

Univerzita Karlova  
Pedagogická fakulta  
Katedra biologie a environmentálních studií

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Vybraná geologická rizika na území České republiky**

Selected Geological Hazards in the Territory of the Czech Republic

Tereza Hlaváčková

Vedoucí práce: doc. RNDr. Vasilis Teodoridis, Ph.D.

Studijní program: Biologie, geologie a environmentalistika se zaměřením na vzdělávání

Studijní obor: Biologie, geologie a environmentalistika se zaměřením na vzdělávání  
se sdruženým studiem Chemie se zaměřením na vzdělávání

Odevzdáním této bakalářské práce na téma *Vybraná geologická rizika na území České republiky* potvrzuji, že jsem ji vypracovala pod vedením vedoucího práce samostatně za použití v práci uvedených pramenů a literatury. Dále potvrzuji, že tato práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Praha, 12.04.2024

## **Poděkování**

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce doc. RNDr. Vasilisovi Teodoridisovi, Ph.D. za jeho čas, všestrannou pomoc, množství cenných a odborných rad, podnětů, doporučení, připomínek a zároveň za velkou trpělivost a ochotu při konzultacích poskytnutých ke zpracování této práce.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce má za cíl informovat o geologických rizicích na území České republiky a může sloužit jako příručka k doplnění odborných znalostí pedagogickým pracovníkům základních a středních škol, kteří ji mohou využít ve výuce přírodovědných předmětů nebo jako doplňující didaktický materiál ve výuce geologie. Práce se zabývá popisem geodiverzity, příslušné legislativy, geologickou stavbou České republiky a 3 vybraným geologickým rizikům, tj. svahovým nestabilitám, zemětřesením a radonovému riziku. Tyto vybrané geohazardy jsou specifikovány s ohledem na jejich vznik, charakteristiku spouštěčů, jejich dopady a možnou prevenci. Jako modelové příklady jsou uvedeny některé konkrétní události v ČR.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** geologická rizika, geodiverzita, svahové nestability, zemětřesení, radonové riziko, Česká republika, výuka

## **ABSTRACT**

The main goal of this bachelor thesis is to inform about geological hazards in the territory of the Czech Republic and can be used as a guide to extend the professional knowledge of teachers of Natural Sciences at primary and secondary schools, who can use it in their Nature Science classes or as an additional education material for Geology classes. The thesis deals with the description of geodiversity, relevant legislation concepts, geological characteristics of the Czech Republic and 3 chosen geological hazards, i.e. slope movements, earthquakes and radon risks. These chosen geological hazards are specified with the consideration of their origin, characteristics of their activation, their impacts and possible prevention. Some concrete events in the Czech Republic are presented as model examples.

## **KEYWORDS**

Geological hazards, Geodiversity, Slope Movements, Earthquakes, Radon Risk, Czech Republic, Education

# OBSAH

ÚVOD .....	7
<b>1 GEODIVERZITA A JEJÍ VÝZNAM PŘI STUDIU GEOHAZARDŮ.....</b>	<b>8</b>
1.1 ZÁKLADNÍ POPIS GEOLOGICKÉ STAVBY ČR.....	8
1.2 PŘÍRODNÍ A ENVIRONMENTÁLNÍ HAZARDY.....	9
1.3 GEOLOGICKÉ HAZARDY.....	10
<b>2 SVAHOVÉ NESTABILITY .....</b>	<b>14</b>
2.1 VLIVY A SPOUŠTĚČE.....	18
2.1.1 Přírodní endogenní vlivy.....	18
2.1.2 Přírodní exogenní vlivy.....	19
2.1.3 Antropogenní vlivy.....	20
2.2 SVAHOVÉ NESTABILITY NA ÚZEMÍ ČR.....	20
2.2.1 Český masív.....	21
2.2.2 Oblast Západních Karpat.....	24
2.3 DOPADY.....	25
2.3.1 Pozitivní dopady.....	26
2.4 PREVENCE.....	27
<b>3 ZEMĚTŘESENÍ .....</b>	<b>31</b>
3.1 TYPY ZEMĚTŘESENÍ.....	32
3.2 MĚŘENÍ ZEMĚTŘESENÍ.....	33
3.3 ANTROPOGENNÍ ZEMĚTŘESENÍ.....	35
3.4 VLIVY A SPOUŠTĚČE ZEMĚTŘESENÍ.....	36
3.5 ZEMĚTŘESENÍ NA ÚZEMÍ ČR.....	37
3.5.1 Prehistorická tektonická aktivita v ČR.....	38
3.5.2 Přehled regionálního výskytu zemětřesení.....	39
3.6 DOPADY ZEMĚTŘESENÍ NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ A ČLOVĚKA.....	44
3.7 PREVENCE.....	44
3.7.1 Co dělat při zemětřesení?.....	46
<b>4 RADONOVÉ RIZIKO .....</b>	<b>48</b>
4.1 RADIOAKTIVNÍ ZÁŘENÍ.....	48
4.1.1 Zdroje radioaktivního záření.....	50
4.1.2 Vliv radioaktivního záření na organismus.....	51
4.2 RADIOAKTIVNÍ PŮSOBENÍ RADONU.....	51
4.2.1 Vliv radonu na organismus.....	52
4.3 RADONOVÉ RIZIKO NA ÚZEMÍ ČR.....	53
4.3.1 Historie protiradonových programů a opatření.....	55
4.3.2 Výskyt radonu v budovách.....	55
4.4 PREVENCE A OPATŘENÍ.....	57
4.4.1 Protiradonové programy a zákonná ustanovení v ČR.....	58
4.4.2 Riziko ozáření radonem na pracovišti.....	59
4.4.3 Výskyt radonu v pitné vodě.....	59
4.4.4 Základní protiradonová opatření.....	59
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>61</b>
<b>ZDROJE.....</b>	<b>62</b>

## Úvod

Cílem této bakalářské práce je představit vybraná geologická rizika na území České republiky a popsat jejich projevy, příčiny, rizika a případná preventivní opatření. Tato práce poukazuje na vliv geologických rizik na geodiverzitu krajiny a představuje základní pojmy a jejich legislativní zakotvení.

Je zmíněno více různých geologických rizik, pro tuto práci byla však vybrána 3 rizika, která jsou popsána detailněji. Jedná se o svahové nestability, zemětřesení a radonové riziko. V kapitolách o zemětřesení a svahových nestabilitách se práce zabývá geologickým pozadím vzniku daného jevu, jejich spouštěči, typickými projevy a příklady konkrétních událostí v jednotlivých částech České republiky. V závěru kapitol jsou prezentovány možné preventivní opatření. V kapitole o radonovém riziku je popsán teoretický základ související s radioaktivním zářením a s vlivem na lidský organismus, dále výskyt na našem území, protiradonové programy, legislativní a preventivní opatření.

Zvyšování povědomí o geologických hazardech, které jsou úzce spojeny s tématikou geodiverzity, může být cestou k lepšímu porozumění jejího významu a k podpoře její ochrany. Předkládaná práce může sloužit vyučujícím přírodovědných oborů na základních a středních školách k rozšíření odborných znalostí a jako prostředek k obohacení výukového obsahu geologické tematiky o praktické příklady významu a vlivu geologických faktorů na našem území.

# 1 Geodiverzita a její význam při studiu geohazardů

Neživá příroda, neboli geodiverzita, zahrnuje geologické, geomorfologické, paleontologické, půdní, hydrologické a atmosférické procesy a systémy (Cílek, 2000), které zásadně ovlivňují živou přírodu (biodiverzitu). Narušení živého prostředí může být velmi často provázáno s narušením prostředí neživého, což postihuje rostliny i živočichy a ovlivňuje celkový ráz ekosystému (Ložek, 2000). Příkladem je vliv chemismu hornin na vegetaci nebo kvalita půdy, která ovlivňuje její úrodnost (Bajer, Balková, Kubalíková, 2019). To, jaké spektrum biodiverzity se na území vyskytuje, je však dáno geodiverzitou, která má značný vliv i na hospodářské a společenské využití (Ložek, 2000). Člověk již od pravěku využíval nerostné suroviny pro výrobu různých nástrojů, převisy a jeskyně sloužily k obydlí, na vyvýšeninách se stavěly hradiště, tvrže, hrady, v údolích a sedlech se nacházely dopravní komunikace, hory a řeky mohly představovat hranice územních celků. I v současnosti je geodiverzita využívána k těžbě nerostného bohatství, reliéf krajiny je ovlivňován činností člověka při přemísťování materiálů, stavbě silnic a železnic (Bajer, Balková, Kubalíková, 2019), zarovnávaní svahů, napřimování koryta, zavalování štol apod. (Cílek, 2000). Geodiverzita se podílí na procesech cirkulace atmosféry, hydrologickém, horninovém a biochemickém cyklu, poskytuje živiny a potravu, ovlivňuje kvalitu podzemních vod a je zdrojem vody, uhlí, ropy, zemního plynu nebo uranu, poskytuje stavební materiály (kámen, cihlářské suroviny, suroviny pro výrobu oceli), minerály, které se využívají průmyslově k výrobě farmaceutik, hnojiv, kovů apod. (Bajer, Balková, Kubalíková, 2019).

Geodiverzita je tedy významně ovlivňována nejen přírodními hazardy, o kterých bude řeč v následujících kapitolách, ale také lidskou činností, průmyslem, zemědělstvím, dopravou, těžbou, stavebnictvím apod. Její ochrana má své počátky již v 19. století, oproti ochraně biodiverzity má však v zákonech pouze okrajové místo, případně se týká konkrétních územních celků (Bajer, Balková, Kubalíková, 2019). To může poukazovat na fakt, že se jí dosud nevěnovalo tolik pozornosti, přestože je její význam pro člověka a ekosystémy ohromný.

## 1.1 Základní popis geologické stavby ČR

Pro obecné pochopení vybraných geologických rizik na území České republiky je potřeba představit její základní geologickou stavbu.

Česká republika je složena ze dvou základních geologických jednotek, přičemž jejich hranice povrchového výskytu vede přibližně v ose měst Znojmo-Ostrava. Jedná se o:



1. **Český masív**, kam zasahují Čechy a západní Morava. Jde o fragment variského orogenu, který je tvořen fundamentem a platformními pokryvy. Má blokovou stavbu se zlomy a je tvořen především magmatickými, sedimentárními a metamorfovanými horninami kvartérního stáří. Fundament představuje starší krystalické podloží, které bylo formováno kadomskou orogenezí v proterozoiku až kambriu a přetvořeno variskou orogenezí v devonu až karbonu. Skládá se zejména z metamorfovaných a magmatických hornin předvariského a variského stáří. Sedimenty permokarbonu tvoří přechod mezi platformními sedimenty a týkají se karbonských pánví s ložisky uhlí. Platformní pokryvy jsou tvořeny sedimenty jury, křídou, terciéru a kvartéru. Tyto oblasti se nachází například v severních Čechách nebo v oblasti jihočeských pánví (Geologie ČR, 2016).
2. **Západní Karpaty** tvoří východní a jihovýchodní část Moravy a Slezska a zahrnují zejména sedimentární horniny terciérního až kvartérního stáří. Vznikly v rámci alpské orogeneze, která probíhala hlavně mezi křídou a neogénem a jsou součástí takzvaných alpid, které zahrnují rozsáhlý horský systém v Evropě. Do oblasti východní a jihovýchodní Moravy a Slezska zasahují pouze vnější Západní Karpaty představující tzv. flyšové pásmo (střídání písčitých a jílovitých hornin) a karpatskou předhlubeň (Geologie ČR, 2016).

## 1.2 Přírodní a environmentální hazardy

**Hazard (ohrožení)** je proces, který může působit na obyvatelstvo, majetek i životní prostředí. Pravděpodobnost výskytu události, která souvisí s tímto procesem, se označuje jako **riziko**. Pokud dojde k uskutečnění rizika s negativními následky na společnost (smrt, zranění), jedná se o **katastrofu** (Sudický, 2006). Podle OSN, Světové a Evropské banky lze událost označit za katastrofu v případě, že má za následek alespoň 25 obětí na životech, nebo škodu na majetku v minimální výši 25 milionů dolarů. Pokud k takovým následkům nedojde, jedná se o tzv. **pohromu** (disaster) (Kukal, Pošmourný, 2005).

