonínského zlomu.

	Dávkový příkon záření gama [nGy/h]	U [ppm eU]	Th [ppm eTh]	K [%]	Poměr U/Th
počet hodnot	11326	1637	1637	1637	1637
MIN	23,78	0,3	1,8	0,2	0,11
MAX	310,64	17,9	12,5	3,2	4,45
Průměr	57,88	3,07	7,1	1,65	0,45
Směrodatná odchylka	12,1	1,4	1,78	0,43	0,24
Medián	57,36	2,9	7,3	1,7	0,41

6.3.2. Popis radiometricky významných objektů

Na průzkumném území byly nalezeny celkem 4 geologické objekty se zvýšeným příkonem záření gama. Z toho tři jsou výchozy čoček uranového zrudnění.

První výchoz byl objeven na staveništi, jak je popsáno výše, druhý byl jasně indikován emanometrií v jižní části v blízkosti prvního výchozu v rámci malého území měřeného v okolí dvou postižených domů (čočky uranové rudy #1 a #2).

Třetí výchoz byl zjištěn během gamaspektrometrického měření v širším území. Tato třetí anomálie se zvýšenou radioaktivitou je vzdálena dále od exokontaktu, cca 120 m jižním směrem od výchozu čoček #1 a #2. Souřadnice této třetí čočky jsou (WGS84): 50°42,350', 15°10,125'. Stejně jako čočka #2 je kryta kvartérním pokryvem, ale signál je výrazný se značným rozptylem radioaktivního materiálu po spádnicí svahu. Při revizi anomálie byl drobným mělkým odkopem hl. 0.6 m v neostřím maximu naměřen v hlinito - kamenitých svahovinách výrazný gradient nárůstu eU směrem do hloubky (19,7 ppm eU na povrchu oproti 115,8 ppm eU v hloubce 0,6 m) i gradient poměru U/Th (2,03 oproti 4,89 v hloubce). I zde byl ve vykopaném materiálu nalezen osamocený kus horniny (metamorfované břidlice) s makroskopicky zvýšenou radioaktivitou. Naštěstí je tento výchoz uranové mineralizace umístěn na louce, která není prozatím určena pro výstavbu domů podle aktuálního územního plánu. Nicméně magistrát města Jablonec n. Nisou musí být do budoucna seznámen s tímto faktem při schvalování nového územního plánu.

Čtvrtá vysoká hodnota je způsobena vývěrem silného radioaktivního Schindlerova pramene v kokonínském lesoparku ležícím v jihovýchodní části území. Na tomto místě je druhá nejvyšší hodnota koncentrace ekvivalentního uranu, také celková gama aktivita je zde vysoká (Přílohy 4 a 6). Radiometrická anomálie je způsobena vývěrem radioaktivních vod na kokonínském zlomu. Hlavní radionuklid způsobující vysokou radioaktivitu vody je ²²²Rn. To je však alfa zářič. Na signálu gama se podílejí zejména krátkodobé produkty rozpadu radonu (²¹⁴Pb a ²¹⁴Bi). Právě ²¹⁴Bi je detekován gamaspektrometrií jako zdroj „ekvivalentní koncentrace uranu“. Nejvyšší radioaktivitu mají z vody vznikající radioaktivní bahna (Hrušková 2010). Dobře je vidět také radioaktivita odtoku k jihu, která postupně vyznívá, jak se radon z vody uvolňuje.

Okolo Schindlerova pramenu jsou velmi nízké hodnoty Th oproti anomáliím v blízkosti domů i na louce (čočky #1, #2 a #3). Organická hmota (bahno) v prameništi preferenčně koncentruje produkty rozpadu

Rn. Zároveň vodní sloupec tlumí signál podložních hornin. V okolí Schindlerova pramenu je tak i nejvyšší rozdíl v poměru U/Th z celého měřeného území, 4,45 (Příloha 8).

Zvýšené obsahu uranu i thoria byly naměřeny také na ploše perkového hřiště. To je však způsobeno absencí půdního pokryvu kdy je zvětralá zpískovatělá žula (perk) exponována na povrchu. V mapě U/Th tato plocha nijak nevybočuje z běžných hodnot v okolí.

