

MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SLOVENSKEJ REPUBLIKY
SEKCIA GEOLÓGIE A PRÍRODNÝCH ZDROJOV

SLOVAK ENVIRONMENT MINISTRY
SECTION OF GEOLOGY AND NATURAL RESOURCES

GEOLOGICKÁ SLUŽBA SLOVENSKEJ REPUBLIKY
GEOLOGICAL SURVEY OF SLOVAK REPUBLIC

URANPRES, spol. s r. o.

GEOCHEMICKÝ ATLAS SLOVENSKA
ČASŤ IV
PRÍRODNÁ RÁDIOAKTIVITA
HORNÍN

GEOCHEMICAL ATLAS OF SLOVAKIA
PART IV
NATURAL ROCK RADIOACTIVITY

J. Daniel
L. Lučivjanský
M. Stercz

Bratislava 1996

GEOCHEMICKÝ ATLAS SLOVENSKA
Časť IV: Prírodná rádioaktivita hornín
GEOCHEMICAL ATLAS OF SLOVAKIA
Part IV: Natural Rock Radioactivity

Ing. Jozef Daniel, Ing. Ladislav Lučivjanský, Mgr. Marián Stercz

s / with

**RNDr. Slavomír Daniel, RNDr. Alan Donát, RNDr. Jozef Hók, CSc., RNDr. Peter Kováč, CSc., Erika Lehotská,
RNDr. Karol Marsina, CSc., Mgr. Ingrid Mašlárová, RNDr. Ladislav Novotný, Ing. Ján Tulis, Ing. Zoltán Vágó**

Vedecký redaktor / Scientific editor

RNDr. Kamil Vrana, CSc.

Recenzenti / Reviewed by

Prof. RNDr. Milan Matolín, DrSc., Prof. Ing. Ján Šefara, DrSc.

Preklad / Translation

L. Böhmer

Vydala / Issued by

Geologická služba Slovenskej republiky, Bratislava

DTP a pre-press

Esprit, spol. s r.o., Banská Štiavnica

Tlač / Printed by

SLOVSPOL Košice, a.s.

© Geologická služba Slovenskej republiky, 1996

ISBN 80-85314-77-0

PREDSLOV

Ochrana životného prostredia sa stala naliehavým celosvetovým problémom. Nie je to ináč ani na Slovensku, kde sa s hospodárskym vývojom v posledných desaťročiach postupne zhoršovalo životné prostredie. V niektorých slovenských regiónoch vznikli z tohto hľadiska až krízové situácie. Súčasná spoločnosť stojí preto pred úlohou komplexne riešiť problematiku ochrany životného prostredia, aby sa v čo najkratšom čase dosiahla ekologická rovnováha a aby sa pri predpokladanom dynamickom rozvoji ekonomiky racionálne využívali prírodné zdroje krajiny.

Nenahraditeľnú úlohu pri riešení problémov životného prostredia plní geológia. Vyplýva to z toho, že prírodné prostredie ako subsystém životného prostredia je v rozhodujúcej miere determinované geologickým prostredím. Pritom prírodné prostredie tvorí hmotnú podstatu, rámec ostatných subsystémov životného prostredia, t. j. technických, ekonomických a sociálnych faktorov. Geologický výskum a prieskum svojimi výsledkami vždy, či už priamo alebo nepriamo, vplýval i na stav poznatkov o životnom prostredí na území Slovenska. Preto je nevyhnutné, aby sa na riešenie najaktuálnejších problémov ochrany a tvorby životného prostredia zamerlal ucelený geologický projekt, aby sa využili dosiaľ získané i nové poznatky o stave geologického prostredia a aby sa výsledky tohto úsilia predložili verejnosti v súbernej podobe a forme.

S týmto cieľom Geologický ústav Dionýza Štúra v Bratislave spolu s ďalšími geologickými a prírodovedne orientovanými inštitúciami predložili roku 1990 projekt *Výskum geologických faktorov životného prostredia*. Komplexnosť tohto projektu utvára podmienky, aby sa geologické poznatky mohli oveľa plnšie uplatniť pri ochrane životného prostredia na Slovensku. V rámci projektu sa uskutočnilo geochemické mapovanie nášho územia s cieľom zistiť distribúciu obsahov chemických prvkov v hlavných zložkách životného prostredia – v horninách, pôdach, riečnych sedimentoch, podzemných vodách, lesnej biomase – a zároveň regionálne charakterizovať rádioaktivitu na území Slovenskej republiky.

Predkladané dielo, zamerané na prírodnú rádioaktivitu hornín, je štvrtou časťou súbernej edície *Geochemický atlas Slovenska*, ktorú z poverenia Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky vydáva Geologická služba Slovenskej republiky. Ďalšie časti edície sú zamerané na podzemné vody, riečne sedimenty, pôdy, lesnú biomasu a chemické zloženie hlavných horninových typov z celého územia Slovenskej republiky. Súborným dielom *Geochemický atlas Slovenska* slovenská geológia poskytuje nevyhnutné podklady objektívneho hodnotenia kvalitatívnych parametrov štátneho územia, a tým aj východiská racionálneho rozhodovania v oblasti ekologickej politiky Slovenskej republiky. Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, ktoré prostredníctvom svojej Sekcie geológie a prírodných zdrojov zabezpečuje pre túto politiku všetky nevyhnutné poznatky o geologickej stavbe, surovinách, vodách a ostatných geologických faktoroch prírodného prostredia, vydaním *Geochemického atlasu Slovenska* významne prispeje k objektívnemu posúdeniu stupňa znečistenia hlavných zložiek životného prostredia, čo má mimoriadny význam aj v kontexte zahraničných vzťahov Slovenskej republiky.

Chcem poďakovať riešiteľskému kolektívu Geologickej služby Slovenskej republiky i kooperujúcim organizáciám za kvalitnú prácu, ktorej vysoká odborná úroveň umožní Slovensku zaradiť sa medzi najvyspelejšie krajiny, pokiaľ ide o poznávanie geologického prostredia územia štátu. V mene ministerstva zároveň vyslovujem presvedčenie, že toto dielo sa v sfére ekológie a environmentalistiky plne využije na prospech občanov Slovenskej republiky. *Geochemický atlas Slovenska* je aj významným vkladom našej republiky k pripravovanému *Geochemickému atlasu Európy*, ktorý je jedným z cieľov *Medzinárodného geologického korelačného programu* (IGCP) č. 360 *Global Geochemical Baselines*, v širšom kontexte zameraného na poznanie geochemických a geochemicko-environmentálnych črt jednotlivých kontinentov Zeme.

FOREWORD

The environmental protection has become an urgent global problem. This is very similar also in Slovakia, where in the last decades the environment subsequently deteriorated due to economic progress. From this point of view even critical situations in some Slovak regions originated. Therefore, the present-day society has to solve the task of environmental protection in a complex way, in order to reach the ecological equilibrium in the shortest possible time and in order to use the natural resources of the country reasonably, assuming dynamic evolution of the economy.

Geology has an irreplaceable function in the solution of environmental problems. It results from the fact, that the natural environment as an environmental subsystem is predominantly influenced by the geological environment. And the natural environment forms a basis, a framework of other environmental subsystems, that means technical, economic and social factors. Geological survey and exploration with their results have ever, directly or not, influenced also the state of the environmental information at the territory of Slovakia. Therefore it is necessary to focus a complex geological project on the solution of the most actual problems of the environmental control and protection, in order to use both, older and more recent information about the state of geological environment, and, in order to submit the results of this effort to the public in a complete shape and form.

Following this aim, in the year 1990, Dionýz Štúr Institute of Geology together with other geological and natural sciences oriented institutions, submitted the project *Research of the Geological Factors of the Environment*. The complexity of this project forms conditions for much better use of geological information in the environmental protection in Slovakia. As a part of the project, the geological mapping of our regions was performed, with the aim to determine the distribution of the chemical elements in the main environmental components – rocks, soil, stream sediments, ground waters, forest biomass – and simultaneously to characterise the radioactivity at the territory of Slovak Republic.

The submitted work, focused on natural rock radioactivity, is the fourth part of the *Geochemical Atlas of Slovakia* summary edition, which was published by Geological Survey of Slovak Republic under the supervision of the national Ministry of the Environment. Next parts of the edition are focused on ground waters, stream sediments, soils, forest biomass and main rock types at the territory of Slovak Republic. With the integrated work *Geochemical Atlas of Slovakia*, provide the Slovak geology necessary foundations for objective evaluation of qualitative parameters of the state territory, and by this way also the bases for reasonable decisions in the Slovak environmental policy. Section of Geology and Natural Resources under the Ministry of the Environment of the Slovak Republic provides all necessary information about the geological structure, raw materials, waters and other geologic environmental factors for the above policy. The publishing of the *Geochemical Atlas of Slovakia* will significantly contribute to the objective evaluation of the main environmental components contamination degree, which is extremely important also in the context of foreign relations of Slovak Republic.

I would like to thank the realisation team at the Geological Survey of Slovak Republic and the cooperating organisations for their excellent work. The high professional level of this work permits Slovakia to enter the group of most advanced countries, concerning the knowledge of geological environment of the state territory. In behalf of the Ministry I simultaneously express my persuasion, that this work will be utilized in the fields of ecology and environmentalism for the benefit of the citizens of Slovak republic. *Geochemical Atlas of Slovakia* is also an important contribution of our republic to the prepared *Geochemical Atlas of Europe*, one of the goals of the International Geological Correlation Program (IGCP) no. 360 *Global Geochemical Baselines*, within the more general context focused on getting the deeper knowledge of geochemical and geochemical-environmental features of particular continents of the World.

Jozef Zlocha

Jozef Zlocha

minister životného prostredia Slovenskej republiky
Minister of the Environment of the Slovak Republic

OBSAH

PREDSLOV (J. Zlocha)	5
PREDSLOV (J. Daniel)	7
ÚVOD	8
1. PRÍRODNÁ RÁDIOAKTIVITA (J. Daniel, M. Stercz)	9
1.1. Fyzikálne základy rádioaktivity a jadrové žiarenie.....	9
1.2. Kozmické žiarenie.....	11
1.3. Prírodné rádioaktívne prvky v horninách.....	11
1.4. Radón.....	12
1.5. Prírodná rádioaktivita vôd (L. Lučivjanský).....	13
1.6. Prírodná rádioaktivita vzduchu.....	17
1.7. Rádionuklidy v potravinovom reťazci.....	17
1.8. Základné používané pojmy, vzťahy a jednotky.....	17
1.9. Základné zákony a vyhlášky týkajúce sa problematiky (I. Mašlárová).....	18
2. GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA ÚZEMIA SLOVENSKEJ REPUBLIKY	21
2.1. Stručný prehľad geologickej stavby Slovenska (J. Hók, P. Kováč).....	21
2.2. Charakteristika Slovenska z hľadiska litotypov/litofácií (J. Daniel, K. Marsina).....	21
3. MINERÁLY RÁDIOAKTÍVNYCH PRVKOV (A. Donát, L. Novotný)	32
3.1. Minerály uránu.....	32
3.2. Minerály tória.....	32
3.3. Minerály obsahujúce urán a tórium.....	33
3.4. Minerály draslíka.....	33
4. RÁDIOMETRICKÁ PRESKÚMANOSŤ SLOVENSKEJ REPUBLIKY (J. Tulis)	34
5. LOŽISKÁ URÁNOVÝCH RÚD V SLOVENSKEJ REPUBLIKE (L. Novotný)	36
6. METODIKA MERANIA A VYHODNOTENIA PRE ZOSTAVENIE MÁP PRÍRODNEJ RÁDIOAKTIVITY (J. Daniel)	40
6.1. Metodika zostavovania máp prírodnej rádioaktivity hornín.....	40
6.2. Metodika zostavovania odvodenej mapy radónového rizika.....	40
6.3. Metodika zostavovania máp prírodnej rádioaktivity vôd (L. Lučivjanský).....	42
7. MAPY PRÍRODNEJ RÁDIOAKTIVITY SLOVENSKA (J. Daniel)	44
7.1. Mapa dávkového príkonu kozmického žiarenia.....	44
7.2. Mapa koncentrácií draslíka.....	44
7.3. Mapa koncentrácií tória.....	46
7.4. Mapa koncentrácií uránu.....	50
7.5. Mapa celkovej rádioaktivity hornín eU_t	52
7.6. Mapa dávkového príkonu žiarenia gama hornín.....	52
7.7. Odvodená mapa radónového rizika.....	56
7.8. Mapy prírodnej rádioaktivity vôd (L. Lučivjanský).....	58
7.9. Rádioaktivita minerálnych a termálnych vôd Slovenska (L. Lučivjanský).....	64
7.10. Prírodná rádioaktivita hornín podľa jednotlivých litotypov.....	64
8. RÁDIOAKTIVITA HORNÍN A VÔD SLOVENSKA (J. Daniel, L. Lučivjanský, M. Stercz, I. Mašlárová)	67
8.1. Paleogén.....	67
8.2. Bradlové a príbradlové pásmo.....	69
8.3. Jadrové pohoria.....	70
8.4. Veporské pásmo.....	77
8.5. Gemerské pásmo.....	79
8.6. Zemplínske vrchy.....	81
8.7. Vnútrohorské panvy a kotliny.....	82
8.8. Neovulkanity.....	84
9. ZÁVER (J. Daniel)	87
10. LITERATÚRA	88

CONTENTS

FOREWORD (J. Zlocha)	5
FOREWORD (J. Daniel)	7
INTRODUCTION	8
1. NATURAL RADIOACTIVITY (J. Daniel, M. Stercz)	9
1.1. Physical Principles of Radioactivity and Nuclear Radiation.....	9
1.2. Cosmic Radiation.....	11
1.3. Natural Radioactive Elements in Rocks.....	11
1.4. Radon.....	12
1.5. Natural Radioactivity of Waters (L. Lučivjanský).....	13
1.6. Natural Radioactivity of air.....	17
1.7. Radionuclides in Food Chain.....	17
1.8. Basic Terms, Relationships and Units Used.....	17
1.9. Basic Laws and Regulations Concerning Radioactivity (I. Mašlárová).....	18
2. GEOLOGICAL STRUCTURE OF SLOVAKIA	21
2.1. A brief review of the geological structure of Slovakia (J. Hók, P. Kováč).....	21
2.2. Slovakia's Characteristics as to its Lithotypes/Lithofacies (J. Daniel, K. Marsina).....	21
3. MINERALS OF RADIOACTIVE ELEMENTS (A. Donát, L. Novotný)	32
3.1. Uranium Minerals.....	32
3.2. Thorium Minerals.....	32
3.3. Uranium- and Thorium-Bearing Minerals.....	33
3.4. Potassium Minerals.....	33
4. RADIOMETRIC INVESTIGATIONS IN SLOVAKIA (J. Tulis)	34
5. URANIUM DEPOSITS IN SLOVAKIA (L. Novotný)	36
6. MEASUREMENT AND ASSESSMENT TECHNIQUES USED TO COMPILE NATURAL-RADIOACTIVITY MAPS (J. Daniel)	40
6.1. Techniques Used to Compile Natural-Rock-Radioactivity Maps.....	40
6.2. Techniques Used to Compile Derived Radon-Risk Map.....	40
6.3. Techniques Used to Compile Maps of Natural Water Radioactivity (L. Lučivjanský).....	42
7. NATURAL-RADIOACTIVITY MAPS OF SLOVAKIA (J. Daniel)	44
7.1. Map of Cosmic Radiation Dose Rate.....	44
7.2. Map of Potassium Concentrations.....	44
7.3. Map of Thorium Concentrations.....	46
7.4. Map of Uranium Concentrations.....	50
7.5. Map of Total Rock Radioactivity eU_t	52
7.6. Map of Rock Gamma Radiation Dose Rate.....	52
7.7. Derived Radon Risk Map.....	56
7.8. Maps of Natural Water Radioactivity.....	58
7.9. Radioactivity of Slovakia's Mineral and Thermal Waters (L. Lučivjanský).....	64
7.10. Natural Rock Radioactivity by Respective Lithotypes.....	64
8. ROCK AND WATER RADIOACTIVITY IN SLOVAKIA (J. Daniel, L. Lučivjanský, M. Stercz, I. Mašlárová)	67
8.1. Paleogene.....	67
8.2. Klippen and Near-Klippen Belts.....	69
8.3. Core mountains.....	70
8.4. Veporic Zone.....	77
8.5. Gemeric Zone.....	79
8.6. Zemplínske vrchy Mts.....	81
8.7. Intramontane Basins.....	82
8.8. Neovolcanics.....	84
9. CONCLUSION (J. Daniel)	87
10. REFERENCES	88

PREDSLOV

Jedným zo základných princípov určujúcich pravidlá hospodárskeho vývoja v najvyspelejších krajinách sveta je princíp trvale udržateľného hospodárskeho a ekonomického rozvoja, integrovaný s ochranou životného prostredia. Vychádza sa tu z poznania, že vzťah človeka k prírodnému prostrediu sa v poslednom období dostal do krízového stavu a že súčasná ekologická kríza má globálny celosvetový charakter. Preto treba obnoviť rovnováhu medzi človekom a životným prostredím. Jednou z podmienok tejto obnovy je dôkladné poznanie životného prostredia a charakterizovanie jeho stavu.

Problematika životného prostredia je široká a zložitá. Zasahuje do všetkých oblastí ľudskej činnosti. Pritom si však treba uvedomiť, že základom udržania života v prírode je udržanie rovnovážneho stavu v prírodnom prostredí. Prírodné prostredie sa preto pokladá za základné a na poznatkoch o ňom sa buduje ďalší environmentálny program týkajúci sa technickej, ekonomickej a sociálnej sféry. Z tohto predpokladu vychádza aj projekt *Výskum geologických faktorov životného prostredia* (1991–1995). Tento projekt bol zameraný na najaktuálnejšie problémy tvorby a ochrany životného prostredia na území Slovenskej republiky vo vzťahu k jeho hlavným zložkám – horninám, pôdam, riečnym sedimentom, podzemným a povrchovým vodám, lesnej biomase a prírodnej rádioaktivity. Výsledkom plnenia tejto úlohy je súbor geochemických atlasov Slovenskej republiky v mierke 1 : 1 000 000.

V súčasnosti sa vo svete venuje veľká pozornosť problematike ochrany obyvateľstva pred účinkami rádioaktívneho žiarenia. Pretože rozhodujúci podiel na celkovom ožiení obyvateľstva má prírodné žiarenie, je prírodnej rádioaktivity hornín a vôd, ale aj problematike radónového rizika venovaná samostatná, štvrtá časť súbornej edície *Geochemický atlas Slovenska*.

Cieľom tohto atlasu je poskytnúť ucelenú a názornú informáciu o prírodnej rádioaktivity vo všetkých jej najdôležitejších zložkách. Táto informácia je určená širokému okruhu odborníkov, ale aj verejnosti. Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky týmto atlasom poskytuje podklady na objektívne zhodnotenie prírodnej rádioaktivity ako jedného z geofaktorov životného prostredia. Dielo má prehĺbiť poznávanie v tomto odbore, ale zároveň má dať i podnety na zamyslenie sa nad účinkami rádioaktivity na človeka. V poslednom období, najmä však po ekologickej katastrofe černo-byľskej atómovej elektrárne, sa čoraz častejšie objavuje heslo: „Neexistuje nijaká dokázateľne neškodná dávka žiarenia“.

Otázky rádioaktivity teda nemožno preceňovať ani podceňovať. Je to jeden z rizikových faktorov životného prostredia. Poznanie jej zákonitostí a stavu prispeje k možnosti účinnej ochrany pred týmto druhom životného rizika. Vyslovujem pevné presvedčenie, že predkladané dielo sa uplatní vo sfére odborného poznávania, ale aj v environmentálnej politike.

Zároveň vyslovujem poďakovanie všetkým, ktorí sa na riešení problematiky prírodnej rádioaktivity zúčastňovali. Štvrtý zväzok *Geochemického atlasu Slovenska* je významným vkladom do pripravovaného Geochemického atlasu Európy.

FOREWORD

One of the main rules controlling economic growth of the world's most developed nations is the principle of permanently sustainable economic growth, i.e. the integration of environmental protection and economic development. This philosophy results from the knowledge that man's attitude to natural environment has recently been inappropriate and the current ecologic crisis has a global, worldwide character. The balance between man and environment must therefore be restored. One of the preconditions to this restoration is a thorough knowledge of the environment and characterization of its state.

The environmental concerns involve a wide and complex array of issues affecting all areas of human activities. One must keep in mind that an essential precondition to life in nature is preserving a balanced state of the environment. That is why the natural environment must be viewed as a basis on which to build further environmental programmes concerning technical, economic and social elements.

The project Research of Geologic Environmental Factors (1991–1995) is also based on this assumption. The project was aimed at resolving the most topical concerns regarding the principal components of Slovakia's environment, namely rocks, soils, alluvial deposits, ground and surface waters, forest biomass and natural radioactivity. The project has resulted in a series of geochemical atlases of the Slovak Republic at scale 1 : 1 000 000.

At present, much attention is paid worldwide to protecting humans from nuclear radiation. The predominant source of total irradiation of humans is natural radiation, hence the natural radioactivity of rocks and waters as well as radon-related hazards are described in Part 4 of the *Geochemical Atlas of Slovakia*.

This Atlas is aimed to provide a comprehensive and easy-to-understand information about natural radioactivity and all its major components. This information is intended for a wide spectrum of experts and the public alike. Thereby the Slovak Environment Ministry provides basic data needed for an objective assessment of one of environmental geofactors – natural radioactivity. The goal is to boost the knowledge of this subject but also to make people think about the effects of radioactivity on them. The slogan „No level of radiation is demonstrably harmless” is increasingly popular, particularly after the Chernobyl nuclear disaster.

The radioactivity issue should therefore be neither overestimated nor underestimated, but it has to be known adequately as one of environmental hazards. The knowledge of characteristics and state of natural radioactivity will facilitate effective protection from it.

I firmly believe that the submitted work will become a useful tool of environmental policy and specialized research.

At the same time I am grateful to all those who participated in the research of natural radioactivity. Volume 4 of the Geochemical Atlas of Slovakia is an important part of the Geochemical Atlas of Europe which is currently being prepared.

Ing. Jozef Daniel

ÚVOD

Poznatky o rádioaktivite hornín, vôd a ovzdušia sa v dejinách prírodných vied viažu na pomerne krátky časový úsek, v podstate len na posledné dve storočia. Urán však ľudstvo využívalo oveľa skôr, než bol objavený ako prvok. Uránové rudy sa používali na farbenie skla už v antike, ako prírodné farbivo slúžil pôvodným obyvateľom Ameriky. Škodlivý vplyv uránu a najmä produktu jeho rozpadu – radónu na zdravie je známy už od stredoveku. Už v 16. storočí Georgius Agricola vo svojom diele *Dvanásť kníh o baníctve a hutníctve* opísal zvláštnu chorobu baníkov v Krušných horách (Jáchymov, Schneeberg), ktorú nazýva „banická choroba“, čo je vlastne rakovina pľúc. Baníci dobývajúci striebornú rudu v Krušných horách začali uránovú rudu nazývať „pechblende“, smolný kameň (smolinec), pretože tam, kde sa objavil tento nerast, nastal v rudných žilách úbytok ťaženého kovu – striebra.

Predmetom vedeckého záujmu sa stal urán roku 1789, keď nemecký chemik Martin-Heinrich Klaproth objavil žltý kyslíčnik uránu a prvok nazval podľa planéty Urán, objavenej roku 1781.

Kovový urán sa v chemicky čistej podobe podarilo získať roku 1841 francúzskemu chemikovi Eugéne Melchiorovi Peligotovi. Koncom roku 1895 objavil Wilhelm Conrad Röntgen lúče X (röntgenové žiarenie) a v úzkej nadväznosti na to začiatkom roku 1896 Henri Becquerel rádioaktívne žiarenie uránu. Manželia Curieovci objavili v decembri 1898 rádium a roku 1910 vyrobili z jáchymovského smolinca (uraninitu) kovové rádium. Rozhodujúci význam pre moderné využitie uránu, a tým pre rozvoj ťažby uránových rúd, mal objav Otta Hahna – štiepenie jadra atómu (1939). Od tohto okamihu, keď sa ukázala reálna možnosť uvoľňovania skrytej energie z atómového jadra, sústredil sa výskumný záujem najskôr, žiaľ, nie na mierové využitie tejto možnosti, ale na vojenské účely. Objav štiepenia jadra uránu podnietil doslova explozívny rozvoj celosvetového prieskumu a ťažby rádioaktívnych rúd. Dejiny rádiológie pred 1. svetovou vojnou zahŕňajú štúdium ionizačných schopností žiarenia, jeho správanie v elektrickom a magnetickom poli, skúmanie absorpcie a rozptylu žiarenia pri prechode hmotou, objavy a získavanie nových rádioaktívnych prvkov, odhaľovanie podstaty a zákonov rádioaktívnych premien rozpadových radov, ale aj poznanie biologických účinkov žiarenia.

Geologický prieskum a ťažba uránu na území Slovenska po 2. svetovej vojne súviseli najmä so strategickými cieľmi. Prvé vyhľadávanie uránových rúd na území Slovenska uskutočňovala od roku 1947 tzv. Revízní skupina Jáchymovských dolů. Zvýšená pozornosť sa pri tom venovala radiometrickým revíznym prácam v prístupných banských dielach prieskumných a ťažobných organizácií na Slovensku. Ich cieľom bolo vyhľadanie, ohodnotenie a ťažba uránových rúd. Práce pokračovali s menšími prestávkami až do roku 1960, keď vznikol Uránový prieskum so sídlom v Spišskej Novej Vsi (súčasť Československého uránového priemyslu), ktorý robil systematický prieskum uránových rúd na území Slovenska. Uránový prieskum, š. p. sa 1. júna 1991 pretransformoval na samostatný slovenský štátny podnik URANPRES a od 1. mája 1994 na URANPRES, spol. s r. o., Spišská Nová Ves.

Vyhľadávania a prieskum uránu sa vykonávali vo všetkých geologických jednotkách Západných Karpát. Práca sa sústredila najmä na kryštalinikum jadrových pohorí, permský útvar celého územia Slovenska, neovulkanické pohoria, ale aj na terciérne panvy.

Výsledky tejto činnosti, takisto výsledky Geofyziky, š. p., Brno a ďalších geologických organizácií sú základným východiskom riešenia úloh súvisiacich s geofaktormi životného prostredia, v tomto prípade prírodnou rádioaktivitou.

Geologický ústav Dionýza Štúra v Bratislave spracoval roku 1990 projekt *Výskum geologických faktorov životného prostredia* (VRANA et al., 1991). Súčasťou tohto projektu je aj výskum prírodnej rádioaktivity hornín a vôd, ktorý s ohľadom na dlhoročnú skúsenosť v tejto oblasti vykonával URANPRES Spišská Nová Ves. Cieľom prác bolo zostavenie máp prírodnej rádioaktivity v jej jednotlivých najdôležitejších zložkách, a to v mierke 1 : 200 000 z územia celého Slovenska a na vybraných plochách v mierke 1 : 50 000. Súčasne sa realizovala úloha *Odvozená mapa radónového rizika v mierke 1 : 200 000*. Sú to prvé práce, ktoré skúmajú prírodnú rádioaktivitu na Slovensku vo všetkých jej zložkách. Iniciováním riešenia týchto úloh Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky zaplnilo medzeru, ktorá v oblasti výskumu prírodnej rádioaktivity existovala. Všetky tieto, ale aj ďalšie práce sú základom zostavenia samostatného *Atlasu prírodnej rádioaktivity Slovenska*.

INTRODUCTION

The research of rock, water and atmospheric radioactivity has been done over a fairly short period of time (actually only in the last two centuries) in the long history of natural sciences. Nevertheless, uranium was used a long time before it was identified as an element. Uranium ores were applied to dye glass in antiquity and the original inhabitants of America used them as a natural dye as well. Noxious effects of uranium, but mainly its daughter – radon on health have been known since the Middle Ages. As early as the 16th century, G. Agricola in his 12 books on mining, smelting and extraction of silver described a strange disease of miners in the Krušné hory (Erzgebirge) Mountains (Jáchymov, Schneeberg). The illness to which he refers as „miners disease“ actually is lung cancer. Miners extracting silver ores in the Krušné hory called uranium ore Pechblende – pitch stone – pitchblende because the occurrence of pitchblende on ore veins meant less silver.

Uranium was not studied by scientists until 1789 when German chemist Martin-Heinrich Klaproth discovered a yellow uranium oxide which he named after the planet Uranus discovered shortly before.

Chemically pure metallic uranium was extracted by French chemist M. Peligot in 1841. W. C. Röntgen discovered X rays at the end of 1895 and consequently H. Becquerel uranium radioactivity in the beginning of 1896. The Curries identified radium in December 1898 and extracted metallic radium from Joachimstal pitchblende (uraninite) in 1910. O. Hahn's discovery of nuclear fission (1939) was of prime importance for modern exploitation and hence also mining of uranium ores. Since a real possibility to release the energy of atomic nucleus was demonstrated, most efforts did not concentrate on harnessing it for peaceful purposes but, sadly, on finding military applications. The discovery of nuclear fission triggered a literally breathtaking boom in worldwide exploration and mining of uranium ores. The history of radiology prior to World War I includes study of ionizing properties of X-rays, their behaviour in electric and magnetic fields, their absorptivity and dispersion by materials, discovery and extraction of further radioactive elements, defining the laws of radioactive decay, determining decay series, and recognition of biological effects of the radiation.

Uranium exploration and mining in Slovakia after World War II were prompted by strategic objectives. The first prospecting for uranium ores in Slovakia by a so-called Investigative team of Jáchymov Mines dates back to 1947. Most attention was paid to radiometric investigations in accessible mine workings, both exploratory and production ones. This survey was aimed at locating, appraising and mining of uranium ores. It continued with short breaks until 1960 when the company Uránový prieskum (Uranium Survey) was established as a subsidiary of Československý uránový priemysel (Czechoslovak Uranium Industry). The Spišská Nová Ves-based subsidiary was entrusted with systematic exploration of uranium ores throughout Slovakia's territory.

The state company Uránový prieskum was transformed into the separate state company URANPRES on June 1, 1991, and into URANPRES Ltd. on May 1, 1994.

All geologic units of the Western Carpathians were explored for uranium, but most exploratory works were done in crystalline massifs of core mountains, Permian throughout Slovakia Neogene volcanic mountains and Tertiary basins.

All these works along with investigations made by Geofyzika (Geophysics) Brno and other geologic companies provided basic information for later projects focused on environmental geofactors including natural radioactivity.

In 1990, the Dionýz Štúr Institute of Geology submitted the project Research of Environmental Geofactors (VRANA et al., 1991). It comprised also research of rock and water natural radioactivity which, because of its long experience with radioactivity issues, was investigated by URANPRES. The research resulted in maps of natural radioactivity in nature's most significant components. All Slovakia is depicted at scale 1 : 200 000 and selected areas at 1 : 50 000. Project Derived Map of Radon Hazards at scale 1 : 200 000 was carried out at the same time. This was the first project to study all components of natural radioactivity in Slovakia. By initiating these projects the Slovak Environment Ministry filled a gap which had previously existed in this field.

All above-mentioned projects as well as other research and exploratory works were used to compile the separate *Atlas of Natural Radioactivity in Slovakia*.

1. PRÍRODNÁ RÁDIOAKTIVITA

Prírodná rádioaktivita je neoddeliteľnou súčasťou životného prostredia. Celá biosféra, a teda aj človek, sa už od svojho vzniku nachádza v poli prírodného rádioaktívneho žiarenia. Rádioaktívnu záťaž vyvolávajú v biosfére dva zdroje: mimozemské (kozmicke) a pozemské (terestriálne) žiarenie. V tomto storočí k pozemskému žiareniu pribudla aj zložka umelej rádioaktivity, ktorú aktivoval človek (jadrové pokusy, atómové elektrárne, rádioterapeutické zariadenia v medicíne a pod.).

Podľa charakteru vplyvu na človeka môžeme zdroje žiarenia rozdeliť na vonkajšie a vnútorné. K vonkajšiemu žiareniu patrí kozmické žiarenie, rádioaktívne žiarenie zemskej kôry, hydrosféry a atmosféry; k vnútornému žiareniu ožiarenie z radionuklidov nachádzajúcich sa v ľudskom organizme a radionuklidov vstupujúcich do organizmu príjmom potravy (ingesciou) a vdychovaním (inhaláciou). Roku 1988 špeciálna komisia OSN (UNSCEAR) uviedla prehľad hlavných zdrojov žiarenia a zhodnotenie ich príspevku k ožiareniu populácie (obr. 1 znázorňuje základné rozdelenie hlavných zdrojov žiarenia). Celkové priemerné ročné efektívne dávkové ekvivalenty z prírodných zdrojov žiarenia sú zhrnuté v tabuľke 1.

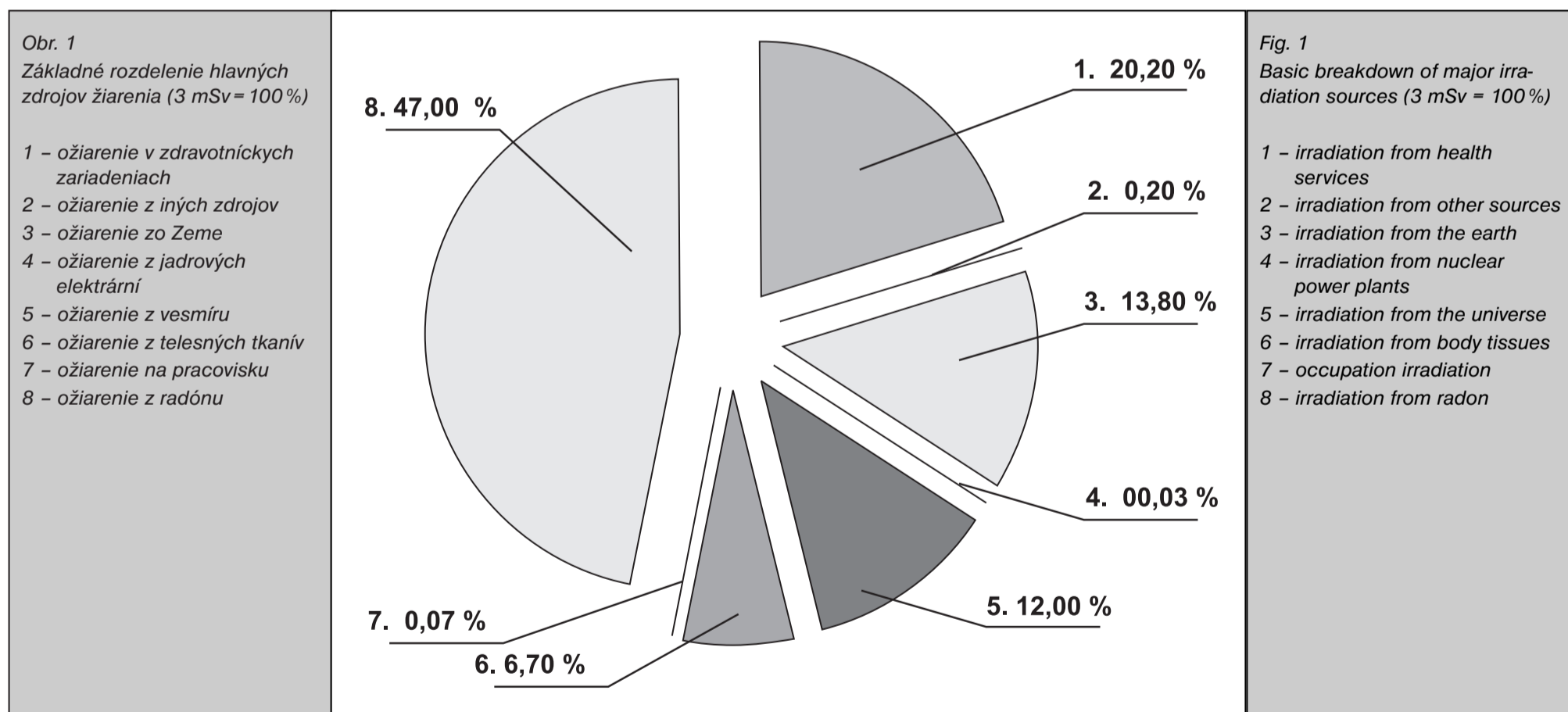
1. NATURAL RADIOACTIVITY

Natural radioactivity is an inseparable constituent of the environment. Ever since its formation, the entire biosphere including humans is exposed to natural radiation. Radiation in the biosphere comes from two sources: extraterrestrial (cosmic) and terrestrial. Man-made radioactivity (nuclear tests, nuclear power plants, medical instruments, etc.) has appeared as late as this century.

As to the character of the impact on humans, radiation sources can be divided into outer and inner ones. The former comprise cosmic radiation, nuclear radiation of the earth's crust, hydrosphere and atmosphere, while the latter include radiation from radionuclides in human body and radionuclides ingested as food or inhaled.

In 1988, a special UN commission (UNSCEAR) summarized major radiation sources and their respective shares in human irradiation. The major radiation sources are given in Fig. 1. Total average annual effective dose equivalents from natural radiation sources are summarized in Tab. 1.

Zdroj žiarenia / Radiation source	Ožiarenie / Irradiation					
	Vonkajšie / Outer		Vnútorné / Inner		Spolu / Total	
	mSv	%	mSv	%	mSv	%
Kozmické žiarenie / Cosmic radiation	0,410	16,9	0,015	0,6	0,425	17,5
Pozemské žiarenie – základné radionuklidy: Terrestrial radiation – basic radionuclides:						
K-40	0,150	6,2	0,180	7,4	0,330	13,6
U-238	0,100	4,2	1,239	51,0	1,339	55,1
Th-232	0,160	6,5	0,176	7,2	0,336	13,8
Spolu / Total	0,820	33,8	1,610	66,2	2,430	100,0



1.1. Fyzikálne základy rádioaktivity a jadrové žiarenie

Na lepšie pochopenie významu rádioaktivity v životnom prostredí si treba pripomenúť základné poznatky o stavbe hmoty.

Stavba hmoty

Atómy prvkov sa skladajú z jadra a elektrónového obalu. Jadro tvoria protóny a neutróny. Jeho polomer je rádovo 10^{-15} m, polomer atómu je

1.1. Physical Principles of Radioactivity and Nuclear Radiation

To better understand the role of radioactivity in the environment, basic knowledge of the structure of matter must be reminded.

Structure of Matter

Atoms of elements consist of a nucleus and orbiting electrons. The nucleus is composed of protons and neutrons. Its radius is approximately 10^{-15} m,

rádovo 10^{-10} m. Elektróny v elektrónovom obale sa pohybujú na sférach označovaných K, L, M, N, O, P, Q, pričom sféra K je k jadrú najbližšie. Nukleóny (protóny a neutróny) majú hmotnosť $1,67 \cdot 10^{-27}$ kg, elektróny $9,11 \cdot 10^{-31}$ kg. Protóny nesú kladný elementárny náboj, elektróny záporný a neutróny sú bez náboja.

Izotopy (nuklidy) prvkov sa označujú symbolom ${}^A X$, kde X je chemický symbol prvku. Index A je hmotnostné číslo prvku, ktoré vyjadruje počet nukleónov v jadre prvku.

Rádioaktívny rozpad

Jadrá atómov niektorých prvkov sa vplyvom pôsobenia externého žiarenia alebo v dôsledku vnútornej nestability premieňajú (rozpadajú). Túto premenu sprevádza emisia častíc alebo energie, ktorú nazývame rádioaktívnym žiarením.

V prírode je známych viac ako 230 typov nuklidov, ktoré sú rádioaktívne. Okrem nich existuje množstvo umelých rádionuklidov, ktoré vznikajú za umelo vyvolaných podmienok. Rozpadom rádioaktívnych prvkov vzniká alfa, beta a gama žiarenie.

Prírodné rádionuklidy sa delia na skupinu vytvárajúcu rozpadové rady a na rádionuklidy, ktorých prvé produkty rozpadu sú stabilné. Rádioaktívne rozpadové rady sa nazývajú podľa materského prvku: uránový rad (z nuklidu ${}^{238}\text{U}$), aktinouránový rad (z nuklidu ${}^{235}\text{U}$) a tóriový rad (z nuklidu ${}^{232}\text{Th}$). Stabilnými prvkami týchto radov sú izotopy olova (${}^{206}\text{Pb}$, ${}^{207}\text{Pb}$ a ${}^{208}\text{Pb}$). Rádioaktívne rozpadové rady spolu s polčasom rozpadu, t. j. s časovým intervalom, za ktorý sa rozpadne polovica množstva rádionuklidu, sú znázornené na obr. 3. Do druhej skupiny prírodných rádionuklidov patria ${}^{40}\text{K}$, ${}^{48}\text{Ca}$, ${}^{87}\text{Rb}$, ${}^{96}\text{Zr}$, ${}^{147}\text{Sm}$ a iné. S ohľadom na ich výskyt v horninách je z nich najdôležitejší draslík.

Rádioaktívny rozpad prebieha podľa vzorca:

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t},$$

kde N_0 = pôvodný počet atómov na začiatku pozorovania

N_t = počet atómov po uplynutí času t

e = základ prirodzených logaritmov

λ = rozpadová konštanta prvku

t = čas trvania premeny prvku

Rádioaktívne žiarenie

Podľa typu častíc a podľa ich správania sa v elektrickom a magnetickom poli rozlišujeme niekoľko druhov rádioaktívneho žiarenia. Energia žiarenia je pre každý rádionuklid charakteristická.

Žiarenie alfa vzniká pri alfa-rozpade a možno ho charakterizovať ako emisiu atómových jadier hélia (dva protóny a dva neutróny). Toto žiarenie má silné ionizačné účinky, pri prechode hmotou teda vytvára veľký počet iónových párov a má malú prenikavosť. Častice alfa na energetickej hladine $E_0 < 10$ MeV majú priemernú dĺžku doletu vo vzduchu do 10 cm a v pevnej látke 0,01 mm.

Žiarenie beta vzniká pri beta-rozpade, keď sú emitovanými časticami elektróny. Pri energetickej úrovni $E_0 = 1$ MeV majú častice dolet vo vzduchu do 3,9 m, vo vode 4,38 mm a v hornine do 10 mm. Spektrum energií častíc žiarenia beta je spojité.

that of the whole atom is about 10^{-10} m. Electrons orbit on spheres designated K, L, M, N, O, P and Q, with K being the closest to the nucleus. Nucleons (protons and neutrons) have a mass of 1.67×10^{-27} kg and electrons 9.11×10^{-31} . Protons carry a positive elementary charge, electrons are charged negatively, while neutrons have no charge.

Elemental isotopes are designated ${}^A X$ where X is the element's chemical symbol. Index A marks the element's mass number which is equal to the number of nucleons in the element's nucleus.

Radioactive Decay

Atomic nuclei of some elements change (decay) due to external radiation or internal instability. This change gives rise to the emission of particles of energy which is referred to as nuclear radiation.

More than 230 radioactive atomic nuclei have been identified in nature. In addition, a number of man-made radionuclides exist which form under artificial conditions. Decay of natural radioactive elements gives rise to alpha, beta and gamma radiation.

Natural radionuclides fall into two categories: 1. radionuclides forming decay series and 2. radionuclides whose decay products are stable. Radioactive decay series are named for their parent element: uranium series (from nuclide ${}^{238}\text{U}$), actinouranium series (from nuclide ${}^{235}\text{U}$) and thorium series (from nuclide ${}^{232}\text{Th}$). Stable elements of these series are lead isotopes (${}^{206}\text{Pb}$, ${}^{207}\text{Pb}$, ${}^{208}\text{Pb}$). Radioactive decay series and decay half-lives, i.e. time interval when a half of the radionuclide mass decays, are shown in Fig. 3. Natural radionuclides include ${}^{40}\text{K}$, ${}^{48}\text{Ca}$, ${}^{87}\text{Rb}$, ${}^{96}\text{Zr}$, ${}^{147}\text{Sm}$ and others. Of these, potassium is the most widespread in rocks.

Radioactive decay is expressed by the formula below:

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t},$$

where N_0 = original number of atoms at the beginning of observations

N_t = number of atoms after time t

e = base of natural logarithms

λ = decay constant of the element

t = duration of element decay

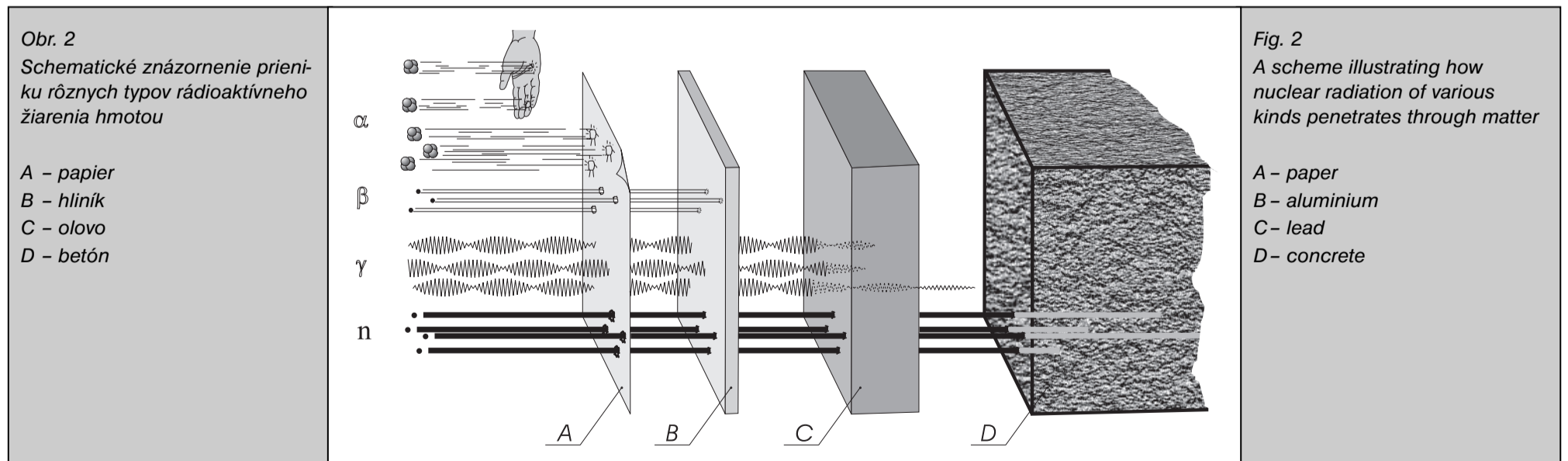
Nuclear radiation

Several kinds of radioactivity have been distinguished as to the type of particles and their behaviour in electric and magnetic fields. Each radionuclide is characterized by its radiation energy.

Alpha radiation is emitted by alpha decay and can be described as an emission of atomic nuclei of helium (two protons and two neutrons). This radiation causes strong ionization (a number of ion pairs is created as alpha rays pass through a matter) and poorly penetrates into matter. Particles on energetical level $E_0 < 10$ MeV fly on average up to 10 cm in air and 0.01 mm in a solid substance.

Beta radiation consists of emitted electrons and is caused by beta decay. Particles on energetical level $E_0 = 1$ MeV fly up to 3.9 m in air, 4.38 mm in water and up to 10 mm in rock. Energetic spectrum of beta particles is continuous.

Gamma radiation (gamma activity) are electromagnetic waves related to radioactive decay. It causes fairly weak ionization, and its range on energetic



Žiarením gama (gamaaktivitou) sa nazýva elektromagnetické vlnenie, ktoré sprevádza rádioaktívnu premenu. Má relatívne malé ionizačné účinky a pri energetickej hladine $E_0 < 2,6$ MeV má dolet vo vzduchu do 700 m, v horine do 0,5 m. Pokles energie gamakvánt pri prechode hmotou je funkciou ich energetickej hladiny a zloženia prekážky.

Neutrónové žiarenie je emisiou neutrónov. Pri prelete hmotou nastáva interakcia s atómami hmoty. Typ a intenzita tejto interakcie závisí od energie neutrónu a od protónového čísla atómov hmoty. Keďže neutrónové žiarenie nie je charakteristické pre prírodné rádionuklidy, nebudeme ho bližšie rozoberať.

Prestup žiarenia alfa, beta, gama a neutrónového žiarenia hmotou je znázornený na obr. 2.

1.2. Kozmické žiarenie

Špecifickým typom rádioaktívneho žiarenia je kozmické žiarenie. Je to vysokoenergetický tok atómových jadier ľahkých prvkov, ktorý preniká do atmosféry Zeme z vesmíru. Tvoria ho predovšetkým protóny. Toto žiarenie sa nazýva primárnym kozmickým žiarením a delíme ho na galaktické (pochádzajúce z našej galaxie) a solárne (slnečné). Okrem primárneho kozmického žiarenia existuje aj kozmické žiarenie sekundárne, vznikajúce interakciou primárneho kozmického žiarenia so zložkami atmosféry, pri čom vznikajú všetky dnes známe elementárne častice.

Hustota toku častíc kozmického žiarenia závisí od mnohých vonkajších činiteľov. V prvom rade ide o vplyv zemského magnetického poľa, ktoré spôsobuje, že na rovníku preniká kozmické žiarenie na zemský povrch v menšej miere ako na pólach. Ďalším významným vplyvom je nadmorská výška, s ktorou súvisí objemová hmotnosť vzduchu. Do výšky 20 km intenzita účinkov rastie, od tejto výšky je konštantná resp. klesá.

Hodnoty dávkového príkonu z kozmického žiarenia na území Slovenska sú v rozmedzí 38 (Streda nad Bodrogom) až 92 nGy.h⁻¹ (Lomnický štít). Priemerné nadmorské výšky osídlení od 100 do 1 000 m n. m. platia hodnoty od 38,4 do 54,1 nGy.h⁻¹.

1.3. Prírodné rádioaktívne prvky v horninách

Podstatnú časť rádioaktivity hornín podmieňuje z viac ako 230 prírodných nuklidov prítomnosť rádionuklidov draslíka (⁴⁰K), uránu (²³⁸U) a tória (²³²Th), ktoré sú prvkami litofilnými.

Urán a tórium vytvárajú prírodné rádioaktívne rozpadové rady, ktorých členy sú nestabilné a vystupujú ako zdroje rádioaktívneho žiarenia. Dôležitým členom uvedených rozpadových radov je plynný prvok radón. Vzhľadom na radiačnú záťaž obyvateľstva sa radón pokladá za najzávažnejší zdroj prírodného žiarenia. Preto sú jeho vlastnosti opísané v samostatnej kapitole 1.4. tohto atlasu.

Urán a tórium vystupujú spoločne v mnohých mineráloch, a spolu s členmi svojich rozpadových radov (obr. 3) rozhodujú o rádioaktivite minerálov a hornín. V prírode sú známe tri izotopy uránu, a to ²³⁴U, ²³⁵U a ²³⁸U, ktoré sú zastúpené v pomere 0,005 % : 0,715 % : 99,28 %. Izotop ²³⁸U je základným členom uránovo-rádiového rozpadového radu, ktorého jedným z členov je i ²³⁴U. Tento rad sa končí stabilným členom ²⁰⁶Pb. Izotop ²³⁵U je prvým členom uránovo-aktíniového radu. Posledným jeho členom je ²⁰⁷Pb. Tóriový rad je odvodený od svojho prvého člena, ktorým je ²³²Th. Končí sa stabilným členom izotopom olova ²⁰⁸Pb.

Rádioaktivitu draslíka, ktorý sa v prírode hojne vyskytuje, tvorí rádioaktívny izotop draslíka ⁴⁰K, ktorý je v prírodnej zmesi draslíka zastúpený len 0,012 %.

Polčasy rozpadov základných rádionuklidov hornín sú:

- ²³⁸U 4,51 · 10⁹ rokov
- ²³²Th 1,4 · 10¹⁰ rokov
- ⁴⁰K 1,3 · 10⁹ rokov

Tieto polčasy rozpadu je možné porovnávať s vekom zeme, t. j. 4,5 · 10⁹ rokov (MATOLÍN, 1994).

V zemskej kôre majú jednotlivé rádioaktívne prvky takéto zastúpenie:

- urán 2–3 ppm
- tórium 8–12 ppm
- draslík 2,5 %.

Rádioaktívne prvky sú hlavným zdrojom rádioaktívneho žiarenia hornín.

Urán sa v horninách nachádza v troch formách. Jednak tvorí samostatné minerály, jednak je izomorfne primiešaný v horninotvorných mineráloch a napokon sa vyskytuje v rozptýlenej forme.

level $E_0 < 2.6$ MeV is up to 700 m in air and up to 0.5 m in rock. A drop in gammaquantum energy as it penetrates through a substance is controlled by the gammaquantum energetic level and the composition of the substance.

Neutron radiation is a neutron emission. While penetrating into a substance, the radiation interacts with its atoms. The type and intensity of the interaction depend on the neutron energy and proton number of the substance's atoms. As neutron radiation is not typically furnished by natural radionuclides, it will not be dealt with in more detail.

The penetration of alpha, beta, gamma and neutron radiations into matter is illustrated in Fig. 2.

1.2. Cosmic Radiation

Cosmic radiation is a special type of nuclear radiation. This highly energetic radiation comes into the earth's atmosphere from the universe. It is a flow of atomic nuclei of light elements with high energy, mainly protons. This radiation is referred to as primary cosmic radiation. It can be divided into galactic (originating in our Galaxy) and solar (from the Sun). Aside from the primary cosmic radiation, secondary cosmic radiation exists, too. It is caused by the interaction between the primary one and the atmosphere which gives rise to the all now known elementary particles.

The flow density of cosmic radiation particles is controlled by a multitude of outer phenomena. The most significant of them is the effect of the earth's magnetic field, because of which more cosmic radiation reaches the earth's surface on the poles than on the equator. Another major control is the altitude which in turn controls specific gravity of air. The effects increase with the increasing altitude until as high as 20 km and then they become constant or even decline.

Cosmic radiation dose rate in Slovakia in altitudes between 100 and 1 000 m varies from 38.4 to 54.1 nGy.hr⁻¹. The lowest values occur at Streda nad Bodrogom (38) and the highest on the summit of Mt. Lomnický štít (92 nGy.hr⁻¹).

1.3. Natural Radioactive Elements in Rocks

Out of 230 natural radionuclides, the most important ones include the lithophile elements potassium (⁴⁰K), uranium (²³⁸U) and thorium (²³²Th) which furnish most of rock radioactivity.

Uranium and thorium create natural radioactive decay series whose members are unstable and hence radioactive. The gaseous element radon is an important member of the above decay series. It is considered the most important source of natural irradiation of humans and therefore its properties are described in the separate chapter 1.4. of this Atlas.

Uranium and thorium jointly occur in numerous minerals and, along with their daughters (Fig. 3), decisively control mineral and rock radioactivity. Three uranium isotopes, namely ²³⁴U, ²³⁵U and ²³⁸U, have been identified in nature, their respective percentages being 0.0058 %, 0.715 % and 99.28 % of the total uranium content. The latter isotope is a basic member of the uranium-thorium decay series whose members comprise also ²³⁴U. This series ends with stable ²⁰⁶Pb. The isotope ²³⁵U is the first member of the uranium-actinium series, and ²⁰⁷Pb is its last member. The thorium series is derived from its first member ²³²Th. The series is terminated by the stable lead isotope ²⁰⁸Pb.

Radioactivity of potassium, which is abundant in nature, is caused by its radioactive isotope ⁴⁰K which accounts for a mere 0.012 % of all natural potassium.

Half-lives of major radioactive elements in rocks are as follows:

²³⁸ U	4.51 × 10 ⁹ years
²³² Th	1.40 × 10 ¹⁰ years
⁴⁰ K	1.415 × 10 ⁹ years

The above half-lives are comparable to the age of the earth, i.e. 4.5 × 10⁹ years (MATOLÍN, 1994).

The average contents of radioactive elements in the earth's crust are as follows:

- 2–3 ppm uranium
- 8–12 ppm thorium
- 2.5 % potassium

Radioactive elements are the main source of rock nuclear radiation. Uranium is found in rocks in three forms: uranium minerals, isomorphous admixtures in rock-forming minerals and disseminations. Thorium is a lithophile element. During magmatic differentiation the element concentrates in later phases where it replaces rare earths in minerals.

Tórium je prvkom s litofilným charakterom. Pri magmatickej diferenciacii sa koncentruje v neskorých štádiách a nahrádza v mineráloch prvky vzácnych zemín.

Draslík má takisto litofilný charakter. Spolu s kremíkom, sodíkom a vápnikom je hlavným horninotvorným prvkom. Jeho nahromadenie nastáva pri draselnej metasomatóze.

1.4. Radón

Prvoradú pozornosť spomedzi rádioaktívnych prvkov si zasluhuje radón. Z obrázku 1 je zrejmé, že práve tento prvok je najvýznamnejším zdrojom prírodného žiarenia. Radón a jeho dcérske produkty spôsobujú približne polovicu radiačnej záťaže obyvateľstva.

Izotopy radónu vznikajú rádioaktívnou premenou z izotopu rádia, ktorý je jedným z členov rozpadových radov. Pôda, vzduch, alebo voda v horninách sú sprostredkovateľmi prenosu radónu z hornín do atmosféry. Radón prináleží do skupiny inertných plynov. Má protónové číslo 86 a v prírode je zastúpený tromi nuklidmi (tab. 2).

Veľmi nepriaznivý vplyv na ožiarenie ľudí majú dcérske produkty rozpadu radónu. Charakteristika týchto rádionuklidov je na obr. 3 a v tab. 3.

NUKLIDY RADÓNU		TAB. 2		RADON NUCLIDES	
Rozpadový rad / Decay series	Nuklid / Nuclid	Polčas rozpadu / Decay halflife	Názov / Name		
uránový / uranium	Rn-222	3,82 dňa / 3.82 days	radón / radon		
urán-aktiniový / uran-actinon	Rn-219	3,92 sekúnd / 3.92 seconds	aktinón / actinon		
tóriový / thorium	Rn-220	55,3 sekúnd / 55.3 seconds	torón / toron		

PRODUKTY ROZPADU ²²² Rn		TAB. 3		²²² Rn DECAY PRODUCTS	
Rádionuklid / Radionuclide	Polčas rozpadu / Decay halflife	Spôsob rozpadu / Decay manner	Energia častíc alfa (MeV) / Alpha particle energy		
Rn-222	3,82 dňa / 3.82 days	alfa / alpha	5,48		
Po-218	3,05 min. / 3.05 min.	alfa / alpha	6,00		
Pb-214	26,8 min. / 26.8 min.	beta / beta	–		
Bi-214	19,7 min. / 19.7 min.	beta / beta	–		
Po-214	1,6 · 10 ⁻⁴ s / 1.6 · 10 ⁻⁴ s	alfa / alpha	7,68		
Pb-210	22 rokov / 22 years	beta / beta	–		

Koncentrácia radónu v pôdnom vzduchu závisí od obsahu U a Th v horninách a od fyzikálnych vlastností hornín.

Objemová aktivita radónu (a_v) v horninovom prostredí je priamo úmerná hmotnostnej aktivite rádia v horninovom prostredí, hustote horninového prostredia, koeficientu emanácie a nepriamo úmerná jeho pórovitosti. Z regionálneho hľadiska ovplyvňujú objemovú aktivitu radónu pri bežných koncentráciách rádia v horninovom komplexe zmeny hustoty a pórovitosti prostredia.

V horninovom prostredí sa radón šíri difúziou a konvekciou. Difúziu spôsobuje pohyb molekúl v smere gradientu koncentrácie a preto je ovplyvnená vlastnosťami prostredia (pórovitosť, vlhkosť a pod.).

Konvekčné prúdenie emanácie (radónu) spôsobuje zmena fyzikálnych podmienok prostredia (teplotné a tlakové gradienty) a pohyb vôd. Uplatňuje sa najmä v tektonicky porušených zónach, v zlomoch a v prostredí s vysokými hodnotami koeficientu difúzie (pórovité horniny, silne vyvinutý zvetralinový plášť a pod.). V porovnaní s difúziou je dĺžka transportu radónu konvekciou asi o rád väčšia.

Veľký význam pre prenos radónu má tektonická prepracovanosť hornín. Tektonické poruchy umožňujú transport radónu na veľké vzdialenosti.

Medzi faktory ovplyvňujúce pohyb radónu patrí napr. koeficient priepustnosti hornín. Všeobecne platí, že radón v zóne aktívneho pohybu podzemných vôd ľahšie migruje do prostredia s vyššou priepustnosťou. Krátkodobé a dlhodobé variácie radónu sú späté s klimatickými pomermi. Veľmi dôležité sú najmä výrazné rozdiely v objemovej aktivite radónu meranej v zimnom a letnom období (v zime sa namerajú trojnásobky výsledkov letných meraní), vyznačujúce sa výrazným gradientom rastu resp. poklesu v jesennom a jarnom období. Tieto zmeny nepriamo súvisia so zmenami teploty vzduchu a pôdy. Zmeny teploty pôdneho prostredia sú sprevádzané aj zmenami pôdnej vlhkosti, čím ovplyvňujú emanačné prostredie a tým aj objemovú aktivitu radónu.

Potassium also is an element of lithophile character. It is a major rock-forming element along with silicium, sodium and calcium. Rocks are enriched in this element through potassic metasomatism.

1.4. Radon

Radon is a radioactive element of prime importance. Fig. 1 indicates that radon is the most significant source of natural radiation. Radon and its daughters account for approximately a half of human irradiation.

Radon isotopes emanate from radium which is a member of decay series. Radon diffuses from rocks through soils, air or waters in rocks into the atmosphere. Radon is an inert gas. The element has three natural isotopes and a proton number 86 (Tab. 2).

So-called radon daughters are extremely important for human irradiation. These products are characterized in Fig. 3 and Tab. 3.

Radon concentration in soil air is controlled by U and Th contents in rocks and physical properties of rocks.

Radon volume activity (a_v) also directly depends on radium mass activity in a rock environment, density of the rock environment emanation coefficient and conversely on the environment porosity. From a re-

gional point of view, changes in environment density and porosity substantially affect radon volume activity at common radon concentrations in rocks.

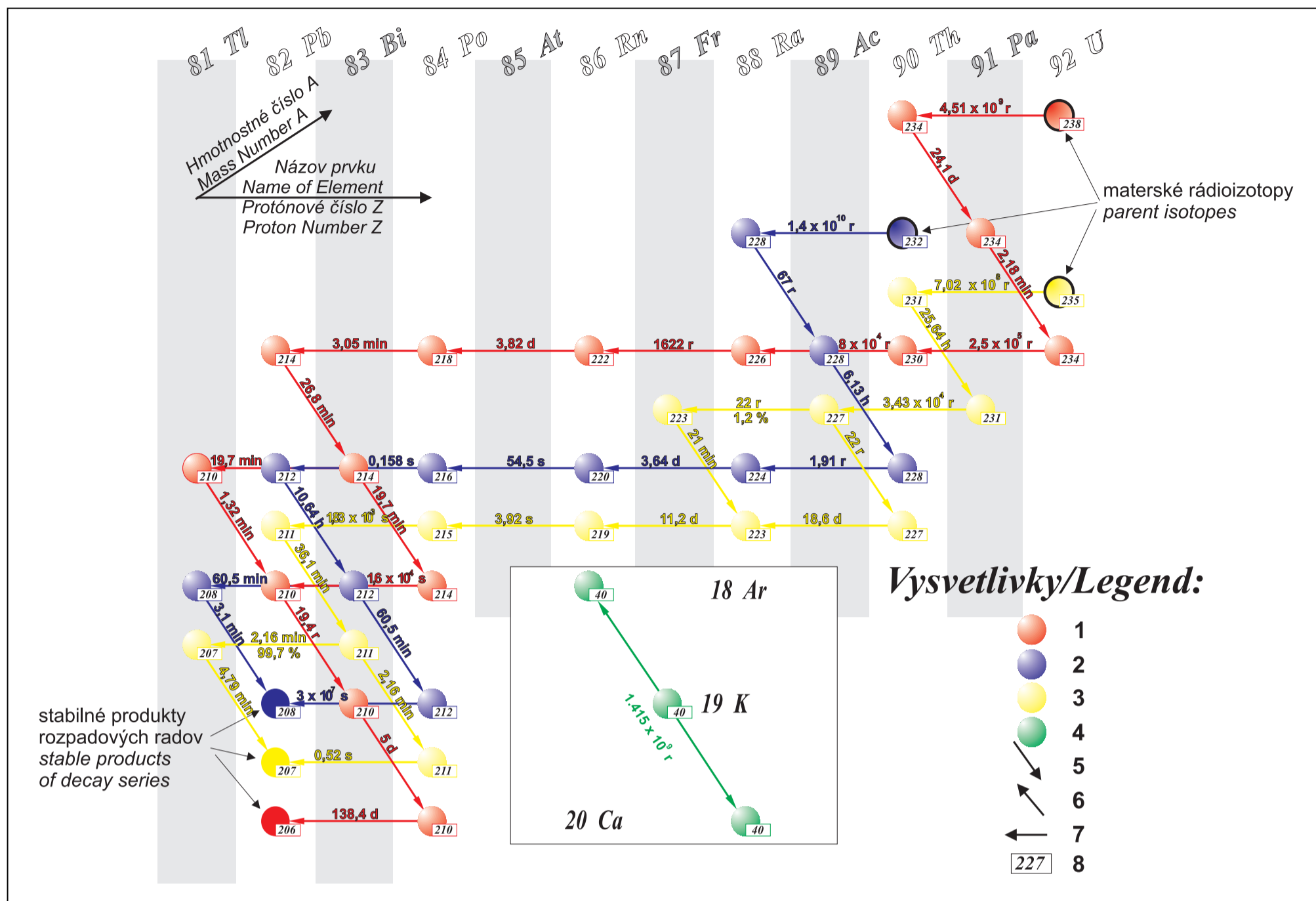
Radon spreads in rocks through diffusion and convection. The former is a movement of molecules in the direction of falling concentration gradient and depends on the properties of the environment (porosity, moisture, etc.).

Convective flow of emanated gas (radon) is caused by changing physical conditions in the surrounding environment (temperature and pressure gradients) and water circulation. It takes place largely in tectonically fractured zones and faults and in environments with high diffusion coefficient, such as porous rocks, strongly weathered rocks, etc. Radon transport through convection is approximately by one order higher than that through diffusion.

Radon transport is considerably facilitated by tectonic fracturing of rocks as the gas can travel along dislocations for long distances.

Further factors controlling radon movement include the permeability coefficient of the rock. In general, flowing groundwaters make it easier for radon to migrate into more permeable environments. Climatic conditions give rise to long and short variations in radon concentrations. Extremely important are major differences in radon volume activity between winter and summer (up to three times volume activity of Rn) with sharp growth and fall gradients in autumn and spring. These changes are indirectly linked to changes in air and soil temperatures. The changes in soil temperature go hand in hand with changes in soil moisture which influence emanation environment and thereby also radon volume activity.

Radon from soil emanates through cracks, openings, fissures, and in other ways into dwelling rooms. A scheme showing the penetration of radon into dwelling rooms is in Fig. 4.



