

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2020

Bc. Michael Jílek



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

HODNOCENÍ FYZIKÁLNÍCH POLÍ V KRAJINNÉ LOKALITĚ

EVALUATION OF PHYSICAL FIELDS IN SCENIC AREA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michael Jílek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Smital, Ph.D.

BRNO 2020

ABSTRAKT

Práce se zaměřuje na shromáždění teoretických podkladů pro geomagnetická měření, měření elektromagnetického pole a radiometrických veličin v přírodní lokalitě a následné hodnocení získaných výsledků z hlediska jejich vzájemných souvislostí a v kontextu hygienických předpisů. Ke všem teoretickým podkladům jednotlivých polí jsou přiřazeny metodiky měření a vhodná měřicí technika, vybraná podle informací z dostupných zdrojů. V rámci práce byly zvoleny vhodné přístroje, krajinná lokalita, provedeno měření, výsledky byly vyhodnoceny a interpretovány. Výsledkem je grafický výstup v geografickém informačním systému QGIS.

KLÍČOVÁ SLOVA

životní prostředí, fyzikální pole, geofyzika, ionizující záření, geomagnetismus, elektromagnetismus

ABSTRACT

The thesis is focused on gathering of theoretical backgrounds for geomagnetic measurements, measurement of electromagnetic and radiometric quantities in a natural locality, and subsequent evaluation of the obtained results from the point of view of their interrelations and in the context of hygienic regulations. All the theoretical backgrounds of each field are assigned to the measurement methodology and appropriate measuring technique, selected according to information from available sources. Appropriate instruments, landscape location, measurements were made, the results were evaluated and interpreted. The result is graphical output in the QGIS geographic information system.

KEYWORDS

environment, physical fields, geophysics, ionizing radiation, geomagnetism, electromagnetism

JÍLEK, M. *Hodnocení fyzikálních polí v krajinné lokalitě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství, 2020. 60 s., 3 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Lukáš Smital, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma *Hodnocení fyzikálních polí v krajinné lokalitě* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Předně rád bych poděkoval svojí rodině za možnost studia, dále vedoucímu práce za trpělivost a vedení při koncipování práce a za připomínky při jejím psaní, dále pak RNDr. Ph.Dr. Jiřímu Dohnalovi z Př.f. UK, RNDr. Lence Thinové FJFI ČVUT, za rady a pomoc s vedením práce a hlavně svojí přítelkyni a novorozené dceři za nekonečnou podporu a motivaci ke studiu.

OBSAH

1. Úvod	8
2. Geomagnetické pole	9
2.1. Základní poznatky	9
2.2. Magnetické pole Země	10
2.2.1. Kontinentální geomagnetické anomálie	12
2.2.2. Regionální geomagnetické anomálie	12
2.3. Přístroje pro magnetický průzkum	13
2.3.1. Magnetometr s ferosondou	14
2.3.2. Protonový magnetometr	15
2.4. Metodika měření a zpracování výsledků	17
3. Elektromagnetická pole v životním prostředí	20
3.1. Základní poznatky	21
3.2. Fyziologické účinky	22
3.3. Technika pro měření el.mg. polí	24
3.4. Metodika měření a zpracování výsledků	25
4. Ionizující záření v životním prostředí	27
4.1. Základní poznatky	27
4.2. Přírodní radiační pozadí	29
4.3. Metodika měření přírodního pozadí	32
4.4. Rn Index	34
4.5. Metodika hodnocení Rn indexu	35
5. Vybraná lokalita měření	38
5.1. Rozbor lokality z hlediska Geomagnetického pole	38
5.2. Rozbor lokality z hlediska Elektromagnetického záření	39
5.3. Rozbor lokality z hlediska Ionizujícího záření	40
6. Tvorba měřicí sítě	41
7. Výsledky měření	42

7.1. Elektromagnetický komfort.....	43
7.1.1. Měrný absorbovaný výkon SAR.....	44
7.1.2. Elektrická stimulace tkáně	45
7.2. Radiační komfort.....	47
7.2.1. Přírodní radiační pozadí	48
7.2.2. Koncentrace izotopu U^{238}	49
7.2.3. Radonový index pozemku a OAR.....	50
7.3. Magnetická měření.....	52
7.4 Index nekomfortu krajinné lokality.....	54
8. Závěr	55
9. Přehled literatury	56
SEZNAM ZKRATEK	58
SEZNAM OBRÁZKŮ	59

1. Úvod

Pojem fyzikálních polí reprezentuje, v kontextu ekologického inženýrství, souhrn reálných podmínek na dané lokalitě. Tyto podmínky mají menší, či větší vliv na živé organismy počínaje úrovní buňky, tkání, až celých živočichů. Oddělit a ohraničit tyto podmínky, kvantifikovat jejich vliv a porozumět vzájemným souvislostem mezi nimi je úkol, důležitý k určení životního komfortu na libovolném území. V současné praxi je zcela běžné měření jednotlivých polí vzhledem k expozicím pracovníků na specializovaných pracovištích v konceptu zachování hygieny práce. Ve volných krajinných lokalitách je zatím systematicky rozpracována hlavně metodika radonových měření, definovaná v zák.č. 263/2016, s přesahy do stavebnictví, kdy je nutno provádět na nových stavebních parcelách určení radonového indexu pozemku. Práce si však klade za cíl zmapovat vybranou krajinnou lokalitu z hlediska více fyzikálních vlivů a jejich celkový účinek kvantifikovat jediným parametrem, Indexem nekomfortu měřené lokality. V dalších fázích práce je proces určení tohoto parametru podrobně vysvětlen.

Cílem celé práce je tedy shrnout teoretické podklady geomagnetického a elektromagnetického pole a přírodní radiace v kontextu životního prostředí, včetně způsobů jejich měření a hodnocení, dle hygienických či empirických hledisek. Následně pak tyto informace využít v reálném terénním měření a získaná data vhodně zpracovat, prezentovat grafickými výstupy a následně podat jejich interpretaci. Systematickým mapováním a kvantifikací fyzikálních vlivů se specifickými i nespécifickými účinky může v budoucnu vzniknout komerčně využitelná metoda hodnocení potenciálních stavebních parcel, chat, bytů a obecně jakýchkoliv životních prostor.

Celá práce je rozdělena do teoretické a praktické části, kde první část poskytuje teoretické podklady pro realizaci terénního měření, vyhodnocení a interpretaci výsledků. Soubor metodik k měření jednotlivých veličin, samotná realizace měření, tvorba hybridní mapy v QGIS a jeho analytickém modulu SAGA a následná interpretace výsledků jsou praktickou částí práce.

2. Geomagnetické pole

2.1. Základní poznatky

Obecně lze říct, že magnetické pole je prostor, v němž působí magnetické síly na náboj nebo na jiné magnety. Magnet je objekt, který je zdrojem magnetického pole. Rozeznáváme magnety permanentní, které nepotřebují k vytváření pole vnější vlivy a elektromagnety, u nichž je zdrojem magnetizmu pohyblivý elektrický náboj – el. proud. Magnetické pole (dále jen mg. pole) může být vyvoláno i změnami vnějšího elektrického pole (dále jen el. pole). Fyzikální vztahy mezi el. a mg. polem popisují Maxwellovy rovnice, v dalším textu jim však nebude věnován prostor.

Ke kvantifikaci jeho vlastností jsou zavedeny veličina intenzity mg. pole \mathbf{H} [$\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$] a mg. indukce \mathbf{B} [T]. Magnetická indukce je vektorová veličina, která je, z definice, vyjádřena jako maximální síla F_{max} [N] působící na jednotkový náboj Q [C], pohybující se rychlostí v [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] v homogenním mg. poli. Její velikost je tedy dána vztahem (2.1).

$$B = \frac{F_{max}}{Q \cdot v} \quad (2.1)$$

Grafické znázornění vektoru magnetické indukce jsou magnetické indukční čáry. Jedná se o uzavřené křivky, kde tečna v kterémkoliv bodě siločáry určuje směr vektoru \mathbf{B} . Hodnota mg. indukce závisí na poloze v prostoru, takže tvoří vektorové pole. [20]

V životním prostředí se vyskytují mg. pole současně, umělá jsou superponovaná na přirozených. V kontextu magnetického pole Země je pak výsledkem poměrně složité vektorové pole. Více se k tomuto tématu dostává kapitola *Magnetické pole Země*. Rozsahy měřených indukcí jsou dle [19] v intervalu mezi 10^{-14} – 10^2 T.

Dle [20] můžeme mg. pole dělit v závislosti na:

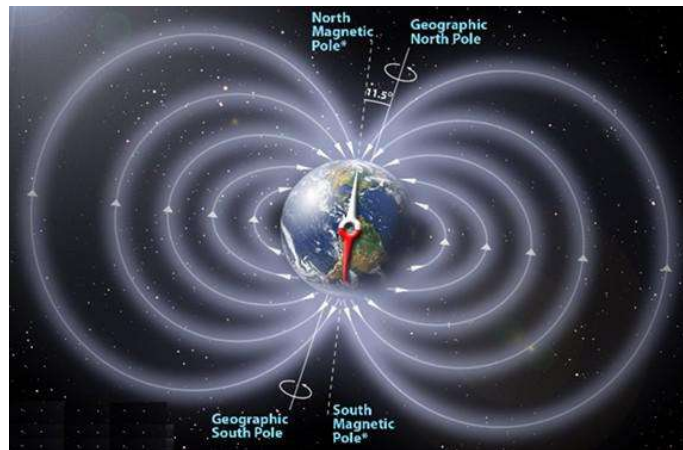
- | | |
|---------------------------------|------------------------------------|
| a) Prostorovém rozložení | homogenní a nehomogenní |
| b) Časové závislosti | střídavé a stejnosměrné |
| c) Frekvenci | nízkofrekvenční a vysokofrekvenční |
| d) Původu vzniku | přirozená a umělá |

Rozsahy měřených indukcí dle výskytu [20]

- | | |
|-----------------------------|---|
| a) 10^{-14} - 10^{-8} T | je oblast bio-magnetických signálů |
| b) 10^{-10} - 10^{-4} T | je oblastí geomagnetického pole |
| c) 10^{-6} - 10^2 T | silná, umělá, průmyslově využívaná pole |

2.2. Magnetické pole Země

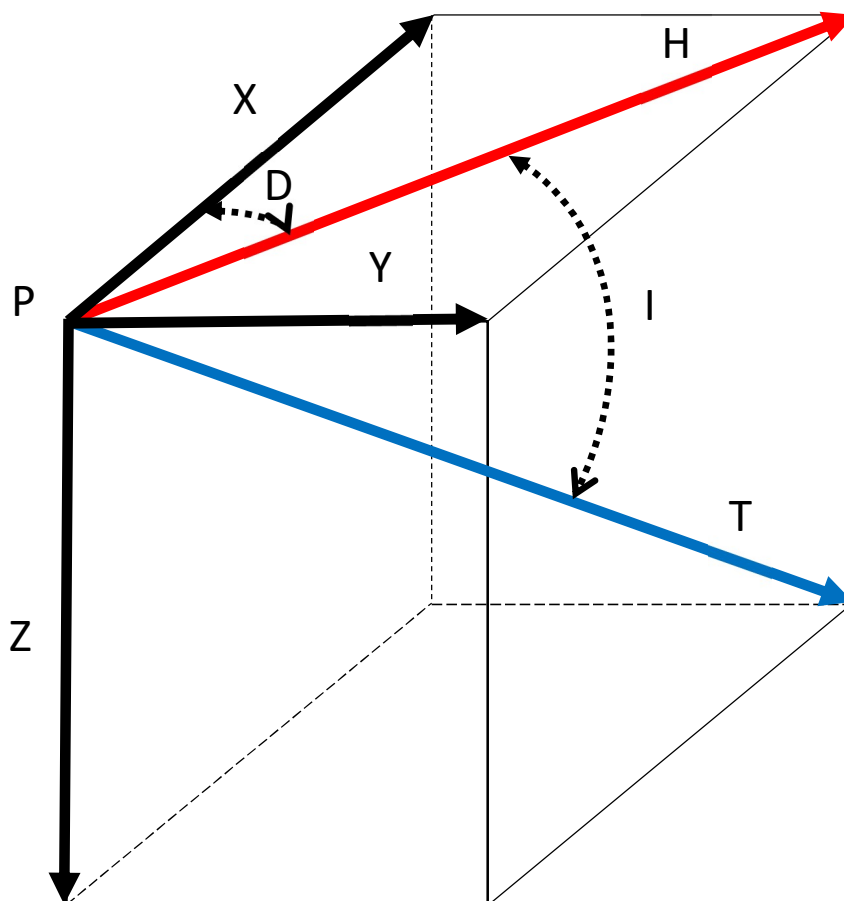
V okolí Země je možné registrovat poměrně slabé, nicméně z hlediska života na Zemi, velice zásadní mg. pole tzv. geomagnetické. Tvar tohoto pole by byl v ideálních podmínkách symetrický, nicméně vlivem působení tzv. *slunečního větru* je tvar tohoto pole deformován. Mnoho současných modelů zemského mg. pole aproximuje Zemi velkým kulovým, resp. tyčovým magnetem dipólového charakteru v zemském středu. Mluvíme o tzv. geocentrickém odkloněném dipólu. Osa tohoto tyčového magnetu protíná zemský povrch v tzv. *geomagnetických pólech*. [15] Orientace magnetických indukčních čar definuje magnetické póly Země opačně než geografické tzn. severnímu magnetickému pólu přibližně odpovídá jižní pól geografický atd. viz Obrázek 2.1. Odchylna rotační zemské osy od osy myšleného dipólu je dle NOAA a [20] přibližně $11,5^\circ$.



Obrázek 2.1: Orientace zemských indukčních čar [9]

Jak bylo již řečeno v kapitole o obecném, mg. poli, je silové působení magnetického pole vyjádřeno vektorem magnetické indukce. Vektor intenzity T zemského mg. pole má v libovolném bodě P směr siločáry procházející tímto bodem a jeho směr i velikost jsou funkcí polohy bodu. V praxi ho běžně rozkládáme na další elementy zemského pole. V první řadě je třeba zavést souřadný systém os x, y, z s počátkem v měřeném bodě P . Osa x vždy směřuje z bodu ke geografickému severu, osa y má směr poledníku směrem k východu a osa z směřuje vždy k zemskému středu. Průmět vektoru T do horizontální roviny (xy) nazýváme horizontální složkou H . Ta udává směr magnetického poledníku v bodě P , a je pak rozkládána na severní (x) a východní složku (y). Průmětem do osy z je určena vertikální složka vektoru. Úhel mezi magnetickým a geografickým poledníkem nazýváme *deklinace*. Pokud probíhá magnetický poledník východně od geografického poledníku nazýváme deklinaci východní, resp. kladnou

atd. Úhel, který svírá horizontální složka s vektorem T se nazývá *inklinace*. Směřuje-li vektor pod vodorovnou rovinu, je inklinace kladná. V opačném případě se jedná o inklinaci zápornou. Izolinie vektoru T a jeho složek, deklinací a inklinací nazýváme postupně *izodynamy*, *izogony* a *izokliny*. Vzhledem k časové variabilitě zemského pole jsou vždy hodnoty výše uvedených parametrů vztahovány ke středu či konci roku, tzv. epoše. Veškeré elementy zemského magnetického pole jsou vyneseny na Obrázku 2.2.

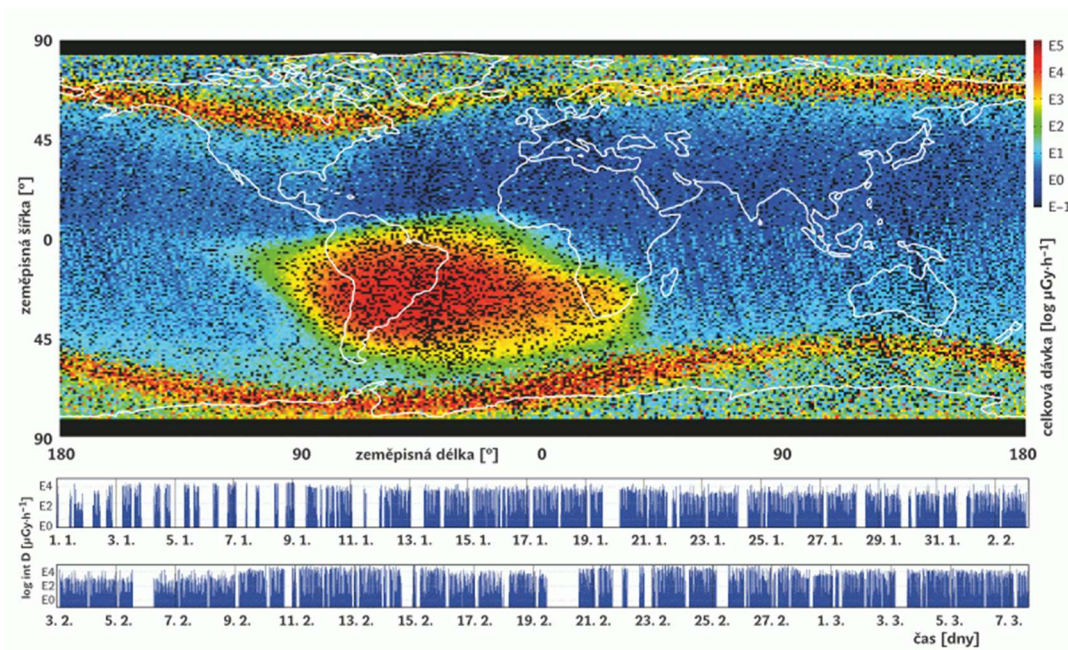


Obrázek 2.2: Složky zemského magnetického pole

Celková podoba přirozeného, magnetického pole Země je výsledkem superpozice dalších terestriálních anomálií ne-dipólového charakteru a různé vektorové orientace. Podle velikosti a rozsahu rozeznáváme následující druhy magnetických anomálií dle [9] na kontinentální a regionální, až místní.

2.2.1. Kontinentální geomagnetické anomálie

Dosahují velikosti až 7000 km. Za původce jejich vzniku je považováno více než 6 radiálně uspořádaných dipólů, usazených až 3000 km pod zemským povrchem. Tyto komponenty jsou často označovány jako zbytková ne-dipólová pole. V současné době rozeznáváme kladné (asijská, antarktická, americká) a záporné (australská africká, islandská) anomálie o amplitudách 7 000 a 17 000 nT. [15] Podobného rozsahu jsou i anomálie oceánské. Největší a nejznámější je bezpochyby Jihoatlantická anomálie. Rozkládá se na území Atlantského oceánu mezi Afrikou a Jižní Amerikou. Svojí opačnou orientací a velkou rozlohou způsobuje významné oslabení magnetické ochrany Země proti částicím slunečního větru, tím pádem i vyšší radiční dávkové příkony. Tyto *díry* v magnetickém poli jsou pak zřetelné např. škálovanou vizualizací dávkových příkonů vesmírného záření, měřených zařízením SATRAM ve výšce 820 km n.m. viz Obrázek 2.3. Ohnisko této anomálie je značně proměnlivé.