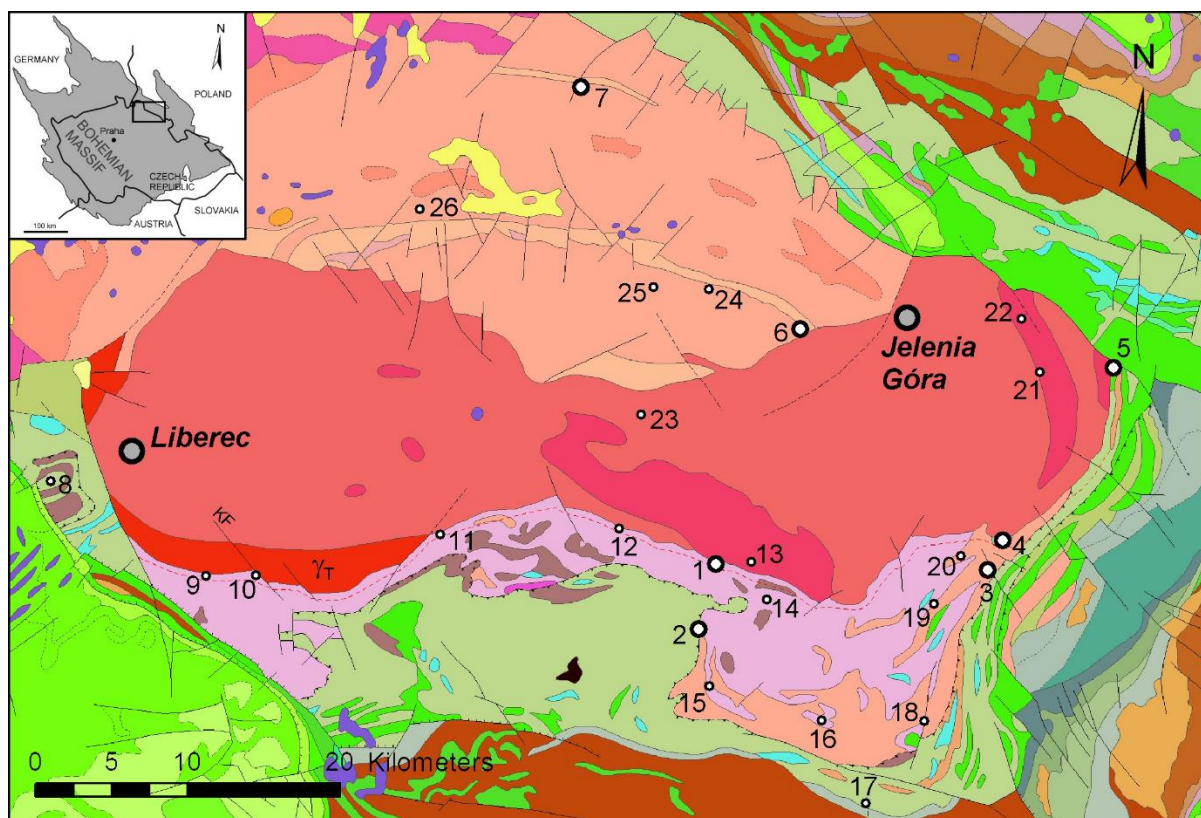
Velké regionální minimum bylo naměřeno v severozápadní části území. Toto minimum radioaktivity je způsobeno mocným kvartérním pokryvem deluviálních sedimentů často se zvodnělou organickou vrstvou na povrchu. Drobné maximum U/Th v rámci tohoto území nebylo prověřováno. Je možné, že je způsobeno také malým vývěrem radioaktivních vod nebo jiným geologickým objektem.

7. DISKUZE A DOPORUČENÍ

Cílem celého průzkumu bylo ověření vlivu výchozů uranového zrudnění na stavební pozemky. Výsledky našeho velice detailního průzkumu umožňují hlouběji diskutovat radioaktivitu v této části zemského povrchu.

Významnou úlohu má radon pro monitorování radioaktivity životního prostředí a pro ochranu obyvatelstva před ionizujícím zářením. Prevencí zvýšených objemových aktivit radonu v obytných objektech je zjištění úrovně radonu v geologickém podloží a následná odpovídající ochrana stavby proti vnikání radonu ze základových zemín. Radon z geologického podloží proniká do obytných budov a je nejvýznačnejším zdrojem absorbovaných dávek záření z přírodního prostředí. Na druhé straně krátkodobá expozice radonu může být zdravá z hlediska lázeňství. Např. jedním z radioaktivních léčivých pramenů je Schindlerův pramen nalezený v kokonínském lesoparku.