Obr. 3
Rozpadové rady

- 1 – člen rozpadového radu uránu
- 2 – člen rozpadového radu tória
- 3 – člen rozpadového radu aktinouránu
- 4 – rádioaktívny rozpad draslíka
- 5 – beta-rozpad
- 6 – záchyt elektrónu
- 7 – alfa-rozpad
- 8 – hmotnostné číslo A

Fig. 3
Decay series

- 1 – member of uranium decay series
- 2 – member of thorium decay series
- 3 – member of actinouranium decay series
- 4 – radioactive decay of potassium
- 5 – beta-decay
- 6 – electron interception
- 7 – alpha-decay
- 8 – mass number A

Radón z pôdy prestupuje do obytných priestorov trhlinami, otvormi, prasklinami, inštaláciami prestupmi v podlahe, ale i ďalšími spôsobmi. Na obr. 4 je schéma prieniku radónu do obytných priestorov.

1.5. Prírodná rádioaktivita vôd

Prírodná rádioaktivita vôd je daná obsahom rozpustených pevných a plyných prírodných rádioaktívnych látok. Hlavnými prírodnými rádionuklidmi podzemných a povrchových vôd, ktoré prechádzajú do vôd z horninového prostredia sú ^{40}K , ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th , ^{226}Ra a ^{222}Rn . Z týchto rádionuklidov sú najčastejšie vo vode zastúpené nuklidy rozpadového radu uránu: zmes $^{238}\text{U} + ^{234}\text{U}$ označovaná ako U_{nat} , ^{226}Ra a ^{222}Rn .

1.5.1. Hydrochemická charakteristika uránu

Urán sa v prírode najčastejšie vyskytuje vo forme štvormocných a šesťmocných zlúčenín. Ión U^{6+} je nestabilný, jeho zlúčeniny ľahko hydrolyzujú a vytvárajú soli komplexného dvojmocného katiónu uranyle UO_2^{2+} . Pre katión UO_2^{2+} sú charakteristické komplexné zlúčeniny s karbonátovým iónom (uranylkarbonáty), ktoré sú ľahko rozpustné vo vode. Štvormocný urán sa nachádza vo forme katiónu U^{4+} v soliach typu UCl_4 a $U(SO_4)_2$. Hydroxid štvormocného uránu je veľmi slabo rozpustný vo vode, a preto jeho koncentrácie vo vodách sú nízke.

1.5. Natural Radioactivity of Waters

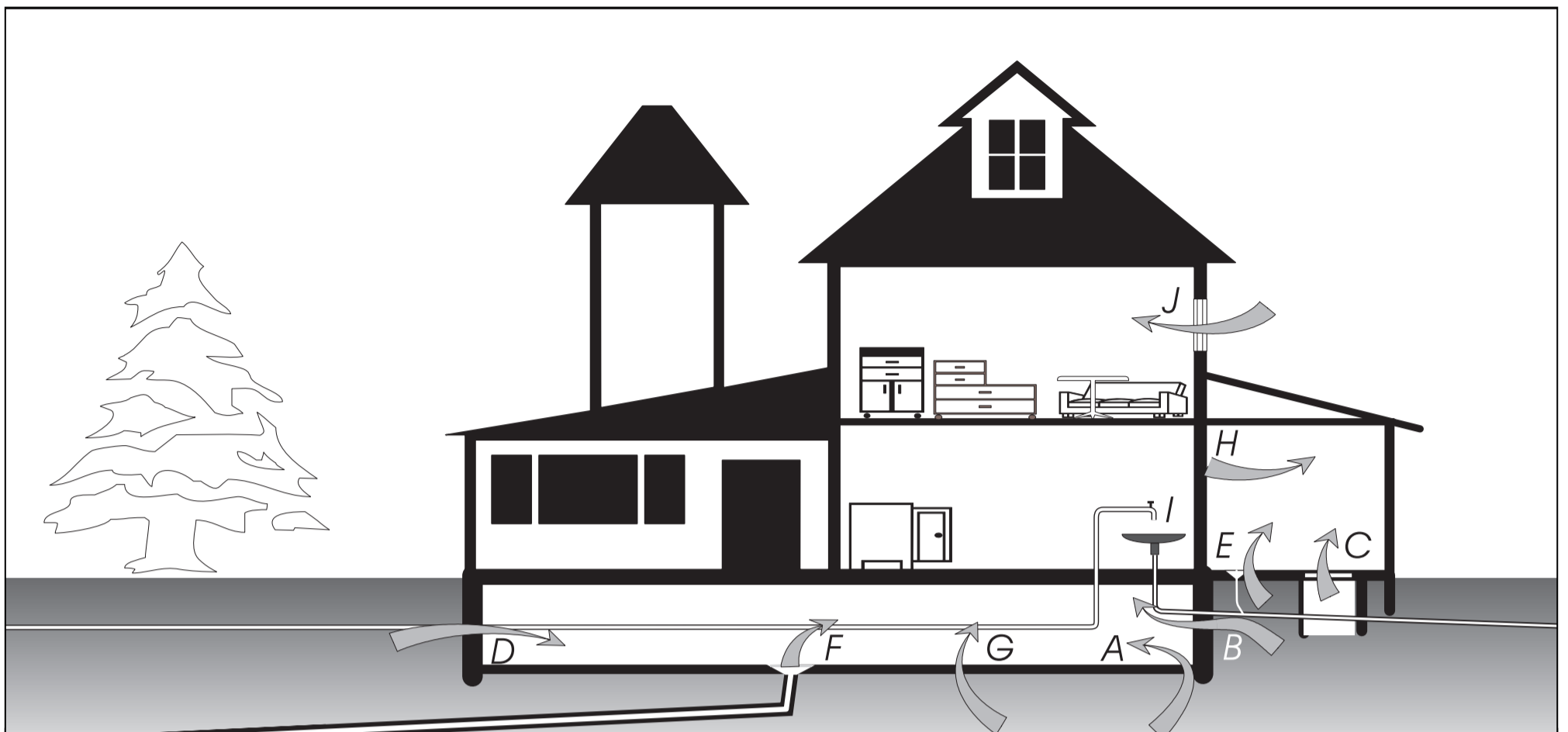
Natural radioactivity of waters is caused by the content of dissolved solid and gaseous natural radioactive substances. Major natural radionuclides in ground and surface waters comprise ^{40}K , ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th , ^{226}Ra and ^{222}Rn all of which pass into waters from a rock environment. Of these radionuclides, those of uranium decay series (a mixture of ^{238}U and ^{234}U referred to as U_{nat} , ^{226}Ra and ^{222}Rn) are most abundant in water.

1.5.1. Hydrochemical Characteristics of Uranium

Uranium occurs in nature mostly as tetra- and hexavalent compounds. U^{6+} is unstable and its compounds are easy to hydrolyse and form salts of the complex divalent cation uranyle UO_2^{2+} . The UO_2^{2+} cation typically forms complex compounds with a carbonate ion – uranylcarbonates which are readily soluble in water. Tetravalent uranium occurs as cation U^{4+} in salts like UCl_4 and $U(SO_4)_2$. Hydroxide of tetravalent uranium is poorly soluble in water and therefore its concentrations in water are low. Essential factors controlling uranium contents in nature are the element's concentration and mode of occurrence in rocks.

Uranium is found in rocks in the following forms:

- uranium minerals dominated by the uranyle group UO_2^{2+} and tetravalent uranium,



Obr. 4
Schematické znázornenie zdrojov radónu v objektoch pozemných stavieb

- A – trhliny medzi stenou a podlahou
- B – trhliny, vznikajúce rozdielnym sadaním suterénnych stien, príp. základovej dosky
- C – netesnosti okolo poklopov revíznych šácht
- D – netesnosti okolo prestupov inštalácií
- E – netesnosti okolo podlahových otvorov
- F – odvodňovacie drenážne potrubie – trativod
- G – difúzia konštrukciami spodnej stavby
- H – exhalácia radónu zo stavebných materiálov
- I – uvoľňovanie radónu z vody, dodávanej do objektu
- J – prítomnosť radónu vo vzduchu, dodávaného ventiláciou

Fig. 4
A scheme showing radon sources in ground structures

- A – cracks between walls and floor
- B – cracks due to different sinking rates of basement walls and/or basement floor
- C – untight lids of inspection shafts
- D – untight piping
- E – untight floor openings
- F – radon influx through a sewage pipe
- G – diffusion through basement construction
- H – radon exhalations from building materials
- I – radon released from water supplied to the building
- J – radon in air supplied in by ventilation

Základným faktorom ovplyvňujúcim obsah uránu v prírode je koncentrácia a spôsob výskytu v horninách. Urán môžeme nájsť v horninách v týchto formách:

- ako samostatný minerál s prevahou výskytu skupiny uranylu UO_2^{2+} nad štvormocným uránom;
- ako izomorfná prímies v kryštálovej mriežke (akcesorické minerály hornín);
- v rozpustenom stave (vo forme uranylovej skupiny UO_2^{2+}), alebo ako kvapalnú uzavreninu v mineráloch a kapilárnych vodách.

Posledná forma je najmobilnejšia a urán sa ľahko vyluhuje kyslými aj zásadito-karbonátovými roztokmi.

Zdrojmi ľahko extrahovateľného uránu z hornín môžu byť:

- primárne uránové minerály patriace medzi oxidy (uraninit) a zložené oxidy, keďže sa v ich zložení okrem štvormocného vždy nachádza aj šesťmocný urán, ktorý sa dobre rozpúšťa v slabých kyselinách. Primárne minerály sú v oxidačnej zóne nahrádzané sekundárnymi uránovými minerálmi (fosfátmi, vanadátmi, silikátmi a pod.), v ktorých je urán šesťmocný. Všetky sekundárne minerály uránu vznikajúce v hypergénnej zóne sú dobre rozpustné v slabých kyselinách;
- neuránové minerály, v ktorých sa urán vyskytuje ako izomorfná prímies, ak sa nachádzajú v metamiktom stave;
- adsorbovaný urán;
- urán rozpustený v kvapalných uzavreninách a v medzizrnovej tekutine.

Urán v takých mineráloch ako je zirkón, apatit, ortit a pod., už prakticky nepodlieha oxidačným procesom.

Pri vzájomnom pôsobení hornín obsahujúcich rádioaktívne prvky a roztokov môžu nastať dva procesy:

- rozpúšťanie – uvoľňovanie rádionuklidov s narušením kryštálovej mriežky
- vylúhovanie – uvoľňovanie rádionuklidov bez narušenia kryštálovej mriežky.

Pri rozpúšťaní sa rádionuklidy dostávajú do vody s tým istým zložením, aké má horninové prostredie a ich diferenciácia nenastáva. Prvky sa len

- isomorphous admixtures in crystal lattice (accessory minerals in rocks)
- dissolved (as uranyl group UO_2^{2+}) or as liquid inclusions in minerals and capillary waters.

The latter form is the most mobile as uranium is readily leached out by acidic as well as basic-carbonate solutions.

Sources of readily extractable uranium from rocks include:

- primary uranium minerals – oxides (uraninite) and complex oxides because, in addition to tetravalent uranium, they always contain also hexavalent uranium which is readily soluble in weak acids. The primary minerals in oxidation zone are replaced by secondary uranium minerals (phosphates, vanadates, silicates, etc.) whose uranium is hexavalent. All secondary uranium minerals formed in the hypergene zone are also easily soluble in weak acids;
- non-uranium minerals in which uranium forms an isomorphous admixture provided that they are in a metamict state;
- adsorbed uranium;
- dissolved uranium in liquid inclusion and in intergranular liquids.

Uranium in minerals such as zircon, apatite, orthite and others, is virtually resistant to oxidation.

Two processes can take place by the mutual interaction of rocks containing radioactive elements:

- dissolution, i.e. liberation of radionuclides through destruction of crystal lattice
- leaching out, i.e. liberation of radionuclides without destructing crystal lattice.

By dissolution, radionuclides are released to water of the same composition as the surrounding rocks, and no differentiation takes place. The elements are only separated during the dissolution sequence due to their different capabilities to form soluble compounds.

By leaching, radioactive elements are liberated without destructing crystal lattice of minerals, and therefore the content and form of occurrence of

rozdedia podľa postupnosti prechodu do vody, ktorá závisí od možnosti vytvárať rozpustené zlúčeniny.

Pri vylúhovaní sa rádioaktívne prvky uvoľňujú bez narušenia kryštálovej mriežky minerálov. Preto obsah a forma výskytu rádioaktívnych prvkov v kryštálovej mriežke je základným faktorom obmedzujúcim obsah konkrétneho prvku vo vodách. Dcérske produkty rozpadu prechádzajú do mikrokapiel a mikroporúch kryštálov, odkiaľ ich môžu roztoky veľmi ľahko extrahovať. Málokedy vytvárajú vlastné minerály. Vylúhovanie sa javí ako základný spôsob prechodu rádioaktívnych prvkov do vôd, preto sa tieto prvky nachádzajú vo vodách v takých pomeroch, že prevládajú dcérske produkty rozpadu. Pri vylúhovaní môže nastať iná distribúcia prvkov aj rádionuklidov (FERRONSKIY et al., 1975).

Koncentrácia uránu v podzemnej vode je veľmi variabilná. Vysvetľujeme to rozdielmi v obsahu a genetických formách uránu v horninách, rôznym hydrodynamickým režimom a hydrochemickou situáciou, ovplyvňujúcou prechod rádioaktívnych prvkov do vody (chemické zloženie vody, pH, množstvo voľného kyslíka, teplota a i.).

Rozlišujú sa tri hydrodynamické zóny obehu vody: zóna intenzívneho, spomaleného a veľmi spomaleného obehu. V zóne intenzívneho kolobehu sa vyskytujú vody s rozpusteným kyslíkom, ktoré sú charakteristické vysokým oxidačno-redukčným potenciálom. V tejto zóne sa odohráva oxidácia štvorvalentného uránu na šesťvalentný a jeho prechod do roztoku. V zónach spomaleného a veľmi spomaleného obehu vody, charakterizovaného redukčnými podmienkami, vody neobsahujú kyslík, ale sú obohatené sírovodíkom a organickou hmotou. V takomto prostredí sa môže uranyl-ión redukovať a usadzovať vo forme hydroxidu $U(OH)_4$, ktorý je ťažko rozpustný. Vody týchto zón obsahujú urán vo veľmi malých koncentráciách.

Základné obohatenie podzemných vôd uránom teda vzniká pri procesoch chemického zvetrávania hornín v podmienkach plytkého kolobehu vody v nevelkých hĺbkach. Zmenšovanie koncentrácie uránu vo vodách súvisí s hĺbkou formovania ich chemizmu. Maximálne hodnoty obsahu uránu sa vyskytujú vo vodách s celkovou mineralizáciou do 1 g.l^{-1} . V nízkych koncentráciách sa urán nachádza v puklinových vodách kryštálických masívov v tých prípadoch, ak sa formovali v hlbších obehoch, vo vodách vulkanitov, uhličítých a mnohých termálnych vodách vzdialených od skôr sformovaných uránových ložísk.

V prírode sa nachádzajú tri rádionuklidy uránu: ^{238}U , ^{235}U a ^{234}U . S ohľadom na svoj vzácny výskyt je prítomnosť ^{235}U vo vodách prakticky bezvýznamná. Rádionuklid ^{234}U je produktom rozpadu ^{238}U a zjavne v kryštálickej mriežke zaujíma iné postavenie ako starší ^{238}U a v procese vylúhovania postupuje prednostne pred ^{238}U . Prírodné vody sú obohatené ^{234}U a pomer aktivít $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} > 1$. Len pri intenzívnom vylúhovaní uránových a uránonosných minerálov je pomer $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} < 1$. Minimálna zistená hodnota pomeru $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ je 0,5. Tieto prípady sú veľmi zriedkavé, patria sem napr. vody vytekajúce z uránových ložísk.

Priemerná hodnota pomeru $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ je v podzemných vodách 1,5, v riekach 1,2, v termálnych vodách 1,3. Hodnoty pomeru $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ sa zväčša pohybujú v rozmedzí od 1 do 2 (GELLERMAN-FRÖHLICH, 1984).

1.5.2. Hydrochemická charakteristika rádia

Rádium je dvojvalentný kov patriaci medzi alkalické zeminy, ktorý nevytvára samostatné minerály, ale tieto zlúčeniny: RaCl_2 , RaBr_2 , RaJ_2 , $\text{Ra}(\text{NO}_3)_2$ (rozpustné vo vode), RaSO_4 a RaCO_3 (prakticky nerozpustné vo vode). BaSO_4 a SrSO_4 sú rozpustnosťou blízke RaSO_4 .

V prírodných vodných roztokoch sa môže rádium nachádzať v iónovej, molekulárnej a pseudokoloidnej forme (aerosoly, suspenzie).

Migrácia rádia nie je ohraničená len jeho chemickými vlastnosťami, ale aj osobitosťami jeho postavenia v mineráloch a roztokoch. Rádium vzniká v rozpadovom rade uránu po piatich premenách. Energia dodaná dcérskym produktom im stačí na prechod niekoľkých desiatok medziuzlových vzdialeností v kryštálovej mriežke minerálu. Preto produkty rozpadu uránu, a teda aj rádium, sa môžu vzdialiť na významné vzdialenosti od svojho materského prvku a dostať sa do mechanických porušení kryštálovej mriežky minerálu, odkiaľ môžu byť vylúhované nezávisle na svojej materskej hmote a bez porušenia kryštálovej mriežky uránového alebo uránonosného minerálu (SYROMJATNIKOV et al., 1976).

Koncentrácie rádia vo vodách sú nízke, a preto nemôžu vzniknúť samostatné usadeniny RaSO_4 a RaCO_3 . Napriek tomu je rádium vo vodách oxidačnej zóny nestále, spolu s iónmi SO_4^{2-} a CO_3^{2-} sa súčasne vyzráža (napr. s BaSO_4 , PbSO_4 , CaCO_3) a ľahko sorbuje na tvrdú fázu (napr. na bahenné usadeniny a travertíny).

Na prítomnosť rádia v tekutej fáze má vplyv aj parciálny tlak CO_2 . Zníženie tlaku vo výstupných tokoch podzemných vôd z jednej strany zapričiňuje

radioaktívne prvky v kryštálovej mriežke sú kľúčovým faktorom kontroly obsahu daného prvku vo vode. Dcérske produkty rozpadu prechádzajú do mikrokapiel a mikrotrhlin v kryštáloch, odkiaľ ich môžu roztoky ľahko extrahovať. Leaching sa javí ako základný spôsob uvoľňovania rádioaktívnych prvkov do vody, a preto obsah rádioaktívnych prvkov vo vodách je dominovaný dcérskymi produktmi rozpadu. Leaching môže tiež viesť k redistribúcii prvkov a rádionuklidov (FERRONSKIY et al., 1975).

Uranium concentrations in groundwaters are highly variable. This can be explained by variable contents and genetic forms of uranium in rocks, diverse hydrodynamic regimes and hydrochemical settings affecting the release of radioactive elements to water (water chemistry, pH, amount of free oxygen, temperature, etc.).

Three hydrodynamic zones of water circulation have been distinguished: zones of intensive, limited and very limited water circulation. The former contains waters with dissolved oxygen characterized by a high oxidation-reduction potential. Tetravalent uranium in this zone is being oxidized to hexavalent one and passes into solution. Waters in the zones of limited and very limited water circulation characterized by reducing conditions are devoid of oxygen but are enriched in hydrogen sulphide and organic matter. In this environment, uranyl ion can be reduced and precipitated as poorly soluble hydroxide $U(OH)_4$. Waters in those two zones contain very little uranium.

Groundwaters become enriched in uranium mostly through chemical weathering of rocks, under conditions of shallow water circulation close to the earth's surface. Uranium concentrations in groundwaters fall with depth, a phenomenon linked to the formation of water chemistry. Maximum uranium concentrations occur in waters whose T.D.S. is below 1 g.l^{-1} . Fissure waters of deeper circulation in crystalline massifs as well as waters in volcanics, carbonate and numerous thermal waters away from preexisting uranium deposits contain little uranium.

Three uranium radionuclides (^{238}U , ^{235}U and ^{234}U) occur naturally. However, ^{235}U occurrences are rare in nature and therefore its concentrations in waters are virtually negligible. Radionuclide ^{234}U is a decay product of ^{238}U and obviously has a different position in crystalline lattices than older ^{238}U . That is why the former isotope is leached out prior to the latter. Natural waters are enriched in ^{234}U and the $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ratio > 1 . Only when intensive leaching of uranium and uranium-bearing minerals takes place, the $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ratio < 1 . The minimum known $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ratio is 0.5. Such waters (e.g. waters draining uranium deposits), however, are extremely rare. The average $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ratio in groundwaters is 1.5, in rivers 1.2 and in thermal waters 1.3. The ratio mostly ranges from 1 to 2 (GELLERMAN-FRÖHLICH, 1984).

1.5.2. Hydrochemical Characteristics of Radium

Radium is a divalent alkaline-earth metal. It has no minerals of its own. Radium compounds include RaCl_2 , RaBr_2 , RaJ_2 , $\text{Ra}(\text{NO}_3)_2$ (soluble in water), RaSO_4 and RaCO_3 (virtually insoluble in water). The solubility of RaSO_4 is similar to that of BaSO_4 and SrSO_4 .

Ion, molecular and pseudocolloidal (aerosols, suspensions) forms of radium are found in natural waters.

The element's migration is not restricted only by its chemical properties but also by its special behaviour in minerals and solutions. Radium is created through five decays in the uranium decay series. Energy supplied to the daughter products allows them to travel several tens of internodal distances in the mineral crystal lattice. Consequently, decay products of uranium, including radium, can travel considerable distances away from their parent element as far as mechanic cracks in the mineral crystal lattice from where they can be leached out while their parent remains in place and the crystal lattice of the uranium or uranium-bearing mineral remains intact (SYROMJATNIKOV et al., 1976).

Radium concentrations in waters are low and cannot give rise to deposits of RaSO_4 and RaCO_3 . Yet, radium in waters of oxidation zone is unstable and precipitates along with SO_4^{2-} and CO_3^{2-} ions to form e.g. BaSO_4 , PbSO_4 , and CaCO_3 and gets easily sorbed to solid phase such as mud deposits and travertines.

Presence of radium in liquid phase is affected also by CO_2 partial pressure. A drop in pressure of groundwaters ascending to the surface results in an abrupt release of volatile components, disruption of CO_2 equilibrium and deposition of calcium carbonates and partly also radium.

rýchle uvoľnenie prchavých zložiek, čo má za následok narušenie rovnováhy CO_2 a usadzovanie karbonátov vápnika, s ktorými sa čiastočne usádza aj rádium. Nasýtenie podzemných vôd CO_2 spôsobuje aj obohatenie vôd rádiom, keďže agresivita vody pôsobiacej na horninové prostredie sa zvýši. Tento faktor obohatenia je významný pre vody pretekajúce cez horniny s vysokými koncentraciami rádioaktívnych prvkov (napr. puklinové vody masívov kyslých magmatických hornín).

Veľký význam pre koncentráciu rádia vo vodách má aj trvanie kolobehu vody v horninách. Rádium získava voda pomalou cirkuláciou vody v puklinách a trhlinách, resp. jej stagnáciou v podzemných akumuláciách. Koncentrácia rádia v roztoku sa zvyšuje s rastom mineralizácie vôd. Vysoké hodnoty koncentrácie rádia sú v minerálnych a termálnych vodách, pochádzajúcich z karbonátových hornín. V povrchových vodách a vodách plytkého obehu závisí koncentrácia rádia len od koncentrácií jeho materských rádionuklidov.

1.5.3. Hydrochemická charakteristika radónu

Radón vzniká rozpadom rádionuklidov rádia. Môže ostať vnútri štruktúry minerálov, alebo sa hromadí v póroch, kapilárach a puklinách. Prestup radónu do prírodných vôd spôsobujú procesy emanácie a difúzie.

Prechod radónu zo zdrojov, ktoré obsahujú rádium do vody alebo hocikákeho iného média charakterizuje emanácia. Emanácia závisí od stavby a pevnosti kryštálovej mriežky minerálov, od rozvetvenosti kapilárnej siete a migrácie materských hmôt. Stupeň emanácie sa hodnotí koeficientom emanácie. Koeficient emanácie hornín, ktoré obsahujú primárne uránové minerály, je ohraničený koeficientom emanácie minerálov. Koeficient emanácie jednotlivých minerálov sa pohybuje od 0,21% (uraninit) do 12,9% (cyrtolit) (GUDZENKO-DUBINČUK, 1987). Ak sú v hornine prítomné aj sekundárne minerály, na koeficient emanácie zvyčajne vplyva aj prítomnosť rádia, ktoré sa vylúhovalo z minerálov a je absorbované horninou. Koeficient emanácie sekundárnych minerálov sa pohybuje od 30 do 65%. Emančná schopnosť nezmenených vulkanických hornín a pevných sedimentárnych hornín je malá. Najvyššiu schopnosť emanácie majú nespevnené sedimenty, čo je spôsobené prítomnosťou mechanických alebo solných aureol rozptýlených rádioaktívnych prvkov.

Koeficient emanácie kyslých magmatických hornín sa obyčajne pohybuje v rozmedzí 15–30%, sedimentárnych a metamorfovaných 10–25%.

Do podzemných vôd radón prestupuje najmä v procese emanácie hornín. Difúzia jeho atómov v pevnej fáze hornín je nepatrná, preto sa radón uvoľňuje len vtedy, ak sa rádium nachádza na povrchu horniny (adsorbované na hornine). Vo vodách takýchto emanujúcich kolektorov je obsah radónu veľmi vysoký. V prípade silne porušenej horniny sa radón uvoľňuje aj z hĺbky kapilár. Podzemná voda získava radón takisto na tektonických zlomoch s rýchlou cirkuláciou vody.

Rozpustnosť radónu vo vode je pomerne vysoká, ale s rastúcou teplotou klesá. Koeficient rozpustnosti pri 5 °C je 0,42, pri 10 °C 0,35, pri 20 °C 0,25 a pri 80 °C len 0,11. Aj pri zvyšovaní mineralizácie vôd koeficient rozpustnosti klesá (GUDZENKO-DUBINČUK, 1987).

Radón obsiahnutý vo vode môže byť dvojakého pôvodu: jednak alogénny – emanačný, ktorý rozdeľujeme na hyperalogénny (do vody sa dostáva z vrchných častí kôry zvetrávania), hypoalogénny (do vody sa dostáva z hlbších častí po tektonických zlomoch), jednak autigénny (vznikajúci rádioaktívnym rozpadom rádia, ktoré obsahuje voda).

Najbežnejšie radónové vody (vody s objemovou aktivitou radónu nad 200 Bq.l⁻¹) patria k slabo mineralizovaným (celková mineralizácia do 1 g.l⁻¹) a studeným (teplota pod 20 °C). Viazu sa zväčša na kyslé kryštalické horniny (leukokratné granity, granodiority, trachyliparity) s plytkou cirkuláciou. Sú to radónové vody kôry zvetrávania kyslých magmatických hornín. Ďalšia časť radónových vôd patrí medzi termálne vody formujúce sa v zónach hlbinných tektonických zlomov. Tieto vody sú prevažne dusíkové a vyznačujú sa zvýšenými hodnotami kyseliny kremičitej. Oproti prvej skupine nedosahuje v nich objemová aktivita radónu až také vysoké hodnoty. Tretím typom sú karbonátové vody nasýtené CO_2 s rôznou mineralizáciou a s vysokým obsahom rádia, vystupujúce z rôznych hĺbok po tektonických zlomoch. Posledným typom radónových vôd sú vody, ktoré pretekajú cez ílovito-travertínové usadeniny. Rádium vynesené z termálnych vôd sa ukladá pri výstupe na povrch v travertínoch a bahenných usadeninách. Studené vody prechádzajúce týmito usadeninami sa potom obohacujú radónom (LANGE, 1969).

Z troch v prírode sa vyskytujúcich nuklidov radónu má v hydrochémií významnejšie miesto len ²²²Rn.

The saturation of groundwaters in CO_2 makes the water more aggressive towards surrounding rocks and as a result the water becomes enriched in radium leached from rocks. This enrichment factor is important for waters circulating through rocks rich in radioactive elements, such as fissure waters in massifs of acid igneous rocks.

The duration of water circulation in rocks is also extremely significant for radium concentration in water. Radium is released to water slowly flowing through fissures and cracks and stagnant in underground reservoirs. Radium concentrations in solutions grow with increasing water mineralization. High radium concentrations are found in mineral and thermal waters draining carbonate massifs. Radium concentrations in surface and shallow-circulation waters are controlled only by the concentrations of its parent and radionuclides.

1.5.3. Hydrochemical Characteristics of Radon

It is formed by the decay of radium radionuclides. It may stay inside the structure of minerals or accumulate in pores, capillaries and fissures. Through emanation and diffusion, radon advances to natural waters.

The transition of radon to water or to any other medium from sources containing radium is characterized by emanation. The emanation depends on the structure and strength of crystal structure of source minerals, density of capillary network and migration of parent matters. Emanation is quantitatively expressed by emanation coefficient. The coefficient for rocks containing primary uranium minerals is limited by emanation coefficients of their minerals. Emanation coefficients of individual minerals vary from 0.21% (uraninite) to 12.9% (cyrtolite) (GUDZENKO, DUBINCHUK, 1987). If the rock contains also secondary minerals, emanation coefficient is influenced by the presence of radium which was leached out of minerals and absorbed to the rock. Emanation coefficients of secondary minerals range from 30 to 65%. Emanation capacities of unaltered volcanics and consolidated sediments are negligible. The highest emanation capacities are typical of unconsolidated sediments whose emanation is caused by mechanic or salt aureoles of disseminated radioactive elements.

Emanation coefficients of acid igneous rocks are mostly 15–30% and those of sedimentary and metamorphosed rocks 10–25%.

From rocks, radon emanates to groundwaters. Diffusion of radon atoms in solid rocks is negligible and therefore radon is released only if radium occurs on the surface of rock (adsorbed to rock). Waters of such emanating aquifers have very high radon contents. In strongly fractured rocks, radon is released also from places deep in capillaries. Groundwater receives radon also on faults with fast water circulation.

Radon solubility in water is fairly high, but falls with increasing temperature. The solubility coefficient at 5 °C is 0.42, at 10 °C 0.35, at 20 °C 0.25 and at 80 °C a mere 0.11. The solubility coefficient falls also with increasing T.D.S. of water (GUDZENKO, DUBINCHUK, 1987). Two origins of radon in water have been distinguished: 1. allogenic – emanation which is subdivided into hyperallogenic (radon is released to water from upper parts of weathering crusts) and hypallogenic (radon passes to water from deeper levels along faults) and 2. authigenic (generated by radioactive decay of radium in water).

Radon waters (whose radon volume activity exceeds 200 Bq.l⁻¹) are largely low-mineralized (T.D.S. below 1 g.l⁻¹) and cold (temperature below 20 °C). They are mostly bound to acid crystalline rocks (leucocratic granites, granodiorites, trachyliparites) with shallow groundwater circulation. These are radon waters of the weathering crust of acid igneous rocks. Other radon waters are thermal waters formed along deep faults. These waters are mostly nitrogen-bearing with increased silica contents. Their radon volume activities are lower than those of the preceding group. A third type consists of CO_2 -saturated carbonate waters of various T.D.S. and high radium contents ascending from various depths along faults. The last kind of radon waters includes waters percolating through clayey-travertine deposits. Radium-rich thermal waters ascending to the surface release this radionuclide in travertines and mud deposits. Cold waters percolating through these deposits then become enriched in radon (LANGE, 1969).

Out of three radon nuclides found in nature, only ²²²Rn plays an important role in hydrochemistry.

1.6. Prírodná rádioaktivita vzduchu

Rádioaktivitu atmosféry spôsobujú rádioaktívne plyny a aerosoly, ktoré sa v nej nachádzajú. Obsah jednotlivých rádioaktívnych prvkov v ovzduší s výnimkou radónu ^{222}Rn , torónu ^{220}Rn a dcérskeho produktu ich rozpadu, je vcelku zanedbateľný. Tento obsah kolíše medzi 0,7 až 15 $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ v závislosti od rozdielneho obsahu rádioaktívnych látok v pôde, od výmeny plynu medzi pôdou a atmosférou a od atmosférických zmien (teplota, tlak, vlhkosť vzduchu, smer a sila vetra...). S poklesom barometrického tlaku a s nárastom teploty rastie aj uvoľňovanie radónu z horninového prostredia. Preto sú hodnoty rádioaktivity v prízemnej vrstve atmosféry vyššie. Priemerný obsah ^{222}Rn v atmosfére sa pohybuje okolo 4 $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. Obsah ^{220}Rn je o jeden rád nižší.

Obsah prírodných rádioaktívnych aerosolov vo vzduchu je pomerne malý. Pohybuje sa v rozmedzí od 10^{-2} do 1,0 $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. Tvorí ho hlavne krátkodobé produkty rozpadu ^{222}Rn a ^{220}Rn .

Okrem radónu sú v atmosfére obsiahnuté aj ďalšie izotopy, a to najmä trícium (^3H) a uhlík (^{14}C), ktoré sa v atmosfére vytvárajú predovšetkým pôsobením kozmického žiarenia. Obsah ^{14}C v celkovom obsahu uhlíka v atmosfére je 10^{-7} promile a stredný obsah trícia v vodíku sa pohybuje od 10^{-14} do 10^{-18} promile.

Na základe týchto poznatkov možno povedať, že hlavnými zdrojmi rádioaktivity atmosféry sú ^{222}Rn a ^{220}Rn .

1.7. Rádionuklidy v potravinovom reťazci

Väčšina potravín bola vypestovaná na pôde s obsahom rádionuklidov, ktoré prenikajú do vegetácie a odtiaľ priamo alebo cez živočíšne produkty sa dostávajú do potravy človeka. Okrem nuklidov v pôde, ktoré rastliny prijímajú koreňmi, môžu prijímať aj nuklidy zo vzduchu (ŠEDA, 1983).

Koreňový systém rastlín nie je schopný rozlíšiť prítomnosť rádionuklidov. Platí, že ak je kation akéhokoľvek prvku prítomný v pôde, je prítomný aj v tkanivách rastlín. Rozsah absorpcie rádionuklidov závisí od jeho chemickej formy, metabolických pochodov v rastline a fyziologických faktorov v pôde (FODERARO, 1968).

Rastlina nie je schopná rozlišovať ani prvky, ktoré sú si chemicky blízke. Rádium, ktoré je chemickou podstatou blízke vápniku, absorbuje koreňový systém podobne ako vápnik. Rýchlosť absorpcie rádia rastlinami preto veľmi závisí od množstva vápnika v pôde a od jeho chemickej väzby. Z ďalších faktorov treba spomenúť hĺbku koreňového systému, vlhkosť pôdy a jej kyslosť.

Rastliny sú nevyhnutnou súčasťou potravy mnohých živočíchov aj človeka. Sú teda aj jedným z prostriedkov vnášania rádioaktívnych látok do ľudského tela. Rádionuklidy sa ukladajú a zhromažďujú v živočíšnych orgánoch a tkanivách, a to v omnoho väčších koncentráciách ako v rastlinách alebo vo vode.

1.8. Základné používané pojmy, vzťahy a jednotky

Rádioaktivita – schopnosť atómových jadier samostatne sa premieňať za súčasného vzniku rádioaktívneho žiarenia.

Prírodná rádioaktivita – rádioaktivita spôsobená prírodnými rádionuklidmi, t. j. rádionuklidmi, ktoré vznikli alebo trvale vznikajú nezávisle od ľudskej činnosti.

Aktivita – miera množstva rádioaktívnej látky. Definuje sa ako stredný počet rádioaktívnych premien rádionuklidu, ktoré prebehnú vo vzorke za jednotku času. Jednotkou je becquerel (Bq), ktorý vyjadruje počet rádioaktívnych premien za 1 sekundu.

Hmotnostná aktivita – pomer aktivity rádionuklidu v látke danej hmotnosti k hmotnosti látky. Jednotkou je becquerel na kilogram ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Objemová aktivita – pomer aktivity rádionuklidu v látke daného objemu k objemu vzorky. Jednotkou je becquerel na meter kubický ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) alebo becquerel na liter ($\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$).

Objemová koncentrácia – pomer hmotnosti rádionuklidu v danom objeme k objemu vzorky. Jednotkou je miligram na liter ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$).

Hmotnostná koncentrácia – pomer hmotnosti rádionuklidu k jednotkovej hmotnosti látky. Pre prírodné rádionuklidy sa používa označenie Q_K , Q_U , Q_{Th} a vyjadrenie hmotnostnej koncentrácie sa udáva pre K v percentách (%), pre U, Th v ppm; $1 \text{ ppm} = 10^{-6} \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$.

Vyjadrenie hmotnostnej koncentrácie jednotlivých zložiek prírodnej rádioaktivity stanovených terénou gamaspektrometriou:

eU – hmotnostná koncentrácia U v ppm eU

eTh – hmotnostná koncentrácia Th v ppm eTh

K – hmotnostná koncentrácia draslíka v %.

1.6. Natural Radioactivity of Air

Atmospheric radioactivity is caused by the content of radioactive gases and aerosols. The contents of individual radionuclides in the atmosphere are negligible except for radon ^{222}Rn , thoron ^{220}Rn and their daughter products. Radionuclide contents in air vary from 0.7 to 15 $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ depending on the content of radioactive matter in soil, exchange of gases between soil and atmosphere, and changes in the atmosphere (air temperature, pressure and humidity, wind direction and speed etc.). Falling air pressure and rising temperature promote the release of radon from rocks. That is why the near-surface layers of air are more radioactive than higher ones. Average ^{222}Rn content in the atmosphere varies around 4 $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. ^{220}Rn contents are lower by one order. Contents of natural aerosols in air are fairly low, between 10^{-2} and 1.0 $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. They consist largely of short-lived decay products of ^{222}Rn and ^{220}Rn . Aside from radon, further radioactive isotopes in the atmosphere comprise mainly tritium (^3H) and carbon (^{14}C) created mostly due to cosmic radiation. ^{14}C constitutes $10^{-7}\%$ of total carbon in the atmosphere, while tritium accounts for 10^{-14} to $10^{-18}\%$ of hydrogen. The above indicates that ^{222}Rn and ^{220}Rn are the main sources of atmospheric radioactivity.

1.7. Radionuclides in Food Chain

Most foods originate in fields whose soils contain radionuclides. From soil, they get to vegetation and further on to food, either directly or through animal meat. Aside from nuclides in soil which are taken up through roots, plants can absorb nuclides from air, too (ŠEDA J., 1983).

Plant root systems are unable to detect radionuclides. Plant tissues contain cations of any element which is present in the underlying soil. The degree of radionuclide absorption is controlled by the chemical form of the radionuclides, metabolic processes in the plant and physiochemical factors in soil (FODERARO, 1968).

Plants are incapable of distinguishing elements which are chemically similar. Radium, whose chemical character is close to calcium, is taken up through roots just like calcium. The rate of radium absorption by plants therefore depends considerably on the amount of calcium in soil and its chemical bonds. Other factors comprise depth of root systems, soil moisture and soil acidity.

Eaten by animals and humans, plants constitute one of several ways how radioactive matter enters human body. Radionuclides accumulate in human and animal organs and tissues in much higher concentrations than in plants or water.

1.8. Basic Terms, Relationships and Units Used

Radioactivity – ability of atom nuclei to decay spontaneously emitting nuclear radiation.

Natural radioactivity – radioactivity caused by natural radionuclides, i.e. radionuclides which have been formed or are permanently being formed independently of human activities.

Activity – a measure of the quantity of a radioactive matter. It is defined as a mean number of radioactive decays of a radionuclide which take place in a given sample over a unit time; its unit is becquerel (Bq) which gives the number of radioactive decays per 1 second.

Weight activity – activity of a unit mass of sample; its unit is becquerel per kilogram ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Volume activity – activity of a unit volume of sample. Its units are becquerel per cubic metre ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) or becquerel per liter ($\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$).

Volume concentration – the amount of a radionuclide in a unit volume. Its unit is milligram per liter ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$).

Weight concentration – ratio of radionuclide weight to unit weight of the matter. Designated Q_K , Q_U , Q_{Th} , weight concentration for natural radionuclides is given in % for K, in ppm for U and Th; $1 \text{ ppm} = 10^{-6} \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$.

Weight concentrations of particular components of natural radioactivity determined by field gamma ray spectrometry are expressed as follows:

eU – U concentration in ppm of eU

eTh – Th concentration in ppm of eTh

K – potassium concentration in %.

Dose – absorbed dose – is the energy supplied by ionizing radiation to a matter divided by the weight of this matter; its unit is gray (Gy); $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$. Defined is the matter which absorbs the radiation.

Dávka – absorbovaná dávka – podiel energie odovzdanej ionizujúcim žiarením látky a hmotnosti tejto látky. Jednotka je gray (Gy); $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$. Definuje sa látka, v ktorej je žiarenie absorbované.

Dávkový príkon – podiel prírastku dávky $d\dot{D}$ v časovom intervale dt a tohto intervalu dt : $\dot{D} = d\dot{D}/dt$. Jednotka je Gy.s^{-1} . Dávkový príkon sa používa na vyjadrenie gama-žiarenia hornín vo vzduchu, udáva sa v nanograyoch za hodinu (nGy.h^{-1}). Na stanovenie dávkového príkonu gama-žiarenia hornín vo výške 1 m nad rovinným homogénnym horninovým prostredím sa používa prevodný vzťah (LØVBORG, 1984):

$$\dot{D}_a (\text{nGy.h}^{-1}) = 13,078 K (\%) + 5,675 \text{ eU (ppm)} + 2,494 \text{ eTh (ppm)}$$

Dávkový ekvivalent (H) – miera biologického účinku rádioaktívneho žiarenia v ľudskom organizme. Je definovaný vzťahom:

$$H = \dot{D} \cdot Q \cdot N,$$

kde \dot{D} – absorbovaná dávka ionizujúceho žiarenia v uvažovanom bode tkaniva

Q – akostný faktor žiarenia

N – súčin ďalších modifikujúcich faktorov

Jednotkou dávkového ekvivalentu je 1 sievert (Sv) = J.kg^{-1} (joule na kilogram)

Efektívny dávkový ekvivalent H_E vyjadruje účinky ionizačného žiarenia na ľudský organizmus. Je váženou strednou hodnotou dávkových ekvivalentov v tkanivách a orgánoch ľudského tela. Jednotkou je Sv (J.kg^{-1}).

$$H_E = \dot{D}_a \cdot t \cdot 0,7,$$

kde t je doba expozície

0,7 (Sv/Gy) je prevodný koeficient podľa UNSCEAR (1988)

K_{rr} – koeficient rádioaktívnej rovnováhy. Pre pomer medzi koncentraciami Ra a U platí:

$$K_{rr} = \frac{Ra}{U \cdot 3,4 \cdot 10^{-7}}$$

kde Ra a U sú hmotnostné množstvá Ra a U (g)

$3,4 \cdot 10^{-7}$ rovnovážny stav medzi Ra a U

Spektrálne línie energie gamažiarenia na zistenie jednotlivých prírodných rádionuklidov terénnej gamaspektrometrie:

urán – detekčná línia ^{214}Bi 1,76 MeV

tórium – detekčná línia ^{208}Th 2,62 MeV

draslík – detekčná línia ^{40}K 1,46 MeV

Prevodné vzťahy

1 R = $8,69 \cdot 10^{-3}$ Gy

1 Ci (Curie) = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq

1 % K v hornine = $313,00 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ } ^{40}\text{K}$

1 ppm U v hornine = $12,35 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ } ^{226}\text{Ra}$

1 ppm Th v hornine = $4,06 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ } ^{232}\text{Th}$

1 Sv = $1 \text{ J.kg}^{-1} = 100 \text{ rem}$

1 rem = $10^{-2} \text{ J.kg}^{-1} = 10^{-2} \text{ Sv}$

1.9. Základné zákony a vyhlášky o problematike rádioaktivity

Základný súčasne platný zákon, ktorý nahradil Zákon č. 20/1966 Zb. o starostlivosti o zdravie ľudu, je zákon č. 272/1994 Zb. o ochrane zdravia ľudu, ktorý ustanovuje práva a povinnosti orgánov štátnej správy, obcí, právnických a fyzických osôb na úseku ochrany zdravia ľudí.

O ochrane zdravia pred nepriaznivými účinkami ionizujúceho žiarenia hovorí § 15 tohto zákona.

Vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 65/1972 Zb. o ochrane zdravia pred ionizujúcim žiarením stanovuje zásady hodnotenia rádioaktívnej expozície obyvateľov. V tabuľkovej časti sa podľa jednotlivých prvkov a zlúčenín žiaričov uvádzajú najvyššie prípustné dávky a medzné dávky. Pri najvyšších prípustných dávkach je pravdepodobnosť ochorenia veľmi malá.

Od roku 1992 je v platnosti vyhláška Ministerstva zdravotníctva SR č. 406/1992 o požiadavkách na obmedzenie ožiarovania z radónu a ďalších prírodných rádionuklidov.

Vyhláška stanovuje hygienické požiadavky na ochranu zdravia pred ožiarovaním, ktoré je spôsobené vdychovaním radónu a jeho dcérskych produktov z vnútorného ovzdušia stavieb a pred vonkajším ožiarovaním, ktoré je spôsobené žiarením z prírodných rádionuklidov v stavebných materiáloch.

Dose rate – increase in dose $d\dot{D}$ over a time interval divided by the length of this interval dt : $\dot{D} = d\dot{D}/dt$; Its unit is Gy.s^{-1} . Dose rate is applied to assess gamma radiation of rocks in the air and is given in nannograys per hour (nGy.hr^{-1}). Dose rate of rock gamma radiation is determined 1 m above a flat homogeneous rock environment through the following equation (LØVBORG L., 1984):

$$\dot{D}_a (\text{nGy.hr}^{-1}) = 13,078 K (\%) + 5,675 \text{ eU (ppm)} + 2,494 \text{ eTh (ppm)}$$

Dose equivalent (H) – is a unit of biological impact of nuclear radiation on human body defined by the equation:

$$H = \dot{D} \cdot Q \cdot N,$$

where \dot{D} – adsorbed dose of ionizing radiation in a given point of tissue

Q – quality factor of radiation

N – product of further modifying factors

Unit dose equivalent is 1 sievert (Sv) = 1 J.kg^{-1} (joule per kilogram).

Effective dose equivalent H_E gives the impact of ionizing radiation on human body. It is weighted mean dose equivalent in human tissues and organs; its unit is Sv ($\text{m}^2.\text{s}^{-2}$)

$$H_E = \dot{D}_a \cdot t \cdot 0,7$$

where t is exposition time

0,7 (Sv/Gy) is a UNSCEAR (1988) conversion coefficient

K_{rr} – coefficient of radioactive equilibrium is Ra/U ratio calculated through the formula:

$$K_{rr} = \frac{Ra}{U \cdot 3,4 \cdot 10^{-7}}$$

where Ra and U are volume quantities of Ra and U

$3,4 \cdot 10^{-7}$ is an equilibrium state between Ra and U

Spectral lines of gamma-radiation energy used to identify individual constituents of natural radioactivity:

uranium – detection line ^{214}Bi 1.76 MeV

thorium – detection line ^{208}Th 2.62 MeV

potassium – detection line ^{40}K 1.46 MeV

Conversion table

1 R = $8,69 \times 10^{-3}$ Gy

1 Ci (Curie) = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq

1 % K in rock = $313,00 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ } ^{40}\text{K}$

1 ppm U in rock = $12,35 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ } ^{226}\text{Ra}$

1 ppm Th in rock = $4,06 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ } ^{232}\text{Th}$

1 Sv = $1 \text{ J.kg}^{-1} = 100 \text{ rem}$

1 rem = $10^{-2} \text{ J.kg}^{-1} = 10^{-2} \text{ Sv}$

1.9. Basic Laws and Regulations Concerning Radioactivity

The currently valid Human Health Protection Act No. 272/1994 Coll., which has superseded the Human Health Care Act No. 20/1966 Coll., specifies the rights and obligations of state administration, towns and villages, corporations and individuals in the field of human health protection.

Health protection from adverse impacts of ionizing radiation is dealt with in § 15 of this law.

Slovak Health Ministry's regulation No 65/1972 Coll. specifies principles to assess human exposition to radioactivity. The highest permissible doses and limit radionuclide doses are tabulated as to elements and compounds. The highest permissible doses were designed for human protection and, unless exceeded, are very unlikely to cause illness.

Slovak Health Ministry's Regulation No. 406 on Standards to Restrict Irradiation from Radon and Other Natural Radionuclides has been effective since 1992.

This regulation determines hygienic standards for health protection from irradiation due to inhalation of radon and its daughters from inner air of structures and from outer irradiation due to radiation from natural radionuclides in building materials.

§ 2 of this regulation defines the area of low radon hazard as an area in which measured volume radon activity in soil air is below 10 kBq.m^{-3} in highly permeable, 20 kBq.m^{-3} in moderately permeable and 30 kBq.m^{-3} in poorly permeable foundation soils. The term „area of radon risk“ is of special importance. It is defined as an area where radon concentrations in soil air must be measured by determined techniques and where soil

V § 2 vyhlášky sa najskôr hovorí o území s nízkym radónovým rizikom. Je definované ako územie, na ktorom sa meraním zistila objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu menšia ako 10 kBq.m^{-3} v dobre priepustných, 20 kBq.m^{-3} v stredne priepustných a 30 kBq.m^{-3} v slabo priepustných základových pôdach. Osobitný význam má pojem „územie s radónovým rizikom“, ktoré si podľa vyhlášky nevyhnutne vyžaduje meranie radónu v pôdnom vzduchu podľa stanovenej metodiky aj kvalifikované hodnotenie priepustnosti pôdy a geologickej stavby územia. Odvozené mapy radónového rizika spracované pre územie celého Slovenska majú iba orientačný význam a nemožno podľa nich robiť jednoznačné závery pre konkrétnu stavebnú parcelu.

§ 3 sa zaoberá výstavbou alebo prestavbou domov. Podľa neho nesmie byť v miestnosti určenej na bývanie alebo pobyt osôb (viac než 1 000 hodín ročne) ekvivalentná objemová aktivita radónu v ročnom priemere vyššia ako 100 Bq.m^{-3} a zároveň príkon dávkového ekvivalentu gama žiarenia nesmie na ľubovoľnom mieste obytnej miestnosti vo výške 1 m a vzdialenosti aspoň 0,5 m od stien presiahnuť hodnotu $1 \mu\text{Sv.h}^{-1}$. Táto požiadavka sa pokladá za splnenú, ak sú budovy postavené na území s nízkym radónovým rizikom, zo stavebných materiálov s hmotnostnou aktivitou ^{226}Ra , ktorá neprevyšuje 120 Bq.kg^{-1} a ak sa v nich používa voda s objemovou aktivitou radónu neprevyšujúcou hodnotu 50 kBq.m^{-3} . Zabezpečenie týchto podmienok je povinnosťou stavebníka, ktorému bolo vydané stavebné povolenie po nadobudnutí účinnosti vyhlášky č. 406/1992 Zb. Splnenie vyhláškou stanovenej povinnosti má v kompetencii okresný lekár v konaniach podľa stavebného zákona ako dotknutý orgán štátnej správy podľa stavebného zákona (v súčasnosti štátny okresný hygienik). Ak sa zistí, že stavby sú postavené na území s vyššou objemovou aktivitou radónu v pôdnom vzduchu, treba ich osobitne zabezpečiť proti prenikaniu radónu z podlažia. To sa musí brať do úvahy vo všetkých fázach projekčnej prípravy stavby.

V ovzduší miestností starých stavieb určených na bývanie alebo pobyt osôb má byť ekvivalentná objemová aktivita radónu v ročnom priemere nižšia ako 200 Bq.m^{-3} . Ak nie je splnená táto podmienka, treba urobiť stavebno-technické úpravy smerujúce na zníženie ožiarovania z radónu. Ak je odporúčaná zásahová úroveň prekročená menej ako trojnásobne, odporúča sa uskutočniť jednoduché, menej nákladné opatrenia, a to najneskôr do 10 rokov od zisteného stavu. Pri prekročení zásahovej úrovne 3 až 10-násobne, je nevyhnutné realizovať stavebno-technické úpravy do troch rokov od zistenia stavu. Pri 10 až 30-násobnom prekročení sa vzhľadom na vysokú naliehavosť musia nápravné opatrenia urobiť do jedného roka. Prekročenie viac ako 30-násobne si vyžaduje okamžité opatrenia.

V § 4 sa hovorí aj o príkone dávkového ekvivalentu žiarenia gama v ľubovoľnom mieste priestoru určeného na bývanie alebo pobyt osôb. Nemal by byť vyšší ako $2 \mu\text{Sv.h}^{-1}$. Pri prekročení tejto hodnoty je povinnosťou majiteľa budovy nežiaduci stav napraviť. Keďže nevyhnutné opatrenia pri 3–10-násobnom prekročení sú veľmi nákladné, odporúča sa osoby z týchto priestorov vysťahovať.

V § 5 sa hovorí, že stavebné materiály, ktorých hmotnostná aktivita ^{226}Ra je väčšia ako 120 Bq.kg^{-1} je možné použiť na výstavbu len so súhlasom príslušného štátneho okresného lekára (v súčasnosti štátneho okresného hygienika) a za podmienok, ktoré stanoví na základe odborného posúdenia príslušného ústavu hygieny a epidemiológie (štátny zdravotný ústav).

§ 6 sa zaoberá vodami. Zdroje vody pre zásobovanie obyvateľov, ktorých objemová aktivita je vyššia ako 50 kBq.m^{-3} , sa môžu používať len so súhlasom štátneho okresného lekára (v súčasnosti štátneho okresného hygienika) a za podmienok, ktoré určí na základe posúdenia príslušného ústavu hygieny a epidemiológie (štátny zdravotný ústav).

Na posudzovanie akosti pitnej vody určenej na zásobovanie obyvateľstva sú v norme STN 75 7111 *Pitná voda* stanovené tieto rádiologické ukazovatele:

permeability and geologic structure must be evaluated. Derived maps of radon risk covering the whole Slovak territory have only orientative importance and are inadequate for assessing individual building lots.

§ 3 deals with the construction and reconstruction of houses. Annual average radon volume activity in a room which should be occupied by humans for more than 1 000 hours a year cannot exceed 100 Bq.m^{-3} and at the same time dose input of gamma-equivalent radiation in any part of the room 1 m above the floor and at least 0.5 m from the walls cannot exceed $1 \mu\text{Sv.hr}^{-1}$. This standard is met if structures located in a low-radon-radiation area are build of materials whose ^{226}Ra mass activity is less than 120 Bq.m^{-3} and water used in them has Ra mass activity below 50 Bq.m^{-3} . This is a responsibility of the builder who has been granted a building permit after the regulation No. 406/1992 Coll. had become effective. Structures erected in areas with higher radon volume activity in soil air must be secured against radon emanations from the the substratum. This requirement must be born in mind in all stages of projecting the structure. Average annual radon equivalent volume activity in rooms designed for living or dwelling of humans must be below 200 Bq.m^{-3} . If this limit is exceeded, building-technical modifications must be made to reduce radon radiation. If the actual activity is less than three times the limit, simple and inexpensive measures should be taken not later than 10 years since the above-limit activity was detected. If the activity is 3 to 10 times the limit, building-technical modifications must be made within three years. The activity 10 to 30 times the limit requires remedial measures to be taken within one year, and activity above 30 times the limit implies immediate measures.

§ 4 also stipulates that equivalent dose input of gamma radiation in any point of a room designed for living or dwelling of humans should not exceed $2 \mu\text{Sv.hr}^{-1}$. If the limit is exceeded, the building owner is obligated to take remedial measures. As the remedial measures are expensive, it is recommended to relocate humans from these rooms if the limit has been exceeded 3–10 times.

§ 5 determines that building materials whose ^{226}Ra mass activity is over 120 Bq.kg^{-1} can be used only with permission and under conditions specified by an authorized state district physician and based on report by a relevant institute of hygiene and epidemiology (state health institute).

§ 6 deals with waters. Water sources whose volume activity exceeds 50 Bq.kg^{-1} can be used to supply humans only with permission and under conditions specified by a state district physician (currently by state district health officer) based on a report by a relevant institute of hygiene and epidemiology (state health institute).

If indication values of respective indices are exceeded, further more detailed investigations of water quality are necessary or it must be assessed by an organ of hygiene service.

Total volume alpha activity

It applies to potable water from surface and underground sources. If the indication value is exceeded, the activity of ^{226}Ra is determined and possibly also other radionuclides on orders from an organ of hygiene service.

Total volume beta activity

It applies to drinking water from surface sources. If the activity is exceeded, weight concentration of potassium is determined. Corresponding K 40 volume activity is then deducted from $S_{v,c}$ and the result is compared with a limit. If the limit is exceeded, further radionuclides are determined in accordance with instructions from a hygiene service.

Slovak state standard No. 75 7111 – Drinking water specifies radiologic indices to assess the quality of drinking water for humans (Tab. 4).

Whenever the indicative value of any single index is exceeded, the water quality must be analysed in more detail and/or evaluated by the hygienic authority. Total volume alpha activity applies to drinking water from both surface

RÁDIOLOGICKÉ UKAZOVATELE PRE PITNÚ VODU	TAB. 4	RADIOLOGIC INDICES FOR POTABLE WATER	
Ukazovateľ Indicator	Symbol Symbol	Jednotka Unit	Indikačná hodnota Indicative value
53 celková objemová aktivita alfa / total alpha volume activity	$a^a v c^a$	Bq.l^{-1}	0,1
54 celková objemová aktivita beta / total beta volume activity	$a^a v c^b$	Bq.l^{-1}	1,0
55 objemová aktivita radónu 222 / radon 222 volume activity	$a^a v Rn222$	Bq.l^{-1}	20

Pri prekročení indikačnej hodnoty jednotlivého ukazovateľa sú potrebné ďalšie, podrobnejšie vyšetrenia akosti vody, resp. posúdenie orgánom hygienickej služby.

and underground sources. When the indicative value is exceeded, the activity of ^{226}Ra and possibly also of other radionuclides is determined in accordance with a hygienic authority instruction. Total beta volume activity applies to

Celková objemová aktivita alfa sa týka pitnej vody z povrchových a podzemných zdrojov. Pri prekročení indikačnej hodnoty sa stanovuje aktivita ^{226}Ra a prípadne ďalších rádionuklidov podľa pokynu orgánu hygienickej služby. Celková objemová aktivita beta sa týka pitnej vody z povrchových zdrojov. Pri prekročení sa stanovuje hmotnostná koncentrácia draslíka a jej zodpovedajúca objemová aktivita ^{40}K sa odčíta od $a_{\text{vc}\beta}$, rozdiel sa porovná s indikačnou hodnotou a pri prekročení sa stanovujú ďalšie rádionuklidy podľa pokynu orgánu hygienickej služby. Objemová aktivita radónu 222 sa týka pitnej vody z podzemných zdrojov. Pri prekročení sa zhodnotí a_{vc} a prípadne sa stanovuje objemová aktivita ^{226}Ra a ďalších rádionuklidov podľa pokynu orgánu hygienickej služby. Norma STN 01 1308 stanovuje základné pojmy, veličiny a jednotky jadrovej fyziky.

potable water from surface sources. If it is exceeded, potassium weight concentration is determined and the corresponding ^{40}K volume activity is deducted from $a_{\text{vc}\beta}$. If the difference exceeds the indicative value, further radionuclides are determined according to a hygienic authority instruction. Radon 222 volume activity applies to drinking water from underground sources. If exceeded, a_{vc} is evaluated and the volume activity of ^{226}Ra and other radionuclides may be determined according to a hygienic authority instruction.

The Slovak technical standard 01 1308 defines essential terms and units of nuclear physics.

2. GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA ÚZEMIA SLOVENSKEJ REPUBLIKY

2.1. Stručný prehľad geologickej stavby Slovenska

Z geologického hľadiska územie Slovenska tvoria Západné Karpaty (mapa GEO). Podľa veku tektonickej individualizácie geologických jednotiek ich delíme na vonkajšie a vnútorné.

Vonkajšie Západné Karpaty predstavujú jednotky flyšového pásma (magurský a krosniansky flyš), presunuté v terciéri na okraj európskej platformy. Litologicky sú zastúpené prevažne pieskovecami, ílovcami a zlepenkami.

Bradlové pásmo je samostatná tektonická jednotka situovaná medzi vonkajšími a vnútornými Západnými Karpatmi. Zahŕňa dve základné jednotky: czorsztyńskú s plytkovodnými karbonatickými fáciami a hlbokovodnú kysucko-pieninskú, ktoré boli postihnuté viacerými fázami vrásnenia jednak spolu s vnútornými, ale najmä s vonkajšími Západnými Karpatmi.

Vnútorné Karpaty boli tektonicky individualizované v strednej kriede. Hlavné tektonické jednotky vnútorných Západných Karpát sú od severu k juhu rozdelené na pásmo jadrových pohorí, veporské pásmo a gemerské pásmo.

Pásmo jadrových pohorí je budované tatrikom, ktoré zahŕňa kryštalinikum reprezentované najmä granitoidmi a obalové (autochtónne) jednotky s vrstevným sledom začínajúcim vrchnopaleozoickým, častejšie však až spodnotriasovým súvrstvom arkóz až kremitých pieskovcov. Vrstevný sled pokračuje vápencami a dolomitmi stredného triasu a variabilne vápencami, dolomitmi, slieňovcami, bridlicami a pieskovecami vrchného triasu až spodnej kriedy. Opakovanie mezozoických vrstevných sledov reprezentujú príkrovy fatrika (predovšetkým križňanský príkrov) a hronika (chočský príkrov).

Veporské pásmo pozostáva z kryštalinika (granitoidy a metamorfity) a výrazne redukovaného obalového mezozoika (kremité pieskovce, bridlice, vápence a dolomity), ktoré spoločne reprezentujú veporikum nasunuté na tatrikom. Nad veporikom leží v príkrovovej pozícii hronikum a silicikum (silický príkrov) reprezentované najmä vápencami a dolomitmi triasu.

Gemerské pásmo je najjužnejšou jednotkou Západných Karpát. Tvoria ho slabo metamorfované staropaleozoické horniny flyšového charakteru a mladopaleozoický obal s citelne redukovaným mezozoickým sledom. Tento horninový komplex reprezentuje gemerikum, ktoré je nasunuté na veporikum. Nad gemerikom a južne od neho ležia príkrovy meliatika, turnaika a silicika litologicky pozostávajúce predovšetkým z mezozoických karbonátov.

Vnútrokarpatský paleogén (zlepenca, pieskovce, bridlice) spolu s reliktnými vrchnokriedovými sedimentami a neogénnymi sedimentárnymi panvami (zlepenca, pieskovce, ílovce, vápnité ílovce, ojedinele karbonáty a uhlie) predstavuje posttektonickú molasu. Neogénne vulkanity a vulkanosedimentárne horniny (miocén) sú produktom zaoblúkového vulkanizmu s dominantným zastúpením andezitov.

2.2. Charakteristika Slovenska z hľadiska litotypov / litofácií

Horniny vystupujúce na území Slovenska (rozloha 49 035 km²) sa na základe litologických, regionálnogeologických a stratigrafických kritérií začleňujú do 64 súborov reprezentujúcich všetky hlavné litotypy/litofácie (MARSINA et al., 1995). Všetky litotypy/litofácie sú zobrazené na *Mape litogeochemických typov Slovenska* (mapa LG), a to buď ako jednoduché litotypy, alebo ako súbory litotypov, ktoré pre ich veľkosť a vzájomné striedanie sa v súvrstviach nie je možné oddeliť. Legenda k mape obsahuje spolu 54 plošne zobraziteľných položiek (tab. 5).

Vyčlenené litotypy Slovenska sú v stručnosti charakterizované v nasledujúcom texte, pričom sa uvádzajú tie akcesorické minerály, ktoré môžu byť zdrojom rádioaktivity.

I – GRANITOIDY

I a. Tatrikum a veporikum

Gt-1 predstavujú **amfibolicko-biotické diority**, ktoré zväčša tvoria len menšie telesá s rozmermi niekoľkých metrov až prvých dekametrov. Známe sú z Malých Karpát, Nizkých a Vysokých Tatier, Strážovských vrchov, Čiernej hory, zo Žiaru a Malej Fatry. Akcesorické minerály: zirkón a allanit.

Gt-2 reprezentujú **tonality** tatrika a veporika, sú reprezentované štyrmi typmi hornín:

2. GEOLOGICAL STRUCTURE OF SLOVAKIA

2.1. A brief review of the geological structure of Slovakia

Geologically, the Slovak territory is covered by the West Carpathians (map GEO). As far as the age of tectonic individualisation of their geological units is concerned the West Carpathians can be divided into the Outer and Inner Carpathians.

The Outer West Carpathians are represented by the flysch belt units (the Magura and Krosno flysch), which were thrust over the margin of the European platform during the Tertiary period. Sandstones, mudstones and conglomerates are the predominant lithotypes.

The Klippen belt is an independent tectonic unit situated between Outer and Inner West Carpathians. It comprises two basic units: the Čorštýn Unit, composed of the shallow water carbonate facies and a deep water Kysuce-Pieniny Unit. Both units were involved in several stages of folding, which occurred in conjunction with either the Inner, or, what is more important, with the Outer West Carpathians.

Tectonic individualisation of the Inner West Carpathians has taken place during the Middle Cretaceous period. Principal tectonic units of the Outer West Carpathians have been divided, from north to south, into following belts: the Core mountain belt, the Veporicum belt and the Gemicum belt. The Core mountain belt is made up of the Tatricum Unit, composed of crystalline rocks with predominating granitoids and of the cover (autochthonous) units which starts with Upper Paleozoic, but more often with a Lower Triassic clastic arcose to siliceous quartzite formation. The superposed lithologies include also Middle Triassic limestones and dolomites and variable volumes of Upper Triassic and Lower Cretaceous limestones, dolomites, marlstones, shales and sandstones. The Mesozoic sequences were thrust once again as the Fatic (mainly Križna nappe) and Hronic (Choč nappe) nappes.

The Veporicum belt comprises crystalline rocks (granitoids and metamorphic rocks) and a considerably reduced Mesozoic cover (siliceous sandstones, shales, limestones and dolomites), making together the Veporicum Unit. This unit is thrust northwards over the Tatricum Unit. The Veporicum Unit is overlain by the Hronicum and Silicicum (Silica nappe) nappes, represented mainly by Triassic limestones and dolomites.

The Gemicum belt is the southernmost unit of the West Carpathians. Composed of low metamorphosed Early Paleozoic rocks of the flysch character and of Late Paleozoic cover with a strongly reduced Mesozoic sequence of beds, this rock complex represents, in fact, the Gemicum Unit, thrust northward over the Veporicum Unit. The Gemicum Unit, as well as the area south of it, are overlain by the Meliaticum, Turnaicum and Silicicum nappes, all composed predominantly of Mesozoic carbonate rocks.

