

Stavební materiály jako zdroj záření gama

Bc. Milan Plachtovič

Diplomová práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav elektroniky a měření

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Milan Plachtovič
Osobní číslo:	A22584
Studijní program:	N1032A020003 Bezpečnostní technologie, systémy a management
Specializace:	Bezpečnostní technologie
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Stavební materiály jako zdroj záření gama.
Téma práce anglicky:	Building Materials as a Source of Gamma Radiation

Zásady pro vypracování

1. Seznamte se s metodami měření aktivity radioaktivních vzorků.
2. Vyberte vhodné stavební materiály pro analýzu, a to jak současné, tak staršího data výroby, ale vždy s dostupnou identifikací.
3. V laboratorii FAI změřte specifickou aktivitu vzorků materiálů.
4. Výsledky porovnejte s publikovanými daty a odhadněte možný vliv na životní prostředí obyvatelů domu.
5. Vypracujte návod na laboratorní úlohu pro studenty včetně vzorového protokolu.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Smith W.F. eds.: *Experimental Physics, Principles and Practice for the Laboratory*, CRC Press 2020.
2. Melissinos A.C., Napolitano J.: *Experiments in Modern Physics* 2nd ed., Academic Press 2003.
3. *Vyhláška ze dne 14.prosince 2016 o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje*, Sbírka zákonů č.422/2016.
4. Jiránek M., Honzíková M.: *Stavební materiály jako zdroj radonu a gama záření*, Státní úřad pro jadernou bezpečnost a Stavební fakulta ČVUT v Praze, 2017.
5. Firemní literatura fy GEORADIS, *GT-40/GT-40S Multipurpose Gamma Center, User's Guide*, Rev.1.7 -November 2016.

Vedoucí diplomové práce: **doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.**
Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce: **29. listopadu 2024**

Termín odevzdání diplomové práce: **30. května 2025**

doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan



Ing. Milan Navrátil, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 29. listopadu 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení diplomové práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Stavební materiály typu cihel, pórobetonové tvárnice, šterku atp. obsahují přírodní radionuklidy, především členy uran-radiové a thoriové rozpadové řady. Poločasy rozpadu některých radionuklidů jsou velmi dlouhé, a tedy stavební materiál se stává stálým zdrojem ozáření gama a vzniku radonu, které přispívají k celkové dávce tvořené zevním ozářením gama zářením a vnitřním ozářením radonem. Cílem práce bude seznámit se s metodami měření specifických aktivit materiálů obecně a posléze aplikace jedné metody, na kterou máme laboratorní vybavení, pro zjišťování specifických aktivit vybraných stavebních materiálů současných, případně i dříve používaných, kdy kontrola v této oblasti nebyla tak přísná.

Klíčová slova: radionuklidy, radon, specifická aktivita

ABSTRACT

Building materials such as bricks, aerated concrete blocks, gravel, etc., contain natural radionuclides, primarily members of the uranium-radium and thorium decay series. The half-lives of some radionuclides are very long, making building materials a constant source of gamma radiation and radon emission, which contribute to the overall dose from external gamma radiation and internal radon exposure. The aim of this work is to familiarize with the methods of measuring the specific activities of materials in general and then apply one of the methods, for which we have laboratory equipment, to determine the specific activities of selected contemporary and potentially older building materials, where control in this area was not as strict.

Keywords: radionuclides, radon, specific activity

Děkuji panu doc. RNDr. Vojtěchu Křesálkovi, CSc. za odborné vedení, pomoc a rady při zpracování této práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 RADIACE	13
1.1 ALFA ČÁSTICE	13
1.2 BETA ČÁSTICE	13
1.3 GAMA ZÁŘENÍ	14
1.4 RENTGENOVÉ ZÁŘENÍ.....	14
1.5 OCHRANA PŘED IONIZUJÍCÍM ZÁŘENÍ	14
1.6 RADON	15
1.7 OZÁŘENÍ Z PŘÍRODNÍCH ZDROJŮ ZÁŘENÍ A UMĚLÝCH ZDROJŮ ZÁŘENÍ	16
1.8 DÁVKOVÝ PŘÍKON V ČR	18
1.9 ROZPADOVÝ ZÁKON	19
2 DETEKTORY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ.....	21
2.1 GEIGER–MÜLLEROVŮV ČÍTAČ	21
2.2 SCINTILAČNÍ DETEKTORY	23
2.2.1 Organické scintilační detektory.....	24
2.2.2 Anorganické scintilační detektory.....	24
3 VÍCEÚČELOVÝ SPEKTROMETR GAMA GT-40 FY GEORADIS	26
3.1.1 Průzkumný režim	27
3.1.2 Assay režim.....	28
II PRAKTICKÁ ČÁST	30
4 STAVEBNÍ MATERIÁLY.....	31
4.1 BROUŠENÁ CIHLA HELUZ	31
4.2 PÓROBETONOVÉ TVÁRNICE YTONG.....	31
4.3 ŠKVÁRA	32
4.4 PÍSEK.....	33
4.5 ŠTĚRK	33
4.6 SÁDRA.....	34
4.7 MINERÁLNÍ VATA	35
5 MĚŘENÍ RADIACE STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ.....	37
5.1 NASTAVENÍ MĚŘENÍ A PŘÍPRAVA VZORKOVÉHO MATERIÁLU	37
5.1.1 Laboratorní váha Entris 822 – 1S.....	38
5.1.2 Olověná nádoba.....	38
5.2 NAMĚŘENÉ HODNOTY	39

5.3	VÝPOČET SPECIFICKÉ AKTIVITY JEDNOTLIVÝCH MATERIÁLŮ	40
5.4	VYHODNOCENÍ	44
6	POROVNÁNÍ S PUBLIKOVATELNÝMI VÝSLEDKY	46
6.1	SROVNÁNÍ	46
6.2	DŮSLEDKY	48
ZÁVĚR.....		50
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		51
SEZNAM OBRÁZKŮ		54
SEZNAM TABULEK.....		55
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		56
SEZNAM PŘÍLOH.....		57

ÚVOD

Práce je zaměřená na měření radioaktivity stavebních materiálů. Radioaktivita je obecně vnímána jako negativní jev. Obavy veřejnosti se dnes soustředí hlavně na umělé zdroje záření, zejména na jaderná zařízení. Většina lidí si však neuvědomuje, že největší část ozáření pochází z přírodních zdrojů. Až polovina dávky ozáření, kterému je člověk vystaven, pochází z inertního plynu radonu, který je pro obyvatele velmi nebezpečný kvůli jeho relativně krátké době rozpadu a emisi alfa částic. Tyto částice mají velkou energii, které mohou poškodit buněčné struktury v plicích. Radon se řadí mezi hlavní rizika, které zvyšují vznik rakoviny plic.

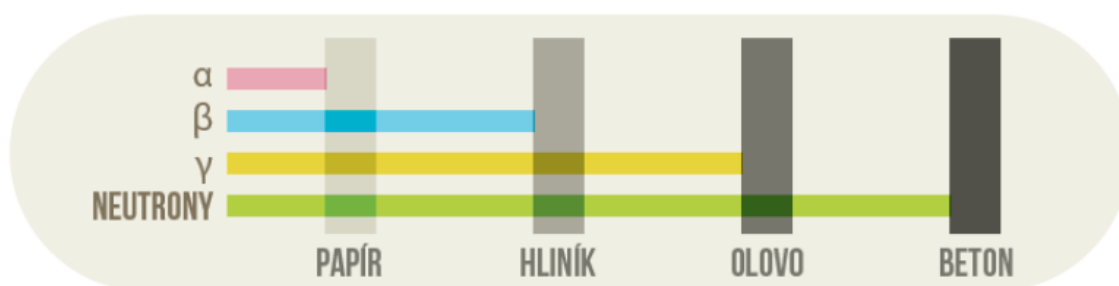
K měření specifické aktivity stavebních materiálů se nejčastěji používají dva typy detektorů ionizujícího záření, jimiž jsou Geigerův-Müllerův čítač a scintilační detektory. Scintilační detektory se dále dělí na organické a anorganické. Nejznámější použití Geigerův-Müllerova čítače je u dozimetrů. Měřicí přístroj, který bude při měření specifické aktivity používán, je víceúčelový spektrometr gama GT-40 fy GEORADIS, který se řadí mezi anorganické scintilační detektory. Tyto detektory se vyznačují vysokou účinností při detekci vysokoenergetického záření gama.

Zvolené stavební materiály pro měření jsou cihly, pórobetonové tvárnice, minerální vata, škvára, šterk, písek a sádra. U těchto materiálů zjistíme jejich specifickou aktivitu a poté je porovnáme s publikovatelnými výsledky.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 RADIACE

Radioaktivita je samočinné vysílání ionizujícího záření nebo částic v důsledku rozpadu nebo deexcitace nestabilních jader. Tyto jaderné procesy obvykle probíhají na energetické úrovni v řádech MeV (miliony elektronvoltů). Pojem radiace je často vnímán jako něco nebezpečného. Ve skutečnosti jsou však lidé běžně vystavováni nízkým úrovním radiace z přírodních zdrojů. Tyto zdroje zahrnují například horniny, kosmické záření nebo určité druhy potravin, jako jsou banány.[1] [2] [3]



Obrázek 1 Pronikavost radioaktivního záření [4]

Tři nejčastější typy radioaktivních emisí jsou alfa částice, beta částice a gama záření. Aktivita radioaktivní látky je definována jako počet radioaktivních přeměn, které probíhají v látce za jednotku času. Jednotka aktivity je becquerel (Bq), což znamená jednu radioaktivní přeměnu za sekundu. [1] [2] [3]

1.1 Alfa částice

Alfa částice (α) je v podstatě jádro atomu hélia (4He) složené z dvou protonů a dvou neutronů, které ztratilo svůj elektronový obal. Obvykle se nachází u prvků s vysokým atomovým číslem. Částice alfa nejsou moc průbojné a mohou být zastaveny několika centimetry vzduchu nebo listu papíru. Mohou však být velmi nebezpečné po vdechnutí, kvůli velkému množství energie, jenž se uvolní do citlivé tkáně po krátkou dobu na malé ploše. [1] [2] [3]

1.2 Beta částice

Beta částice (β) jsou vysokoenergetické elektrony nebo pozitrony emitované během radioaktivního rozpadu jádra. Jsou schopny proniknout několik milimetrů do lidského těla a mohou způsobit poškození buněk a tkání. Pro zastavení těchto částic je potřeba plastových, kovových nebo hliníkových plátů. [1] [2] [3]

1.3 Gama záření

Gama záření (γ) se vyznačuje uvolněním vysokoenergetických fotonů při deexcitaci energetických jader. Tyto částice elektromagnetického záření jsou více škodlivé než rentgenové paprsky a mají větší schopnost pronikání materiály než beta částice. Pro účinné zastavení gama záření je nezbytné použít materiály jako olovo, beton nebo další kovy, jako je například ocel. [1] [2] [3]

1.4 Rentgenové záření

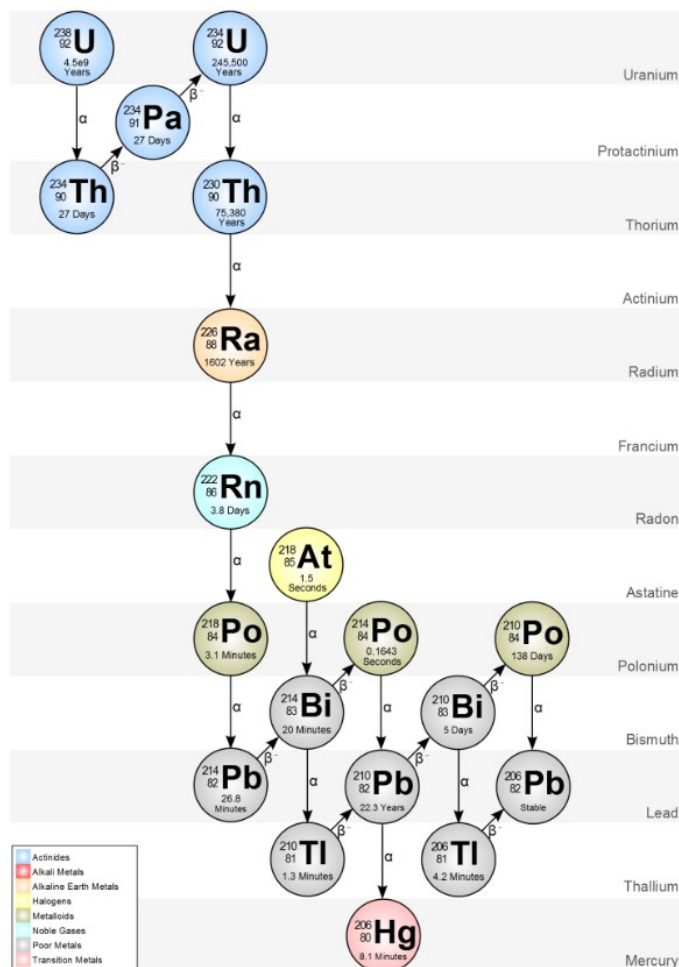
Rentgenové záření (X-ray) je typ elektromagnetického záření, které se vyznačuje velmi krátkou vlnovou délkou, která se pohybuje v rozmezí 10^{-12} až 10^{-8} m (1 pm až 10 nm). Pro srovnání, vlnová délka viditelného světla je přibližně mezi 400 nm a 700 nm. Rentgenové záření má vysokou průchodnost různými materiály i lidským tělem. Tato schopnost je závislá na energii a frekvenci rentgenového záření, čím vyšší je energie záření, tím hlouběji pronikne do materiálů. Největší využití rentgenového záření je v medicíně, kde se používá k diagnostice a léčbě. Pomocí rentgenových snímků lze detailně zobrazit kosti, orgány a další vnitřní struktury těla. Pro odstínění rentgenového záření a minimalizaci jeho negativních účinků jsou nejčastěji používány materiály s vysokou hustotou a atomovým číslem, které účinně absorbují ionizující záření. Mezi tyto materiály se řadí olovo, beton a ocel. [2] [5] [6]

1.5 Ochrana před ionizujícím zářením

Vyhláška č. 422/2016 Sb. je právním předpisem v České republice, který stanovuje pravidla a požadavky na ochranu před ionizujícím zářením. Tento předpis upravuje ochranu osob, pracovníků a životního prostředí před negativními účinky ionizujícího záření v různých oblastech, jako jsou lékařská diagnostika a léčba, průmyslové procesy, jaderná energetika a výzkum. Vyhláška upravuje například limitní hodnoty expozice a povinnosti provozovatelů a pracovníků v oblasti ochrany před zářením. Dále se zaměřuje na monitorování expozice a dohled nad dodržováním předpisů. Jejím cílem je zajistit bezpečnost a ochranu všech osob před škodlivými účinky ionizujícího záření a minimalizovat rizika spojená s jeho expozicí. [7]