Přírodní hazardy mohou být popsány jako destrukční procesy, které postihují lidskou společnost a ohrožují její zájmy, mají přirozenou příčinu a nejsou ovlivněny člověkem. (Batelková, Kirchner, 2015). Vzhledem k tomu, že lidská činnost z velké části ovlivňuje krajinu, na kterou hazardy působí, udává se, že pouze přírodní hazardy v podstatě neexistují. Jejich působení je vždy ovlivněno zásahem lidské činnosti v dané lokalitě. Takovým hazardům

se pak říká environmentální. Příkladem je povodeň, která byla zesílena odlesněním, nebo sesuv, který byl uvolněn vybudováním komunikace pod ním (Sudický, 2006).

Historicky čelila společnost přírodním i environmentálním rizikům odjakživa. Hodnocení hazardu je podmíněno tím, jak přírodní hazard působí na lidskou společnost. Vnímání rizikovosti souvisí s rozvojem společnosti, populačním nárůstem, ekonomickým i technologickým pokrokem. Roli hraje také množství majetku, který je hazardu vystaven a globální klimatická změna související s nárůstem frekvence a intenzity událostí jako jsou tropické cyklony nebo povodně. Za zmínku také stojí rozvoj a dostupnost komunikačních technologií, které zvyšují informovanost lidí po celém světě (Sudický, 2006).

Hazardy můžeme rozdělit z geologického hlediska podle původu na endogenní (zemětřesení, sopečná činnost) a exogenní (ostatní), které spolu vzájemně souvisí a ovlivňují se (zemětřesení může způsobit lavinu) (Sudický, 2006). Lze je dále klasifikovat do základních 5 kategorií:

1. Atmosférické (např. extrémní teploty, srážkové úhrny)
2. Hydrologické (např. povodně, tsunami, nedostatek srážek)
3. Biologické (např. epidemie, požáry)
4. Technologické (průmyslové nehody, nukleární hrozba)
5. Geologické (svahové pohyby, zemětřesení, vulkanismus). Někdy se užívá termín geomorfologické hazardy nebo geohazardy a jedná se o události spojené s procesy v horninovém prostředí (Batelková, Kirchner, 2015).

### 1.3 Geologické hazardy

Riziko pro člověka a životní prostředí představují dle vyhlášky ministerstva životního prostředí č. 369/2004 Sb. procesy a stavy v horninovém prostředí, které se řadí mezi tzv. **rizikové geofaktory**. Mezi ně nepatří procesy a stavy, které vznikly lidskou činností. Příloha č. 9 této vyhlášky rozlišuje následující geofaktory:

#### 1. Narušení režimu podzemních vod

Týká se zejména zvýšení nebo snížení vlivem svahových pohybů, zemětřesení apod.

#### 2. Rizikové koncentrace organických a anorganických látek přírodního původu v podzemních vodách

Jedná se o zvýšené koncentrace hliníku, arsenu, barya, beryllia, kadmia, kobaltu, mědi, rtuť, molybdenu, niklu, olova, vanadu, zinku a polycyklických aromatických uhlovodíků. Riziková koncentrace je uvedena ve vyhlášce pro každý prvek zvlášť.

### **3. Nadlimitní koncentrace organických a anorganických látek přírodního původu v horninách a produktech jejich zvětrávání**

Mezi tyto prvky patří arsen, beryllium, kadmium, měď, rtuť, molybden, olovo, antimon, zinek a polycyklické aromatické uhlovodíky. Nadlimitní koncentrace stanovuje vyhláška zvlášť pro primární horniny a produkty zvětrávání.

### **4. Zvýšená radioaktivita**

Určuje se podle objemové aktivity radioaktivních prvků, které v podzemních vodách překračují limitní koncentrace pro pitnou vodu a objemové aktivity radonu v půdním vzduchu.

### **5. Svahové pohyby a řízení skal**

Jedná se o pohyb půd, sutí, hornin a skalního masivu vlivem působení geologických procesů.

### **6. Ropa a zemní plyn**

Při výstupu ropy nebo hořlavého zemního plynu v množství určeném vyhláškou na zemský povrch z jejich přírodního uložení v horninách se jedná o rizikový geofaktor. Netýká se výstupu například aktivními důlními díly.

### **7. Oxid uhličitý**

Oxid uhličitý je rizikovým geofaktorem za předpokladu, že dochází k jeho nahromadění v přírodních podzemních prostorách, nebo přitéká do podzemních prostor, které jsou určeny k pobytu osob (Zákon č. 369/2004 Sb.).

Zákon č. 62/1988 Sb. se zabývá geologickými pracemi, oprávněním k jejich provádění, projektování a vyhodnocení, dále kontrolami a možnými sankcemi. Podle vyhlášky č. 369/2004 Sb. musí být riziko neprodleně nahlášeno řešitelem geologických prací.

Internetový portál geohazardů dostupný na stránkách <http://www.geology.cz/aplikace/geohazardy/katalog/> popisuje **geofaktory životního prostředí** jako *přírodní jevy formující a ovlivňující krajinu a kvalitu přírodního, resp. životního prostředí*. **Geohazardy** jsou *živelné pohromy, které jsou spojené s procesy probíhajícími v horninovém prostředí zemského tělesa*. V současnosti tento portál obsahuje 45 geohazardů, které jsou popsány z hlediska geneze, společenského vlivu, rizikovosti, rozšíření, časového

charakteru, monitoringu a informačních zdrojů. Katalog lze procházet podle druhu v abecedním pořadí, podle ohrožení, omezení, příčin, rozšíření a skupin na základě geochemie a hydrogeologie, geofyziky, inženýrské a ložiskové geologie (Bokr). Dle druhu rozlišuje následující geohazardy:

- zásypové a rekultivační materiály,
- anomální koncentrace těžkých kovů a polokovů,
- anomální projevy geofyzikálních polí, geofyzikální a geologická rozhraní,
- geologicko – geochemické aspekty ochrany povrchových vod,
- geotermální aktivity (výrony plynů, horké minerální vody),
- horninové proudy,
- kontaminace ovzduší prachem při těžbě,
- kontaminace ovzduší zlomky minerálů ze zvětralých hornin,
- kontaminované řečištní a nádržní sedimenty,
- laviny,
- metan a další plyny v oblastech akumulace uhlovodíků,
- metan v uhelných pánvích,
- nestabilita krasových oblastí,
- nezabezpečené skládky, odvaly a odkaliště po těžbě rud,
- objemové změny (smršťování a bobtnání jílu),
- odkaliště po těžbě uhlí,
- otřesy vlivem důlní činnosti,
- ploužení,
- poddolovaná území po systematické hlubinné těžbě nerostných surovin,
- pozůstatky po těžbě a úpravě uranu,
- pozůstatky po těžbě ropy,
- prosedání spraší,
- průmyslové havárie,
- radiogenní elementy,
- radon,
- regionální kontaminace povrchových a podzemních vod (imise),
- rizika infiltračních oblastí a zón ochrany zdrojů léčivých a minerálních vod,
- rizika pro infiltrační oblasti a ochrana zdrojů podzemní vody,

- sekundární interakce,
- sesuv,
- skalní řícení,
- staré nezlikvidované skládky odpadů,
- staré technologické provozy,
- sufoze a podzemní eroze, kolísání hladiny podzemních vod,
- ukládání nebezpečných materiálů v dolech,
- velkoplošná a velkoobjemová těžba nerostných surovin s neřešitelnými střety zájmů,
- vertikální pohyby podél tektonických zlomů,
- větrná eroze,
- vliv horninového prostředí na chemismus vod,
- vodní eroze,
- významné změny v úrovni hladiny podzemní vody,
- záplavy,
- zemětřesení,
- změny migrace podzemních vod,
- ztekucení písků (viz Bokr).

## 2 Svahové nestability

Svahové pohyby jsou procesy, kdy dochází k pohybu hornin po svahu za působení gravitace. Geologicky patří k nejdynamičtějším procesům, které přetváří povrch Země (Klimeš, Baroň, Spitzer, 2019). Nejobecnější popis tohoto fenoménu udává, že se jedná o pohyb půdy, hornin nebo organického materiálu ze svahu za působení gravitace a přispění charakteru krajiny, která pohyb ovlivňuje. Svahové deformace se projevují změnou reliéfu a jsou výsledkem svahových pohybů. Základní strukturu a popis sesuvného pohybu popisuje obrázek 1. Vyskytují se ve všech geografických podmínkách a díky jejich velké variabilitě lze dělit do různých skupin podle typu přemístěného materiálu, charakteru pohybu, velikosti a hloubky (Raška, Klimeš, 2019). Díky znalosti těchto charakteristik lze hodnotit potenciální rizika a škody (Highland, Bobrowsky, 2008). V současné době se používá Varnesova klasifikace, která rozlišuje 6 typů svahových pohybů. Vzhledem k tomu, že některé české překlady mohou být zavádějící, nebo se mohou lišit, uvádí se v závorce anglický pojem (Raška, Klimeš, 2019):

1. **Deformace** (*deformation*) se dále dělí na **půdotok** (*solifluction*) (Raška, Klimeš, 2019) vznikající působením podpovrchových vod (Batelková, Kirchner, 2015) a **ploužení** (**creep**), které představuje dlouhodobý velmi pomalý pohyb probíhající buď hlubinně, kdy svahy podléhají deformacím hornin v hloubkách až několik desítek metrů, nebo přípovrchově, kdy po svahu stéká velmi pomalým tempem vrstva zvětralin a svahovin (Baroň). Rychlost ploužení někdy bývá tak nízká, že je náročné ji zachytit přístroji a může být tedy velmi těžce detekovatelná (Rybář, 2010). Při změně podmínek však může dojít ke zrychlení pohybů až na úroveň řícení (Baroň).
2. **Sesouvání** (*slide*) je pohyb po svahu, který probíhá po povrchu a množství materiálu se často zvyšuje ve směru od vzniku protržení. Může nabírat různých rychlostí a být nebezpečný v závislosti na rychlosti (Highland, Bobrowsky, 2008).
3. **Řícení** (*fall*) je odloučení části půdy, kamenů, nebo horniny na příkrém nebo vertikálním svahu, při kterém dochází k velmi rychlému posunu různého množství materiálu. Může vznikat přirozenými procesy, podsekáváním svahu vodními proudy, klimatickými podmínkami, případně lidskou činností. Řícení může být nebezpečné pro objekty i pro lidi, proto se využívají preventivní opatření jako například různé pokryvy svahů u silnic zamezující řícení materiálu, odstřelování svahu k odstranění hlavního zdroje řícení, stabilizace svahů, skalní šrouby a kotvení, dostatečné značení nebezpečných oblastí apod. (Highland, Bobrowsky, 2008). Typicky se vyskytuje na

územích bohatých na skalní horniny jako například CHKO Labské pískovce (Rybář, 2010).

4. **Stékání** (*flow*) se vyskytuje v místech, kde dochází k přemístění vodou nasycené nezpevněné hmoty ve formě zemních a přívalových proudů. Takový typ se vyskytuje zejména ve východní části ČR (Rybář, 2010). Jedná se tedy o rychlý krátkodobý pohyb hornin ve viskózním stavu, jejichž výsledná forma pohybu je proud (Nešvara, Sekyra, 1999).
5. **Rozsedání** (*spread*) ztekutěním, senzitivních jílu nebo skalních hřbetů.
6. **Překlápění** (*topple*) štěrků, bloků nebo ohybem (Raška, Klimeš, 2019).