Pro nás, geology, není v žádném případě výskyt uranového zrudnění na této lokalitě překvapením. Tento nový, dosud v literatuře nepopsaný výskyt U – mineralizace je podobný jako jiné výskyty uranu v Českém masivu, např. Jáchymov s asociací U-Co-Ni-Bi-Ag (Ondruš 2003). A je také velmi podobný okolním lokalitám ve exokontaktu krkonošsko – jizerského žulového plutonu, které jsou na exokontaktu „navlečené jako korálky na niti“ (Obr. 25). Nejbližší z nich se nachází blízko (cca 2,5 km). Je to známý výskyt U zrudnění na lokalitě Rádlo.



Obr.25. Lokality s uranovým zrudněním a jejich prvková asociace v okolí krkonošsko-jizerského plutonu. Sestaveno podle prací Mochňáčky a kol. 2015; Nieće 2009 a Veselého 1982. Podkladová geologická mapa měřítko 1 : 500000 z WMS serveru ČGS

(<http://mapy.geology.cz/arcgis/services/Inspire/GM500K/MapServer/WMSServer>)

KF = kokonínský zlom, γ T = tanvaldský granit. Ložiska uranu (> 10 t U): 1 Medvědin U-Bi(Ag), 2 Labská U(Pb), 3 Kowary-Podgórze U(Cu, Pb), 4 Kowary-Wolność U-Bi-Co-Ni-Ag, 5 Medzianka U-Cu(Bi), 6 Wojcieszycze U(Pb), 7 Radoniów U(Pb). Uranové výskyty (< 10 t U): 8 Křížany U(Co, Ni), 9 Rádlo U(Ag), **10 Kokonín U-Bi(Ag)**, 11 Příchovice U-Cu(Pb), 12 Rýžoviště U-Bi, 13 Bílé Labe U-Cu-Mo, 14 Svatý Petr U-Cu-Pb-Zn(Ag, Bi), 15 Herlíkovice U(Co, Ni), 16 Černý Důl U-Cu(Ag), 17 Bolkov U, 18 Maršov U, 19 Horní Malá Úpa U-Ti, 20 Wolowa Góra U-Th-Ti, 21 Trzcińsko U-Mo, 22 Maciejowa U-Mo, 23 Szklarska Poręba U-Bi-Mo, 24 Kromnów U, 25 Kopaniec U(Cu), 26 Pobiedna U. Převzato z Goliáš a kol. 2016.

Nalezená prvková asociace U a Bi na Kokoníně se velmi podobá asociaci na ložisku uranu Medvědin (Plášil 2008). Ložisko Medvědin je také situováno v přímém jižním exokontaktu krkonošsko – jizerského masívu v horninách svrchně proterozoických či spodně paleozoických (Plášil a kol. 2009). Uranové zrudnění na Kokoníně může být klasifikováno z hlediska množství obsaženého kovu prozatím pouze jako výskyt uranu. Je však ve velmi dobré geologicko – tektonické pozici, takže nelze vyloučit, že se zde nalézá akumulace uranu velikosti ložiska. Bohužel geologické průzkumné práce zde nemohou pokračovat, protože lokalita je v obytné zóně.