1.6 Radon

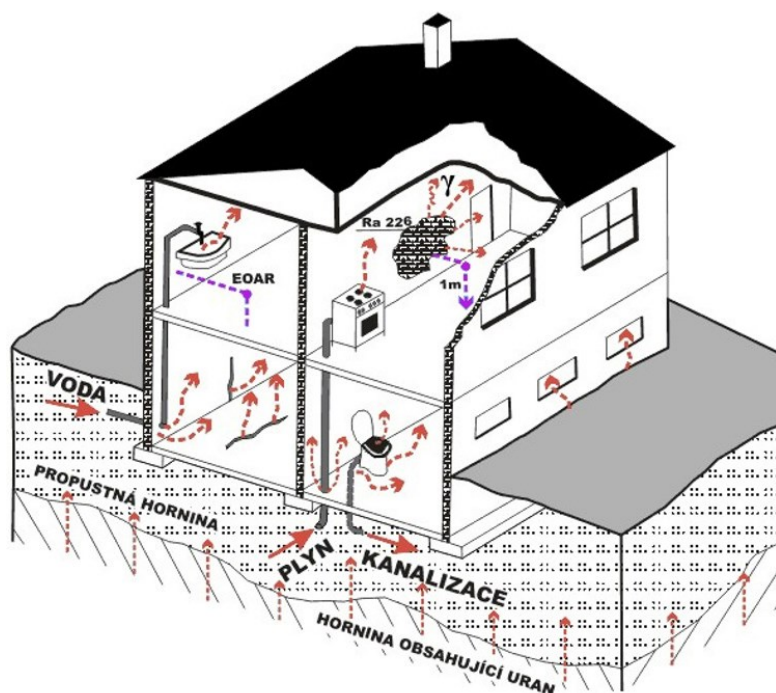
Radon je členem skupiny vzácných plynů a je nejtěžším přírodním plynem. Poločas rozpadu radonu je 3,825 dnů, poté se mění na další radioaktivní prvky (izotopy polonia, olova a bismutu). Rozpad uranu-238 je zobrazen na (obrázek 2). Radon vzniká postupným rozpadem uranu, který se v různém množství nachází v různých částech zemské kůry. [8] [9] [10]



Obrázek 2 Rozpad uranu-238 na další radioaktivní látky [8]

Po rozpadu uranu a poté thoria vzniká radon, který je inertní plyn. Tato vlastnost je velmi nebezpečná, jelikož radon nepodléhá chemickým reakcím. Proto se může volně šířit, aniž by reagoval s jinými prvky. Za pomoci podzemních vod a propustných hornin se dostává na povrch a do budov. Důležité je zjistit jaké podloží se na daném území nachází. Propustné horniny jsou například písek, štěrk, pískovec a vápenec. Tyto horniny umožňují průchod vody a jiných kapalin a některých plynů. Nepropustné horniny jsou například jíla, jílovec, žula a mramor. Tyto horniny brání průchodu vody a jiných kapalin nebo plynů. Radon se do budov nejčastěji dostává mezerami kolem potrubí nebo trhlinami v podlaze a

ve stěnách viz. (obrázek 3). Aby se zabránilo pronikání radonu do obytných prostor, je nutné izolovat základy a stěny budovy. Hlavním problémem při ochraně obytných prostor před radonem je správné utěsnění potrubí pro vodu, plyn a kanalizaci. Tato potrubí musí být pečlivě izolována, aby se zabránilo úniku radonu skrze jejich prostupy ve stavebních konstrukcích. Jako izolace proti radonu se používají různé druhy materiálů a technologií. Patří mezi ně například asfaltové pásy (včetně samolepicích asfaltových pásů) nebo syntetické a polymerní fólie. [8] [9] [10]



Obrázek 3 Zdroje radonu v obytné budově [9]

Radon je bezbarvý, bez chuti a bez zápachu. Bez specializovaných detekčních zařízení není možné detekovat koncentraci radonu, kvůli jeho vlastnostem. Radon se přeměňuje na pevné prvky emisí alfa částic. Alfa částice mohou poškodit buněčné struktury v plicích, kvůli velkému množství energie, jenž při rozpadu vzniká. Zde hrozí riziko vážných zdravotních následků po vdechnutí, jako je například rakovina plic. [8] [9] [10]

1.7 Ozáření z přírodních zdrojů záření a umělých zdrojů záření

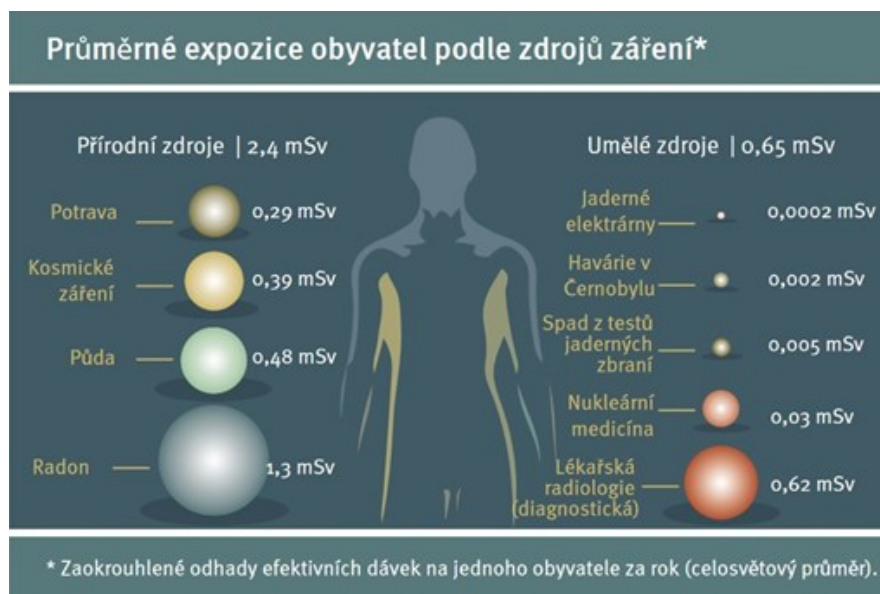
Dávku ozáření, kterou lidé dostávají, můžeme rozdělit na umělou a přírodní. Přírodní ozáření můžeme rozdělit do dvou kategorií podle způsobu, jakým vzniká na kosmické záření a přírodní radionuklidy. [11] [12] [13]

Kosmické záření: Toto záření vzniká mimo naši planetu a pochází ze Slunce nebo vesmíru. Je to proud energetických částic, které dopadají na Zemi. Část tohoto záření dopadá na povrch Země. Dávka záření se může lišit v závislosti na nadmořské výšce a geografické polohy na Zemi. Přírodními radionuklidy můžeme rozdělit do tří kategorií podle jejich původu: kosmogenní radionuklidy jsou sekundární složky, které vznikly jadernou reakcí při interakci kosmického záření se stabilními prvky v atmosféře a na povrchu Země. Původní primordiální radionuklidy, jako například uran-238, uran-235 nebo thorium-232, vznikly v raných stádiích vývoje vesmíru. Díky jejich velmi dlouhému poločasu rozpadu se dodnes vyskytují na Zemi ve významném množství. Rozpadem primordiálních radionuklidů vznikají sekundární prvky. Rozpad uranu-238 na tyto sekundární prvky je zobrazen na (obrázek 2). [11] [12] [13]



Obrázek 4 Rozdělení dávek obyvatelstva [12]

Na (obrázek 4) je patrné, že největší podíl na dávce ozáření, kterou člověk přijme, mají přírodní zdroje. Téměř 50 % dávky záření, kterou průměrný člověk obdrží, je způsobeno přítomností radonu uvnitř budov. Umělé zdroje tvoří asi necelých 12 % celkového ozáření. [11] [12] [13]

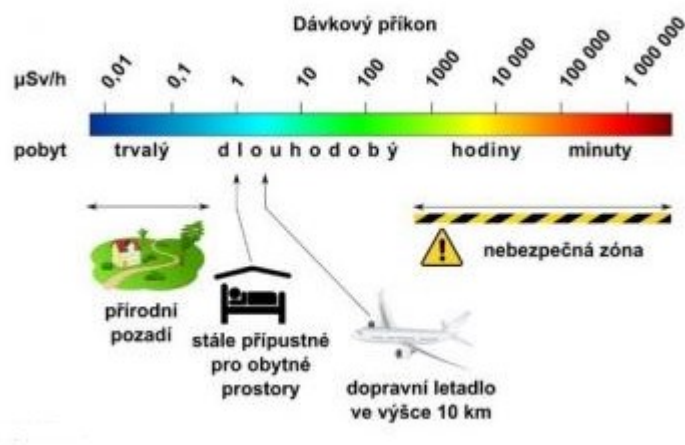


Obrázek 5 Průměrná expozice obyvatel podle zdrojů záření [12]

Průměrná expozice obyvatel podle zdrojů záření je zobrazena na (obrázek 5). Z obrázku je zřejmé, že přírodní zdroje mají daleko větší dávkový příkon než zdroje umělé. „Některé složky přírodního záření lze do určité míry regulovat, například pomocí protiradonových opatření. Ta se však většinou provádějí pouze u novostaveb, protože asfaltové pásy nelze dodatečně instalovat. Dalším způsobem může být konzumace potravin s nízkým obsahem radioaktivity a vyhýbání se těm, které ji mají vyšší. Příkladem jsou banány, jejichž aktivita činí přibližně 0,1 mSv. Tato hodnota je způsobena přítomností draslíku-40, což je přirozeně se vyskytující radioizotop draslíku. [11] [12] [13]

1.8 Dávkový příkon v ČR

Dávkový příkon je míra, jakou radiace dopadá na materiál nebo tkáň za určité časového období. Pro živé organismy se uvádí jednotky Sievert za hodinu (Sv/h), nebo také (J/kg)/s1. [14] [15]

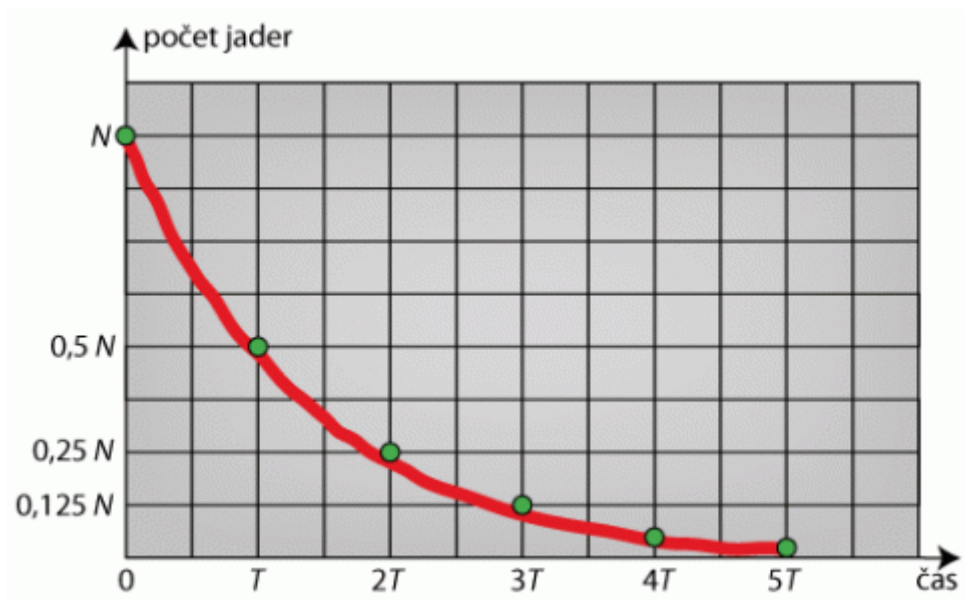


Obrázek 6 Dávkový příkon [15]

Průměrné radiační pozadí v České republice je do $0.2 \mu\text{Sv/h}$. Podle české legislativy je $1 \mu\text{Sv/h}$ stále přípustný pro obytné prostory, což je pětikrát vyšší hodnota než přírodní pozadí. Dávkový příkon ionizujícího záření při letu dopravním letadlem ve výšce 10 kilometrů nad mořskou hladinou dosahuje až $5 \mu\text{Sv/h}$. Dávkový příkon je zobrazen na (obrázek 6). [14] [15]

1.9 Rozpadový zákon

Rozpadový zákon nám říká, že za určitou dobu (T) dojde k jaderné přeměně poloviny jader radionuklidu obsažených v prvku ($0.5N$), potom za stejné množství času ($2T$) se přemění další polovina jader ($0.25N$). Tento proces pokračuje, dokud se prvek úplně nepřemění. Poločas rozpadu je u každého prvku jiný, mohou to být sekundy, ale i miliony let. Poločas rozpadu uranu-238 je zobrazen na (obrázek 7). [16]



Obrázek 7 Rozpadový zákon [16]

Poločasu rozpadu lze vypočítat podle vztahu (1), kde T je poločas rozpadu a λ je rychlost rozpadu (tzv. radioaktivní konstanta) [16]

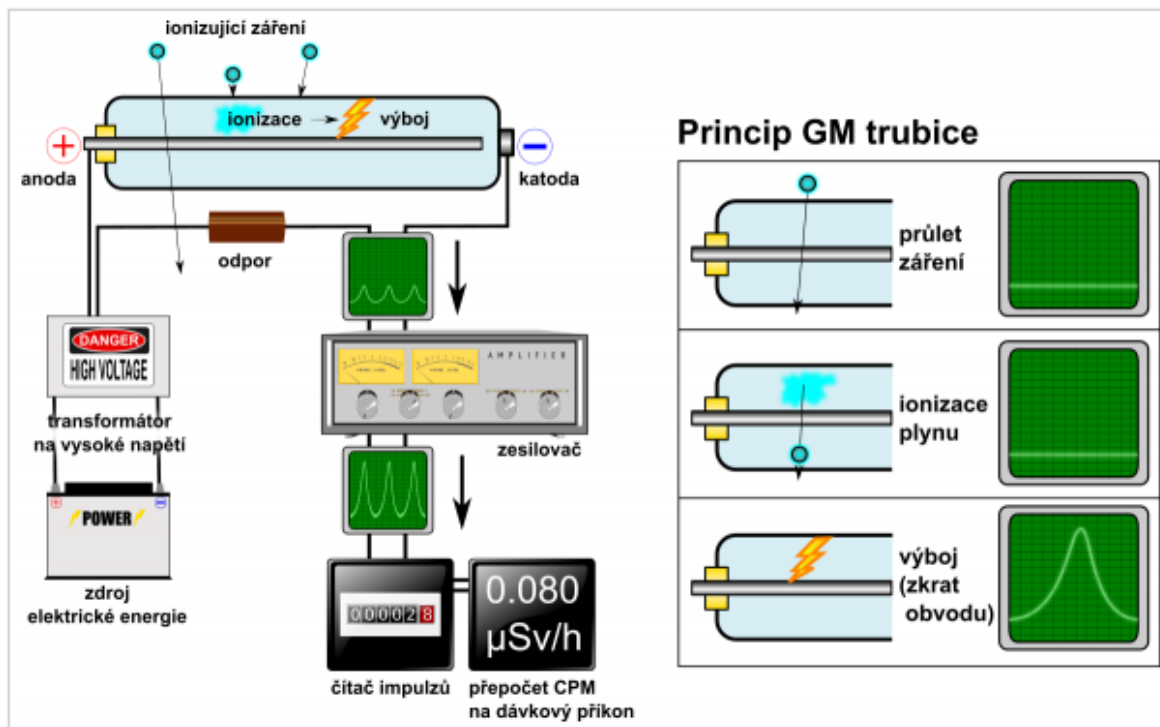
$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln(2)}{\lambda} \quad (1)$$

