

BP 67

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta,
Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů

Uran-fertilní ortoruly v Českém masivu

Uran-fertile orthogneisses in the Bohemian Massif

Bakalářská práce

Martin Mikula



Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Viktor Goliáš, PhD.

Praha 2008

ABSTRAKT

Český masiv je geologická jednotka silně metamorfovaná variskou orogenezí a obsahuje několik těles ortorul, metamorfovaných hornin z kyselých magmatitů. Některá tato tělesa vykazují radioaktivitu, tedy výskyt radioaktivních prvků a zároveň jsou schopny tuto radioaktivitu poskytnout do okolí. Výsledkem uvolňování radioaktivity je například vstup radonu do podzemní vody a vznik radioaktivních pramenů.

Klíčová slova: Český masiv, ortoruly, radioaktivita, uran

SUMMARY

The Bohemian Massif is strongly geological unit metamorphosed by variscan event and it contains some blocks of orthogneisses, the metamorphic rocks come from the acid magmatic rocks. Some blocks of these orthogneisses embody higher level of radioactivity of some radioactive elements and. They can give the radioactivity to surroundings. The outcoming of radioactive components is e.g. radon can get into the underground water and then some radioactive springs are made.

Keywords: Bohemian Massif, orthogneisses, radioactivity, uranium

PODĚKOVÁNÍ

vedoucímu bakalářské práce Mgr. Viktoru Goliášovi, PhD. za vedení práce, poskytnutí většiny z materiálů, ze kterých jsem čerpal a v neposlední řadě i vedení několika exkurzí a terénních prací, které byly pro tuto práci velice přínosné.

OBSAH

ABSTRAKT, SUMMARY PODĚKOVÁNÍ

ÚVOD.....	1
1. OBECNÁ CHARAKTERISTIKA SLEDOVANÝCH HORNIN A ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	2
1.1 Ortoruly (orthogneisses)	2
1.2 Český masiv.....	2
2. ORTORULY V ČESKÉM MASIVU.....	4
2.1 Charakteristika těles ortorul.....	4
2.1.1 Orlicko-sněžnická ortorula.....	4
2.1.2 Krkonošská ortorula.....	5
2.1.3 Jizerská ortorula.....	5
2.1.4 Hlubocká ortorula.....	5
2.1.5 Světlická ortorula.....	5
2.1.6 Svratecká ortorula.....	5
2.1.7 Bítešská ortorula.....	5
2.1.8 Krušnohorské ortoruly.....	6
2.1.9 Keprnická ortorula.....	6
2.1.10 Selbská ortorula.....	6
2.1.11 Tepelská ortorula.....	6
2.1.12 Gföhlská ortorula.....	6
2.1.13 Kouřimská ortorula.....	6
2.1.14 Staroseselská a mirotická.....	6
2.2. Datování ortorul.....	7
3. RADIOAKTIVNÍ BILANCE.....	8
3.1 Radioaktivita.....	8
3.2 Radioaktivita ortorulových těles na území ČR.....	9
4. VÝNOS RADIOAKTIVNÍCH PRVKŮ Z HORNIN.....	10
4.1. Alterace.....	10
4.2 Vznik radioaktivních pramenů.....	11

5. PROJEVY FERTILITY ORTORULOVÝCH TĚLES.....	12
5.1 Plošné rozšíření akumulací U a radioaktivních pramenů	
v ortorulových tělesech na území ČR.....	12
5.2 Radioaktivní prameny.....	14
5.2.1 Radioaktivní prameny v krkonošských ortorulách.....	15
5.2.2 Radioaktivní prameny v orlických a sněžnických ortorulách.....	16
5.2.3 Prameny v bítešské a svratecké ortorule.....	16
6. DISKUSE	17
7. ZÁVĚR.....	19
PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY.....	20

ÚVOD

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku ortorulových těles v Českém masivu, nebo spíše konkrétněji na území České republiky, a to ve vztahu k radioaktivitě. Práce se zabývá již nalezenými ložisky nebo rudními výskyty uranu společně zanesenými v databázi radioaktivních objektů ČR a tato data jsou dávana do souvislosti s geologickou pozicí ortorulových těles, která se na území České republiky vyskytují.

Výsledek této práce stanovil, které z ortorul jsou uran-fertilní, což znamená, že jsou při tektonických a geochemických poruchách (alteracích) velmi ochotné poskytnout do okolí radioaktivní prvky, které jsou primárně obsaženy v minerálech těchto hornin. Jsou to ty, které druhotně vykazují radioaktivitu nebo ty, kde se přítomnost radioaktivních prvků projevuje navenek.

Výsledkem je i zjištění informací o radioaktivních vývěrech jakožto projevu přítomnosti radioaktivity v horninovém prostředí. To s sebou nese i zjištění informací o distribuci radioaktivních prvků pod zemským povrchem.

1. OBECNÁ CHARAKTERISTIKA SLEDOVANÝCH HORNIN A ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

1.1 Ortoruly (orthogneisses)

Termín ortorula (orthogneiss) zavedl roku 1891 H.V. Rosenbusch. Jedná se o břidličnatou horninu přeměněnou ve vyšších metamorfních stupních. Ty jsou charakterizovány vysokoteplotními a střednětlakými podmínkami.

Protolitem bývají zejména magmatické, především plutonické horniny, a to jak intermediárního (obsah SiO_2 52 až 60%), tak hlavně kyselého složení (obsah SiO_2 >65%) Mezi protolitické horniny patří ryolity (vulkanity) a granity (plutonity), dále potom syenodiority, tonality apod.

Minerální složení ortorul je tvořeno hlavně křemenem, dále plagioklasem, biotitem a muskovitem, přítomny mohou být i draselné živce či amfibol. (Bajer et al., 2004)

V tabulce 1 je uvedeno minerální složení 3 vzorků ortorul pro porovnání zastoupení jednotlivých minerálů.

Tabulka 1 Příklad minerálního složení některých ortorul jizersko-krkonošské oblasti. 1- laminované okaté ortoruly, 2- krkonošské ortoruly, 3-laminované okaté jizerské ortoruly. (Chaloupský et. al., 1989)

	1	2	3
Křemen	34,3,	35,7	36,8
K-živec	8,2	28,3	26,6
Plagioklas	29,3	18,9	19,6
Muskovit	20,0	14,7	10,5
Biotit+chlorit	6,8	0,5	4,7
akcesorie	1,4	1,9	1,8

1.2 Český masiv

Český masiv je plošně rozsáhlý fragment variského, nebo-li hercynského orogenu vzniklého během devonu a karbonu (cca 380-320 Ma) při variské orogenezi. Vystupuje z mnohem mladších sedimentů, které nazýváme epivariské. Formoval se postupně připojováním perigondwanských fragmentů k Laurassii, tj. k severnějšímu kontinentu, který vznikl během kaledonské konvergence. (Kachlík 2003a)

Z hlediska deskové tektoniky se jeví Český masiv jako heterogenní nesourodý celek složený ze 4 regionálních jednotek:

- tepelsko-barrandienská oblast
- sasko-durynská oblast (saxothuringikum),
- moravsko-slezská oblast (moravosilezikum)
- moldanubikum

Součástí saxothuringika je východně od labské zóny i oblast, která je díky své odlišnosti od saxothuringika nazývána vlastním názvem lugikum (Západní Sudety). (Kossmat, 1927)

Jednotky se odlišují jak tekto-magmatickým vývojem, tak stratigrafickou náplní a tektonickým omezením vzhledem k svému okolí. (Kachlík, 2003a)