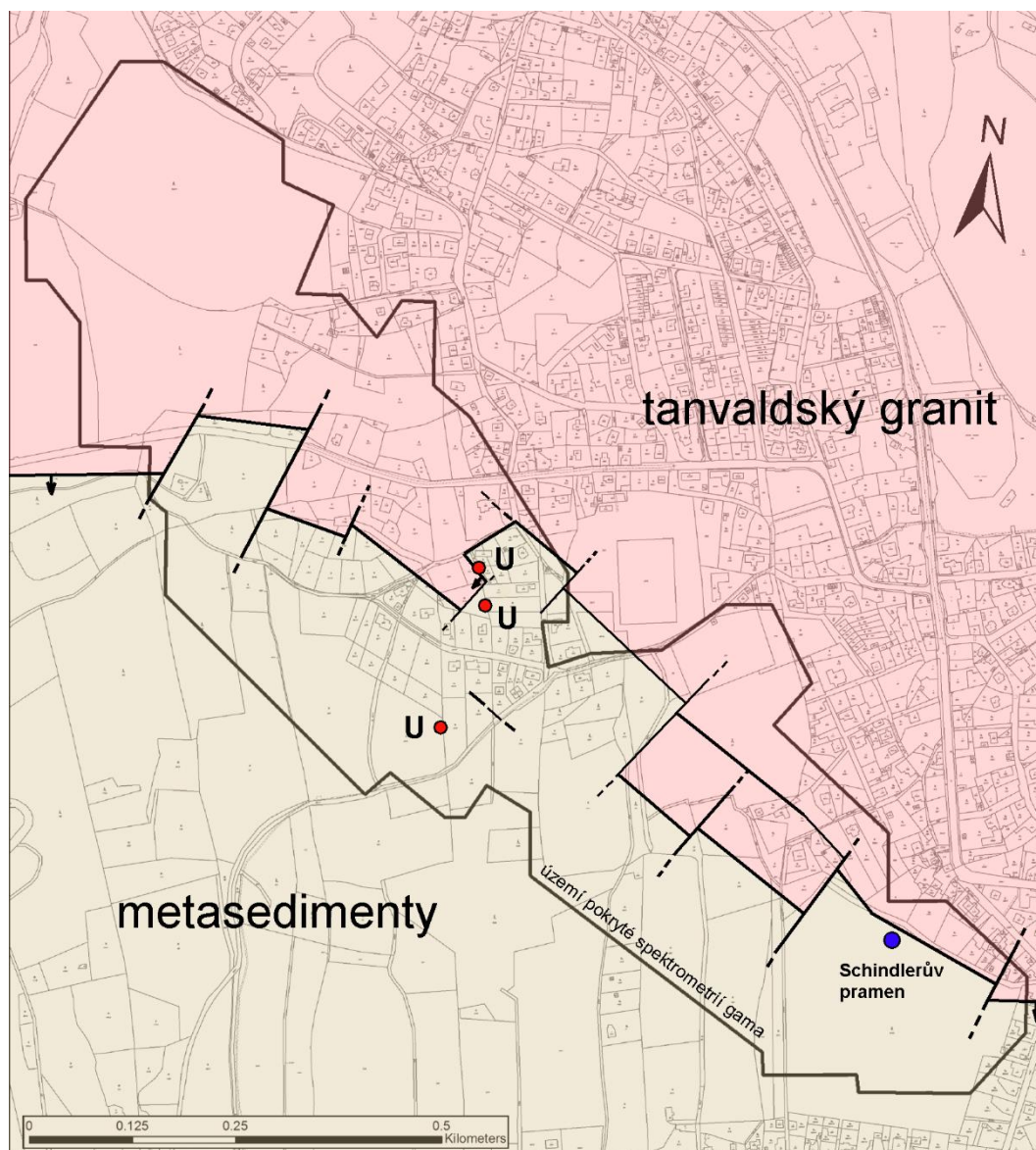
Celé území exokontaktu bylo v 50. letech prozkoumáno radiometricky pro vyhledávání ložisek uranu. I plocha kokonínského zlomu a okolí byla proměřena emanometricky v podrobném měřítku (1 : 5000), nebyly zde zjištěny žádné anomálie a to ani na místě vývěru radioaktivního pramene. Později byl tento průzkum hodnocen jako nedostatečný s nesprávně vedeným směrem profilů (Kadlčíková 1975).

Na místě výchozu uranového zrudnění však měření radonu proběhlo již v 90. letech 20. stol. (Karásek 1996). V této době proběhlo měření i na pozemku domu č. 1, kdy byly naměřeny velmi vysoké hodnoty radonu na soliflukčním proudu, až 560 kBq/m³. Měřené území skončilo těsně pod výchozem čočky uranového zrudnění. Domnívám se, že takové lokality by měly být brány v úvahu při sestavování územního plánu. To se však nestalo a plocha byla klasifikována jako normální stavební pozemky.

Po upozornění na problém bylo magistrátem zadáno doplňující měření firmě Geonika (fakulta v tomto případě nemohla cenově konkurovat komerční firmě), která na celé ploše zlomu provedla měření radonu na osmi profilech, celkem 200 bodů (Gürtler a Karásek 2015). Jak ukazuje náš variogram hodnot radonu tak zvolený krok na profilu (20 m) je příliš velký, nehledě na velkou vzdálenost profilů. Takové body pak tvoří osamocené hodnoty, které nelze propojovat izoliniemi. Pravděpodobnost propuštění oblasti s vysokými hodnotami je velice vysoká. To se jasně ukázalo propuštěním výrazné čočky č. 3, která nebyla nalezena, ačkoli se nachází v ploše zkoumaného území (Gürtler a Karásek 2015).