Tabulka 1 popisuje další dělení svahových pohybů podle jejich rychlosti:

Typ	Přibližná rychlost	Reakce
<b>extrémně rychlý</b>	5 m/s	nemožná
<b>velmi rychlý</b>	3 m/min	nemožná (velmi omezená)
<b>rychlý</b>	1,8 m/h	evakuace
<b>mírný</b>	13 m/měsíc	evakuace
<b>pomalý</b>	1,6 m/rok	údržba
<b>velmi pomalý</b>	16 mm/rok	údržba
<b>extrémně pomalý</b>	v ročním intervalu zanedbatelné	není potřeba

Tabulka 1: Dělení svahových pohybů na základě jejich rychlosti. Zdroj:

<https://www.researchgate.net/profile/Pavel-Raska->

[3/publication/331248175\\_Svahy\\_v\\_pohybu/links/5eac3f0445851592d6af1c71/Svahy-v-pohybu.pdf](https://www.researchgate.net/publication/331248175_Svahy_v_pohybu/links/5eac3f0445851592d6af1c71/Svahy-v-pohybu.pdf)



Obrázek 1: Základní popis sesuvu. Zdroj: [https://www.researchgate.net/profile/Pavel-Raska-3/publication/331248175\\_Svahy\\_v\\_pohybu/links/5eac3f0445851592d6af1c71/Svahy-v-pohybu.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Pavel-Raska-3/publication/331248175_Svahy_v_pohybu/links/5eac3f0445851592d6af1c71/Svahy-v-pohybu.pdf)

Z hlediska mocnosti pak můžeme rozlišovat svahové pohyby mělké, středně hluboké a hluboké:

1. **Mělké sesuvy** mají mocnost od několika decimetrů do několika metrů, často se týkají pouze povrchových útvarů na svahu a mohou přecházet do procesu stékání. Při nasycení povrchové části masivu vlivem krátkodobých intenzivních srážek se povrchová část oddělí od hlouběji zakleslé části. Při zvýšení množství vody se mělké sesuvy přeměňují v zemní, bahnité nebo hlinitokamenité přívalové proudy, u kterých hrozí nebezpečí vzniku lavinovitých zemních proudů (rychlost v řádech km/h) a sesuvů (rychlost v řádech m/h). Zemní proudy se vyskytují na území flyše Západních Karpat (Rybář, 2006).
2. **Středně hluboké** mají mocnost 4-10 m a **hluboké sesuvy** nad 10 m. S takovými pohyby se setkáváme při zpožděné reakci na dlouhodobé srážky. Vznikají při maximálním nasycení svahů a souvisí s kolísáním hladiny podzemních vod, klimatickými vlivy a aktivitou sesuvu. Příkladem je 60 m sesuv na svahu hnědouhelného lomu Čs. Armády u Mostu, nebo bývalého hnědouhelného lomu Zwenkau u Lipska s mocností okolo 50 m. U obou případů došlo k sesuvům po kulminaci srážek z předchozích dvou let (Rybář, 2006).



Historicky způsobovaly svahové nestability ve světovém měřítku katastrofální následky. V roce 1970 došlo v Peru k utržení ledovce z hory následkem zemětřesení (viz obrázek 2). Tající led se smísil se sutí a vznikla sněhokamenitá lavina, která se zřítila ze svahu rychlostí 400 km za hodinu, zabila 21 000 lidí včetně české horolezecké expedice, následně se smísila s vodou a vytvořila bahnitokamenitý přívalový proud. V roce 1911 v Pamíru došlo k jednomu z největších historických sesuvů. Následkem zemětřesení způsobilo 2,5 km<sup>3</sup> množství sutě zavalení vesnice a údolí řeky Murgab, což vytvořilo nové jezero. Nejtragičtější sesuv z roku 1920 byl způsoben silným zemětřesením v čínské provincii Kan-su a zavalil okolo 200 000 obyvatel. V geologické historii docházelo k ještě mohutnějším svahovým nestabilitám. Na konci čtvrtohorního pleistocénu se na území Iránu uvolnilo 20 km<sup>3</sup> vápenců a zavalilo území o rozloze 166 km<sup>3</sup>. Jednalo se tedy o přibližně desetkrát větší množství materiálu než se uvolnilo při novodobém největším sesuvu v Pamíru. Před milionem let se na švýcarském území sesunulo 12 km<sup>3</sup> suti, která přehradila Rýn (Kukal, Pošmourný, 2005).



Obrázek 2: Utržení ledovce v Peru v roce 1970. Zdroj: [https://www.researchgate.net/figure/earthquake-induced-debris-avalanche-on-Nevados-Huascarán-Peru-Town-of-Yungay-is-buried\\_fig1\\_225794820](https://www.researchgate.net/figure/earthquake-induced-debris-avalanche-on-Nevados-Huascarán-Peru-Town-of-Yungay-is-buried_fig1_225794820)

## 2.1 Vlivy a spouštěče

Přírodní (endogenní a exogenní) a antropogenní procesy mají zásadní vliv na změnu reliéfu krajiny, což může způsobovat svahové nestability a zvyšovat riziko půdních sesuvů (Šikula, 2017). Místo vzniku, typ a velikost svahových pohybů je dána geologickou stavbou (typ horniny, zlomy...), fyzikálními vlastnostmi hornin a puklin (pevnost, tření, zvětrávání...), morfologií terénu (sklon svahu) a vegetačním pokryvem. Kombinací těchto podmínek a vhodného spouštěcího faktoru může dojít ke svahovému pohybu (Raška, Klimeš, 2019). Ničivé sesuvy půdy bývají často způsobeny více různými faktory, které působí dlouhodoběji (Highland, Bobrowsky, 2008).

### 2.1.1 Přírodní endogenní vlivy

Morfologie terénu může být ovlivněna vulkanickou nebo tektonickou aktivitou, glaciálním působením, různými druhy eroze svahu nebo podzemního podloží, sklonem zatížení, mrazem, požáry, počasím, a dalšími faktory (Islam, Ryan, 2016).

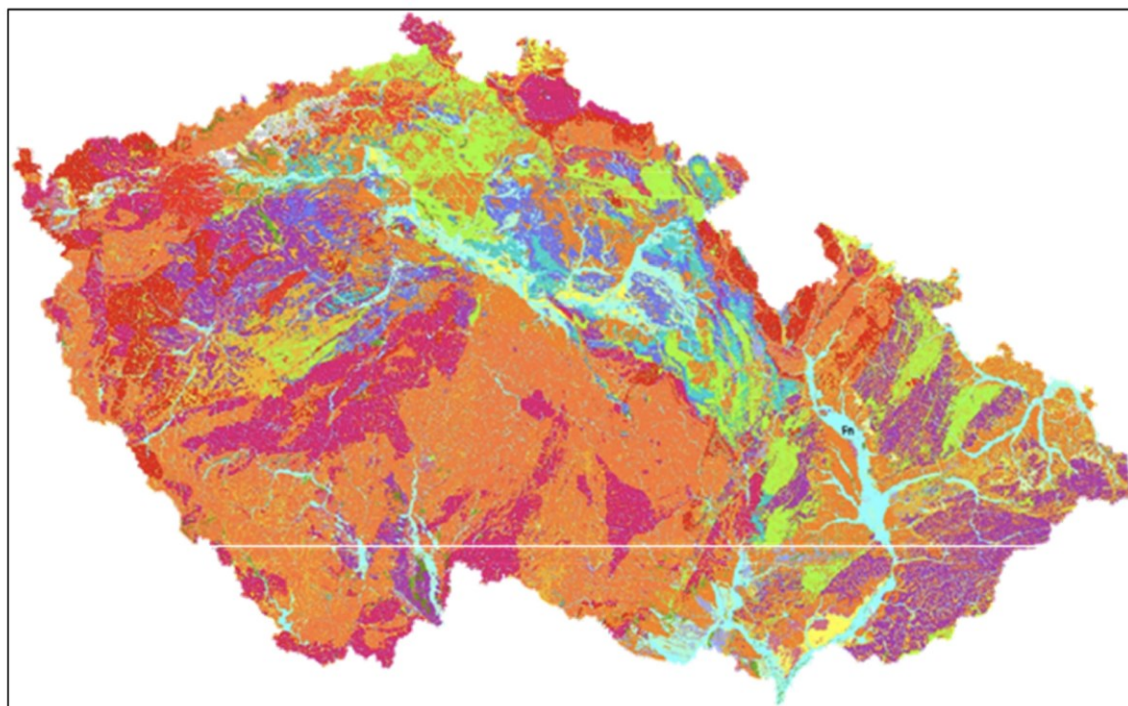
Zásadním spouštěčem svahových sesuvů je saturace podloží vodou. Často se jedná o propojení sesuvů a záplav, protože oba jevy jsou spojené se srážkami, únikem dešťové vody a saturací podloží. Další příčinou jsou intenzivní srážky, tání ledu, změny hladiny podzemní a nadzemní vody, hladiny hrází, řek, kanálů apod. Řízení suťových stěn nebo tok bahna může být zaměřováno za povodně, přestože se často objevují společně. Sesuvy mohou ovšem povodně zapříčinit, pokud například hráz neustojí nápor materiálu, nebo se voda dostane přes hráz ven. Úlomky ze sesuvu mohou způsobovat změny místních toků, které vedou k ucpání, nebo odklonění toku, a vytváří tím možné povodňové podmínky. Řízení suťových stěn je nejčastější forma sesuvu po působení požáru, kdy dojde k mnohonásobným změnám včetně chemické změny půdy a působení vody z různých zdrojů (Highland, Bobrowsky, 2008).

Geologické působení ovlivňují faktory týkající se citlivosti, síly, permeability, poškození, nevhodného rozložení a opotřebení materiálu vlivem počasí. (Islam, Ryan, 2016).

S narůstajícím sklonem svahu se zvyšuje gravitační působení a tím i riziko možného sesuvu. (Šikula, 2017).

Horninová stavba určuje fyzikálně-mechanické vlastnosti svahu a ovlivňuje jeho stabilitu. Podle litologické struktury hornin lze určit tzv. rajony s podobnou skladbou hornin a mechanismem vzniku. Česká republika je rozdělena na rajony kvartérního a předkvartérního

stáří, které jsou popsány a zobrazeny na obrázku 3. Rozdělení je důležité nejen pro určení svahových deformací z hlediska rychlosti, ale i rozsahu postiženého území. (Šikula, 2017).



#### Inženýrskogeologické rajony 1:50 000

##### RAJONY KVARTÉRNÍCH ZEMIN

Fn	Rajon náplavů nížinných toků včetně fluviolakustrinních sedimentů
Dk	Rajon deluviálních (svahových) kamenitých až blokovitých sedimentů
Ft	Rajon pleistocénních říčních sedimentů (terasy)
An	Rajon antropogenních uloženin
D	Rajon deluviálních (svahových) a deluvioluviálních (splachových) sedimentů
Or	Rajon organických zemín (min 5 % organických příměsí)
P	Rajon náplavových kuželů
Es	Rajon spraší a sprašových hlín
Ep	Rajon eolických (navátých) písků
Gg	Rajon glacienních (glacilakustrinních, glaciľuviálních) sedimentů

##### RAJONY PPŘEDKVARTÉRNÍCH HORNIN

Ng	Rajon štěrkovitých sedimentů
Mv	Rajon vysoko metamorfovaných (izotropních) hornin
Nj	Rajon jílovito-prachovitých sedimentů
Mn	Rajon nízko metamorfovaných hornin
Vk	Rajon vulkanoklastických hornin
Vi	Rajon kompaktních pevných vulkanických hornin
Sj	Rajon jílovcových a prachovcových hornin
Sf	Rajon flyšoidních (výrazně anizotropních) hornin
Ih	Rajon magmatických intruzivních hornin
Np	Rajon písčitých sedimentů
Sv	Rajon vápencových a dolomitických hornin
Ss	Rajon pískovcových a slepencových hornin
Nk	Rajon střídajících se jemnozrnných, písčitých a štěrkovitých sedimentů

Obrázek 3: Rozdělení České republiky na rajony kvartérních zemín a předkvartérních hornin. Zdroj: [http://www.geology.cz/img/geohazardy/metodika/Metodika\\_urcovani\\_SN.pdf](http://www.geology.cz/img/geohazardy/metodika/Metodika_urcovani_SN.pdf)

### 2.1.2 Přírodní exogenní vlivy

Exogenní procesy jako je směr a síla působení větru a míra slunečního záření ovlivňují evapotranspiraci a půdní stav, což má opět vliv na stabilitu svahu. Jedním z nejdůležitějších jevů je množství srážek, které na dané území dopadne. Čím vyšší je nadmořská výška, tím více dochází k úhrnu srážek. Srážky se mohou vyskytovat ve formě deště, sněhu nebo kroup a mohou zamrznat. Jejich opětovné rozmrznutí a vsakování do nezamrzlého podkladu je potenciálním spouštěčem sesuvu. (Šikula, 2017).

Dalším faktorem, který výrazně ovlivňuje četnost a intenzitu svahových pohybů jsou změny klimatu, se kterými souvisí změny rozložení extrémních meteorologických jevů. Jedná se především o již zmíněné zvýšené srážkové úhrny, intenzitu a variabilitu srážek, měnící se teploty, rychlost a trvání větru, degradace permafrostu ve vysokohorských oblastech apod. (Raška, Klimeš, 2019). V přírodních podmínkách se uplatňují cykly, které se střídají denně, sezónně, víceletě, existovaly výkyvy v holocénu a pleistocénu. Denní výkyvy nejčastěji ovlivňují rozvolňování skalních svahů a padání kamenů (například krátkodobé a intenzivní srážky, které spustí svahové pohyby typu ploužení), sezónní a víceleté cykly ovlivňují vznik mělkých a hlubokých sesuvů (aktivace přívalových proudů a malých říčení) apod. (Rybář, 2006).