The Inner Carpathian Paleogene (conglomerates, sandstones, shales) with the relics of Upper Cretaceous sediments and with the Neogene sedimentary basins (conglomerates, sandstones, mudstones, limy mudstones and rare carbonates and coal) represent a post-tectonic molasse. The Neogene volcanics and volcano-sedimentary rocks (Miocene) are products of back-arc volcanism, in which andesites are a predominating lithology.

2.2. Slovakia's Characteristics as to its Lithotypes / Lithofacies

On the basis of lithological, regional geological and stratigraphic criteria, rocks found in the Slovak territory (49 035 km²) were divided into 64 groups representative of all major lithotypes/lithofacies (MARSINA et al. 1995). All lithotypes/lithofacies are marked on the *Map of lithogeochemical types in Slovakia* (map LG) either as single lithotypes or a set of lithotypes which, because of their size and mutual alternations in formations, cannot be separated from each other. The legend to the map contains a total of 54 items which can be areally illustrated (Tab. 5).

The above lithotypes are briefly characterized in the following text. The description focuses on those accessory minerals which can be radioactive.

I – GRANITOIDS

I a. Tatricum and Veporicum

Gt-1 consists of **amphibole-biotite diorites** which largely constitute fairly small bodies several metres or tens of metres in size. They are found in the Malé Karpaty, Nízke Tatry, Vysoké Tatry, Strážovská hornatina, Čierna hora, Žiar and Malá Fatra Mts. Accessory minerals: zircon and allanite.

LITOGEOCHEMICKÉ ČLENENIE HORNÍN SLOVENSKA		TAB. 5	LITHOGEOCHEMICAL CLASSIFICATION OF SLOVAKIA'S ROCKS
Index litotypu Lithotype index	Litologicko-petrografická charakteristika / Lithologic-petrographic characteristics		Geochemické typy hornín Geochemical rock types
NEOGÉNNE SEDIMENTY / NEOGENE SEDIMENTS			
1	Sladkovodné vápence-travertíny / Freshwater limestones – travertines		
2	Íly, piesky, štrky ± polohy lignitu / Clays, sands, gravels ± lignite layers		Ne-1, 3
3	Íly, piesky, tuffické a vulkanomiktné sedimenty ± polohy lignitu / Clays, sands, tuffaceous and volcanomictic sediments ± lignite beds		Ne-1, 3, 6
4	Vápnité ílovce a siltovce / Calcareous claystones and siltstones		Ne-2, 4
5	Vápnité ílovce, pieskovce, štrky, vápence, polohy lignitu / Calcareous claystones, sandstones, gravels, limestones, lignite beds		Ne-2, 3, 4, 5
6	Vápnité ílovce, pieskovce, štrky, vápence, tuffické a vulkanomiktné sedimenty Calcareous claystones, sandstones, gravels, limestones, tuffaceous and volcanomictic sediments		Ne-2, 3, 4, 5, 6
7	Vápnité ílovce, pieskovce, štrky, vápence, evapority / Calcareous claystones, sandstones, gravels, limestones, evaporites		Ne-2, 3, 4, 5
NEOGÉNNE VULKANITY / NEOGENE VOLCANICS			
8	Alkalické bazalty / Alkali basalts		Nv-10
9	Bazalty a bazaltické andezity / Basalts and basaltic andesites		Nv-1
10	Pyroxenické a amfibolicko-pyroxenické andezity / Pyroxene and amphibole-pyroxene andesites		Nv-2
11	Pyroxenicko-amfibolické, amfibolické a biotiticko-amfibolické andezity až dacity Pyroxene-amphibole, amphibole and biotite-amphibole andesites to dacites		Nv-3
12	Propylitizované andezity, andezitové porfýry, dioritové porfýry a diority Propylized andesites, andesite porphyries, diorite porphyries and diorites		Nv-5, 6
13	Granodiorit, granodioritové porfýry, kremito-dioritové porfýry / Granodiorite, granodiorite porphyries, quartz-diorite porphyries		Nv-7, 8, 9
14	Ryodacity a ryolity / Rhyodacites and rhyolites		Nv-4
VNÚTROKARPATSKÝ PALEOGÉN / INNER CARPATHIAN PALEOGENE			
15	Ílovce, slieňovce, pieskovce, zlepenca, vápence ± uhlie, paleogén budínskeho vývoja Claystones, marlstones, sandstones, conglomerates, limestones ± coal, Buda Paleogene		Ne-3, 4
16	Pieskovce, podradné ílovce – bielopotocké súvrstvie / Sandstones, minor claystones – Biely potok Formation		Pg-2, 4
17	Vápnité ílovce, pieskovce – hutianske a zuberecké súvrstvie / Calcareous claystones, sandstones – Huty and Zuberec Formation		Pg-1, 2
18	Pieskovce, zlepenca, brekcie, vápence – borovské súvrstvie / Sandstones, conglomerates, breccias, limestones – Borové Formation		Pg-3
KRIEDA A PALEOGÉN VONKAJŠÍCH KARPÁT / OUTER CARPATHIAN CRETACEOUS AND PALEOGENE			
19	Prevažne pieskovce, podradné ílovce, flyš magurskej jednotky / Mostly sandstones, minor claystones, Magura flysch		Pg-7, 8
20	Pieskovce a ílovce, flyš magurskej jednotky / Sandstones and claystones, Magura flysch		Pg-7, 8
21	Prevažne ílovce, podradné pieskovce, flyš magurskej jednotky / Mostly claystones, minor sandstones, Magura flysch		Pg-7, 8
22	Prevažne pieskovce, podradné ílovce, flyš duklianskej (sliezskej) jednotky / Mostly sandstones, minor claystones, Dukla (Silesian) flysch		Pg-5, 6
23	Pieskovce a ílovce, flyš duklianskej (sliezskej) jednotky / Sandstones and claystones, Dukla (Silesian) flysch		Pg-5, 6
24	Prevažne ílovce, podradné pieskovce, flyš duklianskej jednotky / Mostly sandstones, minor claystones, Dukla (Silesian) flysch		Pg-5, 6
ÍLOVITO-PIESCÍTÉ SEDIMENTY KRIEDY A PALEOGENU BRADLOVÉHO PÁSMA, TATRIKA A HRONIKA CRETACEOUS AND PALEOGENE CLAYEY-SANDY SEDIMENTS OF KLIPPEN BELT, TATRICUM AND HRONICUM			
25	Sliene, karbonatické pieskovce, zlepenca, vápence, prevažne vápnité flyše Marls, carbonatic sandstones, conglomerates, limestones, mostly carbonatic flysches		Mz-3, 9, 11
26	Pestré slieňovce / Variegated marlstones		Mz-3
MEZOZOIKUM BRADLOVÉHO PÁSMA A CENTRÁLNYCH ZÁPADNÝCH KARPÁT / MESOZOIC OF KLIPPEN BELT AND CENTRAL WEST CARPATHIANS			
27	Vápence / Limestones		Mz-1
28	Vápence a dolomity / Limestones and dolomites		Mz-1, 6
29	Dolomity / Dolomites		Mz-6
30	Vápence, dolomity a bridlice (fylity) / Limestones, dolomites and shales (phylites)		Mz-1, 6, 8
31	Vápence, dolomity, bridlice (fylity) a mafické vulkanity / Limestones, dolomites and shales (phylites) and mafic volcanics		Mz-1, 6, 8, 12
32	Prevažne ílovité vápence, slieňovce ± piesčité a kremité vápence / Mostly clayey limestones, marlstones ± sandy and quartz sandstones		Mz-2
33	Piesčité, škvrnité, hluznaté, kremité a rohovcové vápence ± silicity / Sandy, spotted, nodular, siliceous and cherty limestones ± silicites		Mz-4, 5
34	Bridlice, pieskovce, vápence / Shales, sandstones, limestones		Mz-1, 8, 10
35	Bridlice, pieskovce, vápence ± radiolarity, evapority / Shales, sandstones, limestones ± radiolarites, evaporites		Mz-1, 5, 8, 10
36	Pestré bridlice, pieskovce, dolomity ± evapority, karpatský keuper Variegated shales, sandstones, dolomites ± evaporites, Carpathian Keuper		Mz-7, 8, 10
37	Kremence, pieskovce, ílovité bridlice, lunszké vrstvy a spodný trias tatrika a veporika Quartzites, sandstones, shales, Lunz Member and Lower Triassic of Taticum and Veporicum		Mz-8, 10

LITOGEOCHEMICKÉ ČLENENIE HORNÍN SLOVENSKA		TAB. 5 – POKR. / CONT.	LITOGEOCHEMICAL CLASSIFICATION OF SLOVAKIA'S ROCKS
Index litotypu Lithotype index	Litologicko-petrografická charakteristika / Lithologic-petrographic characteristics		Geochemické typy hornín Geochemical rock types
38	Pieskovce, vápnité bridlice, vápence ± evapority, spodný trias hronika a silicika Sandstones, shales, limestones ± evaporites, Lower Triassic of Hronicum and Silicicum		Mz-1, 8, 10
MLADŠIE PALEOZOIKUM CENTRÁLNYCH ZÁPADNÝCH KARPÁT / LATE PALEOZOIC OF CENTRAL WEST CARPATHIANS			
39	Bridlice, pieskovce, zlepenca ± kyslé vulkanity, mladšie paleozoikum tatrika, veporika, hronika, zemplinika Shales, sandstones, conglomerates ± acid volcanics, Late Paleozoic of Tatricum, Veporicum, Hronicum, Zemplinicum		Pz-12, 13
40	Intermediárne a mafické vulkanity / Intermediate and mafic volcanics		Pz-14
41	Zlepenca, pieskovce, bridlice ± vulkanity, karbonáty / Conglomerates, sandstones, shales ± volcanics, carbonates		Pz-6, 7, 8, 9, 10, 11
STARŠIE PALEOZOIKUM GEMERIKA / EARLY PALEOZOIC OF GEMERICUM			
42	Prevažne metapieskovce a fylity ± mafické vulkanity / Mostly metasandstones and phyllites ± mafic volcanics		Pz-1, 2, 3
43	Prevažne mafické vulkanity / Mostly mafic volcanics		Pz-4
44	Prevažne metapieskovce a fylity ± kyslé vulkanity, karbonáty, lydity / Mostly metasandstones and phyllites ± acid volcanics, carbonates, lydites		Pz-1, 2, 3, 5
45	Prevažne kyslé vulkanity / Mostly acid volcanics		Pz-3
KRYŠTALINIKUM TATRIKA A VEPORIKA / CRYSTALLINE UNITS OF TATRICUM AND VEPORICUM			
46	Metapsamity, fylity, svory ± metavulkanity, karbonáty / Metapsamites, phyllites, mica schists ± metavolcanics, carbonates		Mt-1, 3
47	Ruly až migmatity ± fylonity / Gneisses to migmatites ± phyllonites		Mt-2, 4, 7
48	Amfibolity ± amfibolické ruly / Amphiboles ± amphibole gneisses		Mt-5
49	Prevažne kyslé až intermediárne vulkanity, komplex Jánovho grúňa / Mostly acid to intermediate volcanics, Jánov grúň Complex		Mt-6
PLUTONITY CENTRÁLNYCH ZÁPADNÝCH KARPÁT / PLUTONIC ROCKS OF CENTRAL WEST CARPATHIANS			
50	Diority / Diorites		Gt-1
51	Tonality / Tonalites		Gt-2
52	Granodiority až granity / Granodiorites to granites		Gt-3
53	Leukokrátne granity / Leucocrate granites		Gt-4
54	Granity gemerika / Gemeric granites		Gt-6

- Biotitické tonality tatrika sa s výnimkou Žiaru vyskytujú vo všetkých jadrových pohoriach. Akcesorické minerály zirkón, allanit, monazit.
- Hybridné biotitické tonality. V menšej miere sa nachádzajú v Čiernej hore, Nízkych Tatrách, Malej Fatre, Malej Magure a v Žiari. Akcesorické minerály: zirkón, monazit, allanit.
- Biotitické tonality až granodiority typu Sihla vystupujú najmä v západnej časti veporského masívu. Akcesorické minerály: titanit, allanit.
- Hybridné biotitické tonality až granodiority vystupujú na juhovýchodnom okraji centrálného granitoidného telesa a v oblasti kohútskeho pásma. Akcesorické minerály: zirkón, monazit, allanit.

Gt-3 sú **granodiority až granity** tatrika a veporika a sú reprezentované štyrmi hlavnými typmi hornín:

- Biotitické a dvojsludné granodiority sa vyskytujú v rôznom zastúpení vo všetkých jadrových pohoriach. Akcesorické minerály: zirkón, monazit, allanit.
- Dvojsludné granity tatrika sa vyskytujú v každom jadrovom pohorí. Zdrojom rádioaktivity môžu byť niektoré prítomné akcesorické minerály ako zirkón, monazit, allanit, xenotím.
- Porfyrické granodiority až granity typu Vepor tvoria najväčšie masy granitoidov vo veporiku (masív Kohúta a Stolice). Akcesorické minerály: zirkón, allanit.
- Masívne tonality-granodiority vystupujú v najjužnejšom pásme veporika v oblasti od Krokavy-priehrady v Lubeníku až do oblasti Hladomornej doliny. Akcesorické minerály: zirkón, allanit.

Gt-4 tvoria **leukogranity** tatrika a veporika a patria sem tri hlavné typy hornín:

- Leukogranitoidy tatrika, ktoré sa vyskytujú vo všetkých jadrových pohoriach. Z akcesorických minerálov sú prítomné zirkón a monazit.
- Leukogranitoidy v južnej časti veporika (pásmo Kohúta) intrudujú do nižšie metamorfovaných hornín paleozoika. Akcesorické minerály: zirkón a monazit.
- Granity typu Hrončok vystupujú od oblasti Kamenistej doliny a jej styku s dolinou Hrončok, novšie až v oblasti Čierneho Balogu. Akcesorický minerál: zirkón.

Gt-5 predstavujú **pegmatity a aplity** tatrika. Akcesorické minerály: pyrochlór, kolumbit-tantalit. Typické pre tieto horniny sú zvýšené hodnoty Y a U.

Gt-2 includes Tatric and Veporic **tonalites** made up of four rock types:

- Biotite tonalites of the Tatricum occur in all core mountains except for the Žiar. Accessory minerals: zircon, allanite, monazite.
- Hybrid biotite tonalites. Small quantities are present in the Čierna hora, Nízke Tatry, Malá Fatra, Malá Magura and Žiar. Accessory minerals: zircon, monazite, allanite.
- Sihla-type granodiorites to biotite tonalites present chiefly in the western sector of the Vepor Massif. Accessory minerals: titanite, allanite.
- Hybrid biotite tonalites to granodiorites are found on the southeastern edge of the central granitoid body and in the Kohút zone. Accessory minerals: zircon, monazite, allanite.

Gt-3 are Tatric and Veporic **granodiorites to granites** composed of four major rock types:

- Biotite and two-mica granodiorites are present in various amounts in all core mountains. Accessory minerals: zircon, monazite, allanite.
- Tatric two-mica granites occur in each core mountain. Their radioactivity can be caused by some accessory minerals, such as zircon, monazite, allanite xenotime.
- Vepor-type porphyric granodiorites to granites dominate Veporic granitoids (Kohút and Stolice Massifs). Accessory minerals: zircon, allanite.
- Massive tonalites-granodiorites occur in the southernmost Veporicum from Krokava through Lubeník dam as far as Hladomorňá dolina Valley. Accessory minerals: zircon, allanite.

Gt-4 comprises Tatric and Veporic **leucogranites** which in turn include 3 main rock types:

- Tatric leucogranitoids widespread in all core mountains. Accessory minerals: zircon, monazite.
- Leucogranitoids in southern Veporicum (Kohút zone) intrude mildly metamorphosed Paleozoic rocks. Accessory minerals: zircon, monazite.
- Hrončok-type granites are found in the Kamenistá dolina Valley and its contact with the Hrončok Valley and recently also in the Čierny Balog area. Accessory mineral: zircon.

Gt-5 comprises Tatric **pegmatites and aplites**. Accessory minerals: pyrochlóre, columbite-tantalite. These rocks typically have increased Y and U contents.

I b. Gemericum

Gt-6 tvoria gemerické **granitoidy**. Sú to stredne až hrubozrnné, miestami drobnozrnné, ale aj nevýrazné porfyrické horniny ružovkastošedej farby. Zdrojom rádioaktivity môže byť aj prítomný akcesorický minerál zirkón.

II – METAMORPHY

Mt-1 – metapelitey. Bridlice, fylity a svory predstavujú deriváty pelitických sedimentov. Takéto horniny vystupujú v kryštaliniku Malých Karpát najmä na okraji bratislavského masívu a medzi Pernekom a Pezinkom. Vo veporiku sa vyskytujú v komplexe Hladomornej doliny. V tatriku sú svory zastúpené v kryštaliniku Malých Karpát, v Západných Tatrách, v Považskom Inovci. Vo veporiku vystupujú v hronskom komplexe, v komplexe Ostrej, Sinca, klenovskom a lovinobanskom komplexe.

Mt-2 – metapelitey. Pararuly a migmatity bohaté na sillimanit a granát vystupujú takmer vo všetkých jadrových pohoriach tatrika, ako aj vo veporiku.

Mt-3 – metapsamity. Bridlice predstavujú metasedimenty s väčším zastúpením kremeňa. Najväčšie zastúpenie majú v Malých Karpatoch, kde vystupujú v bratislavskom a modranskom masíve.

Mt-4 – metapsamity. Ruly až metakvarcity sú vyššie metamorfované ekvivalenty sedimentov psamitického zloženia bohatých na kremeň.

Mt-5 – metabazity. Zelené bridlice a amfibolity, teda bázičné metamorphy. Nachádzajú sa v Malých Karpatoch, Západných Tatrách, Ďumbierskych Nížkych Tatrách, v Malej Fatre, Tríbeči a v hronskom a ľubietovskom komplexe veporika.

Mt-6 – metavulkanity kyslé až intermediárne (metaryolity, metadacity) sa vyskytujú v komplexe Jánovho Grúňa vo veporiku.

Mt-7 – metagranitoidy (ortoruly, mylonity) vystupujú v migmatitizovaných komplexoch tatrika (Ďumbierske Tatry, Západné Tatry, Malá Fatra) i veporika.

III – PALEOZOIKUM

III a. Staršie paleozoikum gemerika

Pz-1 – psamity. Pieskovce staršieho paleozoika, patria medzi kremenné a litické metadroby.

Pz-2 – pelity. Siltovce s variabilným obsahom semigrafitu. Najrozšírenejšie sú sericitové a chloritovo-sericitové metapelitey. Vyšší obsah zirkónu môže byť príčinou vyššej rádioaktivity.

Pz-3 – acídne vulkanity a vulkanoklastiká. Prevládajú ryolitové vulkanoklastiká. Zložením zodpovedajú ryolitovým a dacitovým tufom a tufitom, menšia časť kremitým andezitovým vulkanoklastikám. Vyššie obsahy stopových prvkov Zr a U môžu byť príčinou vyššej rádioaktivity.

Pz-4 – intermediárne a bázičné vulkanity a vulkanoklastiká. Vystupujú najmä v rakoveckej skupine. Vyššie obsahy stopových prvkov Li, Y, Zr, La a Ce môžu byť príčinou vyššej rádioaktivity.

Pz-5 – lydity. Tvoria tenkovrstevnaté telesá spolu s čiernymi fylitmi a karbonátmi.

III b. Mladšie paleozoikum gemerika

Pz-6 – psamity. Bývajú častým členom v karbónskych i v permských horizontoch.

Pz-7 – pelity, siltovce. V karbónskych pelitoch je prímes detritu tvoreného najmä kremeňom a klastickými sludami, v permských sú okrem toho aj úlomky rôznych typov hornín. Vyšší obsah stopových prvkov Y a Zr môže byť príčinou vyššej rádioaktivity.

Pz-8 – acídne vulkanity a vulkanoklastiká. Najrozšírenejšie sú v permských sekvenciách severného i južného gemerika. Vyššie obsahy stopových prvkov Zr, Y a U môžu byť príčinou vyššej rádioaktivity.

Pz-9 – intermediárne a bázičné vulkanity a vulkanoklastiká. Najväčšie rozšírenie majú v sekvenciách karbónu v severogemerickej zóne, v menšom množstve aj v perme severogemerickej zóny.

Pz-10 – vápence. V jednotkách mladšieho paleozoika gemerika vystupujú v spodnokarbónskom ochtinskom súvrství i v črmel'skej skupine a vo vrchnokarbónskom zlatníckom súvrství. Z karbonátových minerálov dominuje kalcit, sporadický je dolomit.

Pz-11 – dolomity a magnezity. Skupina karbonátov asociovaná spolu s vápencami, z nich magnezity sa vyskytujú najmä v spodnom karbone. Hlavnými karbonátovými minerálmi sú dolomit a magnezit.

I b. Gemericum

Gt-6 consists of Gemic **granitoids**. They are medium- to coarse-grained, but also slightly porphyric rocks of pinkish-gray colour. Their radioactivity may be caused by accessory zircon.

II – METAMORPHIC ROCKS

Mt-1 – Metapelites: shales, phyllites and mica schists are derivatives of pelitic sediments. These rocks are found in the Malé Karpaty crystalline, notably on the edge of the Bratislava Massif and between Pernek and Pezinok. In the Veporicum, they occur in the Hladomorná dolina Complex. In the Tatricum, mica schists are present in the Malé Karpaty, Západné Tatry and Považský Inovec crystallines. In the Veporicum, they occur in the Hron, Ostrá, Sinec, Klenovec and Lovinobaňa Complexes.

Mt-2 – Metapelites: Paragneisses and migmatites rich in sillimanite and garnet occur almost in all Tatric core mountains as well as in the Veporicum.

Mt-3 – Metapsammities: schists are quartz-rich metasediments. They are most widespread in the Malé Karpaty – in Bratislava and Pezinok Massifs.

Mt-4 – Metapsammities: gneisses to metaquartzites are higher-grade-metamorphosed equivalents to the quartz-rich psammite sediments.

Mt-5 – Metabasites: green schists and amphibolites are metamorphosed basic rocks. They occur in the Malé Karpaty, Západné Tatry, Ďumbier-sector of the Nízke Tatry, Malá Fatra, Tríbeč, Hron and Ľubietová Complexes of the Veporicum.

Mt-6 – Metavolcanics – acid to intermediate (metarhyolites, metadacites) are confined to the Jánov Grúň Complex in the Veporicum.

Mt-7 – Metagranitoids (orthogneisses, mylonites) are found in migmatitized complexes of the Tatricum (Ďumbierske Tatry, Západné Tatry, Malá Fatra) and Veporicum.

III – PALEOZOIC

III a. Early Paleozoic of the Gemericum

Pz-1 – Psammities – Early Paleozoic sandstones comprise quartz and lithic metagraywackes.

Pz-2 – Pelites, Siltstones with variable content of semigraphite. Sericite and chlorite-sericite metapelites are most widespread. Higher zircon contents may result in increased radioactivity.

Pz-3 – Acid volcanics and volcanoclastics dominated by rhyolite volcanoclastics. Their composition corresponds to rhyolite and dacite tuffs, tuffites and rarely to quartz andesite volcanoclastics. Higher contents of trace elements Zr and U may cause increased radioactivity.

Pz-4 – Intermediate and basic volcanics and volcanoclastics – occur mainly in the Rakovec Group. Increased contents of trace elements Li, Y, Zr, La and Ce may result in higher radioactivity.

Pz-5 – Lydites – form thin-bedded bodies along with black phyllites and carbonates.

III b. Late Paleozoic of the Gemericum

Pz-6 – Psammities – are widely distributed in Carboniferous and Permian formations.

Pz-7 – Pelites, Siltstones – Carboniferous pelites contain detrital admixture dominated by quartz and clastic micas, and Permian sediments contain, in addition to quartz and micas, also fragments of various rocks. Increased contents of trace elements Y and Zr may cause higher radioactivity.

Pz-8 – Acid volcanics and volcanoclastics – are most widespread in Permian sequences of the northern and southern Gemericum. Increased contents of trace elements Zr, Y and U may cause higher radioactivity.

Pz-9 – Intermediate and basic volcanics and volcanoclastics – are most widely distributed in Carboniferous sequences of the Northern Gemeric zone, in minor quantities also in the Permian of the same zone.

Pz-10 – Limestones – In the Late Paleozoic Gemeric units they occur in the Lower Carboniferous Ochtin Formation and Črmel' Group, and in the Upper Carboniferous Zlatník Formation. Carbonate minerals here are dominated by calcite, with rare dolomite.

Pz-11 – Dolomites and magnesites – these carbonates are associated with limestones. Magnesites occur primarily in the Lower Carboniferous. Principal carbonate minerals comprise dolomite and magnesite.

III c. Mladšie paleozoikum tatrika, veporika, zemplinika a hronika

Pz-12 tvoria dva podsúbory hornín:

- Psamity** mladšieho paleozoika tatrika, zemplinika a veporika zodpovedajú svojím zložením arkózam a arkózovým a litickým drobám.
- Psamity** mladšieho paleozoika hronika.

Pieskovce sú najrozšírenejším litotypom. Vyskytujú sa v karbónskej i v permskej časti. Základnými zložkami v nich sú kremeň, živce, slúda a úlomky hornín.

Pz-13 – pelity a siltovce. Patria sem pelity a siltovce mladšieho paleozoika tatrika, veporika a zemplinika, ako i pelity a siltovce mladšieho paleozoika hronika.

Pz-14 – acidne vulkanity a vulkanoklastiká veporika, zemplinika a tatrika. Prevládajú ryolitovo-dacitové vulkanoklastiká a ignimbrity nad výlevnými formami.

Pz-15 – intermediárne a bazické vulkanity mladšieho paleozoika hronika sú súčasťou permskej sekvencie.

IV – MEZOZOIKUM

Mz-1 – vápence predstavujú relatívne čisté horniny najrôznejších litostratigrafických a tektonických jednotiek: organodetritické, rífové, lagunárne, krinoidové, hľuznaté, kalové a kryštalické vápence.

Mz-2 – ílovité vápence triasu až spodnej kriedy. Sú to kriedové vápence hlavne z veporika, menej triasové vápence vyšších subatranských príkrovov.

Mz-3 – slieňovce kriedy a paleogénu. Vyskytujú sa s nimi aj škrvňité vápence, menej hľuznaté vápence z bradlového pásma.

Mz-4 – piesčité vápence. Ide o jurské vápence tatrika orešianskej, tribečskej a donovalskej skupiny a vápence krížňanského príkrovu. Majú variabilný obsah SiO₂.

Mz-5 – kremité vápence až silicity. Súbor zložený z kremitých vápencov a radiolaritov doggeru – malmu veporika a rohovcových vápencov triasu hronika a kriedy tatrika.

Mz-6 – dolomity stredného až vrchného triasu tatrika, veporika, hronika, menej silicika. Ide o relatívne veľmi čisté dolomity.

Mz-7 – dolomity karpatského keuperu. Tvoria polohy primárnych chemo-génnych dolomitov v súvrství pestrého karpatského keuperu, so zvýšenými obsahmi SiO₂ a Al₂O₃.

Mz-8 – ílovce, piesčité ílovce triasu a jury. Sú to ílovce spodného triasu najmä tatrika a silicika, ílovce karpatského keuperu tatrika, veporika a ílovce lunzských vrstiev hronika. Všetky sú pomerne silne piesčité.

Mz-9 – ílovce, piesčité ílovce kriedy až paleogénu. Na rozdiel od ílovcov triasu vnútorných Karpát sú menej piesčité. Majú zvýšený podiel karbonátovej prímesi.

Mz-10 – pieskovce, kremité pieskovce až kremence triasu a jury. Ide o pestrý súbor pozostávajúci z pieskovcov a kremencov tatrika, veporika a silicika, ďalej sú to kremence vrchného triasu tatrika, pieskovce vrchného triasu, veporika a hronika a pieskovce kriedy tatrika. Horniny charakterizuje vysoký obsah SiO₂ a nízky obsah CaO.

Mz-11 – karbonatické pieskovce a zlepenice kriedy a paleogénu. Tvoria karbonatické pieskovce a zlepenice flyšových sekvencií jury až paleogénu bradlového a pribradlového pásma.

Mz-12 – metabazalty príkrovu Bôrky sú zastúpené glaukofanitmi a zelenými bridlicami. Zo stopových prvkov je okrem iných zvýšený obsah Th a U.

V – PALEOGÉN

V a. Vnútrokarpatský paleogén

Pg-1 – pieskovce (bez bielopotockého súvrstvia). Do tohto súboru zaraďujeme pieskovce s variabilným obsahom karbonátovej zložky, tvoriace súčasť zubereckého, hutianskeho a borovského súvrstvia.

Pg-2 – ílovce. Súbor obsahuje najmä ílovce hutianskeho a zubereckého súvrstvia s variabilným množstvom karbonátovej zložky.

Pg-3 – brekcie, zlepenice a karbonáty najmä z borovského súvrstvia, v ktorom majú tieto horniny dominantné zastúpenie.

Pg-4 – pieskovce bielopotockého súvrstvia. Sú to pieskovce s karbonátovou prímiesou. Oproti súboru Pg-1 sú tieto pieskovce menej karbonatické a viacej kremité.

III c. Late Paleozoic of the Tatricum, Veporicum, Zemplinicum and Hronicum

Pz-12 – consists of two rock subgroups:

- Psammities** of the Lower Paleozoic in the Tatricum, Zemplinicum and Veporicum. Their composition corresponds to arkoses, arkosic graywackes and lithic graywackes.
- Psammities** of the Hronic Late Paleozoic.

Sandstones are the most widespread lithotype here. They occur in both Carboniferous and Permian sequences. Quartz, feldspars, mica and rock fragments are their principal constituents.

Pz-13 – Pelites and siltstones. These include Late Paleozoic pelites and siltstones in the Tatricum, Veporicum and Zemplinicum as well as Late Paleozoic siltstones in the Hronicum.

Pz-14 – Acid volcanics and volcanoclastics in the Veporicum, Zemplinicum and Tatricum. Rhyolite-dacite volcanoclastics and ignimbrites prevail over effusive varieties.

Pz-15 – Intermediate and basic volcanics of the Hronic Late Paleozoic are part of the Permian sequence.

IV – MESOZOIC

Mz-1 – Limestones are fairly pure rocks of various lithostratigraphic and tectonic units: organodetrital limestones, reef limestones, lagoonal limestones, crinoidal limestones, nodular limestones, mud limestones and crystalline limestones.

Mz-2 – Clayey limestones of Triassic to Lower Cretaceous age, mostly Cretaceous limestones in the Veporicum with less abundant Triassic limestones of higher subatritic nappes.

Mz-3 – Marlstones of Cretaceous and Paleogene age accompanied by spotted limestones and minor nodular limestones of the Klippen Belt.

Mz-4 – Sandy limestones – Jurassic limestones of the Tatricum assigned into the Orešany, Tribeč and Donovaly Groups and limestones of the Krížna nappe. They have variable silica contents.

Mz-5 – Siliceous limestones to silicites – a group of Dogger – Malm siliceous limestones and radiolarites in the Veporicum, and cherty limestones of Triassic age in the Hronicum or of Cretaceous age in the Tatricum.

Mz-6 – Dolomites of Middle to Upper Triassic age in the Tatricum, Veporicum, Hronicum, and less frequently in the Silicicum. The dolomites are very pure.

Mz-7 – Dolomites of Carpathian Keuper form layers of primary chemogenic dolomites in the variegated Carpathian Keuper formation. The dolomites are enriched in silica and alumina.

Mz-8 – Claystones, sandy claystones of Triassic and Jurassic age – Lower Triassic claystones largely in the Tatricum and Silicicum, claystones in the Carpathian Keuper of the Tatricum and Veporicum, and claystones of the Lunz Member in the Hronicum. All these claystones are fairly sandy.

Mz-9 – Claystones, sandy claystones of Cretaceous to Paleogene age. Unlike Triassic claystones of the Inner Carpathians, these claystones are less sandy, but richer in carbonate admixture.

Mz-10 – Sandstones, quartzly sandstones to quartzites of Triassic and Jurassic age. This variegated group consists of sandstones and quartzites of the Tatricum, Veporicum and Silicicum, Upper Triassic quartzites of the Tatricum, Upper Triassic sandstones of the Veporicum and Hronicum, and Cretaceous sandstones of the Tatricum. The rocks are rich in silica and poor in CaO.

Mz-11 – Carbonatic sandstones and conglomerates of Cretaceous and Paleogene age are carbonatic sandstones and conglomerates of Jurassic to Paleogene flysch sequences in the Klippen and Near-Klippen Belt.

Mz-12 – Metabasalts of the Bôrky nappe include glaucophanites and green schists. Contents of Th, U and some other trace elements are increased.

V – PALEOGENE

V a. Inner-Carpathian Paleogene

Pg-1 – Sandstones (except in the Biely Potok Formation). This set comprises sandstones with a variable content of carbonate material in the Zuberec, Huty and Borové Formations.

Pg-2 – Claystones – this group includes primarily claystones of the Huty and Zuberec Formations with a variable content of carbonate component.

V b. Paleogén vonkajších Karpát

Pg-5 – pieskovce duklianskej jednotky. Súbor obsahuje viac či menej karbonatické pieskovce, a to najmä z menilitových a z podmenilitových vrstiev, menej z lupkovských, čergovských a zbojských vrstiev.

Pg-6 – ílovce duklianskej jednotky. Ílovce najmä menilitových, podmenilitových a čergovských vrstiev, v menšej miere podmenilitových pestrých, lupkovských a zbojských vrstiev.

Pg-7 – pieskovce magurskej jednotky. Pieskovce sú voči pieskovcom duklianskej jednotky (Pg-5) relatívne väčšmi kremité a obsahujú menší podiel karbonátovej prímеси. Najviac sú zastúpené zlínske a strihovské vrstvy, menej belovežské, bystrické, raciborské, lupkovské a vychylovské vrstvy.

Pg-8 – ílovce magurskej jednotky. Zastúpené sú v zlínskych, menej v bystrických, strihovských, belovežských a vychylovských vrstvách.

VI – SEDIMENTÁRNY NEOGÉN

Ne-1 – íly, ílovce. Pestrý súbor týchto hornín je najviac zastúpený vo vnútrokarpatských kotlinách a miocéne Východoslovenskej panvy. Na rozdiel od súboru Ne-2 sa jedná o horniny bez karbonatickej prímеси, resp. len s veľmi nízkym obsahom karbonátov.

Ne-2 – vápnité ílovce, slieňovce. Pestrý súbor hornín zo všetkých neogénnych paniev Slovenska, najmä z miocénu Východoslovenskej panvy, vnútrokarpatských kotlin a miocénu Podunajskej panvy.

Ne-3 – piesky, pieskovce, silty, siltovce. Zastúpené sú v Juhoslovenskej panve, Podunajskej panve a vnútrokarpatských kotlinách. Na rozdiel od súboru Ne-4 týmto horninám prevažne chýba prímеси karbonátov.

Ne-4 – vápnité pieskovce a siltovce. Pestrý súbor hornín zo všetkých oblastí Slovenska. Najčastejšie sa vyskytujú v oligocéne a miocéne Juhoslovenskej panvy, ďalej v miocéne a pliocéne Podunajskej panvy, v miocéne Východoslovenskej panvy a vo Viedenskej panve.

Ne-5 – piesčité vápence a vápence. Reprezentujú oligomiocén a miocén Juhoslovenskej panvy, vnútrokarpatské kotliny a Viedenskú panvu.

Ne-6 – tufitické sedimenty. Sú to tufitické ílovce, siltovce a pieskovce nachádzajúce sa v panvách a kotlinách stredného a východného Slovenska v susedstve neovulkanitov (Juhoslovenská panva, Hornonitrianska, Žiarska, Zvolenská, Košická kotlina a iné).

VII – NEOVULKANITY

Nv-1 – bazalty a bazaltické andezity. Z petrografického hľadiska sú to porfyrické bazalty a bazaltické andezity. Spolu, prípadne samostatne sa vyskytujú v stredoslovenskej oblasti (v Kremnických vrchoch, vo Vtáčniku a v Javorí). Bazalty dominantne vystupujú v komplexe Šibeničného vrchu v južnej časti Kremnických vrchov.

Nv-2 – pyroxenické a amfibolicko-pyroxenické andezity. Z petrografického hľadiska ide o porfyrické pyroxenické, amfibolicko-pyroxenické a ojedinele aj pyroxenicko-amfibolické andezity. Horniny tejto skupiny budujú prevládajúcu časť andezitových stratovulkánov stredného aj východného Slovenska vrátane výskytov južne od Brezna a severne od Rimavskej Soboty.

Nv-3 – pyroxenicko-amfibolické, amfibolické a biotiticko-amfibolické andezity a dacity. Prednostne vytvárajú efúzívne komplexy a extrúzívne dómy so sprievodom pyroklastík (centrálne časti Kremnických vrchov, východná časť Vtáčnika, Javorie a Poľana, časť hornín Krupinskej planiny a Burdy). Na východnom Slovensku tvoria časť extrúzívnych telies v pásme Kapušany – Vinné.

Nv-4 – ryodacity a rhyolity. Vystupujú v centrálnej časti stredoslovenských neovulkanitov, na východnom Slovensku v oblasti Miliča a zemplinskej hráste, ojedinele aj severnejšie.

Nv-5 – propylitizované andezity a andezitové porfýry. Horniny tejto skupiny sprevádzajú intrúzívne horniny a hydrotermálne systémy v centrálnych zónach stratovulkánov (oblasť Kremnice, zóna Prochoť – Župkov – Nová Baňa – Pukanec, hodruško-štíavnická oblasť, oblasť Kráľovej, Kalinky a Podpolomu v Javorí, Kyslinky na Poľane). Na východnom Slovensku je to oblasť Zlatej Bane a Morského oka, v menšej miere centrálnu zónu ostatných stratovulkánov.

Nv-6 – diority a dioritové porfýry. Z petrografického hľadiska ide o pyroxenické a amfibolicko-pyroxenické diority, kremité diority, dioritové porfýry a kremito-dioritové porfýry.

Nv-7 – granodiorit. Tvoria ho intermediárny plagioklas, biotit, amfibol, kremeň, ortoklas a akcesorický magnetit, apatit a zirkón. Granodiorit vystupuje na povrchu len v hodrušskej časti centrálnej zóny štíavnického stratovulkánu.

Pg-3 – Breccias, conglomerates and carbonates – mainly in the Borové Formation which is dominated by these rocks.

Pg-4 – Sandstones of the Biely Potok Formation are sandstones with carbonate admixture. These sandstones are richer in silica and lower in carbonates in comparison with the category Pg – 1.

V b. Outer-Carpathian Paleogene

Pg-5 – Dukla unit sandstones – the set embodies more or less carbonatic sandstones, notably in the Menilite and Submenilite Members, less abundant in the Lupkov, Čergov and Zboj Members.

Pg-6 – Dukla unit claystones – claystones present mainly in the Menilite, Submenilite and Čergov Members, less frequently in the Variegated Submenilite, Lupkov and Zboj Members.

Pg-7 – Magura unit sandstones – In comparison with the Dukla unit sandstones (Pg – 5), these sandstones are higher in quartz and lower in carbonate admixture. They are most widespread in the Zlín and Strihov Members, and in smaller amounts occur also in the Bystrica, Raciboř, Lupkov and Vychylovka Members.

Pg-8 – Magura unit claystones – are present mainly in the Zlín Member and to a lesser extent also in the Bystrica, Strihov, Beloveža and Vychylovka Members.

VI – SEDIMENTARY NEOGENE

Ne-1 – Clays, claystones comprise a wide spectrum of these rocks widespread across Slovakia, but mainly in Inner Carpathian basins and Miocene of the Eastern Slovakia Basin. Unlike the Ne – 2 group, these rocks have no or very low carbonate admixture.

Ne-2 – Calcareous claystones, marlstones – a variegated set of rocks in all Slovakia's Neogene basins, but mainly in the Miocene of the Eastern Slovakia Basin, Inner-Carpathian basins and in the Miocene of the Danube Basin.

Ne-3 – Sands, sandstones, silts, siltstones – occur in the Southern Slovakia Basin, Danube Basin and Inner-Carpathian basins. Unlike the Ne – 4 group, these rocks are mostly devoid of carbonate admixture.

Ne-4 – Calcareous sandstones and siltstones make up a variegated set of rocks widespread throughout Slovakia, mainly in the Oligocene and Miocene of the Southern Slovakia Basin, and in smaller amounts also in the Miocene and Pliocene of the Danube Basin, in the Miocene of the Eastern Slovakia Basin and in the Vienna Basin.

Ne-5 – Sandy limestones and limestones – are present in the Oligomiocene and Miocene of the Southern Slovakia Basin, Inner-Carpathian basins and the Vienna Basin.

Ne-6 – Tuffaceous sediments – comprise tuffaceous clays tones, siltstones and sandstones in basins adjacent to Neogene volcanics in central and eastern Slovakia (Southern Slovakia, Upper Nitra, Žiar, Zvolen, Košice and other basins).

VII – NEOVOLCANICS (NEOGENE VOLCANICS)

Nv-1 – Basalts and basaltic andesites are, from a petrographic point of view, porphyric basalts and basaltic andesites. They occur together or separately in central Slovakia, namely in the Kremnické vrchy, Vtáčnik and Javorie Mts. The basalts dominate the Šibeničný vrch Complex in the southern sector of the Kremnické vrchy.

Nv-2 – Pyroxene and amphibole-pyroxene andesites – from a petrographic point of view, they are porphyric pyroxene, amphibole-pyroxene and very rarely also pyroxene-amphibole andesites. Rocks of this category dominate andesite stratovolcanoes in central and eastern Slovakia alike, including occurrences south of Brezno and north of Rimavská Sobota.

Nv-3 – Pyroxene-amphibole, amphibole and biotite-amphibole andesites and dacites mostly form effusive complexes and extrusive domes associated with pyroclastics in the central Kremnické vrchy, eastern Vtáčnik, Javorie, Poľana and partly also in Krupinská planina and Burda Mts. In eastern Slovakia they constitute some of extrusive bodies in the Kapušany – Vinné zone.

Nv-4 – Rhyodacites and rhyolites occur in the centre of the Central Slovakia Neovolcanics, in eastern Slovakia in the Milič and Zemplín horst area, and very rarely also more to the north.

Nv-5 – Propylitized andesites and andesite porphyries. Rocks of this group are associated with intrusive rocks and hydrothermal systems in central zones of stratovolcanoes in the Kremnica area, Prochoť-Župkov-Nová Baňa-Pukanec, Hodruša-Štiavnica and Kráľová areas, Kalinka and Podlom in the Javorie and Kyslinka in the Poľana Mts. In eastern Slovakia, they

Nv-8 – granodioritové porfýry. Horniny tejto skupiny vystupujú pri Pukanci a v centrálnej zóne štiavnického stratovulkánu.

Nv-9 – kremito-dioritové porfýry. Vystupujú len v centrálnej zóne štiavnického stratovulkánu.

Nv-10 – alkalické bazalty a bazanity. Z petrografického hľadiska ide o alkalické olivinické bazalty až nefelinické bazanity, ktoré vystupujú v oblasti Cerovej vrchoviny a Lučenskej kotliny, ojedinele v stredoslovenských neovulkanitoch.

occur in the Zlatá Baňa and Morské oko areas, and to a lesser extent also in central zones of the other stratovolcanoes.

Nv-6 – Diorites and diorite porphyries. Petrographically, these rocks are pyroxene and amphibole-pyroxene diorites, quartz diorites, diorite porphyries and quartz-diorite porphyries.

Nv-7 – Granodiorite consists of intermediate plagioclase, biotite, amphibole, quartz, orthoclase and accessory magnetite, apatite and zircon. It crops out only in the Hodruša sector of the Štiavnica stratovolcano central zone.

Nv-8 – Granodiorite porphyries. Petrographically, the group is dominated by granodiorite porphyries. These rocks are found near Pukanec and in the Štiavnica stratovolcano central zone.

Nv-9 – Quartz-diorite porphyries. Quartz-diorite porphyries are confined to the Štiavnica stratovolcano central zone.

Nv-10 – Alkali basalts and basanites. Petrographically, the rocks are alkali olivine basalts to nepheline basanites. They occur in the Cerová vrchovina and Lučenec Basin, rarely also in the Central Slovakia Neovolcanics.

3. MINERÁLY RÁDIOAKTÍVNYCH PRVKOV

3.1. Minerály uránu

Doteraz bolo opísaných viac ako šesťdesiat vlastných minerálov uránu, avšak väčšina z nich sa vyskytuje len zriedkavo. Z primárnych minerálov uránu sa hojnejšie vyskytuje len uraninit a brannerit, zo sekundárnych autunit a torbernit.

3.1.1. Opis a charakteristika významných minerálov uránu

Uraninit – UO_2

Názov je odvodený z chemického zloženia. Synonymá: uranín, smolinec, nasturan.

Chemicky nie je čistým UO_2 , ale obsahuje aj UO_3 a produkty rádioaktívneho rozpadu uránu: Ra, Po, Ac a Pb. Olovo vzniká ako konečný produkt rozpadu U a Th a jeho obsah v uraninite môže dosahovať niekedy 10 až 20 %.

Odrody uraninitu: cleveit s obsahom Y, Er, Th, He a Ar a nivenit s obsahom vzácnych zemín. Takisto existujú odrody uraninitu s obsahom Th alebo zriedkavejšie aj Zr (do 7,5 %). Uraninit vždy obsahuje aj vodu.

Uraninit je čierny až hnedočierny, niekedy so slabým fialovým odtieňom. Pre navetraný minerál je charakteristická aj asociácia s výrazne zafarbenými (žltá, oranžová, zelená) sekundárnymi uránovými minerálmi.

Brannerit – (U, Ca, Th, Y) $[(\text{Ti}, \text{Fe})_2\text{O}_6]$

Obsah oxidov U kolíše okolo 30 – 40 %, ThO_2 medzi 0,5 až 13 %. Vyskytuje sa vo forme prizmatických pozdĺžne ryhovaných kryštálov alebo nepravidelných zrn. Farba čierna, na povrchu sa vytvárajú žltohnedé povlaky.

Torbernit – $\text{Cu}[\text{UO}_2/\text{PO}_4]_2 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$

Synonymum chalkolit. Pri teplote nad 40°C nastáva únik H_2O a vzniká metatorbernit. Tvorí drobné, dobre vyvinuté tabuľkovité kryštály, častejšie sa však vyskytuje v podobe šupinatých agregátov a práškovitých náletov. Boli zaznamenané aj zrasty s autunitom. Farba torbernit je smaragdovozelená.

Autunit – $\text{Ca}[\text{UO}_2/\text{PO}_4]_2 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$

V autunite bolo objavené aj aktínium a polónium. Kryštály majú tabuľkovitú formu, častejšie sa však vyskytuje v podobe drúz drobných kryštálikov alebo v šupinatých a zemitých agregátoch. Farba autunitu je žltozelená až jasnožltá. Patrí medzi luminiscenčné minerály, v ultrafialovom svetle má žltozelenú farbu.

3.1.2. Minerály uránu vyskytujúce sa na Slovensku

Z primárnych minerálov sa na Slovensku vyskytujú:

1. **Uraninit**, hlavný a najčastejší minerál uránu na Slovensku. Je prítomný takmer na všetkých ložiskách a výskytoch uránových rúd.
2. **Brannerit**, zriedkavejší ako uraninit. Bežne sa vyskytuje na ložiskách v Novoveskej Hute a Jahodnej. V asociácii s uraninitom a zlatom sa nachádza na lokalitách Zimná voda (pri obci Prakovce) a Peklisko (pri obci Hnilec).
3. **U-Ti – oxidy** (skupina nerozčlenených variabilných metamiktých minerálov), opísané z viacerých lokalít Slovenska: Novoveská Huta, Jarček pri Krompachoch, Markušovská dolina pri Markušovciach, Branisko-Čierne, Čierna Hora-Roháčka.
4. **Coffinit** ako mineralogická rarita na lokalitách Novoveská Huta, Kravany a Banská Štiavnica.

Zo sekundárnych minerálov uránu, vznikajúcich pri procesoch zvetrávania primárnych minerálov, sú na Slovensku zastúpené tieto:

1. **Torbernit**, na Slovensku veľmi rozšírený, vyskytuje sa spolu s autunitom na všetkých slovenských uránových ložiskách a výskytoch.
2. **Autunit**, rovnako rozšírený ako torbernit.
3. **Zeunerit**, opísaný na lokalite Branisko-Čierne, Čierna Hora-Roháčka a na niektorých výskytoch v Starohorských vrchoch.
4. **Ťujamunit**, vyskytuje sa v severných partiách ložiska Novoveská Huta.
5. **Trögerit** ako veľmi zriedkavý minerál bol určený len na lokalite Peklisko.

3.2. Minerály tória

Minerály tória sú na celom svete zaraďované medzi mineralogické rarity.

3. MINERALS OF RADIOACTIVE ELEMENTS

3.1. Uranium Minerals

More than 60 uranium minerals have so far been identified, but the majority of them are rare. Fairly abundant primary uranium minerals include only uraninite and brannerite, and secondary ones autunite and torbernite.

3.1.1. Description and Characteristics of Major Uranium Minerals

Uraninite – UO_2

The mineral has been named after its chemical composition. Synonyms: uranine, pitchblende, nasturanium. Chemically, the mineral is not pure UO_2 , but contains also some UO_3 . In addition, it contains products of radioactive decay of uranium: Ra, Po, Ac and Pb. Lead is a final daughter of U and Th decay sequences and its content in uraninite may reach as much as 10–20 %.

Uraninite varieties: Y, Er, Th, He- and Ar-bearing cleveite, and nivenite containing rare earths. Some uraninite varieties hold Th and rarely also Zr (up to 7.5 %). Uraninite always contains water.

Uraninite is black to brown-black, sometimes with a slight violet tinge. Weathered uraninite is typically associated with brightly coloured (yellow, orange, green) secondary uranium minerals.

Brannerite – (U, Ca, Th, Y) $[(\text{Ti}, \text{Fe})_2\text{O}_6]$

The content of U oxides varies around 30–40 %, and that of ThO_2 between 0.5 and 13 %. The mineral forms prismatic crystals striated lengthwise or irregular grains. The colour is black. Its surface is stained yellow-brown.

Torbernite – $\text{Cu}[\text{UO}_2/\text{PO}_4]_2 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$

Synonym – chalcilite. At temperatures above 40°C it releases H_2O and is converted to metatorbernite. It forms tiny well-defined tabular crystals, but more frequently scaly aggregates and powdery films. It sometimes intergrows with autunite. Its colour is emerald green.

Autunite – $\text{Ca}[\text{UO}_2/\text{PO}_4]_2 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$

Actinium and polonium were discovered in autunite. Its crystals are tabular, but more frequently fine crystals line vugs or form scaly and earthy aggregates. Its colour is yellow-green to bright yellow. The mineral is luminescent – yellow-green in ultraviolet light.

3.1.2. Uranium Minerals Found in Slovakia

Primary minerals found in Slovakia comprise:

1. **Uraninite** is the main and most widespread uranium mineral in Slovakia. It is present in nearly all uranium deposits and occurrences.
2. **Brannerite** is less abundant than uraninite. It commonly occurs in the Novoveská Huta and Jahodná deposits. Brannerite – uraninite – gold assemblage is found at Zimná Voda (near the town of Prakovce) and Peklisko (near the village of Hnilec).
3. **U-Ti oxides** (a group of undifferentiated variable metamict minerals) have been described in a number of places in Slovakia: Novoveská Huta, Jarček near Krompachy, Markušovská Valley near Markušovce, Branisko – Čierne, Čierna Hora – Roháčka.
4. **Coffinite** is a mineralogic rarity at Novoveská Huta, Kravany and Banská Štiavnica.

Secondary uranium minerals produced by weathering of primary minerals found in Slovakia include:

1. **Torbernite** is very widespread across Slovakia and, along with autunite, is found in all Slovakia's uranium deposits and occurrences.
2. **Autunite** is as widespread as torbernite.
3. **Zeunerite** has been described at Branisko – Čierne, Čierna Hora – Roháčka and in some occurrences in the Starohorské vrchy Mts.
4. **Tuyamunite** occurs in northern sector of the Novoveská Huta deposit.
5. **Trögerite** is an extremely rare mineral identified only at Peklisko.

3.2. Thorium Minerals

Thorium minerals throughout the globe are mineralogic rarities.

3.2.1. Opis a charakteristika významných minerálov tória

Torit – ThSiO₄

Je vzácny, vyskytuje sa v niekoľkých odrodách:

- orangit – polopriehľadný torit oranžovej farby;
- uranotorit – (U, Th) [SiO₄] (obsah U₃O₈ do 10–15 %);
- torogumit – synonymum macintoshit alebo hydrotorit (Th, U) [SiO₄(OH)₄]
- auerlit – (Th, ...)[(Si, P)O₄(OH)₄].

Kryštály toritu sú veľmi vzácne a podobajú sa kryštálom zirkónu. Obyčajne sa vyskytuje v podobe vtrúsených zŕn, zriedkavejšie kusový. Jeho farba sa mení v závislosti od odrody a môže byť čierna, hnedá, žltá, oranžová.

3.2.2. Minerály tória vyskytujúce sa na Slovensku

Z týchto minerálov sa na Slovensku vyskytuje len **torit**, a to na lokalite Gadžalova dolina (pri Rejdovej) vo forme submikroskopických inklúzií v monazite.

3.3. Minerály obsahujúce urán a tórium

Skupina minerálov, ktoré obsahujú urán alebo tórium v podobe prímiesí je veľmi široká. Patria do nej nielen minerály vzácnych zemín, ktorých výskyt je pomerne vzácny, ale aj bežne sa vyskytujúce minerály. Medzi minerály, ktoré ako nositelia U a Th nie sú bežné patria: chalkozín, pyrochlór, palygorskite (horská koža), titanit (sfén), evansit a iné.

Omnoho významnejším zdrojom rádioaktívnych anomálií sú minerály bežne sa vyskytujúce v prírode, pričom oxidy uránu alebo tória v nich často tvoria izomorfnú prímies. Medzi ne možno zaradiť apatit, xenotím, monazit, zirkón, limonit, kremeň a jeho amorfné odrody, opál, kalcit a dolomit.

3.4. Minerály draslíka

Draselných minerálov sa v prírode vyskytuje veľmi veľa, pritom mnohé z nich sú horninotvorné. Vzhľadom na pomerne nízky podiel rádioaktívneho ⁴⁰K sú draselné minerály spektrometricky zachytiteľné len vtedy, ak sa vyskytujú vo veľkých množstvách. Preto spomenieme len tie minerály draslíka, ktoré môžu mať význam pre spektrometrickú prospekciu a vyskytujú sa aj na Slovensku. Medzi najhojnejšie využívané minerály draslíka patria jeho chloridy a dusičnany: sylvín, karnalit a liadok draselný. Menší význam majú rozličné draselné karbonáty a sírany. Okrem alunitu a jarositu sa tieto minerály na Slovensku buď vôbec nevyskytujú, alebo len veľmi vzácne. Bežne rozšírené sú u nás draselné silikáty, ktoré predstavujú hlavné horninotvorné minerály predovšetkým granitoidných, metamorfovaných a sedimentárnych hornín. Sú to najmä draselné živce (sanidín, ortoklas, mikroklin) a sludy (flogopit, muskovit, biotit). Iné draselné silikáty sa na Slovensku vyskytujú len zriedkavo (leucit, apofylit, zeolity, litné sludy).

3.2.1. Description and Characteristics of Major Thorium Minerals

Thorite – ThSiO₄

This rare mineral has several varieties:

- orangite – semitransparent thorite of orange colour,
- uranothorite – (U, Th) [SiO₄] (U₃O₈ content up to 10–15 %),
- thorogumite – synonyms macintoshite or hydrothorite – (Th, U) [SiO₄(OH)₄]
- auerlite – (Th, ...)[(Si, P)O₄(OH)₄].

Its very rare crystals resemble those of zircon. Its usually forms disseminated grains, rarely lumps. Its varieties have different colours – black, brown, yellow and orange.

3.2.2. Thorium Minerals Found in Slovakia

The only thorium mineral found in Slovakia is **thorite** in Gadžalova Valley (near Rejdová) forming submicroscopic inclusions in monazite.

3.3. Uranium- and Thorium-Bearing Minerals

A number of minerals contain admixture of uranium or thorium. The group includes not only rare-earths-element-bearing minerals, which are fairly rare in nature, but also commonly found minerals. U and Th are sometimes but not commonly found also in chalcocite, pyrochlore, palygorskite (mountain skin), titanite, evansite and others.

Much more important sources of radioactive anomalies are minerals widespread in nature which often contain only an isomorphous admixture of uranium and thorium. These minerals comprise apatite, xenotime, monazite, zircon, limonite, quartz and its amorphous varieties, opal, calcite and dolomite.

3.4. Potassium Minerals

A multitude of minerals contain potassium, many of them being rock-forming. Because of the fairly low percentage of radioactive ⁴⁰K in potassium minerals, these can be detected spectrometrically only if huge quantities are present. That is why only those potassium minerals are described in detail which occur in Slovakia and are important for spectrometric prospecting. Worldwide, the most widely exploited potassium minerals comprise its chlorides and nitrates, namely sylvinite, carnallite and nitratite. Various potassium carbonates and sulphates are less significant. In Slovakia the above minerals except for alunite and jarosite are either nonexistent or extremely scarce. Potassic silicates – micas (phlogopite, biotite, muscovite) and potassic feldspars (sanidine, orthoclase, microcline) and glauconite are much more widespread in Slovakia. Further potassic silicates (leucite, apophyllite, zeolites, lithium micas) rarely in Slovakia.

4. RÁDIOMETRICKÁ PRESKÚMANOSŤ SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Merania rádioaktivity sa na území Slovenska vykonávali v dvoch obdobiach a s rôznymi cieľmi. Od roku 1947 až do roku 1989 bolo cieľom rádiometrických meraní vyhľadávanie, prieskum a ťažba ložísk uránových rúd. Používali sa rádiometrické prístroje rôznych typov a s rôznou presnosťou.

Pri zisťovaní prírodnej rádioaktivity pevných látok – hornín sa uplatňovali tieto metódy a ich modifikácie: aerogamaprieskum, autogamaprieskum, povrchové premeriavanie horského reliéfu (PPHR), povrchový gamaprieskum, gamaprieskum v jamkách, gamaspektrometria a emanačný prieskum. Účelom aerogamaprieskumu, autogamaprieskumu a PPHR bola príprava plôch a vyčlenenie nádejných oblastí. Povrchový gamaprieskum, gamaprieskum v jamkách a emanačný prieskum sa uplatňovali ako vlastné vyhľadávacie metódy. Gamaprieskum v jamkách, emanačný prieskum a gamaspektrometria sa využívali aj na detailizáciu anomálií a emanačný prieskum a gamaspektrometria na ocenenie anomálií rádioaktivity.

Kým asi do polovice 70. rokov prevládali v rádiometrickom prieskume regionálne metódy (autogama, PPHR a i.) v mierke 1:10 000 až 1:25 000, v posledných 10–15 rokoch prevládali podrobnejšie mierky 1:5 000, menej 1:10 000.

Rádiometrická preskúmanosť je veľmi nerovnomerná. Preskúmanosť jednotlivých stratigrafických útvarov súvisí s hodnotením ich perspektívnosti z hľadiska výskytu uránových akumulácií. Najvyššia preskúmanosť je na územiach s výskytom permských hornín. Z jednotlivých orografických jednotiek sú najviac preskúmané Slovenské rudohorie, Nízke Tatry, Kremnické a Štiavnické vrchy, Malé Karpaty, Považský Inovec, Tríbeč, Branisko a Čierna hora. Menej preskúmané sú Slanské vrchy, Východné a Nízke Beskydy.

Územie Slovenska bolo do roku 1990 rádiometrickými metódami pokryté (mapa S. C.) takto:

- aerogamaprieskum 72 %
- autogamaprieskum 16 %
- povrchová rádiometria 11 %

Od roku 1990 sa rádiometria využíva predovšetkým pri riešení environmentálnych problémov na zisťovanie rádioaktivity z hľadiska stavu životného prostredia a zostavovanie máp geofaktorov životného prostredia. V rámci mapovania prírodnej rádioaktivity sa vykonalo meranie radónu v pôdnom vzduchu a merania gamaspektrometrie. Výsledky prieskumu sa mapovo znázorňovali v mierke 1:200 000. Na vybraných územiach sa tieto výsledky znázorňovali v mierke 1:50 000 (20% z celej plochy SR). Boli to tieto územia: Horná Nitra, Nízke Tatry, Bystrická vrchovina, Čierťaž, Hornádska kotlina a východná časť Slovenského rudohoria, Košická kotlina a Slanské vrchy, Žiarska kotlina a banskoštiavnická oblasť, Malá Fatra a časť priľahlých kotlín.

Zostavenie odvodenej mapy radónového rizika v mierke 1:200 000 si vyžiadalo zmeranie 367 referenčných plôch (RP) s hustotou 1 RP na 134 km² a 845 RP po obvode okresných miest. V mierke 1:50 000 sa dosiahla hustota meraní 1 RP na 10 km², v osídlených územiach 3–5 RP na km². Meralo sa nepravidelne, najmä v blízkosti sídelných aglomerácií.

Meraniami gamaspektrometrie v mierke 1:200 000 bolo pokryté celé územie SR v pravidelnej sieti 3×3 km s kondíciou 1 bod na 9 km². Spomenuté vybrané oblasti boli premerané v mierke 1:50 000 v pravidelnej sieti s hustotou 1 bod na 1 km².

4. RADIOMETRIC INVESTIGATIONS IN SLOVAKIA

Radioactivity in Slovakia was measured in two periods each time with different objectives. Between 1947 and 1989, radiometric investigations were aimed at prospecting, exploration and mining of uranium deposits. Surveying companies used radiometric instruments of various kinds and accuracies. The following techniques and their modifications were applied to measure natural radioactivity of solid matter: aerogamma survey, car-borne gamma survey, surface measurements of mountain relief (SMMR), surface gamma survey, pit gamma survey, gamma ray spectrometry and emanation survey.

Aerogamma, car-borne gamma and SMMR explorations were aimed to provide preliminary information on investigated areas and to locate prospective areas. Surface gamma survey, pit gamma survey and emanation survey were main exploration techniques. Pit gamma survey, emanation survey and gamma spectrometry were also used to locate anomalies in detail, while emanation survey and gamma spectrometry were applied to appraise radioactivity anomalies.

Until the mid-1970s, radiometric survey was dominated by regional methods (car-borne gamma, SMMR, etc.) at scales 1:10 000 to 1:25 000, but more detailed scales (largely 1:5 000, rarely 1:10 000) have prevailed over the past 10–15 years.

The density of radiometric survey is very variable. It varies from one stratigraphic unit to another depending on the probability of locating uranium occurrences. Areas at least partly underlain by Permian rocks, i.e. Slovenské rudohorie, Nízke Tatry, Kremnické vrchy, Štiavnické vrchy, Malé Karpaty, Považský Inovec, Tríbeč, Branisko and Čierna hora Mts., were explored most thoroughly. Slanské vrchy, Východné and Nízke Beskydy were explored to a lesser extent.

Individual radiometric methods used cover the following percentages of Slovak territory (map S. C.):

- aerogamma survey 72 %
- car-borne gamma survey 16 %
- surface radiometry 11 %

Since 1990, radiometry has mostly been used to resolve environmental issues – to measure radioactivity from an environmental point of view and to compile maps of environmental geofactors. Techniques used to compile maps of natural radioactivity for the Environmental Geofactors Project included radon measurements in soil air and gamma spectrometry. The survey was carried out at scale 1:200 000, but the ecologically worst hit areas were measured at scale 1:50 000 (20% of Slovak territory): Upper Nitra Valley, Nízke Tatry, Bystrická vrchovina, Čierťaž Mts., Hornádska kotlina and eastern Slovenské rudohorie Mts., Košice Basin and Slanské vrchy Mts. Žiar Basin and Banská Štiavnica area, Malá Fatra Mts. and parts of adjacent basins. 367 reference areas (RA) at a density 1 RA per 134 km² and 845 RAs on the outskirts of district capitals were investigated to compile a derived radon-risk map at scale 1:200 000. Measurement density at scale 1:50 000 was 1 RA per 10 km², in towns and villages 3–5 RAs per km². The measurements were distributed unevenly, particularly in the vicinity of towns and villages. Gamma spectrometry measurements on a 3×3 km grid (density 1 measurement point per 9 km²) at scale 1:200 000 cover the whole Slovak territory. The above-mentioned selected areas were measured at scale 1:50 000 on a regular 1×1 km grid with density 1 point per km².

5. LOŽISKÁ URÁNOVÝCH RÚD V SLOVENSKEJ REPUBLIKE

Osobitnými zdrojmi prírodnej rádioaktivity sú také nahromadenia uránových minerálov, ktoré môžu vytvárať ložiská uránových rúd. Takéto ložisko sa pritom môže v určitom čase za vhodných ekonomických podmienok aj využívať. Uránové rudy majú pri vyťažení na povrch negatívny vplyv na stav životného prostredia, avšak len v bezprostrednom priestore ich ťažby a prechodného skladovania, prípadne v mieste ich úpravy.

Podstatnejší vplyv na zvýšený stav prírodnej rádioaktivity v okolí ložísk uránových rúd majú tie ložiská rúd, ktorých rudné telesá prirodzene vystupujú na zemský povrch. V priebehu geologických období ich prirodzené činitele rozrušovali (denudovali) a vodné toky ich materiál transportovali do širšieho okolia. Príkladom sú ložiská uránových rúd Novoveská Huta-Muráň pri Spišskej Novej Vsi, ktoré majú niekoľko výstupov rudných telies na zemský povrch. Tieto rudy boli rozrušované a vodnými tokmi roznášané do okolia už v paleogéne (60 mil. rokov), pretože ich úlomky sa nachádzajú v bazálnych zlepenoch paleogénu. Proces denudácie a odnos vodou prebieha aj v súčasnosti.

Podobne vystupujú na zemský povrch rudné telesá uránových rúd aj pri Kálnici a Selci v Považskom Inovci, pri Vikartovciach, Kravanoch a Švábovciach v Kozích chrbtoch.

Denudácia rudných telies ložísk teda prebieha neprestajne, ale množstvo úlomkov uránových rúd, ktoré transportujú potoky z týchto miest, je len zlomok promile všetkých úlomkov hornín. Znečistenie prostredia týmito prirodzenými pochodmi je preto zanedbateľné a takmer nemerateľné.

Na území Slovenska je jedenásť ložísk uránových rúd (mapa U. O.), z ktorých dve sú významnejšie (Novoveská Huta, Jahodná) a ostatné patria medzi malé. Z nich sú len tri ložiská malých rozmerov vyťažené (Muráň, Kravany, Vikartovce) a päť ložísk čiastočne vyťažených (Novoveská Huta, Švábovce, Nižný Chmelienc, Kálnica, Selec). Z dvoch ložísk sa vôbec neťažilo (Jahodná, Spišský Štiavnik). V súčasnosti sa na území Slovenska nevykonávajú nijaké terénne geologickoprieskumné alebo ťažobné práce zamerané na uránové rudy.