2 DETEKTORY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

V této kapitole se zaměříme na různé detektory ionizujícího záření. Byly zvoleny dva detektory ionizujícího záření. První typem detektoru ionizujícího záření je Geigerův-Müllerův čítač a druhá, která bude využita v reálném měření, jsou scintilační detektory. Tyto metody zahrnují použití detektorů, spektrometrů, nebo dalších zařízení, která jsou schopna zachytit a analyzovat ionizující záření. [1] [2] [3]

2.1 Geiger–Müllerův čítač

Geigerův-Müllerův čítač (GM) je zařízení navržené pro detekci ionizujícího záření. Vyznačuje se jednoduchou konstrukcí a vysokou spolehlivostí při provozu. Základním prvkem GM trubice je válcovitý obal, vyrobený z kovu nebo skla opatřeného vodivou vrstvou, který slouží jako katoda. Uprostřed této trubice je umístěn tenký kovový vodič, který slouží jako anoda. Trubice bývá zpravidla naplněná inertním plynem, jako například argon, neon či helium. Taktéž obsahuje příměs zhášecího plynu, jako je etanol nebo halogen, která zajišťuje stabilní chod přístroje. Mezi anodou a katodou je udržováno vysoké napětí (obvykle v rozmezí 400–900 V), které samo o sobě není dostatečné k vyvolání výboje. Jakmile však do trubice pronikne částice ionizujícího záření, ionizuje plyn v trubici, což vede k uvolnění volných elektronů. Tyto elektrony jsou urychlovány směrem k anodě a při své cestě ionizují další molekuly plynu. Tento proces se rychle zesiluje a vytváří lavinovitou ionizaci, která vyústí v intenzivní elektrický výboj. Tento výboj je zaznamenán jako elektrický impuls, který odpovídá detekci jedné částice záření. Celý proces má konečný stav, kde lavinový efekt ustane to zajišťuje tzv. zhášecím mechanismem. Tento mechanismus může být realizován buď pomocí přídavného odporu, nebo chemicky prostřednictvím zhášecího plynu, jenž absorbuje zbývající energii výboje. Pokud by k tomuto zhášení nedošlo, trubice by se stala dočasně necitlivou (tzv. mrtvá doba) nebo by mohl pokračovat trvalý výboj. [2] [3] [17]



Obrázek 8 Geigerův–Müllerova detektor [17]

GM trubice umožňuje detekci alfa, beta a gama záření, přičemž její citlivost závisí na konstrukčním typu. Alfa částice jsou detekovány pouze tehdy, pokud mají přímý přístup do detekčního prostoru, například skrze velmi tenkou slídu. Gama záření, vzhledem k nižší pravděpodobnosti interakce s plynem, je detekováno s nižší účinností. [2] [3] [17]

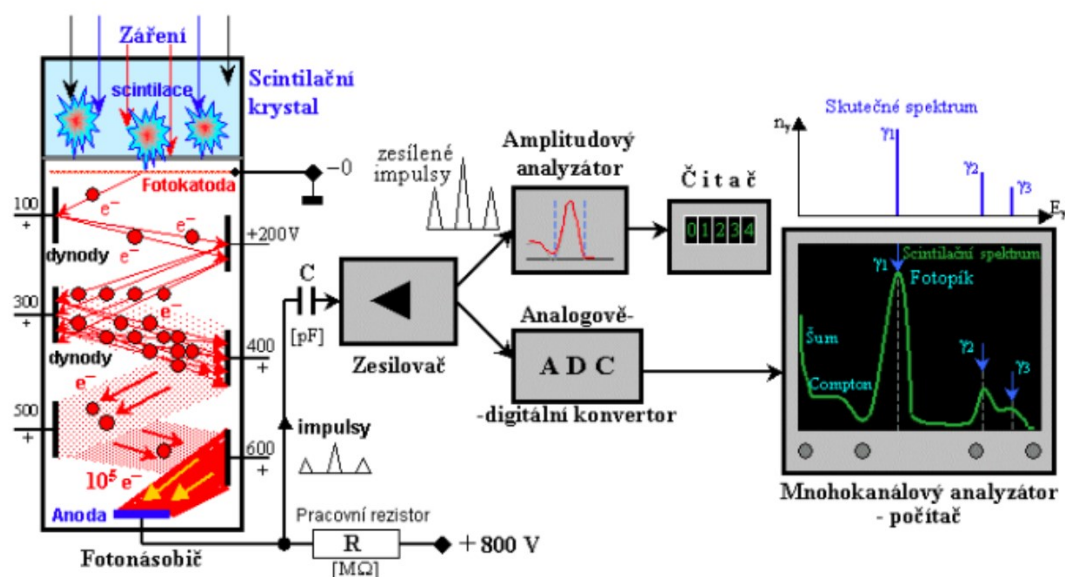


Obrázek 9 Dozimetr NR-850 [32]

Hlavními výhodami GM čítače jsou jeho jednoduchost, nízké náklady a spolehlivost při detekci záření. Mezi jeho hlavní nevýhody patří nemožnost měřit energii nebo určovat druh detekované částice, protože každý výboj má téměř stejnou amplitudu, bez ohledu na energii původního záření. Geiger–Müllerův čítač nachází nejčastější uplatnění v přenosných dozimetrických přístrojích (Obrázek 9), které slouží k měření intenzity ionizujícího záření a odhadu absorbované dávky v prostředí či u jednotlivců. [1] [2] [3]

2.2 Scintilační detektory

Scintilační detektory přeměňují energii ionizujícího záření, kterou absorbovaly, na energii fotonů. Pracují zpravidla ve viditelné krátkovlnné nebo ultrafialové oblasti spektra. Hlavní výhodou oproti Geiger–Müllerovy trubice je, že tyto detektory umožňují kvantifikaci energie částic. Scintilační detektor poskytuje výstupní signál, jehož další zpracování obvykle nepotřebuje použití velmi citlivých zesilovačů. Scintilační detektory se nejčastěji rozdělují na dva typy: organické a anorganické. [1] [2] [3]



Obrázek 10 Scintilační detektor [19]

Princip činnosti fotonásobiče je následující: dopadající fotony zasáhnou fotokatodu, na které dochází k uvolnění fotoelektronů díky fotoelektrickému jevu. Tyto elektrony jsou následně směřovány pomocí usměrňovacích elektrod na první dynodu. Po nárazu na její povrch dojde k uvolnění několika sekundárních elektronů. Tento zesilovací proces se opakuje na každé další dynodě, přičemž se počet elektronů v každém stupni výrazně zvyšuje. Výsledkem je značné zesílení původního signálu. Takto vzniklý proud elektronů je nakonec

zachycen anodou, z níž je odebrán jako měřitelný elektrický signál pro další zpracování. Celý proces je zobrazen na (Obrázek 10). [2] [3] [19]

2.2.1 Organické scintilační detektory

Organické scintilační detektory jsou zařízení, která využívají organické látky schopné emitovat světlo (scintilace) při průchodu ionizujícího záření. Tyto detektory obvykle obsahují organický scintilátor, který může mít podobu pevné látky, kapaliny nebo plastu. Tento scintilátor je propojen s fotonásobičem, jenž převádí vzniklé světelné záblesky na měřitelný elektrický signál. [1] [2] [3]

Organické scintilační detektory se vyznačují krátkým dosvitem a rychlou odezvou, což je výhodné při měření rychlých procesů a také při měření velkého množství částic. Používají se pro zachytávání alfa a beta částic, protože mají nízké atomové číslo. Pro detekci vysokoenergetického gama záření mají tyto detektory nižší účinnost. Organické scintilační detektory můžeme podle složení a struktury rozdělit na plastické scintilátory a kapalné scintilátory. Plastické scintilátory jsou pevné organické detektory vyrobené z polymerní hmoty, do které jsou přimíchány fluorescenční látky schopné emitovat světlo při interakci s ionizujícím zářením. Kapalné scintilátory jsou tvořeny roztokem organických scintilačních látek rozpuštěných v organickém rozpouštědle, často toluenu nebo xylenu. Používají se především tam, kde je potřeba měřit radioaktivitu v tekutých vzorcích. Mezi hlavní přednosti těchto detektorů patří jejich cenová dostupnost, jednoduchý výrobní proces a vysoká mechanická odolnost. Naopak jejich nevýhodou je nižší intenzita vyzařovaného světla ve srovnání s anorganickými scintilátory. [1] [2] [3]

2.2.2 Anorganické scintilační detektory

Anorganické scintilační detektory jsou zařízení, která využívají anorganické materiály k detekci ionizujícího záření prostřednictvím světelných záblesků (scintilace). Anorganické scintilační detektory se nejčastěji používají pro detekci a spektrometrii rentgenového záření a gama záření. Vyznačují se vysokým atomovým číslem, které zajišťuje vysokou účinnost při pohlcování těchto typů záření. Nevýhodou těchto scintilátorů je jejich větší hmotnost, křehkost a náročnější proces výroby ve srovnání s organickými scintilátory. Anorganické scintilační detektory se dělí na čisté monokrystaly (neaktivované), monokrystaly aktivované příměsí a samoaktivované nebo aktivované polykrystalické látky. [1] [2] [3]

Anorganické scintilátory se obvykle vyrábějí z materiálů, jako je sodný jodid (NaI), lithium jodid (LiI), cesium jodid (CsI) a další. Nejznámějším příkladem je sodný jodid dopovaný thaliem (NaI(Tl)), který je široce využíván pro detekci gama záření díky své vysoké detekční účinnosti a schopnosti generovat silné světelné záblesky. Anorganické scintilační detektory jsou klíčové v oblasti gama spektroskopie, kde se využívají k analýze radioaktivních vzorků. Dále nacházejí uplatnění v průmyslu, medicíně a při monitorování radiačního prostředí. Anorganický scintilační detektor je použit ve víceúčelovém spektrometru gama GT-40 fy GEORADIS. [1] [2] [3]

3 VÍCEÚČELOVÝ SPEKTROMETR GAMA GT-40 FY GEORADIS

GT-40 je nejmodernější přenosný spektrometr záření gama, který přináší širokou škálu nových funkcí pro terénní měření v oblastech geofyziky, geologie a monitorování životního prostředí. Tyto kompaktní přístroje s integrovaným GPS systémem umožňují uživatelům snadnou obsluhu v terénu. Díky vysoce citlivému detektoru a použití speciálních matematických metod poskytují spolehlivé výsledky v reálném čase. [20] [21]



Obrázek 11 Víceúčelový spektrometr gama GT-40 fy GEORADIS [20]

Detektor pokrývá rozsah citlivosti od 30 keV do 3 MeV. Citlivost pro 1 MBq izotopu Cs-137 ve vzdálenosti 1 m činí 386 impulsů za sekundu. GT-40 fy GEORADIS je vybaven velmi citlivým 3"x3" NaI(Tl) detektorem o objemu 345 cm³ s rozměry 76 × 76 mm a je osazen bialkalickým fotonásobičem. Je vybaven lineárním digitálním spektrometrem s 1024 kanály a taktem 40 MHz. [20] [21]

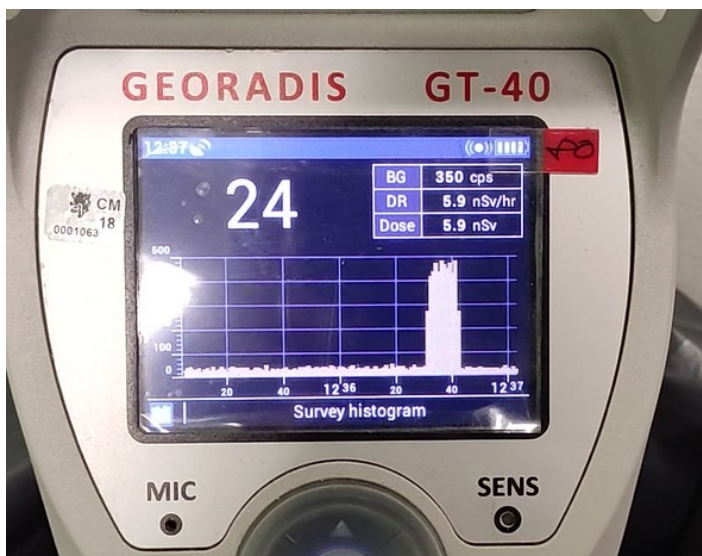


Obrázek 12 Kalibrační referenční bod přístroje [20]

Kalibrační referenční bod přístroje GT-40 fy GEORADIS se nachází 57 mm nad spodní stěnou, v ose zařízení, jak je znázorněno na (obrázek 12).

3.1.1 Průzkumný režim

Po zapnutí přístroje se zobrazí základní údaje a spektrometr se přepne do režimu průzkumu (Survey mode). Přístroj však ještě není po spuštění stabilizovaný. Tato stabilizace trvá 2 minuty, během nichž probíhá energetická kalibrace. Jakmile se zobrazí ikona stabilizace, je přístroj připraven k měření. [20] [21]



Obrázek 13 Průzkumný režim

V režimu průzkum (survey) přístroj zobrazuje aktuální hodnotu dávkového příkonu ve zvolených jednotkách. Zároveň je k dispozici součet absorbované dávky za dobu měření. Frekvenční graf pak poskytuje vizualizaci změn počtu registrovaných impulsů v reálném čase. [20] [21]

- BG – pozadí (background)
- DR – dávkový příkon (dose rate)
- Dose – akumulovaná dávka

3.1.2 Assay režim

Tento režim slouží k rychlému vyhodnocení složení gama spektra během měření v terénu. Pokud je aktivován a jeho parametry jsou předem nastaveny pomocí softwaru Geomon, přístroj automaticky analyzuje a zaznamená spektrum. Přístroj vypočítá a následně zobrazí přibližné aktivity zvolených prvků, jako jsou draslík (K), uran (U) a thorium (Th), jak je znázorněno na (obrázek 14). [20] [21]



Obrázek 14 Assay režim

Délka doby integrace i frekvence aktualizace datového výstupu se nastavují prostřednictvím softwaru Geomon. Doporučené nastavení parametrů je následující: [20] [21]

- Only_assay_buffer_length – doba sběru dat (300 s)
- Only_interval – četnost aktualizace zobrazení (např. každých 10 s)

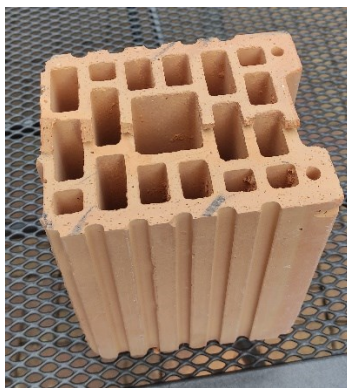
II PRAKTICKÁ ČÁST

4 STAVEBNÍ MATERIÁLY

Tato část se podrobně věnuje stavebním materiálům, které byly předmětem měření. Zaměříme se na jejich chemické a fyzikální složení, popis výrobního procesu a technologii zpracování. Součástí bude také specifikace místa, odkud byl každý vzorek odebrán, včetně případných okolností, které mohly ovlivnit jeho vlastnosti.