### **2.1.3 Antropogenní vlivy**

Antropogenní procesy mají zásadní vliv na změnu krajiny a náchylnost na nestability. Lidská populace zabydluje a mění ráz krajiny, mění se odtokový faktor, vegetace, destabilizují se svahy. Při odlesňování svahů se mění retence srážek, schopnost výparů, rozložení kořenového systému a odolnost půdy vůči erozi. (Šikula, 2017). Může docházet ke zvětšování sklonu svahů za účelem zvýšení nosnosti půdy. Původně stabilní svahy mohou být narušeny zavlažováním, zaléváním trávy, změnami nebo vytvářením vodních rezervoárů, netěsnícím vodním potrubím, ze kterého uniká voda, různými vykopávkami na svazích (Highland, Bobrowsky, 2008), nebo úniky vod z kanalizační nebo vodovodní sítě, zanedbáním starých drenážních systémů atd. (Rybář, 2010). Pro udržení bezpečnosti je zapotřebí kvalitní inženýrská činnost, která dokáže rizika identifikovat a navrhnout řešení (Highland, Bobrowsky, 2008).

## **2.2 Svahové nestability na území ČR**

Spolu s povodněmi patří svahové nestability mezi nejnebezpečnější přírodní katastrofy na území České republiky. Přestože se velmi často obejdou bez vážnějších zranění a ztrátách na životech, jejich hospodářské následky mohou být i v řádech milionů korun. (Kukal, Pošmourný, 2005).

Ve střední Evropě jsou nejdůležitějšími hybateli svahových pohybů klimatické a antropogenní faktory. Dlouhodobá srážková aktivita v letech 1882-1883, 1939-1941 a 2002-2003 způsobila svahové pohyby. Podobně tomu bylo na Moravě v letech 1997, 2010 a 2014 během extrémních srážkových period, a v roce 2006, kdy rychlé jarní tání sněhu způsobilo spolu s dešťovými srážkami svahové deformace. Bleskové povodně v roce 2009 způsobily přívalové proudy a mělké sesuvy (Blahůt, Klimeš, 2011) především v oblasti severní Moravy a Ústeckého kraje.

V roce 2013 měly přívalové deště a lokální záplavy za následek sesuvy na území 7 krajů, kde byl vyhlášen stav nebezpečí. Tehdy bylo nahlášeno asi 32 sesuvů včetně území Prahy, přičemž největší škody byly napáchány na nedostavěné dálnici D8 u Dobkoviček (viz níže) (Sesuvy a řízení skal). Nejvyšší počet obětí si vyžádaly přívalové proudy v Krkonoších v roce 1897, při kterých zahynulo 7 lidí a přívalový proud z roku 2013, který usmrtil 2 lidi pod přehradou Slapy v části Třebenice (Müllerová, a kol., 2017).

Rozšíření a typy svahových pohybů se liší v závislosti na geotektonickém vývoji konkrétní oblasti ČR. Jejich rozložení a četnost je znázorněna na mapě na obrázku 4, kde každý záznam (označený černě) obsahuje v originálním zdroji základní informace o daném ději. Západní Karpaty jsou geologicky mladší, proto je východní část republiky více ohrožena sesuvy, než například geologicky starší jednotka Českého masívu (Rybář, 2010). V následující části budou představeny jednotlivé oblasti České republiky a příklady výskytů svahových pohybů v dané oblasti.



Obrázek 4: Svahové nestability na vybraných územích ČR. Zdroj: <https://mapy.geology.cz/haz/#>

## 2.2.1 Český masív

Na území českého masívu se často střídají předjarní povodně způsobené táním ledu s letními povodněmi po intenzivnějším výskytu srážek a opětovným prosycením horninového podloží,

keré může být zvodněné z předchozího období. Tato kombinace představuje spouštěč svahových nestabilit v místech, která jsou k nim náchylná jako jsou například území jílovitých hornin sedimentárních pánví, ve kterých se vlivem nasycení prostředí vodou objevují středně hluboké a hluboké sesuvy. Vzhledem k charakteru sesuvu je však zapotřebí překročit určitou úroveň nasycení, která je dána dlouhodobým (několikaletým) obdobím nadprůměrných dešťových srážek (Rybář, 2010). Časté jsou také sesuvy v oblasti karpatské předhlubně, tedy mezi Českým masívem a Karpaty, které jsou typické pro svahy s velmi malým úklonem. Oblast obsahuje sedimenty měkkých, nepříliš pevných jílu, jejichž stabilizace bývá velmi obtížná (Nešvara, Sekyra, 1999)

### **Oblast České křídové pánve**

Do oblasti severních, východních Čech a severní Moravy zasahuje oblast, které se říká Česká křídová tabule. Sesuvy zde sice nejsou tak časté, je ale nutné s nimi počítat. Týkají se zejména zvětralých křídových pískovců, které sjíždí po podložních jílovcích v blocích (blokové deformace) (viz obrázek 5) (Nešvara, Sekyra, 1999). Typické je také skalní řízení v oblasti Labských pískovců, kde hrají hlavní roli časté výkyvy teplot (Rybář, 2006).

Právě v oblasti Labských pískovců došlo v 70. letech 20. století na silnici Děčín-Hřensko ke zřícení dvacetimetrového skalního bloku Baba Jaga, který s sebou strhl blok Kobyla. Vlivem eroze došlo k odnosu hmot a změně napjatosti pískovce a docházelo ke změnám teplot, které zvyšují náchylnost pískovců k degradaci. Bloky se ohromnou silou zřítily na silnici, po které v tuto dobu nikdo neprojížděl, a tak zůstala nehoda bez obětí. O dva roky později musela být silnice plně uzavřena. Při následné sanaci byly identifikovány nebezpečné bloky, některé byly zabezpečeny, nicméně vzhledem k velmi náchylnému prostředí není možné mít svah plně pod kontrolou, a tak se oblast neustále monitoruje. (Zimola, 2015).



Obrázek 5: Zřícení skalních bloků na silnici z Děčína do Hřenska v roce 2009 a 2010. Zdroj: <https://zpravy.aktualne.cz/regiony/ustecky/v-hrensku-zacala-sanace-skaly-prijde-na-32-milionu/r~i:article:756235/>

### **Oblast Českého středohoří**

Jíly v Českém středohoří jsou náchylné k pomalým sesuvům, které trvají až několik let. Jedná se o relativně mladé vulkanické pohoří složené z výlevných vyvřelin typu čedičů nebo bazaltů, které prorážejí jílové sedimenty. (Nešvara, Sekyra, 1999).

Silné srážky, přetížení svahu materiálem z kamenolomu Dobkovičky a nevhodný postup zajištění svahu způsobily v roce 2013 sesuv u dálnice D8 u Dobkoviček (Kukal, Pošmourný, 2005), který zavalil nedokončenou dálnici, poškodil nedalekou železniční trať a část lomu (viz obrázek 6). Rozbor příčin byl ale komplexnější. Ukázalo se, že území bylo poškozeno historickými sesuvnými událostmi a tektonickým porušením. Významnou roli hrálo také zvodnění, kdy voda z lomu nad svahem odtékala a vsakovala se v samotném svahu, který tím destabilizovala a intenzivní dešťové srážky dosahující 500 % srážkového průměru 10 dní před sesuvem pak samotný svahový pohyb spustily. (Zimola, 2015).



Obrázek 6: *Následky sesuvu na dálnici D8 u Dobkoviček v roce 2013. Zdroj: <https://litomericky.denik.cz/galerie/sesuv-dalnice-dobkovicky-20230605.html?back=2972887407-489-11&photo=11>*

### **Oblast jihočeských pánví**

Oblast jihočeských pánví není příliš postižena sesuvnými pohyby díky plochému charakteru krajiny. Seditovaly zde měkké jíly a písky a pozornost se musí věnovat v případě zemních prací a jiných zásahů do krajiny, protože se zde vyskytuje riziko vyplavování písků a sesouvání. (Nešvara, Sekyra, 1999).

#### **2.2.2 Oblast Západních Karpat**

Velmi časté jsou svahové pohyby ve vnějších Západních Karpatech, kde se nachází pahorkatiny a flyšové horniny (Demek et al., 2006). Flyš je souvrství charakteristické opakujícími se vrstvami hornin s hlubokými usazeninami ve formě slepenců, hrubých pískovců a písčitých tmavých jílu (Nešvara, Sekyra, 1999). Opakující se vrstvy rigidní rozpukané a propustné horniny s plastickou a méně propustnou vrstvou mohou způsobit prosycení propustného pískovce i povrchové části srážkovou vodou a následné odvodnění a vznik lavinového pohybu. Například v Moravskoslezských Beskydech jsou horské hřbety postiženy několika desítkami metrů hlubokými svahovými deformacemi. Jedná se o pomalé pohyby hornin, které se lámou při tektonických pohybech. Pískovce, které jsou propustné pro vodu se střídají s nepropustnými jílovci a slínovci. Pohyby se mohou zrychlit v důsledku nasycení hornin vodou během období dešťů (Raška, Klimeš, 2019) a následné působení zemské tíže způsobí sesuvy. (Demek et al., 2006).

V roce 1997 proběhl jeden z nejintenzivnějších a co do počtu škod největší sesuv způsobený dlouhotrvajícími dešti (Blahůt, Klimeš, 2011) a povodněmi, při kterých zahynulo 48 lidí



(Rybář, 2006). Tato situace postihla v červenci zejména východní část ČR (Vsetínsko a Zlínsko), kde došlo k lavinovému výskytu zemních proudů a sesuvů. Voda ze srážek se vsákla do horninového masívu a prosytila pískovce. Při snížení srážek zapůsobila gravitační síla, která spustila odvodnění a vznik krátkodobých, ale velmi rychlých a nebezpečných svahových pohybů. (Rybář, 2010)

V květnu 2010 došlo k nejrozsáhlejší svahové deformaci u nás. V nejvýchodnější části ČR v katastru obce Bukovce u Jablunkova se strhl 1,2 km dlouhý zemní proud způsobený extrémními srážkovými periodami (viz obrázek 7) (Rybář, 2010). Většina území byla v době sesuvu zalesněna, bezprostředně byly ohroženy dva domy a příjezdová cesta do další obce, nakonec se ale sesuv zastavil na louce, kde porušil elektrické vedení a došlo k přerušení jedné z turistických cest (Kubicová, 2018).



Obrázek 7: Svahová deformace v Bukovci u Jablunkova. Zdroj: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2010/cislo-11/sesuvy-ceske-republice.html>

### 2.3 Dopady

Česká republika je hustě osídlena, je součástí mezinárodních dopravních uzlů, zapojena do projektů a plánování k výstavbě dálnic, rychlostních silnic, obchvatů měst, modernizace železnic apod. (Šikula, 2017). Vzhledem k pestré geologické struktuře, klimatickým změnám i antropogenním zásahům je třeba počítat se zvýšeným rizikem výskytu sesuvů (Geologická rizika, 2023), jejichž četnost se za posledních 20 let výrazně zvýšila (Šikula, 2017). Sesuvy

mohou ohrožovat především obyvatele daného území, budovy, inženýrské sítě, infrastrukturu, krajinu samotnou, případně i různé další ekonomické aktivity.

Vedle přímých ztrát se hodnotí i ztráty nepřímé, které mohou mít podobný nebo dokonce větší dopad. Může dojít k neprůchodnosti silnice, omezení dodávek elektrického proudu, odříznutí části obyvatel od služeb, zboží (Blahůt, Klimeš, 2011), ušlému zisku kvůli zastavení provozu, nákladům spojených s přerušením dopravy, nebo snížení kvality půdy a její produkční schopnosti (Klimeš, 2019). Vyčíslování ztrát navíc zahrnuje i sociální a psychologické prvky, které mohou dopadat na celou komunitu (Blahůt, Klimeš, 2011). Dalším příkladem je oblast Bílých Karpat, kde sesuvy způsobují degradaci lesní půdy, zvýšení povrchové vodní eroze a poškození lesních cest, přičemž náklady za sanace šplhají až k několika milionům korun (Zemek, 2015).