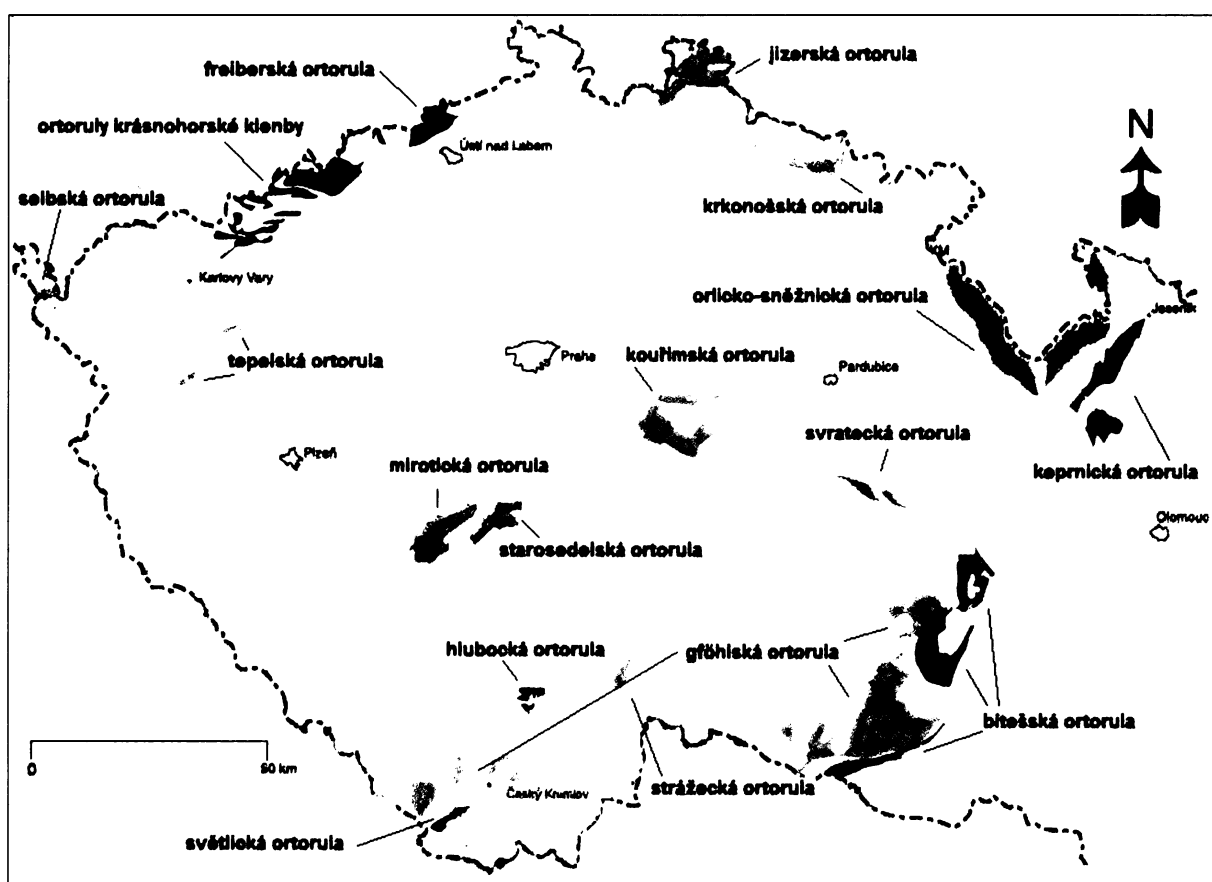


Obr.1 Tektonická skica Českého masivu (Kachlík, 2003a)

Vzhledem k velké rozloze Českého masivu se tato práce bude věnovat výhradně té části, která se rozprostírá na území České republiky.

2. ORTORULY V ČESKÉM MASIVU

Většina ortorul v Českém masivu má podobný vzhled, makrochemické a minerální složení, může se ale jednat i o úplně odlišné typy. Záleží především na původu a mikrochemii protolitu. Jednak se chemismus může lišit stářím protolitu, ale hlavně jeho složením. Ne vždy je matečnou horninou plutonit (viz kapitola 1), ale může se jednat i o některé vulkanity kyselé povahy. Zcela zvláštním typem jsou ortoruly, které jako protolit vůbec nemají magmatickou horninu, ale sediment. Takovou ortorulou je v České republice podle geochemických ukazatelů (zejm. obsahy Rb) například část tělesa bítešské ortoruly ve svratecké klenbě (Souček et al., 1992), i když převážná část tělesa má nově interpretovaný magmatický (granitoidní) protolit (Dvořák et al. 2003).



Obr.2 Ortorulová tělesa Českého masivu na území ČR. (upraveno podle Kachlík, 2003)

2.1 Charakteristika těles ortorul

2.1.1 Orlicko-sněžnická ortorula

Rozpíná se v oblasti Orlických hor od Zákoutí až po Heroltice v jádře orlicko-sněžnické klenby podél česko-polských hranic a dále v oblasti Kralického Sněžníku a severně od něj. Nacházíme zde zrnito-plástevnaté až zrnito-šupinaté ortoruly a dále ortoruly středně až hrubozrnné. Všechny typy jsou migmatického charakteru. (Opletal et al., 1980)

2.1.2 Krkonošská ortorula

Těleso je situováno do oblasti východních Krkonoš (Malá Úpa, Temný Důl, Černá hora). Jsou zde ortoruly muskovitické, okaté laminované, typické střídáním světlých a tmavých pásků, a leukokratní zrnité ortoruly. Zvláště ortoruly velkoupské jsou velmi vysoce metamorfovány, což je indikováno výskytem migmatických ortorul. (Chaloupský et al., 1989). Jsou to především ortoruly kowarské, které se z větší části rozprostírají na polském území (Mazur, 2002)

2.1.3 Jizerská ortorula

Do ČR zasahuje toto těleso v oblasti frýdlantského výběžku (na polské straně je rozloha tělesa mnohem větší). Nacházíme zde ortoruly jak nižších tak i velmi vysokých stupňů metamorfózy. Zastoupeny jsou zde ortoruly porfyrické, drobně i hrubě zrnité a mají poměrně vysoké obsahy živců. (Chaloupský et al., 1989)

2.1.4 Hlubočká ortorula

Nachází se západně od Českých Budějovic. Jedná se o varisky přepracovanou kadomskou ortorulu. (Kachlík, 2003a) Tato ortorula je z hlediska radioaktivity velmi aktivní. (Manová, Matolín, 1995)

2.1.5 Světlická ortorula

Jedná se o malé těleso u Českého Krumlova. Je to vůbec nejstarší ortorulové těleso v Českém masivu (až 2,1 mld. let). Většina tělesa se nachází na antiklinále, jejíž druhé rameno je v Německu. Ortoruly mají vysoký obsah biotitu a hlavně amfibolu. (Kachlík, ústní sdělení)

2.1.6 Svratecká ortorula

Nachází se ve svratecké antiklinále. Typově je to středně zrnitý leukokratní migmatit až ortorula. Vyznačuje se také ve srovnání s ostatními ortorulami nízkou radioaktivitou. (Skácelová, Buriánek, 2005)

2.1.7 Bítešská ortorula

Toto těleso se rozpíná severně od Velké Bíteše (severozápadně od Brna). Charakterizuje se jako deskové těleso tvořící svrchní morávní příkrov. Geochemicky i geochronologicky odpovídá kadomskému stáří. Jedná se o okatý typ ortoruly. Bítešská ortorula je metamorfovaná v amfibolitové facii, je bohatá amfibolitem a také muskovitem. (Schulmann et al., 1991) Většinou jde o dobře foliované středně zrnité porfyroklastické leukokratní biotit-muskovitické ortoruly s deskovou odlučností. (Dvořák et al., 2003)

2.1.8 Krušnohorské ortoruly

Mezi ně patří východokrušnohorské freiberské ortoruly a západokrušnohorské ortoruly kateřinohorské klenby. Obě tělesa jsou varisky přepracované kadomské ortoruly. Freiberské ortoruly mají nápadně světle šedou barvu, západokrušnohorské jsou zase typické svým červeným zbarvením. (Kröner et al., 1995)