4.1 Broušená cihla Heluz

Broušená cihla Heluz představuje moderní stavební materiál, který je navržen pro přesné, rychlé a efektivní zdění s minimálními nároky na maltu díky broušeným styčným plochám. Tento typ cihly vyniká výbornými tepelněizolačními vlastnostmi, což ji činí ideální volbou pro výstavbu energeticky úsporných a pasivních domů. Součinitel prostupu tepla může dosahovat hodnoty až $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$, což znamená, že cihla výrazně přispívá ke snižování tepelných ztrát a celkové energetické náročnosti budovy. [21] [22]



Obrázek 15. Broušená cihla Heluz

Hlavní surovinou pro výrobu cihel je kvalitní hlína, představující asi 85 % celkového složení. Další složky zahrnují lehčiva, jako jsou piliny a další příměsi, jako je papírenský kal nebo buničina. Zvolený materiál od firmy Heluz je broušený cihelný blok tloušťky 115 mm. Vzorek pro měření byl získán ze stavebnin. [21] [22]

4.2 Pórobetonové tvárnice Ytong

Pórobetonová tvárnice Ytong se vyznačuje nízkou hmotností a vynikajícími tepelněizolačními vlastnostmi, díky čemuž je ideální volbou pro výstavbu energeticky úsporných a pasivních domů. Díky své porézní struktuře dobře udržuje teplotní stabilitu v interiéru. Tvárnice se velmi snadno opracovávají – lze je jednoduše řezat, vrtat nebo

frézovat, což výrazně zrychluje stavební proces a snižuje nároky na pracovní sílu i nářadí. Kromě toho je materiál nehořlavý, ekologický, zdravotně nezávadný a odolný vůči mrazu, plísním i škůdcům. [23]



Obrázek 16. Pórobetonová tvárnice Ytong

Hlavní surovinou při výrobě pórobetonových tvárnic je křemičitý písek, který se namele a poté se přidají zbylé příměsi, které jsou: vápno, cement, anhydrit, sádra, pórotvorná přísada a voda. Zvolený materiál od firmy Ytong je tvárnice Ytong Standard 300 P2-400 HL. Vzorek pro měření byl získán ze stavebnin. [23]

4.3 Škvára

Škvára se po mnoho let hojně využívala ve stavebnictví, především díky své snadné dostupnosti a nízké ceně, která vycházela z jejího původu jako vedlejšího produktu spalování uhlí. Jedním z hlavních použití škváry byla výroba škvárobetonových cihel – lehčeného stavebního materiálu, který se uplatnil zejména při výstavbě nenosných zdí a příček. Tyto cihly měly dobré tepelněizolační vlastnosti, byly poměrně lehké a snadno se s nimi manipulovalo. V dnešní době se škvárobeton využívá méně, ale stále lze najít stavby, kde je tento materiál přítomen. [24]



Obrázek 17. Škvára

Jedná se o zpevnělé kusy popelovin s obsahem určitého podílu původních nespálených hořlavých složek paliva. Vzorek pro měření byl získán z teplárny, kde se spaluje uhlí. [24]

4.4 Písek

Písek je jedním z nejrozšířenějších a nejdéle používaných přírodních stavebních materiálů. Díky své dostupnosti a univerzálním vlastnostem tvoří základní složku mnoha stavebních směsí, zejména malt, betonů a omítek. Mimo tradiční stavební využití nachází písek uplatnění také při výrobě skla, pórobetonových tvárnic, a slouží rovněž jako zásypový či filtrační materiál ve vodohospodářských a ekologických stavbách. [25]



Obrázek 18. Písek

Písek je často produktem rozpadu různých hornin, především pískovců. Tento proces přirozeně vytváří jemně zrnitou strukturu, která představuje základní složení písku. Hlavním stavebním prvkem písku jsou typicky křemenná zrna, která se vyskytují v různých velikostech a tvarech. Křemenná zrna určují charakteristické vlastnosti písku, jako jsou jeho barva, struktura a schopnost interagovat s okolním prostředím. Vzorek pro měření byl získán ze stavebnin. [25]

4.5 Štěrk

Štěrk je jedním z nejdůležitějších stavebních materiálů, který se používá především v oblasti betonářství a silniční výstavby. Využívá se jako základní složka betonu, kde slouží jako agregát pro zajištění pevnosti a stability stavebních konstrukcí. Štěrk je také nepostradatelný při výstavbě silnic, železničních tratí a dalších infrastrukturálních projektů, kde se používá

na podsyp a do drenážních systémů. Dále se aplikuje jako zásypový materiál, při výrobě asfaltových směsí a v terénních úpravách. [26]



Obrázek 19. Štěrk

Štěrk je typickým klastickým sedimentem, jehož základní struktura se skládá z částice drobných až po hrubé valouny a balvany. Tyto částice se mohou lišit ve velikosti, přičemž větší valouny převažují nad menšími. Kromě toho je další důležitou složkou šterku písek, který dodává zrnitou texturu sedimentu. Písek se vyskytuje v různých velikostech zrn a jeho podíl ovlivňuje celkové vlastnosti šterku. Vedle písku mohou být v šterku přítomny také menší množství silty a jílu. Tyto jemné částice, i když zastoupené v menší míře, přispívají k celkové struktuře a charakteru šterku, což může ovlivnit jeho využití a vlastnosti v různých stavebních aplikacích. Vzorek pro měření byl získán ze stavebnin. [26]

4.6 Sádra

Sádra je přírodní materiál získávaný z vápencových hornin, který se široce využívá ve stavebnictví, umění a zdravotnictví. Tento prášek se následně smíchá s vodou a vytváří pevnou, rychle tuhnoucí hmotu. Ve stavebnictví se sádra používá především na výrobu omítek, sádrokartonových desek, ale také na formování dekorativních prvků a štuků. Sádra je preferována pro svou schopnost rychle tuhnout, snadnou opracovatelnost a dobré tepelné izolační vlastnosti. Dále se využívá v lékařství, například na výrobu sádrových odlitků pro fixaci zlomenin. [27]



Obrázek 20. Šedá sádra

Sádra se vyrábí tepelným rozkladem sádrovce, takzvaným vařákovým způsobem. Hlavní složkou sádry je Hemihydrát síranu vápenatého, který tvoří až 85 % celkového složení. Další důležité příměsi v šedé sádře jsou oxid křemičitý (SiO_2), oxid sírový (SO_3) a oxid vápenatý (CaO). Podle výrobce je specifická aktivita šedé sádry v průměru 10 ± 4 Bq/kg a maximální hodnota je 80 Bq/kg, tyto hodnoty jsou uvedeny v technickém listu. Vzorek pro měření je šedá sádra od firmy Gypstrend a byl získán z elektrocentra. [27]

4.7 Minerální Vata

Minerální vata je vysoce účinný izolační materiál, který se široce používá ve stavebnictví a průmyslu. Vyrábí se z přírodních materiálů, jako jsou vyvřelé horniny, sklo a další suroviny, které se při výrobě tavení a vlákenní přetvářejí na jemnou a flexibilní strukturu. Tento materiál je známý svou vynikající tepelnou a zvukovou izolací, a proto se často používá k izolaci budov, potrubí, stropů, podlah a stěn. Kromě toho má minerální vata vynikající protipožární vlastnosti, což ji činí ideální volbou pro zvýšení bezpečnosti v budovách a průmyslových objektech. [28]



Obrázek 21. Minerální vata

Minerální vata se vyrábí především z vyvřelých hornin, jako jsou vulkanický diabas, čedič a dolomit, s příměsí skla, koksu, recyklovaného skla, písku, vápence a sody. Zvolený materiál je tepelná izolace ISOVER UNIROL PROFI. Vzorek pro měření byl získán ze stavebnin. [28]

5 MĚŘENÍ RADIACE STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

V této části se zaměříme na měření radiace stavebních materiálů, které bude probíhat na fakultě aplikované informatiky v laboratoři 54/208. Měření bude prováděno v odstíněné olověné nádobě, kde dovnitř nádoby umístíme měřený vzorek a na něj položíme víceúčelový spektrometr gama GT-40 fy GEORADIS.

5.1 Nastavení měření a příprava vzorkového materiálu

Nejprve je nutné provést přesné zvážení jednotlivých měřených vzorků, které jsou následně zobrazeny na (obrázek 22). Vzorky se umisťují do uzavíratelných plastových sáčků typu ZIP, které zajišťují ochranu před kontaminací a únikem materiálu. Každý vzorek je samostatně zvážen na laboratorní váze Entris 822 – 1S.



Obrázek 22. měřené vzorky

Požadovaná hmotnost každého vzorku je stanovena na 100 gramů. Přesné dodržení této hmotnosti je důležité pro následné srovnání výsledků. V případě odchylky je materiál buď odebrán, nebo doplněn, byla přesně dosažena požadovaná hmotnost.

5.1.1 Laboratorní váha Entris 822 – 1S

Laboratorní váha Entris 822–1S byla využita k přesnému stanovení hmotnosti jednotlivých vzorků stavebních materiálů. Zařízení umožňuje měřit hmotnosti do maximální hodnoty 820 g a je vybavena externí kalibrací pro zajištění vysoké přesnosti měření. [34]



Obrázek 23. Laboratorní váha Entris 822 – 1S

5.1.2 Olověná nádoba

Pro minimalizaci vlivu okolního prostředí byla použita olověná nádoba, zobrazena na (obrázek 24). Rozměry základny boxu jsou $0,4 \times 0,05 \times 0,4$ m, přičemž vnější rozměry samotného boxu jsou $0,3 \times 0,3 \times 0,35$ m.



Obrázek 24. Olověná nádoba

5.2 Naměřené hodnoty

Do olověné nádoby postupně vložíme vybrané stavební materiály, které budou měřeny. Na každý vzorek následně umístíme víceúčelový gama spektrometr GT-40 fy GEORADIS viz. (obrázek 25).



Obrázek 25. Měření stavebních materiálů

Pro zvýšení přesnosti výsledků provedeme měření každého vzorku patnáctkrát. Z těchto opakovaných měření následně vypočítáme průměrnou hodnotu, doplněnou o směrodatnou odchylku, která udává míru rozptylu hodnot a tím i spolehlivost naměřených dat. Průměrné hodnoty spolu se směrodatnými odchylkami viz. (Tabulka 1).

vzorek název	výsledek (impuls)
Heluz cihla	38±7
ytong	35±7
vata	41±8
škvára	36±4
písek	30±5
štěrk	37±5
sádra	29±5
pozadí	28±5

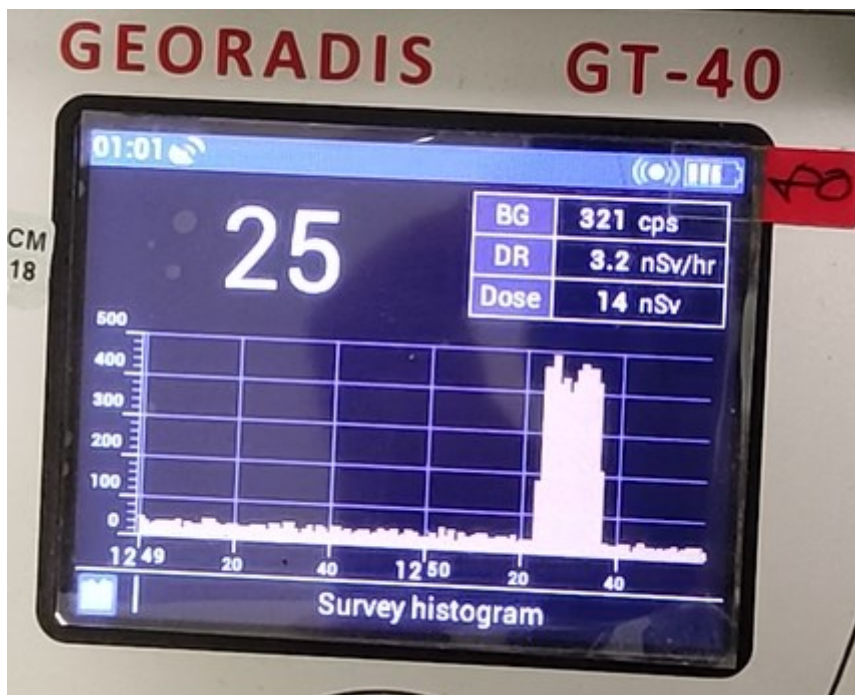
Tabulka 1. Naměřené hodnoty

5.3 Výpočet specifické aktivity jednotlivých materiálů

Pro výpočet radiace materiálů nebudou brány v úvahu rozměry vzorků a bude se předpokládat, že každý vzorek vysílá záření izotropně do celého prostoru. Spektrometr gama GT-40 fy GEORADIS registruje záření v určitém prostorovém úhlu Ω_{ef} , který při položení spektrometru na měřený vzorek je 2π . Účinnost přístroje η lze vypočítat podle vztahu (2), kde N je počet naměřených gama fotonů a A je aktivita vzorku. Hodnoty N a A jsou uvedeny v manuálu ke spektrometru gama.

$$\eta = \frac{N}{\frac{A}{4\pi} \Omega_{ef}} \quad (2)$$

Před měřením jednotlivých stavebních materiálů si nejdříve změříme počet gama fotonů v prázdné nádobě ($N_{prazdna}$). Na (obrázek 26) je zobrazen histogram naměřených hodnot získaný během měření. Graf názorně ukazuje rozdíl mezi měřeními provedenými s přístrojem umístěným uvnitř olověné nádoby a měřeními provedenými mimo ni. Tento rozdíl slouží k ilustraci účinnosti stínění, které olověná nádoba poskytuje. Tedy do jaké míry dokáže omezit vliv okolního záření na výsledky měření.



Obrázek 26. Histogram stínění olověné nádoby

Poté budou změřeny počty gama fotonů jednotlivých stavebních materiálů (N_{material}). Aktivitu vzorků lze vypočítat podle vztahu (3). Výsledek se udává v jednotkách Bq.

$$A = \frac{N_{\text{material}} - N_{\text{prazdna}}}{\Omega_{\text{ef}} \cdot \eta} \cdot 4 \cdot \pi \quad (3)$$

Jednotlivé stavební materiály zvážíme a podle vztahu (4) lze vypočítat jejich specifickou aktivitu (někdy také označovanou jako měrná nebo hmotnostní aktivita). Výsledek se udává v jednotkách Bq · kg⁻¹.

$$a = \frac{A}{m} \quad (4)$$

Podle vztahu (2) vypočítáme účinnost přístroje η :

$$\eta = \frac{386}{\frac{1000000}{4 \cdot \pi} \cdot 0,005776}$$

$$\eta = 0.84 = 84\%$$

Účinnost přístroje je 84%.

Za použití vztahu (3) a (4) vypočítáme specifickou aktivitu jednotlivých stavebních materiálů:

Měření materiálu cihly Heluz o hmotnosti $m=0,1$ kilogramů:

$$A = \frac{38 - 28}{2 \cdot \pi \cdot 0,84} \cdot 4 \cdot \pi$$

$$A = 23Bq$$

$$a = \frac{23}{0,1}$$

$$a = (228 \pm 7) Bq \cdot kg^{-1}$$

U cihly Heluz byla naměřena výrazně vyšší specifická aktivita, než se očekávalo. To je pravděpodobně způsobeno tím, že cihla je tvořena z 85 % hlínou, která může obsahovat přírodní radionuklidy, jakou jsou například uran-238 a jeho sekundární radionuklid, thorium-232 a jeho sekundární radionuklidy a draslík-40.