Gamaspektrometrické měření na vybraných plochách provedené touto firmou nelze porovnat s našimi výsledky z důvodu rozdílné metodiky. Firma Geonika měřila 250 bodů na výchozech, balvanech a v lůmcích (Gürtler a Karásek 2015), často zřejmě s nedodržením geometrie nekonečného poloprostoru. Naše měření se těmto místům naopak záměrně vyhýbalo a charakterizuje tak dobře obsahy radioaktivních prvků v pokryvu v celé ploše území.

Naproti tomu je možno vysoce hodnotit použití jiných geofyzikálních metod: dipólové odporové profilování (DOP), multielektrodová odporová metoda (MEM) a mělká refrakční seismika (MRS). Vyhodnocením těchto údajů získali relativně podrobné tektonické schéma oblasti kokonínského zlomu (Gürtler a Karásek 2015). Toto tektonické schéma velmi detailně odhaluje tektonickou situaci celého zlomu a bylo spolu s našimi terénními geologickými pozorováními využito pro interpretaci našich údajů. Je jasné, že zlomová linie není průběžná. Komplikuje jí několik příčných poruch s posunem průběhu zlomu až o 150 metrů. Výchoz hlavní čočky uranového zrudnění je situován v tektonickém okně metasedimentů zakleslých do žuly (Obr. 26).



Obr.26. Interpretační schéma tektonické situace oblasti kokonínského zlomu s vyznačenými výchozy čoček uranového zrudnění, pozicí Schindlerova pramene a obrysem území pokryté gamaspektrometrií. Podle Gürtlera a Karáska 2015; upraveno a doplněno.

Velmi nemilá je situace pro majitele obou postižených domů, kteří nebyli informováni a na těchto pozemcích postavili své domy. Dům č. 1 má podle platné legislativy dvojitou izolaci plastovou fólií s Al-vložkou a navíc i odvětrání základové spáry perforovanou trubkou v zásypu hrubého štěrku. Přesto zde byla při orientačním měření přístrojem Radim II námi naměřena ve vnitřním ovzduší aktivita $1\,684\text{ Bq/m}^3\ ^{222}\text{Rn}$ ($t = 45,3\text{ h}$), což je relativně vysoká hodnota. Tak extrémní aktivitu radonu v půdě je neskutečně těžké zcela odizolovat. Pokud se pod domem nachází aktivita kolem $1\,000\text{ kBq/m}^3$ pak vychází účinnost provedené izolace 99,8 %.

Přítomnost radonu není jediným rizikem. Lokalita se nachází přímo na významné tektonické linii, kde jsou porušena geofyzikální i biofyzikální pole, tedy není příliš vhodná ani z širšího hlediska geomedicinálního (Selinus a kol. 2013). V půdě lze předpokládat také zvýšenou koncentraci arsenu, neboť většina zde nalezených sekundárních minerálních fází jsou arseničnany.

Majitel domu č. 1 spolupracuje a hodlá situaci řešit. Bylo mu doporučeno výchoz uranového zrudnění zakrýt pevným pokryvem a kvartérní proud převrstvit cizí zeminou s požadovou radioaktivitou. Dále byl majitel tohoto domu kontaktován se zodpovědným pracovníkem ČVUT, který by mohl pomoci se zlepšením odvětrání základové spáry.

Oba domy mají platné posudky o radonovém indexu (bez nich by samozřejmě nebylo možno získat stavební povolení). Do rukou se nám díky ochotě majitele dostal posudek domu č. 1. Podle hodnocení pracovníka pohybujícího se v radonovém programu je kvalita posudku relativně vysoká. Radonový index je hodnocen jako „vysoký“. Srovnáním hodnot s našimi naměřenými údaji je jasné, že aktivity radonu v půdním vzduchu jsou podhodnocené (Tab. 8). Stejně podhodnocené jsou i ve srovnání s hodnotami naměřenými na lokalitě oběma komerčními firmami hodnotícími širší území (Karásek 1996; Gürtler a Karásek 2015). Posudek však byl proveden podle platné metodiky (Neznal a kol. 2004) a správně (vysoký radonový index).