2.1.9 Keprnická ortorula

Je pojmenována podle vrchu Keprník v Hrubém Jeseníku. Těleso keprnické ortoruly se rozpíná v jeho východní části. Ortoruly jsou velmi silně metamorfované, a to díky variské metamorfóze, která přepracovala slaběji metamorfované ortoruly kadomské. (Kröner et al., 2000)

2.1.10 Selbská ortorula

Nachází se jak v Německu, tak i do České republiky zasahuje, a to v oblasti ašského výběžku. Je součástí smrčinského krystalinika. (Siebel et al., 1997)

2.1.11 Tepelská ortorula

Jedná se o těleso v okolí Teplé jižně od Karlových Varů. Tyto ortoruly jsou silně migmatizované. Objevují se zde i časté polohy autochtonech granitů a pegmatitů. (Kachlík, 2003a)

2.1.12 Gföhlská ortorula

Těleso je situováno v jižní části Moravy, přesněji od Velkého Meziříčí směrem na jih přes Moravský Krumlov a Znojmo a dále do Rakouska. Fragменты tohoto tělesa nacházíme ale i v jižních Čechách, například na Šumavě. (Friedl, 1997)

2.1.13 Kouřimská ortorula

Je součástí kutnohorsko-svratecké oblasti, konkrétně kutnohorského krystalinika. Tato ortorula se vyznačuje stejně jako celé okolí nízkým stupněm metamorfózy. Součástí kouřimské ortoruly je i známá porfyroblastická stébelnatá „doubravčanská“ ortorula. (Kachlík, 2003a)

2.1.14 Starosedelská ortorula a mirotická ortorula

Starosedelská ortorula se rozkládá jihozápadně od Sedlčan. Tyto horniny jsou hrubozrnné, mají tonalitové složení, vznikaly v mladovariské etapě (370Ma.) Je situována mezi zbytky pláště středočeského plutonu.

Těleso mirotické ortoruly se rozpíná u obce Mirotice. Geneticky i petrograficky je velmi podobná ortorule starosedelské. (Košler, Farrow, 1994)

2.2 Datování ortorul

Pro určování stáří hornin a horninových komplexů se kromě biostratigrafie, kde se vychází především z paleontologických poznatků, používá hlavně radiometrické datování. (Kachlík 2003b)

Kachlík dále uvádí, že je princip tohoto datování založen na samovolném přirozeném rozpadu nestabilních radioaktivních izotopů U, Th, K, Rb, Sr a dalších na stabilní dceřiné izotopy dle rozpadových řad. (viz. kapitola 3.1.) Při znalosti poměrů mezi mateřskými a dceřinými prvky můžeme určit stáří izotopického systému vůči svému okolí .

Tabulka 2 – Hlavní metody datování (vytvořeno podle Kachlík 2003b)

U,Th - Pb	datování hornin, studium magmatických událostí
Rb-Sr	studium magmatických událostí, stáří hornin, stáří krystalizace a metamorfních procesů
K-Ar (+ její modifikace)	používaná k rekonstrukci výstupů geologických těles a jejich chladnutí
Sm-Nd	datování hornin, také používaná ke studiu vývoje zemské kůry a pláště
Radiouhlíková metoda ¹⁴ C	především určování stáří organické hmoty
Metoda štěpných stop	výstup a chladnutí geologických těles

V Českém masivu nacházíme ortorulová tělesa rozmanitého stáří. Tělesa západních Sudet (především *selbská, jizerská, krkonošská a orlicko-sněžnická ortorula*) vznikly někdy na rozhraní kambria a ordoviku (přibližně 502-515 Ma), což bylo zjištěno na základě metody datování, ke které se používají akcesorické minerály zirkony. (Kröner et al., 2001) Některé *orlicko-sněžnické* ortoruly byly datovány pomocí metody ⁸⁷Rb - ⁸⁶Sr. Stáří stanovené touto metodou se pohybuje okolo 350 Ma. (Lange et al., 2002)

Dalším typem je většina ortorul krušnohorských (*freiberská, ortoruly kateřinské klenby*) dále *hlubocká ortorula* a v morvosileziku ortoruly *bítešská* a *keprnická*. Ty vznikly variským přepracováním metagranitů nebo ortorul vzniklých již při kadomské orogenezi na rozhraní devonu a karbonu (390 – 310 Ma). (Kröner et al., 1995, 2000, Schulmann et al. 1991)

Ortorulami, u kterých metamorfóza začala přímo při variské orogenezi jsou především *mirotická* a *starosedelská* v *moldanubiku*. (Košler, Farrow, 1994)

Nakonec uvádím tělesa poněkud nejistého stáří, předpokládá se ale, že jde o rozhraní kambria a ordoviku. Jsou to ortoruly takzvaného podolského komplexu, tedy *gföhlská, strážecká* a *kouřimská*. (Friedl, 1997, Kachlík 2003a)

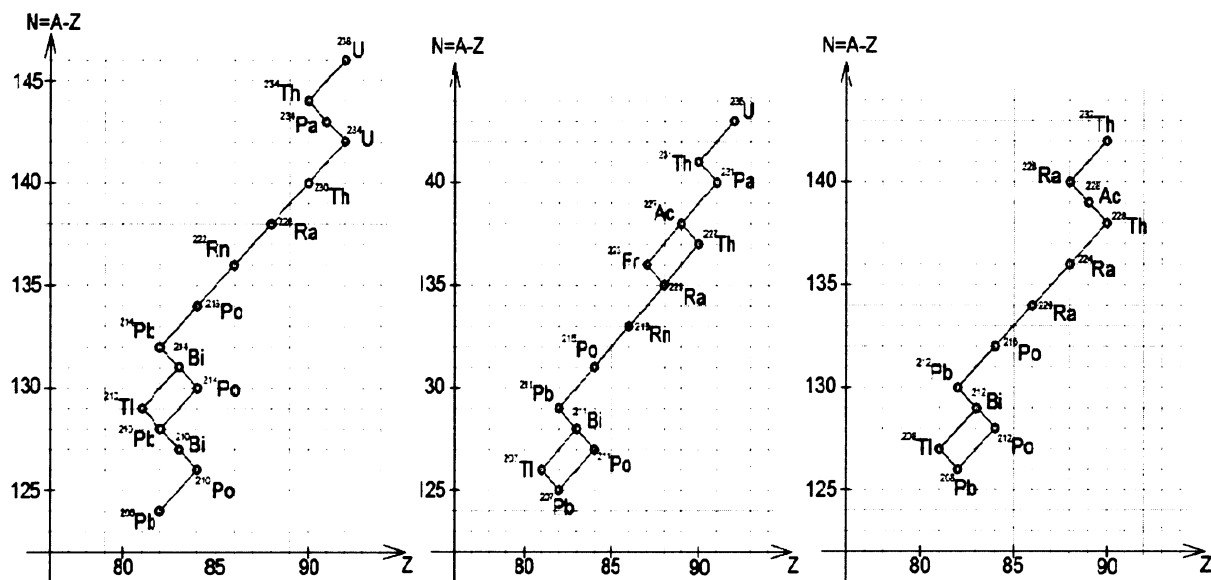
Podle Kachlíka je nejstarším ortorulovým tělesem u nás *světlická ortorula* (paleoproterozoická) v jižních Čechách.

3. RADIOAKTIVNÍ BILANCE

3.1 Radioaktivita

Přírodní radioaktivní prvky v horninách jsou zdrojem radioaktivního záření. Rozlišujeme 4 druhy záření: alfa, beta, gama a neutronové. V geologii se radioaktivita horninového prostředí určuje nejčastěji měřením záření gama. Podstatnými zdroji záření gama v horninách jsou především draslík, uran a thorium, emitující gama-kvanta o energiích do 2 615 keV.