Evidence škod nemusí být vždy úplně přesná. Jak již bylo popsáno výše, velmi často se vyskytují společně s jinými jevy (např. povodněmi) a následná kalkulace škod bývá velmi často několikaletý proces financovaný ze soukromých nebo veřejných rozpočtů (Klimeš, 2019).

### **2.3.1 Pozitivní dopady**

Velmi často dochází k antropocentrickému vnímání škod a negativních důsledků právě kvůli hospodářským a finančním dopadům, případně ohrožení lidských životů. Nicméně následky svahových nestabilit mohou mít i pozitivní vliv. Způsobená změna a modelace krajiny zvyšuje její diverzitu, ovlivňuje vodní režimy, vznik izolovaných oblastí s cennou biodiverzitou, apod. (Klimeš, Baroň, Spitzer, 2019).

V Moravskoslezských Beskydech, Vsetínských vrších nebo Javorníkách došlo k propojení dvou povodí po sesuvu. V Moravskoslezských Beskydech dochází k velmi pomalým pohybům horských svahů, kdy pevné a propustné pískovce sklouzávají po nepropustných a plastických jílech. U Frýdlantu nad Ostravicí vznikl během stovky let vlivem sesuvu tahový příkop. Rozsednuté skalní bloky vytvořily například v Kněhyňské propasti, nebo jeskyni Cyrilka u Pusteven jeskynní systémy, které připomínají krasové jevy. Nedochozí zde ale k chemickému vzniku krasu, nýbrž ke specifickému proudění vzduchu, proto se jim říká pseudokrasové. Před několika stoletími došlo v údolí pod hřebenem Vsetínských vrchů k sesuvu, který vytvořil mocnou hráz a vzniklo tím přírodní jezero. Hrazená jezera ovšem nemívají dlouhé životnosti, protože bývají rychle vyplňována sedimenty, případně neodolají rychlé erozi. Zbydou po nich nivní močály (údolí Kobylská ve Vsetínských vrších), mokřady, nebo visuté údolní plošiny a terasy. Největší údolní nádrž nejspíš existovala ve flyšových Karpatech, přičemž délka

zaplaveného území mohla mít až 650 metrů. V Českém středohoří se pak pravděpodobně nacházela největší údolní nádrž přehrazená sesuvem. Holocenní sesuv z vrchu Sedlo vytvořil nádrž o délce až 6 kilometrů. (Klimeš, Baroň, Spitzer, 2019).

Jak již bylo naznačeno, svahové deformace mohou být úzce spojeny s vodním režimem. V některých případech vytvářejí ojedinělá přírodní vodní jezírka, která najdeme třeba ve Vsetínských vrších, Moravskoslezských Beskydech, nebo v Českém středohoří. Bezodtoková jezírka, případně mokřiny, mohou mít význam i přesto, že jsou vlivem svahových nestabilit zavalována. V sedimentech se totiž nachází organické zbytky, schránky, pylová zrna apod., která se mohou uchovat až po tisíce let. V lokalitách, kde převládá eroze nad sedimentací je to tedy důležitý zdroj dalšího poznání. (Klimeš, Baroň, Spitzer, 2019).

Sesuvy mění reliéf krajiny, a tím působí na živočichy, kteří v oblastech žijí. V Bílých Karpatech se zachovala pestrá orchidejová a mokřadní luka. Na některých místech Moravskoslezských Beskyd a Vsetínských vrchů se zachovaly suťové lesy. Důvodem byla deformace krajiny, která zamezila dalšímu hospodářskému využití a mechanizaci. Zmíněné skalní rozsedliny, pseudokrasové jeskyně a suťová pole slouží jako úkryty běžným, ale i chráněným živočichům. Příklady mohou představovat netopýr, vrápenec malý, jezevci, lišky, rys ostrovid, čolci, skokani, ropuchy, svinutec běloustý, bahnatka malá a další. Saranče vrzavá již nepatří k běžným druhům hmyzu, z krajiny téměř vymizela, nicméně si hová na narušených půdách a opuštěných nezarostlých pastvinách. Drobné sesuvy přispívají k větší diverzitě biotopů, skalnaté oblasti jsou zčásti nahrazovány a díky tomu zde najde útočiště několik druhů hmyzu. (Klimeš, Baroň, Spitzer, 2019).

## 2.4 Prevence

Přestože mezi hlavní spouštěče svahových nestabilit na území ČR patří přírodní vlivy, a to zejména přívalové srážky (případně tání sněhové pokrývky), lze jim předcházet statistickými metodami a metodickou aplikací dat. Nepostradatelnou součástí jsou archivální údaje, terénní mapování, nebo průzkum Země. Znalost historických údajů o geologických, geomorfologických, hydrogeologických a klimatických poměrech daného území jsou klíčovým faktorem, kterým lze hodnotit stupeň sesuvného hazardu a jejich frekvenci výskytu. (Šikula, 2017). Základním stavebním prvkem prevence proti sesuvům je hydrogeologický, inženýrskogeologický a geotechnický průzkum, který závisí na rozsahu ohrožení a vhodné dokumentaci (Šikula, 2006). Určování spouštěcího faktoru může být velmi obtížné vezmeme-li v potaz vliv antropogenních procesů. Osvědčilo se například sestavování křivek srážkových

úhrnů během 2-3 let, které odpovídají zvodnění v jílovitém horninovém prostředí (Rybář, 2010).

Důležitou součástí je predikce a prognóza vývoje svahů, u kterých hrozí nestability. Jak již bylo zmíněno, důležitým ukazatelem je historický výskyt nestabilit u přirozených svahů, tzv. prostorová prognóza. Česká i Slovenská republika registrovala v 60. letech 20. století nebezpečná sesuvná území, která jsou dodnes aktualizována (Rybář, 2010) a data jsou uložena u České geologické služby v Registru svahových deformací (Geologická rizika, 2023). Archiv obsahuje okolo 14 000 záznamů, přičemž pro nejpostiženější území jsou poskytovány prognostické mapy, které jsou veřejně dostupné občanům, ale také veřejné správě pro plánování. Zahrnují zejména území Vsetínska, Zlínska nebo Mladoboleslavska. Obtížněji lze vycházet z časové prognózy, která by měla indikovat termín sesuvu na určitém území. Úspěšně se takto pouze se zpožděním jednoho dne podařilo předpovědět zřícení skalního svahu nad silnicí z Děčína do Hřenska v roce 1984 (Rybář, 2010). Sestavení jednotné databáze svahových deformací na území ČR je klíčové pro dostatečnou informovanost a vychází z hodnocení a poznávání prostorové distribuce, aktivity a mechanismu pohybů a spouštěcích mechanismů. Sestavení takového portálu je jednou z nejvýznamnějších činností České geologické služby v rámci svahových sesuvů. K poznání obecných faktorů se vychází například ze satelitních dat, dostupnosti vody v půdě, 3D modelů apod. (Geologická rizika, 2023).

V rámci prevence se v praxi využívá také zachycení a odvedení povrchové vody, vyčerpání vody ze studní, umělá úprava terénu jako je kotvení svahů, stavba pilotů, opěrných stěn, sítí k zachycení padajících kamenů (viz obrázek 8), apod. V raných fázích rekognoskace je potřeba při podezření na sesuv kontaktovat geologa, zjistit, jestli se v oblasti nevyskytuje plynovod, přerušit případné práce v místě nestability a zároveň dbát na to, aby preventivní práce nenarušily svah a nedošlo k odtoku vody z okapů, kanalizace a septiku, které by mohly zvýšit množství podzemní vody a tím pádem i riziko následného sesuvu. (Šikula, 2006).



Obrázek 8: Síť pro zachycení padajících kamenů v Hřensku. Zdroj: <https://www.academia.cz/uploads/media/preview/0001/04/e822515aacc8ad4fc571613b07ca076358473a9e1.pdf>

K prevenci skalního řízení se dále využívají sanace, kterým předchází definice rizik, určení stupně stability, geotechnický monitoring, jímž se měří hloubkové posuny, proces sedání v různých hloubkových horizontech, deformace, náklony, napětí v zeminách, tlak v kotvách, úroveň hladiny podzemní vody nebo pohyby povrchových bodů. Tímto způsobem je tedy možné určit samotnou nestabilitu a riziko skalní oblasti a následně pokračovat s výběrem vhodné sanační metody. Ta je závislá na inženýrskogeologickém průzkumu a hodnotí se typ horniny, stupeň porušení a zvětrávání, pevnost tlaku horniny a morfologie povrchu. Při sanaci se tedy zaměřuje na následující úkony (AZ Consult, spol. s.r.o., 1999):

1. **Povrchové či hlubinné odvodňování.** U povrchového je cílem zabránit povrchové vodě, aby se vsákla do nižších vrstev pomocí prostých rýh po spádnici. U hlubinného odvodňování je zapotřebí snížit vztlak vody na smykové ploše a omezit působení vodního tlaku. K tomu lze využít čerpání vody, které je ale velmi nákladné a používá se spíše pro okamžitou reakci. Z dlouhodobějšího hlediska se používají jiné metody. (Nešvara, Sekyra, 1999).
2. **Ochrana před zvětráváním** využívá utěsnění spár a trhlin, plombování (vybetonování části horniny nebo dutiny), torkretové omítky (ochranné vrstvy na povrchu horniny), plášť ze stříkaného betonu (nanášený na ocelovou síť, spojený s kotvením lící), obkladní zdi (masivní konstrukce pro ochranu silnic, železnic, dálnic).

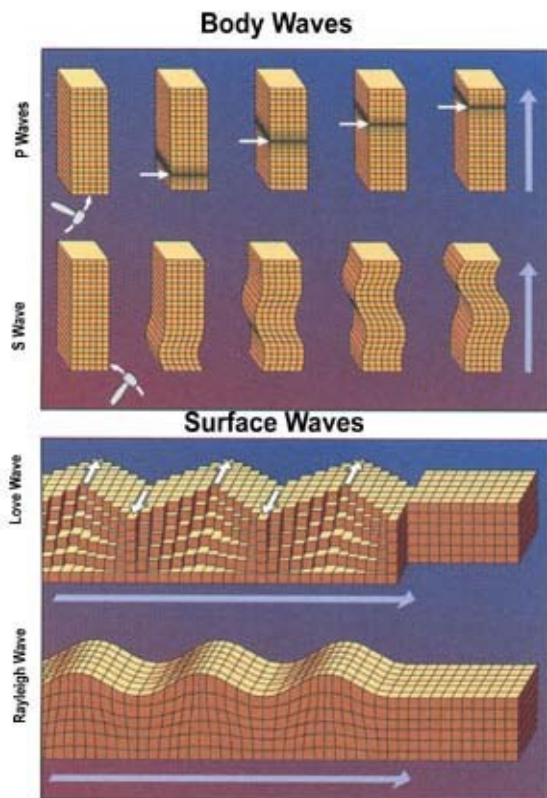
3. **Odtržení převisů a uvolněných bloků hornin** za použití rozpínavých cementů, které nebezpečný blok oddělí. Odstřely a trhací práce se nepoužívají příliš často, protože by mohly poškodit i zdravý masív.
4. **Zajištění stability odtržených a převislých skalních bloků** pomocí podezdění a podchycení. Využívají se vyztužená žebra, podpěrné trámy nebo pilíře.
5. **Kotvení navětralých vrstev** soustavou kotev, která je zanesena do stabilního místa skály.
6. **Pasivní ochrana komunikací nebo pozemků kamennou sutí** s využitím zárubní, ochranné zdi a plotů, které ovšem slouží spíše jako doplněk k dalším sanačním metodám (AZ Consult, spol. s.r.o., 1999).

Mezi léty 2007-2016 vydal stát na preventivní opatření ke stabilizacím svahů okolo 3 mld. Kč, přičemž největší podíl těchto prostředků (33 %) putoval do Ústeckého kraje. Nutno podotknout, že většina sanačních nákladů na sesuv dálnice D8 u Dobkoviček nebyla v databázi zachycena. Po velkých sesuvech v roce 1997 byly škody okolo 1 mld. Kč. (Klimeš, 2019). K nápravě škod přispívá i Ministerstvo životního prostředí a finanční pomoc EU. Mezi léty 2016-2018 vznikl program, který měl zajistit povodňovou ochranu, stabilizaci a sanaci rizikových území, které vychází z Registru svahových nestabilit. V rámci napravení škod po sesuvech v letech 2009, 2010, 2013 a 2014 vznikaly programy pro dotaci postižených území a napravení škod (Sesuvy a řícení skal).