Tab.8. Porovnání radonového rizika pro dům č. 1 s našimi daty naměřenými emanometrií

	aktuální riziko Rn pro dům č. 1	naše data (po opravě ^{220}Rn)
Počet bodů	15	109
MIN ^{222}Rn [kBq/m ³]	17.6	7.2
MAX ^{222}Rn [kBq/m ³]	274	3330
3. kvartil ^{222}Rn [kBq/m ³]	200	360
Rn index	vysoký	vysoký

Užívaná metodika měření radonového indexu pozemku neumožňuje a nemá sílu odhalit popsanou situaci. Autor posudku nemá povinnost zjišťovat archívni údaje (v tomto případě uložené na magistrátu, které navíc nejsou ani veřejně přístupné). Většina zaměstnanců měřících firem navíc ani nejsou geologové, tudíž ani nemají kvalifikaci takovou situaci rozpoznat. Podle textu posudku je zřejmé, že jeho autor se nepodíval ani do geologické mapy... Navíc je v této chvíli již pozdě. Radonový posudek nezná stupeň „nestavět“ a pozemek je brán jako stavební parcela.

To však není hlavní problém. Takové lokality by měly být vyloučeny z výstavby již při tvorbě územního plánu, nebo by měl být zadán doplňující průzkum rizikových míst. Na územních plánech však také žádní geologové ve většině případů nespolupracují. V popsaném případě byl sice posudek shodou okolností zadán a zhotoven (Karásek 1996); tedy o oblasti s vysokým radonem v podloží se vědělo, nepromítl se však nijak do územního plánu.

Tato situace se vyskytuje nejen v ČR ale i po celém světě. Jeden z autorů, který věnuje radonu, odhaduje, že miliony obyvatel v Evropě žijí v domech, které mají aktivity radonu vyšší než 200 Bq/m³. Většina obyvatelů ignoruje zdravotní riziko z radonu. Aktuální společenská regulace nadále dovoluje vysoké koncentrace radonu na stavebních pozemcích (Pacheco-Torgal 2012).

8. ZÁVĚR

Česká republika patří mezi země, které jsou nad světovým průměrem dávkového příkonu gama záření i obsahu radioaktivních prvků které toto přírodní pole vyvolávají. Předkládaná práce s názvem „Geologický a geofyzikální průzkum kokonínského zlomu pro stavební pozemky“ hodnotí část území podél zlomové linie na základě obsahu K, U, Th a poměru Th/U metodou gamaspektrometrického měření.

V rámci podrobného geofyzikálního průzkumu bylo v území dvou postižených domů uskutečněno měření gamaspektrometrickou a emanometrickou metodou. To mělo za úkol zmapovat situaci v detailu a zhodnotit situaci postižených obyvatel. Na těchto pozemcích byly zjištěny extrémní hodnoty obsahu uranu i radonu způsobené výchozem čočky uranové mineralizace. Na lokalitě lze nalézt na výchoze i v pokryvu vyskytují „horké“ fragmenty horniny s vysokou radioaktivitou – úlomky uranové rudy s procentními obsahu uranu.

Ačkoli je radioaktivita na těchto pozemcích zvýšená tak dávkové příkony nedosahují zdraví ohrožujících nebo normy překračujících hodnot. Radon v postavených domech je větší problém a bude nutné ho následně řešit.

Na tomto malém území se kromě čočky uranové rudy exponované mezi domy vyskytuje v jižní části ještě čočka druhá, která je zakryta kvartérem. Má výrazný emanometrický signál. Naštěstí je v háječku na soukromém pozemku, kde se žádná další výstavba neplánuje.

V tomto širším území byla nalezena ještě třetí čočka uranového zrudnění vzdálená dále v exokontaktu cca 120 m daleko od popsání výchozu u nově postavených domů. Také toto území je rizikové z hlediska další výstavby a mělo by být zohledněno v novém územním plánu.

Náš výzkum ve zkoumaném území ověřil, že dřívější uranový průzkum (v 50. letech 20. století) byl proveden v nedostatečné kvalitě. Novější měření v letech 90. byla sice provedena, nebyla však následně zohledněna v územním plánu. Radonový posudek stavebního pozemku podle současné platné legislativy nemá sílu odhalit, že situace je kritická. Navíc zodpovědné osoby měření provádějící nemají ve většině případů potřebnou kvalifikaci geologického směru.

I když toto území je rizikové z hlediska výskytu radonu, lze nadále na tomto místě provádět výstavbu. Je však nutné detailně zhodnotit geologickou situaci a prostudovat dostupné podklady, které jsou v této chvíli již velmi rozsáhlé a podrobné. I tato práce může přispět do celkového obrazu a doufáme, že se promítne do budoucího územního plánování v této oblasti.