Uran a thorium vytvářejí přírodní rozpadové řady, jejichž nestabilní členy jsou rovněž zdrojem jaderného záření. Mateřské radionuklidy (^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th) rozpadových řad uranu a thoria mají poločasy přeměny řádově srovnatelné se stářím Země (10^8 – 10^{10} roků). (Manová, Matolín, 1995)



Obr.3 – Rozpadové řady ^{238}U , ^{235}U a ^{232}Th (upraveno dle Ullmann)

Podle Manové a Matolína se v horninách zemské kůry vyskytují průměrné koncentrace draslíku 2,5 %, uranu 2–3 ppm a thoria 8–12 ppm (klarkové obsahy). Draslík, uran a thorium jsou v horninách mobilní. Převážná část přírodních radionuklidů K, U a Th je v horninách zemské kůry rozptýlena, akumulace se vytvářejí za příhodných genetických, geochemických nebo mechanických podmínek. (Manová, Matolín, 1995)

Pro účely této bakalářské práce má samozřejmě největší váhu radioaktivita uranu, a tak je pozornost v dalších částech věnována výhradě problematice s ním spojené.

3.2. Radioaktivita ortorulových těles na území ČR

Ortoruly v Českém masivu na území České republiky jsou z hlediska radioaktivity velice rozmanité. Typy s vysokou radioaktivitou se vyskytují v komplexu červených rul v Krušných horách, v orlicko-kladské klenbě a ve svrateckém krystaliniku. V moldanubiku se vyznačují zvýšenými obsahy uranu ortoruly hlubocká, v ostrovní zóně středočeského oblouku některé ortoruly mirotické. Naopak méně radioaktivní jsou ortoruly svratecká a bítešská ze svratecké antiklinály. (Ibrmajer, Suk et al., 1989)

V tabulce 3 jsou uvedeny hodnoty gama aktivity u nejvýznamnějších ortorulových těles. Pro srovnání jsem v tabulce uvedl i průměrnou hodnotu pro celý Český masiv.

Tabulka 3 Gama aktivita některých ortorulových těles (dostupné hodnoty) (podle Ibrmajer, Suk et al., 1989)

oblast	úhrnná aktivita gama [$\mu\text{R}\cdot\text{h}^{-1}$]
Český masiv	27
orlická ortorula	10-19 (max. 28)
svratecká ortorula	10-16
hlubocká ortorula	10-15
sněžnická ortorula	10-14
krušnohorské ortoruly	7-10
jizerská a krkonošská ortorula	6-11

V následující tabulce 4 jsou uvedeny hodnoty koncentrací uranu ve vybraných ortorulových tělesech. Zde je hodnota pro celý Český masiv použita pro srovnání krajních hodnot minima a maxima s jednotlivými koncentrací uranu.

Tabulka 4 Koncentrace uranu v ortorulových tělesech (dostupné hodnoty) (podle Krištiak, Záliš, 1994) *) v publikaci není přesná hodnota

oblast	koncentrace uranu (eU) [ppm]
Český masiv	1-14
orlicko - sněžnická ortorula	vysoká*
červené ortoruly kateřinské klenby	8,8
ortoruly podolského komplexu	7,9
keprnická ortorula	2-3
mirotická ortorula	5,1
gföhlská ortorula	5,1
freiberská ortorula	4,2
kouřimská ortorula	4,9
tepelská ortorula	3,9
svratecká ortorula	2,1
bítešská ortorula	1,9

4. VÝNOS RADIOAKTIVNÍCH PRVKŮ Z HORNIN

4.1 Alterace

Primární obsah uranu v horninách může být narušen různými sekundárními geochemickými pochody zvanými alterace (tektonizace, hydrotermální či metasomatické loužení, zvětrávání). Alterace mohou způsobit mobilizaci radioaktivních prvků. To závisí však i na tom, v jaké formě je uran (to platí i o thoriu) v minerálech příslušné horniny uložen. Je to dáno typem vazby. Stabilní vazba uranu se nachází například v zirkonech. Díky stabilitě této vazby se ze zirkonu radioaktivní prvky velice nesnadno uvolňují, a to jak při přírodních alteracích, tak i v laboratorních podmínkách.

Naopak nestabilní vazba uranu je typická například pro minerály monazit nebo uraninit. Z těchto minerálů se radioaktivní prvky uvolňují velmi snadno. A právě výše popsané kritérium je klíčové pro to, je-li hornina pro uvolňování radioaktivních prvků fertilní či nikoli. (Dahlkamp, 2003)

V případě ortorul je k dispozici velmi málo údajů. Tato problematika je však velmi dobře prozkoumána zejména v případě (geochemicky relativně příbuzných) granitoidů francouzskými autory (Leroy 1984, Pecher et al. 1985) ve francouzském centrálním masivu.

Vzhledem k vlastnostem a chování uranu jsou důležité následující typy alterací (geochemických přeměn) vyskytující se v granitech: albitizace, muskovitizace, greisenizace, chloritizace, episyenitizace, kaolinizace a supergení alterace. (Dahlkamp, 2003)

Ty mohou vznikat například při závěrečné fázi magmatických procesů (autometamorfní procesy), či hydrotermálními procesy na tektonických poruchách. Na střížných a duktilních zónách k nim může docházet díky metamorfním procesům a to především v důsledku vysokých tlaků nebo teplot a nebo obojího současně.

Takové střížné zóny byly popsány v případě sněžnických ortorul. (Lange et al. 2002) Tyto střížné zóny nejsou tektonickými hranicemi mezi rozdílnými horninami ale homogenními ortorulami. Metamorfní P-T podmínky u těchto ortorul nebyly úplně přesně zjištěny, stejně tak stáří již zmíněných střížných zón. (Lange et al., 2002)

Na druhé straně stojí horniny, které jsou vhodné pro vysrážení radioaktivních prvků například z podzemních vod. Jsou to horniny, které mají redukční vlastnosti a vysoký obsah dvojmocného železa Fe^{2+} . V těchto horninách se tvoří kumulace uranu, které se snadno vysráží z roztoků. Typickým zástupcem takových hornin jsou např. amfibolity, či horniny bohaté pyritem, které tvoří geochemickou „bariéru“ příznivou pro vysrážení uranu a lokalizaci zrudnění. (Dahlkamp, 2003)

V případě ortorul je možno jako příklad uvést uranové ložisko Javorník (Zálesí). Zde jsou jako zdrojová hornina uvažovány sněžnické ortoruly. Vlastní hydrotermální žilné a metasomatické zrudnění je ale lokalizováno v okolních amfibolitech stroňské skupiny, které jsou s ortorulami v několikrát tektonicky oživeném kontaktu. (Fojt et al. 2005)

4.2 Vznik radioaktivních pramenů

Výše popsané procesy (alterace) mohou vést ke vzniku akumulací uranových minerálů, či přímo (v příznivých případech) ekonomicky významných uranových ložisek. Naproti tomu po ukončení horotvorných pochodů se radioaktivní prvky z fertilních hornin uvolňují v daleko menší míře. V dnešní době tak můžeme pozorovat na příznivých typech hornin vývěry radioaktivních vod obohacených rozpuštěným radonem.

První z modelů jejich vzniku předpokládá, že samotný uran je distribuován hydrotermálními roztoky a ukládán na povrch hornin. Tam se rozpadá dále na radium ^{226}Ra a to dále na radon ^{222}Rn , který se do podzemní vody dostává difúzí. (Wathen, 1987).