Vo všetkých uvádzaných ložiskách sa uránová ruda nachádza vo vrstvových telesách zväčša šoškovitého alebo nepravidelného tvaru. Rudné minerály tvoria impregnácie v pieskovochoch s väzbou na úlomky zuhoľnatenej flóry (Kravany, Švábovce). V iných prípadoch sú rudné minerály vtrúsené vo vulkanoklastických sedimentoch (Muráň, Novoveská Huta, Kálnica) a v telesách vulkanitov (Jahodná), prípadne v tektonických zlomoch (Novoveská Huta a Kravany).

Typickým príkladom ložiska s väzbou uránových minerálov na úlomky zuhoľnatenej flóry je malé, už vyťažené ložisko Kravany v Kozích chrbtoch. Takmer vodorovne uložené ložisko s rozmermi asi 250×150 m sa skladá z niekoľkých rudných šoškovitých telies s hrúbkou 0,5–2 m. Tvoria ich sivé strednozrnité muskovitické pieskovce, ktoré sa vyznačujú vysokým obsahom úlomkov zuhoľnatenej flóry permského veku. Miestami sú tu vyvinuté tenké vrstvičky kamenného uhlia. Impregnácia úlomkov zuhoľnatenej flóry rudnými, najmä uránovými minerálmi poukazuje na to, že začiatok vzniku tejto mineralizácie je možné spájať s obdobím vzniku týchto sedimentov. V ďalších procesoch, zväčša počas alpínskeho orogénu, nastala mobilizácia a koncentrácia rudných minerálov. Ich hlavná masa tvorí impregnácie v úlomkoch zuhoľnatenej flóry a medzi zrnami pieskovca, alebo vystupuje ako sieť drobných žiliek v rámci zrudnených telies či na vrstvom rozhraní. Hlavným rudným minerálom na ložisku je uraninit (ROJKOVIČ, 1973). Zo sekundárnych minerálov sa vyskytuje autunit. Bežný je pyrit.

Ložiská uránových rúd Novoveská Huta a Muráň sú charakteristické spätosťou svojho vzniku aj priestorového rozloženia s vulkanizmom permského veku. Nachádzajú sa 7–10 km na juhozápad od Spišskej Novej Vsi. Patria k nim aj rudné výskyt Hnilčík a Hanisková. Tieto ložiská a výskyt sa vyznačujú zložitými úložnými aj tektonickými pomermi, pretože celá oblasť má vrásovo-prešmykovú stavbu. Najväčšie plošné rozšírenie má prvá rudná poloha, tvorená vulkanicko-sedimentárnou brekciou, ktorá vystupuje aj na povrch terénu. Je zložená z klastov terigénneho pôvodu (kremeň, fylity, kvarcity) a klastov permských vulkanitov acidného (ryolit) až intermediárneho typu (andezit, dacit) v rôznom pomere. V blízkom podloží túto polohu sprevádzajú telesá výlevných ryolitov. V úsekoch s bohatou pyritizáciou sa vyskytujú rudné telesá obyčajne šoškovitého tvaru s plošným rozmerom 10–5000 m² a hrúbkou 0,5–3 m. Rudné minerály a pyrit impregnujú tmel sedimentov a úlomky vulkanitov. Na ložisku Novoveská Huta sa hlbšie pod prvou rudnou polohou nachádza ďalšia, druhá rudná poloha. Je situovaná vo vrchnej časti telesa intermediárnych vulkanitov (andezit, dacit), ktoré sú intenzívne premenené (karbonatizácia, sericitizácia) a zbrekčovatené. V tomto horninovom prostredí je 1–80 m mocné rudné teleso s premenlivou, ale nižšou kvalitou

5. URANIUM DEPOSITS IN SLOVAKIA

Major uranium occurrences which sometimes constitute uranium deposits are special sources of natural radioactivity. These deposits may be mined under favourable economic conditions. Once hauled to the surface, uranium ores adversely affect the environment, but only in the immediate vicinity of mining and temporary dumping or in the place of ore processing.

Natural radioactivity is increased much more near those uranium deposits which are naturally exposed on the surface. Over long geological periods the uranium ores are denuded and through streams dispersed over a wider area. The case is exemplified by the Novoveská Huta – Muráň deposit near Spišská Nová Ves whose several orebodies crop out. The ores of this deposit have been eroded and dispersed in the neighbourhood since the Early Tertiary (60 m.y.) as their fragments are found in basal Paleogene conglomerates. The process continues till the present day.

Likewise, other uranium occurrences, such as those near Kálnica and Selec in the Považský Inovec Mts. as well as near Vikartovce, Kravany and Švábovce in the Kozie chrbty Ridge, are also exposed on the surface.

The erosion of orebodies is a neverending process, but fragments of uranium ores carried by streams account only for an extremely small percentage of all fragments. Therefore environmental pollution by these natural processes is negligible and barely measurable.

Slovakia has eleven uranium deposits (map U. O.) two of which are major (Novoveská Huta, Jahodná) and the remaining nine are small. Three of the small deposits are mined out completely (Muráň, Kravany, Vikartovce) and five others partly (Novoveská Huta, Švábovce, Nižný Chmelienc, Kálnica, Selec). Two deposits have never been mined (Jahodná, Spišský Štiavnik). Novoveská Huta and Jahodná deposits are distinguished by high molybdenite contents in their uranium ores. Neither uranium mining nor exploration currently take place in Slovakia.

All above-mentioned deposits consist of bedded orebodies of lenticular or irregular shape. Disseminated ore minerals are bound to carbonaceous flora remains in sandstones (Kravany, Švábovce). Elsewhere, the ore minerals are disseminated in volcanoclastic sediments (Muráň, Novoveská Huta, Kálnica), in volcanic bodies (Jahodná) and on faults (Novoveská Huta, Kravany).

The small mined-out Kravany deposit is a typical example of a deposit where uranium minerals are bound to carbonaceous flora remains. It is located NE of the village of the same name in the Kozie chrbty Ridge. The nearly flat-lying deposit about 250×150 m in size is composed of several podiform orebodies 0.5–2 m thick. The bodies consist of gray medium-grained muscovite sandstones rich in Permian carbonaceous flora remains. The sandstones are intercalated with thin hard-coal layers. Distinct sedimentary structures in the sandstones (parallel and cross bedding, ripple marks) prove that they were laid down in a fluvial environment. The fact that the carbonaceous flora remains are impregnated by ore, chiefly uranium minerals suggest that the mineralization process may be coeval with the deposition of these sediments. Later events, primarily during the Alpine orogeny resulted in mobilization and concentration of the ore minerals. They mostly form disseminations in carbonaceous flora remains or among sandstone grains or create tiny veinlets in the orebodies or along bed planes. Uraninite is the principal ore mineral of the deposit (ROJKOVIČ, 1973). Of secondary minerals, autunite is present. Pyrite is commonly found.

The Novoveská Huta and Muráň uranium deposits are notably genetically and spatially associated with Permian volcanism. Situated 7–10 km SW of Spišská Nová Ves, they are the first and best explored deposits. Hnilčík and Hanisková ore occurrences are linked to them. The above deposits and occurrences have a complicated tectonic structure as the whole area has a fold-reverse-fault structure. The so-called 1st layer composed of volcano-sedimentary breccia locally exposed on the surface is most widely distributed. It is made up of variable proportions of terrigenous clasts (quartz, phyllites, quartzites) and Permian acid (rhyolite) to intermediate (andesite, dacite) volcanic clasts. The layer is underlain by effusive rhyolite bodies. Pyrite-rich sectors of the layer host largely podiform orebodies 0.5–3 m thick and 10–5000 m² in area. Ore minerals and pyrite are disseminated in volcanic fragments and cement. The 2nd ore layer is found at the Novoveská Huta deposit below the 1st layer. It is situated in the upper portion of a 200–300-m-thick body of intermediate volcanics (andesite, dacite). These are strongly altered (carbonatized, sericitized) and brecciated. The volcanics host a 1–80-m-thick orebody of variable, but generally

a obsahom rudných prvkov. Zrudnenie sa nachádza na ploche 0,4×2,5 km, nemá však súvislý priebeh. Hlavnými rudnými minerálmi (ROJKOVIČ et al., 1993) sú uraninit, U-Ti-oxidy a molybdenit (urán-molybdénové rudy).

Iné výskyty uránových rúd nespĺňajú kritéria ložísk a charakterizujeme ich ako rudné alebo mineralogické výskyty. Majú oveľa pestrejší charakter. Do tejto skupiny patrí napr. výskyt Gočaltovo, kde sa uránová mineralizácia viaže na fosforitové konkrécie morského pôvodu, výskyty Zimná voda a Peklisko, kde sú uránové minerály v kremeňových žilách spolu s rýdzim zlatom, výskyt Čučma, kde sú uránové minerály v kremeňových žilách spolu s apatitom (obr. 5) a prvkami vzácnych zemín. Ďalším osobitným typom je výskyt Bučina, kde sú uránové minerály viazané na limonit v tektonickom zlome, výskyty Branisko, Čierna hora a Špania Dolina s väzbou uránových minerálov na pyritizované zóny v metaarkózach. Rudný výskyt Poráč má podobný charakter ako ložisko Muráň. Rudný výskyt Matejovce nad Hornádom leží v horninách permu a karbónu. Okrem toho sa vyskytuje na Slovensku aj množstvo iných, geneticky pestrých prípadov uránovej mineralizácie.

V súhrne sa dá konštatovať, že v uvádzaných ložiskách a výskytoch uránových rúd je hlavným minerálom uraninit (obr. 6). Iné uránové minerály, napríklad U-Ti-oxidy, brannerit (obr. 7) a coffinit, majú podradné zastúpenie. V prípvrchových častiach ložísk sa nachádzajú sekundárne uránové minerály, a to najmä zelený torbernit (obr. 8), žltý autunit a zriedkavo zeunerit a trögerit (obr. 9). Minerály tória sa vyskytujú len ako akcesorické minerály v horninách.

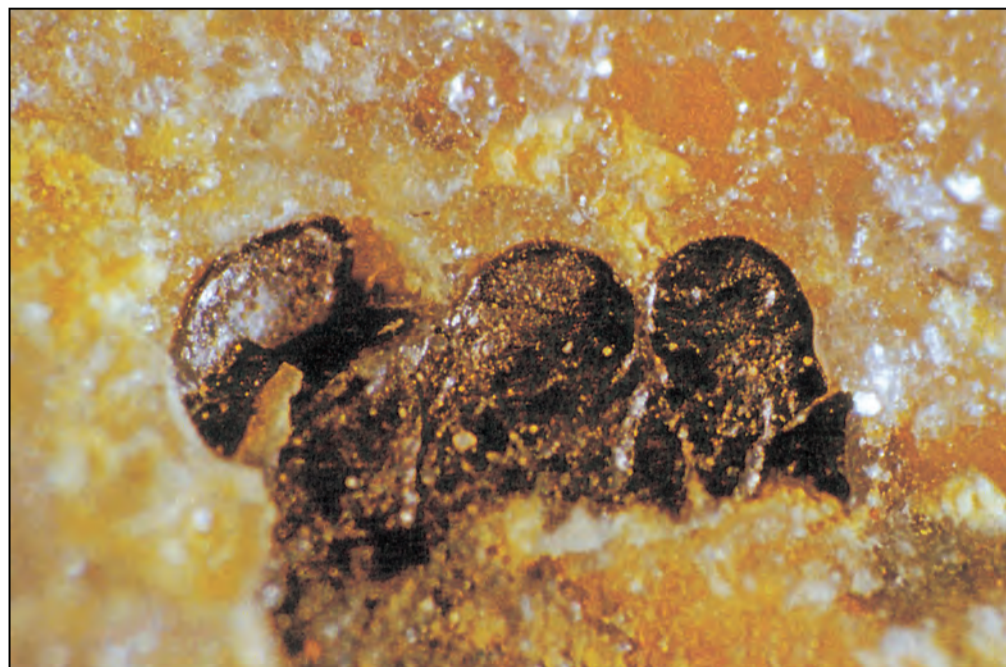
lower ore grade. The discontinuous mineralization occurs on an area of 0.4×2.5 km. Major ore minerals here (ROJKOVIČ et al., 1993) comprise uraninite, U-Ti oxides and molybdenite (uranium-molybdenum ores).

The other uranium occurrences are too small or too low-grade to be called deposits. They are just ore or mineralogic occurrences, but their character is much more variegated. It applies for instance to the Gočaltovo occurrence where uranium mineralization is bound to phosphorite concretions of marine origin, Zimná voda and Peklisko where uranium minerals along with native gold are found on quartz veins, and Čučma where uranium minerals on quartz veins are associated with apatite (Fig. 5) and rare-earth elements. Another notable occurrence is Bučina where U minerals are bound to limonite on a fault, as well as Branisko, Čierna hora and Špania Dolina where U minerals are hosted by pyritized zones in metaarkoses. The Poráč occurrence is similar to the Muráň deposit. The Matejovce nad Hornádom occurrence is hosted by a layer of pyritized arkoses. Furthermore, a multitude of other uranium occurrences of various origin is known in Slovakia. In general, we may conclude that uraninite (Fig. 6) is the main uranium mineral at the above deposits. Other U minerals, such as U-Ti oxides, brannerite (Fig. 7) and coffinite are rare. Near-surface parts of the deposits contain secondary U minerals, mainly green torbernite (Fig. 8), yellow autunite and seldom also zeunerite and trogerite (Fig. 9). Thorium minerals are just accessories in rocks.



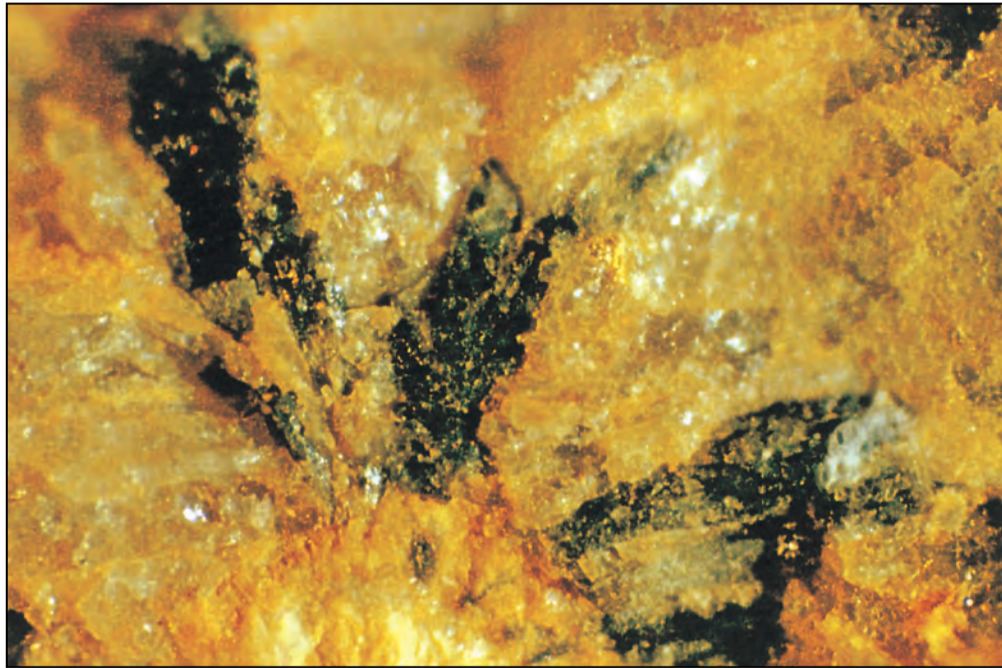
Obr. 5
Tabuľkové kryštály apatitu (biele) v žile hnedého kremeňa.
Čučma.

Fig. 5
Tabular crystals of apatite (white) in a brown quartz vein.
Čučma.



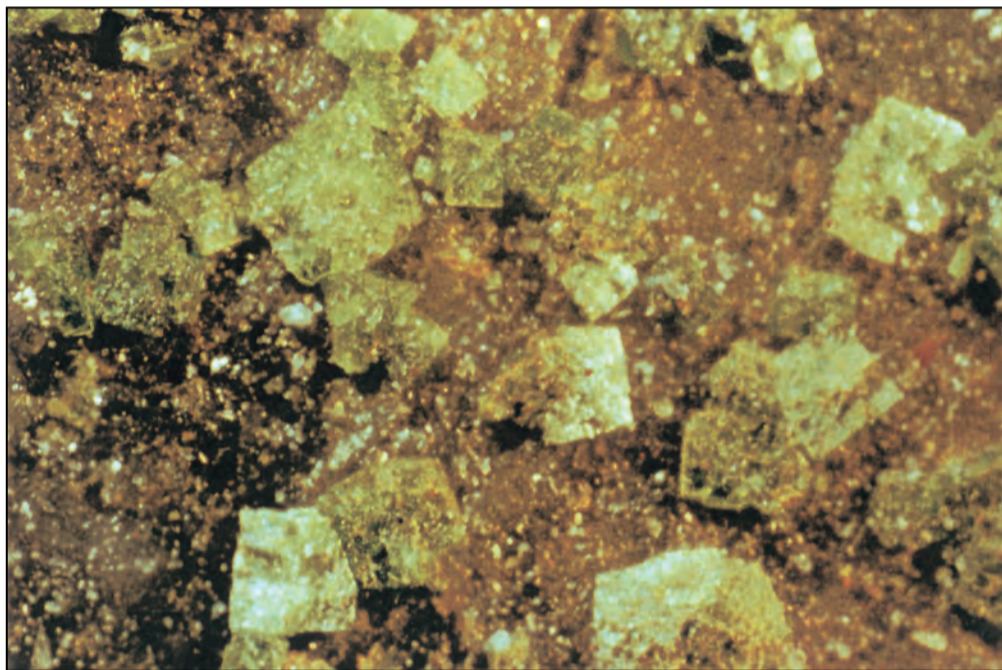
Obr. 6
Kolomorfné koncentrické agregáty uraninitu (hnedočierne)
v kremeni. Peklisko.

Fig. 6
Colloform concentric uraninite aggregates (brown-black) in quartz.
Peklisko.



Obr. 7
Kryštalický brannerit (čierny) v kremeni so zlatom (žlté v strede vpravo). Zimná voda.

Fig. 7
Crystalline brannerite (black) in quartz with gold (yellow in centre at right). Zimná voda.



Obr. 8
Kryštály torbernitú (zelené) v kremeni. Peklisko.

Fig. 8
Torbernite crystals (green) in quartz. Peklisko.

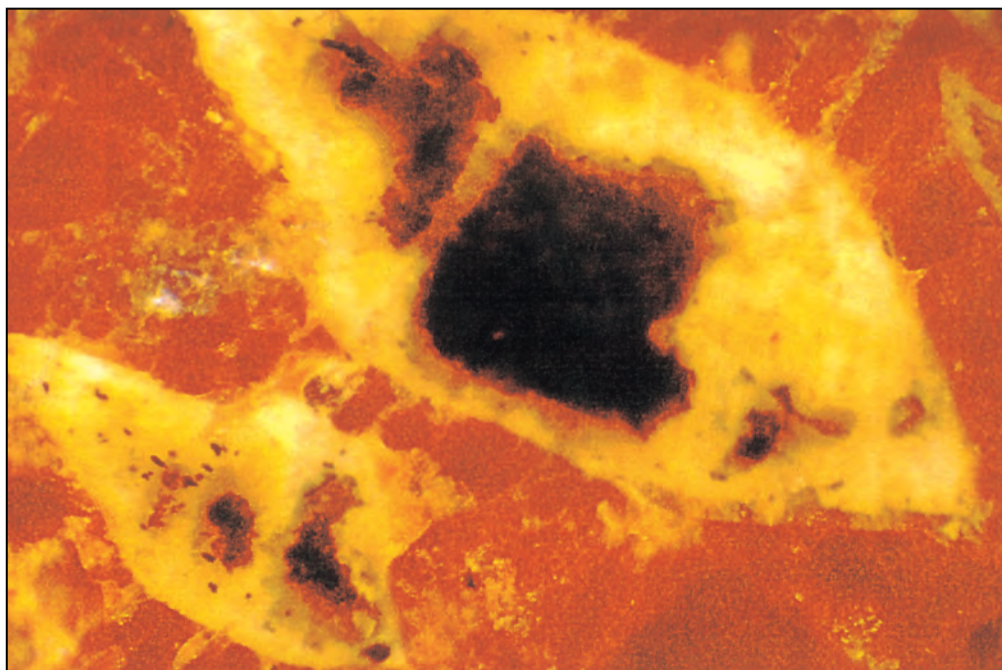


Foto: J. Rojkovič

Obr. 9
Relikty branneritu (hnedočierne) obklopené trögeritom? (žltý) v kremeni. Peklisko.

Fig. 9
Brannerite relics (brown-black) amidst trögerite? (yellow) in quartz (red-brown). Peklisko.

6. METODIKA MERANIA A VYHODNOCOVANIA ÚDAJOV PRE ZOSTAVENIE MÁP PRÍRODNEJ RÁDIOAKTIVITY

Metodika merania je prispôbená základným mapám prírodnej rádioaktivity, ktoré hodnotia jednotlivé zložky prírodného geologického prostredia. Ide o mapy prírodnej rádioaktivity hornín, mapy radónového rizika a mapy prírodnej rádioaktivity vôd.

6.1. Metodika zostavovania máp prírodnej rádioaktivity hornín

Mapy znázorňujú plošné vyhodnotenie rádioaktivity hornín a jej jednotlivých zložiek eU, eTh a K.

Merania sa vykonávali spektrometrami GS-256 priamo v teréne spôsobom tzv. referenčných plôch. Jedna referenčná plocha pozostávala z piatich meraní rozložených do kríža, pričom merané body boli vzdialené od stredného bodu 20 m. Priemerná hodnota týchto meraní bola základom hodnoty referenčného spektrometrického bodu. Kontrolné merania sa robili na desiatich percentách bodov a vzorky na kontrolné štvorkomponentné analýzy (laboratorne určenie obsahov K, U, Th a Ra) sa odoberali z piatich percent bodov. Laboratorne práce sa vykonávali vo firme MEGA, a. s. Stráž pod Ralskem (Česká republika).

Prístroje použité na terénne merania sa raz ročne kalibrovali na kalibračných modeloch v Bratkoviciach u Příbrami a raz mesačne boli skúšané na kontrolných modeloch URANPRES-u v Spišskej Novej Vsi-Novoveskej Hute.

Jednotlivé hodnoty K, U, Th sa vyrátali špeciálnym počítačovým programom na základe nameraných hodnôt a ciachovacích koeficientov z kalibračných modelov, pričom výsledky sa vzťahujú na geometriu 2π , teda povrch zeme.

Aby výsledky meraní zodpovedali skutočným obsahom jednotlivých zložiek rádioaktivity v zemskej kôre, prerátávali sa tieto hodnoty na základe stanovenia regresných závislostí, a to vzťahom medzi terénnymi a laboratornými výsledkami meraní.

Pre jednotlivé rádionuklidy sa stanovili rovnice regresných priamkových závislostí:

Draslík: $K_{lab} = 0,741 K_{ter} + 0,421$, koeficient korelácie $r_{xy} = 0,826$

Urán: $Ra_{lab} = 0,692 U_{ter} + 1,164$, koeficient korelácie $r_{xy} = 0,705$

Tórium: $Th_{lab} = 0,704 \cdot Th_{ter} + 3,385$, koeficient korelácie $r_{xy} = 0,833$

Najspoľahlivejšiu koreláciu vykazuje tórium a draslík, o čosi menšiu urán. Presnosť meraní gamaspektrometrie sa posudzovala z kontrolných meraní na 7248 meraných bodoch. Hodnotené súbory pre jednotlivé komponenty boli rozdelené do obsahových podsúborov. S najväčšou presnosťou je meraná úhrnná rádioaktivita a draslík, menej presne urán, najmä v obsahovom podsúbore 0–2 ppm, teda v intervale nízkorádioaktívnych hornín, kde je citlivosť prístroja menšia. Výsledky kontrolných meraní sú v tabuľke 6.

Hodnoty celkovej rádioaktivity vyjadrené v jednotke ur závisia od parametrov prístroja (detektor a diskriminačná hladina registrovanej energie) a od zodpovedajúcich uránových ekvivalentov draslíka a tória. Celková rádioaktivita sa vyrátava podľa vzťahu, ktorý platí pri použití spektrometrov GS-256 pre diskriminačnú hladinu $E_{disk} = 840$ keV a použití detektora NaI (TI) s objemom 348 cm³:

$$eU_t \text{ (ur)} = 2,79 K \text{ (\%)} + eU \text{ (ppm)} + 0,48 eTh \text{ (ppm)}$$

6.2. Metodika zostavovania máp radónového rizika

Keď sa začali merania pre odvodenú mapu radónového rizika v mierke 1 : 200 000 (rok 1990), v ČSFR sa používala metóda SAN. Preto sa merania robili touto metódou. V súčasnosti sa uplatňujú modernejšie metódy, najmä detekcia radónu pomocou Lucasových komôr.

Metodiku SAN (obr. 10) s citlivosťou merania 1 kBq.m⁻³ vypracoval Uránový průzkum, k. p. Liberec a schválilo ju referenčné laboratórium hlavného hygienika ČSFR. Objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu je variabilná a závisí od mnohých okolností. Ako najdôveryhodnejšia metóda sa ukázala metóda referenčných plôch, kde 1 referenčná plocha predstavuje 25–30 bodov SAN v plošnom, resp. profilovom meraní. Objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu sa stanovila na základe merania povrchovej alfa aktivity dcérskych produktov radónu deponovaných na detekčnej fólii umiestnenej vo vrtaných sondách, hlbokých 80 cm. V každej navrtanej sonde sa súčasne zisťoval dávkový príkon žiarenia gama.

6. MEASUREMENT AND ASSESSMENT TECHNIQUES USED TO COMPILE NATURAL-RADIOACTIVITY MAPS

Measurement techniques comply with basic maps of natural radioactivity which evaluate individual components of natural geological environment. The maps are as follows: maps of natural rock radioactivity, maps of radon risk and maps of natural water radioactivity.

6.1. Techniques Used to Compile Natural-Rock-Radioactivity Maps

The maps illustrate areal distribution of rock radioactivity and its components eU, eTh and K. Field measurements were conducted by the spectrometer GS-256 through the so-called reference-area technique. One reference area was composed of five cross-like distributed measurements, the measured points being 20 m away from the central point. The average value of these readings amounted to the basis of a given spectrometric reference point. Check readings were taken on 10% of points, and samples for check four-element analyses (laboratory determinations of K, U, Th and Ra) were collected on 5% of measured points. Laboratory determinations were made by the company MEGA, a. s. Stráž pod Ralskem, Czech Republic.

The instruments used for the field measurements were calibrated once a year on calibration models at Bratkovice u Příbrami, and once a month were tested on URANPRES' check models at Spišská Nová Ves – Novoveská Huta. Individual K, U and Th contents were calculated by a special software from the measured values and calibration coefficients derived from calibration models, the results applying to 2π geometry, i.e. to the earth's surface.

To ensure that the measurements correspond to real contents of respective radioactivity components in the earth's crust, the readings were adjusted on the basis of determined regression relationships between field and laboratory measurements.

Regression straightline relationships were determined for respective radionuclides:

Potassium $K_{lab} = 0.741 K_{ter} + 0.421$, correlation coefficient $r_{xy} = 0.826$

Uranium $Ra_{lab} = 0.692 U_{ter} + 1.164$, correlation coefficient $r_{xy} = 0.705$

Thorium $Th_{lab} = 0.704 Th_{ter} + 3.385$, correlation coefficient $r_{xy} = 0.833$

Thorium and potassium display the most reliable correlations, while that of uranium is less reliable.

The accuracy of gamma ray spectrometry was evaluated on the basis of 7248 check measurements. The evaluated sets for respective components were divided into content subsets. Total radioactivity and potassium were measured most accurately. Uranium measurements were less accurate, notably in the subset 0–2 ppm, i.e. subset of low-radioactive rocks, where the instrument used is less sensitive. The results of the check measurements are given in Tab. 6.

Total radioactivity values given in the unit ur depend on the instrument parameters (detector and discrimination level of registered energy) and corresponding uranium equivalents of potassium and thorium. Total radioactivity is calculated through the following equation which is valid for GS-256 spectrometers, discrimination level $E_{disc} = 840$ keV and 348 cm³ NaI (TI) detector:

$$eU_t \text{ (ur)} = 2,79 K \text{ (\%)} + eU \text{ (ppm)} + 0,48 eTh \text{ (ppm)}$$

6.2. Techniques Used to Compile Derived Radon-Risk Map

The SAN method was known and applied in Czechoslovakia at the time when the measurements for the derived radon-risk map at scale 1 : 200 000 started (in 1990), and therefore the method was applied also in this project. It has currently been replaced by up-to-date techniques, primarily Radon detection through Lucas chambers.

The SAN technique (Fig. 10) with reading accuracy of 1 kBq.m⁻³ was designed by the Liberec-based company Ur nový průzkum (Uranium Survey) and approved by a reference laboratory of the chief health officer. Radon volume activity in soil air is variable and depends on many factors. The reference-area method where 1 reference area represents 25–30 SAN points of areal or profile measurements turned out to be most reliable. Radon volume activity in soil air was determined from the measurements of surface alpha activity of radon daughter products deposited on a detection foil located in 80-cm-deep drilled pits. Gamma radiation dose input was also determined in each such pit.

VYHODNOTENIE KONTROLNÝCH MERANÍ SPEKTROMETRIE GAMA

TAB. 6

EVALUATION OF GAMA SPECTROMETRIC CHECK MEASUREMENTS

	Hodnotený interval Evaluated interval [%], [ppm], [ur]	Počet hodnôt Number of values N	Štandardná odchýlka σ Standard deviation σ [%], [ppm], [ur]	Relatívna chyba merania Relative inaccuracy of measurements P [%]
Draslík Potassium (%)	0-1	898	0,08	13,17
	1-2	4844	0,10	6,44
	2-3	1245	0,12	5,19
	3-4	213	0,20	6,15
	4 a viac / and more	48	0,20	4,19
	celý súbor / total set	7248	0,10	6,55
Urán Uranium (ppm)	0-2	1430	0,38	24,42
	2-4	4513	0,44	14,91
	4-6	1136	0,61	13,63
	6 a viac / and more	170	0,93	13,03
	celý súbor / total set	7249	0,48	15,84
Tórium Thorium (ppm)	0-5	902	0,55	16,75
	5-10	4106	0,70	9,13
	10-15	2047	0,91	7,79
	15-20	167	1,44	8,97
	20 a viac / and more	26	1,66	7,27
	celý súbor / total set	7248	0,78	9,16
Úhrnná rádioaktivita Total radioactivity (ur)	0-5	296	0,41	12,21
	5-10	2075	0,46	5,64
	10-15	3584	0,55	4,53
	15-20	1097	0,69	4,20
	20 a viac / and more	196	1,08	4,67
	celý súbor / total set	7248	0,57	4,88

Obr. 10

Meranie objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu metodikou SAN

- A - vítačka so zemným vrtákom
- B - adsorbčná fólia na pevné produkty rozpadu radónu
- C - komora na uloženie deponačnej fólie
- D - ílová zátka na utesnenie vrtu
- E - sonda prístroja
- F - ovládací panel prístroja

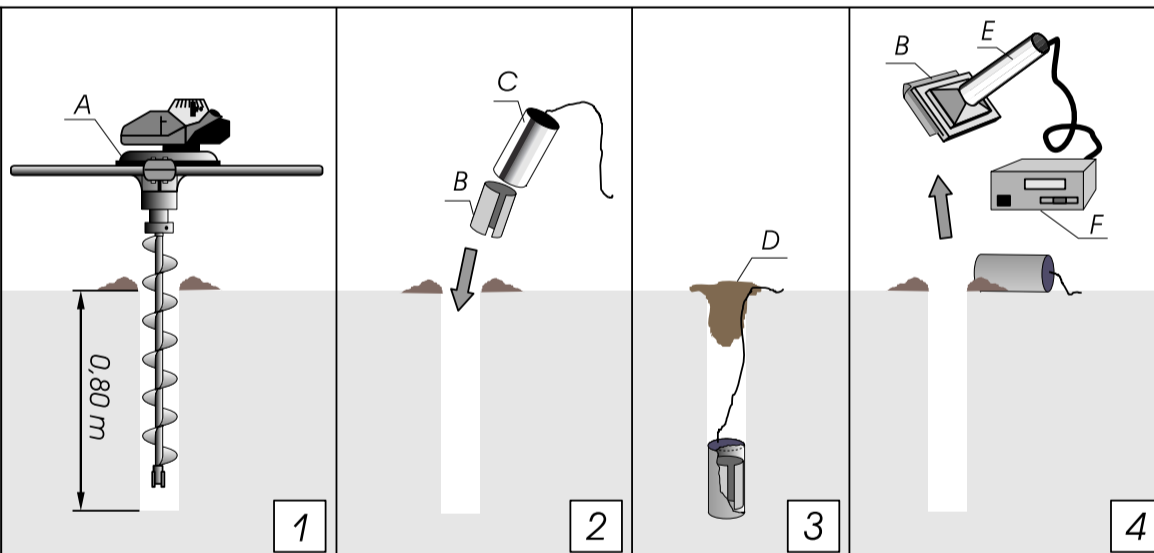


Fig. 10
Measuring radon volume activity in soil air by SAN method

- A - drill with earth auger
- B - adsorbtion foil for solid products of radon decay
- C - chamber containing deposition foil
- D - clay plug to close the pit
- E - apparatus probe
- F - control panel of the apparatus

Obr. 11

Meranie objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu metodikou LUK

- A - odberná rúrka
- B - vyrážacia tyč
- C - stratený hrot
- D - odsávacia hlava
- E - injekčná striekačka JANETT
- F - Lucasova scintilačná komora
- G - prístroj na meranie objemovej aktivity radónu
- H - ovládací panel prístroja
- I - sonda prístroja
- J - kruhový menič scintilačných komôr

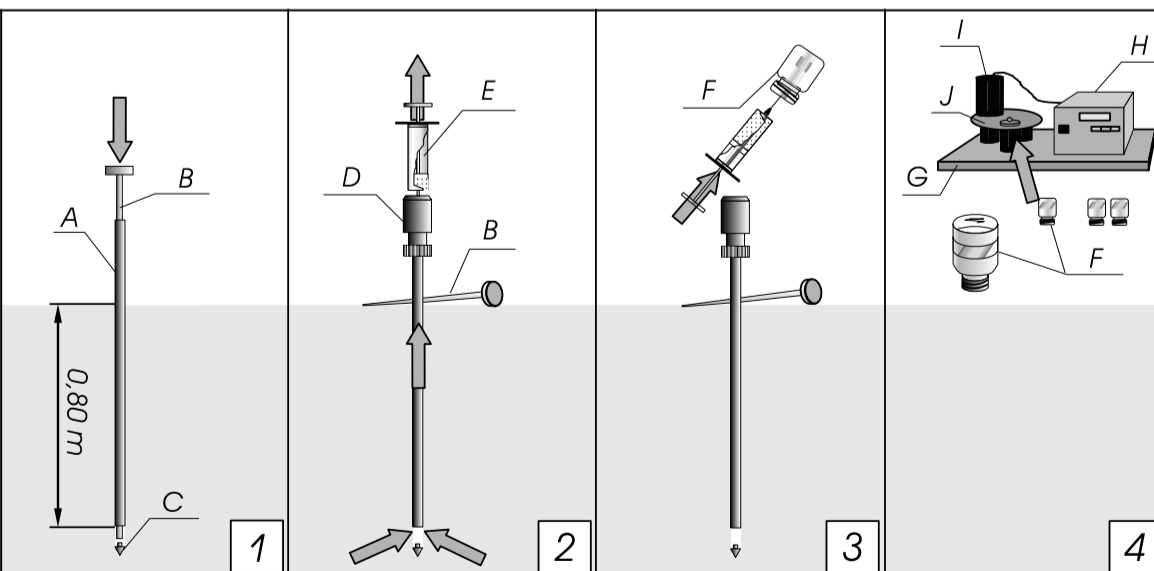


Fig. 11
Measuring radon volume activity in soil air by LUK method

- A - collecting tube
- B - striking rod
- C - lost point
- D - suction head
- E - syringe JANETT
- F - Lucas' scintillation chamber
- G - apparatus to measure radon volume activity
- H - control panel of the apparatus
- I - apparatus' probe
- J - circular changer of scintillation chambers

Metóda merania radónu pomocou Lucasových komôr (obr. 11) je založená na detekcii emitovaných častíc alfa radónom a jeho dcérskymi produktmi, ktoré pri

The Lucas chamber technique to measure radon contents (Fig. 11) is based on emitting alpha radon particles and its daughter products which, upon

dopade na scintilačnú látku ZnS(Ag), vyvolávajú v scintilačnej komore svetelné záblesky. Tie sa zaznamenávajú cez fotonásobič v prístroji. Vzduch do scintilačnej komory sa odoberá odbernou tyčou z vytĺkaných sond z hĺbky 0,8 m.

Základné veličiny potrebné na posúdenie radónového rizika v pôdnom vzduchu geologického podložia sú: objemová aktivita ^{222}Rn vyjadrená v $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ a kategória základových pôd (podľa STN 73 1001), z ktorej sa odvodzuje plynopriepustnosť hornín. Pri tejto klasifikácii sa vychádza z percentuálneho zastúpenia jemnozrnných častíc v hornine (tab. 7).

falling on the scintillation matter ZnS(Ag) placed in a scintillation chamber, cause flashing light that are recorded through a photomultiplier in the instrument. Air is sucked into the scintillation chamber through a collection rod from a depth of 0.8 m.

Essential characteristics needed to assess radon risk in soil air of the geological substratum include ^{222}Rn volume activity given in $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ and foundation-soil category (according to Slovak state standard 73 1001), the later being used to derive gas permeability of rocks.

This classification is based on the percentages of fine grains in the rock (Tab. 7).

KATEGÓRIE PLYNOPRIEPUSTNOSTI ZÁKLADOVÝCH PÔD	TAB. 7	GAS-PERMEABILITY CATEGORIES OF FOUNDATION SOILS
Kategórie priepustnosti základových pôd / Gas-permeability categories of foundation soils		Triedy zemín podľa STN 73 1001 / Soil categories according to STN 73 1001
Málo priepustné / Poorly permeable $f > 65\%$		F5, F6, F7, F8
Stredne priepustné / Moderately permeable $15\% < f < 65\%$		F1, F2, F3, F4, S4, S5, G4, G5
Dobre priepustné / Highly permeable $f < 15\%$		S1, S2, S3, G1, G2, G3

Hodnotenie radónového rizika sa opiera aj o zhodnotenie geologickej situácie skúmanej plochy, do ktorého sa zahŕňa posúdenie litologického typu hornín, rádioaktivity hornín v podloží, vertikálneho vývoja hornín najmä s ohľadom na ich homogenitu a plynopriepustnosť, posúdenie štruktúrno-tektonickej situácie územia a ďalších vplyvov.

Určenie radónového rizika jednotlivých meraných bodov sa robilo podľa tab. 8.

Pri zostavovaní odvodených máp radónového rizika sa využili geofyzikálne informácie získané spracovaním archívnych materiálov, a to predovšetkým povrchových rádiometrických a emanačných meraní, automobilového gamaprieskumu, leteckej gamaspektrometrie, rádiometrického vzorkovania hornín a ich analýz a z geologických podkladov.

Based on the evaluation of geological structure of the investigated area, radon-risk assessment focuses on rock types, radioactivity of subjacent rocks, vertical changes in rocks, mainly their homogeneity and gas permeability, as well as on structural-tectonic conditions in the territory concerned and other factors.

The determination of radon risk in individual measurement points is shown in Tab. 8.

The derived radon-risk maps were based on earlier geophysical data, mainly surface radiometric and emanation measurements, truck gamma survey, airborne gamma spectrometry, radiometric rock sampling and rock analyses, and on geological data.

KATEGÓRIE RADÓNOVÉHO RIZIKA Z GEOLOGICKÉHO PODLOŽIA URČENÉ MERANÍM	TAB. 8	RADON RISK CATEGORIES FROM GEOLOGICAL SUBSTRATUM DETERMINED BY MEASUREMENTS		
Radónové riziko Radon risk	Objemová aktivita ^{222}Rn v pôdnom vzduchu ($\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$) v základových pôdach podľa plynopriepustnosti ^{222}Rn volume activity in soil air ($\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$) in foundation soils by gas permeability			
	Plynová priepustnosť / Gas permeability			
	Malá / Low	Stredná / Medium	Vysoká / High	
nízke / low	<30	<20	<10	
stredné / medium	30–100	20–70	10–30	
vysoké / high	>100	>70	>30	

6.3. Metodika zostavovania máp prírodnej rádioaktivity vôd

Mapy prírodnej rádioaktivity vôd sa zostavovali na základe odobratých vzoriek vôd a ich laboratórneho spracovania. Účelom máp je poznanie súčasného stavu rádioaktivity vôd v jej najdôležitejších zložkách prírodnej rádioaktivity, a to rádionuklidov ^{222}Rn , ^{226}Ra a zmesi rádionuklidov ^{238}U a ^{234}U označovanej ako U_{nat} .

Z územia Slovenskej republiky sa odobralo 5 271 vzoriek z prameňov, minerálnych prameňov, z vrtov s prelivom obyčajnej, minerálnej aj termálnej vody, zo studní, z vodných zdrojov, z čerpaných vrtov, z výtokov banských vôd, vodných tokov, jazier, odkalísk. Hustota odberu v mierke prieskumu 1:200 000 je jedna vzorka na 10 km^2 , v niektorých oblastiach (Horná Nitra, Malá Fatra, Nízke Tatry, Starohorské vrchy, Hornádska kotlina a východná časť Slovenského rudohoria, Slanské vrchy, Košická kotlina) v mierke prieskumu 1:50 000 jedna vzorka na 5 km^2 . V rámci vzorkovacích prác sa 10% vzoriek odoberalo a kontrolne analyzovalo na overenie správnosti výsledkov.

Pri odbere vody sa sledovali tieto parametre: teplota vody, jej senzorké vlastnosti, výdatnosť zdroja, pH a čas odberu vzorky.

Koncentrácia U_{nat} , objemová aktivita ^{226}Ra a ^{222}Rn sa stanovovali laboratórne. Koncentrácia U_{nat} sa určovala kolorimetricky prístrojom VSV-26 s rozsahom citlivosti 0,002–0,40 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ uránu. Objemová aktivita ^{226}Ra sa stanovovala na prístroji NZQ (Tesla Liberec). Objemová aktivita ^{222}Rn sa určovala na prístroji LUK-1 so scintilačnými Lucasovými komorami. Komory a prístroje sú ciachované v laboratóriách URANPRES, s.r.o. Spišská Nová Ves, vonkajšia kontrola sa robila podľa kontrolných okružných analýz a overovania na ÚPKM v Bratislave.

6.3. Techniques Used to Compile Maps of Natural Water Radioactivity

The maps of natural water radioactivity are based on water samples and their laboratory determinations. The maps are designed to learn the current state of water radioactivity and its major components, namely radionuclides ^{222}Rn , ^{226}Ra and a mixture of radionuclides ^{238}U and ^{234}U referred to as U_{nat} . 5 271 samples were collected from Slovakia's springs, mineral springs, normal, mineral and thermal waters from overflowing wells, from wells, water sources, pumped wells, mine effluent, streams, lakes and tailing dumps. Sampling density at the survey scale of 1:200 000 was one sample per 10 km^2 and in some areas (Upper Nitra Valley, Malá Fatra, Nízke Tatry, Starohorské vrchy Mts., Hornád Basin, and eastern Slovenské rudohorie, Slanské vrchy, and Košice Basin) surveyed at scale 1:50 000 one sample per 5 km^2 . Check analyses were made on 10% of samples.

The collecting of water samples included measurements of the following parameters: water temperature, water sensoric properties, source discharge, pH and time when the sample was collected.

U_{nat} contents as well as ^{226}Ra and ^{222}Rn volume activities were determined in laboratories. U_{nat} contents were measured through colorimetric method on a VSV-26 instrument whose sensitivity range was 0.02–0.40 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. ^{226}Ra volume activity was determined on the instrument NZQ (Tesla Liberec). ^{222}Rn contents were measured by the apparatus LUK-1 with Lucas-type scintillation chambers. The chambers and apparatuses were calibrated in URANPRES' laboratories at Spišská Nová Ves, external check analyses were made in various laboratories and verified in ÚPKM, Bratislava.

6.3.1. Kategórie objemovej aktivity a koncentrácií rádionuklidov vo vodách a klasifikácia rádioaktívnych vôd

V zmysle pripravovanej smernice na zostavovanie radiohydrochemických máp sa vody delia do týchto kategórií:

Urán

Na základe obsahov U_{nat} :

- I. nízka koncentrácia – $U_{nat} < 0,005 \text{ mg.l}^{-1}$
- II. mierne zvýšená koncentrácia – $U_{nat} 0,005 - 0,020 \text{ mg.l}^{-1}$
- III. zvýšená koncentrácia – $U_{nat} 0,021 - 0,100 \text{ mg.l}^{-1}$
- IV. vysoká koncentrácia – $U_{nat} > 0,100 \text{ mg.l}^{-1}$

Rádium

Na základe objemovej aktivity ^{226}Ra :

- I. nízka objemová aktivita – $a_v \text{ } ^{226}\text{Ra} < 0,1 \text{ Bq.l}^{-1}$
- II. mierne zvýšená objemová aktivita – $a_v \text{ } ^{226}\text{Ra} 0,1 - 0,5 \text{ Bq.l}^{-1}$
- III. zvýšená objemová aktivita – $a_v \text{ } ^{226}\text{Ra} 0,5 - 1,0 \text{ Bq.l}^{-1}$
- IV. vysoká objemová aktivita – $a_v \text{ } ^{226}\text{Ra} > 1,0 \text{ Bq.l}^{-1}$

Radón

Na základe objemovej aktivity ^{222}Rn :

- I. veľmi nízka objemová aktivita – $a_v \text{ } ^{222}\text{Rn} < 20 \text{ Bq.l}^{-1}$
- II. mierne zvýšená objemová aktivita – $a_v \text{ } ^{222}\text{Rn} 20 - 50 \text{ Bq.l}^{-1}$
- III. zvýšená objemová aktivita – $a_v \text{ } ^{222}\text{Rn} 51 - 200 \text{ Bq.l}^{-1}$
- IV. vysoká objemová aktivita – $a_v \text{ } ^{222}\text{Rn} > 200 \text{ Bq.l}^{-1}$

Klasifikácia rádioaktívnych vôd

L. Lučivjanský navrhuje takúto klasifikáciu rádioaktívnych vôd: *Za rádioaktívnu vodu sa pokladá voda, ktorej aspoň jedna z hodnôt prekračuje tieto limity: koncentrácia U_{nat} $0,03 \text{ mg.l}^{-1}$, objemová aktivita ^{226}Ra $0,5 \text{ Bq.l}^{-1}$, objemová aktivita ^{222}Rn 200 Bq.l^{-1} .*

Podľa objemovej aktivity ^{226}Ra sa vody rozdeľujú na:

- a. Slabo rádioové – objemová aktivita ^{226}Ra od $0,5$ do $5,0 \text{ Bq.l}^{-1}$.
- b. Stredne rádioové – objemová aktivita ^{226}Ra od $5,0$ do 50 Bq.l^{-1} .
- c. Vysoko rádioové – objemová aktivita ^{226}Ra je vyššia ako 50 Bq.l^{-1} .

Podľa objemovej aktivity ^{222}Rn môžeme vody rozdeliť na:

- a. Slabo radónové – objemová aktivita ^{222}Rn je od 200 do 1000 Bq.l^{-1} .
- b. Stredne radónové – objemová aktivita ^{222}Rn je od 1000 do 5000 Bq.l^{-1} .
- c. Vysoko radónové – objemová aktivita ^{222}Rn je vyššia ako 5000 Bq.l^{-1} .

6.3.1. Categories of Radionuclide Volume Activities and Concentrations in Waters and Classification of Radioactive Waters

According to a draft regulation to compile radiohydrochemical maps, waters are classified as follows:

Uranium

Based on U_{nat} contents:

- I. low concentration – U_{nat} content $< 0.005 \text{ mg.l}^{-1}$
- II. slightly increased concentration – U_{nat} content $0.005 - 0.020 \text{ mg.l}^{-1}$
- III. increased concentration – U_{nat} content $0.020 - 0.100 \text{ mg.l}^{-1}$
- IV. high concentration – U_{nat} content $> 0.100 \text{ mg.l}^{-1}$

Radium

Based on ^{226}Ra volume activity:

- I. low volume activity – $a_v \text{ } ^{226}\text{Ra} < 0.1 \text{ Bq.l}^{-1}$
- II. slightly increased volume activity – $a_v \text{ } ^{226}\text{Ra} 0.1 - 0.5 \text{ Bq.l}^{-1}$
- III. increased volume activity – $a_v \text{ } ^{226}\text{Ra} 0.5 - 1.0 \text{ Bq.l}^{-1}$
- IV. high volume activity – $a_v \text{ } ^{226}\text{Ra} > 1.0 \text{ Bq.l}^{-1}$

Radon

Based on ^{222}Rn volume activity:

- I. very low volume activity – $a_v \text{ } ^{222}\text{Rn} < 20 \text{ Bq.l}^{-1}$
- II. slightly increased volume activity – $a_v \text{ } ^{222}\text{Rn} 20 - 50 \text{ Bq.l}^{-1}$
- III. increased volume activity – $a_v \text{ } ^{222}\text{Rn} 50 - 200 \text{ Bq.l}^{-1}$
- IV. high volume activity – $a_v \text{ } ^{222}\text{Rn} > 200 \text{ Bq.l}^{-1}$

Classification of Radioactive Waters

The below classification of radioactive waters has been proposed (LUČIVJANSKÝ L., 1996):

Water is regarded radioactive, if it contains more than $0.03 \text{ mg.l}^{-1} U_{nat}$, its ^{226}Ra volume activity exceeds 0.5 Bq.l^{-1} and ^{222}Rn volume activity is over 200 Bq.l^{-1} .

As to ^{226}Ra volume activity, waters can be classified as follows:

- a) slightly radioactive ^{226}Ra volume activity exceeds 0.5 Bq.l^{-1}
- b) moderately radioactive ^{226}Ra volume activity exceeds 5.0 Bq.l^{-1}
- c) highly radioactive ^{226}Ra volume activity exceeds 50 Bq.l^{-1}

As to ^{222}Rn volume activity, waters can be classified as follows:

- a) slightly radoniferous – ^{222}Rn volume activity exceeds 200 Bq.l^{-1}
- b) moderately radoniferous – ^{222}Rn volume activity exceeds 1000 Bq.l^{-1}
- c) highly radoniferous – ^{222}Rn volume activity exceeds 5000 Bq.l^{-1} .

7. MAPY PRÍRODNEJ RÁDIOAKTIVITY SLOVENSKA

Mapy prírodnej rádioaktivity podávajú obraz o rozšírení zdrojov tohto javu na území Slovenska. Ide o mapy prírodnej rádioaktivity hornín, rádioaktivity vôd, radónového rizika a kozmického žiarenia. Tieto mapy sú podkladom rádioekologického hodnotenia územia Slovenska, ale aj ďalších činností, napríklad tvorby a ochrany životného prostredia, územného plánovania a stavebného poriadku, riešenia špeciálnych geologických a hydrogeologických problémov, výskumnej činnosti, medzinárodných výskumných programov, ale aj vzdelávanie v širšom zmysle.

Jednotlivé mapy sa v ďalšom texte tohto atlasu opisujú v takomto členení:

– mapa dávkového príkonu kozmického žiarenia;

– rádiometrické mapy hornín:

– draslík (K)

– tórium (Th)

– urán (U)

– urán celkový (U celk.)

– dávkový príkon (\dot{D}_a);

– odvodená mapa radónového rizika;

– mapy prírodnej rádioaktivity vôd:

– urán (U_{nat})

– rádium (^{226}Ra)

– radón (^{222}Rn).

Pri konštrukcii rádiometrických máp hornín sa použili výsledky meraní pozemnej gamaspektrometrie na 15 573 bodoch.

7.1. Mapa dávkového príkonu kozmického žiarenia

Mapa dávkového príkonu kozmického žiarenia (mapa C.R.) v zásade kopíruje mapu nadmorských výšok, pretože sa konštruovala podľa Muritha a Gurtnera (1990):

$$\dot{D}_a_{\text{cosmic}} = 37 \cdot e^{0,38 \cdot h} \text{ (nGy} \cdot \text{h}^{-1}\text{)},$$

kde h je nadmorská výška udávaná v km.

Slovensko je krajina výrazne členitá, pričom rozdiel medzi najnižším a najvyšším bodom je 2 559 m. Miesto s najnižšou nadmorskou výškou leží v blízkosti Stredy nad Bodrogom. Má nadmorskú výšku 94 m n. m., a teda jeho dávkový príkon z kozmického žiarenia je $38,3 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$. Najvyšším miestom je Gerlachovský štít s výškou 2 655 m s dávkovým príkonom

7. NATURAL-RADIOACTIVITY MAPS OF SLOVAKIA

Maps of natural radioactivity illustrate distribution of natural radioactivity sources in the Slovak territory. They include maps of natural radioactivity of rocks, radioactivity of waters, radon risk and cosmic radiation. These maps constitute a basis for radioecological assessment of the Slovak territory, but also for further studies, such as creation and conservation of the environment, land-use planning and building code, resolving special geological and hydrogeological issues, research, international projects as well as education in its broad sense.

The following maps are described in the text below:

– map of cosmic radiation dose rate

– radiometric maps of rocks

– potassium (K)

– thorium (Th)

– uranium (U)

– total uranium (U tot.)

– dose rate (\dot{D}_a)

– derived map of radon risk

– maps of natural radioactivity of waters

– uranium (U_{nat})

– radium (^{226}Ra)

– radon (^{222}Rn)

The radiometric maps of rocks were based on ground gammaspectrometric measurements on 15 573 points.

7.1. Map of Cosmic Radiation Dose Rate

The map of cosmic radiation dose rate (map C.R.) essentially corresponds to the altitude map as it was compiled after Murith and Gurtner (1990):

$$\dot{D}_a_{\text{cosmic}} = 37 \cdot e^{0,38 \cdot h} \text{ (nGy} \cdot \text{h}^{-1}\text{)},$$

where h is altitude above sea level in km.

Slovakia has a rugged topography, the difference in altitude between the lowest and highest place being 2 559 m. The lowest place is near Streda nad Bodrogom. Its altitude is 94 m and its cosmic radiation dose rate is $38,3 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$. The highest place is 2 655-m-high Mt. Gerlachovský štít with dose rate $101,5 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$. This value obviously increases with increasing altitude and 10 000 m above the sea level (altitude reached by modern jets) it amounts to $1 654 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$. Taking into account distribu-

DÁVKOVÝ PRÍKON KOZMICKÉHO ŽIARENIA PRE JEDNOTLIVÉ TYPY RELIÉFOV		TAB. 9		COSMIC RADIATION DOSE RATE IN RESPECTIVE ALTITUDES	
Typ / Type	Rozloha / Area km ²	Nadmorská výška / Altitude		$\dot{D}_a_{\text{cosmic}}$	
		od / from	do / to	od / from	do / to
Nížiny / Lowlands	20 045	94	300	38,3	41,5
Nízke výšiny / Low highlands	22 089	301	800	41,5	50,1
Stredné vysočiny / Medium highlands	6 350	801	1 500	50,1	65,4
Vysoké vysočiny / High highlands	515	1 501	2 655	65,4	101,5

$101,5 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$. Ako je zrejmé, táto hodnota sa s výškou zvyšuje, a tak pri letoch moderných lietadiel s výškou letu okolo 10 000 m n. m. je to $1 654 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$. Ak berieme do úvahy rozloženie nížin a vysočín na Slovensku, potom k jednotlivým skupinám je možné priradiť $\dot{D}_a_{\text{cosmic}}$ tak, ako uvádza tabuľka 9.

Priemerná hodnota dávkového príkonu z kozmického žiarenia na území Slovenskej republiky je $44,3 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$.

7.2. Mapa koncentrácií draslíka

Draslík je jedným z dvoch alkalických kovov (Na a K), ktoré patria medzi horninotvorné prvky, pričom priemerný obsah draslíka v zemskej kôre je 2,52%. V jednotlivých horninových typoch má draslík takéto zastúpenie (POLANSKI-SMULIKOWSKI, 1978):

Magmatické horniny:

– ultrabázické 0,03 %

– bázické 0,83 %

– strednobázické 2,30 %

– kyslé 3,34 %.

tion of lowlands and highlands in Slovakia, $\dot{D}_a_{\text{cosmic}}$ in respective areas is illustrated in Tab. 9.

Cosmic radiation dose rate in Slovakia averages $44,3 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$.

7.2. Map of Potassium Concentrations

Potassium is one of two alkali metals (Na and K) included among rock-forming elements, its content in the earth's crust being 2.52%. Potassium percentages in individual rock types are as follows (POLANSKI-SMULIKOWSKI, 1978):

Igneous rocks:

– ultramafic rocks 0.03 %

– mafic rocks 0.83 %

– intermediate rocks 2.30 %

– acid rocks 3.34 %

Sedimentary rocks:

– clayey 2.66 %

– sandy 1.07 %

Sea water 0.04 %

Sedimentárne horniny:

- ílovité 2,66 %
 - piesčité 1,07 %
- Morská voda 0,04 %

V poradí prvkov obsiahnutých v zemskej kôre je draslík na siedmom mieste (2,52 hmotnostných %). Z troch izotopov draslíka je rádioaktívny len ^{40}K . Hodnoty koncentrácie draslíka sa pohybujú od veľmi nízkych (0,1 % v mezozoických vápencoch a dolomitoch Veľkej Fatry) až po hodnotu 5,4 % v spodnotriasových horninách melafýrovej série na sklenoteplíckom ostrove (mapa K). Priemerná hodnota vyrátaná zo všetkých meraní na území Slovenska je 1,61 % (obr. 12), čo je vzhľadom na udávanú koncentráciu draslíka v zemskej kôre (2,52 %) relatívne nižšia hodnota. Všeobecne platí, že zvýšená hodnota koncentrácie draslíka sa vyskytuje predovšetkým na výstupoch kryštalických alebo premenených hornín na zemský povrch. Bázické vulkanity sú charakteristické skôr nižšími hodnotami ako kyslé.

V rámci regionálneho geologického členenia Slovenska sa najnižšími hodnotami koncentrácie draslíka vyznačujú Chočské vrchy (1,29%), paleogén Strážovských vrchov (1,30%) a oravský paleogén (1,35%). Najvyššími hodnotami sa prejavuje veporikum Ľubietovskej zóny (2,38%).

Pri mape koncentrácií draslíka (mapa K) je aj mapka pomerov Th/K. Tento pomer môže charakterizovať geologické procesy prebiehajúce v zemskej kôre, napr. postmagmatické, alebo hydrotermálne. Pre zemsú kôru sa tento pomer udáva hodnotou 4,0, pre kyslé magmatické horniny 4,5, pre bázické horniny 3,5, pre vápence 6,0, pre bridlice 3,5, hliny 3,0, pieskovce 4,0 a pre pôdy 4,0 (v morskej vode len 0,02). Pre územie Slovenska je tento pomer 5,8, čo je pomerne vysoká hodnota spôsobená nižším obsahom draslíka.

Štatistická charakteristika jednotlivých litotypov je na obr. 12.

As to weight, potassium is the seventh most abundant element in the earth's crust (2.52 wt. %). Out of 3 potassium isotopes, only ^{40}K is radioactive.

Potassium contents range from very low (0.1 %) in Mesozoic limestones and dolomites in the Veľká Fatra area to 5.4 % in Lower Triassic rocks of the Melaphyre series in the Sklené Teplice island (map K). The average value calculated from all measurements in the Slovak territory is 1.61 % (Fig. 12) – considerably less than the average content in the earth's crust (2.52 %). In general, potassium concentrations are increased mainly in the vicinity of outcrops of crystalline or metamorphosed rocks. As regards volcanic rocks, mafic volcanics typically have lower contents than acid ones. As to the regional geological division of Slovakia, the lowest potassium concentrations occur in the Chočské vrchy (1.29%), Paleogene of the Strážovská hornatina (1.30%) and Orava Paleogene (1.35%).

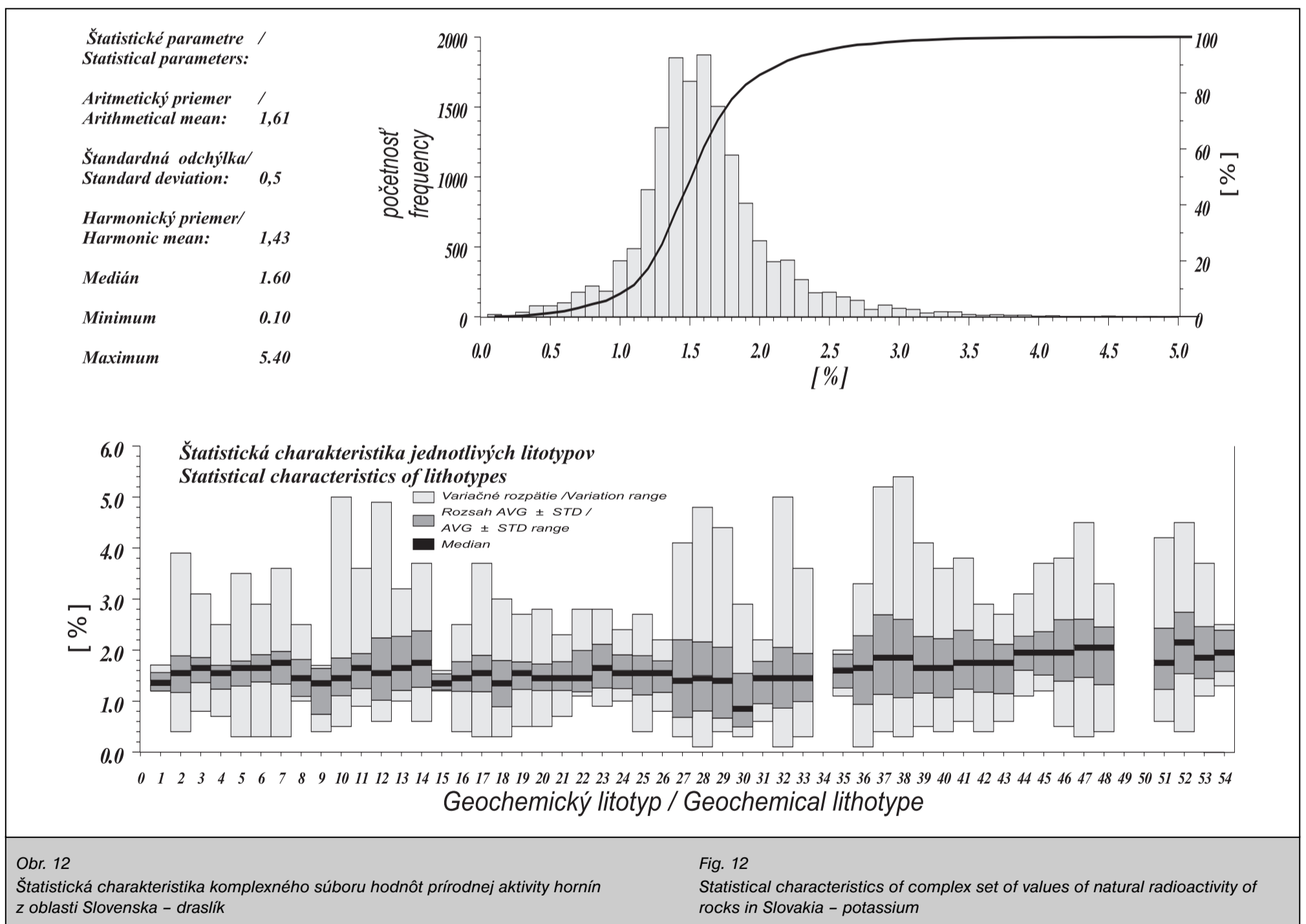
In contrast, the highest concentrations are in the Veporic Ľubietová zone (2.38%).

The map of potassium concentrations (map K) is accompanied by a map of Th/K ratios. This ratio may characterize geological processes in the earth's crust, such as postmagmatic or hydrothermal ones. The ratio is 4.0 in the earth's crust, 4.5 in acid igneous rocks, 3.5 in mafic rocks, 6.0 in limestones, 3.5 in shales, 3.0 in loams, 4.0 in sandstones and 4.0 in soils. The ratio in sea water is a mere 0.02. The fairly high ratio in the Slovak territory (5.8) is caused by lower potassium contents.

Statistical characteristics of individual lithotypes is in Fig. 12.

7.3. Map of Thorium Concentrations

Out of six thorium isotopes, ^{232}Th is most important as it is the parent of thorium decay series.



Obr. 12
Štatistická charakteristika komplexného súboru hodnôt prírodnej aktivity hornín z oblasti Slovenska – draslík

Fig. 12
Statistical characteristics of complex set of values of natural radioactivity of rocks in Slovakia – potassium

7.3. Mapa koncentrácií tória

Zo šiestich izotopov tória má najväčší význam ^{232}Th , ktorý je materským prvkom tóriového radu.

Average thorium concentration in the earth's crust has been estimated at 8–12 ppm. Thorium contents in rocks are variable: 18 ppm in acid igneous rocks, 3 ppm in mafic rocks, 11 ppm in shales and clays, 10 ppm in sandstones and 1.8 ppm in limestones. Average thorium concentration in

Priemerná koncentrácia tória v zemskej kôre sa udáva hodnotou 8–12 ppm. V kyslých magmatitoch je to 18 ppm, v bazických 3 ppm, v bridliciach a íloch 11 ppm, v pieskovočoch 10 ppm a vápencoch 1,8 ppm. Priemerná koncentrácia tória na Slovensku je 9,4 ppm Th. Namerané hodnoty sa pohybujú v pomerne širokom rozsahu od prvých jednotiek ppm až po 26 ppm (mapa Th).

V regionálnom geologickom členení od západu na východ má najnižšie hodnoty Viedenská panva, najmä jej záhorsko-dolnomoravská časť, a to od 6,3 ppm do 14,20 ppm s priemerom 6,85 ppm. V južnej časti Malých Karpát dosahujú obsahy od 7,5 do 12 ppm, zatiaľ čo v severnej časti sú hodnoty nižšie, od 5 do 10 ppm.

Najnižšie hodnoty v Podunajskej panve sa namerali v južnej časti (5–8 ppm), smerom na sever hodnoty narastajú až po 12–14 ppm. Nižšie hodnoty sa vyskytujú v priestore najmladších kvartérnych uloženín, vyššie hodnoty sú na miestach spraši a sprašových ílov eluviálnych a deluviálnych sedimentov. Priemerná hodnota je 9,91 ppm.