9. POUŽITÁ LITERATURA

- Beneš J., Jiráček D. a Vítek F., 2015. Základy lékařské fyziky. Univerzita Karlova v Praze, Nakladatelství Karolinum, 322 str.
- Buriánek D., Verner K. a Mrázová Š., 2013. Strukturní a metamorfni vývoj severozápadní části Krkonošsko – jizerského krystalinika (v okolí Lázní Libverda). Bulletin Mineralogicko – petrologického oddělení Národního muzea v Praze, str. 179 – 190.
- Černík T. a Goliáš V., 2014. Radioaktivita granitoidů krkonošsko – jizerského plutonu: Statistické zhodnocení archivních údajů. *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2013*, str. 103 – 106.
- Durrance E. M., 1986. Radioactivity in geology: principles and applications. Ellis Horwood Limited, 441 str.
- GEORADIS, 2012. GT-30/32 (RS-125/230) – Super - Spec., Návod k obsluze., Rev. 1.11 – červenec 2012, 42 str.
- Goliáš V., Tumurkhuu G., Kohn P., Šálek O., Plášil J., Škoda R. a Soumar J. 2016. Construction of new houses on a uranium vein outcrop: A case study from the Czech Republic. *Nukleonika 61/3* - submitted
- Gürtler R. a Karásek P., 2015. Jablonec nad Nisou. Upřesnění prognózní mapy radonového rizika v oblasti Dobrá Voda – Kokonín. Geofyzikální průzkum. Geonika, s.r.o, 52 str.
- Hála J., 1998. Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie. Konvoj, Brno, 310 str.
- Haynes W. M., 2012. CRC Handbook of Chemistry and Physics 93rd edition. A ready reference book of chemical Physical data. CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Hrušková L., 2010. Prameny radioaktivních minerálních vod v oblasti Lázně Libverda – Świeradów – Zdrój. MS diplomová práce, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha, 68 str.
- Chaloupský J., Červenka J., Jetel J., Králík F., Líbalová J., Píchová E., Pokorný J., Pošmourný K., Sekyra J., Shrbený O., Šlanský K., Šrámek J. a Václ J., 1989. Geologie Krkonoš a Jizerských hor. Ústřední ústav geologický v Akademii, nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 288 str.
- IAEA, 1982. Technical reports series No. 212, Borehole logging for uranium exploration. IAEA, Vienna, 279 str.
- Kadlčíková E., 1975. Geologická stavba a perspektivy rozšíření uranu v západosudetské oblasti. MS. UP Liberec, Archiv s.p. DIAMO, 199 str.
- Kachlík V., 2003. Geologický vývoj České republiky. SURAO Praha, 64 str.
- Karásek P., 1996. Jablonec n. Nisou – prognózní mapa radonového rizika. MS zpráva fy. GEVOS. Archiv magistrátu města Jablonec n. Nisou.
- Klomínský J., Fediuk F., Schovánek P. a Jarchofský T., 2009. Tanvaldský masiv – reliktní magmatického tělesa v Krkonošsko – jizerském kompozitním masivu. *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2008*, Česká geologická služba, Praha, str. 158 – 161.
- Klomínský J., Schovánek P., Jarchofský T., Sulovský P. a Toužimský M., 2006. Kontakt tanvaldského a libereckého granitu u Jablonce nad Nisou. *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2006*, str. 24 – 29.
- Kohn P., 2015. Prameny radioaktivních vod v oblasti tanvaldského granitu. MS diplomová práce, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha, 34 str.
- Lovborg L., 1984. The calibration of portable and airborne gamma-ray spectrometers – theory, problems and facilities. Report Riso-M-2456, Roskilde.