Ne vždy vysoká radioaktivita vod znamená vysokou radioaktivitu na horninách v podloží. Důležitou roli hrají takové faktory jako je velikost pukliny, objem, tlak a charakter podzemní vody atd. (Wood et al., 2004)

Jsou uváděny i další modely vzniku radonu. Jedním z nich je model založený na difúzi a iontové výměně. Radium je dle této teorie v horninové matrix transportováno k povrchu puklin. Zde je sorbováno na povrch minerálů vzniklých zvětráváním. (Wood et al. 2004)

To probíhá díky acidnímu prostředí (ortoruly mají kyselou nebo intermediární matrix) a oxidaci železitých minerálů. Nejvhodnějšími minerály pro tuto sorbci jsou železité minerály (pyrit, siderit atd.) a pak také manganové oxidy a hydroxidy. Díky dlouhému poločasu rozpadu radia (1600 let) je jednak zajištěn jeho stálý přísun na povrch puklin a hlavně jeho vysokému hromadění na tomto místě. Tato teorie by tak mohla vysvětlovat vysoké obsahy radonu a radia i bez zvýšené přítomnosti uranu. (Wood et al., 2004)

Vzhledem ke krátkému poločasu rozpadu radonu (3,8 dne) musí tak být pukliny a emitery radia uloženy někde na styku horninového prostředí a podzemní vody. Zároveň se toto místo nachází nedaleko zemského povrchu, kde voda vyvěrá na povrch. (Gainon, 2007)

Dále Gainon uvádí, že podzemní vody, které jsou při kontaktu s horninovým prostředím bohaté železitými složkami se rychle mísí s infiltrovanou čerstvou dešťovou vodou bohatou kyslíkem. V ní je pak radon odnášen k vývěru.

5. PROJEVY FERTILITY ORTORULOVÝCH TĚLES

Fertilita ortorul znamená, že tento typ horniny je schopen snadno uvolňovat radioaktivní prvky do okolí při tektonických nebo geochemických alteracích. To znamená, že např. uranem velice bohaté horniny, které ale fertilní nejsou, svou radioaktivitu do okolí neuvolní. V minulosti se fertilita projevovala hlavně při silném přepracování. Vznikaly akumulace U v podobě např. ložisek či rudních výskytů ať už přímo v ortorule či geochemicky vhodném okolí. Bylo to hlavně horninách, kde se byl uran schopen snadno vysrážet (viz kapitola 4).

V dnešní době, kterou bychom mohli nazvat jako relativně orogenicky klidnou, se fertilita projevuje hlavně migrací prvků (dnes především radia a radonu) při zvětrávání a mobilizací radioaktivních prvků podzemními vodami které jsou přirozeně aktivovány při průchodu horninou. Tímto způsobem vznikají radioaktivní prameny bohaté na radioaktivní složky. U vod hovoříme nejčastěji o radonu jako o hlavním zdroji jejich aktivity.

5.1 Plošné rozšíření akumulací U a radiaktivních pramenů v ortorulových tělesech na území ČR

Nejprve byla stanovena plocha jednotlivých ortorulových těles. Vzhledem k problémům s nalezením dat o plošném rozsahu jednotlivých těles bylo nutno rozlohu těles počítat metodou přesnějších odhadů rozlohy a to přepočítáváním obsahů těchto těles na mapě známého měřítka do skutečnosti.

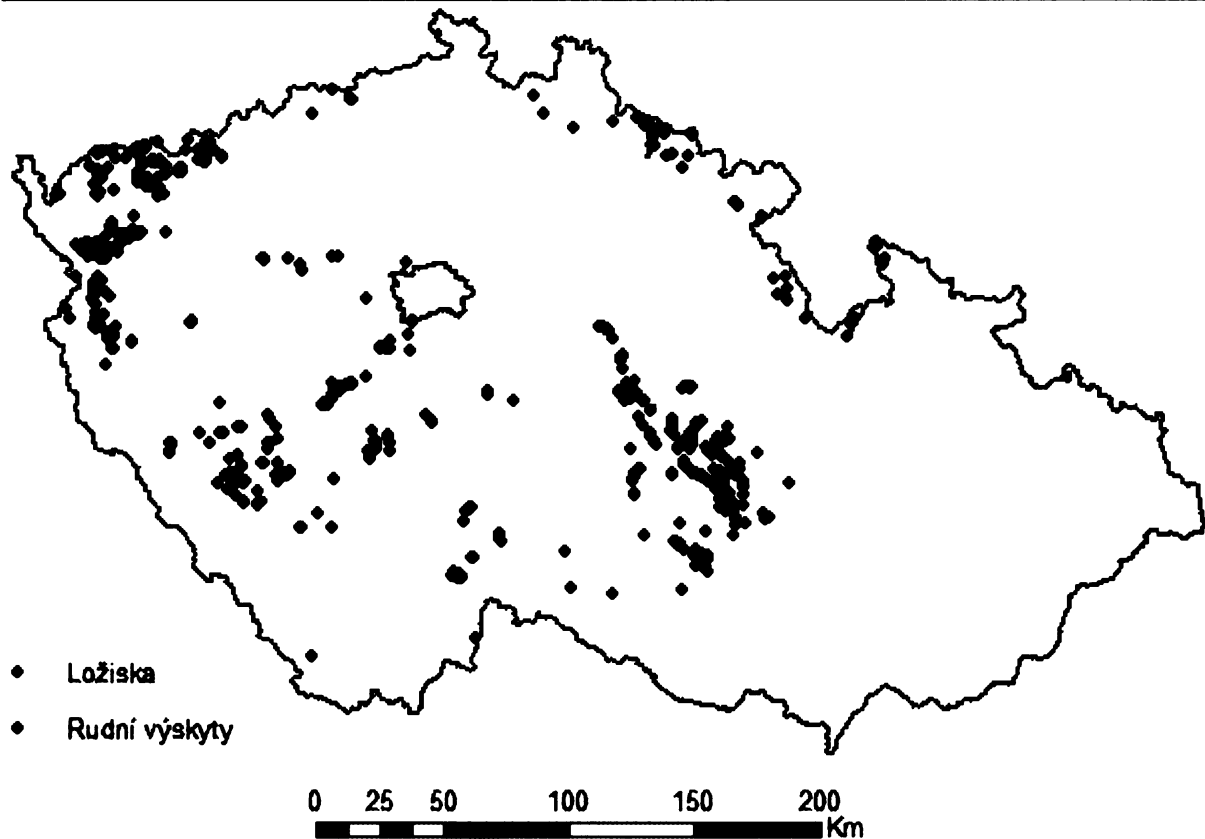
Druhou porovnávanou veličinou byl počet radiometrických anomálií, a to pouze klasifikovaných jako „ložisko“ či „rudní výskyt“. Jako vstupní data mi posloužila databáze ČSUP (Krištiak, Záliš, 1994), která obsahovala všechny radiometrické anomálie nalezené průzkumnými pracemi na území České republiky. Nejprve bylo potřeba selektovat pouze radiometrické anomálie typu „ložisko“ a „rudní výskyt“. (Jako „ložisko“ jsou klasifikovány objekty s těžbou nad 10 tun, objekty s těžbou pod 10 tun, či pouze malé nálezy uranové rudy jsou klasifikovány jako „rudní výskyt“. Přitom byly vyloučeny objekty, u kterých byl prokázán litologický původ. Krištiak, Záliš, 1994). Pouze tato dvě hlediska s nejvyšším stupněm kumulace uranu byla pro tuto práci přínosná. Plošnou hustota byla jednoduše spočtena počtem nálezů dělenou rozlohou jednotlivých těles. Poté byla importována tato data do počítačového programu ArcGIS a jako podklad byla zvolena geologická mapa České republiky v měřítku 1 : 50 000. Na této mapě nebylo vždy snadné určit hranici některých ze zkoumaných ortorulových těles z důvodu nejednotnosti litologického zařazení konkrétních hornin. Především geologická podobnost a popis některých těles v těsné blízkosti není vždy úplně jasný.

Pak už stačilo porovnat ložiska a výskyty s podkladem. Do tabulky, respektive do množství výskytů a ložisek byly zahrnuta i ta data, která se nevyskytovala přímo ve zkoumaných tělesech, ale například i na nějakém zlomu, tektonické poruše nebo exokontaktech v jejich blízkosti.