Obrázek 2.3: Vizualizace dat ze zařízení SATRAM

2.2.2. Regionální geomagnetické anomálie

Jejich velikost je řádově desítky až stovky kilometrů. Jejich původci jsou anomální objekty, umístěné v hloubkách do 70 km pod zemským povrchem. Jedná se nejčastěji o koncentrované shluky železitých minerálů s magnetickými vlastnostmi výrazně odlišnými od okolního podloží. Tato místa vznikala tektonickou činností (oblast Kiruna v severním Švédsku) nebo sedimentací páskových železných rud (Kurská mg. anomálie). [9]

Proměnné magnetické pole je vektorový rozdíl mezi jeho pozorovanou hodnotou a střední hodnotou za určitý časový úsek. Pravidelné variace vykazují z dlouhodobého hlediska poměrně

pravidelný charakter. Pro magnetický průzkum mají zásadní význam denní variace o periodě slunečního dne. Během dne se vektor T a jeho složky, mění v řádu desítek nT, deklinace pak o desítky minut. Tyto časové změny jsou způsobeny otáčením Země vůči Slunci jako zdroji narušování magnetického pole. Na tyto periodické změny se skládají neperiodické pulzace, které souvisí se sluneční aktivitou. Mimořádná sluneční činnost může na Zemi vyvolat magnetickou bouři. Výchyly při těchto situacích, po celé Zemi dosahují až stovek nT. [15]

Při zkoumání středních hodnot elementů magnetického pole Země v dostatečně dlouhém horizontu (6000 let) se ukazuje, že se jejich charakter systematicky mění. Tyto změny nazýváme sekulární. Průběh těchto dlouhodobých změn je na různých místech Země různý. Komplexní představu o momentálním stavu sekulárních variací poskytují mapy stejných ročních změn jednotlivých složek pole izopor. [15] Tyto variace často postihují ne-dipólovou část pole. Místa s nejrychlejšími změnami nazýváme ohniska, kterých aktuálně rozeznáváme osm. Všechny elementy se nemění stejným způsobem ani stejnou rychlostí. Také doba jejich trvání je různá. Vyskytují se v těsné blízkosti kontinentálních anomálií, ale nikdy ne v jejich maximech. Všechna tyto ohniska se dlouhodobě posouvají k západu a vykazují tzv. západní drift s průměrnou rychlostí $0,2^\circ$ za rok. [16]

2.3. Přístroje pro magnetický průzkum

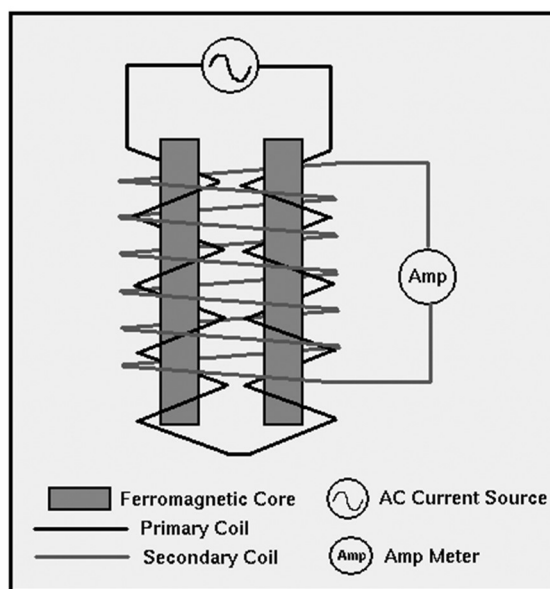
Často dochází k jevu, kdy se hmotné nehomogenity uložené pod zemským povrchem projevují měřitelnou poruchou (*anomálií*) normálního průběhu geomagnetického pole, charakterizovaného vektorem intenzity T_N . Anomální pole T_A podpovrchového tělesa vzniká ve chvíli, kdy tyto rušivé útvary pod zemským povrchem obsahují významné množství sloučenin, které vykazují abnormální magnetické projevy např. železité minerály. Vektory anomálního pole T_A při povrchu značně mění svou velikost i směr, v závislosti na poloze pozorovatele vůči nehomogenitě. Celková konfigurace anomálie je závislá na mnoha faktorech objektu, od jeho chemického složení až po tvar, polohu a hloubku. Výsledný vektor T je tedy roven vektorovému součtu normálního i anomálního magnetického pole a je to zároveň hodnota, kterou odečítáme na displeji měřících přístrojů. Následně lze, po zavedení oprav za vliv časové proměnlivosti normálního pole (denní variace) a po určení přílehlavé hodnoty normálního magnetického pole, počítat vhodnými metodami anomálie jako: $\Delta T = T_N - T_A$. Takto vypočtené hodnoty anomálií se přiřazují měřícím bodům a stávají se základem pro konstrukci map míst se stejnou hodnotou anomálního pole tzv. *izanomál*. Tato mapa je pak po

pečlivé analýze zdrojem informací pro tzv. přímou úlohu magnetometrie, přehledu o lokálním resp. regionálním podloží.

V současné době se k magnetometrickému měření nejčastěji využívá protonový magnetometr nebo magnetometr s ferosondou. Podle [16] a [15] se v minulosti k měření magnetického pole hojně využívaly magnetické váhy. Značná složitost konstrukce, časová náročnost a menší přesnost měření odsunuly tuto metodu do pozadí vědeckého užití a v práci jí nebude věnován další prostor.

2.3.1. Magnetometr s ferosondou

V tomto typu přístrojů se využívá vysoké permeability permalloye (slitina Ni, Fe a Mo), a vlastností vyplývajících z jeho hysterezní křivky. V zásadě má tento materiál nízkou koerzivní sílu tzn. jedná se o magneticky měkký materiál a nasycení nastává již při malých intenzitách okolo 80 Am^{-1} . Za magnetizaci jádra je odpovědná pouze složka T'_K intenzity, která má směr protažené osy jádra. [15]



Obrázek 2.4: Schéma magnetometru s ferosondou [9]

Podle [16] se ferosonda skládá ze dvou úzkých, tenkých a dlouhých pásků, nejčastěji z permalloye. Ty jsou vloženy do dvou opačně vinutých cívek umístěných těsně vedle sebe jako jejich jádra. Přes toto uspořádání je navinuta sekundární cívka o velkém počtu závitů viz. Obrázek 2.4. Pokud se sonda nachází v nulovém magnetickém poli, pak primárním okruhem prochází střídavý proud v obou směrech a na sekundárním vinutí není indukováno napětí. Když vložíme sondu do homogenního magnetického pole intenzity T' , způsobí složka T'_K , rovnoběžná s osou sondy, určitou magnetizaci téhož směru. Tím se poruší rovnost střídavých

mg. toků Φ_1 a Φ_2 . Vznikne diferenční tok $\Delta\Phi$, který vyvolá v sekundární cívce indukované napětí, které je úměrné působící složce homogenního pole.

U všech typů magnetometrů s ferosondou je značná část vnějšího pole vykompenzována polem sekundární cívky, která je napájena stejnosměrným zdrojem. Signál na výstupu je možno měřit buď výchylkově nebo systémem nulového indikátoru, kdy sonda indikuje výstupní proud, kompenzuje jej a zároveň zaznamenává hodnotu kompenzačního proudu. Tyto přístroje jsou značně citlivé s přesností na 1nT. Umožňují měření kdekoli na Zemi, v jakémkoliv gradientu pole a směr orientace sondy je možné téměř libovolně nastavit. Je možné s nimi měřit různé složky zemského magnetického pole. Často některé typy magnetometrů s ferosondou poskytují při měření absolutní hodnoty. Je možné i diferenciální nastavení dvou ferosond v jisté vzájemné vzdálenosti, což umožňuje měření gradientu pole ve zvoleném směru. Díky svému vnitřnímu uspořádání, které neobsahuje žádné mechanické součástky jsou poměrně odolné a vhodné i k leteckým tzv. aero-magnetometrickým aplikacím. [15]

2.3.2. Protonový magnetometr

V důsledku spinu má každý proton spinový mechanický moment p a spinový magnetický moment μ , oba směřují podle téže osy. Pokud působí na proton magnetické pole intenzity T pod úhlem θ , vznikne točivý moment přímo úměrný velikosti T (viz Obrázek 1.4). Ve výsledku, díky kombinaci s momentem p , bude proton konat precesní pohyb kolem siločáry pole T s frekvencí závisící pouze na velikosti pole. Hodnotu této precesní frekvence je možné vypočítat podle vztahu (2.2). [16]

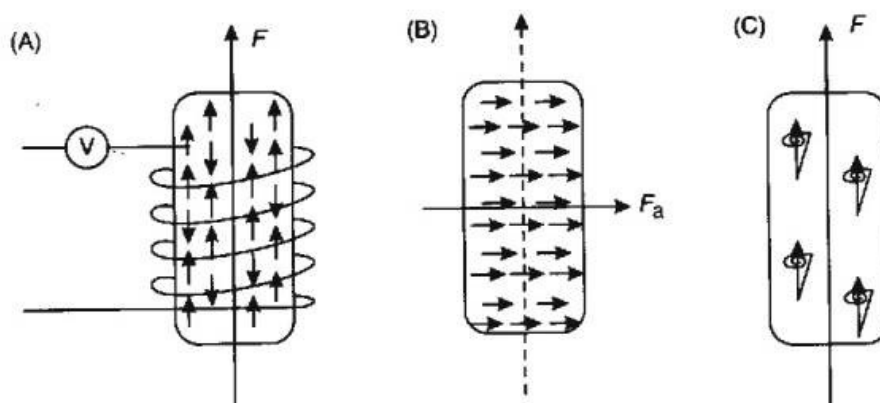
$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\mu}{p} \cdot T \quad (2.2)$$

V minulosti byla zavedena konstanta γ . Nazýváme jí gyromagnetický poměr protonu. Vyjadřuje vzájemný poměr protonových spinů. Byla experimentálně určena jako konstanta tak, že ve výsledku můžeme počítat dle vztahu (2.3)

$$f = 4257,6 \cdot 10^4 T \quad (2.3)$$

Celkově je v koncepci protonového magnetometru zahrnuto několik konstrukčních problémů. Prvně je třeba poskytnout vhodné médium s vysokým obsahem samostatných protonů – jader vodíku. Proto je možné použití vody pro potřeby měření, nicméně je mnohem praktičtější, vzhledem k zamrznání při nízkých teplotách, využívat uhlovodíky a jejich deriváty např. metanol. Objem tohoto vzorku bývá 50–500 cm³. Následně je třeba, proto aby byl signál

dostatečně čitelný, aby precesní pohyb konalo se stejnou fází co největší množství protonů. Toho lze docílit tak, že se celý vzorek před měřením vystaví silnému, homogennímu poli. Toto magnetické pole zajišťuje cívka s několika tisíci závitů, která je navinuta okolo vzorku s kapalinou. Je usazena tak, aby její osa byla kolmá k působícímu poli T . Po skončení magnetizace slouží také jako měřící člen. Celé uspořádání pohybu protonu v systému magnetických polí je vyobrazeno na Obrázku 2.5 vpravo.



Obrázek 2.5: Schéma funkce protonového magnetometru [16]

Po uplynutí doby potřebné ke sfázování protonů je příslušnými obvody vypnut přívod budícího proudu. Se zpožděním, které je potřebné k ustálení přechodových jevů v elektronických obvodech je pak cívka přepnuta na měřící kanál. V tuto chvíli koná soustava protonů precesní pohyb s frekvencí okolo 2 kHz. V cívkce se indukuje slabé napětí v řádu μV , které je měřitelné, při použití vhodného, úzkopásmového zesilovače. Reálně je možné dosáhnout poměru signál/šum až 50:1. Soufázový precesní pohyb protonů ustává po odpojení budícího pole. Stejnou měrou klesá až k nule i úhel θ , který je v počáteční fázi měření přibližně roven 90° . Doba potřebná k výraznému poklesu užitečného signálu se nazývá relaxační dobou τ a je specifická pro každý měřený vzorek. Tato doba bývá pro vhodná média nejčastěji v řádu několika sekund, což je v důsledku doba vhodná k přesnému měření precesní frekvence. Speciálním příkladem velmi rychlé ztráty fáze je měření ve velkém gradientu pole, kdy je vnější pole různé přes průřez sondy. [16]

Pro určení doby vhodné k měření precesní frekvence je používána metoda čítání period. V podstatě se jedná o měření počtu period oscilátoru řízeného krystalem, zařazeného v obvodech magnetometru a jejich navázání na frekvenci precese. Frekvence oscilátoru je mezi 100–1000 kHz, vhodnou synchronizací ve dvou soustavách binárních čítačů s precesí, je vždy ke každému

měření napočítáno $2^{10} = 1024$ period volné precese. Podle [15] je čas potřebný k měření magnetického pole T je možné přibližně vypočítat dosazením do vztahu (2.3).

Výhody použití protonového magnetometru spočívají hlavně v jeho nezávislosti na vnějších vlivech okolí. Jeho měřící soustava pracuje s jádrem izolovaného atomu. Jeho přesnost (v současnosti běžně 1 nT) závisí hlavně na správné kalibraci oscilátoru. Je rychlý (čtení jednou za < 4 s), s celosvětovým rozsahem v teplotách $(-40) - 60$ C°. Dále je možné k měření gradientu pole využít měřených hodnot dvou, současně měřících, sond umístěných v různé výšce. Toto diferenční měření není ovlivněno denní variací pole. Práce s magnetometrem je jednoduchá viz Obrázek 2.5. Podle [16] změna umístění a orientace magnetometru v prostoru pouze mění citlivost sondy. Výsledkem měření je absolutní hodnota T .

2.4. Metodika měření a zpracování výsledků

Magnetometrická měření jsou, kromě jiného, zásadním přínosem obzvláště pro oblast aplikované geologie. Jedná se nejčastěji o geologický průzkum podloží ve snaze monitoringu magnetických vlastností hornin. Celá terénní výstroj je vyobrazena na Obrázku 2.6. Výsledných hodnot se pak využívá k vyznačení různých struktur podloží v měřítku od 1:500 000 (vzdálenost profilů 5 km) k vymezení regionálních geologických struktur, přes 1:200 000 (vzdálenost profilů 2 km), k upřesnění strukturních tvarů a získání údajů o reliéfu podloží pánví aeromagnetická mapování reliéfu až po měřítka 1:10–25 000 v pozemních měřeních (hustota měřících bodů 3–50 bodů/10 km²) pro vyhledávání rudných ložisek. Pro nejpodrobnější měření na úrovni vyhledávání magnetických anomálií lokálního charakteru s informací o přesné poloze a tvaru tělesa, který je zdrojem této anomálie, se využívají měřítka 1:1000 až 1:10 000 v závislosti na projektu. [16]

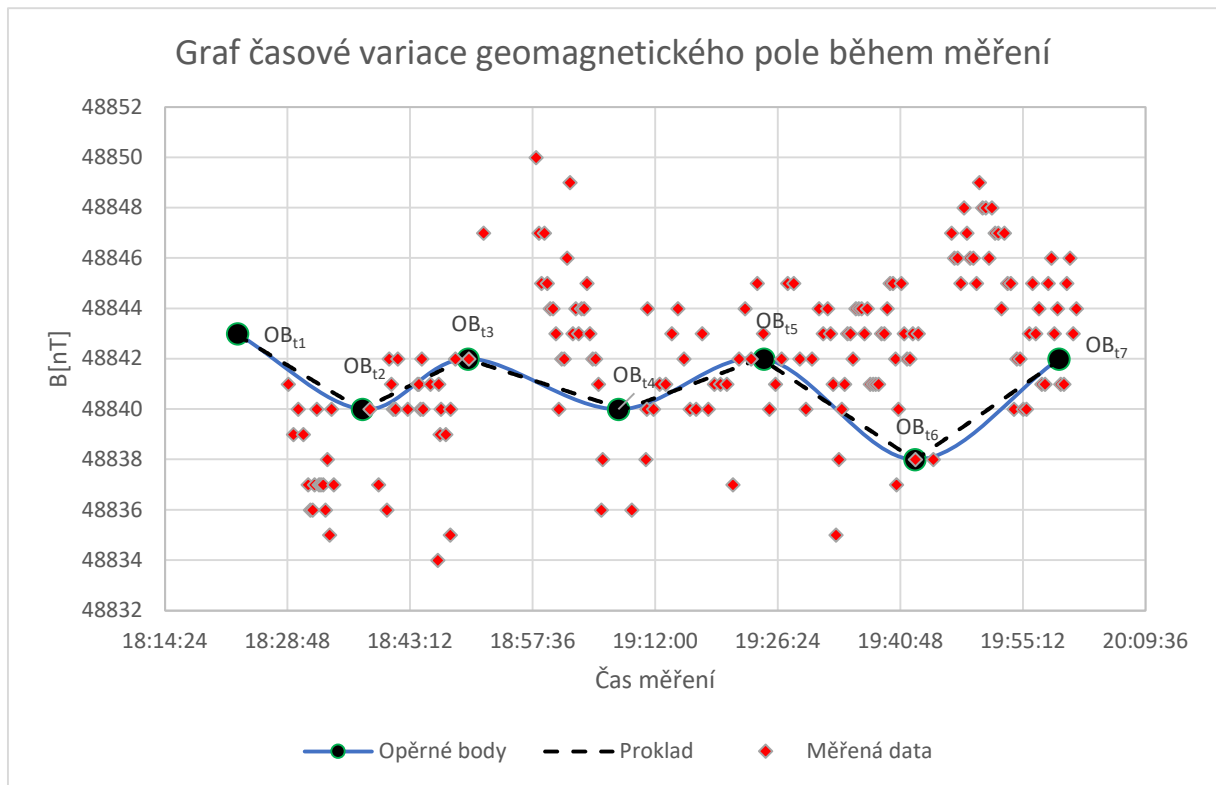
Z těchto informací je zřejmé, že rozložení a velikost polygonu se vždy řídí potřebou aktuální aplikace. Měřící síť je složena z měřících bodů, které jsou dále uspořádány do několika souběžných řad – profilů. Nejobvyklejší mezi-profilové intervaly v podrobných měřeních se pohybují mezi 20–100 m, v závislosti na složitosti geologické situace. Body na profilech se situují s krokem 5–20 m, v závislosti na očekávané velikosti podzemních objektů. Směr profilů se nejčastěji volí kolmo k potenciálním anomálním jevům v zemi. Vzhledem k povaze měření pro účely práce bylo vhodné, zvolit měřící síť co nejhustší, ale zároveň zohlednit praktickou (časovou) stránku měření. Byly proto zvoleny rozestupy 20 m/profil s krokem 2,5 m/bod v profilu. Ihned po příjezdu je třeba na kontrolním bodě, který se vyznačuje ideálně nepřítomností magnetických prvků nad i pod zemí, odečíst minimálně 6 hodnot. Pokud by

výsledný průběh odhalil zvýšenou aktivitu geomg. pole (pokud $\sigma^2 > 3-4$ nT) jsou už podmínky pro měření nevhodné neboť kolidují z více než 10 % s očekávanou hodnotou reálných výchylek z podloží. [9]



Obrázek 2.6: Magnetometrická měřicí souprava PM - 1 Geofyzika Brno

Pro eliminaci krátkodobých variací geomg. pole se vytyčují na velkých měřicích plochách tzv. opěrné body. Na těchto místech se realizují opakovaná měření v přesně daných časových intervalech měření. Z naměřených hodnot pak lze interpolací realizovat křivku absolutních krátkodobých variací geomg. pole v nejbližších měřených bodech. Tyto hodnoty se poté využijí k finální korekci všech odečtených hodnot. Všechna měření musí být časově indexována, aby bylo možné je zpětně korigovat. Počet bodů a plošná hustota sítě se opět volí s ohledem na zadání průzkumu a aktuální topografické podmínky. Pro měření byl zvolen jeden opěrný bod situovaný uprostřed monitorovaného území. Vzhledem k tomu, že na pozemku nebyly umístěny, kovové předměty, měřič, provádějící měření měl nemagnetický oděv a jednalo se o volné prostranství, byla tato metoda subjektivně vyhodnocena jako optimální. Po odměření každého profilu bylo provedeno měření na opěrném bodě a hodnota zapsána. Veškeré měřené hodnoty včetně hodnot na opěrných bodech jsou, pro ilustraci poměru měřených hodnot a denní variace, chronologicky vyneseny v Obrázku 2.7. Křivka vzniklá proložením hodnot, měřených na opěrných bodech se v dalším kroku stane základem pro korekci krátkodobých variací.