### 3 Zemětřesení

V důsledku nejčastěji tektonického napětí v zemské kůře a svrchním plášti se generuje a na povrchu Země projevuje zemětřesení, které porušuje horninový celek podél existujících zlomů (Šílený, Vavrycuk, Zahradník, 2004). Tlaky mohou vyvolat pohyby, které na povrchu Země způsobují otřesy a vzniklá seismická energie se šíří od hypocentra (místa vzniku pod povrchem) do všech směrů (Skácelová, 2006). Přímo nad hypocentrem se na zemském povrchu nachází epicentrum se zpravidla nejvyšší intenzitou zemětřesení. Vznikají různé typy tzv. seismických vln s odlišnými fyzikálními vlastnostmi (např. frekvence, rychlost). Čím jsou dál od epicentra, tím se jejich intenzita snižuje. (Gates, Ritchie, 2007). Fyzikálně se tedy jedná o nelineární, poměrně komplikovaný a chaotický proces křehkého porušení materiálu na zlomech v krátkém časovém intervalu. Intenzita seismických vln je tím vyšší, čím rychlejší je skluz mezi sousedními bloky. Vzhledem k charakteru je i v současné době náročné přesně rozumět všem jeho zákonitostem, proto na zemětřesení pohlížíme jako na zdroj seismických vln (Šílený, Vavrycuk, Zahradník, 2004). Rozlišujeme několik druhů seismických vln, z nichž jsou některé graficky popsány na obrázku 9:

- a) **P-vlny** jsou díky své povrchové rychlosti okolo 5,6 km/s nejrychlejší a na seismickou stanici se dostávají jako první. Prochází celým povrchem Země a mění svoji rychlost v závislosti na materiálu, kterým prochází, což nám přináší znalosti o stavbě planety. Jedná se o podélné vlnění, které stlačuje a rozpíná hmotu ve směru šíření.
- b) Jako druhé se na seismickou stanici **dostávají S-vlny** s povrchovou rychlostí přibližně 3,2 km/s. Ve formě příčného vlnění procházejí hmotou, rozkmitají její částice kolmo ke směru šíření a neprocházejí kapalinou.
- c) **Rayleighovy vlny** způsobují nejpomalejší vlnění, které je kruhové a osciluje povrch Země.
- d) **Loveovy vlny** (q-vlny) se také šíří po povrchu Země a způsobují, že částice tělesa kmitají ke směru vlnění na šířku v pravém úhlu (Králová, 2007).



Obrázek 9: Typy seismických vln a jejich vliv na pohyb částic v procházejícím tělese. Zdroj: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/geofyzika/seismologie/seismicke-vlny-jejich-detekce>

### 3.1 Typy zemětřesení

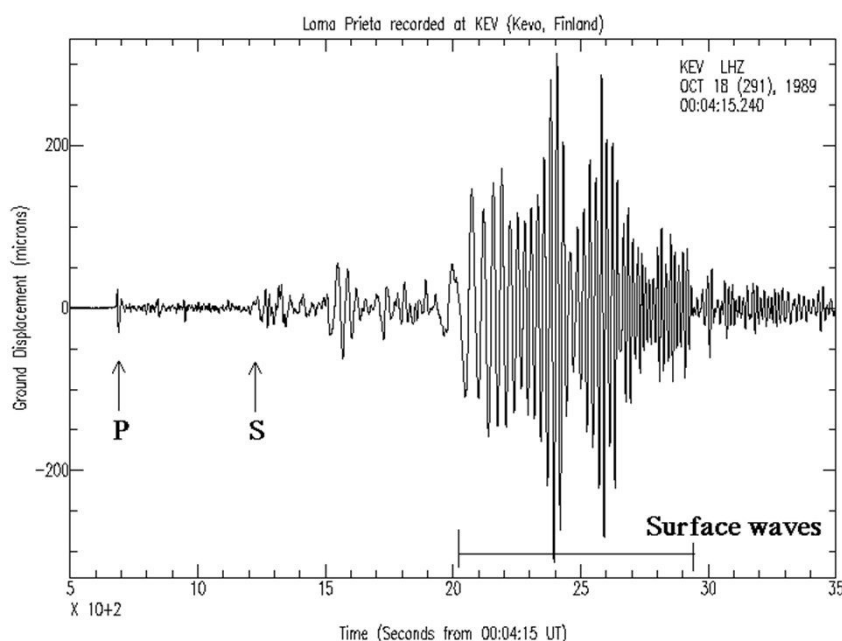
Rozeznáváme několik druhů zemětřesení: tektonické, sopečné a říťivé. Tektonické bývá zdaleka nejčastější a je dáno pohybem tektonických desek (viz dále kapitola Vlivy a spouštěče zemětřesení). Říčením podzemních krasových jeskyň mohou vznikat říťivá zemětřesení. Samostatnou skupinu pak tvoří umělá nebo antropogenní zemětřesení, která jsou způsobena jadernými výbuchy, hornickou nebo jinou technickou člověkem indukovanou činností (Stará, 2012).

Dle hloubky hypocentra pak rozeznáváme zemětřesení mělká (60-70 km, v ČR nejčastější), středně hluboká (60-300 km) a hluboká (až 750 km). Hlavní zemětřesný děj může být doprovázen předtřesy a dotřesy. V případě, že je takových jevů více a je obtížné rozeznat hlavní, jedná se o zemětřesné roje, jejichž energie není zdaleka tak velká jako u tektonických. Zemětřesné roje se u nás nachází například v západních Čechách a bude o nich zmínka v další kapitole (Stará, 2012).



## 3.2 Měření zemětřesení

K měření intenzity zemětřesení se používá **magnitudo**, které je úměrné  $\log E$  a určuje se měřením amplitud vln na seismogramech v různých vzdálenostech od zdroje (viz obrázek 10) (Zahradník, Burjanek, Gallovič, 2015). Tuto stupnici navrhl americký seismolog Charles F. Richter a jedná se o kvantitativní stupnici, přičemž magnitudo je objektivně spočítaná hodnota, má větší význam pro vědecké hodnocení, ale nemusí přesně odpovídat následkům zemětřesení. Popisy následků jsou orientační a záleží i na jiných faktorech (hloubka hypocentra apod.) (Stará, 2012). **Richterova stupnice** (magnitudo) se určuje z maximální výchylky na seismogramu a její hodnoty jsou popsány v tabulce 2. V epicentrální oblasti lze zaznamenat zemětřesení s magnitudem 2, pokud se jedná o mělká zemětřesení, lze je zaznamenat už okolo hodnoty 1-2, slabší zemětřesení mohou být detekována pouze přístroji. Pokud otřesy přesáhnou hodnotu 6, dochází k ničivým zemětřesením do vzdálenosti až 100 km (Slovníček, 2023).



Obrázek 10: Seismogram s popisem p- a s-vln. Zdroj: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/geofyzika/seismologie/seismicke-vlny-jejich-detekce>

Richterova stupnice (logaritmická)			
magnitudo	Popis	Odhadované následky v blízkosti ohniska	Četnost výskytu
Méně než 2	Mikro	mikrozemětřesení, nepozorovatelné smysly	okolo 8 000 denně
2,0 - 2,9	Velmi malé	většinou nepostřehnutelné, ale měřitelné	okolo 1 000 denně
3,0 - 3,9	Malé	často vnímatelné, žádné poškození	okolo 49 000 ročně
4,0 - 4,9	Slabé	drncení, třesení nábytku, větší škody nepravděpodobné	okolo 6 200 ročně
5,0 - 5,9	Střední	může způsobit lokálně větší škody na chatrných budovách, dobře postavené stavby bývají jen slabě poškozené	okolo 800 ročně
6,0 - 6,9	Silné	může mít destruktivní následky na ploše o průměru desítek km	okolo 120 ročně
7,0 - 7,9	Velké	může mít destruktivní následky v rozsáhlých oblastech	okolo 18 ročně
8,0 - 8,9	Velmi velké	může mít destruktivní následky i stovky km od epicentra	okolo 1 ročně
9,0 - 9,9	Masivní	destruktivní následky na ploše o průměru stovek i tisíců km	asi 1 za 20 let
10,0 a více	meteorické	lidmi dosud nezaznamenané, masivně ničivé	extrémně vzácná

Tabulka 2: Škála Richterovy stupnice s odhadovanými následky a četností výskytu. Zdroj: [https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/43297/BPTX\\_2011\\_1\\_11310\\_0\\_290523\\_0\\_37130.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/43297/BPTX_2011_1_11310_0_290523_0_37130.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**Intenzita** zemětřesení popisuje makroseismický účinek na lidi, krajinu, stavby. Je subjektivní, nezjišťuje se měřením, ale pozorováním a hodnocením následků a klesá se zvyšující se vzdáleností od epicentra. Její hodnota se tedy odvíjí od místa pozorování a nelze určit obecnou hodnotu pro celé zemětřesení. Existuje mnoho variací této stupnice jako například Mercalliho-

Cancaniho-Siebergova (MCS), Mercalliho (MM – Modified Mercalli), která se používá primárně v USA. Obě tyto stupnice mají 12 stupňů hodnocení. Japonská stupnice jich má pouze 7. V našich podmínkách se používá MSK (Medveděv, Sponheur, Kárník) stupnice s 12 stupni hodnocení. Nejmodernější a nejpodrobnější je však evropská dvanáctistupňová makroseismická stupnice EMS-98, která rozděluje budovy do 6 tříd zranitelnosti a vyznačuje se relativní komplexností popisů tak, aby se subjektivita co nejvíc snížila (Stará, 2012).

K měření a monitorování se používají seismografy, které na základě zákona o setrvačnosti zesilují a zaznamenávají otřesy. Záznam seismografu je seismogram a zachycení projevu pohybu Země zajišťují seismometry. Seismické signály jsou monitorovány po celém světě a to i pod mořem a většina stanic je napojena na mezinárodní datová centra (Stará, 2012). Česká regionální seismická síť má k dispozici 20 observatoří, které jsou zobrazeny na mapě obrázku 11, a mají na starosti monitoring zemětřesení, důlních otřesů, explozí v lomech apod. v ČR, Evropě i ve světě. Datová centra sídlí v Geofyzikálním ústavu AVČR v Praze a v Ústavu fyziky Země Masarykovy univerzity v Brně (Česká regionální seismická síť, 2024).



Obrázek 11: Mapa monitorovacích seismických sítí v ČR. Zdroj: <https://www.ig.cas.cz/vyzkum-a-vyuka/observatore/ceska-regionalni-seismicka-sit/>

### 3.3 Antropogenní zemětřesení

Antropogenní neboli indukovaná seismicita se týká zejména oblastí, které jsou typické pro těžební činnost jako je například hornoslezská pánev na těžbu uhlí. K žádným vážným antropogenním událostem, které by měly katastrofické následky v místě současných ani bývalých těžebních oblastech nedošlo (Křížek, 2007). Existují také tzv. technické seismicity, kam patří pozemní doprava, trhačí práce, venkovní stroje, zvuky způsobené okolní dopravou, venkovními stroji apod. Typickým příkladem vzniku antropogenního zemětřesení je doprava

po komunikaci, kterou ovlivňuje rychlost a zrychlení vozidel, povrch, konstrukce a typ vozovky a geologické poměry v oblasti. (Kaláb, 2003).

### **3.4 Vlivy a spouštěče zemětřesení**

Pro pochopení vzniku zemětřesení je nutný základní popis stavby planety Země (viz obrázek 12).