Tabulka 5 popisuje velikosti jednotlivých ortorulových těles, počet uranových nálezů v nich a také plošné hustoty výskytu. Obrázek 5 potom ukazuje, jak jsou U-ložiska a U-výskyty rozmístěny na území České republiky.

Tabulka 5 – Počet ložisek a výskytů uranu a radioaktivních pramenů v ortorulových tělesech Českého masivu na území ČR. Citace: 1) Goliáš, nepublikovaná data 2) Goliáš, nepublikovaná data 3) Goliáš, 2007 4) Hynie, 1963, Lipanský, 2007

název tělesa	rozloha [km ²]	počet U ložisek	počet U výskytů	ložiska/km ²	výskyty/km ²	Radioaktivní prameny
světlická ortorula	50	0	0	0,000	0,000	
svratecká ortorula	80	6	15	0,075	0,188	ano ¹⁾
freiberská ortorula	110	0	3	0,000	0,027	
ortoruly kateřinohorské klenby	320	23	30	0,072	0,094	
hlubocká ortorula	22	0	0	0,000	0,000	
bítešská ortorula	490	4	11	0,008	0,022	ano ²⁾
keprnická ortorula	151	0	0	0,000	0,000	
selbská ortorula	20	0	0	0,000	0,000	
jizerská ortorula	184	0	0	0,000	0,000	
krkonošská ortorula	61	7	15	0,115	0,246	ano ³⁾
orlicko-sněžnická ortorula	750	4	12	0,005	0,016	ano ⁴⁾
tepelská ortorula	12	21	2	1,750	0,167	
gföhlská ortorula	770	7	24	0,009	0,031	
strážecká ortorula	59	2	10	0,034	0,169	
kouřimská ortorula	290	0	1	0,000	0,003	
mirotická ortorula	157	0	0	0,000	0,000	
starosedelská ortorula	86	1	0	0,012	0,000	



Obr. 4 – Rozložení ložisek a rudních výskytů uranu na území ČR (Krištiak, Záliš 1994)

5.2. Radioaktivní prameny

Radioaktivní pramen charakterizujeme jako přirozený vývěr radioaktivní vody na zemský povrch, či zachycení takového zdroje např. vrtem.

Dříve byly studené vody, které byly minerálními vodami jen pro svůj obsah radonu nazývané prostě radioaktivní vody. Teplice (vody s teplotou nad 25°C) bohaté radonem byly nazývány radioaktivními prostými teploticemi nebo také jako radioaktivní akrototermie. Ty méně radioaktivní (<36 M.J. ~ 500 Bq/l) byly nazývány jako slabé radioaktivní. (Hynie, 1963)

Z dnešního hlediska jsou podle lázeňského zákona České republiky radioaktivní takové vody, jejichž radioaktivita (aktivita rozpuštěného ²²²Rn) se pohybuje nad 1500Bq/l. (Lázeňský zákon)

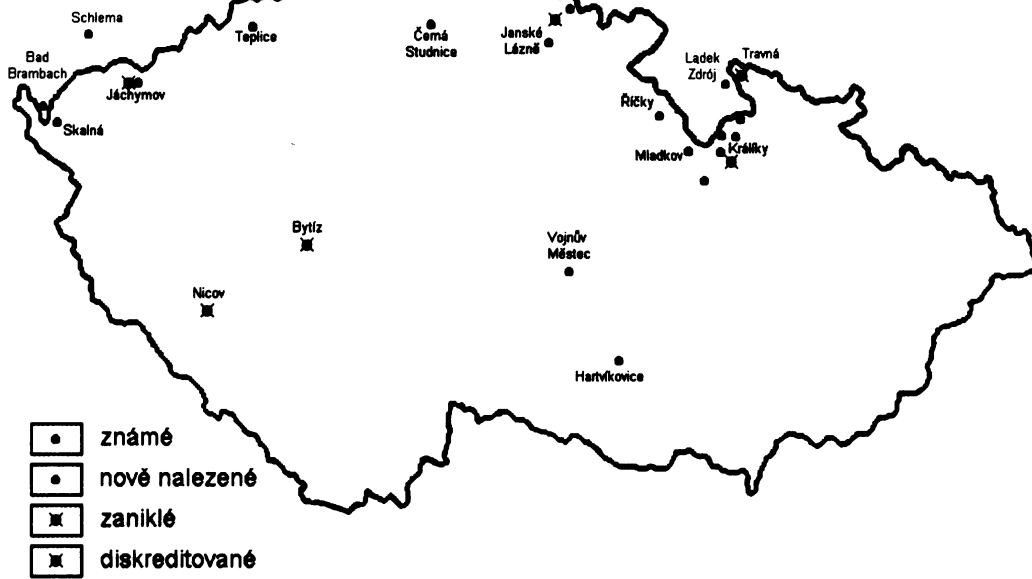
V Českém masivu je takových pramenů relativně velký počet, nejradioaktivnější je pramen Neue Quelle v Bad Brambachu na Německém území. Tabulka 6 uvádí některé světové radioaktivní prameny s nejvyšší aktivitou a také ty nejvíce aktivní z Českého masivu. (Przylibski 2005)

Tabulka 6 Vybrané radioaktivní prameny s nejvyšší radioaktivitou, bráno celosvětově (upraveno dle Przylibského, 2005)

Pramen	Lokalizace	Aktivita ²²² Rn [Bq/l]
Neue Quelle	Bad Brambach, Německo	264 500
Hindenburgquelle	Oberschlema, Německo	181 500
Etigo Mineral Spring	Murasugi, Japonsko	59 500
Římské prameny	Ischia, Itálie	50 000
termální prameny	Lacco Ameno, Itálie	37 500
Elisabethquelle	Bad Gastein, Rakousko	20 000
pramen Agricola	Jáchymov, ČR	20 000
pramen C1	Jáchymov, ČR	11 000
pramen Běhounek	Jáchymov, ČR	10 000
pramen Curie	Jáchymov, ČR	5 000
výtok štoly Śnieżnik	Králický Śněžnik, Polsko	2 381

Na území České republiky je takových pramenů poměrně mnoho, jak dokazuje obrázek 5. Ty s nejvyšší aktivitou se nachází v Jáchymově v Krušných horách (tabulka 6) Pro tuto práci jsou ale zajímavé pouze prameny vyvěrající z ortorulového podloží, které se (kromě krkonošské oblasti) v Čechách nevyskytují, a tak se pozornost přenáší hlavně na Moravu.

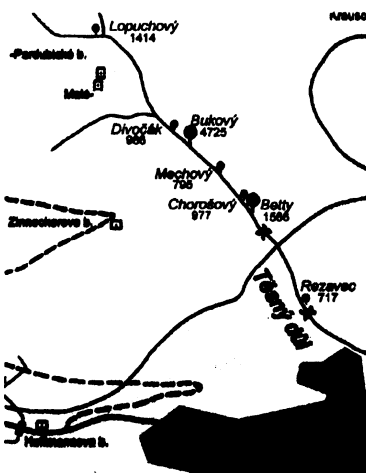
Radioaktivní prameny



Obr. 5 – Radioaktivní prameny v České republice (Goliáš, nepublikovaná data)

5.2.1 Radioaktivní prameny v krkonošských ortorulách

Nejhojnější výskyt radioaktivních pramenů nebo pramenů se zvýšenou aktivitou se nachází severně od města Janské Lázně, a to konkrétně na svazích Těsného dolu, který je na svém dně prořezáván Černohorským potokem. Prameny byly objeveny v letech 2005 a 2006 radiometricky. Měřena byla aktivita v bažinkách, kde je vysoká koncentrace stabilních prvků (gamma zářičů) vzniklých rozpadem radonu. Bylo to zároveň v místech, kde byly uranovým průzkumem v 50. letech zjištěny radiometrické anomálie. Touto metodou byly nalezeny 2 radioaktivní prameny, konkrétně Bukový pramen (až 4725 Bq/l) (Obr.7) a pramen Betty (1566 Bq/l) (Obr.8) Dále několik pramenů se zvýšeno radioaktivitou, například Lopuchový pramen (1414 Bq/l), pramen Divočák (985 Bq/l) nebo Chorošový pramen (977 Bq/l). (Goliáš, 2007) Na obrázku 5 je mapa oblasti s výskytem radioaktivních pramenů.