Obrázek 2.7: Grafické znázornění měřených dat v čase vč. denní variace na opěrném bodě

Pro samotné hodnocení se obvykle nevyužívá absolutních hodnot magnetické indukce B [nT], ale jejích korigovaných hodnot ΔT [nT]. Korigované hodnoty vypočítáme, dle [16], následujícím způsobem:

- Mějme řadu po sobě jdoucích měření kde $B(t) = (B_{t1}, B_{t2}, \dots, B_{ti})$, zároveň máme na opěrných bodech změřené hodnoty časového vývoje geomagnetického pole $P(t) = (P_{t1}, P_{t2}, \dots, P_{ti})$ vzniklé interpolací mezi diskrétními odečty hodnot.
- Z hodnot časové řady $P(t)$ vypočteme aritmetický průměr \bar{P} a každému časovému okamžiku přiřadíme hodnotu variace $V(t) = P(t) - \bar{P}$, tato hodnota zastupuje denní variaci ve výpočtu.
- Z každé měřené hodnoty $B(t)$ odečteme hodnotu variace $V(t)$ tzn. $T(t) = B(t) - V(t)$. Tato hodnota fakticky zastupuje časovou řadu užitečných hodnot zbavenou denní variace.
- Pro časovou řadu $T(t)$ vypočteme medián \tilde{T} .
- Následně vypočítáme pro každý časový okamžik korigovanou hodnotu $\Delta T(t) = T(t) - \tilde{T}$. Tato hodnota vystihuje reálnou výchylku geomagnetického pole v časovém okamžiku.

Pro korektní zpracování výsledků je zásadní znaménko hodnoty $\Delta T(t)$ je tedy bezpodmínečně potřeba jej zachovat. Různé druhy magnetických anomálií se totiž vykazují různou vektorovou orientací této hodnoty. V běžné geologické praxi se hodnota dále zpracovává systémem matematických analýz, které berou celý měřený polygon jako vektorové pole. Např. pro rozpoznání geologicky významných hranic v podloží se například využívá prvních derivací v různých směrech. Takovýchto analýz existuje celá řada. Vzhledem k tomu, že magnetometrická data mají v kontextu práce pouze informativní charakter, nebude těmto analýzám věnován další prostor. Vzhledem k informativní povaze dat nebudou ani podrobovány žádným hygienickým referenčním hodnotám jako tomu je u ostatních měřených polí.

3. Elektromagnetická pole v životním prostředí

V současné době mobilních sítí, bezdrátového internetu, značného množství elektroniky v domácnostech i na pracovištích, je elektromagnetické (dále jen elmg.) pole každodenním a celoživotním doprovodem každého z nás. Navíc se poměrně často, v husté zástavbě, umisťují základové stanice *GSM* a vysílače *VKV*. Jedná se o jedno ze stěžejních fyzikálních polí v životním prostředí. Lze na něj pohlížet buď z pohledu hygieny záření, tzn. z hlediska fyziologických účinků nebo jako na rušivý element ve vztahu k interakci s elektronickými zařízeními. V prvním případě lze tyto účinky popsat pomocí veličiny *SAR*. Jedná se o zkratku středního absorbovaného výkonu přijatého tkání. Na základě znalosti této energie můžeme predikovat další chování sledované tkáně. V druhém případě se jedná o měření tzv. měření elektromagnetické kompatibility *EMC*, které se provádí v kontextu ochrany techniky před rušením elektromagnetickým polem různých frekvencí. [19]

Frekvenční rozsah elektromagnetického záření zahrnuje ionizující i neionizující energie záření. Zasahuje od nejmenších vlnových délek 10^{-12} m a největších energií, kde začíná spektrum gama záření, přes RTG záření, UV záření, viditelné spektrum 380–740 nm, IR záření, přes mikrovlnné záření televizních vln až po 10^4 m vlnové délky rádiových vln. V této kapitole bude hlavní pozornost věnována neionizujícímu záření.

3.1. Základní poznatky

I přesto, že pojem elektromagnetické (dále jen emg.) záření obsahuje celé spektrum frekvencí, pro všechny vlnové délky platí stejné fyzikální zákony: šíří se rychlostí světla, ohýbají se, lámou se, rozptylují se a jsou polarizovány. Základem jejich různosti jsou různé poměry vlnových délek k fyzikálním vlastnostem prostředí, případně rozdílná energie. [20]

Emg. pole je definováno dvojím způsobem. Zvláštním případem je projev formou vlnění. Postupná elektromagnetická vlna, ve které je vektor intenzity elektrického pole \vec{E} kolmý na vektor magnetické intenzity \vec{H} . Směr šíření vlny je pak kolmý na rovinu vektorů \vec{E} a \vec{H} . Pro popis šíření emg. pole definujeme tzv. Poyntingův vektor \vec{S} , který je definován vektorovým součinem intenzit elektrické a magnetické složky pole. Jeho velikost pak udává plošnou hustotu toku výkonu. Můžeme tedy psát (3.1).

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (3.1)$$

Rychlost šíření je definována vztahem (3.2), kde c značí rychlost světla a μ_r , ϵ_r značí relativní permeabilitu a relativní permitivitu prostředí.

$$v = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \cdot \epsilon_r}} \quad (3.2)$$

Elektromagnetické pole se může chovat i jako proud částic letící prostorem rychlostí světla. Tyto částice nazýváme fotony. Energie těchto fotonů závisí na frekvenci f a vlnové délce λ a je dána vztahem (3.3)

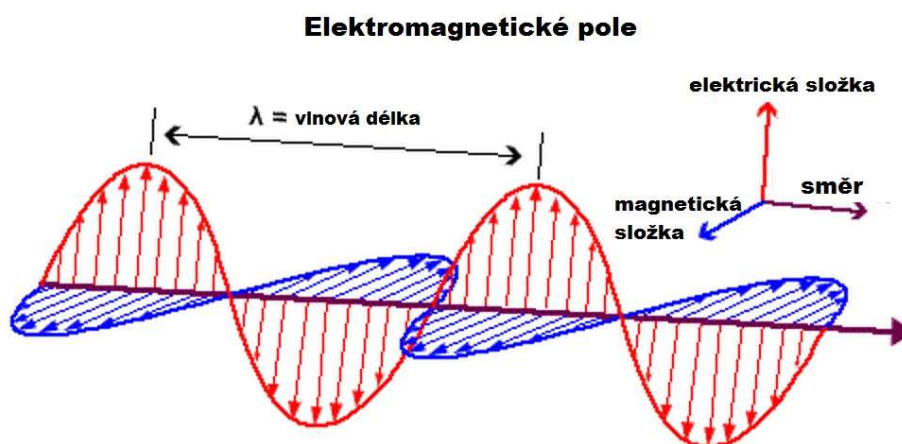
$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.3)$$

Energie kvant, resp. fotonů je dána vztahem (3.4)

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (3.4)$$

Kde konstantu $h = 4,135 \times 10^{-15} \text{ J} \cdot \text{s}$, nazýváme Planckova konstanta. Ze vztahu (3.4) můžeme, při známé minimální ionizační energii (viz níže), určit hraniční frekvenci $f = 10^{12} \text{ Hz}$, mezi ionizujícím a neionizujícím zářením. Minimální energie přírodních fotonů potřebná k ionizaci je shodná s množstvím energie, které je potřeba na odtržení elektronu z obalu atomu.

Je tedy zřejmé, že je pro každý atom různá. Podle [11] byla tato hodnota určena na $E_{min} = 5$ eV, resp. 10 eV pro interakci s tkání.



Obrázek 3.1: Grafické znázornění emg. vlnění s rozkladem na jednotlivé složky pole [10]

3.2. Fyziologické účinky

Biologický účinek elektromagnetických polí je poměrně rozsáhlou problematikou vzhledem k mnoha faktorům. Kromě frekvence záření závisí i na dalších parametrech: intenzitě, amplitudě časovém průběhu a době působení. Závisí však i na fyziologických (stav tělesné termoregulace) a fyzikálně – chemických vlastnostech organismu (hmotnost, rozměry, BMI atd.). Problematické je i hodnocení výsledků prováděných experimentů vzhledem k požadavkům reálné praxe. Elektromagnetické pole se obecně projevuje do organismu tepelnými a netepelnými účinky. Za jistých podmínek mohou netepelné projevy převažovat nad tepelnými a být tak určujícím faktorem v ŽP [20]. Mezi těmito dvěma mechanismy působení neexistuje ostrá hranice. Mechanismus působení emg. vln je obecně popsán na Obrázku 3.2.

Jak bylo řečeno, současně s frekvenční závislostí, je zásadní i vliv různého časového průběhu vyzařovaného signálu. Ten může být buď nedomulovaný, pak je průběh signálu harmonický, s konstantní amplitudou a frekvencí, nebo modulovaný kdy se amplituda v čase, nejčastěji periodicky, mění. Hraničním případem amplitudově modulovaného signálu je pulzní modulace. Dnes je již i v praxi dokázáno, že větší biologická aktivita je způsobena netepelnými účinky emg. pole v pulzním režimu. Tento poznatek je dnes, podle [21], paradoxně využíván v medicínské oblasti jako je např. VF pulzní elektro-magnetoterapie, kde účinky VF polí jsou řízeně využívány k léčebným účinkům v přesně stanovených, terapeutických dávkách a době ozáření.



Obrázek 3.2: Mechanismus účinků radiových vln [25]

Obecně lze tedy říci, že účinky nízkých frekvencí, tzn. 0–1 kHz, indukují v živých tkáních vznik vířivých proudů, které mají pak vliv na bioelektrické vlastnosti buněčných membrán a ve výsledku pak na elektro-fyzikální/chemické prostředí v celých organismech. Podle [4] má největší účinek na organismus v tomto frekvenčním rozsahu působení impulsních polí. Maximum účinku se promítá do nervového a kardiovaskulárního systému, sekrečního aparátu, zažívacího traktu i do endokrinní soustavy. Dlouhodobé ozařování organismu polem s nízkou výkonovou hustotou se projevuje hlavně nespecifickými účinky na centrální nervovou soustavu (subjektivní tělesné slabosti). [19],[20]

V oblasti rádiových vln 3 kHz–300 MHz. je, mechanismus účinku poměrně podrobně popsán ve studii [25]. Ač byla tato práce sepsána již v 60. letech, její výsledky jsou, na poli výzkumu nízkofrekvenčních dávek, inspirativní a platné dodnes. Nakonec i legislativní orgány ICNIRP formulují některá svá doporučení na jejích základech. V rámci zkoumaného pásma můžeme hovořit o pomyslném prahu ne/tepelných účinků.

Dávky obdržené z vyšších kmitočtů pak vykazují majoritně tepelné účinky přímým zahříváním tkání. Vysoké frekvence v oblasti mikrovlnného záření vykazují jasné důkazy ohřevu exponovaných tkání, nicméně poměrně malou pronikavost, která je pak opět funkcí konkrétní použité frekvence a konkrétního složení tkáně. V přímém zdravotním ohrožení tak jsou, podle nařízení vlády č. 291/2015 Sb. a navazujících norem ICNIRP, hlavně oči a mužské reprodukční ústrojí.

3.3. Technika pro měření el.mg. polí

Měření základních parametrů elektromagnetických polí přechází na stanovení intenzit E nebo H , pracovní frekvence, polarizace vlny, vyzářovací charakteristiky zdroje, časový průběh a prostorové rozložení pole. Zásadní parametr u měřicího přijímače, který je nutné vzít v úvahu, je frekvenční pásmo, pro které je s ním možné měřit. Je tedy vhodné toto pásmo určit již před měřením, vzhledem k požadované aplikaci.

V současnosti je mezi firmami, zabývajícími se měřením elektromagnetického pole poměrně oblíbený měřicí přístroj EMR – 30 Wandel & Goltermann. Je použitelný v pásmech s dolní hranicí 100 kHz. Horní hranici lze nastavit s využitím vhodných druhů typových sond, které jsou součástí měřicího setu. Přístroj má integrovanou vnitřní paměť až na 1500 hodnot. Lze s ním provozovat krátkodobá i kontinuální měření. Může být nastaven i do módu plošného měření, kdy s pomocí nezávislého GPS modulu můžeme zaznamenávat souřadnice jednotlivých měření a ve výsledku tak získat představu o tvaru a prostorovém rozložení elektromagnetického pole. Přístroj je, včetně dostupných druhů měřicích modulů-sond, vyobrazen na Obrázku 3.3.



Obrázek 3.3: EMR 300 Wandel & Goltermann

Předchozí přístroj je určen pro expertní aplikace, jeho konstituce je velice křehká a v terénní praxi je jeho využití velmi nákladné. V práci byl uveden jako extrémně přesná, ale málo dostupná varianta. Mnohem dostupnější variantou měřicí techniky pro účely měření parametrů emg. pole je přístroj TENMARS TM – 190. Jedná se o standardní vybavení pro měření v interiérech i venkovních prostorech. Detektory pro měření jednotlivých složek jsou v konstrukci uspořádány tak, aby mohlo zároveň probíhat měření intenzity elektrické složky a magnetické indukce elektromagnetického pole a naměřené hodnoty byly ihned k odečtení. Tento přístroj byl využit pro terénní měření.



Obrázek 3.4: Přední a zadní panel přístroje TENMARS TM – 190

Přístroj nabízí uživateli kontinuální měření, vzorkované s integrační konstantou 6 s. V jednu chvíli probíhá hodnocení parametrů VF pole formou měření efektivní hodnoty intenzity el. pole [V/m] a NF zátěže prostředí, ve formě měření intenzity magnetické indukce B [μT] a elektrické složky pole E [V/m]. Měřené hodnoty se následně odečítají na LCD displeji. Měřidlo je vybaveno senzory o parametrech uvedených v Tabulce 3.1 Tyto hodnoty byly převzaty z technické specifikace přístroje veřejně dostupné na webu www.TENMARS.com.

Tabulka 3.1: Parametry senzorů přístroje TENMARS TM - 190

	NF Mg. pole	NF EL. pole	VF Výkon pole
Měřicí rozsah	2/20/200 μT	50 - 2000 V/m	50 - 2000 V/m
Rozlišení	0.2/0.1/1 μT	0.2/0.1/ V/m	0.2/0.1/ V/m
Monitorovaná frekvence	50/60 Hz	50/60 Hz	50 MHz - 3.5 GHz
Přesnost	$\pm(15\% + 100 \text{ dg})$	$\pm(7\% + 50 \text{ dg})$	$\pm 2\text{dB}$ (2.45 GHz)

3.4. Metodika měření a zpracování výsledků

Pro účely práce bylo třeba zmonitorovat parametry nízkofrekvenčních (50 Hz) a vysokofrekvenčních elektromagnetických polí (900–1800 MHz) na měřené lokalitě. Vzhledem

k tomu, že pozemek má podobu volného prostranství, byl pro měření využit systém měřicích bodů využitých v magnetometrických měřeních a gama spektrometrii.

Česká legislativa, tzn. nařízení vlády č. 291/2015 Sb. v současné době nepodává ucelený přehled metodiky měření ve volné přírodě, ale pouze přehled limitních hodnot a metodik výpočtu, inspirovaných doporučením ICNIRP, která jsou mimo jiné v současnosti předmětem mnohých sporů. Komfort měřené lokality z hlediska problematiky elektromagnetických polí byl řešen z hlediska hodnocení netepelných účinků NF a VF polí, z hlediska SAR.

- **Hygiena neionizujícího záření nízkofrekvenčních polí**

Přístroj je přímo vybaven detektorem pro měření intenzity elektrické složky pole E [V/m] a velikostí magnetické indukce B [T] elektromagnetických polí s frekvencí 50 Hz. Pro každý měřený bod byla tedy naměřena a zapsána okamžitá hodnota těchto dvou veličin, po ustálení.

Dle nařízení vlády č. 291/2015 Sb, je nejvyšší přípustná hodnota pro účinky způsobené elektrickou stimulací tkáně polem ve frekvenčním pásmu od 0 Hz do 10 MHz je dána modifikovanou intenzitou elektrického pole $E_{mod}(t)$ indukovaného v tkáni, což je intenzita elektrického pole indukovaného v tkáni modifikovaná lineárním filtrem s frekvenční charakteristikou $G(f)$. Pro nepřekročení nejvyšší přípustné hodnoty nesmí v žádném časovém okamžiku velikost modifikované intenzity elektrického pole $E_{mod}(t)$ překročit hodnotu 1 V/m pro zaměstnance a 0,2 V/m pro fyzické osoby v komunálním prostředí. Frekvenční charakteristika filtru pro celotělovou expozici má velikost definovanou vztahem (3.5), kde $f_0 = 3000$ Hz. Z analytického řešení vychází $G(50) = 0,579$. Kompletní postup bude dále rozebrán v kap. „Výsledky měření – *Elektrická stimulace tkáně*“

$$G(f) = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 0,8} \cdot \frac{1}{1 + \frac{f}{f_0}} \quad (3.5)$$

- **Hygiena neionizujícího záření vysokofrekvenčních polí**

Přístroj je přímo vybaven detektorem pro měření velikosti efektivní hodnoty intenzity el. pole [V/m] pro elektromagnetická pole o frekvencích v intervalu 50 MHz–3,5 GHz. Pro každý sledovaný bod na ploše byla tedy, v intervalech po šesti minutách, naměřena a zapsána střední hodnota intenzity elektrické složky elektromagnetického pole. Kompletní postup bude dále rozebrán v kap. „Výsledky měření – *Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.*“

4. Ionizující záření v životním prostředí

Ionizující záření je souhrnné označení pro energetická kvanta, která mají dostatečné množství energie k tomu, aby interagovala s atomovými obaly neutrálních částic a vyrážely z nich elektrony. Tímto mechanismem dojde ke vzniku kladného iontu, zatímco volný elektron interaguje s další částicí, rekombinuje a vytváří záporný iont. Celý tento proces nazýváme ionizace. Obecně lze říct, že ionizující záření způsobuje přenos energie, který může probíhat formou interakce hmotných částic nebo ve formě vln elektromagnetického záření. [11]

Následující kapitola se věnuje problematice přírodní radioaktivity, vznikající z přírodních, primordiálních radionuklidů a jejich dceřiných prvků, sekundárních radionuklidů. Dále je zmíněn příspěvek kosmického záření jako součásti přírodního radiačního pozadí. Ke správnému pochopení tématu ionizujícího záření je důležité zavést základní veličiny a jednotky používané v radiační praxi. V následujícím textu je popsána radioaktivita hornin v ČR jako samostatné téma, i jako úvod ke kapitole radonové problematiky. Závěr kapitoly se zabývá měřeními vybraných veličin přírodní radioaktivity.

4.1. Základní poznatky

Jaderné záření provází přeměny nestabilních jader atomů. Přeměny radionuklidů jsou podmíněny nestabilitou jader, která závisí na poměrech částic v jádru. Rychlost přeměny je specifická pro každý radionuklid a je definována přeměnovou konstantou λ (s^{-1}). Počet atomů v čase t popisuje zákon radioaktivní přeměny, definovaný vztahem (4.1), kde N_0 a $N(t)$ vyjadřuje počáteční počet atomů a počet atomů v čase t . [11]

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (4.1)$$

Zároveň je možné zavést pojem poločas přeměny $T_{1/2}$, který definuje dobu, za kterou dojde k přeměně poloviny jader radionuklidu s přeměnovou konstantou λ . Tento čas je dán vztahem (4.2). [11]

$$T_{\frac{1}{2}} = \ln \frac{2}{\lambda} \quad (4.2)$$

Radioaktivní přeměny jsou provázeny emisí částic nebo energie, které označujeme α , β , γ a neutrony. Vykazují různé druhy chování v elektrickém a magnetickém poli. Základní veličiny a zdroje jaderného záření jsou uvedeny v Tabulce 4.1.

- Záření *alfa* je proudem kladně nabitých částic jader hélia ($2p+2n$) se silnými ionizačními účinky, krátkým doběhem, střední energií $E_0 < 10$ MeV a dosahem ve vzduchu v řádu jednotek až desítek cm, ve tkáni v řádu μm
- Záření *beta* je proudem elektronů nebo pozitronů s dosahem několika metrů ve vzduchu a spojitým spektrem energie částic.
- Zářením *gamma* označujeme elektromagnetické záření, jehož interakce jsou určeny statisticky. Energie gama kvant je charakteristická pro každý radionuklid. Obecně pro kvanta o $E_0 \leq 2,6$ MeV, je prokázán dosah až 700 m ve vzduchu ve smyslu úbytku počtu fotonů ve svazku o 95 %.
- Neutrony označujeme, podle jejich energie mezi 0,5 MeV–0,5 eV jako rychlé, nadtepelné a tepelné.