Stredoslovenské neovulkanity majú priemerný obsah tória 9,71 ppm. Najvyššie hodnoty sa zaznamenali na neogénnych ryolitoch – 21,2 ppm, bazaltoch – 9,6 ppm, andezitoch a tufoch – 10,6 ppm. V Nízkych Tatrách sa pohybujú hodnoty obsahu tória od 4 do 13 ppm, priemer je 9 ppm. V Tatrách majú vyššie hodnoty Roháče (12 ppm) a granodiority a granity na okolí Gerlachovského štítu. Najnižšie hodnoty (7 ppm) vykazujú Belianske Tatry, tvorené vápencami a dolomitmi.

Slovenské rudohorie (východná časť) má priemerný obsah tória 9,6 ppm, pričom hodnoty sa pohybujú v širokých medziach od 4 do 26 ppm. Nižšie sú v severnej časti, vyššie v južnej, najmä v paleovulkanitoch. Nízke hodnoty boli namerané v Slovenskom raji, v priemere 7,9 ppm, zato vyššie hodnoty v Slovenskom kráse, a to v priemere 10 ppm.

Vo východoslovenských neovulkanitoch sa vyskytujú hodnoty okolo 9 ppm (okrem stratovulkánov Bogoty a Miliča, kde sú hodnoty o čosi vyššie, čo môže byť dôsledkom vyššieho podielu ryolitov).

Slovakia is 9.4 ppm. Measured contents vary greatly from a few ppm to 26 ppm (map Th).

In the regional geological division from west to east, the Vienna Basin, notably its Záhorie – Lower Moravia sector, has the lowest contents – from 6.3 to 14.20 ppm averaging 6.85 ppm. Thorium contents in the Malé Karpaty are differentiated – 7.5–12 ppm in the south and 5–10 ppm in the north.

In the Danube Basin, the contents are lowest in the south (5–8 ppm) and increase towards the north to 12–14 ppm.

The lowest contents are associated with the youngest Quaternary deposits, higher ones with loams and loamy clays of eluvial and deluvial sediments. The average content is 9.91 ppm. The Central Slovakia Neovolcanics average 9.71 ppm Th, the highest concentrations being in Neogene rhyolites 21.2 ppm, basalts 9.6 ppm, andesites and tuffs 10.6 ppm.

In the Nízke Tatry Mts., Th contents vary between 4 and 13, averaging 9 ppm. In the Tatry area, the highest contents are found in the Roháče (12 ppm) as well as in granodiorites and granites in the vicinity of Mt. Gerlachovský štít. The lowest contents (7 ppm) occur in the Belianske Tatry underlain by limestones and dolomites.

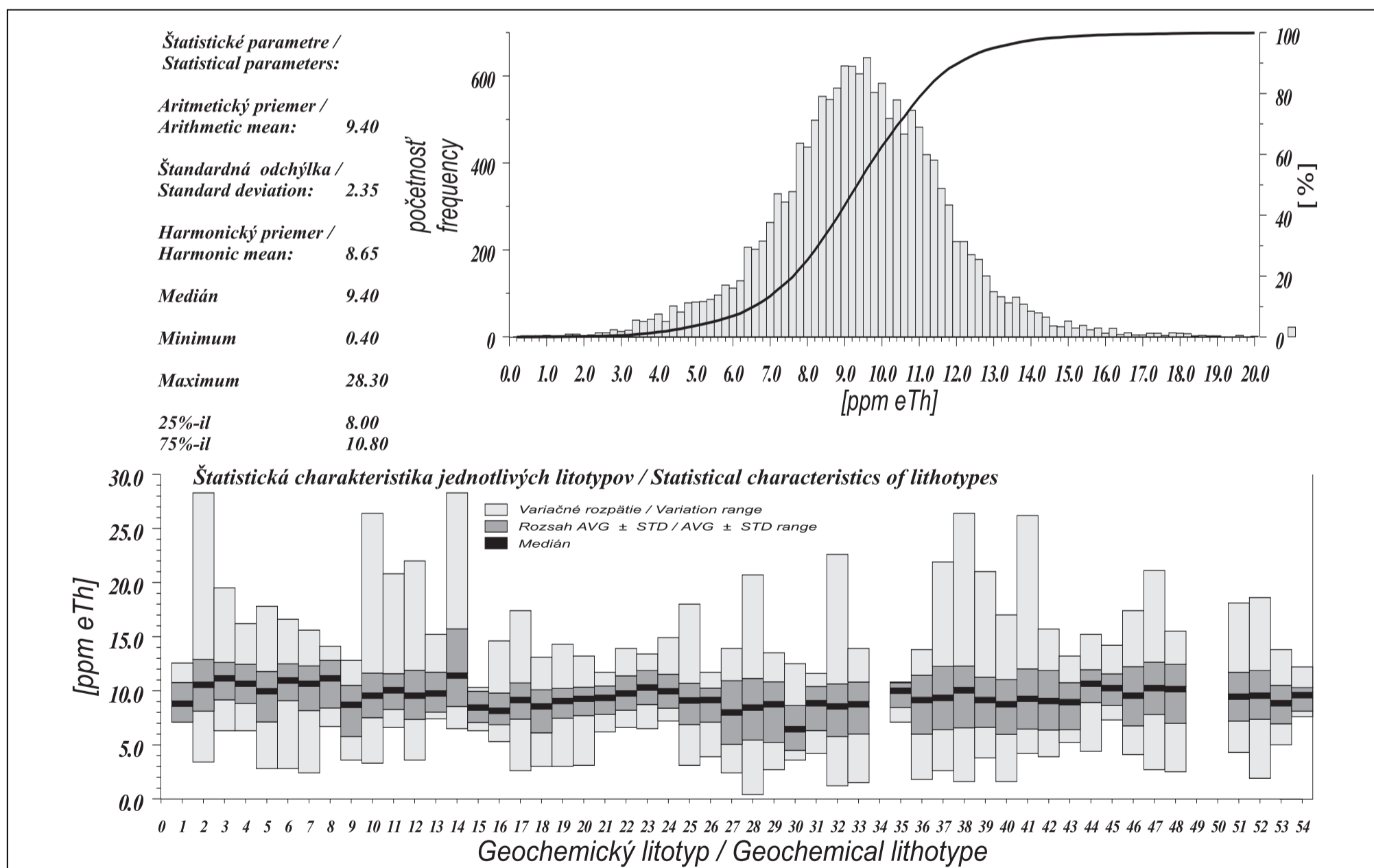
The Slovenské rudohorie (eastern part) has Th contents between 4 and 26 ppm, averaging 9.6 ppm. Lower contents are found in its northern sector and higher in the south, particularly in paleovolcanics.

The Slovak Paradise typically has low Th contents averaging 7.9 ppm, whereas the Slovak Karst averages 10 ppm.

Thorium contents in the Eastern Slovakia Neovolcanics vary around 9 ppm, except for Bogota and Milič stratovolcanoes where they are somewhat higher possibly as a result of abundant rhyolites.

In the intramontane basins, the highest average contents are in inner basins (10.65 ppm) and lowest in the Vienna Basin (6.85 ppm).

The Klippen Belt averages 8.6 ppm Th and the Inner-Carpathian Paleogene 9.1 ppm eTh.



Obr. 13
Štatistická charakteristika komplexného súboru hodnôt prírodnej aktivity hornín z oblasti Slovenska – tórium

Fig. 13
Statistical characteristics of complex set of values of natural radioactivity of rocks in Slovakia – thorium

Z vnútrohorských panví a kotlín vykazujú najvyššie priemerné obsahy tória vnútorné kotliny (10,65 ppm), najnižšie sú vo Viedenskej panve (6,85 ppm). Bradlové pásmo má 8,6 ppm eTh a vnútrokarpatský paleogén 9,1 ppm eTh. Obr. 13 znázorňuje štatistické spracovanie koncentrácie tória v jednotlivých litotypoch Slovenska.

Pri mape Th je aj mapka pomeru tória k uránu. Hodnota tohto pomeru je indikátorom výskytu uránovej mineralizácie v prípadoch, keď je nižší ako 1. Indikuje nahromadenie jedného prvku, prípadne odnos prvkov, a to najmä pri hydrotermálnych procesoch.

Pomer Th/U sa pohybuje zvyčajne od 2,5 do 4,0. Jeho vysoké hodnoty môžu indikovať uránovo-tórové vysokotermálne ložiská, ale aj nahromadenie vzácnych zemín. Zmena pomeru môže svedčiť o prítomnosti niektorých ďalších prvkov viazaných na posledné diferenciáty magmatického krbu, napríklad Sn, W, Mo, Zr, Be, Ta, Nb, a v alkalických horninách Ta, Nb, Zr a ďalšie vzácne zeminy.

Najnižšie hodnoty má tento pomer v Liptovskej kotline (2,0), hodnoty vyššie ako 3,0 sa zistili v juhoslovenskej panve, Lučenskej kotline a Humenských vrchoch (3,6). Priemerná hodnota pomeru Th/U pre Slovensko je 2,85. V zemskej kôre sa zvyčajne udáva hodnota 3,5.

7.4. Mapa koncentrácií uránu

Priemerný obsah uránu v zemskej kôre sa udáva hodnotou 2,3 ppm. V magmatitoch sa zvyšuje s kyslosťou hornín (MATOLÍN, 1994). Priemerné hodnoty pre kyslé magmatity dosahujú 3,5 ppm, stredné 1,8 ppm a bázické 0,5 ppm. Bridlice a íly mávajú 4,0 ppm, pieskovce 3,0 ppm a vápence len 1,4 ppm U. Stredná hodnota je 2,9 ppm (MATOLÍN, 1976).

Priemerná hodnota pre Slovensko vyrátaná z údajov zo všetkých 15 573 bodov je 3,3 ppm (obr. 14), pričom maximálne namerané hodnoty prevyšovali hodnotu 10 ppm. Absolútne maximum bolo namerané na telese paleoryolitu pri Telgárte a minimálne hodnoty už na medzi detekcie (0,4 ppm eU) vo vápencoch bradlového pásma (mapa U).

Fig. 13 shows statistical assessment of thorium concentrations in individual lithotypes in Slovakia.

Map Th is accompanied by a map of Th/U ratios which, when below 1, indicate uranium mineralization. The ratio attests to accumulation of one element or removal of elements, notably by hydrothermal processes.

The Th/U ratio usually varies from 2.5 to 4.0. High values may indicate high-temperature uranium-thorium deposits or rare-earth occurrences. Changes in the ratio may suggest the presence of some other elements associated with the last residual differentiates of a magma chamber, such as Sn, W, Mo, Zr, Be, Ta, Nb, and in alkaline rocks Ta, Nb, Zr, and other rare earths.

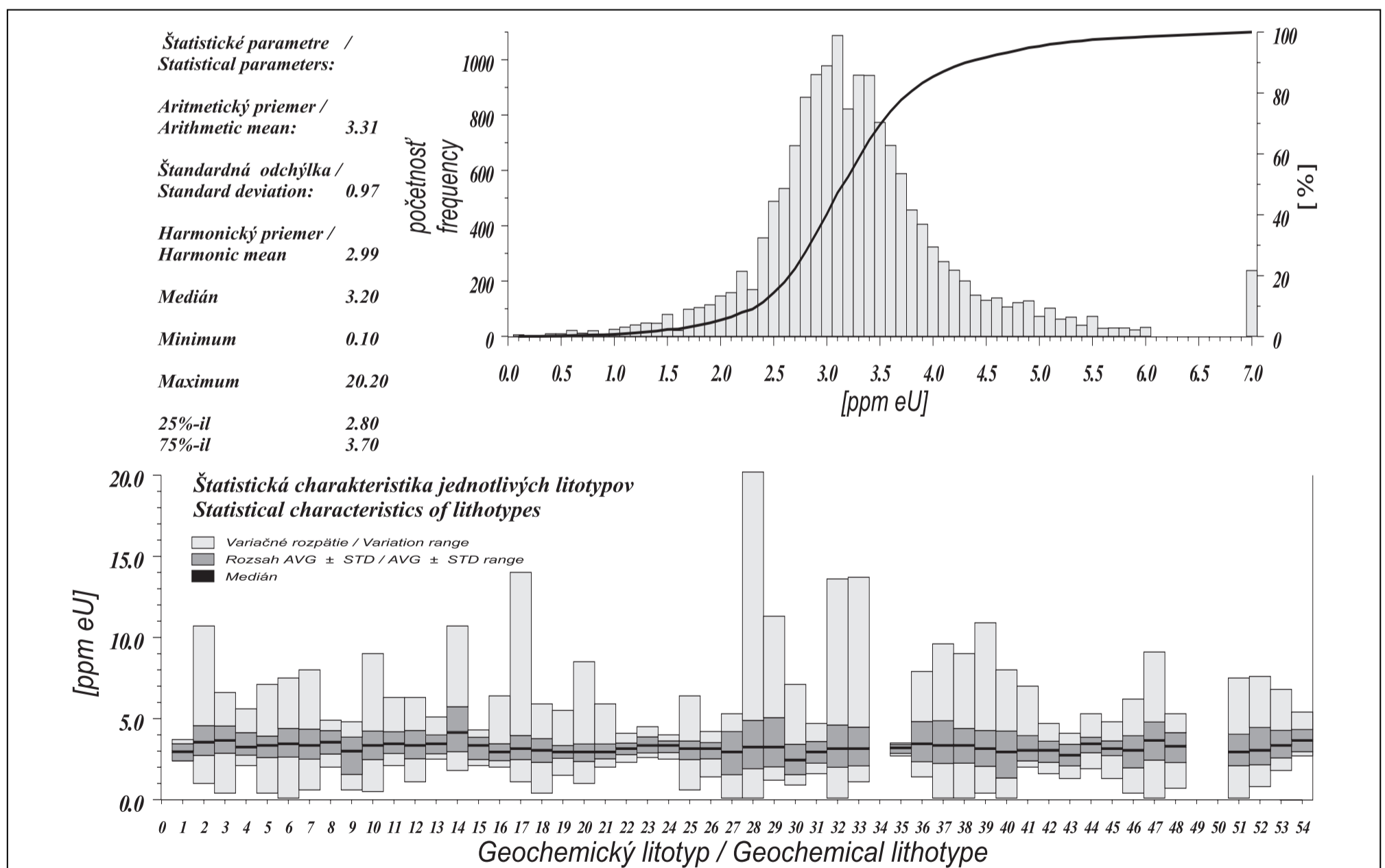
The lowest ratios occur in the Liptov Basin (2.0), whereas ratios above 3.0 have been noted in the Southern Slovakia Basin, Lučenec Basin and the Humenské vrchy Mts. (3.6). The average Th/U ratio in Slovakia is 2.85 and in the earth's crust is mostly estimated at 3.5.

7.4. Map of Uranium Concentrations

U content in the earth's crust averages 2.3 ppm. In igneous rocks, the content increases with increasing acidity (MATOLÍN, 1994). In acid igneous rocks it is 3.5 ppm, in intermediate 1.8 ppm and in mafic ones 0.5 ppm. The content in shales and clays is 4.0 ppm, in sandstones 3.0 ppm and in limestones only 1.4 ppm U. The mean value is 2.9 ppm (MATOLÍN, 1976).

The average content calculated from all 15 573 points in Slovakia amounts to 3.3 ppm (Fig. 14), the maximum concentrations exceeding 10 ppm. The highest contents have been measured in a paleorhyolite body near Telgárt and the lowest ones, close to the detection limit (0.4 ppm eU) in Klippen Belt limestones (map U).

In the regional geological division, the lowest eU values have been noted in the Vienna Basin averaging 2.47 ppm. These low values are caused by



Obr. 14 Štatistická charakteristika komplexného súboru hodnôt prírodnej aktivity hornín z oblasti Slovenska – urán

Fig. 14 Statistical characteristics of complex set of values of natural radioactivity of rocks in Slovakia – uranium

V regionálnogeologickom členení najnižšie hodnoty eU sa zaznamenali vo Viedenskej panve s priemerom 2,47 ppm. Je to spôsobené prítomnosťou viatych pieskov. Nižšie hodnoty sa zistili v náplavoch, v uloženinách Dunaja, Váhu, Nitry a Hrona. Vo flyšovom pásme boli namerané obsahy eU 3,0 ppm, pričom hodnoty postupne narastajú od západu na východ (najvyššie hodnoty sú v dukliansko-bukovskom flyši).

Koncentrácia uránu v Malých Karpatoch je 3,28 ppm eU. Vyššie hodnoty sa vyskytujú v Považskom Inovci (3,67 ppm eU). Najvyššie koncentrácie eU majú Starohorské vrchy (4,26 ppm). Spôsobujú to permské horniny, ktorých výskyt sa na celom Slovensku prejavuje zvýšenými hodnotami koncentrácie uránu, uránovými anomáliami a rudnými výskytmi.

Vysoké Tatry majú priemernú hodnotu 3,10 ppm eU, pričom nižšie hodnoty sú v Belianskych Tatrách a v strednej časti Vysokých Tatier. Nízke hodnoty eU boli zistené na Branisku (2,74 ppm) a v humenských vrstvách (2,80 ppm). Vo veporiku sa najvyššie hodnoty vyskytujú v Ľubietovskej zóne, a to 4,58 ppm. Spôsobujú to permské pieskovce, zlepenca a bridlice. Vo východnej časti Slovenského rudohoria sa pohybujú obsahy od 1,1 do 7,0 ppm, pričom priemerná koncentrácia je 3,12 ppm eU.

V stredoslovenských neovulkanitoch koncentrácia eU výrazne kolíše – od 0,6 ppm až do 16,1 ppm s priemernou hodnotou 3,59 ppm. Vyššie hodnoty sú v ryolitoch (8,23 ppm) (DANIEL – KUCHARIČ, 1977).

Vo východoslovenských neovulkanitoch sú hodnoty koncentrácie uránu nižšie v priemere 3,05 ppm eU, v Zemplínskych vrchoch je priemerná koncentrácia 3,29 ppm eU.

Z terciérnych panví má najnižšie hodnoty už spomínaná Viedenská panva (2,47 ppm eU), nasleduje Podunajská (3,40 ppm eU), Juhoslovenská (3,43 ppm eU) a Východoslovenská s hodnotou 3,45 ppm. Najvyššie hodnoty majú vnútorné kotliny 3,85 ppm.

Obr. 14 zachytáva štatistické spracovanie obsahu eU a štatistickú charakteristiku jednotlivých geochemických litotypov. Pri mape U je aj mapka pomeru koncentrácií U/K, pričom priemerná hodnota je 2,1.

7.5. Mapa celkovej rádioaktivity hornín eU_t

Mapa celkovej rádioaktivity eU_t zobrazuje prepočítanú celkovú rádioaktivitu hornín z prepočtu podľa vzťahu z kapitoly 6.1. Matolín (1976) udáva v horninách Západných Karpát stredné hodnoty koncentrácie K = 2,1 %, U = 2,9 ppm a Th = 11,6 ppm. Priemerná celková rádioaktivita hornín vychádzajúca z prepočtu koncentrácií podľa laboratórnych meraní je 14,33 ur. Podľa pozemných meraní in situ je táto hodnota 12,4 ur (obr. 15). Tento rozdiel vznikol najmä vplyvom typu používaného prístroja, predovšetkým detektora, ale aj v dôsledku nižších obsahov Th a K zistených meraním terénnou gamaspektrometriou.

Prerátané hodnoty kolíšu od 0,6 ur do 34,9 ur v závislosti od priemerných hodnôt K, eU a eTh.

Z porovnania priemerných hodnôt jednotlivých regionálnych geologických celkov vyplýva, že najnižšie hodnoty má Viedenská panva, a to 9,91 (mapa T. G.). Na druhej strane najvyššie hodnoty sa zistili v Ľubietovskej zóne veporika (16,69 ur) a v Starohorských vrchoch (15,77 ur).

V Malých Karpatoch má vyššie hodnoty celkovej rádioaktivity bratislavský granitový masív, nižšie modranský masív. V jadrových pohoriach sa priemerné hodnoty eU_t pohybujú od 10,53 ur v Chočských vrchoch po 13,89 ur v Nízkych Tatrách. Pomerne nízke hodnoty sa namerali aj na Branisku – 11,57 ur.

Vo veporiku má najvyššie hodnoty Ľubietovská zóna (16,69 ur), najnižšie hronikum Kozích chrbtov, hoci sa tu zistili mnohé anomálie prírodnej rádioaktivity a malé rudné ložiská. Priemerná hodnota celkovej prírodnej rádioaktivity gemerika Slovenského rudohoria je 12,88 ur. V Slovenskom raji je to 10,56 ur a v Slovenskom krase 12,48 ur.

Z paleogénnych oblastí má najnižšie hodnoty paleogén Strážovských vrchov (10,42 ur) a oravský paleogén (10,68 ur), najvyššie hodnoty sú v Liptovskej kotline (13,01 ur).

Na obr. 15 je štatistické spracovanie celkovej rádioaktivity hornín a štatistická charakteristika jednotlivých geochemických litotypov.

7.6. Mapa dávkového príkonu žiarenia gama hornín

Na zostavenie mapy dávkového príkonu žiarenia gama sa použil prepočtový vzťah medzi obsahmi K, eU, eTh a dávkovým príkonom (kap. 1.8.). Prepočítané hodnoty sa pohybujú v rozsahu od 3 nGy.h⁻¹ do 179 nGy.h⁻¹.

windblown sands. Lower values occur also in deposits of the Danube, Váh, Nitra and Hron Rivers. The Flysch Belt averages 3,0 ppm eU, the contents increasing from west to east, i.e. the highest ones occur in the Dukla-Bukov Flysch.

Uranium concentration in Malé Karpaty is 3,28 ppm eU. Higher contents are in the Považský Inovec (3,67 ppm eU) and the highest in the Starohorské vrchy (4,26 ppm) where they result from the presence of Permian rocks which throughout Slovakia give rise to increased uranium contents, anomalies or even ore occurrences.

The Vysoké Tatry average 3,10 ppm eU, with below-average contents in the central sector of the Vysoké Tatry and in Belianske Tatry. Low eU contents have been noted in the Branisko (2,74 ppm) and Humenné Member (2,80 ppm).

In the Veporicum, the highest contents occur in the Ľubietová zone (4,58 ppm) where they are caused by Permian sandstones, conglomerates and shales.

In the eastern Slovenské rudohorie, the concentrations range from 1,1 to 7,0 ppm averaging 3,12 ppm eU.

In the Central Slovakia Neovolcanics, eU concentrations vary greatly between 0,6 and 16,1 ppm, averaging 3,59 ppm. Higher contents occur in rhyolites (DANIEL, KUCHARIČ, 1977).

The Eastern Slovakia Neovolcanics have lower contents averaging 3,05 ppm eU, and the Zemplín Member 3,29 ppm eU.

Among Tertiary basins, the lowest values occur in the already mentioned Vienna Basin (2,47 ppm eU), followed by the Danube (3,40 ppm eU), Southern Slovakia (3,43 ppm eU) and Eastern Slovakia Basin (3,45 ppm eU). The highest contents are found in inner basins (3,85 ppm).

Fig. 14 gives statistical assessment of eU contents and statistical characteristics of individual geochemical lithotypes. Map U is accompanied by a map of U/K ratios which average 2,1.

7.5. Map of Total Rock Radioactivity eU_t

The map of total rock radioactivity eU_t illustrates total rock radioactivity adjusted according to a formula in Chapter 6.1. Matolín (1976) gives mean concentrations in West Carpathian rocks as follows: K = 2,1 %, U = 2,9 ppm and Th = 11,6 ppm. Average total rock radioactivity calculated from the results of laboratory measurements is 14,33 ur. Ground in-situ measurements have yielded 12,4 ur (Fig. 15).

The difference was caused mainly by the type of used instruments, notably detectors, but also by lower Th and K contents measured by field gamma ray spectrometry.

The adjusted values ranging from 0,6 ur to 34,9 ur are controlled by average K, eU and eTh contents.

Average contents in individual regional geological units show that the lowest values are in the Vienna Basin (9,91 ppm, map T. G.) and the highest in the Ľubietová zone Veporicum (16,69 ur) and Starohorské vrchy (15,77 ur).

In the Malé Karpaty, the Bratislava Massif displays higher contents than the Modra Massif. Average eU_t values vary from 10,53 ur in the Chočské vrchy to 13,89 ur in the Nízke Tatry. Fairly low values occur also in the Branisko (11,57 ur).

In the Veporicum, the highest values are found in the Ľubietová zone (16,69 ur) and the lowest in the Kozie chrbty Hronicum although it contains numerous natural-radioactivity anomalies and even small ore deposits. Total natural radioactivity of the Gemericum in the Slovenské rudohorie averages 12,88 ur, in the Slovak Paradise 10,56 ur and in the Slovak Karst 12,48 ur.

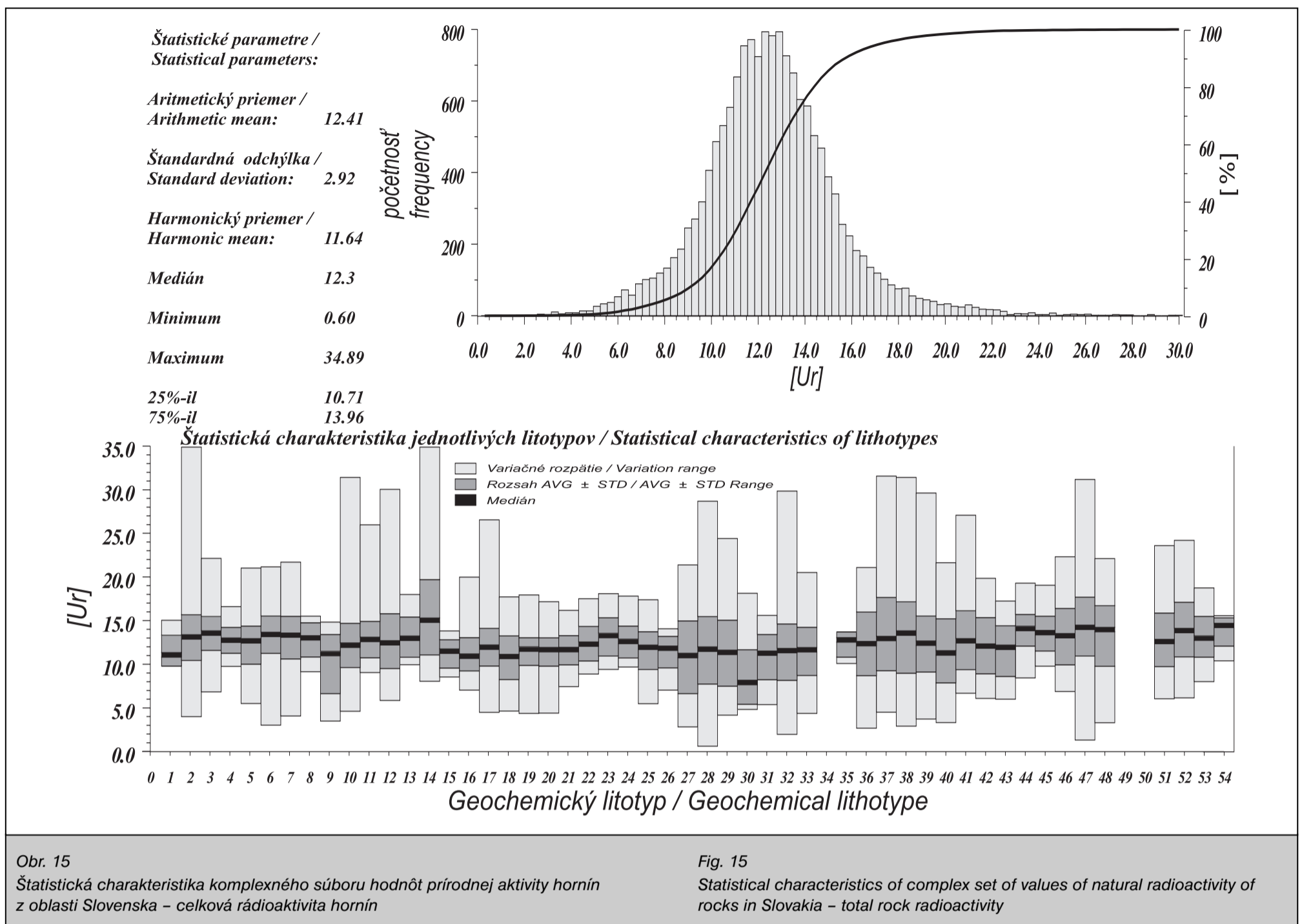
In Paleogene areas, the lowest values occur in the Paleogene of the Strážovské vrchy (10,42 ur) and in the Orava Paleogene (10,68), whereas the highest ones are in the Liptov Basin (13,01 ur).

Fig. 15 gives statistical assessment of total rock radioactivity and statistical characteristics of individual geochemical lithotypes.

7.6. Map of Rock Gamma Radiation Dose Rate

The map of gamma radiation dose rate is based on a comparative relationship between K, eU, eTh contents and dose rate (Chapter 1.8.). The values calculated in this way range from 3 to 179 nGy.hr⁻¹.

A look at the dose rate map (map D. R.) reveals that lower values prevail in western, southwestern, northern and eastern Slovakia. Higher values



Obr. 15

Štatistická charakteristika komplexného súboru hodnôt prírodnej aktivity hornín z oblasti Slovenska – celková rádioaktivita hornín

Fig. 15

Statistical characteristics of complex set of values of natural radioactivity of rocks in Slovakia – total rock radioactivity

Pri pohľade na mapu dávkového príkonu (mapa D. R.) vidíme, že nižšie hodnoty sa sústreďujú v západnej, juhozápadnej, severnej a východnej časti Slovenska. Vyššie hodnoty sú v strednej časti Slovenska.

Z hľadiska regionálneho rozloženia hornín je možné hovoriť o rozdieloch medzi jednotlivými geologickými celkami. Najnižšie hodnoty (50 nGy.h^{-1}) sa opäť zistili vo Viedenskej panve, najvyššie v Ľubietovskom veporiku (85 nGy.h^{-1}) a v Starohorských vrchoch (80 nGy.h^{-1}).

Vo flyšovom pásme vykazujú najvyššie hodnoty horniny dukliansko-bukovskej jednotky (64 nGy.h^{-1}), najnižšie horniny magurskej jednotky (57 nGy.h^{-1}).

Horniny Malých Karpát majú dávkový príkon 63 nGy.h^{-1} , horniny Považského Inovca 70 nGy.h^{-1} . Z ostatných jadrových pohorí majú najvyššiu hodnotu Nízke Tatry (71 nGy.h^{-1}), najnižšie Malá Fatra a Chočské vrchy 54 nGy.h^{-1} .

Z veporského pásma sa najnižšie hodnoty zistili v hroniku Kozích chrbtov 55 nGy.h^{-1} a najvyššie vo veporiku Ľubietovskej zóny 85 nGy.h^{-1} . V gemeriku Slovenského rudohoria je to 65 nGy.h^{-1} , Slovenského raja 54 nGy.h^{-1} a Slovenského krasu 64 nGy.h^{-1} .

Z paleogénnych oblastí má najnižšie hodnoty dávkového príkonu paleogén Strážovských vrchov a najvyššie paleogén Liptovskej kotliny (66 nGy.h^{-1}). Priemerné hodnoty dávkového príkonu jednotlivých panví a kotlín sa pohybujú v rozsahu od 50 do 70 nGy.h^{-1} (vnútorné kotliny).

Stredoslovenské neovulkanity sú charakterizované priemernou hodnotou dávkového príkonu 65 nGy.h^{-1} , neovulkanity východného Slovenska majú hodnoty nižšie – 52 – 60 nGy.h^{-1} , Zemplínske vrchy 66 nGy.h^{-1} .

Obr. 16 ukazuje základnú štatistiku a charakteristiku geochemických litotypov hornín z hľadiska dávkového príkonu hornín.

Priemerná hodnota dávkového príkonu pre Slovenskú republiku vyrátaná z 15 573 meraní je 63 nGy.h^{-1} .

Odhad dávkového príkonu hornín (UNSCEAR 1988, doplnené M. MATOLÍNOM, 1995) terestriálneho žiarenia prerátaného na výšku 1 m nad zemou je v tabuľke č. 10.

Z údajov o dávkovom príkone jednotlivých štátov v tejto tabuľke je možné urobiť si predstavu o prírodnej rádioaktivite hornín Slovenska.

are concentrated in central Slovakia. As regards regional division of rocks, the values vary from one geological unit to another. Once again, the lowest average values (50 nGy.h^{-1}) occur in the Vienna Basin, and the highest in the Ľubietová Veporic (85 nGy.h^{-1}) and Starohorské vrchy (80 nGy.h^{-1}).

In the Flysch Belt, the highest values are found in the Dukla-Bukov unit (64 nGy.h^{-1}) and the lowest in the Magura unit (57 nGy.h^{-1}).

Rocks in the Malé Karpaty have dose rate 63 nGy.h^{-1} and those in Považský Inovec 70 nGy.h^{-1} . As for the other core mountains, the highest values occur in the Nízke Tatry (71 nGy.h^{-1}) and the lowest ones in the Malá Fatra and Chočské vrchy (54 nGy.h^{-1}).

In the Veporic zone, the lowest values are in the Hronicum of Kozie chrbty (55 nGy.h^{-1}) and the highest ones in the Ľubietová zone Veporic (85 nGy.h^{-1}). The Gemericum yields 65 nGy.h^{-1} in the Slovenské rudohorie, 54 nGy.h^{-1} in the Slovak Paradise and 64 nGy.h^{-1} in the Slovak Karst. When it comes to the Paleogene areas, the lowest dose rate values occur in the Paleogene of the Strážovské vrchy and the highest in the Paleogene of the Liptov Basin (66 nGy.h^{-1}). Average dose rates in individual basins range from 50 to 70 nGy.h^{-1} (inner basins).

The Central Slovakia Neovolcanics are characterized by an average dose rate of 65 nGy.h^{-1} , Eastern Slovakia Neovolcanics have values between 52 and 60 nGy.h^{-1} and Zemplínske vrchy 66 nGy.h^{-1} .

Fig. 16 gives basic statistics and characteristics of geochemical rock lithotypes as to their rocks' dose rates.

The average dose rate in Slovakia calculated from 15 573 measurements is 63 nGy.h^{-1} .

An estimate of rock terrestrial radiation dose rate (UNSCEAR 1988, amended by M. MATOLÍN 1995) adjusted to a height of 1 m above the earth's surface is given in Tab. 10.

Available data on dose rates in respective countries given in this table can be compared with natural rock radioactivity in Slovakia.

HODNOTY DÁVKOVÉHO PRÍKONU V NIEKTORÝCH KRAJINÁCH SVETA		TAB. 10		DOSE RATE VALUES BY COUNTRIES	
Štát Country	Dávkový príkon / Dose rate nGy · h ⁻¹		Počet meraní Number of measurements	Rok spracovania Year of evaluation	Metóda Technique
	Priemer / Average	Rozpätie / Range			
Austrália / Australia	43	20–150	> 1 000	1980	pozemné meranie / ground measurement
Belgicko / Belgium	43	13–58	272	1987	pozemné meranie / ground measurement
Česká republika / Czech Republic	66	6–245	100% územia / of areas	1995	letecké meranie / airborne measurement
Dánsko / Denmark	38	17–52	14 plôch / areas	1980	pozemné meranie / ground measurement
Fínsko / Finland	65			1980	
Francúzsko / France	68	10–250	5 142	1985	pozemné meranie / ground measurement
Holandsko / Netherlands	32	10–65	1 049	1985	pozemné meranie / ground measurement
India / India	55	20–1 100	2 800	1986	pozemné meranie / ground measurement
Írsko / Ireland	42	0–180	264	1980	pozemné meranie / ground measurement
Island / Island	28	11–83		1982	
Japonsko / Japan	49	5–100	1 127	1980	pozemné meranie / ground measurement
Kanada / Canada	24	18–44	33 oblasti / areas	1984	letecké meranie / airborne measurement
Maďarsko / Hungary	55	20–130	123 plôch / areas	1987	pozemné meranie / ground measurement
Nemecko (NDR) / Germany (GDR)	85	24–270	1 005	1969	pozemné meranie / ground measurement
Nemecko (SRN) / Germany (FRG)	53	4–350	24 739	1978	pozemné meranie / ground measurement
Nórsko / Norway	73	20–1 200	234	1977	pozemné meranie / ground measurement
Poľsko / Poland	34	10–110	19 528	1994	pozemné meranie / ground measurement
Rumunsko / Romania	81	32–210	2 372	1979	laborat. stanov. / laboratory determinations
Slovensko / Slovakia	63	3–179	15 573	1996	pozemné meranie / ground measurement
Slovinsko / Slovenia	57	4–140	1 052	1993	pozemné meranie / ground measurement
Spojené štáty americké / USA	46	13–100	25 oblasti / areas	1972	letecké meranie / airborne measurement
Švédsko / Sweden	80	18–4 000		1979	
Švajčiarsko / Switzerland	48	5–368	805	1995	pozem. + let. mer. / ground and airborne measurement
Tchajwan / Tchaiwan	69		26	1972	laborat. stanov. / laboratory determinations
Taliansko / Italy	57	7–500	1 365	1972	pozemné meranie / ground measurement
Veľká Británia / United Kingdom	40	0–100	1 400	1984	pozemné meranie / ground measurement

7.7. Odvodená mapa radónového rizika

Odvodená mapa radónového rizika (mapa R. R.) bola zostavená podľa výsledkov meraní radónového rizika z 367 referenčných plôch (RP), rozložených nepravidelne na území SR, a z 845 RP situovaných do obvodových častí okresných miest (ČÍŽEK – SMOLÁROVÁ, 1992). Pri konštrukcii mapy sa vo veľkej miere uplatnil princíp analógie s využitím archívnych údajov. Mapa má výrazne prognózný, pravdepodobnostný charakter.

Podľa plošného štatistického vyhodnotenia možno na území SR očakávať pomerne rovnomerné zastúpenie nízkeho a stredného radónového rizika (53 % nízke, 46,7 % stredné) a asi len 0,3 % územia SR patrí do kategórie území s vysokým radónovým rizikom. Zo štatistického vyhodnotenia meraní RP vyplýva, že do kategórie vysokého radónového rizika spadá približne 3 % počtu hodnôt nameraných na území Slovenskej republiky (ČÍŽEK – SMOLÁROVÁ, 1992). Zásluhu na pomerne malom zastúpení území s vysokým radónovým rizikom má i malá mierka prieskumu, ktorá neumožňuje identifikovať menšie plochy s vysokým radónovým rizikom.

Plošne najrozsiahlejšiu časť územia SR (približne 72 %) zaberajú terciérne horniny (geochemické litotypy 2–26). Zaradené sú prevažne do kategórie nízkeho alebo stredného radónového rizika, pričom efuzívno-sedimentárny komplex neogénu vykazuje vyššiu rizikovosť (geochemické litotypy 2–14). Sedimenty paleogénu s výnimkou krynického flyšu sú na celom území v pásme nízkeho radónového rizika.

Mezozoické horniny (geochemické litotypy 27–38) sú ako celok v kategórii stredného radónového rizika. Merania RP zistili nad jurskými vápencami nízke hodnoty objemovej aktivity radónu (OAR) v pôdnom vzduchu, teda nízke radónové riziko. Pomerne vysoké hodnoty OAR sa naopak zistili v dolomitoch stredného a vrchného triasu, pracovne nazývaných „uránové dolomity“. Vzhľadom na

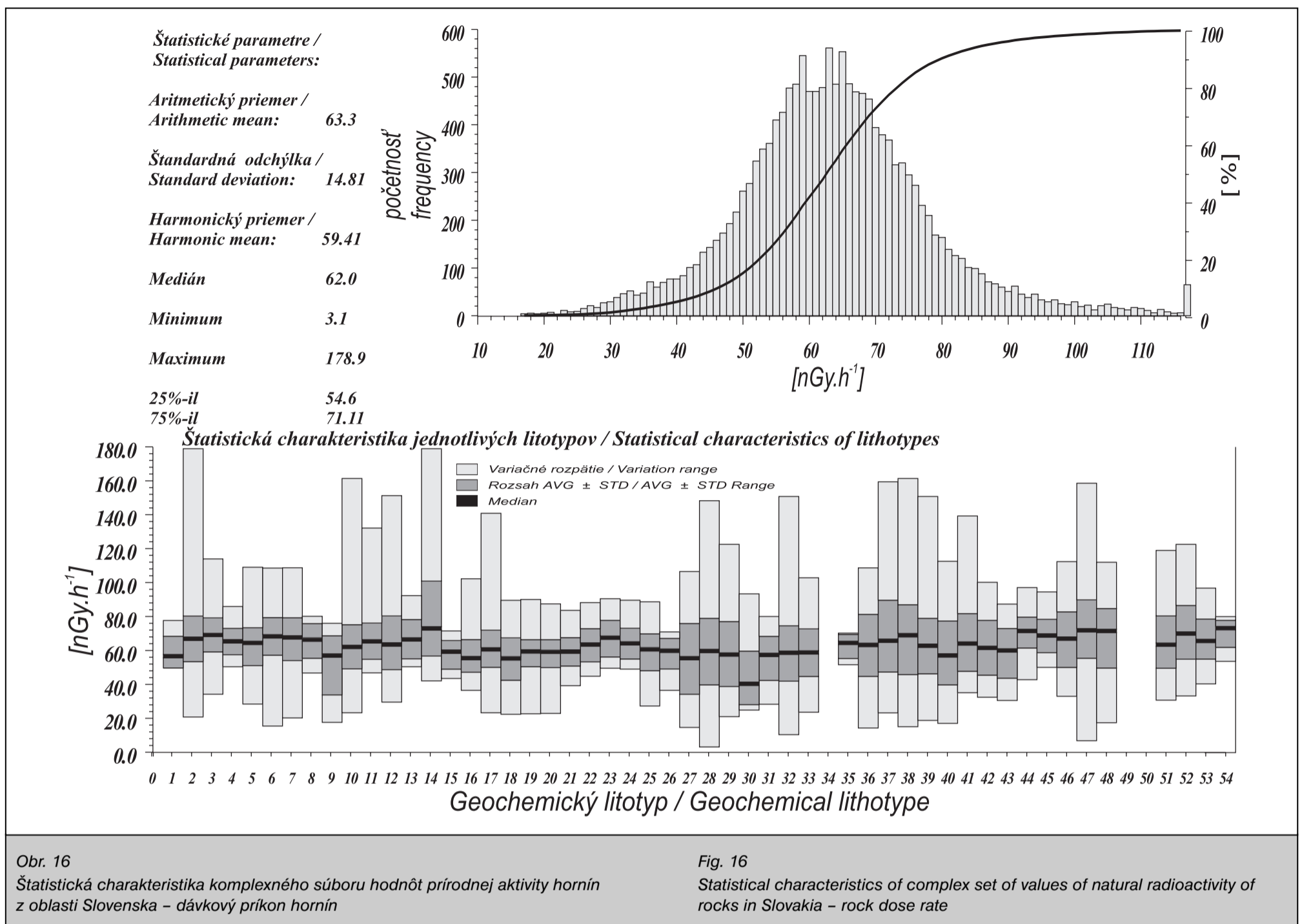
7.7. Derived Radon Risk Map

The derived radon risk map (map R. R.) is based on radon-risk measurements on 367 reference areas distributed irregularly across Slovakia and on 845 reference areas on the outskirts of district capitals (ČÍŽEK, SMOLÁROVÁ, 1992). The principle of analogy and archive data were widely used to compile this map. The map has an obvious prognostic, probabilistic character.

An areal statistical assessment reveals that the low and medium radon risk categories are fairly evenly distributed throughout the Slovak territory (53 % low, 46.7 % medium risk), while a mere 0.3 % of the Slovak territory falls into the high risk category. A statistical evaluation of the reference areas shows that about 3 % of values measured in the Slovak territory belong into the high radon risk category (ČÍŽEK, SMOLÁROVÁ, 1992). The fairly low extent of the high radon risk category is partly due to the low density of measurements insufficient to identify minor areas of high radon risk.

The largest percentage of the Slovak territory (approximately 72 %) is underlain by Tertiary rocks (geochemical lithotypes 2–26). They mostly fall into the low or medium radon risk category, the Neogene effusive-sedimentary complex displaying higher risk (geochemical lithotypes 2–14). Paleogene sediments throughout Slovakia, except for the Krinica Flysch, have low radon risk.

Mesozoic rocks (geochemical lithotypes 27–38) as a whole fall into the medium radon risk category. Measurements in reference areas underlain by Jurassic limestones yielded low values of radon volume activity (RVA) in soil air, i.e. low radon risk. In contrast, fairly high RVA values have been noted in Middle and Upper Triassic dolomites referred to



charakteristický rozpad dolomitov a ich dobrú schopnosť prepúšťať plyny boli tieto horniny zaradené do kategórie hornín s vysokým radónovým rizikom. Paleozoikum (geochemické litotypy 39–45) má zo všetkých geologických útvarov najvyššie radónové riziko. Prevláda stredná kategória, ale až 18,7% je tu zastúpené aj vysoké radónové riziko (ČÍZEK-SMOLÁROVÁ, 1992). Je to spôsobené nielen výskytom uránového zrudnenia v permských horninách, ale aj pomerne vysokým podielom hornín so strednou až vysokou rádioaktivitou, a to najmä v gelnickej a rakoveckej skupine gemerika Slovenského rudohoria. Na referenčných plochách pri Smolníku, Rožňave, Hnilčíku a Poproči boli namerané najvyššie objemové aktivity radónu v rámci celého Slovenska.

Paleozoické horniny sa zaraďujú prevažne do kategórie hornín so stredným radónovým rizikom. Rozhodujúci podiel na tomto zaradení má predovšetkým silná dynamická porušenosť horninových súborov, umožňujúca voľný pohyb radónu na väčšie vzdialenosti.

Granitoidné telesá v jadrových pohoriach, vo veporskom a gemerskom pásme sú zaraďované zväčša do kategórie stredného radónového rizika. Nízke radónové riziko má trbečský a modranský granodiorit, naopak vysoký stupeň radónového rizika môžeme predpokladať v turčockom granite a v granitových telesách pri Poproči a Hnilci, a to na základe zvýšenej až vysokej rádioaktivity.

7.8. Mapy prírodnej rádioaktivity vôd

Priemerné hodnoty obsahu rádionuklidov vo vybraných typoch odberných miest sú uvedené v tabuľke 11. V tabuľke 12 sa uvádzajú štatistické hodnoty obsahu jednotlivých rádionuklidov vo vodách vybraných oblastí Slovenska. Pri hodnotení rádioaktivity je vhodnejšie používať radšej hodnoty geometrického priemeru (GM) ako aritmetického (\times).

Koncentrácia uránu (mapa U_{nat}) je vyššia v podzemných vodách vytekajúcich z banských diel, v ktorých sa ťažili uránové rudy (Novoveská Huta, Kálnica), z prameňov v blízkosti uránových výskytov, napríklad pri Východnej, a v niektorých termálnych vodách (Oravice, Lúčka pri Spišskom Podhradí). Zvýšené

as „uraniferous dolomites“. Due to their characteristic fracture and good gas-permeability, these rocks have been assigned into the high radon risk category.

The Paleozoic (geochemical lithotypes 39–45) has higher radon risk than any other geological unit. It is dominated by the medium radon risk category, but as much as 18.7% of the area falls into the high risk category (ČÍZEK, SMOLÁROVÁ, 1992). This is caused by uranium occurrences in Permian rocks as well as fairly high percentages of medium to highly radioactive rocks, chiefly in the Gelnica and Rakovec Groups in the Gemericum of the Slovenské rudohorie. The highest radon volume activities in the whole Slovakia have been measured in reference areas near Smolník, Rožňava, Hnilčík and Poproč.

Paleozoic rocks largely fall into the medium radon risk category. This is mainly due to strong dynamic fracturing of rocks allowing free movement of radon to large distances.

Granitoid bodies in core mountains, Veporic and Gemeric zones are mostly assigned into the medium radon risk category. The Trbeč and Modra Granodiorites yield low radon risks, whereas increased to high radon risks are expected in the Turčok Granite and granite bodies near Poproč and Hnilec.

7.8. Maps of Natural Water Radioactivity

Average radionuclide contents in selected types of collection points are given in Tab. 11. Tab. 12 shows statistical contents of radionuclides in selected areas of Slovakia. Geometric mean (GM) rather than arithmetic mean (\times) should be used to assess radioactivity.

Uranium concentrations in groundwaters (map U_{nat}) are increased in waters flowing from uranium mine workings (Novoveská Huta, Kálnica), in springs close to uranium occurrences, such as those near Východn and in some thermal waters (Oravice, Lúčka near Spišské Podhradie).

koncentrácie uránu sa vyskytujú lokálne aj vo vodách niektorých jadrových pohorí budovaných kryštalinikom, napríklad v Považskom Inovci a Malej Fatre, a takisto vo vodách dolomitov chočského príkrovu, napríklad v Nízkych Tatrách. Najväčší plošný výskyt mierne zvýšených hodnôt uránu (priemerné hodnoty až 0,005 mg.l⁻¹) sa zistil vo vodách Podunajskej pahorkatiny, Podunajskej roviny, Juhoslovenskej kotliny a Chvojnickej pahorkatiny. V oblastiach budovaných flyšom sa mierne odlišujú vody v pieskovcových súvrstviach (priemerná hodnota uránu 0,003 mg.l⁻¹) od vôd ílovcových a ílovcovo-pieskovcových súvrství (priemerná hodnota uránu 0,002 mg.l⁻¹). Vody v neovulkanických horninách sa vyznačujú nízkymi hodnotami koncentrácie uránu (0,002 mg.l⁻¹).

Údaje o objemovej aktivite rádia (mapa Ra) sa vyznačujú väčším rozptylom hodnôt ako údaje o koncentrácii uránu (od 0,001 do 9,7 Bq.l⁻¹). Najvyššie hodnoty majú minerálne a termálne vody. Zvýšené hodnoty sa namerali aj vo vodách Záhorskej nížiny a západnej časti Podunajskej nížiny, vo vodách niektorých jadrových pohorí (Malé Karpaty, Považský Inovec), východnej časti Nízkych Tatier, Hornádskej a Popradskej kotliny, Galmusu pri Spišskej Novej Vsi a západnej časti Volovských vrchov. V predterciárnych útvaroch sa vody so zvýšeným obsahom uránu viažu prevažne na výskyt spodotriasových (verfenských) hornín s obsahom sadrovca a barytu. V paleogénnych horninách sa hodnota objemovej aktivity rádia zvyšuje s hĺbkou obehu podzemnej vody. Vody stredoslovenských neovulkanitov majú dvojnásobne nižšie hodnoty rádia ako neovulkanity Slanských vrchov a Vihorlatu.

S podobným veľkým rozptylom hodnôt (od 0,01 do 1288,40 Bq.l⁻¹) sa možno stretnúť aj pri radóne v podzemných vodách (mapa Rn). Na výskyt radónu vo vode má vplyv prítomnosť hornín s uránovými minerálmi, tektonické pomery, mineralizácia a teplota vôd.

Podľa Langeho klasifikácie (1969) sa vyčleňuje niekoľko typov radónových vôd: V kryštalických častiach jadrových pohorí (budovaných prevažne kyslými granitoidmi a migmatitmi) sa nachádzajú vody so zvýšenými až vysokými hodnotami objemovej aktivity radónu. Ide o najbežnejšie **radónové vody kóry zvetrávania magmatických hornín**, formujúce sa vo vrchnej, puklinami narušenej zóne. Takéto vody sa vyskytujú takmer vo všetkých jadrových pohoriach Slovenska, najmä v Malých Karpatoch, Považskom Inovci, Trábeči, Malej Fatre a Nízkych Tatrách. Najviac ich je v kryštaliniku Veporských a Stolických vrchov, kde sú hodnoty geometrického priemeru objemovej aktivity radónu (29,94, resp. 30,11 Bq.l⁻¹) najvyššie na Slovensku. Sčasti sem môžeme zaradiť aj vody kyslejších foriem stredoslovenských neovulkanitov.

Druhým typom sú **radónové vody so zvýšenými hodnotami rádia viazané na ílovito-travertínové sedimenty**. Medzi takéto vody patria minerálne vody v Sivej Brade a v Bešeňovej.

Tretím typom sú **radónové vody hlbinných tektonických zlomov** s veľkou výdatnosťou a zvýšenou teplotou. Patrí sem aj voda z minerálneho prameňa Uhličité v Oraviciach. V tomto prameni sa namerala najvyššia hodnota objemovej aktivity radónu na Slovensku, 1293,2 Bq.l⁻¹.

Štvrtým, pomerne rozšíreným typom radónových vôd sú **radónové vody tektonických zlomov**. Tieto vody sú rôzne mineralizované a vystupujú po tektonických zlomoch z rôznych hĺbok. V mnohých prípadoch majú zvýšené hodnoty rádia a sú nasýtené CO₂. Zdroj radónu je hlbinný, ale môže ním byť aj rádium vyzrážané na stenách otvorených tektonických zlomov. Tieto vody sa vyskytujú v blízkosti podtatranského zlomu (Žiar, Starý Smokovec), na tektonických líniiach v Hornádskej a Košickej kotline a v menšej miere aj v neovulkanitoch a v ostatných vnútrohorských depresiách.

Piatym genetickým typom sú **radónové vody uránových ložísk** vytekajúce priamo z ložísk a z prameňov v blízkosti uránových výskytov. Vyznačujú sa zvýšenými koncentraciami uránu a objemovej aktivity rádia. Medzi

Local increased uranium concentrations occur also in waters of some core mountains composed of crystalline units, such as the Považský Inovec, Malá Fatra, and in waters of Choč nappe dolomites e.g. in the Nízke Tatry. The largest area of slightly increased uranium contents (averaging as much as 0.005 mg.l⁻¹) is in waters of the Dunajská pahorkatina Upland, Southern Slovakia Basin and Chvojnická pahorkatina. In flysch areas, waters in sandstone formations (average uranium content 0.003 mg.l⁻¹) are a little different from those in claystone and claystone-sandstone formations (average uranium content 0.002 mg.l⁻¹). Waters in neovolcanic rocks typically have low uranium concentrations (0.002 mg.l⁻¹).

Radium volume activity values (map Ra) are more widely dispersed than uranium concentrations (between 0.001 and 9.7 Bq.l⁻¹). The highest values are typical of mineral and thermal waters. Increased values have been noted also in waters of the Záhorie Lowland and western Danube Lowland, and in some core mountains (Malé Karpaty, Považský Inovec, eastern sector of Nízke Tatry, Hornád and Poprad Basins, Galmus and western Volovské vrchy). In pre-Tertiary units, these waters are mostly bound to Lower Triassic (Werfenian) rocks with gypsum and baryte occurrences. In Paleogene rocks, radium volume activity increases with the depth of groundwater circulation. Radium values in waters of the Central Slovakia Neovolcanics are twice as low as those in neovolcanics of the Slanské vrchy and Vihorlat.

Radon contents in groundwaters (map Rn) range over a similarly wide interval (from 0.01 to 1288.40 Bq.l⁻¹). Radon occurrences in waters depend on the presence of uranium minerals in rocks, tectonic setting, mineralization and water temperature.

Several kinds of radon waters are distinguished according to Lange's (1969) classification. Waters with increased to high radon volume activity occur in crystalline portions of core mountains (composed mostly of acid granitoids and migmatites). These are the commonest **radon waters of weathering crust of igneous rocks** formed in the upper, fractured zone. Such waters are found in nearly all core mountains, notably the Malé Karpaty, Považský Inovec, Trábeč, Malá Fatra and Nízke Tatry. They are most widespread in the crystalline units of the Veporské and Stolické vrchy where geometric means of radon volume activities are the highest in Slovakia (29.94 and 30.11 Bq.l⁻¹, respectively). Waters of acid varieties in Central Slovakia Neovolcanics can also be partly included into this category.

The second type is made up of **radon waters with increased radium values bound to clayey-travertine sediments**. This type comprises mineral waters at Siva Brada and Bešeňová.

The third type consists of **radon waters on deep tectonic faults** of high discharge and increased temperature. Such waters include mineral spring Uhličité at Oravice. The spring has the highest radon volume activity in Slovakia – 1293.2 Bq.l⁻¹.

The fourth, fairly widely distributed type of radon waters are **radon waters on tectonic faults**. These waters are mineralized to a various degree and ascend from different depths along faults. They are often enriched in radium and saturated with CO₂. Radon here originated in depth or from radium precipitated on the walls of faults. These waters are found in the vicinity of Subatric faults (Žiar, Starý Smokovec), on tectonic lines in the Hornád and Košice Basins, and to a lesser extent also in the neovolcanics and other intramontane depressions.

The fifth genetic type embodies radon waters of **uranium deposits draining uranium deposits** and present in springs near uranium occurrences. These waters are characterized also by increased uranium concentrations and

PŘÍRODNÉ RÁDIONUKLIDY V HLAVNÝCH TYPOCH ODBERNÝCH MIEST A VO VŠETKÝCH VZORKÁCH ODOBRANÝCH NA UZEMÍ SR							TAB. 11 NATURAL RADIONUCLIDES IN THE MAIN TYPES OF COLLECTION POINTS AND IN ALL SAMPLES COLLECTED IN SLOVAKIA									
	Počet vzoriek Number of samples	U _{nat} (mg.l ⁻¹)					²²⁶ Ra (Bq.l ⁻¹)					²²² Rn (Bq.l ⁻¹)				
		×	GM	Medián Median	min.	max.	×	GM	Medián Median	min.	max.	×	GM	Medián Median	min.	max.
Pramene obyčajných vôd Springs of common waters	3235	0,0029	–	0,002	<0,001	0,105	0,046	0,031	0,038	<0,002	0,740	19,69	9,70	11,55	<0,05	532,36
Minerálne a termálne vody Mineral and thermal waters	238	0,0048	0,0027	0,003	<0,001	0,111	0,184	0,059	0,057	0,002	9,700	29,69	10,13	10,22	<0,05	1288,40
Studne / Wells	1122	0,0049	0,0034	0,003	<0,001	0,064	0,053	0,035	0,044	<0,002	0,882	10,05	6,51	7,34	<0,05	126,09
Povrchové vody Surface waters	232	0,0028	0,0017	0,002	<0,001	0,026	0,043	0,034	0,036	0,002	0,200	2,20	0,81	1,07	<0,05	47,75
Celkom / Total	5271	0,0038	–	0,003	<0,001	0,111	0,054	0,033	0,040	<0,001	9,700	16,51	7,74	9,31	<0,05	1288,40

OBSAH RÁDIONUKLIDOV VO VODÁCH VYBRANÝCH OBLASTÍ SLOVENSKA		TAB. 12	CONTENTS OF RADIONUCLIDES IN WATERS OF SELECTED AREAS OF SLOVAKIA					
Oblasť / Region	Počet vzoriek Number of samples	U_{nat} (mg.l ⁻¹)		^{226}Ra (Bq.l ⁻¹)		^{222}Rn (Bq.l ⁻¹)		
		×	GM	×	GM	×	GM	
Malé Karpaty Malé Karpaty Mts.	kryštalinikum, mezozoikum – granitoidy, metamorfity, karbonáty Crystalline unit, Mesozoic – granitoids, metamorphites, carbonates	50	0,003	0,002	0,080	0,066	41,37	21,38
Považský Inovec Považský Inovec Mts.	kryštalinikum, paleozoikum, mezozoikum – granitoidy, metamorfity, pieskovce, karbonáty Crystalline unit, Paleozoic, Mesozoic – granitoids, metamorphites, sandstones, carbonates	45	0,003	0,002	0,069	0,029	42,91	22,79
Trábeň Trábeň Mts.	kryštalinikum, paleozoikum, mezozoikum – granitoidy, metamorfity, pieskovce, karbonáty Crystalline unit, Paleozoic, Mesozoic – granitoids, metamorphites, sandstones, carbonates	46	0,003	0,002	0,030	0,021	22,05	11,99
Malá Fatra Malá Fatra Mts.	kryštalinikum, mezozoikum – granitoidy, metamorfity, karbonáty Crystalline unit, Mesozoic – granitoids, metamorphites, carbonates	104	0,004	0,004	0,044	0,032	13,30	7,66
Veľká Fatra Veľká Fatra Mts.	kryštalinikum, mezozoikum – granitoidy, metamorfity, pieskovce, karbonáty Crystalline unit, Mesozoic – granitoids, metamorphites, sandstones, carbonates	97	0,003	0,002	0,040	0,023	13,58	8,79
Strážovské vrchy Strážovské vrchy Mts.	kryštalinikum, mezozoikum – granitoidy, metamorfity, karbonáty Crystalline unit, Mesozoic – granitoids, metamorphites, carbonates	131	0,004	0,003	0,051	0,034	18,43	10,84
Nízke Tatry Nízke Tatry Mts.	kryštalinikum, paleozoikum, mezozoikum – granitoidy, metamorfity, pieskovce, karbonáty Crystalline unit, Paleozoic, Mesozoic – granitoids, metamorphites, sandstones, carbonates	130	0,003	0,002	0,055	0,041	25,91	13,63
Branisko a Čierna hora Branisko and Čierna Hora Mts.	kryštalinikum, paleozoikum, mezozoikum – granitoidy, metamorfity, pieskovce, karbonáty Crystalline unit, Paleozoic, Mesozoic – granitoids, metamorphites, sandstones, carbonates	51	0,002	0,002	0,053	0,040	9,28	4,88
Veporské vrchy Veporské vrchy Mts.	kryštalinikum, paleozoikum – granitoidy, metamorfity, pieskovce Crystalline unit, Paleozoic – granitoids, metamorphites, sandstones	100	0,003	0,002	0,058	0,038	57,57	29,94
Stolické vrchy, Revúcka vrchovina Stolické vrchy Mts. and Revúcka vrchovina Mts.	kryštalinikum, paleozoikum – granitoidy, metamorfity, pieskovce Crystalline unit, Paleozoic – granitoids, metamorphites, sandstones	124	0,003	0,002	0,056	0,037	56,82	30,11
Volovské vrchy Volovské vrchy Mts.	paleozoikum – fylity, porfyroidy, diabázy, pieskovce, bridlice, granity Paleozoic – phyllites, porphyroids, diabases, sandstones, shales, granites	267	0,003	0,002	0,052	0,038	22,48	8,97
Slovenský raj, Havranie vrchy Slovenský raj Mts. and Havranie vrchy Mts.	mezozoikum – vápence, dolomity, bridlice Mesozoic – limestones, dolomites, shales	58	0,003	0,002	0,079	0,052	10,40	4,52
Slovenský kras Slovenský kras Mts.	mezozoikum – vápence, dolomity, bridlice Mesozoic – limestones, dolomites, shales	72	0,003	0,002	0,036	0,025	11,44	4,86
Javorníky, Biele Karpaty, Myjavská pahorkatina Javorníky Mts., Biele Karpaty Mts. and Myjavská pahorkatina Upland	mezozoikum, paleogén – vápence, dolomity, ílovce, pieskovce Mesozoic, Paleogene – limestones, dolomites, claystones, sandstones	140	0,003	0,003	0,033	0,018	11,50	7,76
Hornádska kotlina Hornád basin	paleogén – ílovce, pieskovce, konglomeráty Paleogene – claystones, sandstones, conglomerates	80	0,003	0,003	0,089	0,065	14,77	7,45
Oravské Beskydy, Kysucké Beskydy, Oravská Magura Oravské Beskydy Mts., Kysucké Beskydy Mts. and Oravská Magura Mts.	paleogén – pieskovce, ílovce Paleogene – sandstones, claystones	228	0,003	0,002	0,039	0,024	9,17	5,56
Laborecká vrchovina, Ondavská vrchovina, Čergov, Bukovské vrchy Laborecká vrchovina Mts., Ondavská vrchovina Mts., Čergov Mts. and Bukovské vrchy Mts.	paleogén – pieskovce, konglomeráty, ílovce Paleogene – sandstones, conglomerates, claystones	426	0,003	0,002	0,046	0,039	12,33	8,78
Levočské vrchy, Šarišská vrchovina, Spišská Magura Levočské vrchy Mts., Šarišská vrchovina Mts., Spišská Magura Mts.	paleogén – pieskovce, ílovce Paleogene – sandstones, claystones	260	0,003	0,002	0,046	0,033	10,89	6,46
Kremnické vrchy, Vtáčnik, Pohronský Inovec, Štiavnické vrchy, Poľana Kremnické vrchy Mts., Vtáčnik Mts., Pohronský Inovec Mts., Štiavnické vrchy Mts., Poľana Mts.	neogén – andezity, ryolity, bazalty a ich vulkanoklastiká Neogene – andesites, rhyolites, basalts and their volcanoclastics	548	0,002	0,002	0,030	0,017	15,50	9,22
Slanské vrchy Slanské vrchy Mts.	neogén – andezity a ich vulkanoklastiká Neogene – andesites and their volcanoclastics	113	0,002	0,002	0,052	0,049	6,49	3,50
Vihorlat Vihorlat Mts.	neogén – andezity a ich vulkanoklastiká Neogene – andesites and their volcanoclastics	56	0,002	0,002	0,047	0,039	14,94	8,83
Cerová vrchovina Cerová vrchovina Mts.	neogén – piesky, pieskovce, sliene, tufity, íly Neogene – sands, sandstones, marls, tuffites, clays	50	0,004	0,003	0,050	0,038	27,68	21,80
Juhoslovenská kotlina Southern Slovakia Basin	neogén, kvartér – sliene, pieskove, ílovce, íly, štrkopiesky Neogene, Quarternary – marls, sandstones, claystones, clays, gravel sands	141	0,005	0,004	0,048	0,034	18,75	11,31
Košická kotlina Košice basin	neogén, kvartér – íly, piesky, štrky Neogene, Quarternary – clays, sands, gravels	101	0,002	0,002	0,049	0,045	2,93	7,37
Východoslovenská rovina Eastern Slovakia Lowland	neogén, kvartér – ílovce, piesky, štrky, štrkopiesky Neogene, Quarternary – claystones, sands, gravels, gravel sands	188	0,002	0,002	0,051	0,047	8,28	5,57
Záhorská nížina, Chvojnická pahorkatina Záhorie Basin, Chvojnická pahorkatina Upland	neogén, kvartér – ílovce, štrky, piesky, spraše, íly Neogene, Quarternary – claystones, gravels, sands, xxx, clays	103	0,005	0,004	0,082	0,060	9,55	6,12
Podunajská pahorkatina Podunajská pahorkatina Upland	neogén, kvartér – íly, štrky, štrkopiesky, piesky, spraše Neogene, Quarternary – clays, gravels, gravel sands, sands, xxx	459	0,005	0,003	0,051	0,035	11,73	7,86
Podunajská rovina Danube Lowland	kvartér – štrky, piesčité štrky, štrky Quarternary – gravels, sandy gravels, gravels	236	0,005	0,004	0,052	0,028	6,55	4,20

najznámejšie patria vody z opustených uránových ložísk v Novoveskej Hute a Kálnici.

radium volume activity. The type is best exemplified by waters discharged from abandoned uranium deposits at Novoveská Huta and Kálnica.