Obr.6 – Prameny v Těsném dole (upraveno podle Goliáš, 2007)

5.2.2 Radioaktivní prameny v orlických a sněžnických ortorulách

V této oblasti byla měřena aktivita radonu na 126 vývěrech a 20 z nich vykazovalo radioaktivitu nad 1500 Bq/l, jedná se tedy o radioaktivní prameny. (Lipanský, 2007) Pro tento veliký počet se zaměřím na oblast, kterou jsem sám navštívil a prováděl měření. Jedná se o okolí Stříbrnice pod Kralickým Sněžníkem, kde jsou 4 radioaktivní vývěry vázané na tektonické linie ve sněžnických ortorulách. Jde se o prameny Marie (2185 Bq/l), Jakubův pramen (až 2358 Bq/l) (Obr.9), pramen Čtrnáctka (2472 Bq/l) (Obr. 10) a Jelení koupel (až 1725 Bq/l) (Lipanský, 2007)

Jedním z nejznámějších pramenů v orlických ortorulách je pramen Mladkov. Jeho radioaktivita byla 130 M.J.= 1872 Bq/l. (Hynie, 1963)

5.2.3 Prameny v bítešské a svratecké ortorule

Bítešská a svratecká ortoruly jsou pozoruhodné nízkým obsahem uranu (viz. tabulka 4) a přesto se v každé z nich nachází jeden radioaktivní pramen. V bítešské ortorule je blízko obce Hertvíkovice pramen Wilsonka s aktivitou okolo 2700 Bq/l podchycený vrtem. Ve svratecké ortorule se nedaleko Vojnova Městce nachází Juditin pramen s aktivitou okolo 3500 Bq/l. (Goliáš, nepublikovaná data)



Obr.7 Bukový pramen, Těsný důl



Obr. 8 Pramen Betty, Těsný důl



Obr. 9 Jakubův pramen, Stříbrnice



Obr. 10 Pramen Čtrnáctka, Stříbrnice

6. DISKUSE – ZÁVISLOST URANOVÉ FERTILITY A VÝSKYTU RADIOAKTIVNÍCH PRAMENŮ

Při porovnávání dat z databáze radioaktivních objektů ČSÚP a geologické mapy České republiky bylo vybráno 766 uranových ložisek a 622 rudních výskytů. Zde je třeba uvést, že data z databáze neuvádějí skutečný počet ložisek a výskytů (např. podle Kolektivu autorů (2003) bylo nalezeno na území ČR 163 ložisek), ale zde se jedná o radiometrické anomálie v nich. Jedno ložisko tak může mít na výchoze i více anomálií.

Je také třeba upozornit, že 99% těchto nálezů bylo učiněno na území Českého masivu. Koeficient plošné hustoty je tedy pro ložiska uranu 0,0097 a koeficient pro rudní výskyt je roven 0,0079 v rámci celé České republiky.

Pro veškeré ortoruly, které byly předmětem zkoumání v této práci jsou tyto koeficienty 0,02, respektive 0,04. (celková rozloha zkoumaných těles byla 3612 km², celkový počet uranových ložisek v nich 75 a 130 rudních výskytů). Pro lepší orientaci uvádím přehlednou tabulku 7. Dílčí výsledky plošných hustot jsou v tabulce 5.

Tabulka 7 – Plošné hustoty výskytu U-mineralizace (ložisek a výskytů)

	rozloha [km ²]	ložiska	rud. výskyt	ložiska/km ²	výskyt/km ²
Česká republika	78866	622	766	0,00788	0,00971
Ortoruly	3612	75	130	0,0207	0,0359

Již z porovnání těchto hodnot vidíme, že koeficienty ortorul jsou vyšší než je průměr celé ČR. Dalším zajímavým zjištěním bylo, že radioaktivita tělesa vůbec nemusí být v souladu s množstvím uranových nálezů. Například svratecká ortorula vykazuje nízkou koncentraci uranu v ppm (tabulka 4), ale má 6 ložisek na 80 km² a je s koeficientem 0,08 se řadí na třetí místo.

Dále tato práce ukazuje na přítomnost radioaktivních pramenů v oblastech, kde nacházíme ortoruly, které se ukazují jako vhodný zdroj pro uranové zrudnění a výnos radioaktivity do okolí. Otázkou ale je, do jaké míry ovlivňuje tato radioaktivita výskyt a počet radioaktivních vod a jejich následných vývěrů na zemský povrch.

Na území Českého masivu registrujeme několik pramenů vázaných na ortoruly. Podle výsledků této práce, především posouzení dat z databáze radioaktivních objektů ČSÚP je jasné, že se radioaktivní vody vyskytují v ortorulách, které mají spíše vyšší nebo vysoký počet uranových nálezů.

Jsou zde ovšem i ortoruly, kde je uranová fertilita vysoká a žádné prameny zde dosud nebyly nalezeny. Mám na mysli především ortoruly gřohlské, strážecké nebo tepelské.

Rád bych ale na tomto místě uvedl, že zde nebyly prameny nalezeny do současnosti. Pátrání po radioaktivních vodách a pramenech stále intenzivně probíhá. Je jisté, že v budoucnu do statistik ještě nějaké přibudou.

Poslední skupinou ortorul jsou ty, které žádnou uranovou fertilitu nevykazují. To ale dle mého názoru neznámá, že by se sem radonová voda nemohla dostat z okolních hornin, například nějakých granitů atd. Proti této myšlence ale musíme postavit velice rychlý únik radonu z vody na styku se vzduchem a hlavně jeho krátký poločas rozpadu neumožňující příliš vzdálený transport aktivované vody.

7. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo na základě literárních a databázových podkladů zjistit, která z ortorulových těles v Českém masivu jsou uran-fertilní, což se v tomto případě projevuje množstvím radioaktivity, počtem uranových ložisek a rudních výskyty nebo také výskytem radioaktivních pramenů. Právě toto je nesporným důkazem o distribuci radioaktivních prvků v horninovém prostředí.

Bráno podle součtu koeficientů plošné hustoty (U-výskyt/km² a U-ložisko/km²) je nejvíce uran-fertilní ortorulou těleso tepelské ortoruly v západních Čechách, a to především díky vysokému počtu rudních výskyty na geologických hranicích s ostatními horninami (v exokontaktech). Podobně je na tom i ortorula strážecká. Vysokou fertilitu vykazuje i ortorula krkonošská a ortoruly kateřinohorské klenby.

Co se týče absolutních hodnot počtu uranových nálezů bez ohledu na rozlohu tělesa jsou nejvíce uran-fertilní ortoruly krušnohorské, gföhlská, krkonošská, tepelská a orlicko-sněžnická.

Naopak žádné uranové nálezy nevykazují ortoruly světlická, hlubocká, keprnická, selbská, jizerská, kouřimská a mirotická.

Jako perspektivní tělesa pro další činnost v oblasti hledání radioaktivních pramenů jsou hlavně ortoruly s vysokým počtem uranových nálezů v nich obsažených. Další takovou skupinou jsou ortoruly, ve kterých byly již prameny nalezeny a není tak vyloučena jejich další přítomnost.

PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

Bajer A., Matyášek J., Rejšek K., Suk M., 2004. *Petrografické názvosloví*. Vydavatelství Masarykovy Univerzity, Brno, 34 str.

Dahlkamp F. J., 2003. *Uranium Ore Deposits*. Springer-Verlag, Heidelberg, Berlin 460 str.