Měření materiálu pórobetonové tvárnice Ytong o hmotnosti $m=0,1$ kilogramů:

$$A = \frac{35 - 28}{2 \cdot \pi \cdot 0,84} \cdot 4 \cdot \pi$$

$$A = 17Bq$$

$$a = \frac{17}{0,1}$$

$$a = (171 \pm 7) Bq \cdot kg^{-1}$$

Specifická aktivita pórobetonové tvárnice Ytong byla vyšší, než se původně předpokládalo. U tohoto materiálu se neočekávalo, že by mohla být specifická aktivita takhle vysoká, protože složení je z větší části tvořeno křemičitým pískem, který sám o sobě radioaktivní není, ale může obsahovat nečistoty nebo minerály, které přispívají k jeho radioaktivitě, například přírodní radionuklidy, jakou jsou například uran-238 a jeho sekundární radionuklid, thorium-232 a jeho sekundární radionuklidy a draslík-40.

Měření materiálu minerální vaty o hmotnosti $m=0,1$ kilogramů:

$$A = \frac{41 - 28}{2 \cdot \pi \cdot 0,84} \cdot 4 \cdot \pi$$

$$A = 30Bq$$

$$a = \frac{30}{0,1}$$

$$a = (303 \pm 8) Bq \cdot kg^{-1}$$

Specifická aktivita minerální vaty byla nejvyšší ze všech měřených materiálů, což lze přičíst jejímu složení. Příměsi v minerální vatě zahrnují mimo jiné vyvřelé horniny (např. čedič), u kterých je vyšší pravděpodobnost výskytu přírodních radionuklidů.

Měření materiálu škváry o hmotnosti $m=0,1$ kilogramů:

$$A = \frac{36 - 28}{2 \cdot \pi \cdot 0,84} \cdot 4 \cdot \pi$$

$$A = 17Bq$$

$$a = \frac{17}{0,1}$$

$$a = (174 \pm 4) Bq \cdot kg^{-1}$$

Škvára je vedlejší produkt při spalování uhlí, avšak nemáme jistotu, že je to jediná přísada. Do kotle se mohou dostat i jiné vedlejší produkty, které mohou ovlivňovat výslednou specifickou aktivitu škváry. Příměsi, jako jsou různé nečistoty a materiály, které jsou spalované společně s uhlím, mohou obsahovat přírodní radionuklidy, které mohou zvyšovat specifickou aktivitu škváry.

Měření materiálu písku o hmotnosti $m=0,1$ kilogramů:

$$A = \frac{30 - 28}{2 \cdot \pi \cdot 0,84} \cdot 4 \cdot \pi$$

$$A = 5Bq$$

$$a = \frac{5}{0,1}$$

$$a = (49 \pm 5) Bq \cdot kg^{-1}$$

U písku byla naměřena nízká specifická aktivita. Písek je výsledek rozpadu pískovců, kde hlavní složkou pískovce je křemen, jehož měrná aktivita je velmi malá. Měřený vzorek písku pochází z horniny, která nebyla vystavena dostatečnému množství přírodních radionuklidů, nebo jejich vliv byl minimální, takže nedokázaly významně ovlivnit jeho specifickou aktivitu.

Měření materiálu šterku o hmotnosti $m=0,1$ kilogramů:

$$A = \frac{37 - 28}{2 \cdot \pi \cdot 0,84} \cdot 4 \cdot \pi$$

$$A = 20Bq$$

$$a = \frac{20}{0,1}$$

$$a = (200 \pm 5) Bq \cdot kg^{-1}$$

Měřený štěrk vykazuje zvýšenou specifickou aktivitu, jelikož štěrk vzniká rozrušením pevné horniny a následně je zbaven nežádoucích jemných částic. Měřený vzorek štěrku pochází z horniny, která byla vystavena dostatečnému množství přírodních radionuklidů, ty dokázaly ovlivnit jeho specifickou aktivitu.

Měření materiálu sádry o hmotnosti $m=0,1$ kilogramů:

$$A = \frac{29 - 28}{2 \cdot \pi \cdot 0,84} \cdot 4 \cdot \pi$$

$$A = 2Bq$$

$$a = \frac{2}{0,1}$$

$$a = (18 \pm 8) Bq \cdot kg^{-1}$$

Sádra vykazuje velmi nízkou specifickou aktivitu. Pokud by sádra nebyla umístěna v odstíněné nádobě, její specifická aktivita by se shodovala s hodnotou pozadí. Jelikož sádra se vyrábí ze sádrovce, který vzniká vysrážením mořské vody. Při těžbě sádrovce se nenacházejí vysoké koncentrace přírodních radionuklidů. Při zpracování sádry se provádí důkladné čištění, které zbavuje sádru o potenciálně radioaktivní nečistoty.

5.4 Vyhodnocení

Měřené vzorky písku a sádry ukazují nízkou specifickou aktivitu. Tyto stavební materiály nebyly vystaveny nebo ovlivněny přírodními radionuklidy natolik, aby to mělo zásadní vliv na jejich specifickou aktivitu.

U měřených vzorků štěrku, cihly, pórobetonu, vaty a škváry byla naměřena specifická aktivita vyšší, než se původně očekávalo, to můžeme přičíst jedné nebo více z následujících příčin:

Přítomnost radioaktivních nečistot: Vzorek materiálu může obsahovat nečistoty nebo příměsi, které jsou radioaktivní. Například minerály jako monazit nebo uraninit, které obsahují uran nebo thorium, mohou být přítomny jako nečistoty ve vzorku materiálu.

Interakce s okolními materiály: Vzorek materiálu může reagovat s okolními horninami nebo půdními materiály a koncentrovat v sobě radioaktivní prvky obsažené v těchto materiálech. Například pokud materiál vzniká v prostředí s horninami obsahujícími uran nebo thorium, může dojít ke zvýšení koncentrace těchto prvků v materiálu.

Geologický původ: Vzorek materiálu může být součástí určitých geologických formací, které mají zvýšenou koncentraci radioaktivních prvků. Například v některých sedimentárních horninách může být vzorek materiálu spojen s minerály, které obsahují uran nebo thorium.

6 POROVNÁNÍ S PUBLIKOVATELNÝMI VÝSLEDKY

V této části práce se zaměříme na porovnání vypočítaných hodnot s dostupnými údaji z odborných publikací. Provedeme detailní analýzu shody výsledků a zdůrazníme možné odchylky, které mohou vyplynout z různých metod měření nebo složení materiálů.

6.1 Srovnání

Průměrné a maximální hodnoty obsahu rádia-226 ve vybraných stavebních materiálech jsou znázorněny na (Obrázek 27). Tyto materiály byly podrobeny měření v období let 1998–1999, přičemž výsledky poskytují důležité informace o úrovni přírodní radioaktivity v běžně používaných stavebních surovinách. Tato data slouží jako referenční základ pro porovnání s aktuálními měřeními. Tyto hodnoty budou porovnávány s naměřenými údaji, které jsou uvedeny na (Tabulka 2). [30]

Stavební materiál	Průměrná hodnota (Bq/kg)	Maximální hodnota (Bq/kg)
Stavební kámen	27,5	925
Cihly	45,2	143
Beton	21,1	192
Pórobeton	46,1	85
Škvárobeton	66,7	118
Malty	19,8	82
Omítky	13,9	56
Keramické obklady	63,0	117
Písek	13,3	41
Jíl	40,9	199
Kamenivo	34,9	1 090
Popílek, škvára	75,5	363
Cement	36,5	88
Vápno	12,5	94
Sádra	12,1	86

Obrázek 27. Průměrné a maximální hodnoty obsahu rádia-226 ve stavebních materiálech [30]

U cihly je patrný výrazný nárůst specifické aktivity ve srovnání s průměrnou hodnotou, přičemž dokonce překračuje i uváděnou maximální hodnotu. Tento nárůst specifické aktivity lze přičíst složení samotné cihly, zejména vysokému podílu hlíny. Hlína přirozeně obsahuje určité množství přírodních radionuklidů, mezi které patří například uran-238 a jeho rozpadové produkty, thorium-232 s jeho sekundárními radionuklidy, a také draslík-40. Koncentrace těchto radionuklidů se může značně lišit v závislosti na geologických podmínkách místa, odkud byla hlína těžena. Pokud pochází z oblasti s vyšším přirozeným

výskytem radionuklidů, může to výrazně ovlivnit výslednou specifickou aktivitu vyrobeného stavebního materiálu.

Pórobeton vykazuje výrazně vyšší specifickou aktivitu, než je průměrná hodnota, přičemž naměřená hodnota dokonce překračuje běžně uváděné maximum. Tento nárůst lze přičíst složení měřeného vzorku, který obsahuje různé přísady používané ke zlepšení fyzikálních a technických vlastností materiálu. Tyto příměsi mohou zahrnovat přírodní složky s obsahem radionuklidů, jako jsou uran-238, thorium-232 a jejich rozpadové produkty, stejně jako draslík-40, což se může projevit zvýšenou úrovní radioaktivity.

Štěrka bude porovnána s kamenivem. Ze srovnání je patrné, že hodnoty specifické aktivity u kameniva vykazují značný rozptyl, což je dáno rozdílnými lokalitami těžby a geologickým složením jednotlivých ložisek. V případě měřeného vzorku štěrky se jeho specifická aktivita pohybuje nad průměrnou hodnotou. Vysvětlením může být fakt, že tento konkrétní vzorek pochází z horniny, která nebyla vystavena významnému množství přírodních radionuklidů, nebo jejich přítomnost byla tak nízká, že neovlivnila výslednou specifickou aktivitu materiálu.

Sádra můžeme zaznamenat menší nárůst specifické aktivity, ale stále nepřesahujeme maximální hodnotu. Proto můžeme konstatovat, že nedošlo k významné změně. Podle výrobce je specifická aktivita šedé sádky v průměru 10 ± 4 Bq/kg a maximální hodnota je 80 Bq/kg, tyto hodnoty jsou uvedeny v technickém listu.

Specifická aktivita u měřeného vzorku písku mírně překračuje maximální hodnotu uváděnou v dostupných datech, avšak tento nárůst je velmi malý a lze jej považovat za zanedbatelný. Tento nárůst může být způsoben přítomností nečistot v písku, například drobnými úlomky hornin či organickými zbytky, které mohou obsahovat vyšší koncentrace přírodních radionuklidů a tím mírně zvýšit naměřenou specifickou aktivitu. Celkově však zůstává specifická aktivita písku na velmi nízké úrovni.

Specifická aktivita naměřená u škváry je mírně vyšší než průměrná hodnota uváděná v dostupných údajích, avšak stále nepřesahuje maximální hodnotu. Tento výsledek odpovídá charakteru a vzniku daného materiálu. Škvára vzniká jako vedlejší produkt při spalování uhlí, a proto může obsahovat různé příměsi a zbytky minerálů, které se během spalovacího procesu koncentrují. Právě tyto příměsi mohou přispívat k mírnému zvýšení obsahu přírodních radionuklidů, a tím i k vyšší specifické aktivitě výsledného materiálu. Vliv má

také kvalita a složení původního uhlí, které bylo spalováno, a podmínky samotného spalovacího procesu.

vzorek název	Měrná aktivita (Bq·kg ⁻¹)
Heluz cihla	228±7
ytong	171±7
vata	303±8
škvára	174±4
písek	49±5
štěrk	200±5
sádra	18±5

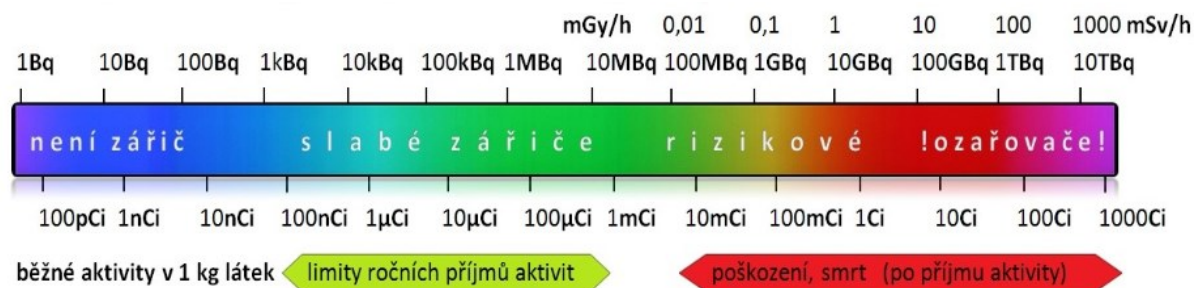
Tabulka 2. Naměřené hodnoty

Pro materiál minerální vata nebyly nalezeny dostupné zdroje, které by uváděly hodnoty její specifické aktivity. Tento typ materiálu byl do měření zařazen z důvodu předpokladu, že vzhledem ke svému složení by mohl vykazovat vyšší specifickou aktivitu. Minerální vata totiž obsahuje vyvřelé horniny, sklo, recyklovaný materiál a další složky, u nichž lze očekávat zvýšený obsah přírodních radionuklidů ve srovnání s běžně používanými stavebními materiály. Výběr tohoto materiálu tedy vycházel ze zájmu o jeho potenciální radiologické vlastnosti.

6.2 Důsledky

Všechny stavební materiály, které byly měřeny, nevyzařují tolik, aby to mělo nějaký zásadní vliv na zdraví lidí. Všechny materiály se pohybují mezi desítkami až stovkami Bq na kilogram materiálu. Podle (obrázku 28) lze stavební materiály zařadit mezi látky s nízkou úrovní radioaktivity, a tedy mezi takzvané nezářiče.

Všechny stavební materiály, které byly během měření analyzovány, nevykazují takovou úroveň radioaktivity, která by představovala významné riziko pro lidské zdraví. Naměřené specifické aktivity se pohybují v rozmezí desítek až několika set becquerelů na kilogram materiálu, což je z hlediska radiační ochrany považováno za nízké hodnoty. Na základě výsledků zobrazených na (obrázek 28) lze tyto stavební materiály zařadit mezi látky s nízkou úrovní přirozené radioaktivity, tedy mezi tzv. nezářiče.



Obrázek 28. Dávkový příkon [31]

Měřené materiály nejsou zdrojem vysoké radioaktivity a nejsou teda považovány za zdravotní riziko. Jejich specifická aktivita při porovnání s běžnými radioaktivními materiály je zanedbatelná. To znamená, že při použití těchto materiálů v běžných stavebních projektech nevzniká významné riziko pro zdraví pracovníků ani obyvatel. Tato zjištění jsou důležitá pro posouzení bezpečnosti a případných opatření či regulací při manipulaci s těmito materiály.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá stavebními materiály jako potenciálními zdroji gama záření. Teoretická část je strukturována do dvou hlavních celků. První část se věnuje základnímu popisu jednotlivých druhů ionizujícího záření a možnostem ochrany před jejich účinky. Zvláštní pozornost je věnována radonu, přírodnímu plynu s radioaktivními vlastnostmi, který představuje závažné zdravotní riziko pro obyvatele. Dále je popsáno rozdělení dávky ozáření obyvatelstva, přičemž většina záření, kterému je člověk vystaven, pochází z přírodních zdrojů. Tato kapitola je zakončena vysvětlením rozpadového zákona. Druhá část se zaměřuje na detektory ionizujícího záření. Jsou zde popsány dvě základní techniky: Geigerův-Müllerův čítač a scintilační detektory.

Praktická část práce se věnovala analýze jednotlivých druhů stavebních materiálů. Pro měření byly vybrány cihly, pórobetonové tvárnice, minerální vata, škvára, štěrk, písek a sádra. Měření probíhalo za použití víceúčelového spektrometru gama GT-40 fy GEORADIS, který využívá anorganický scintilační detektor pro kvantitativní analýzu gama záření. Na základě naměřených dat byla vypočítána specifická aktivita jednotlivých materiálů a výsledky následně porovnány s dostupnými referenčními údaji.