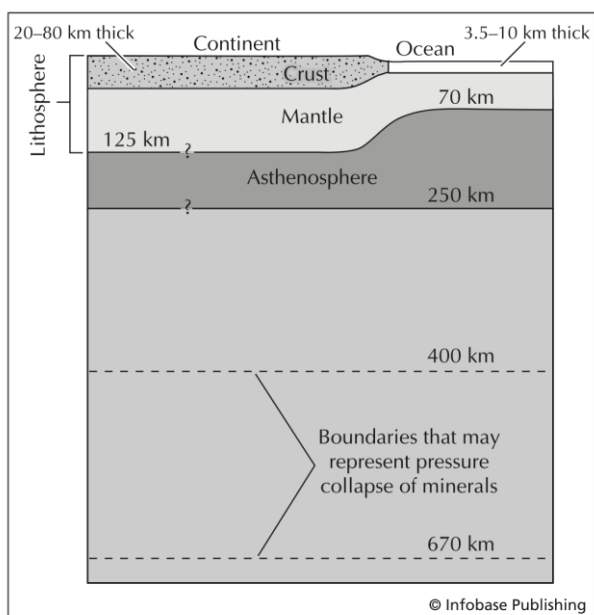
Principem deskové tektoniky je interakce litosférických desek a astenosféry. Litosférické desky tvoří litosféru složenou ze zemské kůry (oceánská, kontinentální) a svrchní části svrchního pláště. Pod litosférou se ve spodní části svrchního pláště nachází astenosféra – plastická pohyblivá vrstva obsahující horniny s nižší hustotou než v případě hornin v litosféře. Astenosféra je hybatelem tektonických desek a tím se spolupodílí na vzniku zemětřesení. Principem je tzv. konvekce ovlivňující mechaniku pohybu na základě rozdílné teploty a hustoty hmoty v litosféře a astenosféře. Místa, resp. hmota s vyšší teplotou má nižší hustotu a větší tendenci se zvedat. Naopak hmota s nižší teplotou a vyšší hustotou má tendenci klesat. Hmota spodního pláště se v místě s vyšší teplotou zvedá směrem do svrchního pláště a zároveň se postupně ochlazuje během pohybu od zdroje tepla. Ztráta teploty vede ke zvýšení hustoty a propadání do míst, kde se opět ohřeje. Litosférické desky se pohybují na tomto cirkulujícím plášti, který tvoří již výše zmíněnou astenosféru. (Gates, Ritchie, 2007).

Samotné zemětřesení pak probíhá v zemské kůře, což je vnější vrstva litosféry. Zemská kůra je na některých místech přerušena zlomy, které jsou tvořeny a rozšiřovány vlivem deskové tektoniky a jsou místem vzniku zemětřesení. Zlomy se vyskytují v horských pásech, pánvích a někdy i v rovinatých oblastech. Pohyby, nebo posuny jsou typické pro tzv. aktivní zlomy. Některé zlomy mohou být dobře viditelné na zemském povrchu, jiné již tolik viditelné nejsou, ale mohou se dát nepředvídaně do pohybu a způsobit zemětřesení. K určování aktivních zlomů se využívá například studium historie zlomů a jejich pohybů, měření aktivity a intervalů zemětřesení, nebo měření zátěže. Obecně ale není snadné rozeznat aktivní a neaktivní zlom, protože ne všechny jsou konstantně aktivní, a některé mohou vytvořit aktivitu velmi neočekávaně. Je také důležité znát druh pohybu k tomu, aby bylo možné určit rychlost, četnost a sílu pohybu. Důležitou součástí pro předpověď zemětřesení je znalost historických záznamů o aktivitě daného zlomu. Problémem těchto předpovědí může být, že záznamy pochází jen z krátkého časového úseku a nemusí být zcela spolehlivé (Gates, Ritchie, 2007). Zlomy neboli rifty, se vyskytují i na území ČR, významných je jich několik desítek, ale celkově bychom napočítali přes několik tisíc. Vznikají v důsledku mechanického napětí, které přesáhne pevnost

horniny, a ta praskne. Uvolní se napětí a vzniklé bloky se proti sobě posunou (Goliáš, 2016). Příkladem českých zlomů je ohárecký rift, hronovsko-poříčský zlom, sudetský okrajový zlom nebo mariánskolázeňský zlom.

Kůra je svou stavbou velmi variabilní, proto následky zemětřesení závisí i na dalších faktorech jako je síla a hloubka vzniku, zlomy, hloubka sedimentu nebo distribuce podzemní vody v tomto sedimentu. Různorodost kůry a faktorů může způsobit, že i malá zemětřesení mohou mít za následek velké škody a naopak (Gates, Ritchie, 2007).

Dle stavby a mocnosti rozdělujeme zemskou kůru na oceánskou a kontinentální. Tuhnutím magmatu v oblasti středooceánských hřbetů vzniká oceánská kůra, která je v místech subdukčních zón zničena. Oproti kontinentální kůře je těžší, slabší a mladší. Hranici mezi kůrou a pláštěm tvoří tzv. Mohorovičova diskontinuita, ve které dochází k rapidnímu zrychlení seismických vln. Tato diskontinuita, nazývaná také MOHO, se nachází v hloubkách mezi 35-80 km (Gates, Ritchie, 2007).



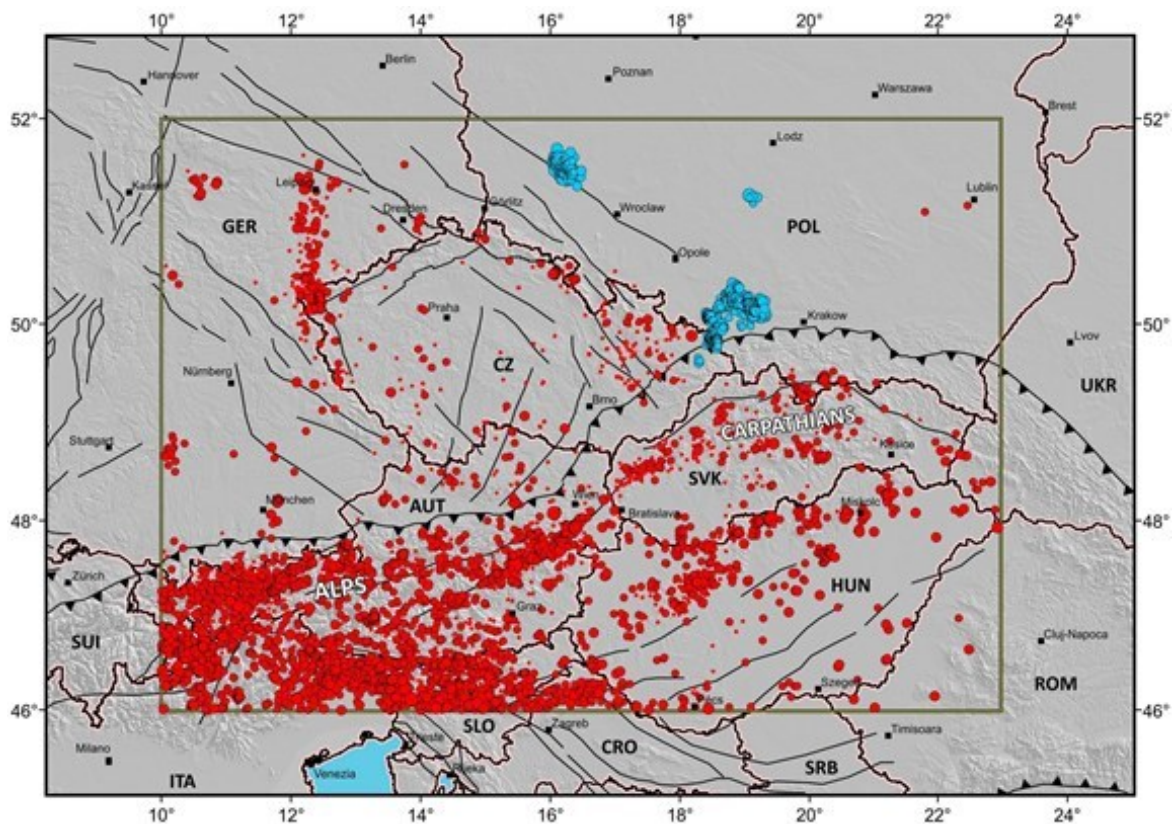
Obrázek 12: Vrchní stavba Země s popisem litosféry a astenosféry. Zdroj: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-encyclopedia-earthquakes-and-volcanoes.pdf>

### 3.5 Zemětřesení na území ČR

Území ČR leží na rozhraní stabilní a geologicky staré hercynské Evropy, kde se nachází Český masiv, a mladé oblasti Západních Karpat. Ta je součástí alpínsko-karpatského pásevního horstva s aktivní seismicitou. Proto jsou v Českém masivu ohniska zemětřesení vázaná zejména na zlomové a periferní části, kde alpský horský oblouk tlačí na Český masiv (Křížek,

2007). Nejsilnější zemětřesení proběhly v letech 1908 a 1985 u Nového Kostela s magnitudou 4,6-4,7, dále mezi Trutnovem a Hronovem v roce 1901 s magnitudou 4,7 a v okolí Českého Těšína v roce 1786 s magnitudou 4,9 (Zemětřesení v ČR a okolí, 2023).

V okolí České republiky vznikají zemětřesení v rakouských Alpách a slovenských Západních Karpatech. V těchto oblastech dochází k rychlejší deformaci zemské kůry v úrovni litosférických desek. Severně od Alp je seismická aktivita velmi nízká, ale i přesto lze naměřit desítky slabých zemětřesení každý den. Seismickou aktivitu na území ČR a v jejím okolí znázorňuje obrázek číslo 13.



Obrázek 13: Významné zemětřesné jevy na území a v okolí ČR v průběhu let 2013-2017. Červená barva představuje přirozená zemětřesení s magnitudem větším než 0. Modře jsou zvýrazněny otřesy vyvolané důlní činností (Lubin v Polsku a hornoslezská pánev). Zdroj: <https://www.ipe.muni.cz/public/czech-earthquakes>

### 3.5.1 Prehistorická tektonická aktivita v ČR

Přestože v současné době je tektonická aktivita v České republice poměrně slabá, z paleoseismických záznamů víme, že byla prehistoricky intenzivnější (Zemětřesení v ČR a okolí, 2023). Jednalo se o tektonickou aktivitu v oblasti hronovsko-poříčského zlomu na severovýchodě, který odděluje východní část podkrkonošské pánve od vnitrosudetské pánve.

K pohybům zde docházelo přibližně od konce prvohor a zemětřesení přesahovala magnitudo 4. Dalším příkladem je sudetský okrajový zlom v Kladsku na česko-polském území, kde v období třetihor probíhaly tektonické pohyby, přičemž poslední se objevil v období před asi 11 000 lety. Jednalo se o poměrně velká zemětřesení s odhadnutým magnitudem 6,3, která za sebou zanechala trhlinu na zemském povrchu s následným zdvižením bloku Rychlebských hor (Fischer, Zedník, 2010). Ohárecký (oherský) rift, který ohraničuje oblast sasko-durynskou (krušnohorskou) a tepelsko-barrandienskou (bohemikum), zažíval největší aktivitu a poklesy v třetihorách. Vznikaly zde sníženiny, které byly vyplněny usazeninami třetihorních pánví. Ty daly vzniknout vulkanickým komplexům Doupovských hor a Českého středohoří. (Goliáš, 2016). Na západě Čech probíhaly slabší, ale častější otřesy typické kvartérním vulkanismem před asi 300 000 lety, minerálními prameny a výrony oxidu uhličitého (Fischer, Zedník, 2010). Před 170-500 tisíci lety bylo na našem území aktivních ještě několik sopek (Komorní Hůrka, Železná Hůrka. Uhlířský vrch, Venušina sopka a Velký Roudný byly aktivní před 1,3-2,5 miliony let), které mohly způsobovat zemětřesení. Tektonická aktivita byla ve starších čtvrtohorách důvodem změny směru toků některých řek. Příkladem je třeba Morava (původně protékala Vyškovskou branou), Ohře, Bečva nebo Vltava. (Křížek, 2007).

### **3.5.2 Přehled regionálního výskytu zemětřesení**

#### **Oblast západních Čech**

Západní Čechy a Vogtland (Fojtsko) představují západní část českého masívu, který se nachází mezi třemi variskými jednotkami masívu – saxothuringikum (severovýchod), Teplá-Barrandiánské krystalinikum (centrální oblast) a moldanubian (jihovýchod) (viz obrázek 14). Oblast dále protínají dvě tektonické struktury: oherský rift a riftová zóna Regensburg-Leipzig–Rostock. Oherský rift se potkává s druhým zmíněným uprostřed a je vymezen asi 100kilometrovým mariánskolázeňským zlomem. Místo, kde se protínají je budováno paleogenními a neogenními sedimenty chebské pánve. Zmíněné struktury a zlomy jsou příčinou geodynamické aktivity včetně kvartérního vulkanismu (Komorní Hůrka, Železná Hůrka) a výskytu minerálních pramenů bohatých na oxid uhličitý (Bachura, 2017).