Tabulka 4.1: Základní veličiny a jednotky používané v dozimetrii životního prostředí [11]

Veličina	Symbol	Jednotka	Poznámka
Aktivita	A	Bq	Počet přeměn za sekundu
Hmotnostní aktivita	a_m	$\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	Koncentrace radionuklidů v tuhých látkách
Objemová aktivita	a_v	$\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$	Koncentrace radionuklidů v plynech
Plošná aktivita	a_s	$\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$	Koncentrace na povrchu
Dávka	D	Gy	Energie předaná elementu hmoty
Dávkový příkon	\dot{D}_a	$\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$	Energie sdělena v čase
Efektivní dávkový ekvivalent	H_E	Sv	Součet vážených středních hodnot dávkových ekvivalentů ve tkáních a orgánech lidského těla

Biologické působení ionizujícího záření můžeme, kromě jiného, rozdělit na účinky stochastické (se stoupající obdrženou dávkou se lineárně zvyšuje pravděpodobnost účinku) a deterministické (po překročení prahové hodnoty dojde k fyzickému projevu účinku). Pro lepší vyjádření stochastických účinků I.Z. z hornin, v praktické část, je v následujících vztazích vysvětlen postup odhadu efektivní dávky. Vzhledem k rozdílnému značení veličin v literatuře budou všechny značky všech veličin dodatečně popsány. Měřenou veličinou je v případě radioaktivity dávkový příkon \dot{D}_a . Dávkový příkon sdělený v čase nazýváme střední absorbovanou dávkou D_R . Vyjádříme pak podle (4.3)

$$D_R = \dot{D}_a \cdot t \text{ [Gy]} \quad (4.3)$$

Součet středních dávek v bodě, vážený radiačním váhovým faktorem w_r ($w_r = 1$ pro gama záření) nazýváme ekvivalentní dávkou H_T ve (4.4). Pro každý další druh záření je hodnota w_r specifická.

$$H_T = \sum w_r \cdot D_{T,R} \quad (4.4)$$

Efektivní dávka se následně vypočítá jako součet ekvivalentů vážených koeficienty tkání.

4.2. Přírodní radiační pozadí

I přesto, že v současné době se největší pozornosti a obavám dostává umělým zdrojům ionizujícího záření, zvláště jaderným zařízením, je obyvatelstvo vystaveno největšímu ozáření z přírodních zdrojů viz Obrázek 4.1. Toto ozáření je na Zemi nerovnoměrné, vzhledem k nadmořské výšce i geologické skladbě podloží. Některé skupiny obyvatel jsou vystaveny dávkám několikanásobně převyšujícím světový průměr a někdy se dostávají až na samou hranici deterministických účinků. [11]

Radiační situace na území ČR je zjišťována především pomocí Radiační monitorovací sítě (RMS). Jejím řízením je pověřen Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB). Vedle jeho Regionálních center (RC), Státního ústavu radiační ochrany (SÚRO) a držitelů povolení k provozu jaderných zařízení, se na činnosti RMS podílejí organizace resortů Ministerstva financí (MF), Ministerstva obrany (MO), Ministerstva vnitra (MV), Ministerstva zemědělství (MZe) a Ministerstva životního prostředí (MŽP). Jejím účelem je za normálních podmínek monitorovat radiační pozadí, v krizových případech podává ucelenou informaci o radiační situaci z jednotlivých částí ČR

Systémy měření dávkových příkonů v rámci RMS jsou různé. Pro účely práce jsou zajímavé hlavně metody termo-luminiscenční dozimetrie, která se provádí s pomocí integrálních dozimetrů zasazených do zájmových oblastí. Ze znalostí doby expozice je následně možné vyvodit průměrné ozáření v okolí měřícího bodu. Další metodou monitorování, kterou často využívají mobilní skupiny RMS jsou terénní, pojezdová, pochodová nebo letecká měření. V rámci možností využití nejnovějších trendů v GIS je často využíván např. systém Safecast, který je založen na principu mezinárodního sdílení radiačních měření vč. zeměpisných koordinátů s pomocí polovodičových detektorů. Při pochodových měřeních a geofyzice se nejčastěji využívají scintilační krystaly NaI(Tl) se spektrometrickými vlastnostmi, k určení D_a včetně obsahů radioaktivních prvků v místech měřených bodů. Je možno použít i starší typy přístrojů např. staříčkový radiometr DC-3E-98 tzv. žehlička, který je založen na principu detekce

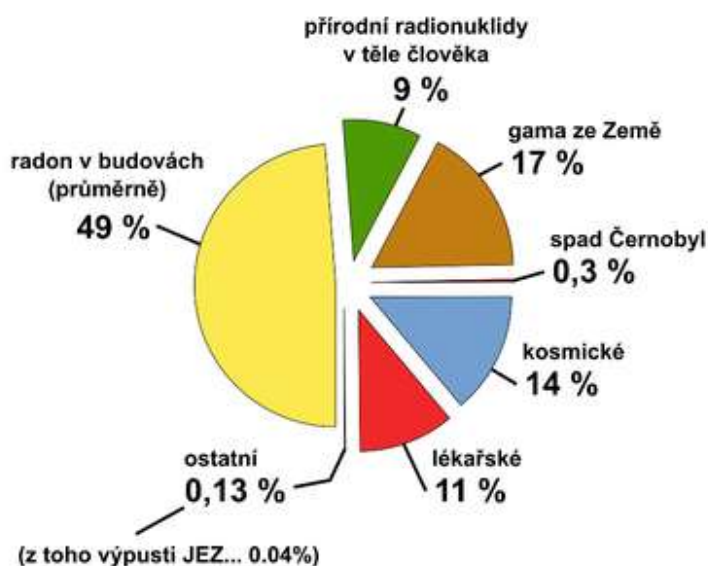
gaiger-mullerovými trubicemi, bez možnosti spektrometrie. Spektrum techniky, použitelné k tomuto typu měření je široké, konkrétní výběr je pak směřován aplikací, pro kterou je vybavení určeno. V praxi lze přístroje rozdělit na:

- a) scintilometry – čítače impulzů, kde nás zajímá pouze nalezení zdroje
- b) spektrometry – kromě polohy zdroje nás zajímá o jaký druh zářiče se jedná
 - a. ruční – technika je určena pro práci v terénu
 - b. laboratorní – je určena svojí křehkostí pro přesnou laboratorní práci
 - i. geologická – spektrálně přizpůsobena na přírodní radionuklidy
 - ii. průmyslová - spektrálně přizpůsobena na umělé radionuklidy

Pro účely práce byly vybrány obecně geologické, ruční spektrometry, konkrétně Georadis GT-40, jedná se o spektrometrický přístroj se scintilačním krystalem a možností přiřazení GPS souřadnic jednotlivým měřicím bodům před vyčtením, běžně se využívá k pochodovým měření. Druhou možností byl Gamma Surveyor od výrobce GF-instruments, který bylo, pro účely práce, možné zapůjčit. Vše s laskavou spoluprací se SURO v.v.i.

Zdrojem přírodní radioaktivity je i kosmické záření, radioaktivita hornin a Radon. Příspěvky ročních efektivních dávek z kosmického záření jsou až 0,38 mSv. Dávky z hornin jsou značné míře je určena hlavně přítomností prvků K, U a Th a členy jejich přeměnových řad. Jejich roční příspěvek dosahuje až 0,46 mSv. Vysoký obsah uranu obvykle vykazují hlavně horniny vyvřelé např. durbachity a žuly, střední obsahy nalezneme v metamorfovaných horninách a nejnižší v sedimentovaných horninách. Thorium vykazuje nejvyšší hmotnostní aktivity hlavně v monazitových pískách (až 100 kBq.m⁻³) přičemž obvyklé hodnoty jsou okolo 1-100 Bq.m⁻³. Plynné, dceřiné prvky pak z těchto hornin mohou emanovat a dostávají se tak do ovzduší, vody a potravního řetězce, kde jsou zdrojem ozáření. Jedním z těchto prvků je i radon. Ve světě jsou známy lokality s extrémně vysokými úrovněmi radonu v budovách např. v okolí Umhausenu v Rakousku, některé obce ve středočeském plutonu nebo třebečském syenitovém masivu. Příčinou těchto zvýšených expozic může být radon emanující z hornin, který difunduje netěsnostmi dovnitř budov nebo radon emanující ze stavebních hmot. Problematikou radonu se vědecká obec zabývá od 80. let.

Rozdělení dávek obyvatelstvu

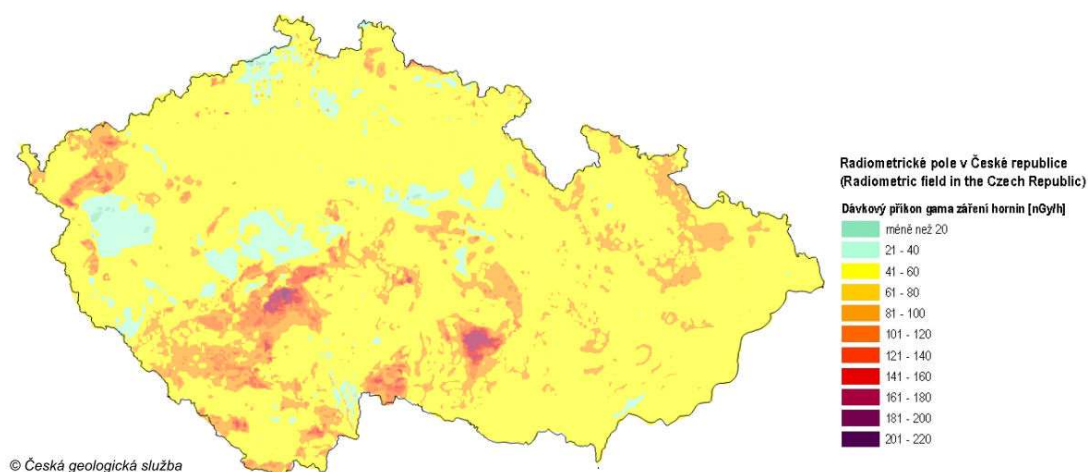


Obrázek 4.1: Rozdělení dávek obyvatelstvu ČR [11]

Existují i místa na Zemi, kde dochází k nadstandardnímu zevnímu ozáření např. písky se zvýšenou koncentrací radionuklidů v Kerale-Indie nebo Ramsar v Iránu. Ve všech zmíněných případech se jedná o radioaktivitu původních hornin, která je příčinou těchto expozic. Jiným případem jsou velké dávky kosmického záření, které jsou způsobeny vyšší nadmořskou výškou nebo nehomogenitami geomagnetického pole viz kapitola „*Magnetické pole Země*“.

Území ČR je světově známé zvýšeným výskytem radioaktivních hornin, které se objevují v Českém masivu a Západních Karpatech. Poměrně spolehlivou představu o dávkových příkonech z hornin v měřené oblasti je možné získat z Obrázku 4.2. Nachází se na něm orientační vyobrazení radiometrické mapy – mapy dávkových příkonů v ČR. Vzhledem k rozsahu práce budou uvedena pouze území s nejvyššími dávkovými příkony hornin D_a [$\text{nGy}\cdot\text{h}^{-1}$], dále budou hodnoty uváděny bez jednotek. Pro srovnání, ($D_a = 65,6 \pm 19$) je střední hodnota určená v ČR, ($D_a = 55$) pak celosvětově. Nejzajímavější částí masivu, z hlediska radiační situace, je *moldanubická oblast* (na Obrázku 4.2. odpovídá oblasti se zvýšeným D_a), oblast, kde v geologických útvarech, moldanubických plutonech (mezi Volary a Pískem a u Nového Města na Moravě) nacházíme místa s příkony ($D_a = 150\text{--}200$). V syenitech jihlavského masivu ($D_a = 80\text{--}150$). Dalším zásadním celkem ČR je středočeský pluton, zde je četné zastoupení magmatitů z nichž nejzajímavější jsou typy Čertovo břemeno ($D_a = 125\text{--}220$), sedlčanský ($D_a = 105\text{--}150$) a Táborský ($D_a = 95\text{--}125$). [13]

Radiometrická mapa ČR



Obrázek 4.2: Mapa ČR s uvedením dávkového příkonu hornin [14]

4.3. Metodika měření přírodního pozadí

K hodnocení přírodního pozadí se využívá příspěvků z přirozené radioaktivity hornin a kosmického záření. V dalším textu bude tedy systematicky popsáno hodnocení obou příspěvků a jejich vzájemný vztah v konečném výsledku měření.

- **Příspěvek z kosmického záření**

Pro efektivní roční dávku z kosmického záření, obdrženou na měřené lokalitě bylo využito hodnoty převzaté z literatury [11],[15] $E = 0,38$ mSv. Tato hodnota vychází z průměrné hodnoty dávek kosmického záření v celosvětovém měřítku. Výsledek je pro nadmořskou výšku měřené lokality, cca. 360 m.n.m. a vzhledem k průměrné aktivitě geomagnetického pole v našich geografických polohách, značně nadhodnocený. Vzhledem k bezpečnostní povaze hodnocení lokality je však tento přístup v pořádku. Hodnota efektivní dávky uvedená výše je ke každému měřenému bodu přičtena.

- **Příspěvek z radioaktivity hornin**

Při hodnocení radioaktivity hornin na měřené lokalitě se využívalo geologických radionuklidových metod, konkrétně metod radiometrických. Provedené měření bylo spektrometrické povahy s hodnocením záření gama. Pro měření byl využit přístroj Gama surveyor od české společnosti G.F. instruments s.r.o. využívající k detekci scintilačního krystalu NaI(Tl) a s integrovaným stabilizačním zdrojem Cs^{137} , viz Obrázek 4.3.



Obrázek 4.3: Přístroj Gama surveyor G.F. instruments v terénních podmínkách

Pro samotné měření bylo využito techniky měření v jamkách tzn. v hloubce 0,3 m pod povrchem terénu. Snižuje se tak nepříznivý účinek vrstev radioaktivního spadu a povrchové vlhkosti. Měřicí profily navázaly na měřicí síť magnetometrických měření, pouze s krokem 5 m/bod v každém profilu. Vzdálenosti profilů zůstaly 20 m [16]. Jednotlivá měření byla prováděna po dobu 4 min. Tento čas je potřebný pro registraci dostatečného množství impulzů, k přesnému určení koncentrací přirozených radionuklidů K, U a Th. Interní algoritmy výpočtu těchto hodnot odpovídají doporučeným metodikám IAEA (Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data, IAEA-1363, 2003.) Ze sumy jejich impulzových příspěvků se nakonec vypočítá finální hodnota dávkového příkonu D_a . Jejich příspěvkové váhy k celkovému příkonu jsou následující:

- 1 % K reprezentuje 13.078 nGy/h
- 1 ppm eU reprezentuje 5.675 nGy/h
- 1 ppm eTh reprezentuje 2.494 nGy/h.

Výsledkem měření jsou tedy hodnoty dávkových příkonů gama a koncentrace přírodních radionuklidů na jednotlivých měřicích bodech. Každé měření navíc poskytuje možnost revize každého z 512 měřených kanálů v rámci spektrometrické analýzy výsledků. Díky možnosti připojení externí GPS turistické navigace Garmin eTrex 8, byly každému měřenému bodu přiřazeny zeměpisné souřadnice. Které ve finálním zpracování výsledků sloužily k usazení jednotlivých měřicích stanovišť do souřadného systému Q GIS.

4.4. Rn Index

Radon je všudypřítomný radioaktivní plyn, přítomný ve vzduchu, vodě, půdě i horninách. V našich životech vede, formou inhalace, k nejvyššímu ozáření populace. Radon se uvolňuje do systému pórů v horninách při radioaktivní přeměně radia. Následně difunduje prostředím, postupně se přemění, rozpustí ve vodě nebo unikne do půdní atmosféry. Odtud se pak může dále šířit difuzí nebo konvekci na poměrně velké vzdálenosti. V půdním plynu u povrchu Země je jeho objemová aktivita malá a s hloubkou roste. Běžné aktivity radonu v půdním vzduchu jsou 1–100 kBq.m⁻³. V extrémních případech až 1000 kBq.m⁻³. Objemové aktivity radonu v půdě přímo závisí na měrné aktivitě radia přítomného v půdě a na tektonické situaci. A jsou proto nápadně vysoké hlavně v oblastech plutonů českého masivu (viz Obrázek 4.4) [13].



Obrázek 4.4: Mapa českého masivu s vyznačenou pozicí plutonů [13]

Radon a jeho hodnoty jsou pro člověka zajímavé hlavně ve chvílích interakce s významnými koncentracemi. Obecně se v rámci Radonového programu ČR hodnotí jeho koncentrace v obytných prostorech a jejich základových půd, vodě, stavebních materiálech. Pokud jsou rizika, vzniklá v souvislosti s radonem neúnosně vysoká, pak se přechází k různým typům protiradonových opatření. Legislativním rámcem celé radonové problematiky se v současnosti zabývá nový atomový zákon 236/2016 Sb., který vznikl na základech původního atomového zákona 18/1997 Sb. Ten stanoví směrné hodnoty objemové aktivity (OAR) Rn²²² pro lidská obydlí 400 Bq.m⁻³. U nových staveb se pak směrné hodnoty definují na úrovni 200 Bq.m⁻³. Celá koncepce těchto hodnot je postavena hlavně na prevenci vnikání radonu z podloží do budov, kde jako ukazatel radonového potenciálu pozemku slouží radonový index.