- Mareš S., Gruntorád J., Hrách S., Karous M., Marek F., Matolín M., Skopec J. a Válek R., 1990. Úvod do užité geofyziky. SNTL/ALFA, Praha, str. 591.
- Mareš S., Blecha V., Dohnal J., Gruntorád J., Hrách S., Jáně Z., Marek F., Matolín M., Mazáč O., Skopec J. a Zima L., 1996. Geofyzikální metody v ochraně a tvorbě životního prostředí. Vysoká škola baňská – Technická univerzita Ostrava ve spolupráci s Ministerstvem životního prostředí ČR a Centrem pro otázky životního prostředí UK v Praze, 139 str.
- Matolín M. a Chlupáčová M., 1997. Radioaktivní vlastnosti hornin. Petrofyzika. Vydavatelství Karolinum, str. 109 – 126.
- Matolín M. a Jáně Z., 2002. Nové referenční plochy pro měření radonu v půdním vzduchu v České republice. *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2002*, str. 193 – 195.
- Matolín M., 1970. Radioaktivita hornin českého masívu. Ústřední ústav geologický – Geofond v Akademii, nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 98 str.
- Matolín M., 1974. Radiometrické metody a metody jaderné geofyziky. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha, 81 str.
- Misař J., Dudek A., Havlena V. a Weiss J., 1983. Geologie ČSSR I, Český masív. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 333 str.
- Mochacka K., Oberc-Dziedzic T., Mayer W. a Pieczka, A., 2015. Ore mineralization related to geological evolution of the Karkonosze-Jizera Massif (the Sudetes, Poland) – Towards a model. *Ore Geol. Rev.* 64, 215-238. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2014.07.001
- Neznal, M., Neznal, M., Matolín, M., Barnet, I. a Mikšová J., 2004. Nová metodika stanovení radonového indexu pozemku. *Práce Čes. Geol. Služby* 16., 47 str.
- Nieć M., 2009. Występowanie rud uranu i perspektywy ich poszukiwań w Polsce. *Polityka Energetyczna* 12 (2/2):435-451
- Ondruš P., Veselovský F., Gabašová A., Hloušek J. a Šrein V., 2003. Geology and hydrothermal vein system of the Jáchymov (Joachimsthal) ore district. *Journal of the Czech Geological Society*, Volume 48, 3 – 18 str.
- Pacheco-Torgal F., 2012. Indoor Radon: An overview on a perennial problem. *Building and Environment*, Volume 58, 270 – 277.
- Pašek L., 2015. Historie vyhledávacího průzkumu uranových rud v oblasti krkonošsko – jizerského krystalinika. *Opera Corcontica* 52, 73 – 92 str.
- Plášil J., 2008. Výzkum supergenní mineralizace uranového ložiska Medvědí, Krkonoše, ČR. MS bakalářská práce. Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha,
- Plášil J., Sejkora J., Čejka J., Škoda R. a Goliáš V., 2009. Supergene mineralization of the Medvědí uranium deposit, Krkonoše Mountains, Czech Republic. *Journal of Geosciences*, 15 – 56 str.
- Selinus, O., Alloway, B., Centeno, J.A., Finkelman, R.B., Fuge, R., Lindh, U. & Smedley, P. (Eds.), 2013. *Essentials of medical geology: Revised edition*. Springer. DOI 10.1007/978-94-007-4375-5
- Schön H.J., Second edition 2015. *Physical properties of rocks: Fundamentals and principles of petrophysics*. Development of Petroleum science. Montanuniversität Leoben, Austria, 498 str.
- Šáro Š. a Tölgyessy J., 1985. Rádioaktivita prostredia. Alfa – Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava. SNTL – Nakladateľství technické literatury, Praha, 303 str.

Šída P. a Kachlík V., 2009. Geological setting, petrology and mineralogy of metabasites in a thermal aureole of Tanvald granite (northern Bohemia) used for the manufacture of Neolithic tools. *Journal of Geosciences, Volume 54*, 269 – 287 str.

Veselý T., 1982. Malá uranová ložiska Českého masívu. Část III. Oblast severozápadních a severních Čech. Geol. Hydrometal. Uranu 6/3:3-46.

WHO, 2009. World Health Statistics. World Health Organisation. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, France, 149 str.

Žitný L., 1966. Geologie jizerských hor. Severočeské museum, Přírodovědecké oddělení, Liberec. Str. 31.

9.1. Internetové zdroje

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132312002065>, 1.5.2015

<http://services.cuzk.cz/wms/wms.asp>, 1.11.2014

<http://mapy.geology.cz/arcgis/services>, 20.11.2014

<http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-164>, 20.4.2015

<http://www.laznejachymov.cz/cim-lecime/>, 25.4.2015

<https://www.sujb.cz/>, 1.5.2015

9.2. Použité programy

GEORADIS, 2010: GeoView (Former RSAnalyst) – Program pro obsluhu RS-120, RS-121, RS-230 a KT- 10. GEORADIS s.r.o., Novomoravanská 321/41, Brno, ČR.

Golden Software, 2002: Surfer 8.2. Golden Software Inc., 809 14th Street, Golden, CO 80401 – 1866, USA.

ESRI, 2011: ArcMap 10.2. Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.