U materiálů, jako jsou písek a sádra, byla specifická aktivita nízká a prakticky neměnná. Naproti tomu u ostatních sledovaných materiálů byly naměřeny vyšší hodnoty, což lze vysvětlit přítomností radioaktivních nečistot, vlivem okolních materiálů nebo geologickým původem daných vzorků. Přesto se specifická aktivita všech měřených stavebních materiálů pohybuje v rozmezí desítek až stovek becquerelů na kilogram, což je ve srovnání s běžnými radioaktivními materiály velmi nízké.

Z tohoto důvodu použití těchto materiálů v běžných stavebních projektech nepředstavuje významné zdravotní riziko ani pro pracovníky, ani pro budoucí obyvatele staveb. Tyto materiály tak lze zařadit do kategorie tzv. nezářičů, tedy materiálů s nízkou úrovní přirozené radioaktivity.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŠVEC J.: *Radioaktivita a ionizující záření*, 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, Ostrava 2005. ISBN 8086634620. [cit. 2024-05-25].
- [2] Smith W.F. eds.: *Experimental Physics, Principles and Practice for the Laboratory*, CRC Press 2020. [cit. 2024-05-25].
- [3] Melissinos A.C., Napolitano J.: *Experiments in Modern Physics 2nd ed.*, Academic Press 2003. [cit. 2024-05-25].
- [4] skupina ČEZ. (2017, November 24). *O radioaktivitě | Aktivní zóna*. Aktivní zóna. <https://www.aktivnizona.cz/cs/havarijni-prirucka/o-radioaktivite-23123>
- [5] SKUPINA ČEZ. *RENTGENOVÉ ZÁŘENÍ*. Online. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/rtg/fyzika.htm>. [cit. 2024-05-25].
- [6] SKUPINA ČEZ. *VLASTNOSTI RENTGENOVÉHO ZÁŘENÍ*. Online. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/rtg/k22.htm>. [cit. 2024-05-25].
- [7] *Vyhláška ze dne 14.prosince 2016 o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje*, Sbírka zákonů č.422/2016. [cit. 2024-05-25].
- [8] OENERGETICE.CZ. *Využití radioizotopů v průmyslu: Analýza a měření*. Online. 2016. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/vyuziti-radioizotopu-v-prumyslu-analyza-a-mereni>. [cit. 2024-05-25].
- [9] ARCHGEO S.R.O. *Vznik, šíření, účinky a měření radonu*. Online. Dostupné z: <https://www.archgeo.cz/mereni-rn.html>. [cit. 2024-05-25].
- [10] SURO. *Základní informace o RADONU*. Online. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace>. [cit. 2024-05-25].
- [11] HVĚZDÁRNA A PLANETÁRIUM HL. M. PRAHY. *Kosmické záření*. Online. Dostupné z: <https://observatory.cz/static/vystavy/castice/1-zareni.php>. [cit. 2024-05-25].
- [12] SÚJB. *Ozáření z přírodních zdrojů záření*. Online. Dostupné z: <https://sujb.gov.cz/radiacni-ochrana/prirodni-zdroje-ionizujiciho-zareni/ozareni-z-prirodnich-zdroju-zareni>. [cit. 2024-05-25].
- [13] SÚRO. *Přirodní radioaktivita a problematika radonu*. Online. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz>. [cit. 2024-05-25].

- [14] ŽHAVÁ MÍSTA. *Dávkový příkon*. Online. Dostupné z: <https://www.zhavamista.cz/davkovy-prikon>. [cit. 2024-05-25].
- [15] SÚRO. *Jaké hodnoty dávkového příkonu můžeme v ČR očekávat?* Online. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/faq/jake-hodnoty-davkoveho-prikonu-muzeme-v-cr-ocekavat>. [cit. 2024-05-25].
- [16] EDUPORTÁL. *ROZPADOVÝ ZÁKON*. Online. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/atomy-castice/prirozena-radioaktivita/rozpadovy-zakon>. [cit. 2024-05-25].
- [17] SÚRO. *Jak funguje Geiger-Müllerův (GM) detektor?* Online. Dostupné z: [https://www.suro.cz/aplikace/ramesis-wiki/index.php/Jak_funguje_Geiger-M%C3%BCller%C5%AFv_\(GM\)_detektor%3F](https://www.suro.cz/aplikace/ramesis-wiki/index.php/Jak_funguje_Geiger-M%C3%BCller%C5%AFv_(GM)_detektor%3F). [cit. 2024-05-25].
- [18] KREJČÍ, Vladimír. *SCINTILAČNÍ DEKEKTORY*. Online. Jihočeská universita v Českých Budějovicích Pedagogická fakulta, 2002. Dostupné z: <https://old.pf.jcu.cz/stru/katedry/fyzika/prof/Svadlenkova/Scintilacni%20detektor y.pdf>. [cit. 2024-05-25].
- [19] ŽHAVÁ MÍSTA. *Scintilační detektor*. Online. Dostupné z: <https://www.zhavamista.cz/scintilacni-detektor>. [cit. 2024-05-25].
- [20] Firemní literatura fy GEORADIS, *GT-40/GT-40S Multipurpose Gamma Center, User's Guide*, Rev.1.7 -November 2016. [cit. 2024-05-25].
- [21] GEORADIS. *GT-40*. Online. Dostupné z: <http://www.georadis.com/cs/produkty/gt-40.html>. [cit. 2024-05-25].
- [22] HELUZ. *HELUZ 11,5 broušená*. Online. Dostupné z: <https://www.heluz.cz/cs/vyrobek/heluz-11-5-brousena-1>. [cit. 2024-05-25].
- [23] SVÉPOMOCÍ.CZ. *Výroba cihel Heluz Family 2in1*. Online. 2017. Dostupné z: <https://www.svepomoci.cz/clanek/3562-video-vyroba-cihel-heluz-family-2in1>. [cit. 2024-05-25].
- [24] XELLA. *YTONG Standard 300*. Online. Dostupné z: https://www.xella.cz/cs_CZ/product/ytong-standard-300/20000992. [cit. 2024-05-25].
- [25] ASB. *Bezpečná práce se škvárou*. Online. 2020. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/zaklady-a-hruba-stavba/bezpecna-prace-se-skvarou>. [cit. 2024-05-25].

- [26] ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *Písek*. Online. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl/term.pl>. [cit. 2024-05-25].
- [27] ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *Štěrk*. Online. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl/term.pl?sterk>. [cit. 2024-05-25].
- [28] GYPSTREND. *Sádra*. Online. Dostupné z: <https://www.gypstrend.cz/sadra.html>. [cit. 2024-05-25].
- [29] ISOVER. *Výroba skelné izolace*. Online. Dostupné z: <https://www.isover.cz/blog/vyroba-skelne-izolace>. [cit. 2024-05-25].
- [30] Jiránek M., Honzíková M.: *Stavební materiály jako zdroj radonu a gama záření*, Státní úřad pro jadernou bezpečnost a Stavební fakulta ČVUT v Praze, 2017. [cit. 2024-05-25].
- [31] FALK, Martin. *RADIAČNÍ BIOFYZIKA*. Online, přednáška. BFU AVCR Brno: Muni. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/sci/jaro2020/F8270/um/Radiacni_biofyzika_8_2020_veliciny_fin.pdf. [cit. 2024-05-25].
- [32] DozimetrNR-850. Online. Dostupné z: <https://www.hobbydiag.cz/dozimetr-nr-850>. [cit. 2025-05-04].
- [33] Sartorius – ENTRIS 822-1S. Online. Wolflabs. Available from:
- [34] <https://www.wolflabs.co.uk/laboratory-products/balances-top-pan/10101500>. [cit. 2024-05-25].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Pronikavost radioaktivního záření [4]	13
Obrázek 2 Rozpad uranu-238 na další radioaktivní látky [8]	15
Obrázek 3 Zdroje radonu v obytné budově [9]	16
Obrázek 4 Rozdělení dávek obyvatelstva [12]	17
Obrázek 5 Průměrná expozice obyvatel podle zdrojů záření [12]	18
Obrázek 6 Dávkový příkon [15]	19
Obrázek 7 Rozpadový zákon [16].....	20
Obrázek 8 Geigerův–Müllerova detektor [17].....	22
Obrázek 9 Dozimetr NR-850 [32]	22
Obrázek 10 Scintilační detektor [19]	23
Obrázek 11 Víceúčelový spektrometr gama GT-40 fy GEORADIS [20]	26
Obrázek 12 Kalibrační referenční bod přístroje [20]	27
Obrázek 13 Průzkumný režim.....	28
Obrázek 14 Assay režim	29
Obrázek 15. Broušená cihla Heluz.....	31
Obrázek 16. Pórobetonová tvárnice Ytong	32
Obrázek 17. Škvára	33
Obrázek 18. Písek	33
Obrázek 19. Štěrk.....	34
Obrázek 20. Šedá sádra.....	35
Obrázek 21. Minerální vata.....	36
Obrázek 22. měřené vzorky	37
Obrázek 23. Laboratorní váha Entris 822 – 1S	38
Obrázek 24. Olověná nádoba	39
Obrázek 25. Měření stavebních materiálů	39
Obrázek 26. Histogram stínění olověné nádoby	41
Obrázek 27. Průměrné a maximální hodnoty obsahu rádia-226 ve stavebních materiálech [30]	46
Obrázek 28. Dávkový příkon [31]	49

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Naměřené hodnoty	40
Tabulka 2. Naměřené hodnoty	48
Tabulka 3. Naměřená hodnoty prázdné nádoby	67
Tabulka 4. Měření vzorku Heluz cihla	67

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Sv	Siever
Bq	Becquerel
kg	kilogram
s	sekunda
T	poločas rozpadu
λ	rychlost rozpadu
η	Účinnost přístroje η
N	počet naměřených gama fotonů
A	aktivita vzorku

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I:	TECHNICKÝ LIST HELUZ CIHLY
PŘÍLOHA P II:	TECHNICKÝ LIST PÓROBETONOVÉ TVÁRNICE YTONG
PŘÍLOHA P III:	TECHNICKÝ LIST SÁDRY
PŘÍLOHA P IV:	TECHNICKÝ LIST MINERÁLNÍ VATY
PŘÍLOHA P V:	TECHNICKÉ ÚDAJE K PŘÍSTROJI GT-40
PŘÍLOHA P VI:	NAMĚŘENÁ DATA
PŘÍLOHA P VII:	VZOROVÝ PROTOKOL

PŘÍLOHA P I: TECHNICKÝ LIST HELUZ CIHLY



HELUZ 11,5 broušená

POUŽITÍ

Broušené cihly zděné na systémové tenkovrstvé malty určené pro chráněné nenosné zdivo (příčky).



VÝROBKOVÉ VLASTNOSTI

Výrobní závod	Hevlín I.		
Průměrná pevnost v tlaku (MPa)	10		
$\lambda_{D,0,0,0,0,0}$ (W/(m.K))	0,239		
Rozměry d x š x v (mm)	497 x 115 x 249		
Třída reakce na oheň	A1		
Objemová hmotnost (kg/m³)	725		
Hmotnost průměrná inf. (kg)	10,3		
Doplňkové cihly výroba (ano/ne)	Ne		

VLASTNOSTI ZDIVA NA MALTU

	SBC	SB	PU	SIDI
Spotřeba cihel na 1 m² (ks)	-	8	8	8
Spotřeba cihel na 1 m³ (ks)	-	69,6	69,6	69,6
Spotřeba malty (kg/m², m²/dóza, kg/m³)	-	1,51	10,0	0,60

TEPELNÁ TECHNIKA

	-	0,259	0,259	0,252
$\lambda_{design, max}$ (W/(m.K))	-	1,42	1,42	1,39
$U_{design, max}$ (W/(m².K)) bez vlivu omítek	-	1,36	1,36	1,35
$U_{design, max}$ (W/(m².K)) včetně omítek	-	1,3	1,29	1,32
$U_{0,7, max}$ (W/(m².K)) včetně omítek	-	5/10	5/10	5/10
Faktor difúzního odporu μ (-)	-	1,0	1,0	1,0
Měrná tepelná kapacita c (kJ/(kg.K))	-			

POŽÁRNÍ ODOLNOST

Stěna oboustranně omítnutá	-	EI 120 DP1	EI 60 DP1	EI 120 DP1
Stupeň využití stěny α	-	NPD	NPD	NPD

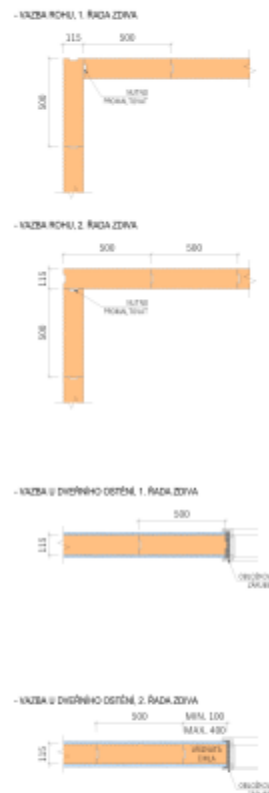
STATIKA

Plošná hmotnost zdiva vč. omítek (kg/m²)	-	134	134	134
Skupina zdících prvků	-	2	2	2
Pevnost zdícího prvku (MPa)	-	10	10	10
Pevnost zdiva v tlaku f_k (MPa)	-	NPD	NPD	NPD
Součinitel modulu pružnosti K_k	-	NPD	NPD	NPD
Pevnost zdiva ve smyku f_{sd} (MPa)	-	NPD	NPD	NPD

ZVUKOVÁ IZOLACE

Lab. vzduchová neprůzvučnost R_w (dB)	-	45	41	44
Hodnota změřená/informativní	-	změřená	změřená	informativní
Plošná hmotnost zdiva vč. omítek (kg/m²)	-	131	131	NPD
OH malty min. (kg/m³)	-	NPD	NPD	NPD
OH omítek min. (kg/m³)	-	1700	1600	NPD
Tloušťka omítek (mm)	-	2x15	2x15	2x15

VAZBY ROHU A OSTĚNÍ



Obecné informace: Vlastnosti zdiva jsou podmíněny kombinací zdícího prvku, malty a povrchové úpravy. Proto je potřeba dodržovat zásady pro navrhování a provádění konstrukcí v souladu s podklady společnosti HELUZ a obecnými předpisy a technickými normami. Podrobnější a aktuální informace jsou uvedeny na selektorkonstrukci.heluz.cz, které mají vždy přednost před technickým listem. Technický list uvádí soubor vybraných vlastností výrobku a konstrukcí, který slouží pro základní informace k navrhování konstrukcí. Pokud není u jednotlivých údajů uvedeno jinak vychází se z uvedených evropských harmonizovaných norem a s jejich lokalizací pro Českou republiku.

Výrobní vlastnosti jsou uvedeny podle harmonizované normy EN 771-1:2011+A1:2015. Všechny deklarované parametry výrobku jsou uvedeny v prohlášení o vlastnostech. **Vlastnosti zdiva na maltu** jsou uvedeny pro vybrané typy malt v jednotlivých sloupcích. Spotřeba malt odpovídá provádění zdiva v souladu s technologickým předpisem - Příručka HELUZ pro provádění.