4.5. Metodika hodnocení Rn indexu

Ke stanovení radonového rizika (resp. indexu) stavebního pozemku (§ 6 odst. 4 zákona č. 18/1997 Sb. ve znění pozdějších předpisů a § 94 vyhlášky č. 307/2002 Sb.) byla dosud používána metodika, publikovaná v Doporučení SÚJB „Metodiky měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve stavbách, na stavebních pozemcích a ve stavebních materiálech a vodě“ z roku 1998. V roce 2004 byla tato metodika aktualizována na současnou podobu. [26]

Vzhledem k nesterhomerné distribuci radonu v zeminách a častému výskytu lokálních odchylek objemové aktivity radonu v půdním vzduchu je pro stanovení radonového indexu pozemku nutný vyšší počet bodových měření objemové aktivity radonu v půdním vzduchu. V případě hodnocení pozemků o rozloze větší než 800 m² (zpravidla pro zástavbu více objektů či pro výstavbu jednotlivého objektu o větší zastavěné ploše než 800 m²) se postupuje v základní odběrové síti 10×10 m v zastavěných plochách a nejbližším okolí. V případě, že tato síť nemůže být dodržena (zpevněné plochy, stávající zástavba ap.), se průzkum realizuje s odpovídajícím počtem odběrových bodů této sítě, jednotlivé odběrové body se přitom situují tak, aby co nejlépe umožnily popsat distribuci radonu v zájmovém území. Při výskytu lokálních anomálií objemové aktivity radonu v půdním vzduchu (překračujících trojnásobek třetího kvartilu - 3.cA75) je doporučeno rozšířit minimální odběrový soubor, resp. zahustit základní odběrovou síť 10×10 m do sítě 5×5 m. V případě měřené lokality byla, v souladu s metodikou SÚJB, zvolena odběrová síť, navazující na měřicí body gama spektrometrického měření v dispozici 6 profilů ve vzdálenosti 20 m s krokem 5 m v každém profilu tak, aby byla homogenně pokryta celá hodnocená oblast. [13]



Obrázek 4.5: Sstava k odběru půdního radonu

Pro odběry vzorků půdního vzduchu se používají zpravidla malo-průměrové duté tyče s volným hrotem v kombinaci s velkoobjemovými injekčními stříkačkami či pumpami viz Obrázek 4.6. Při odběrech vzorků půdního vzduchu pro stanovení okamžitých hodnot objemové aktivity radonu musí být celý systém pro odběr vzorků půdního vzduchu dokonale těsný. Použití odběrových systémů, které nejsou dostatečně těsné nebo výkonem nedosahují potřebný podtlak pro odčerpání vzorku půdního vzduchu (např. odběrový balónek), může vést k podhodnocení skutečné hodnoty objemové aktivity radonu v půdním vzduchu a není pro odběr vzorků povoleno. Objem odběrového prostoru, který vzniká zpravidla povyražením volného hrotu, musí být dostatečně velký, aby odběr vzorku vůbec umožnil. Minimální požadovaný vnitřní povrch [26]



Obrázek 4.6: Sestava k vyhodnocení OAR

Jednou s akreditovaných metod hodnocení OAR je využití měřicího systému RM-2. Monitorovací systém RM-2 se skládá ze tří základních provozních částí, elektrometru ERM-3 (vyhodnocovací zařízení), sady ionizačních komor typu IK-250 a ruční vývěvy. Samostatná řídicí a vyhodnocovací jednotka ERM-3 zajišťuje měření elektrického proudu způsobeného ionizačními účinky radonu a jeho produktů přeměny v citlivém objemu detektoru (ionizační komory) viz Obrázek 4.6. Detekční princip zařízení je založen na ionizační komoře pracující v proudovém režimu. Odebraný půdní vzduch se přivádí do cylindrických ionizačních komor IK-250 s citlivým detekčním objemem 250 ml. Vyhodnocení probíhá na proudové čtecí zařízení ERM – 3, které určuje objemovou aktivitu vzorku z velikosti proudu, procházejícího

ionizační komorou, viz Obrázek 4.7. Výsledky měření objemové aktivity radonu jsou v jednotkách kBq.m⁻³ zobrazovány na LCD displeji elektrometru. Výrobce garantuje dlouhodobou odchylku standardu RM - 2 (reader v.č. 12/2007) od konvenčně pravých hodnot AMS Kamenná (místo uložení etalonu aktivity Rn 222) menší než – 2 %. [6]



Obrázek 4.7: Detail ionizační komory a VN měřidla systému RM-2

Hodnocení indexu je závislé na dvou parametrech: na objemové koncentraci radonu v půdní atmosféře a na plyno-propustnosti půdy. Současná metodika měření (jednotná pro území ČR) kombinuje oba parametry a zavádí nízké, střední a vysoké riziko radonového indexu viz Tabulka 4.2. Pro účely akreditovaného měření se pro měření plyno-propustnosti zeminy používá komplexní systém JOK [13]. Pro účely práce byla plyno-propustnost zeminy stanovena subjektivně během odběru půdního vzduchu, což je, dle metodiky SUJB, možné i během akreditovaných měření v případech odběru „erudovaným“ vyhodnocovatelem. Plyno-propustnost je popsána stupněm nízká, střední, resp. vysoká. V souladu s metodikou SUJB je následně vypočten 3. kvartil hodnot měřených na pozemku. Dle Tabulky 4.2 je pak pozemek zařazen do příslušné kategorie radonového indexu. [15], [13]

Tabulka 4.2: Hodnoty radonového rizika podle vyhlášky SUJB [5]

Pozemek s radonovým indexem	Objemová aktivita ²²² Rn v půdním vzduchu v kBq/m ³ (III.kvartil)		
	Nízkým	<	<20
Středním	30 – 100	20 - 70	10 – 30
Vysokým	>	>70	>30
Plynopropustnost	Nízká	Střední	Vysoká

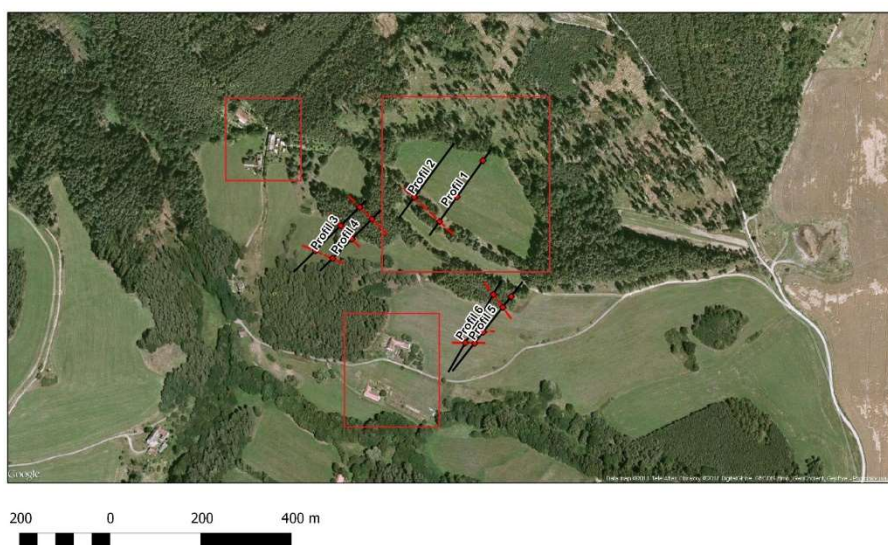
5. Vybraná lokalita měření

Pro účely práce byla vybrána referenční plocha v okolí Orlické přehrady, okres Příbram, v blízkosti obce Podmoky, na souřadnicích: 49°36'07.3"N 14°13'44.8"E. Jedná se o samostatně položenou louku o rozloze 1,5 ha. Na vybrané lokalitě byl zajištěn ústní souhlas majitele pozemku s provedením fyzikálních měření na ploše [24]. Na polygonu byly v minulosti prováděny geologické průzkumy v kontextu vyhledávání uranových rud a zrudnění drahých kovů, hlavně zlata a antimonu. Konkrétní výsledky těchto průzkumů z přelomu 80. let bohužel již nejsou dohledatelné. Při těchto průzkumech vyšlo najevo, že toto území má potenciál z hlediska dalšího geologického průzkumu a na něj navazujícího průzkumu radiologického.

5.1. Rozbor lokality z hlediska Geomagnetického pole

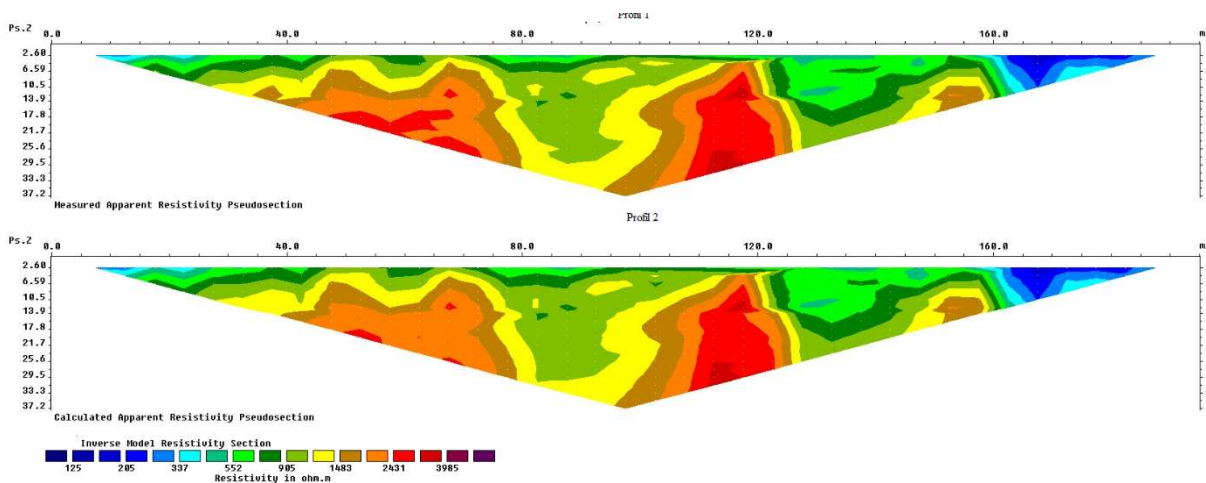
Na základě průzkumu geologické mapy vybrané oblasti [7] bylo zjištěno, že podloží v lokalitě je potenciálním zdrojem magneticky významných minerálů. Tomuto faktu odpovídá i těžba magneticky významných minerálů pyritů, arzenopyritů, zlata, stříbra i antimonu, která v okolí probíhala v minulosti. Je zde jistý potenciál k nalezení lokálních magnetických anomálií rudného charakteru.

Dalším vodítkem potenciálně zajímavých výsledků magnetometrických měření jsou výsledky odporových měření, která v minulosti na lokalitě probíhala, konkrétně na profilech č.1–6. na Obrázku 5.1.[23] Měření bylo prováděno geo–elektrickou aparaturou ARES a výsledky z profilů č. 1 a 2, které jsou relevantní pro tuto práci, jsou vyobrazeny na Obrázku 5.2. Podrobné vysvětlení odporové analýzy podloží je vysoce nad rámec této práce. Ve



Obrázek 5.1: Mapa profilů geo–fyzikálního průzkumu podloží v okolí sledované plochy, včetně označení přilehlého osídlení [23]

zjednodušené interpretaci značí osa x absolutní vzdálenost na profilu, osa y pak absolutní hloubku pod povrchem. V barevné škále pod obrázkem značí zelená barva oblasti s běžným el. odporem. Barevné extrémy na obou koncích škály značí extrémně nízké, resp. vysoké hodnoty. Ze zobrazených, barevně škálovaných hodnot elektrického odporu v podloží je však zřejmé, že se na pozemku nacházejí, v pozičních souřadnicích, souvislé pásy nehomogenit (viz Obrázek 5.2). S amplitudami na oba směry, které mohou značit geologické zlomy nebo jiné anomálie. Ty pak mohou přímo souviset s výskytem radonových anomálií na polygonu.



Obrázek 5.2: Škálované výsledky elektro–tomografického průzkumu podloží

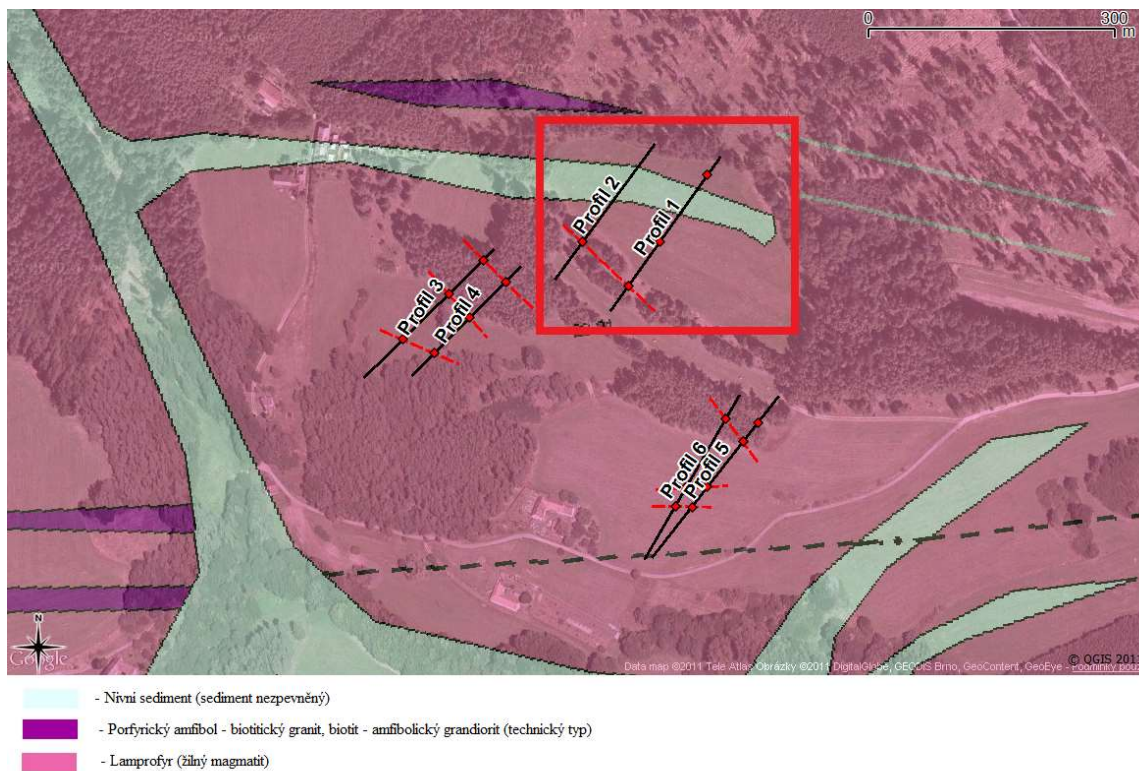
5.2. Rozbor lokality z hlediska Elektromagnetického záření.

K měření hodnocení elektromagnetického pole na vybrané ploše viz Obrázek 5.1. (polygon s vyznačenými profily), se přistoupilo z několika různých úhlů pohledu. Hodnotily parametry vysokofrekvenčního elektromagnetického pole, jejichž zdrojem je pokrytí GSM signálem a veškerá další bezdrátová komunikace o přenosových frekvencích vyšších než 100 kHz. Tyto přenosové frekvence jsou v současné době přítomny na každém místě a v každém okamžiku. Reálným blízkým zdrojem mohly být pouze blízké zástavby viz Obrázek 5.3., pokud by se uvnitř nacházely vysílače wifi signálu, resp. telefonická komunikace kolemjdoucích.

Jako potenciální zdroj vlnění o nízkých kmitočtech do 100 kHz byly vyhodnoceny plochy blízké zástavby vyznačené na obrázku 5.3. Jako významným zdrojem vlnění 50 Hz, bylo vyhodnoceno vedení vysokého napětí, hustě rozmístěné v okolí měřicí sítě, vzhledem k blízkosti vodní elektrárny Orlick.

5.3. Rozbor lokality z hlediska Ionizujícího záření

Hodnocení parametrů ionizujícího záření se uskutečnilo dvěma způsoby. Na zkoumané lokalitě se měřily dávkové příkony hornin v podloží, v rámci gama-spektrometrie a objemové koncentrace Rn^{222} v půdním vzduchu, ke stanovení radonového indexu pozemku.



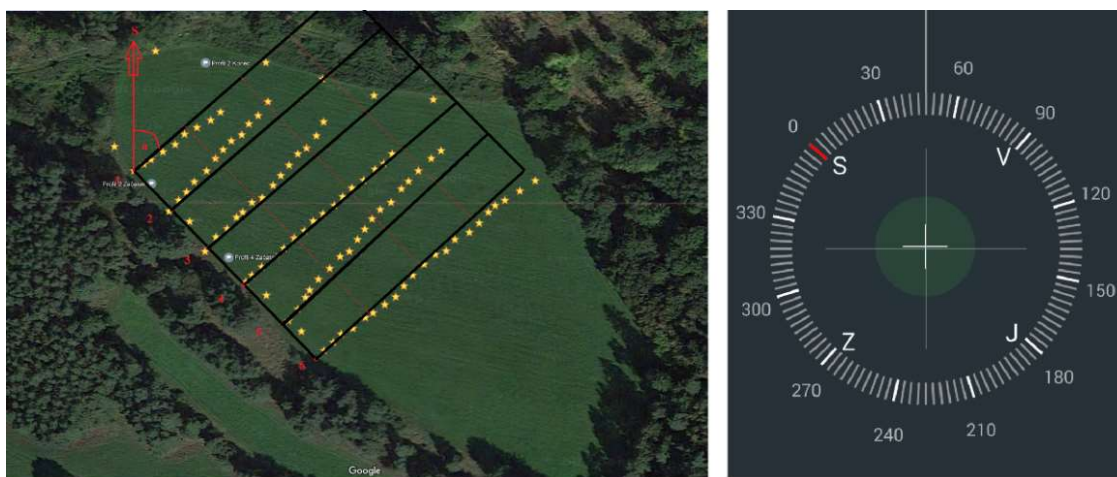
Obrázek 5.3: Hybridní mapa topologie zkoumané oblasti a geologické mapy

Na základě průzkumu geologické mapy vybrané oblasti bylo zjištěno, že se v podloží vyskytují horniny se značným radičním potenciálem. Konkrétně se jedná o granity a grandiority technického typu. Oba dva typy se řadí k vyvřelým hlubinným horninám a svým složením jsou značně rozmanité. Společným znakem bývá vysoký obsah draslíku, uranu i thoria. Je tedy zřejmé, že z hlediska přírodní radiace se jedná o zajímavou lokalitu. V neposlední řadě celá lokalita spadá do geologického útvaru středočeský pluton, kde se v nemalé míře vyskytují i útvary syenitu a jiných radioaktivních hornin. [14], [19]

Posledním ukazatelem výběru byly zajímavé výsledky odporových měření viz kap. 5.1, které ukázaly potenciální zlomové struktury v podloží. Z toho plyne možný výskyt výrazných radonových anomálií z ložisek mimo plochu, které následně difundují zlomem na povrch.

6. Tvorba měřicí sítě

Tvorba měřicí sítě byla prvním krokem teoretické přípravy celého měření. Výběr lokality jako takové byl již zdůvodněn v předchozí kapitole. Při návrhu tvaru polygonu byl brán zřetel na nepravidelný tvar louky. Původním záměrem bylo homogenní pokrytí celého pozemku, což se nakonec ukázalo jako nerealizovatelné vzhledem k časové náročnosti některých měřicích metod. Konečně byla navržena síť bodů, se záběrem alespoň poloviny pozemku. Při předběžném průzkumu na místě se ukázalo že jiho-východní část louky je značně kamenitá a bahnitá, což nejsou vhodné podmínky pro radiometrická měření. V severozápadní polovině pastviny je naopak půda propustná, jedinou drobnou překážkou je mírný svah orientovaný severním směrem. Směrová orientace profilů odpovídá prostorovému natočení plochy. Směr měřicích profilů je veden v azimutu 51° . Viz Obrázek 6.1.



Obrázek 6.1: Grafické znázornění měřicí sítě a měřených bodů vč. azimutu

Jako základní opěrný bod celého měření byl vybrán bod v západní části louky, na Obrázku 6.1. Z důvodu reprodukovatelnosti byl tento bod vybrán v blízkosti dvou vzrostlých bříz, které jsou v této lokalitě raritní a zaměřen triangulací a GPS souřadnicemi. Od tohoto bodu byla vytyčena základová linie všech profilů v azimutu 51° . Bylo založeno 6 profilů, ve vzájemné vzdálenosti 20 m. Tato profilová vzdálenost byla zvolena s ohledem na potřeby jednotlivých měření. Krok v jednotlivých profilech, tzn. vzdálenost dvou po sobě jdoucích bodů, byl zvolen na 5 m a vytvořil tak ortogonální souřadnou soustavu míst kde každému kroku byla přiřazena linie bodů se stejnou vzdáleností od základové profilové linie, což značně usnadňuje následnou orientaci v měřených datech. Je to též dobrá příprava na import dat do GIS, který často pracuje s pravoúhlými rastry.

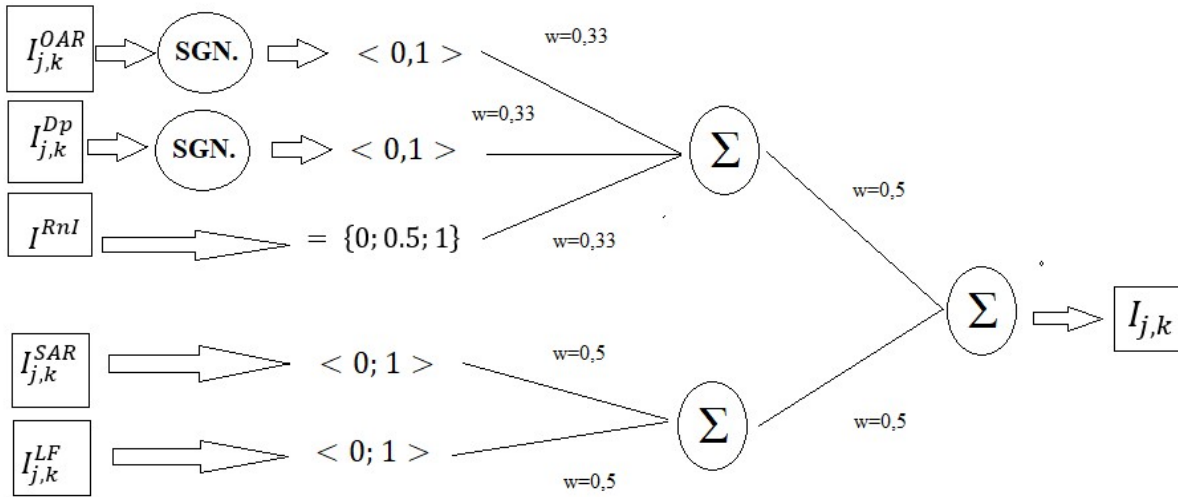
Samostatnou problematikou je zaměřování vybraných měřicích bodů na polygonu. V první řadě byl kladen důraz na fakt, že při on-line měření vzdálenosti na polygonu je vždy uváděna hodnota horizontální vzdálenosti a při přípravě je tedy vždy třeba počítat s rozmanitostí terénu. Tento fakt je důvodem „krátkých“ profilů při realizovaném měření. Výsledkem činnosti bylo úspěšné založení a následné GPS zaměření 90 měřicích bodů.