7.9. Rádioaktivita minerálnych a termálnych vôd Slovenska

Prírodnú rádioaktivitu minerálnych a termálnych vôd Slovenska treba hodnotiť samostatne. Studené minerálne vody majú oproti obyčajným vodám zvýšené hodnoty jednotlivých rádionuklidov, najmä rádia a radónu. V prípade niektorých termálnych vôd sú hodnoty objemovej aktivity rádia oproti obyčajným vodám prekročené až stonásobne. Tieto minerálne a termálne vody patria do kategórie slabo rádiových alebo slabo radónových vôd.

Minerálne vody Slovenska vykazujú rozdielne hodnoty objemovej aktivity rádia v závislosti od svojho chemického zloženia, vzťahu ku geologickej stavbe, obsahu CO_2 a H_2S . Na základe spracovaných hodnôt prírodnej rádioaktivity z vyše 200 vzoriek minerálnych vôd Slovenska môžeme minerálne vody rozdeliť do niekoľkých typov:

- Minerálne vody viazané na triasové karbonáty najmä križňanského a chočského príkrovu. Koncentrácie uránu v týchto vodách sú nízke v priemere do $0,003 \text{ mg.l}^{-1}$. Objemová aktivita rádia sa pohybuje spravidla v rozsahu $0,2\text{--}0,9 \text{ Bq.l}^{-1}$. Takáto minerálna voda je napríklad v Bešeňovej, v Sivej Brade pri Spišskom Podhradí, Sobranciach a v Oraviciach. Mnohé z týchto vôd sú klasifikované ako slabo rádiové, napríklad vody z prameňov na Sivej Brade (Prameň sv. Ondreja a Prameň sv. Kríža), v Sobranciach (Očný prameň). Objemová aktivita radónu kolíše spravidla v rozsahu $20\text{--}50 \text{ Bq.l}^{-1}$, ale vyskytujú sa aj vody s vyššími hodnotami (napr. Prameň sv. Ondreja na Sivej Brade s objemovou aktivitou $170,5 \text{ Bq.l}^{-1}$). Najvyššiu hodnotu objemovej aktivity radónu má voda z prameňa Uhlíčity v Oraviciach – $1293,2 \text{ Bq.l}^{-1}$. Miesta týchto výverov sú často pokryté travertínom.
- Minerálne vody kryštalinika, zväčša studené kyselky. Majú zvýšené hodnoty uránu aj rádia a vysoké hodnoty radónu. Zvýšenie je vyvolané agresívnym pôsobením CO_2 v horninách kryštalinika a hypalochothonným pôvodom radónu. Medzi takéto vody sa zaraďujú napríklad vody kryštalinika Nízkych Tatier (pri Bacúchu, v Jasení a pri Braväcove), vo Veporských vrchoch (pramene pri Čiernom Balogu, napr. voda z minerálneho prameňa Zuzka má objemovú aktivitu ^{222}Rn až $817,89 \text{ Bq.l}^{-1}$). Možno sem zaradiť aj časť minerálnych vôd kryštalinika Tatier, viazanú na podtatranský zlom (v Starom Smokovci a v Žiari). Minerálne vody kryštalinika majú hodnoty uránu $0,005\text{--}0,015 \text{ mg.l}^{-1}$, objemová aktivita ^{226}Ra sa pohybuje najčastejšie v rozsahu $0,1\text{--}0,5 \text{ Bq.l}^{-1}$ a objemová aktivita ^{222}Rn často aj nad 200 Bq.l^{-1} , čo tieto vody zaraďuje do radónových vôd.
- Minerálne vody flyšového pásma – nátriovo-bikarbonátové vody sírovodíkové alebo kyselky. Viazu sa na tektonické línie, nachádzame ich vo všetkých čiastkových jednotkách flyša. Vyznačujú sa mierne zvýšenou koncentráciou uránu ($0,004\text{--}0,005 \text{ Bq.l}^{-1}$), priemernými hodnotami objemovej aktivity ^{226}Ra ($0,02\text{--}0,08 \text{ Bq.l}^{-1}$, len vo výnimočných prípadoch viac ako $0,1 \text{ Bq.l}^{-1}$). Objemová aktivita ^{222}Rn sa pohybuje v rozmedzí $10\text{--}20 \text{ Bq.l}^{-1}$, len vo vodách obohatených CO_2 prekračuje 20 Bq.l^{-1} .
- Minerálne vody neovulkanitov. Vyznačujú sa spravidla nízkymi hodnotami uránu ($0,002 \text{ mg.l}^{-1}$) a rádia (do $0,05 \text{ Bq.l}^{-1}$) a mierne zvýšenými hodnotami objemovej koncentrácie ^{222}Rn ($20\text{--}40 \text{ Bq.l}^{-1}$).

Termálne vody Slovenska sa podľa ich prírodnej rádioaktivity začleňujú do týchto dvoch hlavných skupín:

- Termálne vody predterciérnych útvarov. Vyznačujú sa vysokými hodnotami objemovej aktivity ^{226}Ra . Patria sem napríklad vody v Bešeňovej – vrt ZGL-1 (objemová aktivita ^{226}Ra $9,7 \text{ Bq.l}^{-1}$), v Piešťanoch ($3,068 \text{ Bq.l}^{-1}$), v Oraviciach – vrt OZ-2 ($3,209 \text{ Bq.l}^{-1}$), v Lúčke – vrt BŠ-1 ($2,503 \text{ Bq.l}^{-1}$), v Poprade – vrt PP-1 ($1,733 \text{ Bq.l}^{-1}$), vo Vrbove – vrt Vr-1, v Kováčovej – vrt K-1 ($0,998 \text{ Bq.l}^{-1}$), v Lúčkach – vrt BJ-101 ($0,985 \text{ Bq.l}^{-1}$), v Trenčianskych Tepliciach – vrt SBP-5 ($0,784 \text{ Bq.l}^{-1}$). Tieto vody vykazujú teploty od 30 do 60°C , vody sú Ca-Mg-Na- SO_4 - HCO_3 -typu (vrt OZ-1), Ca-Mg- HCO_3 -typu (vrt Vr-1, PP-1, BŠ-1) a Ca-Mg- SO_4 - HCO_3 -typu (vrt BJ-101). Ich výskyt sa viaže prevažne na triasové horniny križňanského a chočského príkrovu. Vody chočského príkrovu v Poprade a Lúčke obsahujú aj zvýšené koncentrácie uránu (vo vrte BŠ-1 až $0,111 \text{ mg.l}^{-1}$).
- Termálne vody terciérnych útvarov. Vyznačujú sa nízkymi hodnotami objemovej aktivity ^{226}Ra (maximálne $0,1 \text{ Bq.l}^{-1}$). Patria sem napríklad termálne vody z vrto v Dunajskom Klátove, Vlčanoch, Baloni, Tvrdošovciach, Sládkovičove, Diakovciach, Nových Zámkoch a Topoľníkoch. Sú to vody nízko až vysoko termálne.

7.10. Prírodná rádioaktivita hornín podľa jednotlivých litotypov

V kapitole 2.2. bolo vyčlenených 64 litotypov reprezentujúcich územie Slovenska. Pre každý vyčlenený litotyp sa v tabuľke 13 uvádzajú základné charakteristiky rádioaktivity, t. j. obsahy K, eU, eTh, Ďa, U_{celk} , pomery Th/U, U/K, Th/K a stupeň radónového rizika.

7.9. Radioactivity of Slovakia's Mineral and Thermal Waters

Natural radioactivity of Slovakia's mineral and thermal waters must be assessed separately. In comparison with normal waters, cold mineral waters are enriched in some radionuclides, notably radium and radon. Radium volume activity of some thermal waters is a hundred times as high in comparison with normal waters. These mineral and thermal waters fall into the category of weak radium or weak radon waters.

Slovakia's mineral waters have various radium volume activities controlled by their chemistry, relationship with geological structure as well as CO_2 and H_2S contents.

On the basis of natural radioactivities of more than 200 samples, Slovakia's mineral waters can be divided into several types:

- Mineral waters bound to Triassic carbonates, mostly in the Krížna and Choč nappes. Uranium concentrations in these waters are low, averaging 0.003 mg.l^{-1} . Radium volume activity usually ranges from 0.2 to 0.9 Bq.l^{-1} . Such mineral waters occur, e.g. at Bešeňová, Sívá Brada near Spišské Podhradie, Sobrance and Oravice. Many of them (e.g. springs St. Andrew and Holy Cross at Sívá Brada, Eye spring at Sobrance) have been classified as weak radium waters. Radon volume activities largely range from 20 to 50 Bq.l^{-1} , but in some waters they are much higher, e.g. spring St. Andrew at Sívá Brada yields 170.5 Bq.l^{-1} . The highest radon volume activity occurs in water from spring Uhlíčity (Carbonic) at Oravice – 1293.2 Bq.l^{-1} . Springs of these waters are often covered with travertine.
- Mineral waters of the crystalline unit. These are mostly cold acidulous waters, enriched in uranium and radium, but mainly radon. The increased contents result from aggressive CO_2 affecting crystalline rocks and from hypalochthonous origin of radon. Such waters include those of the Nízke Tatry crystalline unit (near Bacúch, in Jasenie and near Braväcovo) and Veporské vrchy (springs near Čierny Balog, e.g. water from mineral spring Zuzka has ^{222}Rn volume activity as much as 817.89 Bq.l^{-1}) and others. The group partly comprises also mineral waters of the Tatra crystalline unit bound to the Subtatic fault (at Starý Smokovec and Žiar). Mineral waters of the crystalline unit have uranium contents $0.005\text{--}0.015 \text{ mg.l}^{-1}$, ^{226}Ra volume activity mostly $0.1\text{--}0.5 \text{ Bq.l}^{-1}$ and ^{222}Rn volume activity frequently above 200 Bq.l^{-1} , and as a result are classified as radon waters.
- Mineral waters of the Flysch Belt – sodium-bicarbonate waters with hydrosulphide or acidulous waters. The waters are bound to tectonic lines in all partial flysch units. They are characterized by slightly increased uranium concentrations ($0.004\text{--}0.005 \text{ Bq.l}^{-1}$), average ^{226}Ra volume activity ($0.02\text{--}0.08 \text{ Bq.l}^{-1}$, only rarely above 0.1 Bq.l^{-1}). ^{222}Rn volume activity ranges between 10 and 20 Bq.l^{-1} , only in waters enriched in CO_2 above 20 Bq.l^{-1} .
- Mineral waters of the neovolcanics – are characterized by mostly low uranium (0.002 mg.l^{-1}) and radium contents (up to 0.05 Bq.l^{-1}) and mildly increased ^{222}Rn volume activity ($20\text{--}40 \text{ Bq.l}^{-1}$).

With regard to their natural radioactivity, Slovakia's thermal waters are divided into two groups:

- Thermal waters of pre-Tertiary units – characterized by high ^{226}Ra volume activity. They comprise waters at Bešeňová – well ZGL-1 – ^{226}Ra volume activity 9.7 Bq.l^{-1} , Piešťany – (3.068 and 2.815 Bq.l^{-1}), Oravice – well OZ-2 – (3.209 and 3.209 Bq.l^{-1}), Lúčka – well BŠ-1 (2.503 Bq.l^{-1}), Poprad – well PP-1 (1.733 Bq.l^{-1}), Vrbov – well Vr-1, Kováčová – well K-1 (0.998 Bq.l^{-1}), Lúčky – well BJ-101 (0.985 Bq.l^{-1}), Trenčianske Teplice – well SBP-5 (0.784 Bq.l^{-1}) and elsewhere. These waters have temperatures between 30 and 60°C , and Ca-Mg-Na- SO_4 - HCO_3 (well OZ-1), Ca-Mg- HCO_3 (wells Vr-1, PP-1, BŠ-1), Ca-Mg- SO_4 - HCO_3 (well BJ-101) chemistries. The waters are bound primarily to Triassic rocks of the Krížna and Choč nappes. Waters of the latter nappe near Poprad and Lúčka are enriched in uranium (in well BŠ-1 as much as 0.111 mg.l^{-1}).
- Thermal waters of Tertiary units – are characterized by low ^{226}Ra volume activity (up to 0.1 Bq.l^{-1}). The group includes thermal waters from wells at Dunajský Klátov, Vlčany, Baloň, Tvrdošovce, Sládkovičovo, Diakovce, Nové Zámky and Topoľníky. The waters are low- to high-temperature ones.

7.10. Natural Rock Radioactivity by Respective Lithotypes

64 lithofacies representative of the Slovak territory are defined in Chapter 2.2. Each defined lithotype is characterized by basic data on its radioactivity, such as K, eU, eTh, Ďa and U_{tot} contents, Th/U, U/K and Th/K ratios as well as radon risk category given in Tab. 13.

**CHARAKTERISTIKY PRÍRODNEJ RÁDIOAKTIVITY
GEOCHEMICKÝCH LITOTYPOV HORNÍN SLOVENSKA**
TAB. 13
**CHARACTERISTICS OF NATURAL RADIOACTIVITY
OF SLOVAKIA'S GEOCHEMICAL LITOTYPES**

Č. N.	Litotyp Lithotype	Počet bodov Number of points	Priemerné hodnoty Average values								Percentuálne zastúpenie plochy Percentage of area	Radónové riziko (%) Radon risk (%)		
			K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)	Da (nGy.h ⁻¹)	eUt (ur)	Th/U	Th/K	U/K		nízke low	stredné medium	vysoké high
1	Sladkovodné vápence – travertíny / Freshwater limestones – travertines	137	1,7	2,9	9,0	60,7	12,0	3,1	5,6	1,8	0,07	43,33	56,67	0,00
2	Íly, piesky, štrky ± polohy lignitu / Clays, sands, gravels ± lignite layers	408	1,4	2,8	8,8	56,4	11,1	3,2	6,3	2,0	1,58	74,10	25,90	0,00
3	Íly, piesky, tuffitické a vulkanomiktné sedimenty ± polohy lignitu Clays, sands, tuffaceous and volcanomictic sediments ± lignite	617	1,6	3,1	9,4	61,3	12,0	3,1	6,1	2,0	0,00	0,00	100,00	0,00
4	Vápnité ílovce a siltovce / Calcareous claystones and siltstones	119	1,6	3,1	9,2	62,0	12,2	3,0	5,7	2,0	0,02	0,00	100,00	0,00
5	Vápnité ílovce, pieskovce, štrky, vápence, polohy lignitu Calcareous claystones, sandstones, gravels, limestones, lignite beds	1526	1,5	3,2	8,4	58,8	11,5	2,8	6,0	2,4	0,00	0,00	0,00	0,00
6	Vápnité ílovce, pieskovce, štrky, vápence, tuffitické a vulkanomiktné sedimenty Calcareous claystones, sandstones, gravels, limestones, tuffaceous and volcanomictic sediments	755	1,7	3,6	8,4	63,9	12,5	2,7	5,4	2,7	0,03	35,71	64,29	0,00
7	Vápnité ílovce, pieskovce, štrky, vápence, evapority Calcareous claystones, sandstones, gravels, limestones, evaporites	417	2,4	4,0	10,7	80,7	15,9	2,9	4,7	1,8	0,56	61,89	38,11	0,00
8	Alkalické bazalty / Alkali basalts	15	2,1	3,8	10,3	74,5	14,6	2,8	5,2	1,9	0,02	100,00	0,00	0,00
9	Bazalty a bazaltické andezity / Basalts and basaltic andesites	12	1,6	2,8	8,5	56,0	11,1	3,7	5,6	2,3	0,04	100,00	0,00	0,00
10	Pyroxenické a amfibolicko-pyroxenické andezity Pyroxene and amphibole-pyroxene andesites	1624	1,8	3,4	9,2	64,8	12,7	3,1	5,5	2,2	1,12	27,14	72,86	0,00
11	Pyroxenicko-amfibolické, amfibolické a biotiticko-amfibolické andezity až dacity Pyroxene-amphibole, amphibole and biotite-amphibole andesites to dacites	288	1,6	2,8	8,4	57,7	11,4	3,0	5,3	1,8	0,01	0,00	100,00	0,00
12	Propylitizované andezity, andezitové porfýry, dioritové porfýry a diority Propylitized andesites, andesite porphyries, diorite porphyries and diorites	190	1,8	3,0	9,6	64,3	12,7	3,2	5,4	1,7	0,05	80,95	19,05	0,00
13	Granodiorit, granodioritové porfýry, kremito-dioritové porfýry Granodiorite, granodiorite porphyries, quartz-diorite porphyries	33	2,0	3,3	10,6	71,2	14,1	3,2	5,3	1,7	0,00	0,00	0,00	0,00
14	Ryodacity a ryolity / Rhyodacites and rhyolites	184	2,1	3,6	11,0	74,8	14,7	3,1	5,4	1,8	0,06	3,57	96,43	0,00
15	Ílovce, slieňovce, pieskovce, zlepenca, vápence ± uhlie, paleogén budínskeho vývoja Claystones, marlstones, sandstones, conglomerates, limestones ± coal, Buda Paleogene	9	2,1	4,1	11,1	78,1	15,3	2,7	5,4	2,0	0,00	0,00	0,00	0,00
16	Pieskovce, podradné ílovce – bielopotocké súvrstvie Sandstones, minor claystones – Biely potok Formation	390	1,7	3,1	9,2	62,72	12,3	3,05	5,70	1,95	10,17	20,32	79,68	0,00
17	Vápnité ílovce, pieskovce – hutianske a zuberecké súvrstvie Calcareous claystones, sandstones – Huty and Zuberec Formation	1342	1,5	3,0	8,8	58,66	11,5	3,01	6,25	2,15	24,38	76,31	23,64	0,10
18	Pieskovce, zlepenca, brekcie, vápence – borovské súvrstvie Sandstones, conglomerates, breccias, limestones – Borové Formation	300	1,5	2,9	8,4	56,62	11,1	2,94	5,76	1,99	2,31	52,27	47,73	0,00
19	Prevažne pieskovce, podradné ílovce, flyš magurskej jednotky Mostly sandstones, minor claystones, Magura flysch	226	1,6	3,1	9,2	62,12	12,2	2,98	5,64	1,94	0,13	75,00	25,00	0,00
20	Pieskovce a ílovce, flyš magurskej jednotky Sandstones and claystones, Magura flysch	434	1,5	3,2	8,6	58,65	11,5	2,79	5,89	2,22	0,00	100,00	0,00	0,00
21	Prevažne ílovce, podradné pieskovce, flyš magurskej jednotky Mostly claystones, minor sandstones, Magura flysch	130	1,5	3,2	8,4	58,36	11,4	2,77	5,82	2,39	0,08	55,88	44,12	0,00
22	Prevažne pieskovce, podradné ílovce, flyš duklianskej (sliezskej) jednotky Mostly sandstones, minor claystones, Dukla (Silesian) flysch	57	1,5	2,7	7,9	54,85	10,8	3,11	5,14	1,81	0,00	0,00	0,00	0,00
23	Pieskovce a ílovce, flyš duklianskej (sliezskej) jednotky Sandstones and claystones, Dukla (Silesian) flysch	42	1,4	2,3	5,8	46,06	9,1	2,40	4,00	1,64	0,00	0,00	0,00	0,00
24	Prevažne ílovce, podradné pieskovce, flyš duklianskej jednotky Mostly sandstones, minor claystones, Dukla (Silesian) flysch	44	1,4	2,0	4,7	40,47	8,1	2,41	3,47	1,44	0,00	0,00	0,00	0,00
25	Sliene, karbonatické pieskovce, zlepenca, vápence, prevažne vápnité flyše Marls, carbonatic sandstones, conglomerates, limestones, mostly carbonatic flysches	318	1,6	3,1	9,1	61,03	12,0	2,94	5,86	2,06	2,16	78,61	21,39	0,00
26	Pestré slieňovce / Variegated marlstones	44	1,6	3,2	9,8	63,01	12,4	3,00	6,28	2,10	0,73	72,90	27,10	0,00
27	Vápence / Limestones	34	1,7	3,5	11,0	69,51	13,6	3,10	6,58	2,13	0,88	43,49	56,51	0,00
28	Vápence a dolomity / Limestones and dolomites	1166	1,6	3,4	10,1	64,97	12,7	2,98	6,49	2,21	8,46	62,03	37,94	0,03
29	Dolomity / Dolomites	90	1,6	3,0	10,1	62,64	12,3	3,79	6,49	1,91	0,35	31,82	68,18	0,00
30	Vápence, dolomity a bridlice (fylity) Limestones, dolomites and shales (phylites)	141	1,6	2,9	10,0	62,14	12,2	3,62	6,35	1,88	1,43	56,00	42,97	0,96
31	Vápence, dolomity, bridlice (fylity) a mafické vulkanity Limestones, dolomites and shales (phylites) and mafic volcanics	27	1,7	3,5	10,9	68,79	13,5	3,12	6,58	2,12	0,63	51,50	46,74	1,81
32	Prevažne ílovité vápence, slieňovce ± piesčité a kremité vápence Mostly clayey limestones, marlstones ± sandy and quartz sandstones	535	1,7	3,6	10,7	68,77	13,5	3,04	6,50	2,21	1,69	48,45	51,55	0,00
33	Piesčité, škvrnité, hľuznaté, kremité a rohovcové vápence ± silicity Sandy, spotted, nodular, siliceous and cherty limestones ± silicites	252	1,6	3,5	10,7	67,99	13,3	3,06	6,67	2,20	0,74	75,46	24,54	0,00

CHARAKTERISTIKY PRÍRODNEJ RÁDIOAKTIVITY GEOCHEMICKÝCH LITOTYPOV HORNÍN SLOVENSKA			TAB. 13 POKR./CONT.									CHARACTERISTICS OF NATURAL RADIOACTIVITY OF SLOVAKIA'S GEOCHEMICAL LITOTYPES			
Č. N.	Litotyp Lithotype	Počet bodov	Priemerné hodnoty Average values									Percentuálne zastúpenie plochy	Radónové riziko (%) Radon risk (%)		
		Number of points	K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)	Da (nGy.h ⁻¹)	eUt (ur)	Th/U	Th/K	U/K	Percentage of area	nízke low	stredné medium	vysoké high	
35	Bridlice, pieskovce, vápence ± radiolarity, evapority Shales, sandstones, limestones ± radiolarites, evaporites	8	1,8	3,7	11,5	72,59	14,2	3,10	6,59	2,13	0,43	47,59	52,41	0,00	
36	Pestré bridlice, pieskovce, dolomity ± evapority, karpatský keuper Variegated shales, sandstones, dolomites ± evaporites, Carpathian Keuper	77	1,6	3,4	10,3	66,46	13,0	3,04	6,40	2,13	0,33	48,95	51,05	0,00	
37	Kremence, pieskovce, ílovité bridlice, lunzské vrstvy a spodný trias tatrika a veporika Quartzites, sandstones, shales, Lunz Member and Lower Triassic of Tatricum and Veporicum	409	1,5	3,5	10,4	65,61	12,8	3,07	7,03	2,32	2,09	48,04	51,96	0,00	
38	Pieskovce, vápnnité bridlice, vápence ± evapority, spodný trias hronika a silicika Sandstones, shales, limestones ± evaporites, Lower Triassic of Hronicum and Silicicum	241	1,5	3,3	9,5	62,16	12,2	3,12	6,47	2,35	3,58	35,25	61,38	3,38	
39	Bridlice, pieskovce, zlepenca ± kyslé vulkanity, mladšie paleozoikum tatrika, veporika, hronika, zemplinika Shales, sandstones, conglomerates ± acid volcanics, Late Paleozoic of Tatricum, Veporicum, Hronicum, Zemplinicum	428	1,7	4,0	10,7	70,72	13,8	2,74	6,54	2,43	4,67	36,08	61,72	2,20	
40	Intermediárne a mafické vulkanity / Intermediate and mafic volcanics	93	1,9	4,7	13,3	84,59	16,5	2,94	7,09	2,54	0,83	36,46	63,54	0,00	
41	Zlepenca, pieskovce, bridlice ± vulkanity, karbonáty Conglomerates, sandstones, shales ± volcanics, carbonates	127	1,6	4,0	11,3	71,48	13,9	2,82	7,28	2,61	2,44	18,50	78,32	3,18	
42	Prevažne metapieskovce a fylity ± mafické vulkanity Mostly metasandstones and phyllites ± mafic volcanics	154	1,4	3,3	10,0	61,57	12,0	3,17	7,39	2,38	1,42	12,40	83,33	4,33	
43	Prevažne mafické vulkanity / Mostly mafic volcanics	65	1,9	4,7	12,5	82,44	16,1	2,72	6,73	2,50	0,70	6,56	88,20	5,25	
44	Prevažne metapieskovce a fylity ± kyslé vulkanity, karbonáty, lydity Mostly metasandstones and phyllites ± acid volcanics, carbonates, lydites	417	1,5	3,3	9,5	62,24	12,2	2,88	6,60	2,31	4,76	2,73	92,72	4,55	
45	Prevažne kyslé vulkanity / Mostly acid volcanics	205	1,6	3,7	10,2	67,01	13,1	2,81	6,49	2,35	3,03	0,90	97,67	1,43	
46	Metapsamity, fylity, svory ± metavulkanity, karbonáty Metapsamites, phyllites, mica schists ± metavolcanics, carbonates	71	1,6	3,1	8,9	60,41	11,9	2,87	6,07	2,12	2,44	7,76	92,24	0,00	
47	Ruly až migmatity ± fylonity / Gneisses to migmatites ± phyllonites	609	1,6	3,6	9,7	65,22	12,7	2,72	6,47	2,68	4,39	20,29	79,71	0,00	
48	Amfibolity ± amfibolické ruly / Amphiboles ± amphibole gneisses	40	1,5	4,1	10,1	68,41	13,3	2,49	6,60	2,68	0,42	51,61	48,39	0,00	
50	Diority / Diorites	1	1,6	3,4	8,9	62,40	12,2	2,62	5,56	2,13	0,00	0,00	0,00	0,00	
51	Tonality / Tonalites	428	1,5	3,1	9,3	60,56	11,9	3,10	6,30	2,13	4,67	8,83	91,17	0,00	
52	Granodiority až granity / Granodiorites to granites	334	1,5	3,2	9,8	62,14	12,2	3,26	6,62	2,17	5,00	6,38	93,17	0,40	
53	Leukokrátne granity / Leucocrate granites	76	1,5	3,3	9,2	61,06	11,9	2,84	6,34	2,26	0,92	48,01	51,99	0,00	
54	Granity gemerika / Gemeric granites	14	1,5	3,3	10,4	64,71	12,6	3,17	6,84	2,25	0,19	0,00	54,76	45,24	

8. RÁDIOAKTIVITA HORNÍN A VÔD SLOVENSKA

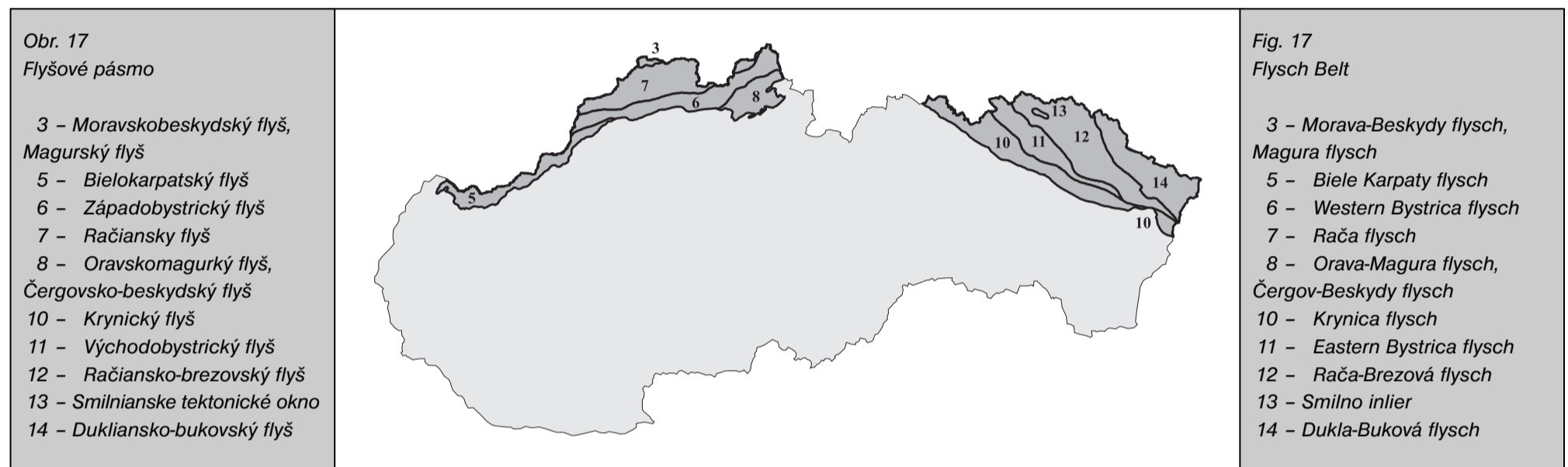
Geologická stavba Západných Karpát, ktoré pokrývajú územie Slovenska, je veľmi zložitá a vo veku jednotlivých geologických jednotiek sú veľké rozdiely. Charakteristika rádioaktivity týchto jednotiek preto vychádza z *Regionálneho geologického členenia Západných Karpát a severných výbežkov Pannónskej panvy na území Slovenska* (VASS et al., 1988).

8.1. Paleogén

Paleogénne sedimenty sú v Západných Karpatoch rozšírené predovšetkým vo flyšovom pásme vonkajších Západných Karpát a v centrálnych Západných Karpatoch ako vnútrokarpatský paleogén.

8.1.1. Flyšové pásmo

Flyšové pásmo (obr. 17, tab. 14) vytvára na území Slovenska oblúk súhlasný s priebehom Západných Karpát, a zaberá plochu 14,1 % územia Slovenska.



8. ROCK AND WATER RADIOACTIVITY IN SLOVAKIA

Geological structure of the West Carpathians, which occupy the Slovak territory, is very complicated, its respective geological units varying greatly in age. Therefore *the Regional geological division of the West Carpathians and northern projections of the Pannonian Basin in the Slovak territory* (VASS et al., 1988) was used to characterize radioactivity of various geological units.

8.1. Paleogene

Paleogene sediments in the West Carpathians are widespread mainly in the Flysch Belt of the Outer West Carpathians and as the Inner Carpathian Paleogene in the Central West Carpathians.

8.1.1. Flysch Belt

The Flysch Belt in the Slovak territory (Fig. 17, Tab. 14) forms an arc concordant with the course of the West Carpathians and occupies 14.1 % of the

PRÍRODNÁ RÁDIOAKTIVITA HORNÍN VYBRANÝCH LITOTYPOV FLYŠOVÉHO PÁSMO		TAB. 14					NATURAL ROCK RADIOACTIVITY OF SOME FLYSCH BELT LITHOTYPES			
Č. No.	Názov horniny Name of rock	K %	eU ppm	eTh ppm	eU _t ur	Ďa nGy . h ⁻¹	Th/U	U/K	Th/K	
Magurský flyš / Magura Flysch										
19	Prevažne pieskovce, podr. ílovcy / Mostly sandstones, minor claystones	1,5	2,9	8,8	11,3	57,7	3,0	2,1	6,6	
20	Pieskovce a ílovcy / Sandstones and claystones	1,4	2,7	8,8	11,0	56,0	3,0	2,0	6,4	
21	Prevažne ílovcy, podr. pieskovce / Mostly claystones, minor sandstones	1,4	2,8	8,8	11,0	56,1	3,1	2,1	6,4	
Čergovsko-beskydský flyš / Čergov-Beskydy Flysch										
19	Prevažne pieskovce, podr. ílovcy / Mostly sandstones, minor claystones	1,5	3,0	8,8	11,5	58,6	3,0	2,0	6,7	
20	Pieskovce a ílovcy / Sandstones and claystones	1,5	3,1	9,3	11,9	60,5	3,1	2,0	6,5	
21	Prevažne ílovcy, podr. pieskovce / Mostly claystones, minor sandstones	1,7	3,2	9,8	12,6	64,4	3,1	1,9	6,6	
Dukliansko-bukovský flyš / Dukla-Buková Flysch										
22	Prevažne pieskovce, podr. ílovcy / Mostly sandstones, minor claystones	1,6	3,2	9,8	12,3	62,9	3,1	2,1	6,4	
23	Pieskovce a ílovcy / Sandstones and claystones	1,7	3,4	10,2	13,0	66,6	3,1	2,1	6,5	
24	Prevažne ílovcy, podr. pieskovce / Mostly claystones, minor sandstones	1,6	3,3	9,9	12,5	63,8	3,0	2,2	6,5	

Od západu na východ sa člení na magurský flyš, čergovsko-beskydský a dukliansko-bukovský flyš (VASS et al., 1988). Gamasprometriou sa tu zmerala prírodná rádioaktivita na 869 referenčných bodoch. Jej hodnota smerom od západu na východ narastá. Súvisí to so zložením hornín, teda s litotypmi, ktoré tvoria dané jednotky (kap. 2.2.). V magurskej a čergovsko-beskydskej jednotke je to litotyp Pg-7 a Pg-8, v dukliansko-bukovskej Pg-5 a Pg-6. Celková rádioaktivita (11,7 ur) je však nižšia ako priemerná rádioaktivita hornín Slovenska (12,4 ur). Nižší je podiel všetkých sledovaných komponentov (K, U, Th). Dávkový prikon je 59,4 nGy.h⁻¹.

Dávkový prikon z kozmického žiarenia závisí od nadmorskej výšky, takže má rozpätie 39,7–65,1 nGy.h⁻¹ s priemernou hodnotou 45,4 nGy.h⁻¹.

Objemová aktivita radónu (OAR) v pôdnom vzduchu sa merala na 105 referenčných plochách. Po zhodnotení výsledkov týchto meraní možno povedať,

Slovak territory. The Flysch Belt in the territory of the West Carpathians is divided from west to east into the Magura flysch, Čergov-Beskydy and Dukla-Buková flysch (VASS et al., 1988). A total of 869 reference points were measured using gamma ray spectroscopy.

Natural radioactivity increases from west to east. This is connected to the composition of the rocks, i.e. to lithotypes making up given units (chapter 2.2). The Magura and Čergov-Beskydy flysch units consist of the lithotypes Pg-7 and Pg-8, and the Dukla-Buková flysch units of the lithotypes Pg-5, Pg-6. But the total radioactivity here (11.7 ur) is lower than the average rock radioactivity in Slovakia (12.4 ur). All studied radioactivity components (K, U, Th) are lower. The dose rate is 59.4 nGy.hr⁻¹.

The dose rate from cosmic radiation depends on altitude, and so it ranges from 39.7 to 65.1 with the average value of 45.4 nGy.hr⁻¹.

že paleogén flyšového pásma je nízkorizikový (s výnimkou časti čergovských vrstiev a priútesového vývoja na východnom Slovensku).

Moravskobeskydský flyš, ktorý je na území SR zastúpený len malou plochou, patrí do kategórie nízkeho radónového rizika.

Merania v magurskom flyši predstavujú v rámci flyšového pásma rozhodujúci súbor (95 referenčných plôch). Najnižšie radónové riziko sa podľa meraní dá predpokladať v tzv. zlínskych vrstvách, kde bola stredná hodnota 14 kBq.m⁻³ (81 % zhodnotených referenčných plôch bolo zaradených do kategórie nízkeho radónového rizika). O čosi vyššie hodnoty OAR sa zistili v belovežských vrstvách západobystrického flyšu.

V zóne čergovsko-beskydského flyšu majú stredné radónové riziko pieskovcové horniny krynického flyšu (72 % plochy je podľa plošného vyhodnotenia v strednom radónovom riziku).

Dukliansko-bukovský flyš má podobný stupeň rizikovosti ako magurský.

Podzemné vody vo flyšovom pásme severozápadného Slovenska sa vyznačujú pomerne stabilnými hodnotami koncentrácie uránu aj objemovými aktivitami rádia a radónu. Priemerné hodnoty koncentrácie uránu sú typické pre flyšový vývoj (0,003 mg.l⁻¹). Väčší počet vzoriek so zvýšenými hodnotami uránu sa vyskytol len v oblasti Javorníkov. Nízke sú aj hodnoty objemovej aktivity rádia ($x = 0,033 - 0,039 \text{ Bq.l}^{-1}$, GM = 0,018–0,024 Bq.l⁻¹). Najnižšie hodnoty sa namerali v Javorníkoch (najčastejšie do 0,03 Bq.l⁻¹). Zvýšené hodnoty objemovej aktivity radónu sa objavujú len lokálne.

Koncentrácia uránu vo vodách flyšového pásma východného Slovenska (najčastejšie 0,002–0,003 mg.l⁻¹) zodpovedá striedaniu litologických typov hornín. Objemová aktivita rádia (max. 0,305 Bq.l⁻¹) je mierne zvýšená len v minerálnych vodách. Podobne aj koncentrácie radónu (max. 47,96 Bq.l⁻¹) sú len vo vodách s hlbším obehom.

8.1.2. Vnútrokarpatský paleogén

Vnútrokarpatský paleogén (obr. 18, tab. 15) vyplní sedimentárne depresie v Západných Karpatoch. Môžeme ho rozdeliť na spišsko-šarišskú oblasť, Popradskú kotlinu a Levočské vrchy, oravský paleogén, Žilinskú kotlinu, Liptovskú kotlinu, paleogén Strážovských vrchov a paleogén Horehronského podolia. Najväčšia mocnosť akumulovaných flyšových nánosov (2000–4000 m) je v pásme Žilina – Orava, Levočské vrchy – Šarišská vrchovina. Vrstvy vnútrokarpatského paleogénu sa členia na bazálne (borovské) súvrstvie a hutianske, zuberecké a bielopotocké súvrstvia s flyšovým vývojom (GROSS et al., 1984).

Borovské súvrstvie je zložené zo zlepcov, brekcií, pieskovcov a piesčitých ílovcov. Litologickú náplň ostatných súvrství tvoria prevažne pieskovce a ílovce.

Vnútrokarpatský paleogén zaberá plochu 9,5 % plochy Slovenska. Prírodná rádioaktivita jeho hornín je pomerne nízka. Podobne je to i s dávkovým príkonom – 59,1 nGy.h⁻¹ (priemer zo Slovenska je 63,3 nGy.h⁻¹).

Najnižšie priemerné hodnoty draslíka sú v horninách mezozoického ružbašského a spišsko-šarišského paleogénu (1,1 %), najvyššie v Liptovskej

Radon volume activity (RVA) of soil air was measured in 105 reference areas. According to the evaluation of these measurements it is possible to say that the Flysch Belt Paleogene has low risks, except for a part of the Čergov Member and near-reef facies in eastern Slovakia.

The Morava-Beskydy flysch, which is represented only by a small area in the territory of Slovakia, falls in the low radon risk category.

The crucial set of measurements (95 RA) within the Flysch Belt was taken in the Magura flysch. They indicate that the lowest radon risk can be expected in the so-called Zlín Member, where the mean value of measurements was 14 kBq.m⁻³ (81 % of measurements fell in the low radon risk category). Some higher RVA values were measured in the Beloveža Member of West Bystrica flysch.

In the Čergov-Beskydy flysch zone, medium radon risk corresponds to sandstones of the Krynica flysch (according to areal evaluation, 72 % of the area falls into medium radon risk category).

Measurements suggest that the Dukla-Buková flysch is similarly risky as the Magura flysch.

Groundwaters in the Flysch Belt of northwestern Slovakia have relatively stable values of uranium concentrations as well as radium and radon volume activities. Average values of uranium concentrations are typical of flysch facies (0.003 mg.l⁻¹). Increased number of samples with increased uranium contents was noted only in the Javorníky Mts. The values of radium volume activities are also low ($x = 0.033 - 0.039 \text{ Bq.l}^{-1}$, GM = 0.018–0.024 Bq.l⁻¹). The lowest values were determined in Javorníky Mts. (mostly below 0.03 Bq.l⁻¹). The values of radon volume activities are increased only locally.

Uranium concentrations in waters of the eastern Slovakia Flysch Belt (mostly 0.002–0.003 mg.l⁻¹) reflect the variation of lithological types of rocks. Radium volume activity (max. 0.305 Bq.l⁻¹) is slightly increased only in mineral waters. Similarly also radon concentrations (max. 47.96 Bq.l⁻¹) are increased only in waters with deeper circulation.

8.1.2. Inner Carpathian Paleogene

Inner Carpathian Paleogene (Fig. 18, Tab. 15) fills sedimentary depressions in the West Carpathians. It is possible to divide it into the Spiš-Šariš region, Poprad basin and Levočské vrchy, Orava Paleogene, Žilina basin, Liptov basin, Paleogene of the Strážovské vrchy and Paleogene of the Upper Hron valley. The largest thickness of the accumulated flysch deposits is in the Žilina – Orava zone, Levočské vrchy – Šarišská vrchovina which are from 2000 to 4000 m thick. The layers of the Inner Carpathian Paleogene are divided into basal (Borové) formation and into the Huty, Zuberec and Biely Potok formations of flysch character (GROSS et al., 1984).

The Borov formation consists of conglomerates, breccias, sandstones and sandy claystones. The remaining formations consist mainly of sandstones and claystones.

The Inner Carpathian Paleogene covers 9.5 % of the Slovak territory. Natural rock radioactivity of the Inner Carpathian Paleogene is relatively low. Similarly, the \dot{D} is 59.1 nGy.h⁻¹, while the Slovak average is 63.3 nGy.h⁻¹.



PRÍRODNÁ RÁDIOAKTIVITA HORNÍN VYBRANÝCH PALEOGÉNNÝCH LITOTYPOV		TAB. 15					NATURAL ROCK RADIOACTIVITY OF SOME PALEOGENE LITHOTYPES			
Č. No.	Názov horniny Name of rock	K %	eU ppm	eTh ppm	eU _t ur	\dot{D}_{rad} nGy.h ⁻¹	Th/U	U/K	Th/K	
Spišsko-šarišský paleogén / Spiš-Šariš Paleogene										
7	Vápnité ilovce / Calcareous claystones	1,92	3,4	10,2	13,8	69,7	3,0	1,8	5,3	
16	Pieskovce / Sandstones	1,47	2,9	8,3	11,1	56,4	2,9	2,0	5,7	
17	Vápnité ilovce, pieskovce / Calcareous claystones, sandstones	1,51	3,1	9,1	11,8	59,9	3,0	2,1	6,1	
18	Pieskovce, zlepenca / Sandstones, conglomerates	1,28	3,0	8,7	10,9	55,8	2,9	2,5	7,3	
25	Sliene, karb. piesk. / Marls, carb. sandstones	1,78	3,3	10,3	13,3	67,6	3,2	1,8	5,8	
39	Bridlice, zlepenca, pieskovce / Shales, conglomerates, sandstones	1,46	3,0	8,8	11,3	57,8	3,0	2,1	6,1	
Oravský paleogén / Orava Paleogene										
16	Pieskovce / Sandstones	1,34	2,8	7,6	10,2	52,5	2,7	2,2	5,8	
17	Vápnité ilovce, pieskovce / Calcareous claystones, sandstones	1,36	3,0	8,1	10,7	54,6	2,8	2,2	6,0	
25	Sliene, karb. piesk. / Marls, carb. sandstones	1,38	3,0	8,1	10,9	55,8	2,7	2,3	5,9	
26	Pestré slieňovce / Variegated marlstones	1,25	3,0	7,4	10,2	52,2	2,5	2,5	5,9	
39	Bridlice, zlepenca, pieskovce / Shales, conglomerates, sandstones	1,42	3,0	8,6	11,2	57,4	2,9	2,2	6,1	

kotline (1,7%). Urán má najnižšie hodnoty v časti Žilinskej kotliny, (2,6 ppm) a najvyššie v paleogéne Horehronského podolia (3,3 ppm eU). Tórium dosahuje najnižšie hodnoty v „ružbašskom“ ostrove (9,3 ppm eTh), najvyššie v šarišskom paleogéne (13,1 ppm eTh). Dávkový príkon z kozmického žiarenia je v rozmedzí 39–64 nGy.h⁻¹ s priemerom 47,6 nGy.h⁻¹. V oblasti vnútrokarpatského paleogénu sa realizovalo meranie OAR v pôde na 221 referenčných plochách. Tomuto celku prináleží nízky stupeň radónového rizika (62% jeho plochy je zaradených do kategórie nízkeho radónového rizika). Aj vo vnútrokarpatskom paleogéne, najmä v bielopotockom a zubereckom súvrství, sa však vyskytujú časti zaradené do kategórie stredného radónového rizika nielen v dôsledku vyššej priepustnosti, ale aj podľa výsledkov absolútnych hodnôt meraní radónu, najmä v oblasti Levočských vrchov. Vysoké radónové riziko sa priamym meraním OAR zistilo iba ojedinele, a to na jednej referenčnej ploche na južnom okraji Liptovského Mikuláša.

V horninách vnútrokarpatského paleogénu sa vyskytujú podzemné vody so zvýšenými koncentraciami rádia. V mnohých prameňoch, najmä v Hornádskej kotline, je koncentrácia Ra vyššia ako 0,1 Bq.l⁻¹. Zdroj rádia leží pravdepodobne v podložných triasových karbonátoch. Hypoalogeny radón sa vyskytuje vo vodách prameňov s hlbším obehom (20–30 Bq.l⁻¹). Priemerná koncentrácia uránu je od 0,002 mg.l⁻¹ (v hutianskom, prevažne ílovcovom súvrství) až po 0,004 mg.l⁻¹ (v bielopotockom, prevažne pieskovcovom súvrství).

8.2. Bradlové a pribradlové pásma

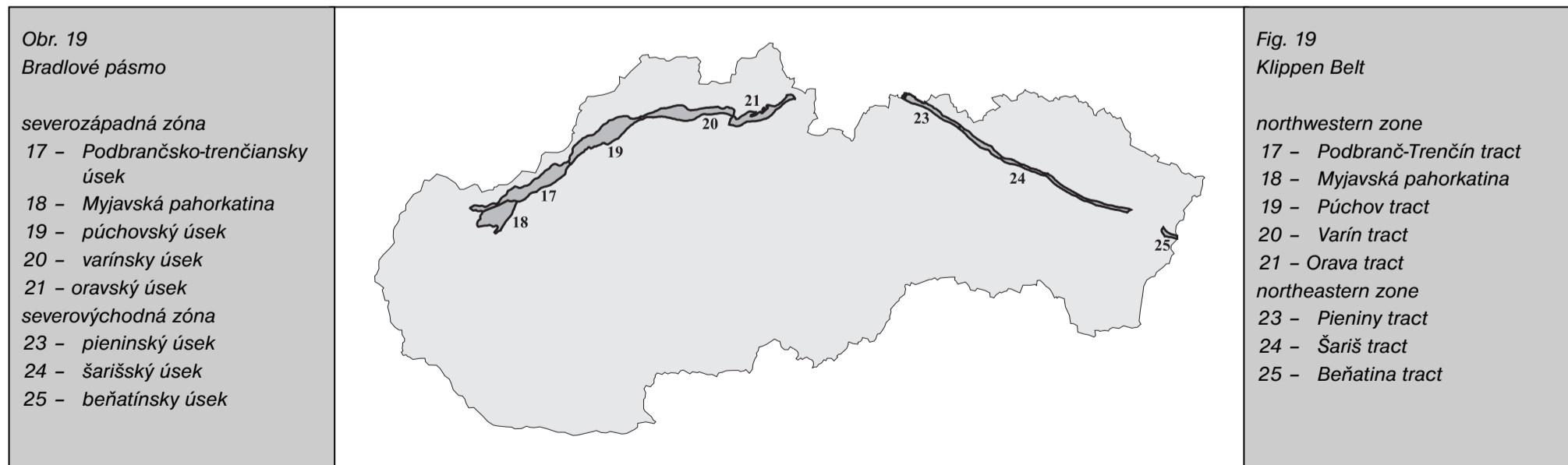
Bradlové pásmo (obr. 19, tab. 16) je tektonická jednotka vonkajších Karpát, ktorá na vnútornej strane lemujie flyšové pásmo. Skladá sa najmä zo slieňov, pieskovcov, zlepenecov, vápencov, rádiolaritov, pestrých pieskovcov a slieňovcov. Je úzke, zaberá len 2,6% plochy Slovenska.

The lowest average values of potassium are in Mesozoic rocks of Ružbachy Spiš-Šariš Paleogene (1.1%), the highest ones in the Liptov basin (1.7%). Uranium has the lowest values in a part of the Žilina basin (2.6 ppm) and the highest values in the Paleogene of the Horehronie valley (3.3 ppm eU). The lowest thorium values occur in „Ružbachy“ island (9.3 ppm eTh), the highest ones in the Šariš Paleogene (13.1 ppm eTh). The dose rate from cosmic radiation varies from 39 to 64 nGy.h⁻¹ averaging 47,6 nGy.h⁻¹. In the Inner Carpathian Paleogene area, RVA of soil was measured in 221 reference areas. This unit has low radon risk (62% of the area of this geological unit falls into low radon risk category). But there are also some parts of the Inner Carpathian Paleogene, mainly in the Biely Potok and Zuberec formations, that fall into the medium radon risk category not only as a result of higher permeability, but also as the result of absolute values of radon measurements, mainly in the region of Levočské vrchy. High radon risk was determined from direct measurements only occasionally in one reference area at the southern margin of Liptovský Mikuláš.

Ground waters with increased radium concentrations occur in the rocks of the Inner Carpathian Paleogene. In many springs, mainly in Hornád basin, the concentration of Ra is higher than 0.1 Bq.l⁻¹. The source of radium is probably in the underlying carbonates. Hypoallogene radon occurs in the spring waters with deeper circulation (from 20 to 30 Bq.l⁻¹). Average concentration of uranium varies from 0.002 mg.l⁻¹ (in Huty formation, mainly claystones) to 0.004 mg.l⁻¹ (in sandstone-dominated Biely Potok formation).

8.2. Klippen and Near-Klippen Belts

The Klippen Belt (Fig. 19, tab. 16) is a tectonic unit of the Outer Carpathians, which rims the inner side of the Carpathian Flysch Belt. It consist mainly of marls, sandstones, conglomerates, limestones, radiolarites and variegated



PRÍRODNÁ RÁDIOAKTIVITA HORNÍN VYBRANÝCH LITOTYPOV BRADLOVÉHO PÁSMA		TAB. 16				NATURAL ROCK RADIOACTIVITY OF SOME KLIPPEN BELT LITHOTYPES			
Č. No.	Názov horniny Name of rock	K %	eU ppm	eTh ppm	eU _t ur	Da nGy.h ⁻¹	Th/U	U/K	Th/K
Bradlové pásmo a príbradlová oblasť / Klippen and near-klippen belt									
25	Sliene, pieskovce, zlepenca / Marls, sandstones, conglomerates	1,6	3,0	8,9	11,7	59,5	3,1	2,0	6,7
26	Pestré slienovce / Variegated marlstones	1,6	2,9	9,2	11,8	60,0	3,3	1,8	6,5
33	Kremité a rohovcové vápence / Siliceous and cherty limestones	1,6	3,1	9,6	12,1	61,8	3,2	2,0	6,5

Dovedna sa tu uskutočnilo 267 gamaspektrometrických meraní. Z výsledkov vyplýva, že hodnoty všetkých zložiek sú nižšie ako priemerné hodnoty z celého Slovenska. Vyššie hodnoty boli namerané len v podbrančsko-trenčianskom úseku (najmä Th), čo ovplyvnili predovšetkým kvartérne spraše, pieskovce a bridlice flyšoidného súvrstvia, najmä na severovýchodnej strane. Celkový obsah draslíka sa pohybuje od 1,5 do 1,7 %, uránu od 2,9 do 3,3 ppm, tória od 8,7 do 10,2 ppm, celková rádioaktivita od 11,4 do 12,8 ur. Dávkový príkon je takisto nižší (59,6 nGy.h⁻¹) ako slovenský priemer. Pomer Th/U = 3,1, U/K = 2,0 a Th/K = 5,9. Priemerný dávkový príkon kozmického žiarenia je 44,4 nGy.h⁻¹.

Nízke hodnoty merania radónu (OAR) súvisia s nízkou rádioaktivitou hornín zúčastňujúcich sa na stavbe bradlového pásma. Preto sa meraniam radónu v pôdach tejto jednotky nevenovala zvýšená pozornosť. V jurských vápencoch, ktoré sú základným stavebným prvkom bradlového pásma sa meralo len na 19 referenčných plochách. Stredná hodnota OAR z týchto meraní bola 17 kBq.m⁻³, čo jednotku ako celok zaraďuje do kategórie nízkeho radónového rizika. Stredné radónové riziko prevažuje podľa plošného vyhodnotenia v oblasti šarišského, oravského a varínskeho úseku. Vysoké radónové riziko sa zistilo iba v oblasti Myjavskej pahorkatiny, a to približne na 1,2 % plochy.

8.3. Jadrové pohoria

Jadrové pohoria (obr. 20, tab. 17) zaberajú podstatnú časť centrálnych Karpát a 12 % z plochy Slovenska. Sú morfológicky a štruktúrne veľmi členité. Ich základom je kryštalické jadro, na ktorom ležia mladšie útvary. Na území Slovenska ide o 11 jadrových pohorí: Malé Karpaty, Považský Inovec, Tribeč, Strážovské vrchy, Žiar, Malá Fatra, Veľká Fatra, Ďumbiersky masív v Nízkych Tatrách so Starohorskými vrchmi, Tatry, masív Smrekovice na Branisku a Humenské vrchy.

sandstones, marlites. Because this is a narrow belt, it covers only 2,6% of the Slovak territory.

A total of 267 gammaspectrometric measurements were taken here. From the measurements it is possible to see that the values of all components here are lower than the Slovak average. Higher values (mainly Th) confined to the Podbranč-Trenčín section are caused mainly by Quaternary loesses, sandstones and shales of a flyschoid formation, mainly at the northeastern side. Total potassium content varies from 1.5 to 1.7 %, uranium from 2.9 to 3.3 ppm, thorium from 8.7 to 10.2 ppm. Total radioactivity varies from 11.4 to 12.8 ur. Dose rate here is also lower (59.6 nGy.h⁻¹) than the average dose rate in Slovakia. Th/U ratio is 3.1, U/K ratio is 2.0 and Th/K ratio is 5.9. The average value of cosmic radiation is 44.4 nGy.h⁻¹.

As regard radon measurements (RVA), the low values are connected with the low radioactivity of rocks making up the Klippen Belt. Therefore no special interest was devoted to radon measurements in soils of this unit. In Jurassic limestones, that are the basic structural unit of the Klippen Belt, only 19 reference areas were measured. Mean RVA value from these measurements was 17 kBq.m⁻³, and as a result this unit falls into the low radon risk category. According to areal evaluation, medium radon risk prevails in the Šariš, Orava and Varín sections. High radon risk was determined only in the region of Myjavská pahorkatina, approximately on 1.2% of the area.

8.3. Core Mountains

Core mountains (Fig. 20, Tab. 17) represent substantial part of Central Carpathians as they cover 12.4% of the area of Slovakia. They are morphologically and structurally very variegated. Core mountains consist of a crystalline core covered by younger formations. There are 11 core mountains at the territory of Slovakia, namely: Malé Karpaty, Považský Inovec, Tribeč, Strážovské vrchy, Žiar, Malá Fatra, Veľká Fatra, Ďumbier massif in



PRÍRODNÁ RÁDIOAKTIVITA HORNÍN VYBRANÝCH LITOTYPOV JADROVÝCH POHORÍ		TAB. 17				NATURAL ROCK RADIOACTIVITY OF SOME CORE MOUNTAINS LITHOTYPES			
Č. No.	Názov horniny Name of rock	K %	eU ppm	eTh ppm	eU _t ur	Ďa nGy.h ⁻¹	Th/U	U/K	Th/K
Jadrové pohoria / Core mountains									
17	Vápnitá ilovce, pieskovce / Calcareous claystones, sandstones	1,5	3,3	8,6	11,6	59,6	2,6	2,4	7,1
18	Pieskovce, zlepence / Sandstones, conglomerates	1,2	2,9	7,4	9,8	50,1	2,8	3,0	6,9
25	Vápnitá ilovce, pieskovce / Calcareous claystones, sandstones	1,4	3,2	8,6	11,3	57,6	2,8	2,5	6,8
28	Vápence a dolomity / Limestones and dolomites	1,5	3,4	8,1	11,6	59,1	2,7	2,8	7,6
29	Dolomity / Dolomites	1,3	3,5	7,8	11,1	56,9	2,4	3,3	7,7
32	Ílovité vápence, slieňovce / Clayey limestones, marlstones	1,4	3,3	8,0	11,2	57,2	2,7	2,9	7,5
33	Kremité a rohovcové vápence / Siliceous and cherty limestones	1,4	3,3	8,0	11,3	57,7	2,6	2,7	7,5
36	Pestré bridlice, pieskovce a dolomity / Variegated shales, sandstones and dolomites	1,7	3,7	8,9	12,7	65,0	2,5	3,1	7,6
37	Kremence, pieskovce, ílovité bridlice / Quartzites, sandstones, clayey shales	2,0	3,6	9,3	13,8	70,2	2,8	2,1	7,7
38	Pieskovce, vápnité bridlice, vápence / Sandstones, calcareous shales, limestones	1,7	3,3	8,9	12,4	62,9	2,8	2,4	7,1
39	Bridlice, pieskovce, zlepence / Shales, sandstones, conglomerates	2,2	3,6	10,5	15,1	76,4	3,0	1,7	7,3
40	Ílové vápence, piesčité vápence / Clayey limestones, sandy limestones	2,1	3,2	8,5	13,1	66,2	2,9	1,6	7,8
46	Metapsamity, fylity, svory / Metapsamites, phyllites, mica schists	2,0	3,1	9,4	13,1	66,5	3,0	1,6	7,1
47	Ruly až migmatity / Gneisses to migmatites	2,3	4,1	10,8	15,7	79,9	2,8	1,9	7,5
48	Amfibolity / Amphibolites	2,2	3,8	10,5	15,0	76,1	2,8	2,1	7,5
51	Tonality / Tonalites	1,9	3,1	9,3	12,9	65,2	3,2	1,8	7,1
52	Granodiority až granity / Granodiorites to granites	2,1	3,3	9,4	13,9	70,5	3,1	1,6	7,5
53	Granity / Granites	2,0	3,5	8,6	13,4	67,8	2,5	1,8	8,0

Jadrové pohoria ako celok majú priemerné hodnoty prírodnej rádioaktivity veľmi blízke priemerným hodnotám pre celé Slovensko (najmä hodnoty U, K, Ďa a celkovej rádioaktivity). Z plošného vyhodnotenia kategórií rizika to však neplatí. V jadrových pohoriach je vyššie percento plôch v kategórii stredného rizika (Slovensko – 46,8%, jadrové pohoria – 63,1%). Prírodná rádioaktivita jednotlivých jadrových pohorí sa hodnotí samostatne v ďalšom texte.

8.3.1. Malé Karpaty

Malé Karpaty sú okrajovým pohorím vnútorných Západných Karpát. Rozkladajú sa v ich juhozápadnej časti ako úzka hrásť pretiahnutá severovýchodno-juhozápadným smerom.

Kryštalikum Malých Karpát sa geologicky člení na oblasť bratislavského masívu, ktorý je rozsiahlejší a na oblasť severnejšieho modranského masívu. Medzi nimi leží zóna tzv. pezinsko-perneckého kryštalínika, ktorú tvoria amfibolické intruzíva a efuzíva s obsahom pyroklastík a s početnými polohami grafitických bridlic. Malé Karpaty sa členia na Pezinské Karpaty, Brezovské Karpaty a Čachtické Karpaty.

Prírodná rádioaktivita hornín tu vo všetkých zložkách dosahuje priemerné hodnoty Slovenska. V Brezovských Karpatoch boli namerané nižšie hodnoty draslíka (1,1%) a tória (8,1 ppm eTh). Tým je menší aj dávkový príkon (55,8 nGy.h⁻¹). Priemerná hodnota pomeru Th/U je 2,6, pomer U/K – 2,0 a pomer Th/K – 5,2. Priemerná hodnota dávkového príkonu je 63,6 nGy.h⁻¹ a kozmického žiarenia 39,0 nGy.h⁻¹.

Z plutonických hornín majú granodiority vyššie hodnoty všetkých rádioaktívnych prvkov a pomerov ako tonality. Najvýraznejšie sa to prejavuje v dávkovom príkone, ktorý pri tonalitoch dosahuje 55,3 nGy.h⁻¹ a pri granitoch 72,1 nGy.h⁻¹. Najvyššie obsahy draslíka (4,24%) majú arkózy až arkózové pieskovce, najvyššie hodnoty uránu šedé pieskovce a bridlice (6,8 ppm), tória pieskovce a bridlice (14,5 ppm eTh). Malé Karpaty sa zaraďujú do kategórie nízkeho až stredného radónového rizika, pritom stredné radónové riziko charakterizuje približne 63% plochy pohoria.

Nad granitoidmi Pezinských Malých Karpát a ich obalom sa zistilo nízke a stredné radónové riziko (55% plochy v strednom riziku), miestne aj vysoké (v okolí Rače), ktoré súvisí so zvýšeným výskytom pegmatitoidného, lokálne mylonitizovaného granitu (ČÍŽEK – SMOLÁROVÁ, 1992). Stredné radónové riziko s možným miestnym výskytom vysokého rizika sa viaže aj na

Nízke Tatry Mts. along with Starohorské vrchy, Tatry Mts., Smrekovica massif in Branisko Mts. and Humenské vrchy.

Core mountains as a whole have the average values of natural radioactivity very close to the Slovak average, mainly those of U, K, Ďa and total radioactivity. However, this does not apply to areal evaluation of risk categories. In core mountains there is a higher percentage of areas in the medium risk category (in Slovakia 46,8%, in core mountains 63,1%). Natural radioactivity in respective core mountains is evaluated separately below.

8.3.1. Malé Karpaty Mts.

Malé Karpaty is a marginal mountain range of the Inner Carpathians, located in their SW part. It forms a narrow NE-SW-trending horst.

The Malé Karpaty crystalline complex is geologically divided into Bratislava massif, which is more extensive, and into the Modra massif in the north. Between both massifs there is the so-called Pezinok-Pernek crystalline complex composed of amphibolite intrusives and effusives with pyroclastics and with numerous layers of graphitic schists. According to the regional division the Malé Karpaty is divided into Pezinské Karpaty, Brezovské Karpaty and Čachtické Karpaty Mts.

All components of natural rock radioactivity reach the Slovak average. The lowest values were measured in Brezovské Karpaty. This applies mainly to the values of potassium 1.1% and thorium 8.1 ppm eTh. Dose rate is also lower 55.8 nGy.hr⁻¹. The average value of the Th/U ratio is 2.6, of U/K ratio 2.0 and of Th/K ratio 5.2. Average values of the dose rate are 63.6 nGy.hr⁻¹ and of cosmic radiation 39.0 nGy.hr⁻¹.

As for plutonic rocks, granodiorites have the highest values of all radioactive elements as well as ratios, and so have tonalites. This is best indicated by their dose rate as the tonalites have values of 55.3 nGy.hr⁻¹ and granites 72.1 nGy.hr⁻¹. Among the other rocks the highest contents of potassium (4.24%) occur in arkoses to arkosic sandstones, the highest values of uranium in grey sandstones and shales (6.8 ppm) and of thorium in sandstones and shales (14.5 ppm eTh). As regards radon risk, the Malé Karpaty fall into the medium radon risk category. This category on average accounts for approximately 63% of the Malé Karpaty area.

Low and medium radon risks were detected over the granitoids of the Pezinské Malé Karpaty and their mantle (55% of the area has medium risk). Local high risk (vicinity of Rača) is connected to the increased occurrence of pegmatite-bearing, sometimes mylonitized granite (ČÍŽEK,

horniny permu v harmónskej skupine a v pezinsko-perneckom kryštaliniku, takisto na tzv. uránové dolomity v severnej a východnej časti Brezovských Karpát.

V juhozápadnej časti pohoria prevládajú horniny kryštalinika, čo sa prejavuje o. i. výskytom vôd so zvýšenou koncentráciou rádioaktívnych prvkov, najmä radónu. Sú to vody prevažne plytkého obehu viazané na zónu porušenia granitov a granodioritov, v ktorej sú dobré podmienky na vznik hypergénneho radónu vo vodách. Koncentrácie uránu sú mierne zvýšené, pomerne vysoké sú hodnoty objemovej aktivity rádia ($x = 0,080$, GM – $0,066 \text{ Bq.l}^{-1}$) aj radónu ($x = 41,37$, GM – $21,38 \text{ Bq.l}^{-1}$). Vodu z prameňa Zbojnická studňa pri Rači je možné klasifikovať ako slabo radónovú ($^{222}\text{Rn} = 269,48 \text{ Bq.l}^{-1}$).

Najviac rádioaktívnych anomálií sa zistilo v perme chočskej jednotky a v pezinsko-perneckom kryštaliniku.

8.3.2. Považský Inovec

Považský Inovec je jadrové pohorie typu megaantiklinálnej hráste. Na severe je ohraničený Trenčianskou kotlinou a Strážovskými vrchmi, zo západu, východu a juhu výbežkami Podunajskej panvy. Má mohutne vyvinuté kryštalické jadro a všetky tri mezozoické jednotky: obalovú, križňanskú a chočskú (MAHEL, 1967). Na geologickej stavbe sa zúčastňujú najmä svory a ruly, ktoré tvoria severnú až strednú časť pohoria. Popri nich sa vyskytujú migmatity, fylonity a amfibolity. V južnej časti Považského Inovca reprezentujú kryštalinikum granodiority vystupujúce spod mezozoického obalu. Na kryštaliniku severnej časti sa vyskytujú sedimenty karbónu a permu. Permské sedimenty boli predmetom intenzívneho uránového prieskumu i jeho ťažby. Predstavujú asi percento plochy Slovenska.

Považský Inovec patrí medzi jednotky s vyššou rádioaktivitou ako je priemerná celoslovenská hodnota, a to vo všetkých sledovaných zložkách ($K = 1,8\%$, $U = 3,7 \text{ ppm eU}$, $Th = 10,3 \text{ ppm eTh}$, $U_{\text{celk.}} = 13,7 \text{ ur}$ a $\dot{D}_a = 69,8 \text{ nGy.h}^{-1}$). Dávkový príkon kozmického žiarenia sa pohybuje od $39,1$ do $49,4 \text{ nGy.h}^{-1}$ s priemernou hodnotou $43,1 \text{ nGy.h}^{-1}$. Pomer $Th/U = 2,83$, pomer $Th/K = 6,12$ a pomer $U/K = 2,13$.