Tepelná technika. Hodnoty jsou uváděny v souladu s EN 1745. $\lambda_{design, max}$ a $U_{design, max}$ odpovídají návrhovým hodnotám. Omítky jsou uvažovány tl. 2 x 15 mm s $\lambda = 0,88$ W/m.K. Odpor při přestupu tepla je uvažován pro vnitřní konstrukce $R_{0,13} = 0,13$ m².K/W. $U_{0,7, max}$ uvádí hodnoty omítnutého zdiva v suchém stavu cihel a malt.

Požární odolnost je uvedena pro oboustranně omítnuté stěny. Pro malty HELUZ SBC a HELUZ SB jsou hodnoty uvedeny podle EN 1996-1-2, příloha B či na základě výsledků zkoušek. Pro malty HELUZ Pěna (PU) a HELUZ SIDI jsou určeny na základě výsledků zkoušek a expertního posouzení PAVUS a.s.

Statika. Skupina zdících prvků je uvedena podle EN 1996-1-1. Mechanické vlastnosti zdiva vycházejí z výpočtů podle EN 1996-1-1 a z výsledků zkoušek. Pro malty HELUZ Pěna (PU) a HELUZ SIDI jsou určeny na základě výsledků zkoušek.

Zvuková izolace. Hodnoty R_w jsou určeny buď na základě měření stěny v akreditované laboratoři při uvedeném materiálovém složení stěny a plošné hmotnosti zdiva. Informativní hodnoty odpovídají kvalifikovanému odhadu z výsledků zkoušek obdobného typu cihel a materiálového složení konstrukce.

PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST PÓROBETONOVÉ TVÁRNICE YTONG

TVÁRNICE PRO NOSNÉ STĚNY



- Výjimečné tepelněizolační vlastnosti
- Snadné a rychlé zdění bez odpadu
- Stejně technické vlastnosti ve všech směrech

Specifikace

Tvárnice z autoklávovaného pórobetonu kategorie I

Norma/předpis

EN 771-4+A1

Použití

Nosné obvodové a vnitřní stěny, ztužující, výplňové a požární stěny budov.

Provedení

S dvojitým perem, drážkou (PD) a úchopovými kapsami (PDK) nebo hladké (HL).

Rozměrové tolerance

Délka/šířka: $\pm 1,5$ mm, výška $\pm 1,0$ mm

Zpracování

Přesné zdění na tenké maltové lože tl. 1–3 mm.

Zásadně dodržovat celoplošné maltování ložné spáry. Pro nanášení malty používat výhradně Ytong zednické lžíce vhodné šířky. Vystouplé zbytky malty neroztírat, ale po zavadnutí (tentýž den) seškrábnout ostrou hranou zednické lžíce.

U hladkých tvárnic se nanáší Ytong zdicí malta stejným způsobem i na svislou stěnu tvárnic (styčnou plochu).

Pro založení 1. řady zdiva se používá Ytong zakládací malta tepelněizolační.

Malta

Ytong zdicí malta, Ytong/Silka zdicí malta zimní, Ytong zakládací malta tepelněizolační

Reakce na oheň

Třída A1 – nehořlavé
EN 13501-1

Povrchové úpravy

Vnitřní:

Ytong vnitřní omítka tepelněizolační s možností doplnění o Ytong vnitřní stěrku hlazenou.

Vápenné, sádrové a vápenosádrové omítky doporučené na pórobeton.

Keramické obklady:

Přímo na zdivo bez nutnosti předchozích úprav.

Vnější:

Povrchová úprava stěn v exteriéru se realizuje kontaktním zateplovacím systémem ETICS – podle doporučené skladby výrobce. U stěn bez požadavku na tepelný odpor konstrukce je možné použít Ytong vnější omítku tepelněizolační vyztuženou Ytong vyztužnou tkaninou nebo lehké omítky určené pro pórobeton, paropropustné. Ytong omítka slouží jako podklad pod finální

- fasádní strukturální omítku na silikátové, nebo silikonové bázi.
Doporučené vlastnosti omítek:
- objemová hmotnost 800 až 1 200 kg/m³,
- pevnost v tlaku CS II,
- pevnost v tahu za ohybu $\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$,
- přídržnost $\geq 0,08/\text{FP-C, N/mm}^2$,
- nasákavost $W_c \leq 0,5 \text{ kg/(m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$,
- propustnost vodních par $\mu \leq 10$,
- dodržovat tloušťku vrstvy omítek doporučenou výrobcem.

Technické vlastnosti - tvárnice pro nosné stěny					
		Standard	Univerzal	Statik	Statik Plus
vlastnosti materiálu	jednotka	P2-400	P3-450	P4-550	P6-650
Max. průměrná objemová hmotnost v suchém stavu [EN 772-13]	kg/m ³	400	450	550	650
Normalizovaná pevnost zdících prvků f_k	N/mm ²	2,7	3,5	5,0	6,5
Deklarovaná hodnota tepelné vodivosti $\lambda_{12,avg}$	W/(m.K)	0,095	0,105	0,130	0,160
Návrhová hodnota tepelné vodivosti λ_d	W/(m.K)	0,100	0,115	0,140	0,170
Faktor difúzního odporu μ [EN 1745]	-	5/10	5/10	5/10	5/10
Měrná tepelná kapacita c [EN 1745]	J/(kg.K)	1 000	1 000	1 000	1 000
Součinitel tepelného přetvoření α_k	1/K	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-6}$
Vlhkostní přetvoření ϵ	mm/m	$\leq 0,20$	$\leq 0,20$	$\leq 0,20$	$\leq 0,20$
Přídržnost	N/mm ²	0,3	0,3	0,3	0,3
vlastnosti zdiva					
Charakteristická hodnota vlastní tíhy zdiva	kN/m ³	5,0	5,7	6,6	7,8
Charakteristická pevnost zdiva v tlaku f_k^*	N/mm ²	1,50**	2,32	3,14	3,93

* Dle EN 1996-1-1 čl. 3.6.1.2 rovnice [3.3] při použití malty pro tenké spáry, $K = 0,80$.

** Stanoveno na základě zkoušek.

Základní údaje - tvárnice pro nosné stěny											
výrobek	provedení	tl. zdiva bez omítek	rozměry $d \times š \times v$	tepelný odpor R_{wy}	tepelný odpor R_d	součinitel prostupu tepla* U	vzduchová neprůzvučnost R_w	požární odolnost	spotřeba malty	směrný čas zdění stěny J/Č ¹⁾	kusů na paletě
typ		mm	mm	m ² .K/W	m ² .K/W	W/(m ² .K)	dB	min	kg/m ²	h/m ²	ks/pal
Standard	PDK	375	599 × 375 × 249	3,95	3,75	0,255	48	REI 180	3,8	0,42/0,48	24
Standard	PDK	300	599 × 300 × 249	3,16	3,00	0,315	46	REI 180	3,0	0,38/0,42	30
Standard	HL	300	599 × 300 × 249	3,16	3,00	0,315	46	REI 180	4,2	0,39/0,43	30
Univerzal	PDK	375	599 × 375 × 249	3,57	3,26	0,291	48	REI 180	3,8	0,42/0,48	24
Univerzal	PDK	300	599 × 300 × 249	2,86	2,61	0,360	46	REI 180	3,0	0,38/0,42	30
Univerzal	HL	300	599 × 300 × 249	2,86	2,61	0,360	46	REI 180	4,2	0,39/0,43	30
Univerzal	PD	250	599 × 250 × 249	2,38	2,17	0,427	45	REI 180	2,5	0,35/0,40	36
Statik	PD	375	499 × 375 × 249	2,88	2,68	0,351	48	REI 180	3,8	0,44/0,51	24
Statik	PD	300	499 × 300 × 249	2,31	2,14	0,432	48	REI 180	3,0	0,39/0,43	30
Statik	PD	250	599 × 250 × 249	1,92	1,79	0,511	47	REI 180	2,5	0,36/0,41	36
Statik	HL	300	499 × 300 × 249	2,31	2,14	0,432	48	REI 180	4,5	0,40/0,44	30
Statik	HL	200	599 × 200 × 249	1,54	1,43	0,626	43	REI 180	2,8	0,32/0,36	42
Statik Plus	HL	375	399 × 375 × 249	2,34	2,21	0,421	49	REI 180	6,0	0,45/0,52	36
Statik Plus	HL	300	499 × 300 × 249	1,88	1,76	0,517	48	REI 180	4,5	0,40/0,44	30
Statik Plus	HL	250	499 × 250 × 249	1,56	1,47	0,610	47	REI 180	3,8	0,42/0,46	36

* Stanovené na základě zkoušek.

1) Časy zdění platí pro: J = jednoduchá stěna / Č = členitá stěna; Pracovní četa: 4členná.

HL - hladká, PD - pero, drážka, PDK - pero, drážka, úchopová kapsa.

Tepelný odpor R_{wy} a součinitel prostupu tepla U_d jsou návrhové hodnoty pro neomítnuté zdivo vnější stěny.

Hodnota U_d je stanovena pro odpory při přestupu tepla $R_{wy} = 0,13$ a $R_{wy} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Platný sortiment a expediční údaje viz aktuální ceník.

PŘÍLOHA P III: TECHNICKÝ LIST SÁDRY

Str.1/1



GYPSTREND s.r.o.

Sádrovcové doly, Stiborská 790, 747 27 KOBEŘICE,
www.gypstrend.cz tel.: 553 687 200, 211 GSM: 602 527 887, e-mail: info@gypstrend.cz

OÚ-TS7/2

TECHNICKÝ LIST - SÁDRA ŠEDÁ

Výrobek: Hemihydrát síranu vápenatého $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$.
Sádra šedá je sádrové pojivo, které neobsahuje žádné nebezpečné látky a příměsi.
Koncentrace dalších doprovodných látek a nečistot jsou pod limitem pro klasifikaci platné evropské i české legislativy.

Použití: jako stavební pojivo pro práce zednické a instalatérské
pro výrobu sádrových příčkových dílců, tvarovek
pro výrobu suchých omítkových a maltových směsí
pro výstavbu protipožárních zdí v uhelných dolech
jako přísada do půdního substrátu pro pěstování hub
topenářské a stavební opravy

Technické parametry:

vodní koeficient:	0,74 ± 0,2	l / kg
vydatnost:	1050	ml
zůstatek na síti 0,2 mm:	6 - 12	% hm.
počátek tuhnutí:	> 6	min.
konec tuhnutí:	< 30	min.
doba zpracování:	10 - 15	min.
pevnost v tlaku po dvou hodinách:	2,0 - 3,0	MPa
sypaná hmotnost:	720 +/- 100	kg/m ³
reakce na oheň:	třída A (nehořlavé látky)	

Uvedené technické parametry jsou stanoveny za normálních podmínek při 20 °C a 65 % relativní vzdušné vlhkosti.

Kvalita: kvalita sádry šedé je pravidelně sledována v laboratoři výrobního závodu.
Výrobek vyhovuje normě ČSN EN 13279-1, zkoušky se provádí dle normy ČSN EN 13279-2.
Firma GYPSTREND s. r. o. používá certifikovaný systém řízení jakosti dle ČSN EN ISO 9001

Balení: papírové pytle 30 kg, plastové sáčky 1, 2, 5 kg (baleno v přebalovacích pytlích a 10 kg),
sádra volně ložená v silech

Skladování: skladování v suchu, sádrová pojiva musí být při skladování chráněna před působením vody a vysoké relativní vlhkosti vzduchu (nejvýše 75%), při dodržení podmínek je záruční doba stanovena na 6 měsíců od data expedice z výrobního závodu GYPSTREND s. r. o.

Ochrana životního prostředí: při těžbě a výrobě sádry jsou dodržovány zásady ochrany životního prostředí používané v souladu s certifikátem ČSN EN ISO 14001

Chemické složení	Hodnota	Jednotka
Obsah $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$	80 - 85	% hm.
ztráta žháním	4 - 6	% hm.
pH vodného výluhu	6,5 - 7,5	-
SiO_2 + nerozpustný zbytek	8 - 12	% hm.
CaSO_4	0 - 0,5	% hm.
SO_3	37 - 39	% hm.
CaO	24 - 28	% hm.
MgO	0,2 - 1	% hm.
Seskvioxydy (Al_2O_3 , Fe_2O_3)	1 - 2,5	% hm.
Hmotnostní radioaktivita ^{226}Ra	max. 80, průměrně 10 ± 4	Bq / kg

Tento technický list má platnost od 3/2021, předchozí vydání pozbývá platnost.

PŘÍLOHA P IV: TECHNICKÝ LIST MINERÁLNÍ VATY



SVT kód: 433
Identifikační kód typu výrobku: 006-WS1-DoP-14-w2, 006-WS2-DoP-14-w2
Kód specifikace: MW-EN 13 162-T2-MU1-AFR5



Isover Unirol Profi

Minerální izolace ze skelných vláken

CHARAKTERISTIKA VÝROBKU

Izolační rolované pásy vyrobené ze skelné vlny Isover. Výroba je založena na metodě rozvláknování taveniny skla a dalších přísad. Vytvořená minerální vlákna se v rámci výrobní linky zpracují do finálního tvaru pásu. Vlákna jsou po celém povrchu hydrofobizována. Izolaci je nutné v konstrukci chránit vhodným způsobem (parotěsnicí fólie, vhodná ochrana proti usazování prachu u volně ložených izolací, další vrstvy dvojvláknové konstrukce).

POUŽITÍ

Skelné izolační pásy s vynikajícími tepelněizolačními vlastnostmi jsou určeny jako tepelná a akustická izolace šikmých střech a stropů.

Jedná se o energeticky úsporný typ izolace, $\lambda_c = 0,033 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

BALENÍ, TRANSPORT, SKLADOVÁNÍ

Izolační rolované pásy Isover Unirol Profi jsou komprimované a balené do PE fólie (TMPS = 24 rolí, objem 4,09 m³). Materiál je v balení silně stlačen a po rozbalení nabývá rychle jmenovité tloušťky. Komprimace usnadňuje manipulaci, šetří skladovací prostor i místo přímo na stavbě. Role musí být dopravovány v krytých dopravních prostředcích za podmínek vylučujících jejich navlhnutí nebo jiné znehodnocení. Výrobky se skladují v krytých prostorách nebo na vnějším prostředí dle podmínek uvedených v aktuálním ceníku společnosti Isover.

PŘEDNOSTI

- Nehořlavost.
- Velmi dobré tepelněizolační schopnosti.
- Výborné akustické vlastnosti z hlediska zvukové pohltivosti.
- Nízký difúzní odpor – snadná propustnost pro vodní páru.
- Ekologická a hygienická nezávadnost.
- Vodoodpudivost – izolační materiály jsou hydrofobizované.
- Dlouhá životnost.
- Odolnost proti dřevokazným škůdcům, hnilavcům a hmyzu.
- Snadná opracovatelnost – výrobky lze řezat, vrtat atd.
- Rozměrová stabilita při změnách teploty.
- Povrch výrobku je opatřen speciálními pruhy pro přesné a rychlé řezání.