7. Výsledky měření

Vzhledem k tomu, že bylo třeba jistým způsobem zohlednit stupeň potenciální hygienické škodlivosti měřených polí v prostoru, pak jedním z úkolů práce bylo tento stupeň vyjádřit a kvantifikovat. Při zpracování výsledků pak tento stupeň škodlivosti vznikl vztažením měřených hodnot k hodnotám limitním, daným platnými hygienickými předpisy ČR, pro danou problematiku.

Pro kvantifikaci fyzikální pohody, obecně na jakékoliv měřené ploše, byl zaveden pojem: „*Index nekomfortu měřené lokality*“, jehož účelem je hodnotit potenciální nebezpečí, které představují hodnoty měřené na daném bodě. „*Index*“ proto, že se jedná o relativní hodnotu a „*Nekomfortu*“ proto, že jeho smyslem je, v první řadě, označit místa s případným nebezpečím, resp. ne-komfortem. Definice míst s fyzikální pohodou je z tohoto hlediska pouze druhotným výsledkem. Toto číslo se pohybuje v intervalu $I = \langle 0, 1 \rangle$, kdy 0 značí bezpečné hodnoty a 1 značí hodnoty nadlimitní až nebezpečné. Výjimkou je pouze hodnocení radonového indexu, které svým významem, z hlediska legislativně-hygienického obsahuje celou vyšetřovanou plochu a z hlediska možnosti hodnocení (nízký, střední, vysoký), nabývá jeho příspěvek hodnot 0; 0,5 nebo 1 na všech pozičních souřadnicích a tvoří tedy jistým způsobem stejnosměrnou složku ve výsledné matici hodnot. Rozhodovací strom o výsledné velikosti I^X je vyobrazen na Obrázku 7.1.

Stěžejní myšlenkou celého konceptu je aproximace měřeného polygonu vektorovým polem. Souhrn bodů v prostoru vytváří ve své podstatě matici hodnot. Práce se zabývá vyšetřením krajinné lokality z hlediska šesti parametrů. Pro každý tento parametr X vznikne matice I^X . U všech měřených, resp. dopočtených veličin byla velikost dílčích indexů $_{i,j}I^X$ veličiny X na souřadnicích j,k , vypočtena podle postupů v následujících kapitolách. Výsledné vektory – Index nekomfortu $_{j,k}I$ na pozici j,k ve výsledné matici hodnot, odpovídají, v principu, překrytí matic hodnot všech měřených parametrů.



Obrázek 7.1: Rozhodovací strom Indexu nekomfortu

V tuto chvíli navíc počítáme s faktem, že všechny tyto matice mají stejný rozměr a aby pokrytí matic bylo rovnoměrné, bylo třeba všechny hodnoty na pozicích mezi, resp. vně měřicích bodů interpolovat. Pro prvotní, orientační reprezentaci již vypočtených dat indexů byl využit program MATLAB verze 2016b. Matice hodnot byla ve funkci *meshgrid* proložena metodou bi-lineární interpolace. Pro finální hodnocení lokality byl využit systém SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses), který se v praxi využívá k pokročilým výpočetním úkonům. Pro prostorovou interpolaci hybridní mapy byla využita metoda víceúrovňové B-spline interpolace, principiálně založené na bi-kubických splajnech. Obrazová reprezentace se tedy v některých detailech může mírně lišit. Pro prvotní orientaci je však obrazová reprezentace, zpracovaná v Matlabu, více ilustrativní pro účely této práce.

7.1. Elektromagnetický komfort

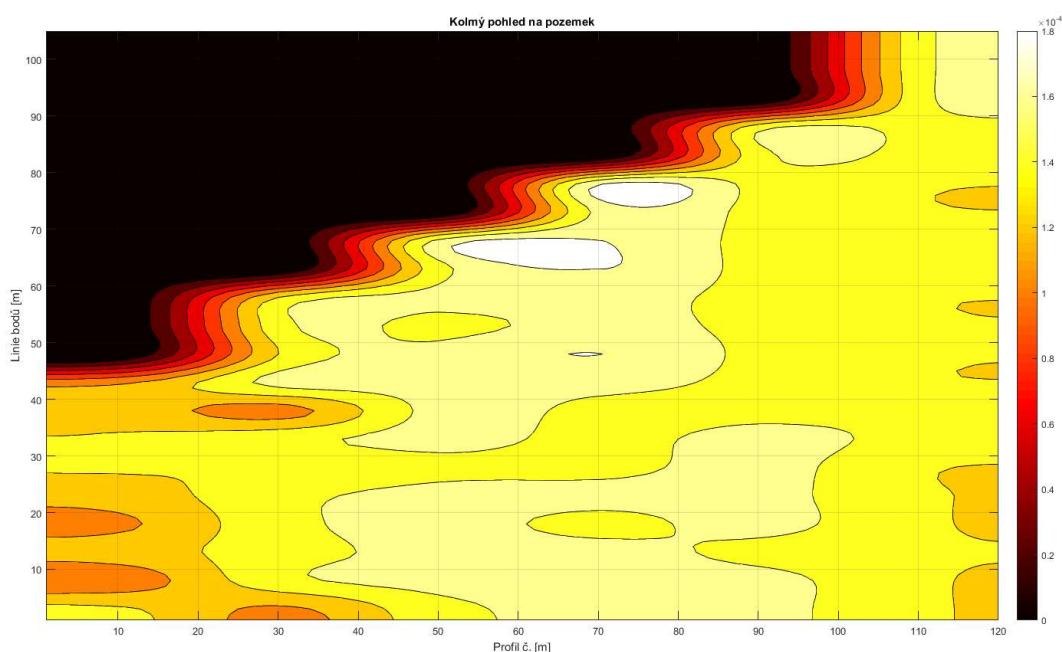
Během měření byly na polygonu měřeny absolutní hodnoty intenzity elektrické $[V \cdot m^{-1}]$ a magnetické složky $[\mu T]$ pole o frekvenci 50 Hz a Intenzita elektrické složky pole ve frekvenčním intervalu 50 MHz–3,5 GHz. Hodnoty intenzit při obou frekvencích mají svoje specifické uplatnění v hygieně neionizujícího záření. Samostatně není, vzhledem ke smyslu práce, relevantní hodnocení absolutních hodnot jednotlivých frekvenčních intervalů, ale jejich relativní hodnoty k zavedeným hygienickým standardům.

Ochraně zdraví před neionizujícím zářením se zabývá nařízení vlády č. 291/2015 Sb. Které stanoví k námi měřeným frekvenčním intervalům hygienické limity založené na prokázaných fyziologických účincích jednotlivých frekvenčních pásem. Práce se zabývá měřením intenzit

elektromagnetických polí na frekvencích 50 Hz a v pásmu 50 MHz až 3,5 GHz. Nízkofrekvenční pole jsou hodnocena z hlediska potenciální indukce elektrických polí v organismu. Vysokofrekvenční vlnění bylo hodnoceno formou monitorování potenciálního, středního absorbovaného výkonu SAR, vzhledem k fyzikálním parametrům lidské tkáně.

7.1.1. Měrný absorbovaný výkon SAR

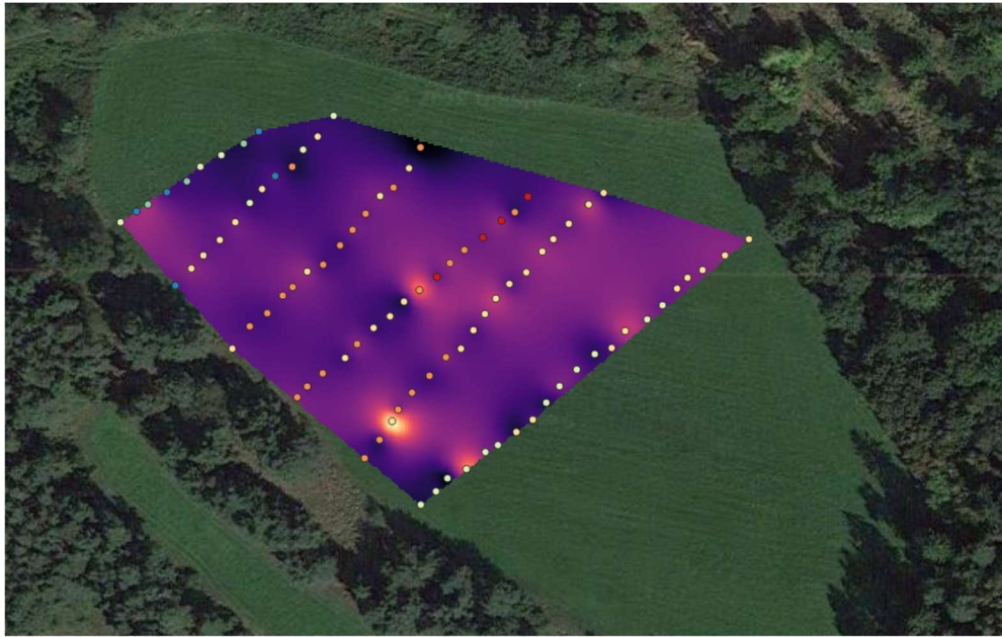
Nejvyšší přípustná hodnota expozice je dána časově střední hodnotou měrného absorbovaného výkonu (*SAR*) $0,4 \text{ W.kg}^{-1}$ pro zaměstnance a $0,08 \text{ W.kg}^{-1}$ pro fyzické osoby v komunálním prostředí. Tato hodnota je uvedena pro celotělovou průměrnou expozici. Jedná se o bezpečnostní limity zavedené ICNIRP. Práce se zabývá pouze případem komunálního, celotělového ozáření fyzických osob.



Obrázek 7.2: Jasová modulace I^{SAR}

Měřené hodnoty intenzit elektrického pole, pro frekvenční pásmo 900 MHz–1,8 GHz, E_e jsou převedeny na hodnoty SAR dle vztahu (7.1), kde σ označuje vodivost a ρ průměrnou hustotu lidského těla [19], [20]. Vypočtené hodnoty SAR na jednotlivých měřených bodech byly následně poděleny bezpečnostním limitem $0,08 \text{ W.kg}^{-1}$ pro fyzické osoby v komunálním prostředí. Výsledná relativní hodnota byla označena jako index nekomfortu I^{SAR} . Reálně však i limitní hodnota počítá s nadhodnocením oproti nebezpečným hodnotám. Výsledné hodnoty jsou vyneseny v obrázku 7.2 a 7.3 Výsledné hodnoty indexu se pohybovaly v řádech desetin promile, tzn. reálné nebezpečí z tohoto hlediska zjištěno nebylo.

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho} [\text{W.kg}^{-1}] \quad (7.1)$$



Obrázek 7.3: Exportovaná vrstva interpolace hodnot I^{SAR} v QGIS

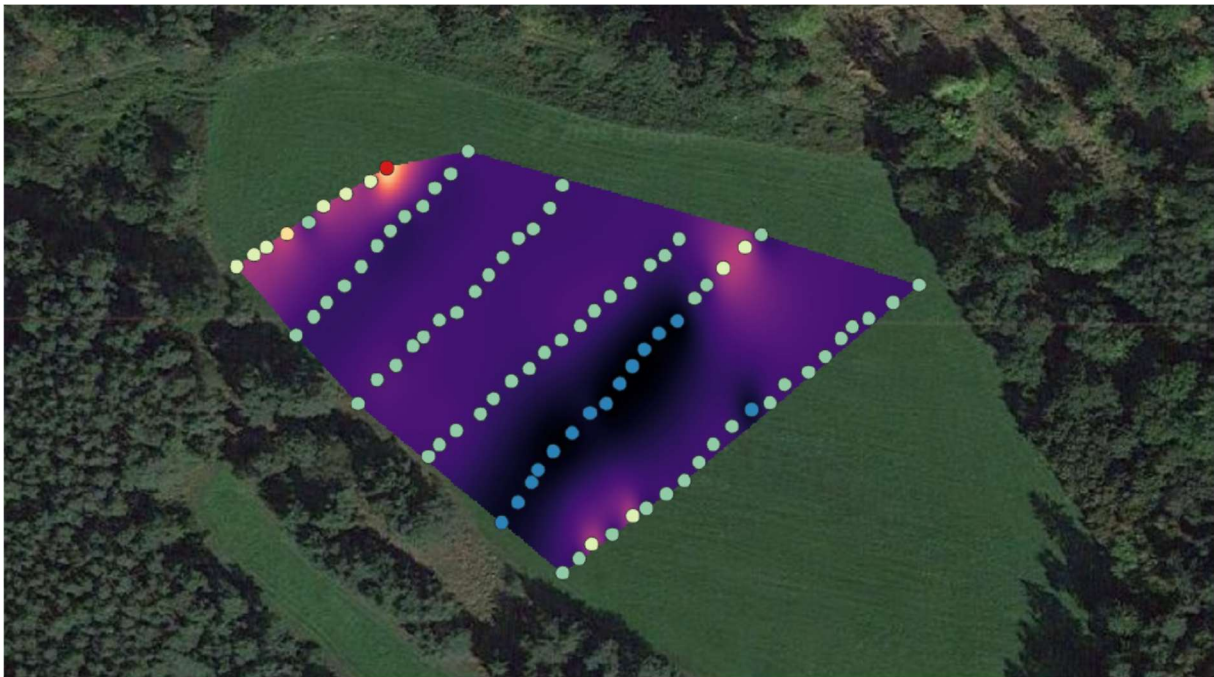
7.1.2. Elektrická stimulace tkáně

V rámci terénního měření byly na referenční ploše měřeny absolutní, efektivní hodnoty intenzity elektrické a magnetická indukce elektromagnetického pole E [$V \cdot m^{-1}$] a B [T]. Dle nařízení vlády č. 291/2015 Sb, byla definována nejvyšší přípustná hodnota pro účinky způsobené elektrickou stimulací tkáně polem ve frekvenčním pásmu od 0 Hz do 10 MHz je dána modifikovanou intenzitou elektrického pole $E_{mod}(t)$ indukovaného v tkáni, což je intenzita elektrického pole indukovaného ve tkáni modifikovaná lineárním filtrem s frekvenční charakteristikou $G(f)$. Podle [3], pro nepřekročení nejvyšší přípustné hodnoty nesmí v žádném časovém okamžiku velikost modifikované intenzity elektrického pole $E_{mod}(t)$ překročit hodnotu $1 V \cdot m^{-1}$ pro zaměstnance a $0,2 V \cdot m^{-1}$ pro fyzické osoby v komunálním prostředí. Frekvenční charakteristika filtru pro celotělovou expozici má velikost definovanou vztahem 3.5., kde $f_0 = 3000$ Hz. Z analytického řešení vychází $G(50) = 0,579$.

Pro každý sledovaný bod byla okamžitá hodnota naměřené intenzity elektrické složky násobena koeficientem $G(50)$ a vztažena k limitní hodnotě E_{mod} pro fyzické osoby v komunálním prostředí. Výsledek byl označen jako index nekomfortu nízkofrekvenčních polí I^{LF} .

$$G(f) = \frac{1}{\sqrt{2.0,8}} \cdot \frac{1}{1 + j \frac{f}{f_0}} \quad (7.2)$$

Sekundárním přístupem k hodnocení účinku nízkofrekvenčního pole o frekvenci 50 Hz bylo využití referenčních hodnot daných legislativou. Bylo využito vztahu (7.2) pro výpočet referenční hodnoty $k H_{lim}$, dané předpisem o hygieně neionizujícího záření [3]. Tento vztah vyjadřuje kombinaci fyziologických účinků magnetických i elektrických součástí elektromagnetických polí z několika frekvenčních intervalů (0–10 kHz). Pro účely našeho měření jsme hodnotili elektrickou a magnetickou složku pole 50 Hz. Pro každý měřený bod byla, dle tohoto vztahu, vypočtena hodnota H_m . Toto číslo bylo následně vyděleno H_{lim} a výsledný podíl označen jako index nekomfortu nízkofrekvenčních polí z referenčních hodnot I^{LF} . Tento poměr byl jako desetinné číslo, následně vyneseno do souřadné sítě. Vyjadřuje, s velkou mírou tolerance, relativní nebezpečí, způsobené elektrickou stimulací tkání, v daném bodě.