Horniny kryštalinika majú obsah uránu $3,8 \text{ ppm eU}$, tória $9,9 \text{ ppm eTh}$, draslíka $2,17\%$, eU_t dosahuje $14,4 \text{ ur}$, $\dot{D}_a = 73 \text{ nGy.h}^{-1}$, pomer $Th/U = 2,8$, pomer $U/K = 2,1$ a pomer $Th/K = 5,1$.

Podľa merania radónu v pôdach je $47,2\%$ plochy Považského Inovca v nízkom radónovom riziku, $52,7\%$ v strednom a $0,1\%$ vo vysokom riziku. Do kategórie s vysokým rizikom patria plochy tvorené permskými horninami. V kryštaliniku východnej časti pohoria sa nachádzajú vody so zvýšenými koncentraciami uránu a radónu napríklad pri Podhradí ($U_{\text{nat}} = 0,195 \text{ mg.l}^{-1}$, $^{226}\text{Ra} = 9,447 \text{ Bq.l}^{-1}$) a na Duchonke ($^{222}\text{Ra} = 315,70 \text{ Bq.l}^{-1}$).

Z prieskumnej štólne č. 60 na urán v Kálnici vyteká voda so zvýšenou koncentráciou radionuklidov. Koncentrácia uránu je $0,063 \text{ mg.l}^{-1}$, objemová aktivita rádia $0,464 \text{ Bq.l}^{-1}$, objemová aktivita radónu $61,11 \text{ Bq.l}^{-1}$.

SMOLÁROVÁ, 1992). Medium radon risk with possible occurrence of higher risk is also connected to the Permian rocks in the Harmónia Group and in Pezinok-Pernek crystalline complex, as well as to so called uranium dolomites in northern and eastern part of the Brezovské Karpaty.

In the south-western part of the mountain range, crystalline complex rocks prevail, which is reflected by the presence of waters with increased concentrations of radioactive elements, mainly radon. These are the waters mainly of shallow circulation, connected to the zone of deformation of granites and granodiorites, where the good conditions for the formation of hypergene radon in the waters are present. Uranium concentrations are slightly increased, values of radium volume activity are relatively high ($x = 0,080$, GM – $0,066 \text{ Bq.l}^{-1}$) and the values of volume activity of radon are high ($x = 41,37$, GM – $21,38 \text{ Bq.l}^{-1}$). The water from the spring „Zbojnická studňa“ near Rača has low radon risk ($^{222}\text{Rn} = 269,48 \text{ Bq.l}^{-1}$).

The most radioactive anomalies were determined in the Permian of the Choč unit and in the Pezinok-Pernek crystalline complex.

8.3.2. Považský Inovec

Považský Inovec is a core mountain range of megaanticlinal horst type. In the north it is surrounded by the Trenčín basin and Strážovské vrchy, in the west, east and in the south by projections of the Danube basin. It has a huge crystalline core and all three Mesozoic units: the envelope, Križna and Choč (MAHEL, 1967). Mica shists and gneisses also take part in the geological structure, forming the northern to middle part of the mountain range. Next to these rocks migmatites, phyllonites and amphibolites occur. In the southern part of the mountain range, the crystalline complex is represented by granodiorites, rising from beneath the Mesozoic envelope. On the crystalline complex Carboniferous and Permian sediments occur. Just the Permian sediments were extensively explored and also mined for uranium. Považský Inovec covers 1 % of the Slovak territory.

As far as radioactivity is concerned, the Považský Inovec belongs among the units with higher radioactivity than the average value for Slovakia in all measured components $K = 1,8\%$, $U = 3,7 \text{ ppm eU}$, $Th = 10,3 \text{ ppm eTh}$, $U_{\text{total}} = 13,7 \text{ ur}$ and $\dot{D}_a = 69,8 \text{ nGy.hr}^{-1}$. The dose rate of cosmic radiation varies from $39,1$ to $49,4 \text{ nGy.hr}^{-1}$ with the average value $43,1 \text{ nGy.hr}^{-1}$. Ratios: $Th/U = 2,83$, $Th/K = 6,12$ and $U/K = 2,13$.

Crystalline complex rocks have the following element contents: $U = 3,8 \text{ ppm eU}$, $Th = 9,9 \text{ ppm eTh}$, $K = 2,17\%$, $eU_t = 14,4 \text{ ur}$, $\dot{D}_a = 73 \text{ nGy.hr}^{-1}$ and Th/U ratio = $2,8$, $U/K = 2,1$, $Th/K = 5,1$.

Radon measurements in soils have revealed that $47,2\%$ of the Považský Inovec Mts. area is in the low radon risk category, $52,7\%$ in medium and $0,1\%$ in high risk one. The high risk category occurs in the areas underlain by Permian rocks. In the crystalline complex of the eastern part of the mountain range, waters with increased uranium and radon concentrations are present. These waters are for instance near Podhradie ($U_{\text{nat}} = 0,195 \text{ mg.l}^{-1}$, $^{226}\text{Ra} = 9,447 \text{ Bq.l}^{-1}$) and

PRÍRODNÁ RÁDIOAKTIVITA HORNÍN POVAŽSKÉHO INOVCA.	TAB. 18	NATURAL ROCK RADIOACTIVITY OF THE POVAŽSKÝ INOVEC	
Hornina Rock	K %	U ppm eU	Th ppm eTh
Drobové pieskovce až droby / Greywacke sandstones to greywackes	3,71	4,58	11,79
Arkózové pieskovce až arkózy / Arcosic sandstones to arcoses	3,48	5,90	11,55
Kremité hrubozrnné pieskovce / Siliceous coarse-grained sandstones	4,58	4,58	18,78
Jemné až strednozrnné pieskovce / Fine- to medium-grained sandstones	4,75	4,72	16,38
Zelené pieskovce a bridlice / Green sandstones and schists	4,01	6,83	16,90
Chloriticko-muskovitické svory / Chlorite-muscovite mica shists	2,91	3,50	18,70

8.3.3. Strážovské vrchy

Strážovské vrchy zaberajú pomerne malú časť územia Slovenska, a to $1,9\%$ z jeho plochy. Sú ohraničené Považským podolím, Súľovskými vrchmi, Žilinskou kotlinou, Malou Fatrou, Hornonitrianskou kotlinou a Považským Inovcom. Patria medzi jadrové pohoria s osobitnými tektonickými, ale i litologickými znakmi. Ich malé jadro leží asymetricky v masíve Malej Magury a Suchého. Budujú ho kryštalické bridlice, najmä ruly, migmatity a granitoidy. Podstatnú časť Strážovských vrchov tvorí križňanský a chočský príkrov, centrálnu časť križňanský (vápence, dolomity, slienité vápence, bridlice, kremence a pieskovce). Chočský príkrov je na ňom uložený

Duchonka ($^{222}\text{Ra} = 315,70 \text{ Bq.l}^{-1}$). Water with increased concentrations of radionuclides flows from the uranium exploration adit no. 60 in Kálnica. Its uranium concentration is $0,055$, and $0,063 \text{ mg.l}^{-1}$, the volume activity of radium is $0,345$ and $0,464 \text{ Bq.l}^{-1}$, the volume activity of radon is $61,11 \text{ Bq.l}^{-1}$.

8.3.3. Strážovské vrchy

The Strážovské vrchy Mts. cover a relatively small part of Slovakia, just $1,9\%$ of its area. They are surrounded by the Považie valley, Súľovské vrchy, Žilina basin, Malá Fatra Mts., Upper Nitra basin and Považský Inovec Mts. They belong to the core mountain ranges with special tectonic

PRÍRODNÁ RÁDIOAKTIVITA JEDNOTLIVÝCH LITOTYPOV STRÁŽOVSKÝCH VRCHOV		TAB. 19		NATURAL ROCK RADIOACTIVITY OF VARIOUS LITHOTYPES IN THE STRÁŽOVSKÉ VRCHY MTS.					
Litotyp č. Lithotype No.	Hornina Rock	K %	eU ppm	eTh ppm	U _t ur	Ďa nGy.h ⁻¹	Th/U	U/K	Th/K
25	Sliene, zlepenca, pieskovce / Marls, conglomerates, sandstones	1,71	3,1	9,3	12,4	62,9	3,0	1,9	5,5
28	Vápence a dolomity / Limestones and dolomites	1,51	3,1	8,0	11,2	57,2	2,7	3,3	6,6
29	Dolomity / Dolomites	1,04	3,1	6,6	9,2	47,6	2,3	3,3	6,6
33	Kremité a rohovcovité vápence / Siliceous and cherty limestones	1,39	3,4	8,0	11,2	57,6	2,4	2,7	5,9
36	Pestré bridlice, pieskovce / Variegated shales, sandstones	1,88	3,8	9,2	13,6	69,0	2,6	2,3	5,3
47	Ruly až migmatity / Gneisses to migmatites	2,01	4,1	9,8	13,9	70,7	2,3	2,0	4,4
51	Tonality / Tonalites	2,10	4,1	9,8	14,7	74,9	2,4	2,0	4,8
53	Granity / Granites	2,04	3,9	8,9	14,0	70,9	2,3	2,0	4,5

a skladá sa z vápencov a dolomitov. Miestami sú na ňom zvyšky vyššieho strážovského príkrovu zloženého zo svetlých vápencov a dolomitov.

Z hľadiska prírodnej rádioaktivity patrí územie medzi oblasti s priemernými hodnotami výskytu draslíka a uránu, len tórium má hodnoty o čosi nižšie (8,2 ppm eTh). Celková rádioaktivita dosahuje 11,7 ur. Stredná hodnota kozmického žiarenia je 45,7 nGy.h⁻¹ a dávkový príkon z hornín 59,9 nGy.h⁻¹. Pomer Th/U = 2,56, pomer U/K = 2,37 a pomer Th/K = 5,65.

Strážovské vrchy majú vyššie hodnoty radónového rizika, keď v kategórii s nízkym rizikom je 45,2%, so stredným 54,6% a s vysokým 0,2%.

Mierne zvýšené hodnoty koncentrácie uránu (od 0,004 do 0,008 mg.l⁻¹) sa vyskytujú vo vodách stredne až vrchnotriasových dolomitov chočského príkrovu v južnej časti Strážovských vrchov. Tieto vody sú mierne obohatené aj radónom, pravdepodobne z podložného kryštalinika. Vyššie koncentrácie dosahuje radón vo vodách kryštalinika budovaného pásikovanými migmatitmi až migmatitizovanými pararulami v oblasti Kanianky (maximálna hodnota objemovej aktivity radónu 173,36 Bq.l⁻¹).

8.3.4. Tríbeč

Pohorie Tríbeč je ohraničené Nitrianskou a Žitavskou pahorkatinou, Pohronským Inovcom, Vtáčnikom a Hornonitrianskou kotlinou. Na juhu vybieha ako horský klin do Podunajskej nížiny. Podľa geologickej stavby sa delí na tríbečsko-zoborský a rázdielsky masív.

Tríbečsko-zoborský masív tvoria granitoidy a obalová séria mezozoika. Na geologickej stavbe rázdielskeho masívu sa zúčastňujú kryštalické bridlice a obalové jednotky krížňanského a chočského príkrovu. Z hornín sú to najmä vápence, dolomity, pieskovce, arkózy a zlepenca.

Z hľadiska prírodnej rádioaktivity sa v pohorí Tríbeč ako celku namerali priemerné hodnoty jednotlivých sledovaných komponentov. Medzi obidvoma časťami sú iba malé rozdiely. Tríbečsko-zoborský masív má vyššie hodnoty draslíka (1,8%) a tória (11,1 ppm eTh), a teda aj eU_t a Ďa, rázdielska časť má o niečo vyššie hodnoty uránu (3,6 ppm eU).

V pohorí Tríbeč sa merania gamaspektrometrie uskutočnili na 253 plochách. Pri hodnotení možného výskytu rádioaktívnych surovín sa sledovali najmä horniny, ktorých rádioaktivita je uvedená v tabuľke 21.

V tejto súvislosti treba uviesť, že niektoré dolomity majú zvýšené hodnoty prírodnej rádioaktivity, čo obmedzuje ich využitie v stavebníctve.

Radónové riziko je vyššie v rázdielskej časti, kde je 70,2% plochy v kategórii stredného radónového rizika. Z celkovej plochy pohoria je 43,7% v kategórii nízkeho rizika a 56,3% v kategórii stredného rizika.

V zoborskej, juhozápadnej časti pohoria, kde prevládajú granitoidy nad mezozoickými komplexmi, vyskytujú sa vody s vyššími koncentraciami uránu a radónu (nad 0,004 mg.l⁻¹, resp. nad 30 Bq.l⁻¹). V rázdielskej, severovýchodnej časti, kde sú horniny kryštalinika (migmatity, pararuly) a mezozoika (obalového aj príkrovového) pomerne rovnako zastúpené, sa vody so zvýšenými hodnotami rádioaktivity nevyskytujú.

8.3.5. Malá Fatra

Typickým jadrovým pohorím s mohutným kryštalickým jadrom je Malá Fatra. Na severe je ohraničená Kysuckou vrchovinou, na východe Oravskou vrchovinou a Turčianskou kotlinou, na juhovýchode hraničí so Žiarom a na juhozápade so Strážovskými vrchmi. Ťahá sa v smere JZ-SV

as well as lithologic features. They have a small and asymmetrically situated core in the Malá Magura and Suchý massifs. It is built by crystalline schists, mainly gneisses, migmatites and granitoides. A substantial part of the Strážovské vrchy consists of the Krížna and Choč nappes. The central part is built by the Krížna nappe (limestones, dolomites, marly limestones, shales, quartzites and sandstones). The overlying Choč nappe consists of limestones and dolomites. On the Choč nappe there are locally remnants of the higher Strážov nappe composed of light-coloured limestones and dolomites.

As for the territory's natural radioactivity, K and U values are medium, only Th is slightly lower (8.2 ppm eTh) and thereby also the total radioactivity is lower (11.7 ur). The mean value of the cosmic radiation is 45.7 nGy.hr⁻¹ and the rock dose rate is 59.9 nGy.hr⁻¹. Th/U ratio = 2.56, U/K = 2.37 and Th/K = 5.65.

The Strážovské vrchy display higher values of radon risk as the low risk category accounts for 45.2% of their territory, medium for 54.6% and the high one for 0.2%.

From the point of view of radiohydrochemistry, slightly increased values of uranium concentrations (from 0.004 to 0.008 mg.l⁻¹) are present in waters from Middle to Upper Triassic dolomites of the Choč nappe in the southern part of the Strážovské vrchy. These waters are also slightly enriched in radon, probably from the underlying crystalline complex. Higher concentrations of radon are present in waters of the crystalline complex, which is built by banded migmatites to migmatitized paragneisses in the Kanianka area (the maximum value of radon volume activity is 173.36 Bq.l⁻¹).

8.3.4. Tríbeč Mts.

Tríbeč mountain range is surrounded by the Nitrianska and Žitavská pahorkatina hills, Pohronský Inovec Mts., Vtáčnik Mts. and Upper Nitra Basin. In the south it runs out into Danube Lowland like a mountain wedge. Geologically, it is divided into the Tríbeč-Zobor massif and Rázdiel massif.

The Tríbeč-Zobor massif is built by granitoids and Mesozoic envelope sequence. Crystalline schists and envelope units of the Krížna and Choč nappes take part in the structure of the Rázdiel massif. Limestones, dolomites, sandstones, arcoses and conglomerates are the main type of rocks.

As to natural radioactivity, the Tríbeč Mts. as a whole have average values of respective measured components: eU, eTh, K, eU_t and Ďa. Small differences are between the Tríbeč-Zobor and Rázdiel parts. The Tríbeč-Zobor massif has higher values of potassium (1.8%) and thorium (11.1 ppm eTh), and consequently also eU_t and Ďa, while the Rázdiel part has slightly higher values of uranium (3.6 ppm eU).

A total of 253 areas have been measured by the gamma spectrometry method. Evaluation of the areas from the point of view of possible occurrence of radioactive raw materials focused on rocks which are shown in table 21.

It is necessary to mention that some of the dolomites have increased values of natural radioactivity, which affects their possible use in building industry.

Radon risk is higher in the Rázdiel part, where 70.2% of the area is in the medium radon risk category. In the Tríbeč Mts. as a whole 43.7% of the area is in the low risk category and 56.3% in the medium risk one. In the southwestern – Zobor part of the mountain range, where the granitoids prevail over Mesozoic complexes, waters with higher concentrations of uranium and radon occur (over 0.004 mg.l⁻¹, and over 30 Bq.l⁻¹). In the

POMERY PRVKOV JEDNOTLIVÝCH OBLASTÍ TRÍBEČA	TAB. 20	ELEMENT RATIOS IN VARIOUS PARTS OF THE TRÍBEČ MTS.		
	Th/U	U/K	Th/K	
Tribečsko-zoborský masiv / Tribeč-Zobor massif	3,24	1,98	6,37	
Rázdielsky masiv / Rázdiel massif	2,68	2,79	6,76	

PRÍRODNÁ RÁDIOAKTIVITA HORNÍN TRÍBEČA	TAB. 21	NATURAL ROCK RADIOACTIVITY IN THE TRÍBEČ MTS.				
	K %	eU ppm	eTh ppm	Th/U	U/K	Th/K
Arkózové pieskovce / Arcosis sandstones	2,19	2,34	8,35	3,57	1,07	3,81
Jemné až strednozrné pieskovce / Fine- to medium-grained sandstones	2,27	3,00	12,35	4,12	1,32	3,25
Červené až šedé bridlice / Red to gray shales	2,88	4,39	15,26	3,48	1,52	5,30

PRÍRODNÁ RÁDIOAKTIVITA VYBRANÝCH LITOTYPOV TRÍBEČA		TAB. 22	NATURAL RADIOACTIVITY OF SELECTED LITHOTYPES IN THE TRÍBEČ MTS.							
Č. No.	Názov horniny Name of rock	K %	eU ppm	eTh ppm	eU _t ur	Đa nGy.h ⁻¹	Th/U	U/K	Th/K	
5	Ílovce, štrky, vápence / Claystones, gravels, limestones	1,56	3,5	11,2	13,4	68,1	3,2	2,3	7,2	
18	Pieskovce, zlepenice / Sandstones, conglomerates	1,18	3,3	7,7	10,4	53,2	2,4	3,2	6,6	
28	Vápence a dolomity / Limestones and dolomites	1,38	3,6	9,3	12,0	61,4	2,6	2,9	6,9	
51	Tonality / Tonalites	2,02	3,3	10,7	14,2	71,7	3,3	1,8	5,6	

a má mierne asymetrický tvar. Stredom pohoria sa prerezáva Váh. Na stavbe Malej Fatry sa uplatňuje kryštalikum, mladopaleozoické a mezozoické intenzívne zvrásnené komplexy obalu a príkrovov, lokálne aj centrálnokarpatský paleogén. Kryštalické jadro tvoria granitoidy a metamorfity. V obale sú zastúpené permské arkózy, spodotriasové kremence a kremité pieskovce s polohami lavicovitých vápencov, pestrých bridlic a lokálne kremencov. Súvrstvia krížňanského príkrovu tvoria najmä gutensteinske vápence a bridlice, chočský príkrov masívne dolomity prestúpené vápencami.

Z hľadiska prírodnej rádioaktivity má územie Malej Fatry nízke hodnoty všetkých sledovaných komponentov. Zrejme je to z celkovej rádioaktivity 10,6 ur a z dávkového príkonu (54,1 nGy.h⁻¹), čo patrí medzi najnižšie hodnoty namerané v jadrových pohoriach. Tieto nízke hodnoty spôsobuje najmä výskyt vápencov, slienitých vápencov a slieňov. O čosi vyššie hodnoty vykazujú triasové bridlice – karpatský keuper (K = 1,8%, eU = 2,5 ppm, Th = 8,5 ppm).

Priemerná hodnota \dot{D}_{cosmic} je 51,3 nGy.h⁻¹.

Z hľadiska radónového rizika patrí územie Malej Fatry v pomerne veľkom rozsahu do kategórie stredného rizika (70,2%), zvyšok do kategórie nízkeho rizika.

northeastern – Rázdiel part, where crystalline complex rocks (migmatites, paragneisses) and Mesozoic (envelope as well as nappe types) are present fairly equally, waters with increased radioactivity values are absent.

8.3.5. Malá Fatra Mts.

The Malá Fatra Mts. is a typical core mountain range with a huge crystalline core. In the north it is surrounded by Kysuce upland, in the east by Orava upland and Turiec basin, in the SE it borders the Žiar Mts. and in the SW the Strážovské vrchy Mts. It extends in the SW-SE direction and has a slightly asymmetric shape. The crystalline complex, Late Paleozoic and Mesozoic extensively folded complexes of the envelope and nappes and locally Central Carpathian Paleogene make up the Malá Fatra Mts. The crystalline core is built by granitoides and metamorphic rocks. The envelope consists of Permian arcoses, Early Triassic quartzites and siliceous sandstones with layers of bedded limestones, variegated shales and locally quartzites. The Krížna nappe formations consist mainly of Gutenstein limestones and shales. The Choč nappe is formed by massive dolomites interbedded by limestones. As regards natural radioactivity, the territory of the Malá Fatra Mts. has low values of all measured radioactivity components. It is obvious from the total radioactivity (10.6 ur) and from the dose rate (54.1 nGy.hr⁻¹), that

PRÍRODNÁ RÁDIOAKTIVITA VYBRANÝCH LITOTYPOV MALEJ FATRY		TAB. 23	NATURAL RADIOACTIVITY OF SELECTED LITHOTYPES IN THE MALÁ FATRA MTS.							
Č. No.	Názov horniny Name of rock	K %	eU ppm	eTh ppm	eU _t ur	Đa nGy.h ⁻¹	Th/U	U/K	Th/K	
17	Vápnité ílovce, pieskovce / Calcareous claystones, sandstones	1,32	3,1	7,6	10,4	53,4	2,5	2,5	5,9	
18	Pieskovce, zlepenice, brekcie / Sandstones, conglomerates, breccias	1,46	3,0	7,6	10,8	54,6	2,6	2,2	5,4	
32	Ílové vápence, piesčité vápence / Clayey limestones, sandy limestones	1,28	3,0	7,6	10,3	52,8	2,6	2,5	5,9	
51	Tonality / Tonalites	1,33	2,6	8,5	10,5	53,3	3,5	2,0	6,8	
52	Granodiority až granity / Granodiorites to granites	1,61	2,6	8,3	11,2	56,7	3,2	1,7	5,2	

V pohorí sa vyskytujú plochy budované horninami kryštalinika. Vo vodách kôry zvetrávania týchto hornín sa často vyskytujú zvýšené koncentrácie uránu a radónu. V Lúčanskej Malej Fatre sa takéto vody viažu na dvojsľudové a biotitické pararuly a v Krivánskej Malej Fatre na biotitické kremenné diority až granodiority. Vodu z prameňa pri Turčianskych Kľačanoch môžeme klasifikovať ako rádioaktívnu (koncentrácia uránu 0,035 mg.l⁻¹). Vo vodách dolomitov chočského príkrovu Lúčanskej Malej Fatry sú koncentrácie uránu slabšie zvýšené (nad 0,004 mg.l⁻¹).

rank among the lowest values in the core mountains. The low values are caused mainly by limestones, marly limestones and marls. Triassic shales – Carpathian Keuper have slightly high values (K = 1.8%, eU = 2.5 ppm, Th = 8.5 ppm).

Average value of \dot{D}_{cosmic} is 51.3 nGy.hr⁻¹.

As regards radon risk, a relatively high percentage of the Malá Fatra territory falls into the medium radon risk category (70.2%), the rest being in the low risk category.

Important areas, built by crystalline complex rocks, occur in this mountain range. In the waters from crystalline complex weathering crust we can

8.3.6. Veľká Fatra

Veľká Fatra je ohraničená Turčianskou kotlinou, Malou Fatrou, Oravskou vrchovinou, Chočskými vrchmi, Liptovskou kotlinou, Nízkymi Tatrami, Starohorskými a Kremnickými vrchmi. Kryštalické jadro vystupuje na povrch na pomerne malej ploche a pozostáva z granitoidných hornín rôzneho typu, z ktorých najrozšírenejší je biotitický granodiorit. Malú plochu tvoria kryštalické bridlice, prevažne pararuly. Veľkofatranskú obalovú sériu tvoria horniny spodného triasu až kriedy, najmä bridlice, vápence, dolomity, pieskovce a kremence. Zaberá plochu 1,6% územia Slovenska.

Veľká Fatra má hodnoty prírodnej rádioaktivity o čosi nižšie ($K = 1,6\%$, $eU = 3,2$ ppm, $eTh = 7,9$ ppm, $eU_t = 11,5$ ur a $\dot{D}a = 58,8$ nGy.h⁻¹).

Dávkový príkon z kozmického žiarenia sa pohybuje v rozsahu 44,0 až 61,4 nGy.h⁻¹ s priemerom 51,4 nGy.h⁻¹.

often find increased concentrations of uranium and radon. In the Lúčan-ská Malá Fatra Mts. these waters are connected to two-micas and biotite paragneisses and in the Krivánska Malá Fatra Mts. to biotite quartz diorites to granodiorites. The water from the spring near Turčianske Kľačany can be classified as radioactive (uranium concentration is 0.035 mg.l⁻¹). In waters from dolomites of the Choč nappe of the Lúčan-ská Malá Fatra Mts., slightly increased uranium concentrations are present (over 0.004 mg.l⁻¹).

8.3.6. Veľká Fatra Mts.

The Veľká Fatra Mts. is surrounded by the Turiec basin, Malá Fatra Mts., Oravská vrchovina upland, Chočské vrchy Mts., Liptov basin, Nízke Tatry Mts., Starohorské vrchy Mts. and Kremnické vrchy Mts. The crystalline

PRÍRODNÁ RÁDIOAKTIVITA LITOTYPOV VEĽKEJ FATRY		TAB. 24 NATURAL RADIOACTIVITY OF LITHOTYPES IN THE VEĽKÁ FATRA MTS.							
Č. No.	Názov horniny Name of rock	K %	eU ppm	eTh ppm	eU _t ur	$\dot{D}a$ nGy.h ⁻¹	Th/U	U/K	Th/K
17	Vápnité ilovce, pieskovce / Calcareous, conglomerates, limestones	1,82	3,4	7,6	13,5	68,7	3,0	2,0	5,8
28	Vápence a dolomity / Limestones and dolomites	1,44	3,0	7,0	10,5	53,6	2,5	3,8	6,5
32	Ílovité a piesčité vápence / Clayey and sandy limestones	1,47	3,4	8,0	11,4	58,2	2,8	3,0	6,2
51	Tonality / Tonalites	2,21	3,6	8,4	13,9	70,3	2,5	1,9	4,2
52	Granodiority až granity / Granodiorites to granites	2,27	3,5	9,1	14,3	72,0	3,1	1,6	4,4

Z hľadiska radónového rizika je 30,8% územia pohoria v kategórii nízkeho a 69,2% vysokého radónového rizika.

8.3.7. Chočské vrchy

Chočské vrchy sa rozkladajú medzi východným okrajom Malej Fatry a Západnými Tatrami na pravej strane Váhu. Geomorfologicky sa členia na Choč, Sielnické vrchy a Prosečné. Chočské vrchy sa skladajú prevažne z vápencov a dolomitov, ďalej sú tu zastúpené slieňce, pieskovce a bridlice. Na povrch vystupujú v križňanskej a chočskej jednotke. Celková hodnotená plocha predstavuje 0,4% z plochy územia Slovenska. Rozloženie prírodnej rádioaktivity v Chočských vrchoch je monotónne, relatívne zvýšenie vo východnej časti ide na vrub lunzských vrstiev.

Podľa meraní patrí 35,4% plochy Chočských vrchov do kategórie nízkeho, zvyšná časť do kategórie stredného radónového rizika.

core is exposed on the surface in a relatively small area and consist of granitoid rocks of different types, from whom biotite granodiorite is the most widespread. Crystalline schists, mainly paragneisses underlie a small area. The Veľká Fatra envelope series consists of Lower Triassic to Cretaceous rocks, mainly shales, limestones, dolomites, sandstones and quartzites. It covers 1,6% of the Slovak territory.

The Veľká Fatra Mts. have slightly lower values of natural radioactivity. The values are following: $K = 1.6\%$, $eU = 3.2$ ppm, $eTh = 7.9$ ppm, $eU_t = 11.5$ ur and $\dot{D}a = 58.8$ nGy.hr⁻¹.

The dose rate from the cosmic radiation ranges from 44.0 to 61.4 nGy.hr⁻¹ with the average 51.4 nGy.hr⁻¹. 30.8% of the territory is the low radon risk category and 69.2% in the high risk one.

8.3.7. Chočské vrchy Mts.

The Chočské vrchy extend between the eastern margin of the Malá Fatra

PRÍRODNÁ RÁDIOAKTIVITA LITOTYPOV CHOČSKÝCH VRCHOV		TAB. 25 NATURAL RADIOACTIVITY OF LITHOTYPES IN CHOČSKÉ VRCHY MTS.							
Č. No.	Názov horniny Name of rock	K %	eU ppm	eTh ppm	U _t ur	$\dot{D}a$ nGy.h ⁻¹	Th/U	U/K	Th/K
25	Vápnité ilovce, pieskovce / Sandstones, conglomerates, limestones	1,14	2,9	7,6	9,9	50,5	2,6	3,1	7,1
28	Vápence a dolomity / Limestones and dolomites	1,13	3,2	7,1	9,9	50,9	2,2	3,3	6,6
32	Ílovité vápence, piesčité a kremité pieskovce Clayey limestones, sandy and siliceous sandstones	1,44	3,1	8,5	11,3	57,9	2,7	2,5	6,1

8.3.8. Tatry

Tatry sú najvyšším pohorím na Slovensku. Členia sa na Západné, Vysoké a Belianske.

Západné Tatry predstavujú krajinný veľhorský podcelok ohraničený Podtatranskou kotlinou, Chočskými vrchmi, hranicou s Poľskom a Vysokými Tatrami. Majú kryštalické jadro (kryštalické bridlice, pararuly, ortoruly, migmatity, diority, granodiority a granity) a v jeho nadloží mezozoické sedimenty. Mezozoické komplexy majú veľmi pestré zloženie (pieskovce, slieňce, bridlice, kremence, vápence, dolomity).

Vysoké Tatry sú jednou z najvýznamnejších krajinných častí Slovenska. Na severe ich obmedzuje Podtatranská brázda, na severovýchode Belianske Tatry, na východe a na juhu Podtatranská kotlina a na západe Západné Tatry. Prevládajúcim členom kryštalinika sú granitoidy. Kryštalické bridlice sú len na malých plochách v nadloží granitoidného masívu. Mezozoické útvary sú zastúpené kremencami, vápencami a dolomitmi.

Belianske Tatry zaberajú východnú časť Tatier a na rozdiel od Vysokých Tatier sú utvorené z obalových a príkrovových sekvencií. Pozostávajú z vápencov, kremencov, dolomitov a pieskovcov.

Mts. and Západné Tatry Mts., on the right bank of the river Váh. Geomorphologically they are divided into Choč, Sielnické vrchy and Prosečné. The Chočské vrchy are composed mainly of limestones and dolomites, along with minor marls, sandstones and shales. They are exposed on the surface in the Križna and Choč units. Total evaluated area represents 0.4% of the Slovak territory. As to natural radioactivity, the Chočské vrchy are monotonous, the Lunz Member being responsible for a relative increase in the eastern part of the area.

RVA measurements indicate that 35.4% of the area displays low and 64.6% medium radon risk.

8.3.8. Tatry Mts.

The Tatry Mts. is the highest mountain range in Slovakia. Regionally, they are divided into the Západné Tatry, Vysoké Tatry and Belianske Tatry.

The Západné Tatry represent a landscape alpine subsystem surrounded by the Subtatic basin, Chočské vrchy, border with Poland and by the Vysoké Tatry. They are composed of a crystalline core (crystalline schists, paragneisses, orthogneisses, migmatites, diorites, granodiorites and granites) and overlying

PRIEMERNÉ HODNOTY PRVKOV GRANITOIDOV VYSOKÝCH TATIER	TAB. 26				AVERAGE ELEMENT VALUES OF GRANITOIDS IN THE VYSOKÉ TATRY MTS.		
	N	K %	U (ppm eU)	Th (ppm eTh)	U/K	Th/U	Th/K
Granitoidy Granitoids							
Biotitické granodiority / Biotite granodiorites	76	1,68	1,74	8,89	5,1	1,0	5,3
Autometamorfované granity / Autometamorphosed granites	26	2,13	1,84	6,34	3,1	0,9	3,0
Kataklasované granity / Cataclastic granites	9	2,80	3,03	11,79	3,9	1,1	4,2

Tatry ako celok zaberajú 1,2-percentnú plochu územia Slovenska, z toho Západné Tatry 0,6 %, Vysoké Tatry 0,4 % a Belianske Tatry 0,2 %.

Pri hodnotení prírodnej rádioaktivity Tatier sa zistilo o čosi vyšší obsah draslíka (1,9 %) a nižšie priemerné hodnoty tória ($eTh = 8,9$ ppm a $eU = 3,1$ ppm). Celková rádioaktivita a dávkový príkon ($64,7$ nGy.h⁻¹) len málo prevyšujú priemer. Hodnota kozmického žiarenia \dot{D}_a sa mení podľa nadmorskej výšky, jej priemer $64,2$ nGy.h⁻¹ vysoko prevyšuje priemer celého Slovenska.

Najvyššie hodnoty dávkového príkonu hornín majú Vysoké Tatry ($\dot{D}_a = 66,4$ nGy.h⁻¹), nasledujú Západné Tatry ($65,4$ nGy.h⁻¹) a najnižšie hodnoty majú Belianske Tatry ($58,7$ nGy.h⁻¹). Závisí to od horninového zloženia. Priemerná hodnota \dot{D}_a je $64,7$ nGy.h⁻¹.

Radónové riziko v celej oblasti Tatier je rozložené medzi nízke a stredné v pomere 1 : 3, pričom Vysoké Tatry majú stredné riziko až na 90,2 % plochy a Belianske Tatry len na 28,4 % plochy.

8.3.9. Ďumbierske Tatry

Ďumbierske Tatry sú ohraničené Starohorskými vrchmi, Liptovskou kotlinou, Veľkou Fatrou a Horehronským podolím. Geologickú a geotektonickú jednotku tvorí kryštalické jadro s križňanským a chočským príkrovom. V kryštalickom jadre sú kryštalické bridlice a granodiority. Z bridlic sú zastúpené migmatity, pararuly a diafortity. Granodioritové telesá tvoria rozsiahle telesá v masíve Prašivej, Chabenca, Chopku a Ďumbiera. Vyskytuje sa v nich granodiorit až kremitý diorit Ďumbierskeho typu a biotitická až dvojsludová žula. Obalové série sú zastúpené obalovou, križňanskou i chočskou jednotkou. Sú to najmä spodotriasové kremence, triasové vápence a dolomity. Charakteristickou zložkou stavby chočského príkrovu sú karbónske a permské sedimenty. Porovnanie prírodnej rádioaktivity Ďumbierskych Tatier s priemerom Slovenska upozorní na zvýšené priemerné hodnoty draslíka (2,0 %), vyššie hodnoty U (3,8 ppm eU) a priemerné hodnoty tória (9,3 ppm eTh). Preto je aj o čosi zvýšená celková rádioaktivita ($eU_t = 13,9$ ur) a dávkový príkon ($70,7$ nGy.h⁻¹). Dávkový príkon kozmického žiarenia je vplyvom nadmorskej výšky vyšší, a to od $44,9$ do $79,9$ nGy.h⁻¹, s priemerom $55,9$ nGy.h⁻¹.

Oblasti budované spodotriasovými kremencami Červenej Magury sú zaujímavé tým, že majú vyššie obsahy tória. Vápencovo-dolomitický komplex je charakteristický nižšími hodnotami tória.

Radónové riziko je v tejto oblasti prevažne stredné (73,9 % plochy územia), nízke (25,7 %) a vysoké (0,4 %).

Zvýšené koncentrácie uránu sa vyskytujú najmä vo vodách dolomitov chočského príkrovu (priemerná hodnota uránu $0,004$ mg.l⁻¹). Miernym zvýšením koncentrácií uránu sa vyznačujú aj vody kryštalínika, napríklad vody leukokratických granitov južne od Partizánskej Lupče a migmatitov v oblasti Jasenia a Dolnej Lehoty (max. $0,026$ mg.l⁻¹). Objemová aktivita rádia v podzemných vodách nevykazuje okrem výnimiek (napr. minerálne vody) zvýšenú koncentráciu. Na území Ďumbierskych Tatier sa vyskytujú vody so zvýšenými hodnotami objemovej aktivity radónu. Takéto vody môžeme rozdeliť do dvoch skupín: vody viazané na kôru zvetrávania leukokratických granitov a migmatitov kryštalínika v okolí Brusna, Pohronského Bukovca, Jasenia (s hodnotami nad 100 Bq.l⁻¹) a vody hlbokého obehu viazané na tektonické zlomy napríklad v okolí Partizánskej Lupče (vyznačujú sa aj zvýšenými objemovými aktivitami rádia).

8.3.10. Ostatné jadrové pohoria

Do tejto skupiny patria Starohorské vrchy, Branisko s Čiernou horou a Humenské vrchy.

Starohorské vrchy ohraničuje Veľká Fatra, Kremnické vrchy, Zvolenská kotlina a Nízke Tatry. Sú pokračovaním kryštalínika Ďumbierskeho typu. Vo východnej časti kryštalínikum (granodiority až granity) utvára ostrovy,

Mesozoic sediments. The Mesozoic complexes have very variable composition (sandstones, marlstones, shales, quartzites, limestones, dolomites).

The Vysoké Tatry Mts. belong among the most important landscape part of Slovakia. They are surrounded by the Subtatric trough, Belianske Tatry Mts. in the NE, Subtatric basin in the east and in the south and the Západné Tatry in the west. Granitoides are the prevailing rock of the crystalline complex. Crystalline schists are present only in small areas above the granodiorite massif. Mesozoic formations are composed of quartzites, limestones and dolomites.

The Belianske Tatry occupy the eastern part of the Tatry and unlike the Vysoké Tatry they are formed by envelope and nappe sequences. They are composed of limestones, quartzites, dolomites and sandstones.

The Tatry as a whole occupy 1.2 % of the Slovak territory, of which the Západné Tatry account for 0.6 %, Vysoké Tatry 0.4 % and Belianske Tatry for 0.2 %. An evaluation of natural radioactivity attests to slightly higher average values of potassium contents (1.9 %) and lower average values of thorium $eTh = 8.9$ ppm and $eU = 3.1$ ppm.

Total radioactivity is slightly higher than the average and so is the dose rate ($64,7$ nGy.hr⁻¹). Cosmic radiation value \dot{D}_a varies according to the sea level with the average highly exceeding the average of Slovakia 64.2 nGy.hr⁻¹.

Concerning the various parts of the Tatry Mts., the Vysoké Tatry have the highest values of rock dose rate $\dot{D}_a = 66.4$ nGy.hr⁻¹, Západné Tatry lower (65.4 nGy.hr⁻¹) and Belianske Tatry have the lowest values (58.7 nGy.hr⁻¹). The dose rates are controlled by the rock composition. The average value of \dot{D}_a is 64.7 nGy.hr⁻¹.

The low-to-medium radon risk ratio for the whole region of Tatry Mts. is 1 : 3, while the Vysoké Tatry have as much as 90.2 % of the area in the medium risk category and Belianske Tatry only 28.4 %.

8.3.9. Ďumbierske Tatry Mts.

The Ďumbierske Tatry Mts. are surrounded by the Starohorské vrchy Mts., Liptov basin, Veľká Fatra Mts. and Upper Hron valley. The crystalline core with the Križna and Choč nappes form this geological and tectonic unit. The crystalline core consists of crystalline schists and granodiorites. Schists include migmatites, paragneisses and diaphorites. Granodiorites form large bodies in the Prašivá, Chabenec, Chopok and Ďumbier Massifs. They are represented by Ďumbier-type granodiorites to quartz diorites and by biotite and two-micas granites. The cover series comprise the envelope, Križna and Choč units. These are mainly Lower Triassic quartzites, Triassic limestones and dolomites. Carboniferous and Permian sediments are typical members of the Choč nappe.

As regards natural radioactivity, compared with the average of Slovakia, the Ďumbierske Tatry have increased values of potassium (2.0 %), higher values of uranium (3.8 ppm eU) and average values of thorium (9.3 ppm eTh). Therefore the values of total radioactivity $eU_t = 13.9$ ur and the dose rate 70.7 nGy.hr⁻¹ are slightly increased. Considering the sea level the dose rate of the cosmic radiation is higher, ranging from 44.9 to 79.9 nGy.hr⁻¹ and averaging 55.9 nGy.hr⁻¹.

As regards rocks, areas underlain by the Lower Triassic Červená Magura quartzites are interesting because of their higher thorium content. The limestone-dolomitic complex is characterized by lower values of thorium. Radon risk in this region is largely medium (73.9 % of the area), less frequently low (25.7 %), and high (0.4 %).

Increased uranium concentrations occur mainly in waters of Choč nappe dolomites (average value of uranium is 0.004 mg.l⁻¹). Moderately increased uranium concentrations are present also in the crystalline complex, e. g. in waters from leucocratic granites south of Partizánska Lupča and in waters from migmatites in the Jasenie and Dolná Lehota regions (max. 0.026 mg.l⁻¹). Radium volume activity is increased only rarely (e. g. mineral waters). In this region, waters with increased values of radon volume activity are present.

PRÍRODNÁ RÁDIOAKTIVITA LITOTYPOV ĎUMBIERSKÝCH TATIER		TAB. 27				NATURAL RADIOACTIVITY OF LITHOTYPES IN THE ĎUMBIERSKE TATRY MTS.			
Č. No.	Názov horniny Name of rock	K %	eU ppm	eTh ppm	eU _i ur	Ďa nGy.h ⁻¹	Th/U	U/K	Th/K
17	Vápnité ílovce, pieskovce / Calcareous, claystones, sandstones	1,6	3,6	9,0	12,5	63,8	2,6	2,5	5,8
18	Pieskovce, zlepenec, brekcie / Sandstones, conglomerates, breccias	1,1	2,4	6,9	9,0	45,8	3,6	2,5	6,4
28	Vápence, dolomity / Limestones, dolomites	1,6	3,5	7,6	11,7	59,9	2,8	3,0	5,4
29	Dolomity / Dolomites	1,7	4,0	8,7	12,9	66,0	2,5	3,2	5,8
32	Ílovité vápence, slieňovce / Clayey limestones, marlstones	1,5	3,7	7,8	11,7	59,9	2,9	3,7	5,8
33	Piesčité, škvrnité, hluznaté kremité vápence Sandy, spotted, nodular, siliceous limestones	1,1	4,8	6,2	11,0	57,9	1,7	5,8	6,2
37	Kremence, pieskovce, ílovité bridlice Quartzites, sandstones, shales	2,1	3,8	9,5	14,4	73,1	2,7	2,2	4,9
47	Ruly až migmatity / Gneisses to migmatites	2,5	4,4	11,9	17,2	87,4	2,8	1,8	5,0
51	Tonality / Tonalites	2,4	3,5	10,0	15,0	75,6	3,1	1,5	4,3
52	Granodiority až granity / Granodiorites to granites	2,3	3,7	10,4	15,4	77,9	3,3	1,6	4,6

na ktorých sú nasunuté mezozoické komplexy. V západnej časti sa vyskytujú dvojsľudové pararuly a migmatity, pričom nadložnú zložku tvoria permské arkózy s polohami konglomerátov, bridlice a pieskovce. Z ďalších hornín sa tu uplatňujú triasové kremence, bridlice, vápence a dolomity.

Branisko a Čierna hora tvoria najvýchodnejšie jadrové pohorie Slovenska. Branisko s Čiernou horou je ohraničené Levočskými vrchmi, Hornádkou kotlinou, Šarišskou vrchovinou a Volovskými vrchmi. Má dve kryštalické jadrá, a to v masíve Smrekovice a masíve Slubice, tvorené pararulami, granitmi a granodioritmi (masív Smrekovice) a svormi, fylonitmi s prechodom do biotitických a dvojsľudových pararúl (masív Slubice). Čierna hora má kryštalikum z pararúl, svorov, fylonitov a migmatitov, miestami aj žúl. Na horninách kryštalika ležia fylity, zlepenec, pieskovce, brekcie a karbónske a permské bridlice.

Humenské vrchy predstavujú zložitú antiklinóriu budovanú strednokriedovými komplexmi krížanského príkrovu (tmavé a svetlé vápence, dolomity, bridlice a kremence).

Najvyššie hodnoty prírodnej rádioaktivity majú Starohorské vrchy, najnižšie Branisko a Čierna hora. V Starohorských vrchoch sa vyskytujú najvyššie priemerné hodnoty uránu a tória zo všetkých jadrových pohorí (4,3 ppm eU, 10,3 ppm eTh). To určuje pomerne vysoké hodnoty $U_i = 15,8$ ur a $\dot{D}a = 80,2$ nGy.h⁻¹. Priemerné hodnoty dávkového príkonu kozmického žiarenia sú najvyššie pre Branisko (50,5 nGy.h⁻¹), pre Starohorské vrchy je to 49,1 nGy.h⁻¹ a pre Humenské vrchy 40,0 nGy.h⁻¹.

Z hľadiska radónového rizika má najvyššie zastúpenie plôch so stredným rizikom Branisko (72,6%). Starohorské vrchy, hoci majú menšiu plochu stredného rizika (57,3%), majú i vysoké riziko (0,5%) viazané na permské horniny. Najnižšie zastúpenie územia so stredným rizikom (33,1%) majú Humenské vrchy.

8.4. Veporské pásmo

Je to jedna z hlavných geologických jednotiek vnútorných Západných Karpát a leží medzi tatrikom a gemerikom (obr. 21). Zaberá 7,4% plochy Slovenska. Člení sa na tieto jednotky:

1. Lubietovská, ktorú tvoria najmä horniny kryštalika – pararuly, migmatity, amfibolity a granitoidy. Ďalšou stavebnou jednotkou je mlado-paleozoický obal tvorený zväčša súvrstvím terigénneho permu a paleoryolitmi, ale aj obalovým mezozoikom – bridlicami a zlepenkami.
2. Krakľovská zóna s prevahou parabridlic nad granitoidmi. Na jej stavbe sa zúčastňujú aj fylonity, fylity s zložkami paleoryolitov a menšie telesá granitov. Obal tvoria arkózy a bridlice permu a mezozoikum Veľkého Boku.
3. Kráľovoľská zóna zložená z granitoidov, kryštalických bridlic, najmä pararúl, ojedinele z migmatitov a amfibolitov. Z granitoidov sa tu vyskytuje granodiorit až granit veporského typu a granodiorit až kremenný diorit sihlanskeho typu. Obal tvoria sedimenty permu a struženická séria.
4. Kohútka zóna. Je to najjužnejšia časť veporika, obmedzená zo severozápadu muránskym zlomom a z juhovýchodu lubenícko-margecianskou líniou. Skladá sa z pararúl, migmatitov, svorov (ojedinele s polohami amfibolitov a karbonátov), ďalej fylitov, karbónskych zlepenecov, pieskovcov a fylitov, permských arkóz, zlepenecov a kremencov.

These increases can be divided into two groups: waters connected to the weathering crust of leucocratic granites and migmatites of the crystalline complex in the surroundings of Brusno, Pohronský Bukovec, Jasenie (with values over 100 Bq.l⁻¹), and deep circulation waters connected to tectonic faults, e. g. in the surrounding of Partizánska Lupča (increased volume activities of radium are also typical).

8.3.10. The Other Core Mountains

This group comprises the Starohorské vrchy, Branisko with Čierna Hora and Humenské vrchy.

The Starohorské vrchy are surrounded by the Veľká Fatra Mts., Kremnické vrchy Mts., Zvolen basin and Nízke Tatry Mts. They are a continuation of a Ďumbier-type crystalline complex. In the eastern part the crystalline basement (granodiorites to granites) forms islands on which Mesozoic complexes were overthrust. In the western part there are two micas paragneisses and migmatites overlain by Permian arcoses with layers of conglomerates, shales and sandstones. Other rocks include Triassic quartzites, shales, limestones and dolomites.

The Branisko and Čierna hora Mts. are the easternmost Slovak core mountains. The Branisko with Čierna Hora is surrounded by the Levočské vrchy Mts., Hornád basin, Šarišská vrchovina Upland and Volovské vrchy Mts. The Branisko Mts. has two crystalline cores – one in the Smrekovica and the other in the Slubica massif composed of paragneisses, granites and granodiorites (Smrekovica massif) and of mica shists, phyllonites passing to biotite and two-micas paragneisses (Slubica massif). The Čierna Hora Mts. crystalline complex consist of paragneisses, mica shists, phyllonites and migmatites, locally with granites. Crystalline complex rocks are overlain by phyllites, conglomerates, sandstones, breccias and Carboniferous and Permian schists.

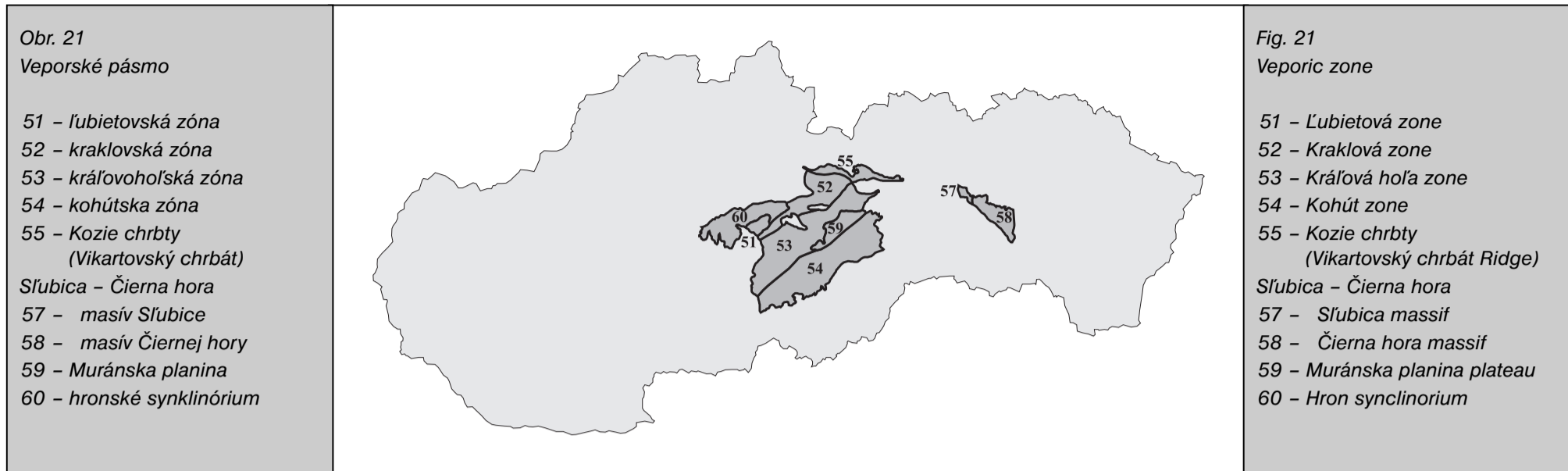
The Humenské vrchy form a complicated anticlinorium, composed of Middle Cretaceous complexes of the Krížna nappe (black and light-coloured limestones, dolomites, shales and quartzites).

From the point of view of natural radioactivity, the Starohorské vrchy have the highest values and the Branisko and Čierna Hora Mts. have the lowest values. The Starohorské vrchy have the highest average values of uranium among all core mountains (4.3 ppm eU), but also of thorium 10.3 ppm eTh like in the Považský Inovec Mts., giving relatively high values of $U_i = 15.8$ ur and $\dot{D}a = 80.2$ nGy.hr⁻¹. Average values of dose rate of cosmic radiation are the highest in the Branisko 50.5 nGy.hr⁻¹, followed by the Starohorské vrchy with 49.1 nGy.hr⁻¹ and Humenské vrchy 40.0 nGy.hr⁻¹.

As regards radon risk, the medium category is most widespread in the Branisko (72,6%). The Starohorské vrchy, although having smaller area of middlerisk (57,3%), have also the high risk category (0,5%) connected to Permian rocks. Humenské vrchy have the smallest medium risk area (33,1%).

8.4. Veporic Zone

It is one of the main geological units of the Inner Carpathians lying between the Tatricum and Veporicum (Fig. 21). The Veporic zone covers 7.4% of the Slovak territory. It is divided into the following units:



5. Kozie chrbty. Ich stavebnou jednotkou sú najmä karbónske a permské sedimenty, melafýry, dolomity a vápence chočského príkrovu. Najmä permské sekvencie hornín sú charakteristické zvýšeným výskytom rádioaktívnych prvkov.

6. Muránska planina, úzky pás medzi kráľovohoľskou a kohútskou zónou. Predstavuje tektonickú trosku budovanú karbonátmi mezozoika, spočívajúcu na obale tvorenom permskými arkózami, mezozoickými kremíťmi pieskovecami a karbonátmi.

Zo západu je veporské pásmo ohraničené stredoslovenskými neovulkanitmi, na severozápade Ďumbierskymi Tatrami, na severe vnútrokarpatským paleogénom Liptovskej, Popradskej a Hornádskej kotliny, na východe Spiško-gemerským rudohorím a na juhu Juhoslovenskou panvou.

1. Ľubietová, composed mainly of crystalline complex rocks, namely paragneisses, migmatites, amphibolites and granitoides. The next structure unit is the Late Paleozoic cover, formed mainly by a terrigenous Permian formation and paleorhyolites as well as by Mesozoic cover, mainly by shales and conglomerates.

2. Krakľov zone where paragneisses prevail over granitoides. Phyllonites, phyllites with paleorhyolite intercalations and smaller granite bodies are also present. The cover composed of Permian arcoses and shales and the Mesozoic of the Veľký Bok group.

3. Kráľova Hoľa zone consists of granitoides, crystalline schists, mainly paragneisses, sporadic migmatites and amphibolites. Granitoids are represented by Veporic-type granodiorite to granite and Sihla-type granodiorite to quartz diorite. The cover is formed by Permian sediments and by the Struženík series.

PRÍRODNÁ RÁDIOAKTIVITA HORNÍN VYBRANÝCH LITOTYPOV VEPORSKÉHO PÁSMO		TAB. 28		NATURAL RADIOACTIVITY OF SELECTED LITHOTYPES OF THE VEPORIC BELT						
Č. No.	Názov horniny Name of rock	K %	eU ppm	eTh ppm	eU _t ur	Da nGy.h ⁻¹	Th/U	U/K	Th/K	
Kraľovská zóna / Krakľová zone										
27	Vápence / Limestones	1,39	2,7	7,0	10,0	51,1	2,9	2,3	5,7	
28	Vápence a dolomity / Limestones and dolomites	1,72	4,0	9,0	13,2	67,4	2,6	3,0	5,7	
29	Dolomity / Dolomites	1,48	3,7	8,4	12,0	61,5	2,4	3,3	6,4	
32	Ľovité vápence, slieňovce / Clayey limestones, marlstones	1,97	2,7	9,1	12,6	63,6	3,5	1,4	4,8	
37	Kremence, pieskovce, ílovité bridlice / Quartzites, sandstones, shales	2,00	3,4	9,9	13,8	70,1	3,0	2,1	5,3	
38	Pieskovce, vápnité bridlice / Sandstones, calcareous shales	1,57	2,9	7,4	10,9	55,4	2,9	2,4	5,3	
39	Bridlice, pieskovce, zlepenca / Shales, sandstones, conglomerates	1,65	3,0	8,8	11,9	60,6	3,3	1,9	5,5	
40	Intermediárne a mafické vulkanity / Intermediate and mafic volcanics	1,64	2,6	8,1	11,2	56,4	3,1	1,6	5,4	
46	Metapsamity, fylity, svory / Metapsammites, phyllites, mica schists	2,19	2,7	9,5	13,5	67,4	4,0	1,2	4,4	
47	Ruly až migmatity / Gneisses to migmatites	2,00	3,1	9,9	13,6	68,5	3,5	1,6	5,1	
51	Tonality / Tonalites	2,13	2,8	9,7	13,5	67,9	3,7	1,3	4,5	
Kráľovohoľská zóna / Kráľova hoľa zone										
28	Vápence a dolomity / Limestones and dolomites	1,34	3,2	6,1	9,9	50,7	3,5	3,4	5,3	
32	Ľovité vápence, slieňovce / Clayey limestones, marlstones	1,31	2,8	7,3	10,1	51,4	4,1	2,6	6,1	
39	Bridlice, pieskovce, zlepenca / Shales, sandstones, conglomerates	1,49	3,5	8,1	11,7	59,5	3,1	2,5	5,8	
40	Intermediárne a mafické vulkanity / Intermediate and mafic volcanics	1,31	2,8	7,7	10,2	52,0	3,4	2,8	5,8	
47	Ruly až migmatity / Gneisses to migmatites	2,04	3,1	9,7	13,6	68,6	3,8	1,6	4,9	
51	Tonality / Tonalites	1,77	2,7	10,2	12,6	63,7	4,0	1,5	5,8	
52	Granodiority až granity / Granodiorites to granites	2,02	3,2	9,9	13,6	69,1	3,3	1,6	5,0	
Kohútska zóna / Kohút zone										
39	Bridlice, pieskovce, zlepenca / Shales, sandstones, conglomerates	1,77	3,3	10,0	13,2	67,0	3,1	2,1	6,2	
46	Metapsamity, fylity, svory / Metapsammites, phyllites, mica schists	1,74	3,3	9,5	12,8	65,0	3,0	2,0	5,7	
51	Tonality / Tonalites	1,95	3,1	11,7	14,3	72,4	3,9	1,7	6,2	
52	Granodiority až granity / Granodiorites to granites	2,40	3,4	12,1	16,0	80,6	3,8	1,4	5,3	
53	Leukokrátne granity / Leucocratic granites	1,72	3,2	9,3	12,5	63,5	3,0	1,9	5,5	

PRÍRODNÁ RÁDIOAKTIVITA GRANITOIDOV VEPORSKÉHO PÁSMO (MATOLÍN, 1976)	TAB. 29	NATURAL RADIOACTIVITY OF GRANITOIDS IN THE VEPORIC BELT (MATOLÍN, 1976)			
	K %	eU ppm	eTh ppm	eU _i ppm	Th/K
Typ Sihla / Sihla type	1,8	1,7	10,2	7,2	6,6
Veporský typ / Vepor type	3,0	2,0	12,9	9,8	7,1
Typ Hrončok / Hrončok type	3,3	2,7	14,0	11,3	5,4
Pásmo Kohúta / Kohút zone	2,9	3,2	15,4	11,8	5,0

Z hľadiska prírodnej rádioaktivity má veporské pásmo (tab. 28) len málo vyššie hodnoty prírodnej rádioaktivity ako je celoslovenský priemer. V jednotlivých komponentoch sa vyskytujú mierne zvýšené hodnoty draslíka (1,8%), uránu (3,4 ppm eU) a o čosi nižšie hodnoty tória (9,2 ppm eTh). Dávkový príkon \dot{D} je 64,8 nGy.h⁻¹, dávkový príkon kozmického žiarenia sa pohybuje v rozmedzí 40–70 nGy.h⁻¹ s priemerom 49,2 nGy.h⁻¹. Z hľadiska výskytu uránového zrudnenia majú najväčší význam permské horniny Kozích chrbtov. Uránové zrudnenie sa vyskytuje v súvrství šedých až zelenošedých arkózových pieskovcov so zuhoľnatenou flórou.

Asi 73% územia veporského pásma je zaradených do kategórie stredného radónového rizika. Jednotlivé jednotky sú tu zastúpené takto: kráľovohorská (90% v strednom riziku), kohútska (75% v strednom a vysokom riziku) a krakľovská (70% v strednom radónovom riziku). Aj väčšina územia ľubietovskej zóny spadá do kategórie stredného radónového rizika, hoci ide o podstatne menšiu rozlohu. Najmenej rizikovou oblasťou veporského pásma je Muránska planina, ktorú tvoria prevažne karbonáty s nízkymi koncentraciami rádioaktívnych prvkov. V oblasti hronského synklinória sa okrem 57% územia zaradeného do kategórie stredného radónového rizika vyskytuje aj územie s vysokým rizikom.

Zvýšené koncentrácie uránu sa vyskytujú najmä vo vodách permských sedimentov Kozích chrbtov (priemerná hodnota uránu 0,004 mg.l⁻¹). V permských sedimentoch sa takéto zvýšenia viažu na výskyt uránových minerálov v pieskovcoch. V prameni južne od obce Východná v doline Chmelienc, kde sa vykonával uránový prieskum, sa zistila koncentrácia uránu 0,027 mg.l⁻¹, podobne v prameňoch v oblasti Vikartoviec, Kravian a Primoviec. V týchto vodách sú aj zvýšené hodnoty objemovej aktivity radónu.

Priemerné hodnoty objemovej aktivity radónu vo vodách kryštalinika Veporských a Stolických vrchov patria medzi najvyššie na území Slovenska ($x = 57,47$, resp. 56,82 Bq.l⁻¹, GM = 29,94, resp. 30,11 Bq.l⁻¹). Až 40% vôd má vyššie hodnoty ako 50 Bq.l⁻¹. Sú to vody plytkého obehu kôry zvetrávania hornín kryštalinika kráľovohorskej a kohútskej zóny, najmä biotitických granodioritov až kremitých dioritov a svetlých granitov. Ich najväčší výskyt je v oblasti medzi Detvianskou Hutou, Sihlou a Klenovcom a severovýchodne od Revúcej v oblasti Kohúta a Stolice. V týchto vodách sú často aj zvýšené koncentrácie uránu (nad 0,004 mg.l⁻¹) a ojedinele aj rádia (nad 0,1 Bq.l⁻¹).

8.5. Gemerské pásmo

Do gemerského pásma patria Volovské vrchy, Slovenský raj, Galmus, Slovenský kras a časť Revúckej vrchoviny (obr. 22).

Volovské vrchy tvoria predovšetkým dve vulkanogénno-sedimentárne skupiny – gelnická a rakovecká. Gelnická skupina predstavuje podstatnú časť Volovských vrchov a sú v nej zastúpené najmä bridlice s zložkami lyditov, ďalej porfyroidy, fylity, kremence a pieskovce. Rakovecká skupina leží na severe a severovýchode pohoria a vyskytujú sa v nej najmä fylity, diabázy, tufy a tufity, vápence a kremence. Do staropaleozoických komplexov intrudovali gemerické granity. Z hľadiska výskytu uránového zrudnenia, a tým aj vyšších hodnôt prírodnej rádioaktivity má význam severogemerický perm s polohami sadrovca a anhydritu, ktorý sa tiahne v prerošovanom pásme od Stratenej až po Myslavu.

V Slovenskom raji sú zastúpené najmä triasové tmavošedé gutensteinské a svetlé wetersteinské vápence a dolomity, ale aj zlepenice, pieskovce, bridlice a slienité vápence s polohami sadrovca a anhydritu.

Slovenský kras utvárajú krasové planiny. Staršie útvary (paleozoikum) tu vystupujú v podobe menších ostrovov zložených z fylitov, lyditov, vápencov, kremencov a permských hornín (zlepenecov, pieskovcov a bridlic).

4. Kohút zone. It is the southernmost part of the Veporicum, confined by Muráň fault in the NW and by Lubeník-Margecany line in the SE. It consist of paragneisses, migmatites, mica-shists, sporadic amphibolite and carbonate layers, minor phyllites, Carboniferous conglomerates, sandstones and phyllites, Permian arcoses, conglomerates and quartzites.
5. Kozie chrbty Mts. Carboniferous and Permian sediments, melaphyres, dolomites and limestones of the Choč nappe are their main structural constituent. From the point of view of natural radioactivity, the Permian sequences are the most important with typically increased occurrence of radioactive elements.
6. Muránska planina Plateau, forming a narrow belt between the Kráľova Hoľa and Kohút zones. It represents a tectonic outlier of Mesozoic carbonates overlying the cover composed of Permian arcoses, Mesozoic quartz sandstones and carbonates.

In the west, the Veporic belt is surrounded by the Central Slovakia neovolcanics, in the NW by Ďumbierske Tatry Mts., in the north by Inner Carpathian Paleogene of Liptov, Poprad and Hornád basins, in the east by Spišsko-Gemerské rudohorie Mts. and in the south by South Slovakia basin.

From the point of view of natural radioactivity, the Veporic belt (Tab. 28) has only a slightly higher values of natural radioactivity than the Slovak average. Concerning various elements it has a slightly increased values of potassium (1.8%), uranium (3.4 ppm eU) and slightly lower values of thorium (9.2 ppm eTh). The dose rate \dot{D} is 64,8 nGy.hr⁻¹. The dose rate of cosmic radiation ranges from 40 to 70 nGy.hr⁻¹ with the average 49.2 nGy.hr⁻¹. As regards the occurrence of uranium ore mineralisation the most significant are Permian rocks of the Kozie Chrbty Mts. Uranium ore mineralisation is present in the formation of grey and greenish-grey arcose sandstones with carbonized flora.

About 73% of the Vepor zone falls into the medium radon risk category. The percentages of risk categories in respective Veporic units are as follows: Kráľova hoľa (90% in medium risk category), Kohút (75% in medium and high categories) and Krakľov (75% in medium radon risk category). The medium radon risk category dominates also the Lubietová zone, but covers a much smaller percentage of area here. The lowest-risk area in the Vepor zone is the Muráň Plateau underlain largely by carbonates with low concentrations of radioactive elements. In the Hron synclinorium, 57% of the area is assigned into the medium radon risk category and some area even into the high risk one.

Increased uranium concentrations occur chiefly in waters of Permian sediments in the Kozie chrbty Ridge (U contents average 0.004 mg.l⁻¹). Such uranium highs in Permian sediments are associated with the occurrences of uranium minerals in sandstones. Uranium exploration revealed 0.027 mg.l⁻¹ U in a spring in Chmielenc Valley south of the village Východná and similar U contents in springs in the Vikartovce, Kravany and Primovce areas. These waters also display increased radon volume activities. Average values of radon volume activity in waters of the Veporské vrchy and Stolické vrchy crystalline units rank among the highest in Slovakia ($x = 57.47$ and 56.82 Bq.l⁻¹, GM = 29.94 and 30.11 Bq.l⁻¹, respectively). As much as 40% of waters display more than 50 Bq.l⁻¹. These are waters of shallow circulation in the weathering crust of the Kráľova hoľa and Kohút crystalline units dominated by biotite granodiorites to quartz diorites and light-coloured granites. Their major occurrences lie in an area between Detviaska Huta, Sihla and Klenovec, and northeast of Revúca near Kohút and Stolice. These waters are often enriched in uranium (over 0.004 mg.l⁻¹) and rarely also in radium (over 0.1 Bq.l⁻¹).

8.5. Gemeric zone

The Gemic zone includes the Volovské vrchy, Slovak Paradise, Galmus, Slovak Karst and partly also Revúcka vrchovina (Fig. 22).