Dvořák V., Wilimský D., Melichar R., 2003: Strukturní analýza hornin nejsvrchnější části bítešské skupiny ve svratecké klenbě na lokalitě Křoví – možné vysvětlení jejich vzájemného vztahu. *Geol. Výzk. Mor. Slez. v r. 2002.*, s. 69-73.

Fojt B., Dolníček Z., Kopa D., Sulovský P., Škoda R. 2005. Paragenetická charakteristika hypogenních minerálních asociací uranového ložiska Zálesí u Javorníku ve Slezsku. *Čas. Slez. Mus. Opava (A) 54.*, s. 223-280.

Friedl G., 1997. *U/Pb – Datierungen and Zirkonen ind Monaziten aus Gestainen vom Österreichischen Anteil der Böhmischen Masse*. University of Salzburg, Salzburg

Gainon F., Goldscheider N., Surbeck H., 2007. Conceptual model for the origin of high radon in spring waters- the example of the St. Placius spring, Grison, Swiss Alps. *Swiss j. geosci.* 100: 251-262

Goliáš V., 2007. Vývěry léčivých radioaktivních vod v Jánských Lázních – Těsném dole. *Opera Concoctica*, 44/1: 161-169.

Hynie O., 1963. *Hydrogeologie ČSSR, díl II.-minerální vody*. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 800 s.

Chaloupský J., Červenka J., Jetel J., Králík F., Líbalová J., Píchová E., Pokorný J., Pošmourný K., Sekyra J., Shrbený O., Šalanský J., Šrámek J., Václ J., 1989. *Geologie Krkonoš a Jizerských hor*, Ústřední geologický ústav, Praha, 288 s.

Ibrmajer, J., Suk, M., Bližkovský M., Buday T., Cidlinský K., Čekan V., Čermák V., Daňko J., Filo M., Fusán O., Hrouda F., Husák L., Chlupáčová M., Ibrmajer I., Kadlečík J., Kocák A., Král M., Krs M., Kubeš P., Lizoň I., Manová M., Marušiak I., Matolín M., Mořkovský M., Muška P., Novotný A., Obernauer D., Orlický O., Oujezdská V., Píchová E., Pokorný L., Stránska M., Šamanský K., Tkáč J., Uhmán J., Venhodová D., Weiss J., 1989.

Geofyzikální obraz ČSSR, Ústřední ústav geologický, Praha, 357s

Kachlík V., 2003. *Geologický vývoj území české republiky*. SÚRO, Praha, 64 s.

Kachlík, V., 2003. *Základy geologie*. Nakladatelství Karolinum, Praha, 297 str.

Kolektiv autorů 2003: *Rudné a uranové hornictví České republiky*. Anagram, Ostrava, 647s.

Kossmat E., 1927. *Gliederung der varistischen Gebirgsbaues*. Abhandlungen des Sächsischen Geologischen Landesamts, 1:1-39

Košler J., Farrow C. M., 1994. Mid-late Devonian arc-type magmatism in the Bohemian Masiff: Sr and Nd isotopes and trace element evidence from the Staré sedlo and Mirovice gneiss complexes, Czech Republic, *J. Czech. Geol.Soc.* 39:56-58

Křištiak, J., Záliš Z., 1994. *Databáze radioaktivních objektů resortu ČSÚP pro účely životního prostředí*, Příbram, 97 str. Geofond Praha.

Kröner A., Willner A. P., Hegner E., Frischbutter A., Hofmann J., Berger R., 1995. Latest Precambrian (Cadomian) zircon ages, Nd isotopic systematics and P-T evolution of granitoid orthogneisses of the Erzgebirge, Saxony and Czech Republic. *Geol. Rundsch*, 84(3):437-456

Kröner A., Štípská P., Schulmann, K., Jaeckel, P., 2000. Chronological constraints on the pre-Variscan evolution of the northeastern margin of the Bohemina Massif, Czech Republic. In: W. Franke, V. Haak, O. Oncken, D. Tanner (Editors), *Orogenic Processes: Quantification and Modelling in the Variscan belt*. *Geol. Soc. London, Special Publications*, pp. 175-197

Kröner A., Jaeckel P., Hegner E., Opletal M., 2001. Single zircon ages and whole-rock Nd isotopic systematics of early Paleozoic granitoid gneisses from the Czech and Polish Sudets (Jizerske hory, Krkonose Mountains and Orlice-Sneznik Complex). *Int. J. Earth Science*, 90(2): 304-324

Lange U., Bröcker M., Mezger K., Don J., 2002. Geochemistry and Rb-Sr geochronology of a ductile shear zone in Orlica- Sneznik dome (West Sudets, Poland). *Int. J. Earth. Sci. (Geol. Rundsch.)* 91:1005-1016

Leroy J. 1984. Episyénitisation dans le gisement d'uranium de Bernardan (marche), Comparaison avec des gisements similaires du Nord Ouest du Massif Central français, *Mineral Deposita* 19., s. 26-35.

Lipanský T., 2007. *Prameny radioaktivních minerálních vod v orlicko-sněžnické klenbě.*

MS diplomová práce, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů PřF UK, Praha, 82 s.

Manová M., Matolín M., 1995. *Radiometrická mapa České republiky.* Český geologický ústav, Praha, 8s

Mazur S., 2002. Geology of the Karkonosze-Izera massif. Institute of Geological Sciences, University of Wrocław, *Pl. M. Borna* 9, 50-204

Opletal M., Domečka K., Čech S., Čuta M., Fajst M., Holub V., Kačura G., Líbalová J., Pošmourný K., Sekyra J., Střída M., Šamanský K., Šulcek Z., Tásler R., Valečka J., 1980. *Geologie Orlických hor.* Ústřední geologický ústav, Praha, 208 s.

Pecher A., Lespinasse M., Leroy J. 1985. Relation between fluid inclusion trails and regional stress field: a tool for fluid chronology, Example of an intragranitic uranium ore deposit, north-west French Massif Central. *Lithos* 18. s. 229-237.

Przylibski T. A. 2005. *Radon-skladnik swoisty wód leczniczych Sudetów.* Oficyna Wydawiczna Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 329 s.

Schulmann K., Ledru P., Autran A., Melka R., Lardeaux J. M., Urban M., Lobkowicz M. 1991. Evolution of the nappes in the eastern margin of the Bohemian Masiff: a kinematic interpretation. *Geol. Edech*, 81, 1, s.73-92

Siebel W., 1997. Early paleozoic acid magmatism in the Saxothuringian belt: New insights from a geochemical and isotopic study of orthogneisses and metavolcanic rocks from the Fichtelberg, SE:Germany. *Journal of Petrology*, 38(2):203-230

Skácelová Z., Buriánek D., 2005. Měření přirozené radioaktivity hornin v rámci mapování Žďárských vrchů v měřítku 1:25000. *Zprávy o geologických výzkumech 2005*, str. 138-142, ČGS, Praha

Souček J., Jelínek E., Bowes D.R., 1992. Geochemistry of gneisses of the Eastern margin of the Bohemian massif. In: Z.Kukal (edit): *Proceedings 1st Intern. Conf. on the Bohemian massif* - 269-285, Praha.

Ullmann V. <http://www.sweb.cz/AstroNukIFyzika/JadRadFyzika4.htm> 27.7.2008

Wathen J.B., 1987. The effect of Uranium in two-mica granites in ground water in Graves, Barbara. Ed. Radon in groudwater-Hydrologic impact and indoor air contamination. *Conference on radon, radium, and other radioaktivty in ground water –Hydrogeologic impact and application to indoor airborne contamination*. Somerset, N.J. April 7-9 1987
Chelsea, Milch, Lewis Publisher Inc., str. 31-46

Wood W. W., Kraemer T. F., Shapiro A. 2004. Radon in Ground Water of fractured rocks: A diffusion/ion exchange model, *Ground Water*, 42, 4,552