Obrázek 7.4: Exportovaná vrstva interpolace měřených hodnot I^{LF} v QGIS

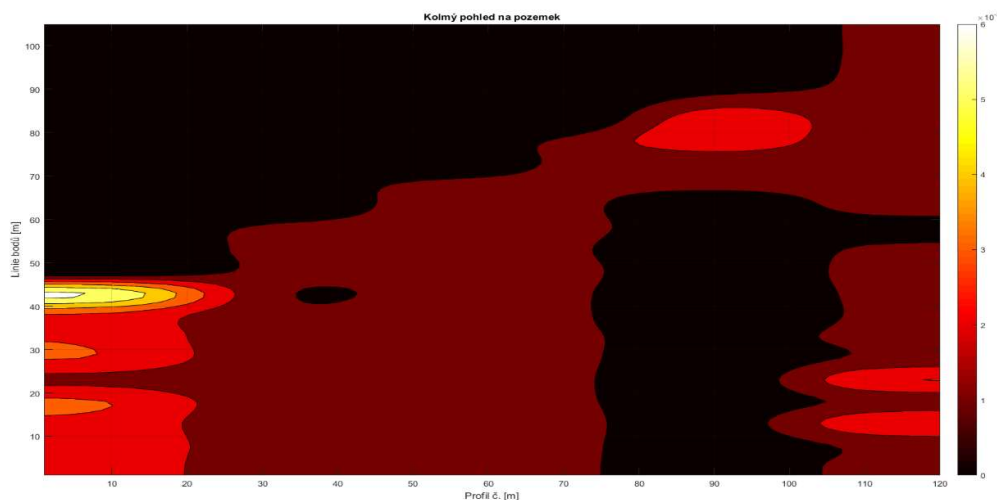
Proto aby nebyla překročeny referenční hodnoty pro elektrickou stimulaci tkáně, je třeba splnit následující kritéria při $H_{lim} = 1$ pro zaměstnance a $H_{lim} = 0,2$ pro fyzické osoby v komunálním prostředí. Stejně jako v případě odhadu škodlivosti SAR , je i v tomto případě jisté bezpečnostní nadhodnocení součástí výpočtu. To je důvodem k tomu, že výsledek měření lze označit pouze za orientační vzhledem k reálnému zdravotnímu nebezpečí. Vypočtené hodnoty indexu nekomfortu jsou graficky znázorněny v Obrázku 7.4 a 7.5. Výsledné hodnoty indexu se pohybovaly v řádech jednotek promile, tzn. reálné nebezpečí z tohoto hlediska zjištěno nebylo.

$$\sum_{f=0\text{Hz}}^{3\text{kHz}} \frac{E_n}{E_n^{\text{limit}}} + \sum_{f=3\text{kHz}}^{10\text{MHz}} \frac{E_n}{a} + \sum_{f=0\text{Hz}}^{3\text{kHz}} \frac{B_n}{B_n^{\text{limit}}} + \sum_{f=3\text{kHz}}^{10\text{MHz}} \frac{B_n}{b} \leq H_{\text{lim}} \quad (7.3)$$

$$a = 170 [\text{V}\cdot\text{m}^{-1}]; b = 10^{-4} [\text{T}]$$

Tabulka 7.1. Referenční hodnoty pro B (vlevo) a E (vpravo)

$f[\text{Hz}]$	$B^{\text{limit}} [\text{T}]$	$f[\text{Hz}]$	$E^{\text{limit}} [\text{V}\cdot\text{m}^{-1}]$
0-1	0,025	0-25	20000
1-25	$0,025 / f$	25-3000	$5 \cdot 10^5 / f$
25-300	10^{-3}	3000- $3,6 \cdot 10^6$	170
300-3000	$0,3 / f$	$3,6 \cdot 10^6$ - 10^7	$6,1 \cdot 10^8 / f$
$3000 - 2 \cdot 10^4$	10^{-4}	10^7 - $4 \cdot 10^8$	61
$2 \cdot 10^4$ - 10^7	$2 / f$	$4 \cdot 10^8$ - $2 \cdot 10^9$	$0,003 \cdot f^{0.5}$
10^7 - $4 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^9$ - $3 \cdot 10^{11}$	137
$4 \cdot 10^8$ - $2 \cdot 10^9$	$10^{-11} f^{0.5}$		
$2 \cdot 10^9$ - $3 \cdot 10^{11}$	$4,5 \cdot 10^{-7}$		



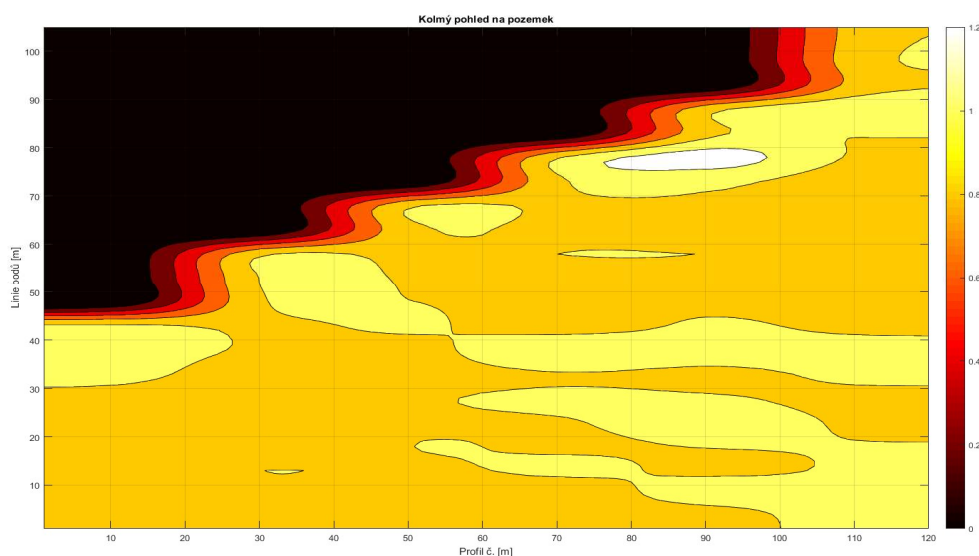
Obrázek 7.5: Jasová modulace I^{LF}

7.2. Radiační komfort

Radiační komfort lokality byl, pro účely práce určován, v první řadě z hodnot přírodního dávkového příkonu z hornin D_a [$\text{nGy}\cdot\text{h}^{-1}$]. Dále byly na polygonu měřeny, v rámci gama spektrometrie, koncentrace radionuklidů U^{238} , Th^{232} a K^{40} . Společně, svými aktivitami, tvoří základ pro úroveň D_a z hornin v přírodě. Samostatně se jedná se o nepřímé zdroje přírodního ozáření. Jejich dceřiné prvky emanují z hornin a minerálů do půdy a následně pak, ve vysokých koncentracích, tvoří výraznou radiační zátěž lidských obydlí. Pro účely práce je relevantní pouze zátěž vzniklá rozpadem izotopu U^{238} , jehož dceřiným prvkem je Rn^{222} a jehož koncentrace v podzemním vzduchu byly taktéž monitorovány a výsledky interpretovány a diskutovány.

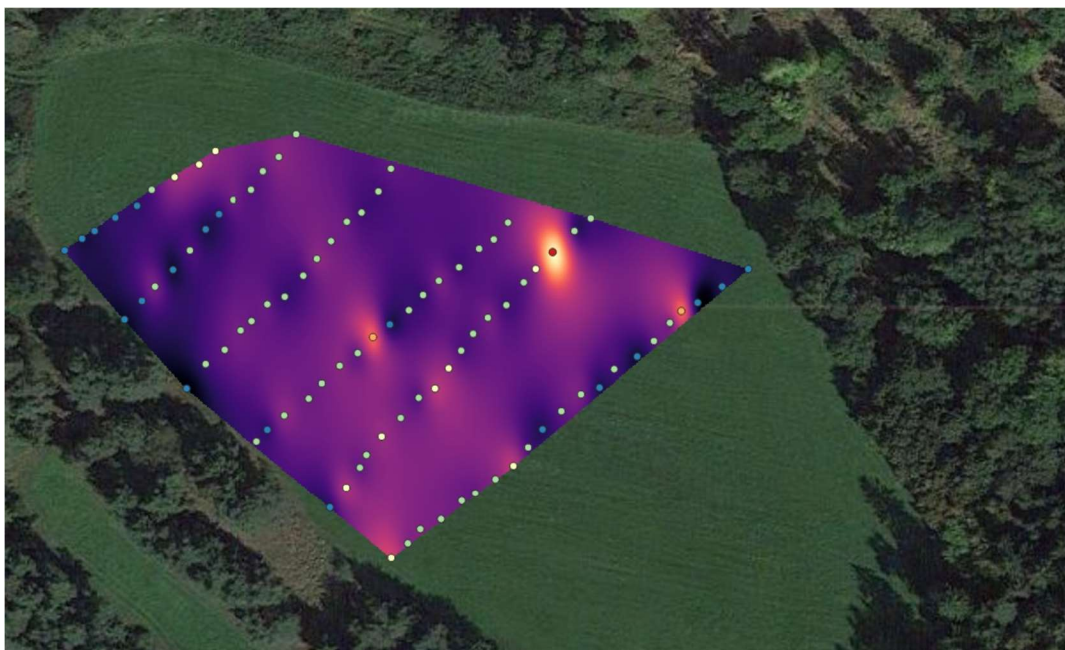
7.2.1. Přírodní radiační pozadí

Pro grafické znázornění aktuální situace byly absolutní hodnoty D_a , naměřené na jednotlivých měřicích bodech, přepočteny na efektivní dávku E [mSv] za jeden rok a byla k nim přičtena roční efektivní dávka 0,38 mSv z kosmického záření. Výsledek byl vztažen k hodnotě obecného limitu pro civilní obyvatelstvo v ČR daného atomovým zákonem, $E = 5$ mSv za rok. Výsledná hodnota relativního indexu v grafickém znázornění, v každém bodě byla vypočtena podílem obou hodnot a označena jako index nekomfortu z přírodního pozadí I^{DP} .



Obrázek 7.6: Jasová modulace I^{DP}

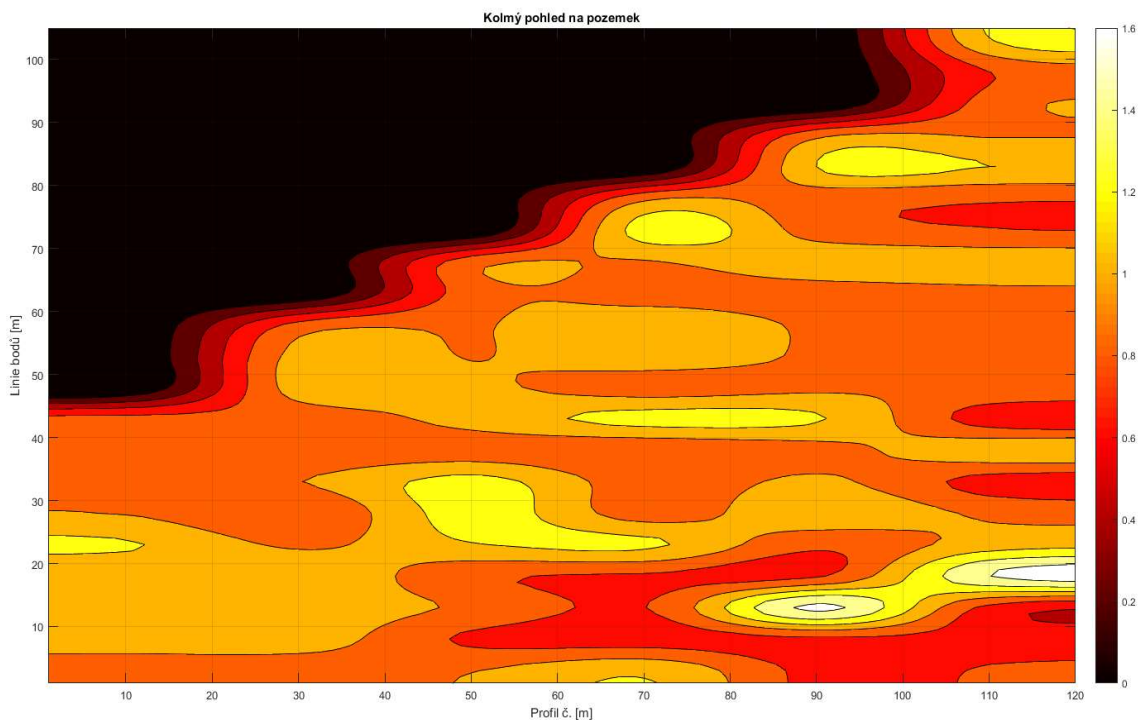
Zvýšená hodnota výsledného I^{DP} vypovídá o potenciálním nebezpečí jednak zvýšených koncentrací radioaktivních plynů v podloží tzn. izotopy Rn^{222} a Rn^{220} . Dále pak informuje o potenciálně zvýšených koncentracích radioaktivního spadu, který se dlouhodobě koncentruje v podloží ve vrstvách mocných až 150 mm. Jako motivace pro měření dávkových příkonů spadového charakteru slouží zvýšené koncentrace radioizotopu Cs^{137} , lokálního charakteru na Šumavě. Lehkou kontaminaci v této oblasti vykazují i lesní plody a odchycená lesní zvěř. Relevantní informace k problematice kontaminace lesní zvěře jsou k dispozici na oficiálních stránkách SURO v.v.i. Grafické znázornění naměřených hodnot je vyobrazeno na Obrázku 7.6 a 7.7 Expozice z dávkových příkonů na polygonu byly identifikovány v řádu desetin a v některých měřených bodech lehce převyšovaly průměrné hodnoty měřené v ČR. Bezpečný limit efektivní dávky 5mSV za rok nebyl na žádném místě překročen.



Obrázek 7.7: Exportovaná vrstva interpolace měřených hodnot I^{DP} v QGIS

7.2.2. Koncentrace izotopu U^{238}

Pro grafické znázornění aktuální situace byly využity absolutní hodnoty koncentrace U^{238} [ppm], naměřené na jednotlivých měřicích bodech. Tyto hodnoty byly vztaženy k hodnotě průměrné koncentrace tohoto radioizotopu v půdě v ČR, $\overline{C_{U^{238}}} = 2$ ppm. Výsledná hodnota relativního indexu v grafickém znázornění, v každém bodě byla vypočtena podílem obou



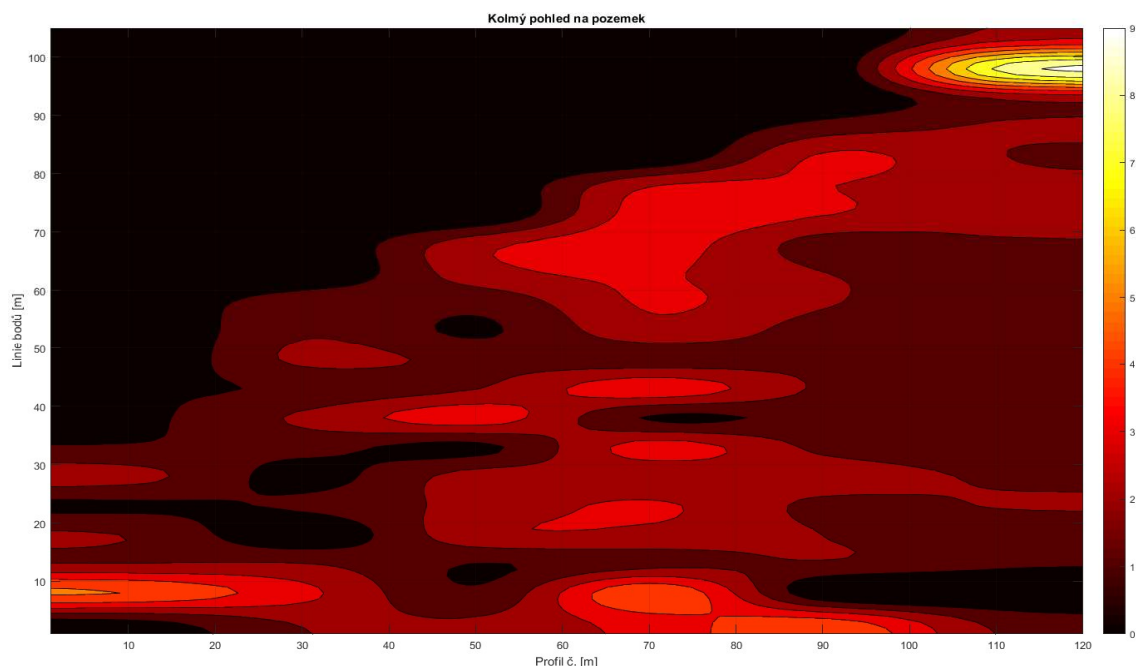
Obrázek 7.8: Jasová modulace $C_{Rel}^{U^{238}}$

hodnot a označena jako index uranového výskytu U_v . Zvýšené hodnoty koncentrace radionuklidu U^{238} jsou zodpovědné za zvýšené radonové riziko na pozemcích. Naměřené koncentrace však v konceptu práce mají pouze informační charakter. Vypočtené hodnoty relativních koncentrací jsou graficky znázorněny na Obrázku 7.8. Celá barevná škála indexu se pohybuje v rozsahu 0–1,6 tzn. na polygonu jsou místa, označená žlutým a světlejším odstínem, kde příspěvky U^{238} převyšují průměrné hodnoty koncentrací tohoto izotopu v české krajině.

7.2.3. Radonový index pozemku a OAR

V rámci radonové problematiky byly na měřené ploše měřeny koncentrace podzemního Rn a plyn-opropustnost zeminy na každém měřeném bodě. V souladu se zadáním práce byl na ploše následně stanoven radonový index pozemku. Stanovení Rn indexu pozemku se řídí metodikou SUJB. Pro konečný odhad hodnoty lokálního indexu komfortu je Rn index brán jako aditivní hodnota, homogenně rozprostřená po celé ploše. Třetí kvartil hodnot OAR na ploše $Q_{0,75} = 133 \text{ kBq.m}^{-3}$. Plyno-propustnost zeminy byla, během měření, vyhodnocena na 85 bodech jako vysoká. Pro hodnocení Rn indexu je tedy tímto způsobem klasifikována. Velikost Rn indexu pozemku byla, na základě naměřených hodnot a v souladu s metodikou hodnocení, vyhodnocena jako vysoká.

Pro bližší průzkum dané lokality však lze využít i souboru měřených hodnot objemových aktivit půdního radonu na tak, jako při předchozích měřeních. Pro grafické znázornění lokální situace byly využity absolutní hodnoty koncentrace Rn^{222} [kBq.m^{-3}] v podzemním vzduchu, naměřené na jednotlivých měřicích bodech. Hodnoty byly následně vztaheny k průměrné hodnotě koncentraci tohoto radioizotopu v půdě v ČR, $\overline{OAR} = 50 \text{ kBq.m}^{-3}$. Výsledná hodnota relativního indexu v grafickém znázornění, v každém bodě byla vypočtena podílem obou hodnot. Výsledné hodnoty jsou graficky znázorněny na Obrázku 7.9 a 7.10.

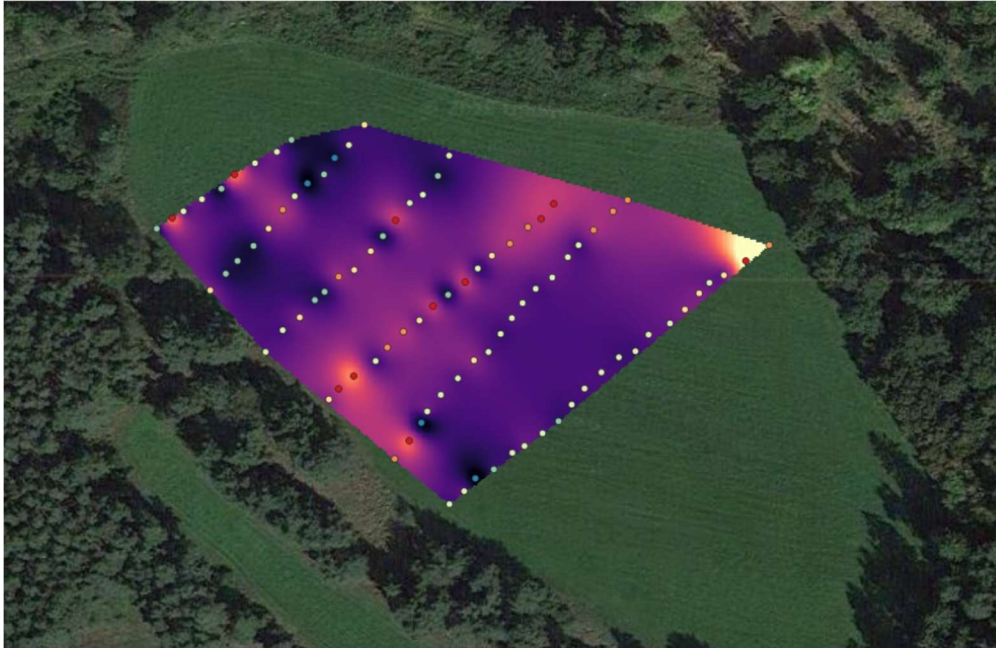


Obrázek 7.9: Jasová modulace I^{OAR}

Hodnoty dávkového příkonu D_a , na většině hodnoceného území, odpovídají průměrným hodnotám dávkových příkonů z terestriálních zdrojů na území ČR, viz Obrázek 4.2 Měření odhalilo zajímavou lokální anomálii zvýšených hodnot na linii 80 m na profilech 80 a 100 m, která odpovídá svojí polohou zvýšeným koncentracím U^{238} i Rn^{222} v podloží.

Z Obrázku 7.8. je patrné, že celá oblast je zdrojem zvýšených koncentrací U^{238} v podloží. Byly zachyceny dvě lokální anomálie v lokalitách linie 10–15 m na profilech 80–120 m, které dosahují až 1,6násobku hodnot běžných pro ČR. Toto zjištění je za běžných okolností popudem k radonovému průzkumu pozemku.

Z Obrázků 7.9. a 7.10. je jasně patrné, že na celé oblasti byly měřeny hodnoty které, minimálně dvakrát, převyšují běžné koncentrace radonu v podloží. Na pozici linie 80–100 m profilů č. 100–120 m byla naměřena anomálie, téměř desetkrát přesahující běžné hodnoty. Radonové riziko je tedy na pozemku vysoké, což je z hlediska dlouhodobého obývání zdrojem potenciálních problémů.