The Volovské vrchy are underlain largely by two volcanogenic-sedimentary groups, namely the Gelnica and Rakovec Groups. Composed mainly of shales



RÁDIOAKTIVITA JEDNOTLIVÝCH LITOTYPOV GEMERSKÉHO PÁSMA		TAB. 30		RADIOACTIVITY OF INDIVIDUAL LITHOTYPES OF THE GEMERIC ZONE						
Č. No.	Názov horniny Name of rock	K %	eU ppm	eTh ppm	eU ₁ ur	Ďa nGy . h ⁻¹	Th/U	U/K	Th/K	
Volovské vrchy										
28	Vápence / Limestones	1,56	2,9	8,0	11,2	56,8	2,7	2,0	5,1	
39	Bridlice, pieskovce, zlepenca / Shales, sandstones, conglomerates	1,53	2,6	7,3	10,5	52,9	2,8	1,7	4,8	
41	Zlepenca, pieskovce, bridlice / Conglomerates, sandstones, shales	1,63	2,9	8,4	11,6	58,7	2,8	1,9	5,2	
42	Metapieskovce a fylity / Metasandstones and phyllites	1,67	2,9	9,0	12,0	60,8	3,1	1,9	5,5	
43	Mafické vulkanity / Mafic volcanics	1,63	2,8	8,6	11,5	58,3	3,1	1,8	5,4	
44	Kyslé vulkanity, karbonáty, lydity / Acid volcanics, carbonates, lydites	1,95	3,4	10,4	13,9	70,6	3,1	1,8	5,4	
45	Kyslé vulkanity / Acid volcanics	1,94	3,2	10,1	13,5	68,6	3,2	1,7	5,3	
54	Granity gemerika / Gemic granites	1,99	3,6	9,2	13,7	69,8	2,6	1,9	4,8	
Slovenský raj, Galmus / Slovak Paradise, Galmus										
2	Íly, piesky, štrky / Clays, sands, gravels	1,41	3,5	11,1	12,9	66,1	3,2	2,6	8,0	
17	Vápnité ilovce, pieskovce / Calcareous claystones, sandstones	1,24	2,9	8,4	10,5	53,5	2,9	2,8	7,8	
18	Pieskovce, zlepenca / Sandstones, conglomerates	1,34	2,9	8,4	10,8	55,3	3,0	2,4	6,8	
28	Vápence a dolomity / Limestones and dolomites	1,18	2,7	8,2	10,0	51,2	2,7	2,4	7,3	
37	Kremence, pieskovce / Quartzites, sandstones	1,13	2,7	6,7	9,2	47,0	2,8	2,5	6,3	
38	Pieskovce, vápnité bridlice / Sandstones, calcareous shales	1,79	3,2	9,5	12,8	65,2	3,0	2,0	5,8	
39	Bridlice, pieskovce, zlepenca / Shales, sandstones, conglomerates	1,67	2,9	8,7	11,8	59,7	3,4	1,8	5,4	
40	Intermediárne a mafické vulkanity / Intermediate and mafic volcanics	1,88	3,3	10,1	13,5	68,5	4,9	1,7	5,5	
41	Zlepenca, pieskovce, bridlice, vulkanity Conglomerates, sandstones, shales, volcanics	2,07	3,4	10,3	14,2	72,2	3,0	1,8	5,2	
42	Metapieskovce a fylity / Metasandstones and phyllites	1,97	3,3	10,6	14,0	71,1	3,2	1,8	5,5	

RÁDIOAKTIVITA GEMERICKÝCH GRANITOV		TAB. 31		RADIOACTIVITY OF GEMERIC GRANITES			
		K (%)	eU	eTh	Th/U	U/K	Th/K
	Hnilecké / Hnileč	2,76	7,17	8,98	1,25	2,60	3,25
	Popročské / Poproč	3,75	3,60	14,82	4,23	0,96	4,06
	Betliarske / Betliar	3,26	3,44	12,82	3,72	1,05	3,93

Prírodná rádioaktivita územia (tab. 30) gemerského pásma je veľmi rozmanitá v závislosti od horninovej stavby. Ako celok sa prejavuje priemernými hodnotami K = 1,7 %, U = 3,0 ppm eU, Th = 9,1 ppm eTh.

Hodnoty, zistené pri starších meraniach URANPRES-u v jednotlivých druhoch gemerického granitu, sú uvedené v tabuľke 31.

MATOLÍN (1976) uvádza pre gemerické granity hodnoty zachytené v tabuľke 32.

Pre severogemerické permské horniny platia hodnoty: K = 3,9 %, eU = 4,0 ppm, eTh = 18,4 eTh. Pre juhogemerické permské horniny: zlepenca K = 4,95 %, eU = 3,34 ppm, eTh = 24,79 ppm; pieskovce K = 4,6 %, eU = 3,64 ppm, eTh = 22,30 ppm.

intercalated with lydites, porphyroids, phyllites, quartzites and sandstones, the former dominates the Volovské vrchy. The latter lies in the north and northeast of the mountain range and consists largely of phyllites, limestones and quartzites. The Early Paleozoic complexes were intruded by the Gemic granites. Uranium occurrences and associated increased natural radioactivity are found in the North-Gemic Permian with gypsum and anhydrite layers which forms a discontinuous belt stretching between Stratená and Myslava.

The Slovak Paradise is underlain mostly by the Triassic dark-gray Gutenstein Limestones and light-coloured Wetterstein Limestones and Dolomites. Conglomerates, sandstones, shales, marly limestones with gypsum and anhydrite layers occur as well.

RÁDIOAKTIVITA GEMERICKÝCH GRANITOV (MATOLÍN, 1976)	TAB. 32	RADIOACTIVITY OF GEMERIC GRANITES (MATOLÍN, 1976)		
	K %	eU ppm	eTh ppm	Th/U
Poproč	3,7	5,8	12,2	3,3
Hummel	3,9	3,5	12,6	3,7
Smolník	2,7	1,4	8,8	6,3
Betliar	3,2	2,0	15,6	7,8
Hnilec, Delava	2,9	5,9	9,9	1,8
Zlatá Idka	4,4	9,6	14,5	1,5
Hnilec	4,0	11,3	14,7	1,5

Pestrá tektonická stavba gemerského pásma sa prejavuje aj v rozdelení územia do jednotlivých kategórií radónového rizika. Toto rozdelenie sa robilo podľa výsledkov priamych meraní, ale aj na základe starších spektrometrických údajov. S výnimkou oblasti s nízkym radónovým rizikom nad regionálne rozšírenými karbonátmi Slovenského krasu, Slovenského raja a Galmusu sa prevažná časť tohto pásma prognózne zaraďuje do strednej kategórie radónového rizika. Vysoký stupeň sa viaže na širšie okolie výskytu uránových a uranonosných minerálov v permských sedimentoch (Bučina, Stratená, Novoveská Huta, Košice), na hnilecké granity, na U-Th-anomálie vo fylitoch pri Hnilčíku, na niektoré dynamometamorfované porfyroidy pri Prakovciach a Gelnici a na južný okraj gelnickej série v úseku medzi Úhornou, Popročom a Rudníkom. Zhrnutie dosiaľ známych výsledkov ukázalo, že oblasť Volovských vrchov patrí v celoslovenskom rámci medzi územia s najvyšším radónovým rizikom. Podrobnejší prieskum by podiel vysokého rizika nepochybne ešte zvýšil.

Priemerné hodnoty koncentrácie uránu vo vodách paleozoika Volovských vrchov sa výrazne neodlišujú od priemerných hodnôt v podzemných vodách. V niektorých oblastiach (pri Švedlári, Nálepkove, Henclovej a Smolníku) ide o hodnoty 0,004–0,008 mg.l⁻¹. Tieto rozptýlené anomálne koncentrácie sa viažu na drobné výskytu uránových alebo uranonosných minerálov.

Územie budované paleozoickými horninami sa vyznačuje veľkým rozptylom hodnôt objemovej aktivity radónu v podzemných vodách (5 až 500 Bq.l⁻¹).

Zvýšené hodnoty sú vo vodách plytkého obehu, ktoré sú viazané na silúrske metaryolitové tufy gelnickej skupiny (vo vodách pri Henclovej, Starej Vode, Smolnickej pile, Prakovciach) a na gemerické granity (pri Poproči a Rudníku). Hodnoty sú v mnohých prípadoch vyššie ako 200 Bq.l⁻¹, takže tieto vody je možné zaradiť do kategórie slabo radónových vôd. Maximálna hodnota bola nameraná vo vode z prameňa pri Dobšinej (518,86 Bq.l⁻¹).

Koncentrácie jednotlivých rádionuklidov vo vzorkách sú veľmi premenlivé. V severnej časti Volovských vrchov leží ložisko Novoveská Huta, kde sa ťažili uránové rudy. Z viacerých výtokov banskej vody sa však len vo vode zo štôlne č. 2 nachádzajú zvýšené koncentrácie. Priemerné hodnoty monitoringu – U_{nat} (0,185 mg.l⁻¹), ²²⁶Ra (0,185 Bq.l⁻¹) a ²²²Rn (205,00 Bq.l⁻¹). Mierne zvýšenia objemovej aktivity radónu vykazujú vody na Pelci pri Dobšinej a na Jahodnej, kde sa zistil výskyt uránovej mineralizácie.

Podzemné vody v mezozoických komplexoch Slovenského raja, Slovenského krasu a Galmusu majú zvýšené hodnoty objemovej aktivity rádia. Sú to prevažne vody viazané na spodnotriasové bridlice s polohami evaporitov. Koncentrácie uránu sú v nich nízke. Lokálne zvýšenie objemovej aktivity radónu spôsobuje jeho hypoalogeny pôvod z paleozoického podložia.

8.6. Zemplínske vrchy

Na geologickej stavbe Zemplínskych vrchov (obr. 20) sa zúčastňujú horniny mladšieho paleozoika tvoreného pieskovecami, bridlicami, zlepenkami, grafitickými ílovcami s výskytom antracitových uhoľných slojov (Veľká Trňa), arkózovými pieskovecami, arkózami a bridlicami, vápencami a dolomitmi.

Zemplínske vrchy predstavujú necelé 0,2% plochy Slovenska.

Priemerné hodnoty draslíka a uránu sú tu blízke celoslovenskému priemeru. Hodnoty tória sú o čosi vyššie (10,7 ppm eTh). Z toho vyplývajú aj vyššie hodnoty celkovej rádioaktivity a dávkového príkonu ($\dot{D}_a = 65,9 \text{ nGy.h}^{-1}$). Z plošného hodnotenia dávkového príkonu kozmického žiarenia vzhľadom k nadmorskej výške sú hodnoty nižšie s priemerom 39,9 nGy.h⁻¹. URANPRES uvádza pre hyperstenické andezity (neogén) tieto hodnoty:

The Slovak Karst forms karst plateaus. Early units (Paleozoic) are exposed in small inliers composed of phyllites, lydites and limestones, quartzites and Permian rocks (conglomerates, sandstones and shales).

Highly variable natural radioactivity in the territory of the Gemeric zone is controlled by the underlying rocks. It is reflected by the following average values: K = 1.7%, U = 3.0 ppm eU, Th = 9.1 ppm eTh.

Earlier URANPRES investigations yielded radioactivity characteristics of different kinds of the Gemeric granite given in Tab. 31.

MATOLÍN (1976) gives the values for the Gemeric granites in Tab. 32.

The values for the North-Gemic Permian rocks are as follows: K = 3.9%, eU = 4.0 ppm, eTh = 18.4 eTh. Following values are for the South-Gemic shown Permian rocks: conglomerates: K = 4.95%, eU = 3.34 ppm, eTh = 24.79 ppm; sandstones: K = 4.6%, eU = 3.64 ppm, eTh = 22.30 ppm. Variegated tectonic structure of the Gemeric zone is reflected also in the division of its territory into individual radon-risk categories. This division is based on direct measurements as well as on earlier spectrometric measurements. Except for the low-risk area underlain by regionally-widespread carbonates of the Slovak Karst, Slovak Paradise and Galmus, the Gemeric zone is dominated by the medium radon risk category. The high-risk one occupies wider vicinity of the occurrences of uranium and uranium-bearing minerals in Permian sediments (Bučina, Stratená, Novoveská Huta, Košice), Hnilec granite, U-Th anomalies in phyllites near Hnilčík, some dynamometamorphosed porphyroids near Prakovce and Gelnica, and on the Gelnica Group southern edge between Úhorná, Poproč and Rudník. A summary of data available so far reveals that the Volovské vrchy rank among the highest radon risk areas in Slovakia, and a detailed survey would increase the extent of high-risk areas here still further.

Average uranium concentrations in waters of the Volovské vrchy Paleozoic are not considerably different from those in groundwaters. In some areas (near Švedlár, Nálepkovo, Henclová and Smolník), the values range from 0.004 to 0.008 mg.l⁻¹. These scattered anomalies are bound to minor occurrences of uranium or uranium-bearing minerals.

The area underlain by Paleozoic rocks is characterized by highly variable radon volume activity values in groundwaters (from 5 to 500 Bq.l⁻¹).

Increased values occur in shallow-circulation waters bound to Silurian metarhyolite tuffs of the Gelnica Group (in waters near Henclová, Stará Voda, Smolnickej pile, Prakovce) and to the Gemeric granites (near Poproč and Rudník). These values often exceed 200 Bq.l⁻¹ and therefore the waters fall into the category of mild radon waters. The maximum value has been measured in water from a spring near Dobšiná (518.86 Bq.l⁻¹).

The concentrations of individual radionuclides in samples are very variable. The abandoned uranium deposit Novoveská Huta lies in the northern sector of the Volovské vrchy. Out of several mine-water discharges, only that from adit No. 2 displays increased concentrations. Its average monitored values are: U_{nat} 0.185 mg.l⁻¹, ²²⁶Ra 0.185 Bq.l⁻¹ and ²²²Rn 205.00 Bq.l⁻¹. Slightly increased radon volume activities have been noted in waters in the vicinity of uranium occurrences at Pelc near Dobšiná and at Jahodná.

Groundwaters in Mesozoic complexes of the Slovak Paradise, Slovak Karst and Galmus display increased values of radium volume activity. These waters are largely bound to Lower Triassic shales interlayered with evaporites. Uranium concentrations are low. Radon volume activity is locally increased by emanations of hypallogenic radon from the Paleozoic substratum.

8.6. Zemplínske vrchy Mts.

The Zemplínske vrchy (Fig. 20) are underlain by Late Paleozoic sandstones, shales, conglomerates, graphitic claystones with anthracite beds (Veľká Trňa), arkosic sandstones, arkoses and shales, limestones and dolomites.

$K = 1,98\%$, $U = 2,82$ ppm eU, $Th = 13,28$ ppm eTh a pomery $Th/U = 4,71$, $U/K = 1,42$, $Th/K = 6,71$.

Celkové radónové riziko je pomerne vysoké, v jednotlivých kategóriách je územie Zemplínskych vrchov zastúpené takto: nízke riziko 8,7%, stredné 88,5% a vysoké 2,8%. Vysoké a stredné riziko zapríčiňuje zvýšená rádioaktivita hornín, ale aj ich dobrá plynopriepustnosť.

8.7. Vnútrohorské panvy a kotliny

Veľké množstvo kotlin Západoých Karpát (obr. 23), formovaných od spodného miocénu až do pliocénu, sa delí na vnútrohorské panvy a vnútorné kotliny. Medzi hlavné horniny zúčastňujúce sa na stavbe panví patrí široká škála sedimentárnych hornín – piesky, pieskovce, štrky, zlepenec, vápnené íly, ílovce a sliene. Časté sú i kyslé tufy, tufity, uhoľné íly, uhoľné sloje, soľonosné vrstvy, polohy andezitov a ryolitov. Najstaršími horninami vnútorných kotlin sú karbonatické pieskovce až zlepenec a vápnené íly. Ďalej sa tu vyskytujú štrky až zlepenec, sladkovodné vápence, andezitové a ryolitové tufy a tufity. Miestami sa v produktoch záverečnej sedimentácie nachádzajú aj tenké vložky uhlia.

Vnútrohorské panvy a kotliny zaberajú pomerne veľkú časť plochy Slovenska – 38,3%.

Obidve tieto skupiny ako celky majú rovnaký obsah draslíka (tab. 33) ako je celoslovenský priemer ($K = 1,6\%$) a o čosi vyšší obsah eU (3,5 ppm) a eTh (10,2 ppm).

Priemerná hodnota dávkového príkonu hornín je $65,8$ nGy.h⁻¹ a $\dot{D}a_{\text{cosmic}}$, keďže ide o nevelké nadmorské výšky, iba $39,9$ nGy.h⁻¹.

Jednotlivé panvy a kotliny sa rádioaktivitou od seba líšia len veľmi málo, a to vo všetkých jej zložkách. Podľa dávkového príkonu majú najvyššiu prírodnú rádioaktivitu horniny Bánovskej kotliny ($\dot{D}a = 73,1$ nGy.h⁻¹) a Hornonitrianska kotlina ($72,3$ nGy.h⁻¹). Najnižšiu rádioaktivitu má Viedenská panva ($50,3$ nGy.h⁻¹).

Pre litotypy v panvách sú hodnoty uvedené v tabuľke 33.

The Zemplínske vrchy occupy less than 0.2% of the Slovak territory.

Average potassium and uranium values are similar to the Slovak average. But thorium ones are somewhat higher, $Th = 10,7$ ppm eTh resulting in higher values of total radioactivity and dose rate $\dot{D}a = 65,9$ nGy.h⁻¹. Areal assessment of altitude-adjusted cosmic radiation dose rate yields lower values averaging $39,9$ nGy.h⁻¹. URANPRES investigations revealed the following values in Neogene hypersthene andesites: $K = 1,98\%$, $U = 2,82$ ppm eU, $Th = 13,28$ ppm eTh, and ratios $Th/U = 4,71$, $U/K = 1,42$ and $Th/K = 6,71$. Areal assessment reveals that radon risk is generally high here as the low-risk category covers 8.7%, medium 88.5% and high-risk 2.8% of the territory. The high and medium risks are caused by increased rock radioactivity and good gas-permeability of rocks.

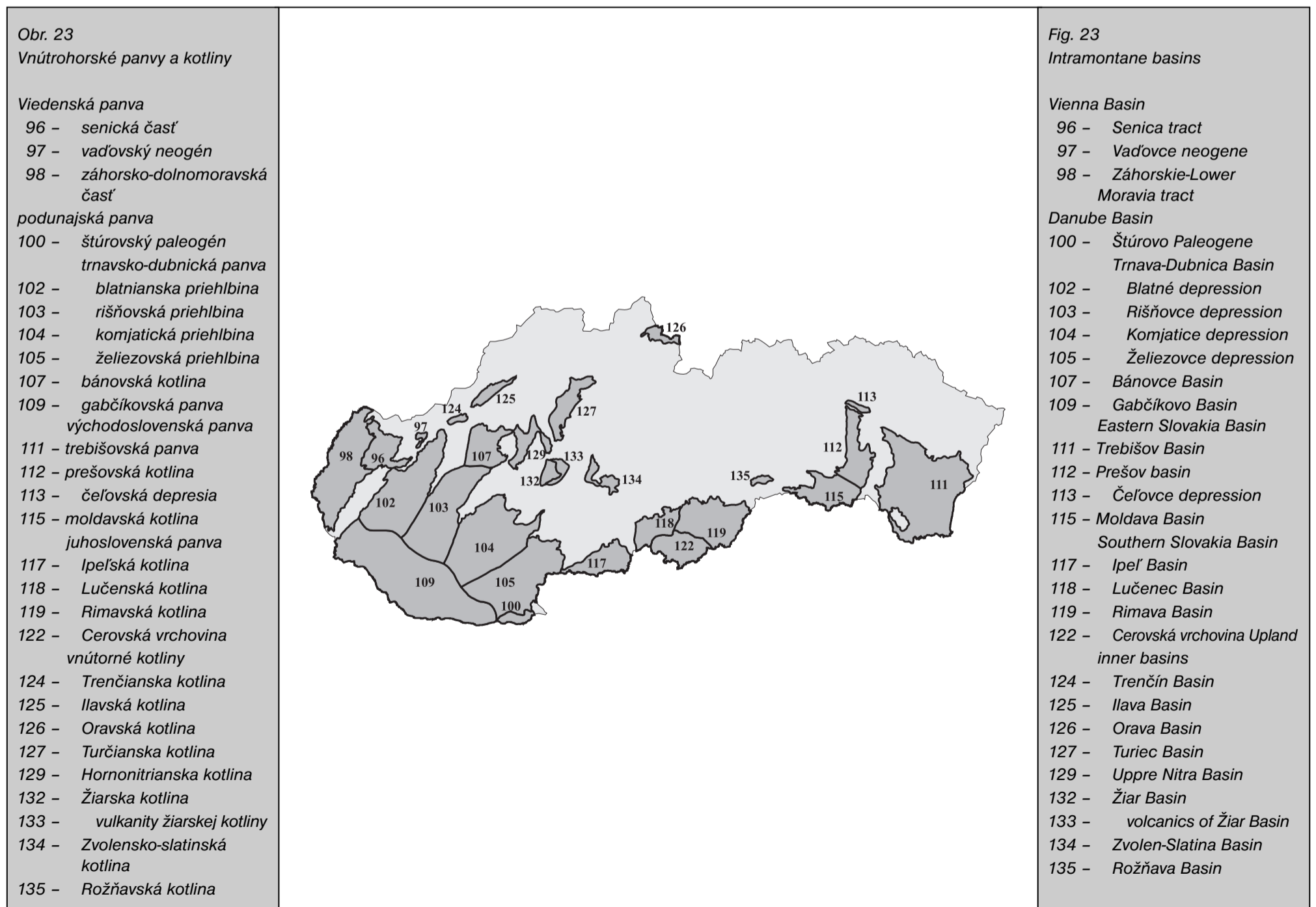
8.7. Intramontane Basins

These include a number of basins in the West Carpathians (Fig. 23) dating from the Lower Miocene to Pliocene. They can be divided into intramontane basins and inner valleys. The basins are underlain by a wide spectrum of sedimentary rocks, such as sands, sandstones, gravels, calcareous clays, claystones and marls. Acid tuffs, tuffites, carbonaceous clays, coal beds, salt-bearing beds as well as andesite and rhyolite layers are widespread, too. The oldest rocks underlying the inner valleys comprise carbonatic sandstones to conglomerates and calcareous clays. Above them are gravels to conglomerates, freshwater limestones, andesite and rhyolite tuffs and tuffites. The deposition was sometimes concluded by thin coal beds.

The intramontane basins and valleys account for a considerable percentage of Slovakia's territory – 38.3%.

Average potassium content in the intramontane basins (Tab. 33) equals the Slovak average $K = 1,6\%$, but their eU (3.5 ppm) and eTh (10.2 ppm) contents are somewhat higher.

Average dose rate of rocks is $65,8$ nGy.hr⁻¹ and $\dot{D}a_{\text{cosmic}}$ due to low altitudes amounts only to $39,9$ nGy.hr⁻¹. Individual basins display little differences in radioactivity and all its components. The highest dose rates have



PRÍRODNÁ RÁDIOAKTIVITA LITOTYPOV TERCIEŔNYCH PANVÍ		TAB. 33		NATURAL RADIOACTIVITY OF LITHOTYPES IN TERTIARY BASINS					
Č. No.	Názov horniny Name of rock	K %	eU ppm	eTh ppm	eU _t ur	\dot{D}_a nGy.h ⁻¹	Th/U	U/K	Th/K
Viedenská panva / Vienna Basin									
5	Ílovce, pieskovce / Claystones, sandstones	1,47	2,4	6,4	9,6	48,7	2,6	1,6	4,3
7	Vápnité ílovce / Calcareous claystones	1,43	2,8	8,1	10,7	54,7	2,8	2,0	5,5
Podunajská panva / Danube Basin									
5	Vápnité ílovce, pieskovce, štrky / Claystones, sandstones	1,54	3,4	9,7	12,4	63,5	2,9	2,2	6,3
6	Ílovité pieskovce, tuftické sedimenty Calcareous sandstones, tuffaceous sediments	1,57	3,5	11,1	13,3	68,1	3,2	2,2	7,1
7	Vápnité ílovce a pieskovce, vápence / Calcareous claystones	1,64	3,5	11,0	13,4	68,5	3,2	2,1	6,7
10	Andezity / Andesites	1,52	3,5	11,2	13,2	67,1	3,2	2,3	7,4
15	Ílovce, slieňovce, zlepenca, vápence Claystones, marlstones, conglomerates, limestones	1,38	3,2	8,5	11,2	57,4	2,8	2,3	6,2
17	Vápnité ílovce, pieskovce / Calcareous claystones, sandstones	1,56	3,4	10,2	12,8	64,9	2,9	2,5	6,9
37	Kremence, pieskovce, ílovité bridlice / Quartzites, sandstones, shales	1,71	3,5	11,2	13,8	70,0	3,2	2,0	6,6
Východoslovenská panva / Eastern Slovakia Basin									
2	Íly, piesky, štrky / Clays, sands, gravels	1,51	3,5	10,2	12,7	64,8	3,0	2,3	6,8
3	Íly, piesky, tufogénne sedimenty / Clays, sands, tuffaceous sediments	1,63	3,3	10,5	13,0	66,1	3,4	2,0	6,5
5	Vápnité ílovce, pieskovce, štrky s polohami lignitu Calcareous claystones, sandstones, gravels interlayered with lignite	1,60	3,4	10,5	13,0	66,4	3,1	2,1	6,6
6	Ílovité pieskovce, tuftické sedimenty Calcareous sandstones, tuffaceous sediments	1,70	3,5	10,8	13,6	69,1	3,2	2,1	6,4
7	Vápnité ílovce a pieskovce, štrky Calcareous claystones and sandstones, gravels	1,69	3,6	10,7	13,6	69,3	3,1	2,1	6,4
10	Andezity / Andesites	1,59	9,4	10,3	12,9	65,6	3,1	2,1	6,6
11	Andezity až dacity / Andesites to dacites	1,54	3,4	10,7	13,0	66,3	3,2	2,2	7,0
28	Vápence a dolomity / Limestones and dolomites	1,29	3,6	8,2	11,1	57,5	2,8	2,8	6,3
Juhoslovenská panva / Southern Slovakia Basin									
2	Íly, piesky, štrky / Clays, sands, gravels	1,38	3,9	12,1	13,7	70,6	3,1	3,0	9,1
3	Íly, piesky, tufogénne sedimenty / Clays, sands, tuffaceous sediments	1,48	3,4	11,2	13,0	66,4	3,5	2,3	7,7
4	Vápnité ílovce a siltovce / Calcareous claystones and siltstones	1,47	3,5	10,7	12,8	65,5	3,1	2,4	7,6
5	Vápnité ílovce, pieskovce, štrky s polohami lignitu Calcareous claystones, sandstones, gravels interlayered with lignite	1,45	3,1	8,6	11,3	57,8	2,9	2,1	6,0
7	Vápnité ílovce, pieskovce, štrky Calcareous claystones, sandstones, gravels	1,48	3,2	10,0	12,2	62,6	3,1	2,2	6,8
Turčianska kotlina / Turiec Basin									
2	Íly, piesky, štrky / Clays, sands, gravels	1,55	3,9	11,0	13,6	69,9	2,9	2,5	7,1
5	Vápnité ílovce, pieskovce, štrky s polohami lignitu Calcareous claystones, sandstones, gravels interlayered with lignite	1,41	3,5	9,1	11,9	60,9	2,8	2,6	6,6
6	Vápnité ílovce, tuftické sedimenty Calcareous claystones, tuffaceous sediments	1,31	3,4	9,9	11,8	60,7	2,9	2,8	7,9
Hornonitrianska kotlina / Upper Nitra Basin									
3	Íly, piesky, tufogénne sedimenty / Clays, sands, tuffaceous sediments	1,64	4,1	11,3	14,2	72,5	2,8	2,5	6,9
17	Vápnité ílovce, pieskovce / Calcareous claystones, sandstones	1,58	4,3	11,2	14,1	72,6	2,6	2,7	7,2
18	Pieskovce, zlepenca, brekcie / Sandstones, conglomerates, breccias	1,71	3,7	10,3	13,5	68,5	2,8	2,2	6,0
47	Ruly až migmatity / Gneisses to migmatites	1,70	4,0	10,8	14,0	71,6	2,8	2,3	6,5
Žiarska kotlina / Žiar Basin									
3	Íly, piesky, tufogénne sedimenty / Clays, sands, tuffaceous sediments	1,55	4,1	11,7	14,2	72,5	2,9	2,7	7,6
10	Andezity / Andesites	1,53	3,9	10,0	13,1	67,0	2,6	2,6	6,6
11	Andezity až dacity / Andesites to dacites	1,32	3,1	8,5	11,0	56,5	2,7	2,4	6,5
14	Ryodacity až ryolity / Rhyodacites to rhyolites	1,87	4,8	13,8	16,8	86,0	3,2	2,5	7,2

Neogénne sedimenty vykazujú v priemere vyššie radónové riziko ako sedimenty paleogénu. Nízke radónové riziko sa viaže na väčšiu časť sedimentov vrchného pliocénu, rozšírených v rozsiahlej oblasti Podunajskej

been noted in rocks of the Bánovce Basin ($\dot{D}_a = 73.1 \text{ nGy.hr}^{-1}$) and Upper Nitra Basin (72.3 nGy.hr^{-1}), whereas the Vienna Basin displays the lowest values (50.3 nGy.hr^{-1}). Lithotypes in basins are given in Tab. 33.

a sčasti Juhoslovenskej panvy. Naproti tomu pliocénne sedimenty vnútorných kotlín centrálnych Karpát vykazujú v prevahe stredný stupeň radónového rizika. Týka sa to najmä Turčianskej, Hornonitrianskej a Žiarskej kotliny, ale na piatich referenčných plochách sa zistilo vysoké riziko, najmä vplyvom tufitickej prímеси v sedimentoch. Tufiticko-lignitická séria a košická štrková formácia predstavujú komplex hornín neogénu, ktoré majú výraznejšie radónové riziko. Až 73 % referenčných plôch je tu zaradených do kategórie stredného a 4 % do kategórie vysokého radónového rizika. Sedimenty spodného miocénu, najmä slienité íly, piesčité slieňe, lokálne piesky a štrky v oblasti Viedenskej panvy, Juhoslovenskej a sčasti i Východoslovenskej panvy, sa hodnotia ako komplexy na rozhraní nízkeho a stredného rizika.

Prírodná rádioaktivita podzemných vôd Podunajskej roviny a Podunajskej pahorkatiny je takmer zhodná, s výnimkou objemovej aktivity radónu. Priemerné hodnoty koncentrácie uránu $0,004 - 0,005 \text{ mg.l}^{-1}$ patria medzi najvyššie na Slovensku. Viazu sa najčastejšie na vody s celkovou mineralizáciou $750 - 1000 \text{ mg.l}^{-1}$ (RAPANT, 1995). Zodpovedá to aj údajom Lisicina (1975), že vody s takouto mineralizáciou v aridnejších oblastiach najintenzívnejšie vylúhujú urán z hornín. Objemová aktivita rádia má vyššie hodnoty len v západnej časti (od Dunajskej Stredy po Bratislavu), kde (podobne ako v Záhorskej nížine) sa vo väčšej miere vyskytujú vody s celkovou mineralizáciou od $500 - 750 \text{ mg.l}^{-1}$. Vo vodách s vyššou mineralizáciou dosahuje objemová aktivita rádia najčastejšie hodnoty pod $0,04 \text{ Bq.l}^{-1}$. Objemová aktivita radónu má nízke hodnoty, v priemere od $6,55 (4,20 \text{ Bq.l}^{-1})$ v Podunajskej rovine až po $11,73 (7,86 \text{ Bq.l}^{-1})$ v Podunajskej pahorkatine. Vyššie hodnoty v Podunajskej pahorkatine (max. $80,68 \text{ Bq.l}^{-1}$) spôsobila pravdepodobne menšia hrúbka terciérnych sedimentov.

Územie sa vyznačuje zvýšenými koncentraciami uránu, najmä v častiach budovaných neogénnymi sedimentmi (priemerné hodnoty $0,004$ až $0,005 \text{ mg.l}^{-1}$). V oblastiach s výskytom vulkanoklastík dosahuje koncentrácia uránu $0,002 - 0,003 \text{ mg.l}^{-1}$. Vo vodách vulkanických komplexov Cerovej vrchoviny sa zistili aj mierne zvýšené hodnoty objemovej aktivity radónu ($x = 27,68 \text{ Bq.l}^{-1}$, $GM = 21,80 \text{ Bq.l}^{-1}$).

Koncentrácia uránu a objemová aktivita rádia v Košickej kotline neprevyšujú priemer hodnôt zistených v podzemných vodách Slovenska. Nepatrne vyššie boli len hodnoty zistené zo studní kvartérnych vôd okolia Hornádu. Tieto zvýšenia napríklad v Haniske a Seni spôsobila pravdepodobne výskyt paleozoických hornín gemerika, ktoré tvoria materiál slabo spevnených sedimentov kvartéru. Na tomto území sa zistili aj mierne zvýšené hodnoty objemovej aktivity radónu (do 50 Bq.l^{-1}), ktoré sa viažu na tektonické línie severo-južného, resp. severovýchodne-juhozápadného smeru.

Vo vodách neogénnych sedimentov Východoslovenskej roviny sa nezistili zvýšené koncentrácie uránu (priemerná hodnota U_{nat} je $0,003 \text{ mg.l}^{-1}$) oproti vodám Podunajskej roviny. Ich celková mineralizácia je vyššia ako 1 g.l^{-1} a pri takýchto hodnotách sa už urán z hornín ťažšie vylúhuje (LISICIN, 1975). Hodnoty objemovej aktivity rádia sú pomerne stabilné ($x = 0,051 \text{ Bq.l}^{-1}$, $GM = 0,047 \text{ Bq.l}^{-1}$), podobne aj hodnoty objemovej aktivity radónu ($x = 8,28 \text{ Bq.l}^{-1}$, $GM = 5,57 \text{ Bq.l}^{-1}$).

8.8. Neovulkanity

Neovulkanity (obr. 24, tab. 34) sú produktmi terciérnej vulkanickej aktivity.

Stredoslovenské neovulkanity tvoria čadiče, trachyty, andezity, dacity a ryolity a ich vulkanoklastiká. Zaberajú plochu 7,8 % a sú ohraničené z juhu Podunajskou a Juhoslovenskou panvou, zo západu Tribečom a Hornonitrianskou kotlinou, zo severu Turčianskou kotlinou, Veľkou Fatrou a Starohorskými vrchmi a z východu veporidmi.

Východoslovenské neovulkanity zaberajú plochu 2,1 % plochy Slovenska a ide najmä o neovulkanity Slanských a Vihorlatských vrchov. V Slanských vrchoch sú zastúpené amfibolicko-pyroxenické andezity so svojimi tufmi a ryolity. Neovulkanity Vihorlatských vrchov sa skladajú najmä z komplexov lávových prúdov a vulkanoklastických hornín, pričom prevládajú pyroxenické andezity.

Z prieskumu zameraného na rádioaktívne suroviny vyplýva charakteristika acidných vulkanitov východoslovenských neovulkanitov (tab. 35 a 36).

Matolín (1976) poukazuje na rozdiel medzi rádioaktivitou ryolitov stredného a východného Slovenska (tab. č. 37).

The Neogene sediments display on average higher radon risks than the Paleogene ones. Low radon risk characterizes the majority of Upper Pliocene sediments widespread in the vast area of the Danube Basin and partly also Southern Slovakia Basin. In contrast, Pliocene sediments in the Inner Carpathian intramontane basins mostly fall into the medium radon risk category. It applies mainly to the Turiec, Upper Nitra and Žiar Basins where 5 reference areas display a high risk primarily due to tuffaceous admixture in sediments. The Tuffaceous-Lignite Series and Košice Gravel Formation consist of Neogene rocks associated with fairly high radon risks – 73 % of reference areas fall into the medium and 4 % into the high radon risk category. Lower Miocene sediments, largely marly clays, sandy marls, locally also sands and gravels, in the Vienna, Southern Slovakia and partly also Eastern Slovakia Basins are in between the low and medium risk categories.

Natural radioactivity of groundwaters in the Danube Lowland and that in the Podunajská pahorkatina Upland are almost identical except for radon volume activity. Average uranium concentrations $0,004 - 0,005 \text{ mg.l}^{-1}$ are among the highest in Slovakia. These concentrations are associated mostly with waters whose T.D.S. ranges between 750 and 1000 mg.l^{-1} (RAPANT, 1995). This agrees with Lisicin's (1975) data that waters with such T.D.S. in arid areas most intensively dissolve uranium from rocks. Radium volume activity is increased only in the western sector (between Dunajská Streda and Bratislava) which, like the Záhorie Basin, is rich in waters whose T.D.S. is between 750 and 1000 mg.l^{-1} . Higher-mineralized waters mostly display radium volume activity values below $0,04 \text{ Bq.l}^{-1}$. Low radium volume activities range from $6,55 (4,20 \text{ Bq.l}^{-1})$ in the Danube Lowland to $11,73 (7,86 \text{ Bq.l}^{-1})$ in the Podunajská pahorkatina Upland. Higher activities in the Podunajská pahorkatina (up to $80,68 \text{ Bq.l}^{-1}$) probably result from smaller thickness of Tertiary sediments.

The territory is characterized by increased uranium concentrations, notably in areas underlain by Neogene sediments (on average $0,004 - 0,005 \text{ mg.l}^{-1}$). Concentrations between $0,002 - 0,003 \text{ mg.l}^{-1}$ are typical of volcanoclastics. Waters in the volcanic complexes of the Cerová vrchovina display slightly increased radon volume activities ($x = 27,68 \text{ Bq.l}^{-1}$, $GM = 21,80 \text{ Bq.l}^{-1}$).

In the Košice Basin, uranium concentrations and radium volume activity do not exceed average values of Slovakia's groundwaters. Slightly increased values have been noted only in wells recharged by Quaternary waters in the vicinity of the Hornád River. These higher values, such as those at Haniska and Seňa, are presumably caused by fragments of Gemeric rocks of Paleozoic age in poorly consolidated Quaternary sediments. In places, increased values of radon volume activity (up to 50 Bq.l^{-1}) are bound to N-S- or NE-SW-trending tectonic lines.

Unlike waters in the Danube Lowland, those in Neogene sediments of the Eastern Slovakia Lowland are devoid of increased uranium concentrations (average U_{nat} content is $0,003 \text{ mg.l}^{-1}$). The latter have T.D.S. above 1 g.l^{-1} and therefore their ability to dissolve uranium from rocks is reduced (LISICIN, 1975). Their radium volume activity is fairly stable ($x = 0,051 \text{ Bq.l}^{-1}$, $GM = 0,047 \text{ Bq.l}^{-1}$) and so is their radon volume activity ($x = 8,28 \text{ Bq.l}^{-1}$, $GM = 5,57 \text{ Bq.l}^{-1}$).

8.8. Neovolcanics

The Neovolcanics (Fig. 24, Tab. 34) are products of Tertiary volcanism.

The Central Slovakia Neovolcanics consist primarily of andesites, with minor dacites and rhyolites, and even less abundant basalts as well as related volcanoclastics. The Central Slovakia Neovolcanics account for 7.8 % of Slovakia's territory. They border the Danube and Southern Slovakia Basins in the south, Tribeč Mts. and Upper Nitra Basin in the west, Turiec Basin, Veľká Fatra and Starohorské vrchy Mts. in the north, and the Veporské vrchy Mts. in the east.

The Eastern Slovakia Neovolcanics occupy 2,1 % of Slovakia's territory and include mainly Neogene volcanics in the Slanské and Vihorlatské vrchy Mts.

Rocks in the Slanské vrchy comprise amphibole-pyroxene andesites and related tuffs as well as rhyolites. The Vihorlatské vrchy neovolcanics consist mainly of complexes of lava flows and volcanoclastic rocks dominated by pyroxene andesites.

Exploration for radioactive minerals has provided the following characteristics of neovolcanics in the Eastern Slovakia Neovolcanics (Tab. 35 and 36) Matolín (1976) pointed out differences in rhyolite radioactivities in central and eastern Slovakia (Tab. 37).

Obr. 24
Neovulkanity

- stredoslovenské neovulkanity*
 138 – vulkanity Krupinskej planiny
 139 – stratovulkán Javoria
 141 – štiavnický stratovulkán
 143 – vulkanity Kremnických vrchov
 144 – vulkanity Vtáčnika
 145 – stratovulkán Poľany
 147 – neovulkanity Burdy
neovulkanity Slanských vrchov
 149 – zlatobanský stratovulkán
 150 – stratovulkán Makovice
 151 – strechovský stratovulkán
 152 – stratovulkán Bogoty
 153 – stratovulkán Miliča
 155 – skupina vulkánov Vihorlatu
 156 – stratovulkán Dielu
 157 – stratovulkán Popriečneho

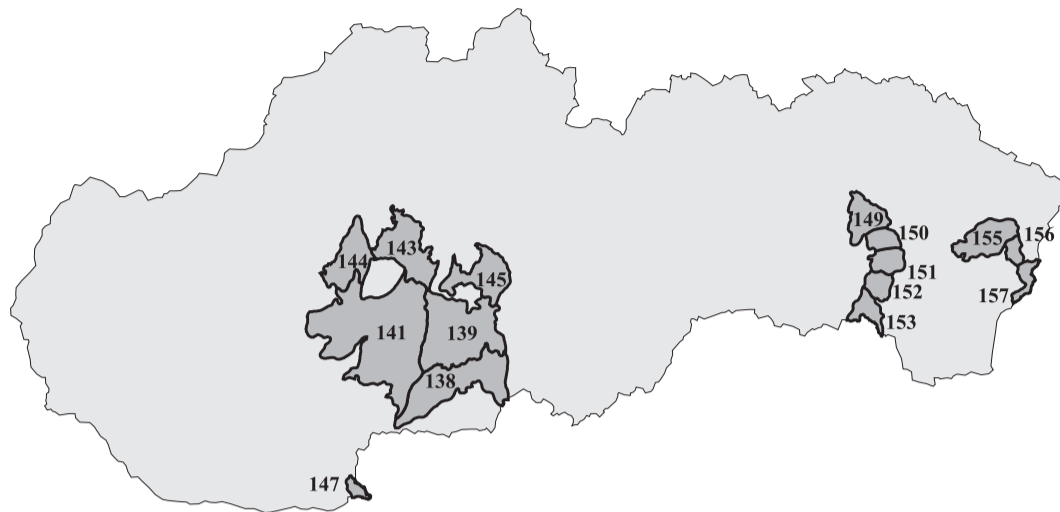


Fig. 24
Neovolcanics

- Central Slovakia Neovolcanics*
 138 – volcanics of Krupinská planina Plateau
 139 – Javorie stratovolcano
 141 – Štiavnica stratovolcano
 143 – volcanics of Kremnické vrchy
 144 – Vtáčnik volcanics
 145 – Poľana stratovolcano
 147 – Burda neovolcanics
Slanské vrchy Neovolcanics
 149 – Zlatá Baňa stratovolcano
 150 – Makovica stratovolcano
 151 – Strechov stratovolcano
 152 – Bogota stratovolcano
 153 – Milič stratovolcano
 155 – Vihorlat group of volcanoes
 156 – Diel stratovolcano
 157 – Popriečny stratovolcano

RÁDIOAKTIVITA JEDNOTLIVÝCH LITOTYPOV NEOVULKANITOV TAB. 34 RADIOACTIVITY OF INDIVIDUAL NEOVOLCANIC LITHOTYPES

Č. No.	Názov horniny Name of rock	K %	eU ppm	eTh ppm	eU _l ur	Da nGy . h ⁻¹	Th/U	U/K	Th/K
Stredoslovenské neovulkanity / Central Slovakia Neovolcanics									
6	Tufitické sedimenty / Tuffaceous sediments	1,46	3,7	10,2	13,5	69,1	3,1	2,6	7,9
10	Andezity / Andesites	1,49	3,5	9,8	12,5	63,9	2,8	2,4	6,7
11	Andezity až dacity / Andesites to dacites	1,59	3,6	9,9	12,9	65,6	2,8	2,3	6,4
12	Propylitizované andezity / Propylitized andesites	1,65	3,5	9,8	13,0	66,1	2,8	2,3	6,4
13	Granodiority a porfýry / Granodiorites and porphyries	1,74	3,4	9,9	13,1	66,6	2,9	2,1	6,0
14	Ryolity a ryodacity / Rhyolites and rhyodacites	1,73	4,3	11,5	14,7	75,6	2,7	2,6	6,9
37	Kremence, ilovité bridlice / Quartzites, shales	1,45	4,5	10,3	13,6	70,3	2,4	3,1	7,0
38	Pieskovce, bridlice / Sandstones, shales	2,56	3,6	9,3	15,3	77,1	2,6	1,6	4,1
Východoslovenské neovulkanity / Eastern Slovakia Neovolcanics									
6	Tufitické sedimenty / Tuffaceous sediments	1,62	3,6	8,9	13,4	68,5	3,3	2,2	6,8
10	Andezity / Andesites	1,41	2,9	8,7	11,1	56,6	3,2	2,1	6,3
11	Andezity až dacity / Andesites to dacites	1,65	3,4	9,9	12,8	65,5	3,0	2,1	6,1
12	Propylitizované andezity / Propylitized andesites	1,41	2,5	7,8	10,3	52,4	3,3	1,9	5,9
14	Ryodacity a ryolity / Rhyolites and rhyodacites	1,91	4,3	11,7	15,4	78,5	2,8	2,3	6,2

RÁDIOAKTIVITA ACIDNÝCH VÝCHODOSLOVENSKÝCH NEOVULKANITOV TAB. 35 RADIOACTIVITY OF ACID EASTERN SLOVAKIA NEOVOLCANICS

	K %	eU ppm	eTh ppm	U/K	Th/U	Th/K
Slanské pohorie	2,13	2,92	13,92	1,37	4,74	6,56
Milič	2,43	3,40	13,97	1,40	4,11	5,76

Príčinu vidí autor predovšetkým v ich rozdielnom vzniku a v časovom priebehu vulkanizmu.

Neovulkanity ako celok vykazujú priemerné hodnoty prírodnej rádioaktivity. V porovnaní stredoslovenských a východoslovenských neovulkanitov majú stredoslovenské rádioaktivitu o čosi vyššiu.

Neovulkanický komplex je charakteristický väčšou plynopriepustnosťou hornín, čo výrazne ovplyvňuje radónové riziko tohto komplexu. Andezity, dacity a ich pyroklastiká majú stredné hodnoty OAR v pôdnom vzduchu (20 kBq.m⁻³) nižšie než kyslé variety vulkanizmu, ako sú ryolity, ryodacity a ich tufy (40 kBq.m⁻³). Hoci sa v ryolitoch realizovalo meranie OAR len

The differences may be explained by different origins and temporal evolution of volcanism in these two areas. The Central Slovakia Neovolcanics have somewhat higher radioactivity than their eastern counterparts.

The Neovolcanic complex is characterized by higher gas-permeability of rocks which controls its radon risk. Andesites, dacites and related pyroclastics have lower medium values of radon volume activity (RVA) in soil air (20 kBq.m⁻³) than acid volcanics, such as rhyolites, rhyodacites and related tuffs (40 kBq.m⁻³). Although RVA of rhyolites was now measured only in seven reference areas, earlier URANPRES investigations point to high risks of this rock type.

RÁDIOAKTIVITA HORNINOVÝCH KOMPLEXOV VÝCHODOSLOVENSKÝCH NEOVULKANITOV		TAB. 36			RADIOACTIVITY OF ROCK COMPLEXES IN EASTERN SLOVAKIA NEOVOLCANICS		
Oblasť Area	Horninový komplex Rock complex	K %	eU ppm	eTh ppm	U/K	Th/U	Th/K
Slanské pohorie	Pyroxenické andezity / Pyroxene andesites	1,99	2,56	10,42	1,29	4,07	5,24
	Bazaltoidné andezity / Basaltoid andesites	2,23	2,60	8,50	1,17	3,27	3,81
	Propilitizované, pyroxenické andezity Propylized pyroxene andesites	2,40	2,59	10,94	1,08	4,22	4,59
	Tufy a tufity pyroxenických andezitov Tuffs and tuffites of pyroxene andesites	1,78	2,39	10,51	1,34	4,40	5,90
Vihorlat a Popričný	Pyroxenické andezity a ich tufy Pyroxene andesites and related tuffs	1,76	2,23	9,19	1,27	4,12	5,22

RÁDIOAKTIVITA NEOVULKANICKÝCH RYOLITOV (MATOLÍN, 1976)		TAB. 37		RADIOACTIVITY OF NEOVOLCANIC RHYOLITES (MATOLÍN, 1976)	
Hornina / Rock		K (%)		eU (ppm)	eTh (ppm)
Ryolity stredného Slovenska / Rhyolites in central Slovakia		3,4		4,7	24,6
Ryolity východného Slovenska / Rhyolites in eastern Slovakia		2,4		1,2	6,1

na siedmich referenčných plochách, rizikovosť tohto horninového typu je známa už zo starších prác URANPRES-u.

Rádioaktivita podzemných vôd v pohoriach budovaných neovulkanitmi je veľmi nízka. Koncentrácie uránu v podzemných vodách sú na úrovni priemernej hodnôt neovulkanitov, pre ktoré je typický plytký obeh v málo narušených vrchných častiach vulkanických komplexov. V objemovej aktivite rádia sa vody stredoslovenských neovulkanitov líšia od neovulkanitov Slanských vrchov a Vihorlatských vrchov. Vody kyslejších foriem stredoslovenských vulkanitov majú veľmi nízke hodnoty rádia ($x = 0,030 \text{ Bq.l}^{-1}$, $GM = 0,017 \text{ Bq.l}^{-1}$) oproti vodám bázejšších foriem neovulkanitov Slanských vrchov ($x = 0,052 \text{ Bq.l}^{-1}$, $GM = 0,049 \text{ Bq.l}^{-1}$) a Vihorlatských vrchov ($x = 0,047 \text{ Bq.l}^{-1}$, $GM = 0,039 \text{ Bq.l}^{-1}$). Objemová aktivita radónu je najvyššia v stredoslovenských neovulkanitoch ($x = 15,50 \text{ Bq.l}^{-1}$, $GM = 9,22 \text{ Bq.l}^{-1}$) a najnižšia v neovulkanitoch Slanských vrchov ($x = 6,49 \text{ Bq.l}^{-1}$, $GM = 3,50 \text{ Bq.l}^{-1}$). Pôvod radónu je hypogogénny, viazaný na tektonické zlomy.

Groundwater radioactivity in neovolcanic mountain ranges is extremely low. Uranium concentrations in groundwaters equal average values in neovolcanics which typically have shallow groundwater circulation in disturbed upper parts of the volcanic complexes. Radium volume activity of waters in the Central Slovakia Neovolcanics differs from that in the Slanské and Vihorlatské vrchy neovolcanics. Waters in acid rock varieties of the Central Slovakia Neovolcanics have very low radium values ($x = 0.030 \text{ Bq.l}^{-1}$, $GM = 0.017 \text{ Bq.l}^{-1}$) in comparison with more mafic neovolcanic rocks in the Slanské vrchy ($x = 0.052 \text{ Bq.l}^{-1}$, $GM = 0.049 \text{ Bq.l}^{-1}$) and Vihorlatské vrchy ($x = 0.047 \text{ Bq.l}^{-1}$, $GM = 0.039 \text{ Bq.l}^{-1}$). Radon volume activity is the highest in the Central Slovakia Neovolcanics ($x = 15.50 \text{ Bq.l}^{-1}$, $GM = 9.22 \text{ Bq.l}^{-1}$) and lowest in the Slanské vrchy neovolcanics ($x = 6.49 \text{ Bq.l}^{-1}$, $GM = 3.50 \text{ Bq.l}^{-1}$). The radon here is of hypogogénny origin associated with faults.

9. ZÁVER

Právo každého občana Slovenskej republiky na zdravé životné prostredie, ale aj jeho povinnosť chrániť a zveľaďovať ho, sú súčasťou Ústavy Slovenskej republiky, pričom štátne orgány musia dbať na udržanie ekologickej rovnováhy a účinnú starostlivosť o životné prostredie. Všetci občania tohto štátu majú preto právo byť pravdivo a aktuálne informovaní o environmentálnej situácii vo svojej krajine. To je aj poslaním tejto publikácie.

Geochemický atlas Slovenska – Prírodná rádioaktivita hornín je prvým súborným dielom z tejto problematiky u nás a zaraduje sa aj medzi prvé takéto diela vo svete.

Cieľom tohto diela je podať stručnú a výstižnú charakteristiku prírodnej rádioaktivity hornín a vôd na Slovensku vo všetkých jej hodnotených zložkách. Toto hodnotenie sa podarilo spracovať na rovnakej kvalitatívnej úrovni. Mapy sú v mierke 1 : 1 000 000, preto nemohli zachytiť čiastkové anomálie, no textová časť upozorňuje na výskyt a rozšírenie hornín a vôd so zvýšenou rádioaktivitou.

Mapy prírodnej rádioaktivity Slovenskej republiky sú výsledkom spracovania dostupných informácií o prírodnej rádioaktivite hornín a vôd. Najviac materiálov sa čerpalo z výsledkov merania prírodnej rádioaktivity a objemovej aktivity radónu hornín a prírodnej rádioaktivity vôd in situ a meraní v mierkach 1 : 200 000 a 1 : 50 000. Využili sa poznatky množstva ďalších organizácií, a to najmä Geologickej služby Slovenskej republiky Bratislava. Dôležitým zdrojom informácií boli materiály M. Matolína, ktorý roku 1976 vydal prvú mapu prírodnej rádioaktivity Západných Karpát, ale aj materiály URANPRES-u, s.r.o. Spišská Nová Ves a jeho predchodcov, získané za vyše polstoročnej histórie prieskumu rádioaktívnych surovín na Slovensku, ktoré boli v nedávnej minulosti utajované.

Veľkú zásluhu na spracovaní takého rozsiahleho materiálu má Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, ktoré vytvorilo materiálne aj metodické podmienky na meranie a interpretáciu materiálov.

Jednotlivé zložky prírodnej rádioaktivity na území Slovenskej republiky môžeme charakterizovať týmito priemernými hodnotami:

Prírodná rádioaktivita hornín

Draslík (K)	1,6 %
Urán (eU)	3,3 ppm
Tórium (eTh)	9,4 ppm
Pomery Th/U	2,8
Th/K	5,8
U/K	2,1
Urán celkovo (eU _t)	12,4 ur
Dávkový príkon (Ďa)	63,3 nGy.h ⁻¹

Objemová aktivita radónu

nízke riziko	53,0 %
stredné riziko	46,7 %
vysoke riziko	0,3 %
Dávkový príkon kozmického žiarenia	44,3 nGy.h ⁻¹

Prírodná rádioaktivita vôd (hodnota mediánu)

Urán (U _{nat})	0,003 mg.l ⁻¹
Rádium (²²⁶ Ra)	0,040 Bq.l ⁻¹
Radón (²²² Rn)	9,31 Bq.l ⁻¹

Hodnoty prírodnej rádioaktivity hornín a vôd zodpovedajú zložitej geologickej a geotektonickej stavbe územia Slovenskej republiky.

Porovnanie prírodnej rádioaktivity s údajmi z iných štátov nie je ľahké. Komplikuje ho malá dostupnosť výsledkov a rozdielna metodika meraní. Dá sa to urobiť len prostredníctvom dávkového príkonu (tab. 10). Ak by sa zoradilo 26 štátov, z ktorých sú k dispozícii údaje o dávkovom príkone hornín, do stupnice od najnižšieho dávkového príkonu po najvyšší, bolo by Slovensko na 9. mieste. Najnižší dávkový príkon má Poľsko (40 nGy.h⁻¹), najvyšší Švédsko a Rumunsko (80, resp. 81 nGy.h⁻¹).

Mapy prírodnej rádioaktivity sú súčasťou kolekcie máp zaoberajúcich sa životným prostredím a majú svoj význam pri posudzovaní stupňa ožiarenia populácie. Medzinárodné odborné orgány odporúčajú, aby sa rádioaktivita životného prostredia monitorovala a aby sa minimalizovala expozícia obyvateľov.

Rádioaktivitu ako jednu z významných zložiek životného prostredia netreba preceňovať, ale nesmie sa ani podceňovať. Preto je nevyhnutné merať a monitorovať prírodnú rádioaktivitu. V súčasnosti sa vykonávajú práce zamerané na podrobnejšie zmapovanie stavu životného prostredia v jednotlivých regiónoch Slovenska.

9. CONCLUSION

The Slovak constitution specifies the right of each Slovak citizen to live in a favourable environment and also his/her obligation to protect and improve it. State organs are obligated to maintain environmental balance and take effective care of the environment. That is why all Slovak citizens have the right to get true and up-to-date information on the state of environment in our country, which is the objective of this publication.

The Geochemical Atlas of Slovakia – Natural Rock Radioactivity is the first comprehensive publication of this kind and one of the first in the world.

The Atlas of Natural Radioactivity is aimed to give a brief and concise characteristics of rock and water natural radioactivity and all its assessed components. We managed to compile data on these components measured on the same qualitative level. The maps are at scale 1 : 1 000 000 and therefore cannot show partial anomalies, but the text part of the Atlas highlights the occurrences and distribution of rocks and waters with increased radioactivity.

The maps of natural radioactivity in Slovakia have resulted from the compilation of available information on natural radioactivity of rocks and waters. Most data were provided by in-situ measurements of natural radioactivity and radon volume activity of rocks and natural radioactivity of waters at scales 1 : 200 000 or 1 : 50 000. A number of other companies, notably the Geological Survey of Slovak Republic based in Bratislava. Other major sources of information include materials by M. Matolín who edited the first map of natural radioactivity in the West Carpathians in 1976, as well as materials gathered by URANPRES Ltd. based in Spišská Nová Ves over more-than-35-year-long history of exploration for radioactive minerals in Slovakia which were classified until recently.

The Slovak Environment Ministry also played an important role in the compilation of this extensive publication as it provided funds and specified techniques to measure and interpret the data.

Average values of individual components of natural radioactivity in Slovakia are as follows:

Natural radioactivity of rocks

Potassium (K)	1.6 %
Uranium (eU)	3.3 ppm
Thorium (eTh)	9.4 ppm
Ratios Th/U	2.8
Th/K	5.8
U/K	2.1
Total uranium (eU _t)	12.4 ur
Dose rate (Ďa)	63.3 nGy.hr ⁻¹

Radon volume activity

low risk	53.0 %
medium risk	46.7 %
high risk	0.3 %
Cosmic radiation dose rate	44.3 nGy.hr ⁻¹

Natural radioactivity of waters (median)

Uranium (U _{nat})	0.03 mg.l ⁻¹
Radium (²²⁶ Ra)	0.04 Bq.l ⁻¹
Radon (²²² Rn)	9.31 Bq.l ⁻¹

Patterns of natural radioactivity of water and rocks reflect complicated geological and geotectonic structure of Slovakia.

Natural radioactivity in Slovakia can hardly be compared with that elsewhere because foreign data are rarely available or different measurement techniques were used. Only dose rates can be compared (Tab. 10). If 26 nations with available dose rate data were ranked from the lowest to the highest dose rate, Slovakia would occupy the 9th place. The lowest dose rates (40 nGy.hr⁻¹) are in Poland and the highest in Sweden and Romania (80 and 81 nGy.hr⁻¹, respectively).

The maps of natural radioactivity are part of a set of environmental maps and are useful in assessing human irradiation. International expert bodies recommend that radioactivity of the environment be monitored and human irradiation be minimized.

As a major environmental factor, radioactivity should be neither overestimated nor underestimated. That is the reason why natural radioactivity must be measured and monitored. More detailed environmental investigations organized by the Slovak Environment Ministry are currently under way in Slovakia's respective regions.

10. LITERATÚRA / REFERENCES

- BETECHTIN, A. G., 1950: *Mineralogija*, Moskva.
- BETECHTIN, A.G., 1955: *Mineralogija*, Moskva.
- ČÍŽEK, P. – SMOLÁROVÁ, H., 1992: *Odvodené mapy radónového rizika Slovenska v mierke 1:200 000*. Manuskript. Archív URANPRES, Spišská Nová Ves.
- DANIEL, J. – KUCHARIČ, L., 1977: *Rádiogeochemická charakteristika niektorých ryolitov stredoslovenských neovulkanitov podľa výsledkov terénnej gamaspektrometrie*. Mineralia Slovaca 9, s. 133–146.
- DANIEL, J. et al., 1993: *Geofaktory životného prostredia – prirodzená rádioaktivita. List 36 Banská Bystrica*. Manuskript. Archív URANPRES, Spišská Nová Ves.
- FERRONSKIJ, V. I. – DUBINČUK, V. T. – POLAKOV, V. A. – SELECKIJ J. B. – KUPCOV, V. M. – JAKUBOVSKIJ, A. V., 1975: *Prirodnýje izotopy gidrosfery*. Moskva, Izdatel'stvo Nedra, s. 147–184.
- FODERARO, 1968: – In: *Engineering Compendium on Radiation Shielding* (R. G. JAEGER, Editor-in-Chief). Vol. 1. Berlin – Heidelberg – New York, Springer Verlag 1968, s. 124.
- FRANKO, O. – GAZDA, S. – MICHALÍČEK, M., 1975: *Tvorba a klasifikácia minerálnych vôd západných Karpát*. Bratislava, Geologický ústav Dionýza Štúra, s. 107–188.
- GAZDA, S., 1980: *Hydrogeochemické pomery Záhorskej nížiny. Západné Karpaty, séria hydrogeológia a inž. geológia 2*, Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, s. 127–192
- GELLERMAN, R. – FRÖHLICH, K., 1984: *Nutzung der Uraniumiso tope ²³⁴U und ²³⁸U in der Hydrologie und Hydrogeologie*. Leipzig, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie.
- GROSS, P. – KÖHLER, E. – SAMUEL, O., 1984: *Litostratigrafická klasifikácia vnútrokarpatského paleogénneho sedimentačného cyklu*. Geologické práce. Správy 81, Geologický ústav Dionýza Štúra, s. 103–117
- GROSS, P. – KÖHLER, E. – HAŠKO, J. – HALOUZKA, R. – MELLO, J. – NAGY, A., 1993: *Geológia južnej a východnej Oravy*. Bratislava, Geologický ústav Dionýza Štúra, s. 206–212.
- GUDZENKO, V. V. – DUBINČUK, V. T., 1987: *Izotopy radia i radon v prírodných vodach*. Moskva, Izdatel'stvo Nauka.
- HYNIE, O., 1963: *Hydrogeologie ČSSR. Minerální vody*. Praha, Vydavatelství ČSAV.
- KODĚRA, M. – ĎUROVIČ, S. – MASÁR, I., 1977: *Slovenské názvy minerálov*, Bratislava.
- KODĚRA, M. a kol., 1989: *Topografická mineralógia Slovenska 1.–3. diel*. Bratislava.
- LANGE, O. K., 1969: *Gidrogeologija*. Moskva, Izdatel'stvo Vyššaja škola, s. 268–275.
- LISICIN, A. K., 1975: *Uranonosnosť podzemných vod. Materialy Pevogo vse-sojuznogo radiogeochemičeskogo soveščanija Radioaktivnyje elementy v gorných porodach*. Novosibirsk, Izdatel'stvo Nauka, s. 216–223.
- LØVBORG, L., 1984: *The calibration of portable and airborne gamma-ray spectrometers-theory, problems and facilities*. Riso-M-2456, Roskilde.
- MARSINA, K., 1995: *Geochemický atlas Slovenskej republiky – horniny*. Manuskript. Archív Geologickej služby SR Bratislava
- MATOLÍN, M., 1976: *Rádioaktivita hornín Západných Karpát*. Univerzita Karlova Praha.
- MATOLÍN, M., 1994: *Stanovenie radónového rizika geologického podložia*. Manuskript. Archív URANPRES Spišská Nová Ves.
- MURITH, C. – GURTNER, A., 1990–93: *Mesures in situ et irradiation externe*. In: *Environmental Radioactivity and Radiation Exposure in Switzerland. Annual Reports 1990, 1991, 1992, 1993*, Bern, BAG-Bericht, Bundesamt für Gesundheitswesen, Abteilung Strahlenschutz.
- POLANSKI, A. – SMULIKOWSKI, K., 1978: *Geochémia*. Slovenské pedagogické nakladateľstvo.
- RAPANT, S. – VRANA, K. – BODIŠ, D., 1996: *Geochemický atlas Slovenskej republiky. Časť I – podzemné vody*. Manuskript. Archív Geologickej služby SR Bratislava
- ROJKOVIČ, I. et al., 1989: *Mineralogicko-geochemická charakteristika uránovej mineralizácie v perme Gemerika. Lokalita: Gočaltovo, N. Huta, Košická Belá, Košické Hámre, Kobeliarovo, Krompachy, Matejovce, Markušovská dolina, Petrova hora, Poráč, Stratená, Slivníky, Šafárka, Vojtechova osada, Závaдка, Jahodná*. Archív URANPRES, Spišská Nová Ves.
- ROJKOVIČ, I., 1993: *Mineralogicko-geochemická charakteristika uránovej mineralizácie v perme chočskej jednoty v oblasti Vikartovského chrbta*. Archív URANPRES, Spišská Nová Ves.
- ROJKOVIČ I., NOVOTNÝ L., 1993: *Uránová mineralizácia v tatriku a veporiku*. Mineralia slovaca, 25 (1993), 341–348
- ROJKOVIČ I., NOVOTNÝ L., 1993: *Uránové zrudnenie v gemeriku*. Mineralia slovaca, 25 (1993), 368–370
- ROJKOVIČ I., NOVOTNÝ L., HÁBER M., 1993: *Stratiform and vein U, Mo and Cu mineralization in the Novoveská Huta area, CSFR*. Mineralium Deposita, 28 (1993), 58–65
- SERĎUKOVA, A. S. – KAPITANOV, J. T., 1975: *Izotopy radona i produkty ich raspada v prirode*. Izd. 2-e. Moskva, Atomizdat.
- SLAVÍK, F. – NOVÁK, J. – KOKTA, J., 1974: *Mineralogie*. Praha.
- SMOLÁROVÁ, H. – ČÍŽEK, P., 1993: *Geologické faktory životného prostredia – prírodná rádioaktivita*. Manuskript. Archív GS SR Bratislava.
- SYROMJATNIKOV, N. G. – IVANOVA, Z. I. – TROFIMOVA, L. A., 1976: *Radioaktivnije elementy kak geochimičeskije indikatory porodo i rudoobrazovanija*. Moskva, Izdatel'stvo Atomizdat.
- ŠEDA, J. et al., 1983: *Dozimetrie ionizujícího záření*. Praha, SNTL.
- UNSCEAR, 1988: *Exposures From Natural Sources of Radiation, Proc. of the 37th session of UNSCEAR, Vienna 6–7 June 1988, Annex A, UNA/AC 82/R 466. 0*
- VRANA, K. et al., 1991: *Geochemický atlas ČSFR v mierke 1 : 200 000*