ROZMĚRY A BALENÍ

Tloušťka [mm]	Délka × šířka [mm]	Množství v balíku			Množství na paletě [m²]	Tepelný odpor R_d [m²·K/W]
		[ks]	[m³]	[m²]		
50	9 500 × 1 200	1	11,40	0,57	273,60	1,50
60	8 000 × 1 200	1	9,60	0,58	230,40	1,80
80	6 000 × 1 200	1	7,20	0,58	172,80	2,40
100	4 500 × 1 200	1	5,40	0,54	129,60	3,00
120	4 000 × 1 200	1	4,80	0,58	115,20	3,60
140	3 300 × 1 200	1	3,96	0,55	95,04	4,20
160	2 900 × 1 200	1	3,48	0,56	83,52	4,80
180	2 600 × 1 200	1	3,12	0,56	74,88	5,45
200	2 400 × 1 200	1	2,88	0,58	69,12	6,05
220	2 300 × 1 200	1	2,76	0,61	66,24	6,65

TECHNICKÉ PARAMETRY

Označení	Jednotka	Metodika	Hodnota	Kód značení	
Geometrické vlastnosti					
Délka l	[%, mm]	ČSN EN 822	±2 %		
Šířka b	[%, mm]	ČSN EN 822	±1,5 %		
Tloušťka d	[%, mm]	ČSN EN 823	-5 % nebo -5 mm ³ a +15 % nebo +15 mm ³	Třída tolerance tloušťky	T2
Odchylna od pravosti ve směru délky a šířky S_x	[mm·m ⁻¹]	ČSN EN 824	5		
Odchylna od rovinnosti S_{xy}	[mm]	ČSN EN 825	6		
Relativní změna délky Δr , šířky Δb , tloušťky Δd	[%]	ČSN EN 1604	1	Rozměrová stabilita za určených teplotních a vlhkostních podmínek	DS(23,90)

Isover Unirol Profi

Minerální izolace ze skelných vláken

TECHNICKÉ PARAMETRY

Označení	Jednotka	Metodika	Hodnota	Kód značení					
Teplné technické vlastnosti									
Deklarovaný součinitel tepelné vodivosti $\lambda_s^{(1)}$	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Deklarace dle ČSN EN 13162+A1 Měření dle ČSN EN 12667	0,033						
Návrhový součinitel tepelné vodivosti $\lambda_v^{(1)}$	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	ČSN 73 0540-3	0,036						
Měrná tepelná kapacita c_p	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	ČSN 73 0540-3	840						
Protipožární vlastnosti									
Třída reakce na oheň	[-]	Deklarace dle ČSN EN 13501-1+A1	A1						
Nejvyšší provozní teplota	[°C]		200						
Bod tání t_i	[°C]	DIN 4102 díl 17	< 1000						
Vlhkostní vlastnosti									
Faktor difúzního odporu μ	[-]	Deklarace dle ČSN EN 13162+A1	1	Deklarovaná hodnota faktoru difúzního odporu MU1					
Ostatní vlastnosti									
Objemová hmotnost	[kg·m ⁻³]	ČSN EN 1602	21						
Akustické vlastnosti ⁽²⁾									
Praktický číselník zvukové pohltivosti α_p	[-]	Deklarace dle ČSN EN 13162+A1 Deklarace dle ČSN EN ISO 11654 Měření dle ČSN EN ISO 354	Úroveň praktického číselníku zvukové pohltivosti					AP	
	Frekvence	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		
	Tloušťka	60 mm	0,40	0,90	0,95	0,95	1,00	1,00	
		80 mm	0,55	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
		100 mm	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Vážený číselník zvukové pohltivosti α_w	[-]	Deklarace dle ČSN EN ISO 11654 (pro NRC dle ASTM C423)	Úroveň váženého číselníku zvukové pohltivosti					AW	
Střední číselník pohltivosti α_{av}	Jednotvárné hodnoty	α_w	α_w					NCR	
Koeficient redukce hluku NRC	Tloušťka	60 mm	1,00	0,78					0,95
		80 mm	1,00	0,96					1,00
		100 mm	1,00	1,00					1,00
Měrný odpor proti proudění vzduchu r	[kPa·s·m ⁻²]	Deklarace dle ČSN EN 13162+A1 Měření dle ČSN EN 29053	Úroveň odporu proti proudění vzduchu ≥ 5					AF/r	
Environmentální vlastnosti / dopady									
Množství odpadu při výrobě ⁽³⁾	[kg /FU ⁽⁴⁾]	ČSN EN 15804+A1, ČSN ISO 14025	0,803	NHWD					
Celková spotřeba neobnovitelné primární energie a zdrojů při výrobě	[MJ /FU]	ČSN EN 15804+A1, ČSN ISO 14025	66,9	PENRT					
Potenciál globálního oteplování	[kg CO ₂ ekv. /FU]	ČSN EN 15804+A1, ČSN ISO 14025	4,25	GWP					
Potenciál úbytku stratosférické ozónové vrstvy	[kg CFC 11 ekv. /FU]	ČSN EN 15804+A1, ČSN ISO 14025	1,11 E-07	ODP					
Potenciál acidifikace půdy a vody	[kg SO ₂ ekv. /FU]	ČSN EN 15804+A1, ČSN ISO 14025	0,0427	AP					
Potenciál eutrofizace	[kg PO ₄ ³⁻ ekv. /FU]	ČSN EN 15804+A1, ČSN ISO 14025	0,00379	EP					
Potenciál tvorby přízemního ozónu	[kg C ₂ H ₄ ekv. /FU]	ČSN EN 15804+A1, ČSN ISO 14025	0,0113	POPC					
Potenciál úbytku surovin nefosilních zdrojů	[kg Sb ekv. /FU]	ČSN EN 15804+A1, ČSN ISO 14025	2,36 E-06	ADP-prvky					
Potenciál úbytku surovin fosilních zdrojů	[MJ (vytřevnost) /FU]	ČSN EN 15804+A1, ČSN ISO 14025	82,4	ADP-fosilní paliva					

⁽¹⁾ Platí největší číselná hodnota tolerance.

⁽²⁾ Deklarované hodnoty stanoveny ze souboru podmínek / (referenční teplota 10 °C, vlhkost u_{av} dosažená sušením) dle ČSN EN ISO 10456.

⁽³⁾ Platí pro typické použití v konstrukcích s možným rizikem kondenzace. V případě konstrukce bez možného rizika kondenzace vlhkosti je možné použít deklarované hodnoty součinitele tepelné vodivosti.

⁽⁴⁾ Informativní neдекларovaná hodnota nad rámec CPR, získaná konkrétními zkouškami.

⁽⁵⁾ Jedná se o běžný směsný odpad.

⁽⁶⁾ FU = funkční jednotka (1 m² izolace o tloušťce 100 mm při započítaných fázích životního cyklu A1-A3).

SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY

- Prohlášení o vlastnostech
- Environmentální prohlášení o produktu (EPD)
- ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001

Více o produktu

www.isovert.cz/produkty/isovert-unirol-profi



10. 1. 2024 Uvedené informace jsou platné v době vydání technického listu. Výrobce si vyhrazuje právo tyto údaje měnit.

PŘÍLOHA P V: TECHNICKÉ ÚDAJE K PŘÍSTROJI GT-40

Radiation Detection Systems AB

GT-40

Technical Specifications

Detectors	
GT-40	NaI(Tl) 76 x 76 mm, 345 cm ³ , with bi-alkali PMT
GT-40 S	BGO or NaI, 51 x 51 mm, 104 cm ³ , with bi-alkali PMT, shielded with 25 mm lead
Spectrometer	1024 channels, 40 MHz DSP, linear energy corrected, pile-up rejector. 200 ns resolution
Display	Colour, trans-reflective, 360 x 240 pixels, 72 x 54 mm, sun readable
Controls	Illuminated navigation joystick with 5 positions
Acoustics	Loudspeaker, 28 mm diameter and built-in microphone
Data storage	Minimum 2000 survey stations with full 1024 channels spectra, position data and voice recording
Communication	Data transfer, remote control and diagnostics by: USB 2.0 Bluetooth 1.2 class 2 Wi-Fi 802.11n
Power	Rechargeable Li-ion battery, 7.2 V, 6600 mAh, min. 10 hours of operation External AC adaptor 110-230 V AC/50 – 60Hz for battery charging or on-line mains operation
Size	GT-40 415 mm x 120 mm (diameter) GT-40 S 335 mm x 120 mm
Unit weights	GT-40 4 kg GT-40 S 9 kg

Temperature range	-10 °C - + 50 °C
Protection	IP-65, dust and water resistant
CE certification	RFI/EMF shielding complies with FCC (47 CFR part 15) for Class E certification

Sensitivities (For surface measurements i.e. 2π geometry)	
Potassium:	200 cpm/% K
Uranium:	18 cpm/ppm U
Thorium	8 cpm/ppm Th

Complete delivery

Spectrometer GT-40 or GT-40 S
AC power adaptor
Instruction manual (English)
USB communication cable
Support CD with Geoview Software (Windows and MAC compatible)
Shipped in a rugged transport and storage case with moulded insert

Shipping weight	GT-40 12 kg GT-40 S 17 kg
Dimensions:	One carton, 67 x 51 x 22 cm

Optional accessories:

Lead shield for laboratory use
Set of 18 x 300 mm sample holders
Geological calibration kit (Traceable to IAEA standards)
Carrying harness



Customs code for international shipments: 9030 1000 99

The GT-40 is made in the European Union

Specifications are subject to change 02-14

Manufacturer GEORADIS s.r.o.

Address
Novoměstská 321/41
CZ- 619 00 BRNO
CZECH REPUBLIC

Tel
+420 5 4142 2231

E-mail
info@georadis.com
WEB
www.georadis.com

Distributor

Radiation Detection Systems AB

Address
Ångsullsvägen 4
SE-178 52 Ekerö
SWEDEN

Tel
+46 (0)72 532 2099
WEB
www.radiationdetection.se

E-mail
info@peko-geofysik.se
WEB
www.peko-geofysik.se

PŘÍLOHA P VI: NAMĚŘENÁ DATA

vzorek název	1(impuls)	2(impuls)	3(impuls)	4(impuls)	5(impuls)	6(impuls)	7(impuls)	8(impuls)
Heluz cihla	41	43	46	41	28	37	31	41
ytong	41	28	36	33	31	36	28	57
vata	36	34	38	33	49	59	34	33
škvára	30	28	38	34	42	41	35	40
písek	28	23	26	35	24	29	32	34
štěrk	32	30	48	47	36	35	31	40
sádra	20	33	31	31	18	29	25	38
pozadí	35	24	37	30	19	22	24	31

vzorek název	9(impuls)	10(impul)	11(impuls)	12(impuls)	13(impuls)	14(impuls)	15(impuls)
Heluz cihla	31	38	33	51	32	45	30
ytong	29	39	31	38	34	35	35
vata	51	38	47	43	49	43	30
škvára	35	33	32	33	36	37	39
písek	25	27	33	26	37	38	35
štěrk	38	33	31	37	36	41	35
sádra	25	27	31	35	25	29	35
pozadí	28	35	30	25	26	29	25

PŘÍLOHA P VII: VZOROVÝ PROTOKOL

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky Ústav elektroniky a měření			
Jméno a příjmení		Ročník / Skupina	
Předmět	Forenzní vědy	Datum měření	
		Datum odevzdání	
Název úlohy	Měření aktivity vzorků stavebních materiálů	Hodnocení	

Zadání úlohy

Postup práce

Pro výpočet radiace materiálů nebudeme brát v úvahu rozměry vzorků a předpokládáme, že vysílá záření izotropně do celého prostoru. Spektrometr gama GT-40 registruje záření v určitém prostorovém úhlu Ω_{ef} , který při položení spektrometru na měřený vzorek je 2π . Účinnost přístroje η lze vypočítat podle vztahu (2), kde N je počet naměřených gama fotonů a A je aktivita vzorku. Hodnoty N a A jsou uvedeny v manuálu ke spektrometru gama.

$$\eta = \frac{N}{\frac{A}{4\pi} \Omega_{ef}} \quad (1)$$

Před měřením jednotlivých stavebních materiálů si nejdříve změříme počet gama fotonů v prázdné nádobě ($N_{prazdna}$). Poté změříme počet gama fotonů jednotlivých stavebních materiálů ($N_{material}$). Aktivitu vzorků lze vypočítat podle vztahu (3). Výsledek se udává v jednotkách Bq.

$$A = \frac{N_{material} - N_{prazdna}}{\Omega_{ef} \cdot \eta} \cdot 4 \cdot \pi \quad (2)$$

Jednotlivé stavební materiály zvážíme a podle vztahu (4) lze vypočítat jejich specifickou aktivitu (někdy také označovanou jako měrná nebo hmotnostní aktivita). Výsledek se udává v jednotkách Bq · kg⁻¹.

$$a = \frac{A}{m} \quad (3)$$

Použité přístroje a pomůcky

GT-40 Víceúčelový spektrometr gama (Georadis)

Laboratorní váhy Sartorius Entris

Výsledky a jejich zdůvodnění

Podle vztahu (1) vypočítáme účinnost přístroje η :

$$\eta = \frac{386}{\frac{1000000}{4 \cdot \pi} \cdot 0,005776}$$
$$\eta = 0.84 = 84\%$$

Účinnost přístroje je 84%.

Měření prázdné nádoby:

vzorek název	1(impuls)	2(impuls)	3(impuls)	4(impuls)	5(impuls)	6(impuls)	7(impuls)	8(impuls)
pozadí	35	24	37	30	19	22	24	31
vzorek název	9(impuls)	10(impuls)	11(impuls)	12(impuls)	13(impuls)	14(impuls)	15(impuls)	průměr
pozadí	28	35	30	25	26	29	25	28

Tabulka 3. Naměřená hodnoty prázdné nádoby

$$N_{\text{prazdna}} = 28 \pm 5 \text{ impuls}$$

Za použití vztahu (2) a (3) vypočítáme specifickou aktivitu jednotlivých stavebních materiálů:

Měření jednotlivých stavebních materiálů:

Měření materiálu cihly Heluz o hmotnosti $m=0,1$ kilogramů:

vzorek název	1(impuls)	2(impuls)	3(impuls)	4(impuls)	5(impuls)	6(impuls)	7(impuls)	8(impuls)
Heluz cihla	41	43	46	41	28	37	31	41
vzorek název	9(impuls)	10(impuls)	11(impuls)	12(impuls)	13(impuls)	14(impuls)	15(impuls)	průměr
Heluz cihla	31	38	33	51	32	45	30	38

Tabulka 4. Měření vzorku Heluz cihla

$$A = \frac{38 - 28}{2 \cdot \pi \cdot 0,84} \cdot 4 \cdot \pi$$

$$A = 23Bq$$

$$a = \frac{23}{0,1}$$

$$a = (228 \pm 7) Bq \cdot kg^{-1}$$

Specifická aktivita cihly je vyšší, než jsem předpokládal. To je způsobeno tím, že cihla je tvořena z 85 % hlínou, která může obsahovat přírodní radionuklidy, jakou jsou například uran-238 a jeho sekundární radionuklid, thorium-232 a jeho sekundární radionuklidy a draslík-40.

Ostatní materiály vyhodnoťte obdobně.

Závěr

V této laboratorní úloze jsme se seznámili s víceúčelovým spektrometrem gama GT-40. S jeho pomocí jsme změřili zvolené stavební materiály a vypočítali jejich specifickou aktivitu. Specifická aktivita zvolených stavebních materiálů se pohybuje v desítkách až stovkách Bq, což znamená, že ve srovnání s běžnými radioaktivními materiály je tato aktivita zanedbatelná. Proto při použití těchto materiálů v běžných stavebních projektech nevzniká významné riziko pro zdraví pracovníků ani obyvatel.