Obrázek 7.10: Exportovaná vrstva interpolace měřených hodnot I^{OAR} v QGIS

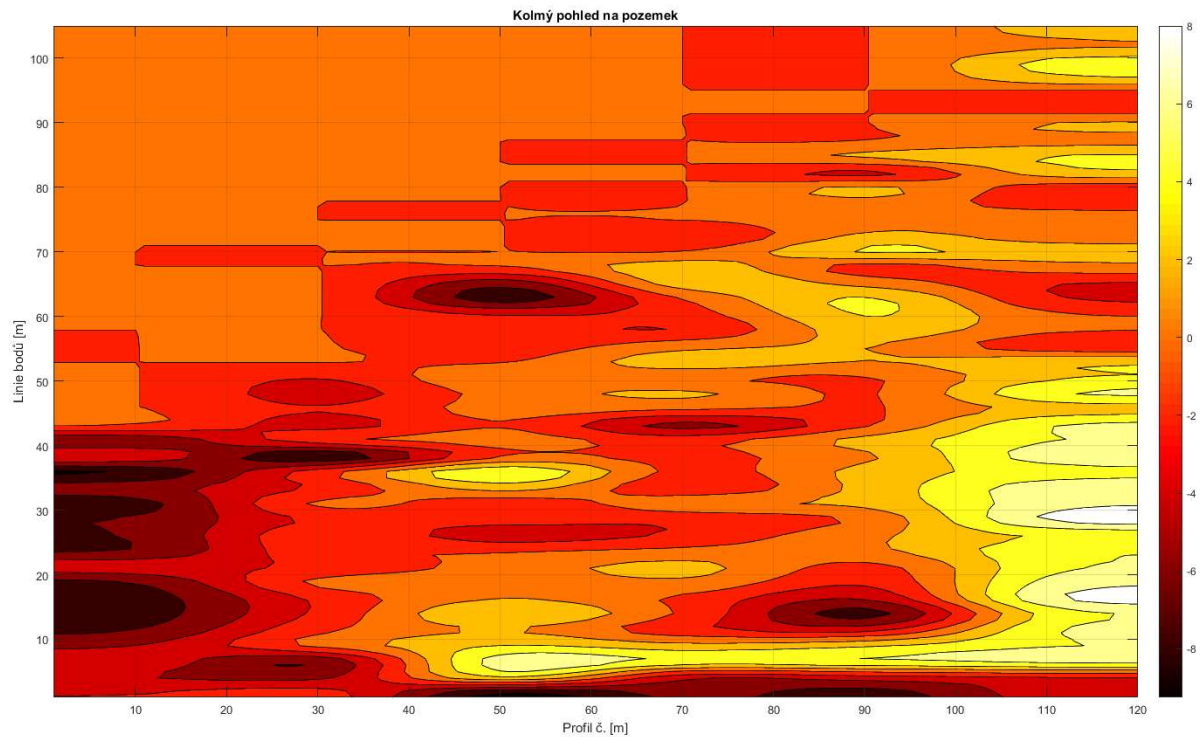
7.3. Magnetická měření

Měření geomagnetického pole se v rámci geologického průzkumu hojně užívá k vyhledávání geologických anomálií tzn. zlomů a dělicích linií mezi jednotlivými druhy podloží. V kontextu práce bylo měření geomagnetického pole využito, jako doplňkové metody, která by dokázala lépe popsat poměry v podloží z hlediska problematiky radonu a případných geologicky zásadních útvarů minerálního charakteru. Z hlediska hygieny nelze naměřené hodnoty smysluplně interpretovat

Před započítím samotného měření bylo třeba zmapovat časovou stabilitu magnetického pole na polygonu, čehož bylo dosaženo deseti měřeními na měřeném bodu pozice 0 m,0 m. S ohledem na validnost měřených dat bylo třeba, aby rozptyl kontrolních hodnot nepřesahoval 10 % rozptylu očekávaných hodnot. Rozptyl kontrolních hodnot $\sigma_K^2 = 1,2$ nT, rozptyl měřených hodnot byl očekáván minimálně $\sigma_M^2 = 10$ nT, čímž byla podmínka měření splněna. Metodika měření, včetně vyhodnocování výsledků je součástí kapitoly *Metodika měření geomagnetického pole*. Pro účely práce byly na Obrázku 7.11. graficky vyneseny absolutní hodnoty magnetických odchylek ΔT [nT], které jsou směrodatným ukazatelem situace v podloží. Existuje rozsáhlý systém kvantitativních interpretací, zabývajících se statistikou naměřených hodnot, jež nám dokáže sdělit informace o tvaru, hloubce, materiálu i historickém vzniku geologicky rozlišitelných těles. Pro účely práce však byla zvolena metoda kvalitativní interpretace, která na základě umístění výrazných magnetických odchylek ΔT podá přibližnou

informaci o uložení neurčitého druhu geologického tělesa. Tyto hodnoty mají tedy pouze informativní charakter a v rámci vyhledávání zdrojů velmi výrazných radonových koncentrací by bylo možné tyto hodnoty navázat na vyhledávání geologických zlomů, které by byly zodpovědné za specificky podlouhlé pruhy extrémně zvýšených hodnot Rn^{222} a související zvýšené koncentrace U^{238} .

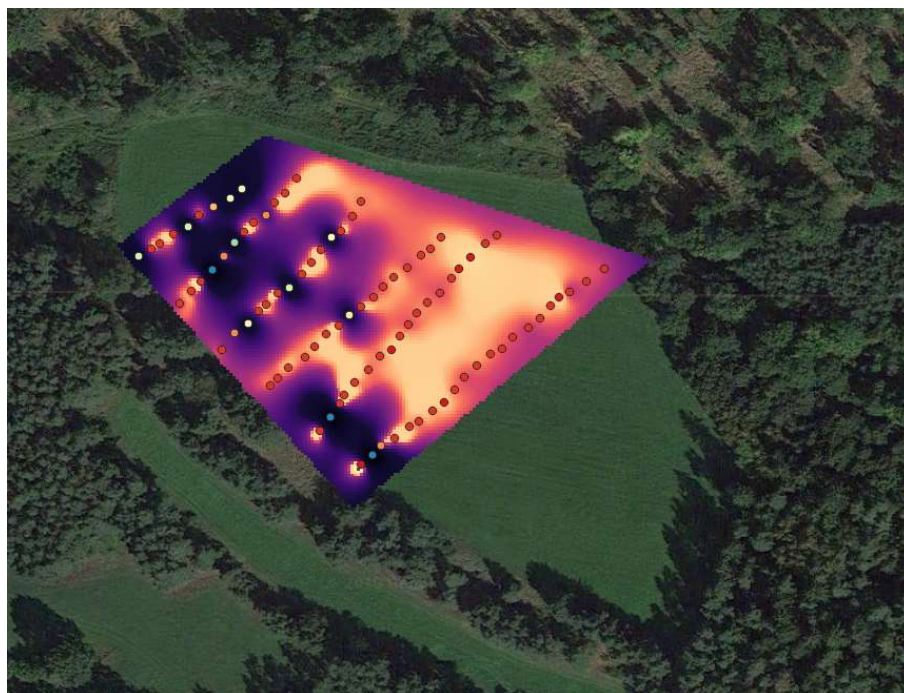
Ze srovnání všech dostupných měřených vrstev vyplývají souvislosti anomálií v jednotlivých mapách fyzikálních polí.



Obrázek 7.11: Jasová modulace ΔT

7.4 Index nekomfortu krajinné lokality

Po vyhodnocení všech shromážděných dat s pomocí rozhodovacího stromu na Obrázku 7.1, byla každému měřenému bodu na polygonu přidělena výsledná hodnota, reprezentující potenciální zátěž ze všech vyšetřovaných fyzikálních parametrů. Jasová reprezentace je zobrazena na Obrázku 7.12. Místa se světlejší barvou reprezentují oblasti s větší zátěží z fyzikálních polí ve smyslu Indexu nekomfortu.



Obrázek 7.12: Exportovaná vrstva interpolace měřených hodnot j,kI v QGIS

V hybridní mapě na Obrázku 7.12 jsou zřetelná světlejší území která značí zvýšené hodnoty indexu, jedná se o plochy, které vykazovaly zvýšené hodnoty v rámci polygonu. V tomto konkrétním případě se jednalo o soubor hodnot jejichž modus se, celoplošně, blížil hodnotě 0,35. Vzhledem k tomu, že obor hodnot Indexu nekomfortu $j,kI = (0,1)$, dala by se plocha z tohoto hlediska řadit k místům s lehce zvýšeným rizikem z fyzikálních polí.

Konkrétní, relativní hodnoty indexu k jednotlivým fyzikálním polím byly již diskutovány v příslušných kapitolách. Z těchto výstupů je zřejmé, že příspěvky neionizujících polí HF a LF, výrazně nepřispívají k lokální, fyzikální zátěži, nicméně lehce zvýšené dávkové příkony z hornin mají zřejmě za následek větší objemové aktivity půdního radonu, a tedy větší radiální zátěž což v konečném důsledku vytvoří “zajímavé hodnoty“ indexu nekomfortu na polygonu. Tmavá místa v mapě reprezentují body, kde nebyly, vzhledem k průměrným hodnotám měřeným v ČR, naměřeny ani významné OAR Rn^{222}

8. Závěr

V souladu se zadáním práce bylo v každé kapitole proveden teoretický popis pole ve volné přírodě, byla vybrána vhodná plocha s ohledem na problematiku všech fyzikálních polí. V práci byl proveden rozbor polygonu a vysvětleny podrobnosti návrhu měřicí sítě. Byly provedeno terénní měření, jehož výsledky byly zpracovány a na jejichž základě vznikly interpretace naměřených hodnot. Tato reálná měření byla časově i fyzicky náročná a vzhledem k časové náročnosti některých měření byla potřeba vysoká míra logistické organizace.

Pro účely práce byl vyvinut pojem indexu nekomfortu, vztahující se k jednotlivým fyzikálním polím. Jedná se o relativní hodnotu vůči hygienickým nebo jinak zásadním limitním hodnotám daného pole. Slouží ke srozumitelnější reprezentaci měřených hodnot a umožňuje tak dát všechna pole do vzájemné souvislosti.

Následně byly zpracovány grafické výstupy hodnot indexu v jasové modulaci, realizované v programovém prostředí Matlab a digitální vrstvené modely v prostředí Quantum GIS. Tyto modely mohou dopomoci ke kvalitnímu pochopení vzájemných souvislostí mezi měřenými veličinami na polygonu a nesou vypovídající hodnotu o stavu fyzikálních polí na dané lokalitě. Hodnoty v některých měřicích pozicích vykazovaly, v kontextu celé plochy, zvýšené hodnoty, což bylo pravděpodobně způsobeno nikoliv lokálními anomáliemi trvalého charakteru, ale tím že se dané, časově proměnné pole, zaznamenalo v časovém okamžiku. Jedná se hlavně o příspěvky neionizujících emg. polí.

Metoda hodnocení výsledků, uvedená v práci má do budoucna potenciál k tomu být plně automatizovaná ve svých algoritmech zpracování dat. S využitím technologie samoorganizujících se map, vytvoření vhodného uživatelského rozhraní a většího množství přesnějších analýz v GIS by případně mohla komunikovat o doplnění některých dílčích informací s uživatelem a podávat komplexní informace na základě vložených dat, v dalším vývoji nabízí i možnost komerčního využití.

9. Přehled literatury

- [1] ABDULRAZZAQ, Sahar Aqeel a Aziz JABIR. SAR Simulation in Human Head Exposed to RF Signals and Safety Precautions. *IJCSET* [online]. Baghdad, Iraq, 2013, 3(9), 7 [cit. 2017-04-09].
- [2] BARBERÁ, Alejandro Chenoll. *In situ measurements for estimation of radon risk in dwellings in the locality Hatě, Milešov (Příbram), Czech Republic*. Praha, 2015. DIPLOMA THESIS. FJFI ČVUT. Vedoucí práce Lenka Thinová.
- [3] ČR. Nařízení vlády č. 291/2015 Sb.: Nařízení vlády o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. In.: 2015, ročník 2015, 120/2015.
- [4] DOHNAL, Jiří. *Vliv fyzikálních faktorů vnějšího prostředí na psychiku člověka*. Praha, 1983. Diplomová práce. FF UK. Vedoucí práce PhDr. Jiří Hoskovec CSc.
- [5] Doporučení SÚJB-*Metodiky měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve stavbách, na stavebních pozemcích a ve stavebních materiálech a vodě: METODIKA PRO STANOVENÍ RADONOVÉHO INDEXU POZEMKU*. 1. Praha, 2004.
- [6] FRONKA, Oldřich *MĚŘÍCÍ Měřicí systém RM-2, zařízení pro monitorování objemové aktivity radonu v půdním vzduchu: Uživatelská příručka*. 1. Praha, 2000.
- [7] Geologická mapa: *Příbram* [1 : 50 000]. Praha: Český geologický ústav Praha, 1998.
- [8] GRANJA, Carlos. Jihoatlantická anomálie vnitřního radiačního pásu. *Vesmír 93* [online]. 2014, (686), 4 [cit. 2016-12-09].
- [9] GUBBINS, David a Emilio HERRERO-BERVERA (eds.). *Encyclopedia of geomagnetism and paleomagnetism*. Dordrecht: Springer, c2007. Encyclopedia of earth sciences series. ISBN 978-1-4020-4866-
- [10] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Brno: VUTIUM, 2000. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 80-214-1868-0.
- [11] KLENER, Vladislav (ed.). *Principy a praxe radiační ochrany*. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2000. ISBN 80-238-3703-6.
- [12] Kurzy pro pracovníky laboratorí provádějící měření výskytu radonu a produktů přeměny ve stavbách, vodě a stavebních materiálech: *Texty pro základní část*. Praha, 2012. Učební texty. FJFI ČVUT.
- [13] MATOLÍN, Milan. *Stanovení radonového indexu pozemků: Učební texty*. Praha, 2015. Univerzita Karlova.
- [14] MATOLÍN, Milan. *Radioaktivita hornin Českého masívu*. Praha: Academia, 1970.

- [15] MAREŠ, Stanislav a a kol. *Úvod do užité geofyziky*. Praha: SNTL, 1979. ISBN L15C3V4147773.
- [16] MAREŠ, Stanislav. *Geofyzikální metody v ochraně a tvorbě životního prostředí*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996. Phare. ISBN 80-7078-365-6.
- [17] Nařízení vlády č. 291/2015 Sb.: Nařízení vlády o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. In: *č. 291/2015 Sb.*. 2015, ročník 2015, 120/2015, 291/2015 Sb.
- [18] NOVÁK, I. Účinky elektromagnetického pole na lidský organismus. *Elektroinstalatér* [online]. 2015, , 3 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/>
- [19] ROZMAN, Jiří. *Diagnostika životního prostředí*. Brno: Vysoké učení technické, 2000. ISBN 80-214-1771-4.
- [20] ROZMAN, Jiří, Lukáš SMITAL, Karel BUBNÍK a Tomáš POTOČŇÁK. *Ekologické inženýrství* [online]. Brno, 2014 [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: vutbr.cz. Elektronická skripta. FEKT VUT.
- [21] ROSYPAL, Stanislav. *Nový přehled biologie*. Praha: Scientia, 2003. ISBN 80-7183-268-5.
- [22] SILBERNAGL, Stefan a Agamemnon DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka*. 6. vyd., zcela přeprac. a rozš., Vyd. 3. české. Praha: Grada, 2004, xiii, 435 s. ISBN 80-247-0630-X.
- [23] Thinová, L., 2013. *Dozimetrie a radioaktivita životního prostředí*. Praha: nepublikováno
- [24] Ústní souhlas vlastníka pozemku s měřením na dané lokalitě
- [25] Karel Marha, Jan Musil, Hana Tuhá. *Elektromagnetické pole a životní prostředí*. 1968.

SEZNAM ZKRATEK

$Q [C]$	Velikost elektrického náboje
T, A, N, K	Označení vektoru intenzity geomagnetického pole, anomálie, normální stav resp. Konkrétní případy uvedené v textu
Φ	Označení vektorů magnetických toků
$p [N.m-1]$	Označení vektoru spinového, mechanického momentu
$\mu [J.T-1]$	Označení vektoru spinového, magnetického momentu
$\Theta [^\circ]$	Označení úhlu
γ	Označení Gyromagnetického poměru protonu
<i>GSM</i>	Zkr. Globální systém pro mobilní komunikaci
<i>VKV</i>	Zkr. Velmi krátké vlny 65,8 - 74 MHz, využívané zejména pro rádiové FM vysílání
<i>SAR</i>	Zkr. Střední absorbovaný výkon
<i>EMC</i>	Zkr. Elektromagnetická kompatibilita
μ_r	Konstanta označující relativní permeabilitu prostředí
ϵ_r	Konstanta označující relativní permitivitu prostředí
\vec{E}	Vektor intenzity el. pole
\vec{S}	Označení Poyntingova vektoru
h	Označení Planckovy konstanty
$E [J] \text{ resp } E [mSv]$	Obecné označení energie alt. Efektivní dávky
<i>BMI</i>	Index tělesné hmotnosti resp. Body mass index
λ	Označení vlnové délky resp. Přeměnové konstanty radionuklidů
<i>OAR [Bq\m3]</i>	Objemová aktivita radonu

Pozn.: V seznamu nejsou uvedeny symboly a zkratky všeobecně známé nebo používané jen ojediněle s vysvětlením v textu.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1: Orientace zemských indukčních čar [9].....	10
Obrázek 2.2: Složky zemského magnetického pole	11
Obrázek 2.3: Vizualizace dat ze zařízení SATRAM.....	
Obrázek 2.4: Schéma magnetometru s ferosondou [9].....	14
Obrázek 2.5: Schéma funkce protonového magnetometru [16]	16
Obrázek 2.6: Magnetometrická měřicí souprava PM - 1 Geofyzika Brno	18
Obrázek 2.7: Grafické znázornění měřených dat v čase vč. denní variace na opěrném bodě.....	19
Obrázek 3.1: Grafické znázornění emg. vlnění s rozkladem na jednotlivé složky pole [10]	22
Obrázek 3.2: Mechanismus účinků radiových vln [25].....	23
Obrázek 3.3: EMR 300 Wandel & Goltermann	24
Obrázek 3.4: Přední a zadní panel přístroje TENMARS TM – 190.....	25
Obrázek 4.1: Rozdělení dávek obyvatelstvu ČR [11]	31
Obrázek 4.2: Mapa ČR s uvedením dávkového příkonu hornin [14].....	32
Obrázek 4.3: Přístroj Gama surveyor G.F. instruments v terénních podmínkách.....	
Obrázek 4.4: Mapa českého masivu s vyznačenou pozicí plutonů [13].....	34
Obrázek 4.5: Sstava k odběru půdního radonui.....	35
Obrázek 4.6: Sestava k vyhodnocení OAR	36
Obrázek 4.7: Detail ionizační komory a VN měřidla systému RM-2	37
Obrázek 5.1: Mapa profilů geo–fyzikálního průzkumu podloží v okolí sledované plochy, včetně označení přilehlého osídlení [23]	38
Obrázek 5.2: Škálované výsledky elektro–tomografického průzkumu podloží.....	39
Obrázek 5.3: Hybridní mapa topologie zkoumané oblasti a geologické mapy	40
Obrázek 6.1: Grafické znázornění měřicí sítě a měřených bodů vč. azimutu	41
Obrázek 7.1: Rozhodovací strom Indexu nekomfortu.....	43
Obrázek 7.2: Jasová modulace I^{SAR}	44
Obrázek 7.3: Exportovaná vrstva interpolace hodnot I^{SAR} v QGIS.....	45
Obrázek 7.4: Exportovaná vrstva interpolace měřených hodnot I^{LF} v QGIS	46
Obrázek 7.5: Jasová modulace I^{LF}	47
Obrázek 7.6: Jasová modulace I^{DP}	48
Obrázek 7.7: Exportovaná vrstva interpolace měřených hodnot I^{DP} v QGIS.....	49
Obrázek 7.8: Jasová modulace C^{U238}_{Rel}	
Obrázek 7.9: Jasová modulace I^{OAR}	
Obrázek 7.10: Exportovaná vrstva interpolace měřených hodnot I^{OAR} v QGIS.....	52
Obrázek 7.11: Jasová modulace ΔT	
Obrázek 7.12: Exportovaná vrstva interpolace měřených hodnot $I_{j,k}$ v QGIS	54