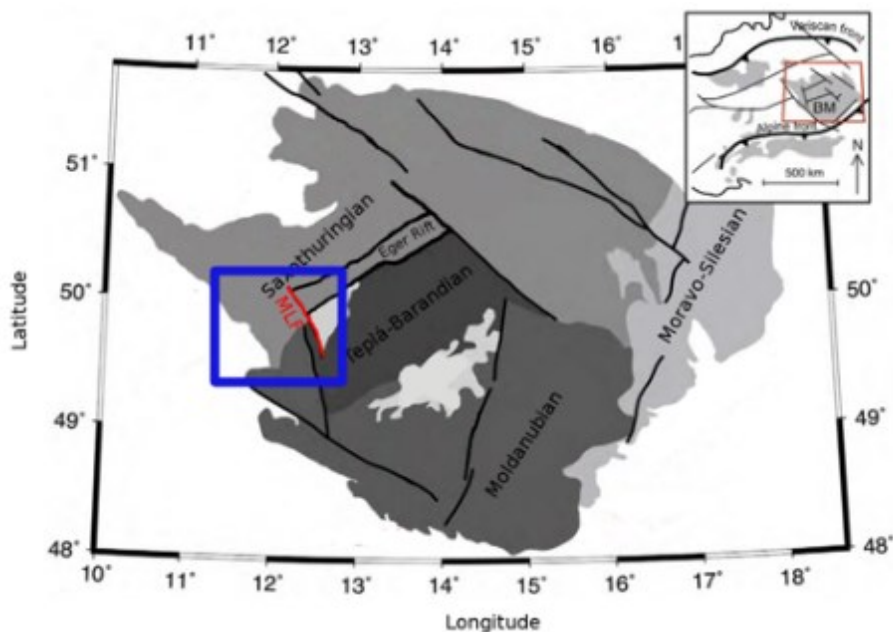
Na území západních Čech se odehrálo několik zemětřesných rojů a to zejména v letech 1997, 2000, 2008, 2011 a 2014. Některá data a počty událostí jsou zahrnuta v tabulce 3. Bylo naměřeno mnoho událostí s magnitudou maximálně 3, v roce 1986 a 2014 došlo k nejsilnějším otřesům, které měly magnitudu na úrovni 4. Většina zemětřesení byla lokalizována pod vesnicí Nový Kostel v hloubkách 7-12 km (Bachura, 2017) v oblasti křížení oherského riftu

s mariánskolázeňským zlomem (Goliáš, 2016). Této oblasti se říká ohnisková zóna Nový Kostel (Nový Kostel focal zone, neboli NKFZ) a během posledních 30 let se zde uvolnilo asi 80 % seismické energie (NKFZ je vertikální zlom složený z mnoha segmentů). V NKFZ se nachází přetlakové tekutiny, které hrají významnou roli jako spouštěče rojových procesů (Bachura, 2017). Právě rojová zemětřesení nemusí představovat velké nebezpečí, protože se akumulovaná energie uvolňuje postupně, hlavní otřes nebývá tak silný a nemívá katastrofické následky (Stará, 2012). V říjnu 2008 bylo naměřeno během asi dvou měsíců okolo 20 000 zemětřesných událostí. Devět z nich překročilo magnitudu 3,0, 110 událostí mělo magnitudu mezi 2,0-2,9 a nejsilnější z nich mělo magnitudu 3,8 v hloubce 6,5 až 11 km (Pazdírková, Zedník, 2010).

ROK	POČET ZAZNAMENANÝCH UDÁLOSTÍ	ROZPĚTÍ MAGNITUDY
<b>2000</b>	Ccca 7 000	0,3-3,3
<b>2008</b>	cca 5 000	1,0-3,8
<b>2011</b>	cca 10 000	1,0-3,5
<b>2014</b>	cca 4 000	1.0-4,4

Tabulka 3: Data z let 2000-2014 o počtu zaznamenaných událostí a magnitudě v oblasti západních Čech. Zdroj: [https://www.ig.cas.cz/wp-content/uploads/2018/09/phd\\_thesis\\_bachura.pdf](https://www.ig.cas.cz/wp-content/uploads/2018/09/phd_thesis_bachura.pdf)





Obrázek 14: Český masív s variskými jednotkami: Saxothuringian, Teplá- Barandian a Modlanubian. Červená čára představuje zlom Mariánské Lázně a modrý čtverec znázorňuje oblast, kde se vyskytuje většina zemětřesení.  
Zdroj: [https://www.ig.cas.cz/wp-content/uploads/2018/09/phd\\_thesis\\_bachura.pdf](https://www.ig.cas.cz/wp-content/uploads/2018/09/phd_thesis_bachura.pdf)

## Jižní Čechy

Přestože zemětřesení na tomto území nebývají příliš častá, v březnu 2024 došlo k otřesům u Mirotic na Písecku s magnitudou 3,5 a hloubkou 23,2 km, které způsobilo chvění, cinkání nádobí, zvuky podobné explozi, ale žádné závažnější následky nebyly pozorovány. Otřesy se na území sice občas vyskytují, jsou ale téměř necitelné. V tomto případě bylo zemětřesení pocíteno lidmi v jižních, středních, západních Čechách i na Vysočině (Pocítené zemětřesení u Mirotic, 7. 3. 2024, M 3,5, 2024). Informace jsou dostupné i na Seismografickém informačním displeji pro Temelín a Dukovany: <https://sid.ipe.muni.cz/index.php?lang=cs&id=469>.

## Oblast Prahy

V Praze je seismická aktivita velmi nízká, proto je riziko na tomto území malé, nikoliv však zanedbatelné. Praha se nachází uprostřed Českého masívu, uprostřed euroasijské desky, více než 300 km vzdáleně od jejích hranic. Jako možné riziko se nabízí 140 km vzdálená zdrojová oblast západočeských rojových zemětřesení. Historická data nezaznamenávají zemětřesení o magnitudě větší než 6, nicméně z paleoseismického výzkumu vychází najevo, že se zde vyskytovalo zemětřesení o magnitudě až 6,5. Na území města a v jeho okolí se nachází velké množství zlomů, přičemž některé z nich jsou až 100 km dlouhé, ale nejsou seismicky aktivní.

Seismicita je studována v rozloze asi 300 km kolem Prahy, přičemž největší část zaujímá Český masív, který tvoří největší variskou jednotku v centrální Evropě (Malek, Vackar, 2019).

Variské vrásnění představovalo proces, kterým vznikla soustava pohoří (variský orogén) v karbonu a permu. Jeho první větev přechází přes část Francie, Bretaň a jižní Anglii, druhá větev pak z Centrálního masívu, přes Vogézy až do Českého masívu (Petránek, 2007a). Tato jednotka je svým heterogenním vývojem typická pro množství různých hornin. Severně a severovýchodně se nachází severní evropská platforma, jižně a jihovýchodně pak Alpinský orogén (Malek, Vackar, 2019), jenž se objevoval v triasu a pokračoval značnými tektonickými fázemi v terciéru (Petránek, 2007b).

Karpatsko-alpská oblast je pak nejvíce seismicky aktivní místo v okolí. Podle měření a historických záznamů se v posledních 900 letech na území Prahy nevyskytlo žádné významné zemětřesení a riziko nadále zůstává velmi nízké. (Malek, Vackar, 2019).

### **Severovýchodní Čechy**

Severovýchodní část České republiky zejména v oblasti Jeseníků, Opavska a Hornomoravského úvalu lze zařadit mezi oblasti s nejvyšší seismickou aktivitou u nás. Během 17 let měření zde bylo zaznamenáno 2 600 malých zemětřesení, přičemž lidmi bylo ve 20. století zaznamenáno pouze 5 případů v oblasti Opavy a Hrubého Jeseníku. První makroskopické zemětřesení zde proběhlo v roce 2012 u Alfrédky v Hrubém Jeseníku. Tato událost byla součástí série v rámci jednoho měsíce, kdy bylo zjištěno 26 různě silných otřesů. Nejsilnější otřes vznikl v oblasti hluboké 7 km s magnitudou 2.3. Seismickou aktivitu pocítili také obyvatelé Hrubého Jeseníku, kteří hlásili kymácení, zhoupnutí, zachvění, různé drobnější pohyby nábytku a vybavení, existují také záznamy o trhlinách v nosných zdech a prasklém komíně (Pazdírková, et al., 2013).

K dispozici je také mnoho historických záznamů z minulého tisíciletí, ale není pravděpodobné, že by zmiňované otřesy napáchaly mnoho škod. Mezi červencem a zářím roku 1986 došlo v Hrubém Jeseníku k sérii 18 otřesů s nejsilnějším magnitudem epicentrální oblasti 4.0. Stejně magnitudo bylo zjištěno také v roce 1935. V červnu roku 2014 byla naměřena seismická aktivita v oblasti Hrubého Jeseníku, která dosahovala magnitudy až 2.3 a byla obyvateli zaznamenána v okruhu do 20 km od epicentra. Výpočty ohniskových mechanismů sice chybějí, ale dá se předpokládat, že zemětřesení vzniklo aktivitou na zlomu Klepáčov a sudetském okrajovém zlomu Bělá (Pazdírková, et al., 2013).

Seismická aktivita se nachází na spojnici měst Moravská Třebová, Javorník, Otrokovice a Opava. Zemětřesení se objevují jednotlivě, nebo v sekvencích a mají charakter seismických rojů. Seismická aktivita Hrubého Jeseníku se soustřeďuje zejména k bělskému a klepáčovskému zlomu a pravděpodobně souvisí se zlomy sudetského směru, ale jednoznačné spojení s epicentrálními oblastmi zatím není zcela možné. (Pazdírková, et al., 2013).

### **Střední Morava**

Severovýchodní část Českého masívu není typická významnou tektonickou aktivitou. Mezi roky 1996-2011 zde bylo zaznamenáno okolo 2 200 událostí, ale většina z nich nepřesáhla magnitudu 1. Od roku 2008 byla v epicentrální oblasti Laš'any nedaleko od Šternberka (střední Morava) naměřena poměrně signifikantní seismická aktivita, jejíž hypocentrum se nacházelo v hloubce 15 km. Během tří let (2008-2011) zde bylo zaznamenáno 221 událostí, přičemž nejintenzivnější z nich dosahovala magnitudy 2 a jedná se o nejsilnější mikrozemětřesení, které bylo aspoň do roku 2012 v oblasti naměřeno. Během několika dalších dní pak došlo k dalším menším otřesům. Příčinou nárůstu výskytu je změna rozložení sítě seismických stanic, která měření jistě ovlivnila, nicméně to není jediný důvod. Předpokládá se, že v oblasti došlo od roku 2008 k nárůstu seismické aktivity (Havíř, Pazdírková, Sýkorová, 2012).

### **Jižní Morava**

Oblast jižní Moravy se nachází na kontaktu Českého masívu a Karpatské předhlubně. Jedná se o území s jednou z nejnižších tektonických aktivit v ČR. Je velmi málo historických záznamů, většina případů se týkala událostí, které vznikly v Rakousku nebo na Slovensku, a od začátku měření v roce 1995 se zde lokálně objevily pouze 3 otřesy: v roce 2000 u Hostěradic s magnitudou 2.5, dále u Uhřice v roce 2003 s magnitudou 0.7 a v roce 2006 u Božice s magnitudou 1.4. Od roku 2013 byly zřízeny další stanice, které monitorují otřesy v okolí jaderné elektrárny Dukovany. V červnu roku 2014 se zde objevily série slabších otřesů, které se považují za pouze čtvrtou událost v oblasti. Jedná se o otřesy kousek od Hostěradic nedaleko Brna a nejsilnější otřes měl magnitudu 2.0, kterou cítili obyvatelé, kteří se nacházeli přímo u epicentra, byli probuzeni ze spánku, cítili dunění, zachvění, silnou ránu, chvění nábytku a nádobí. Otřes byl dobře zaznamenán sérií stanice do vzdálenosti až 200 km, není však jednoznačně jasné, jaký zlom s těmito otřesy souvisel. V následujících dnech a týdnech došlo k dalším o dost slabším otřesům, které pocházely ze stejného, nebo velmi podobného místa. Ohniska zemětřesení se nacházela na kontaktu Českého masívu a Karpatské předhlubně, přičemž jihovýchodní okraj Českého masívu je doprovázen okrajovým zlomem boskovické

brázdy, diendorfským a weitzendorfským zlomem (Pazdírková, Prachar, Zedník, Krumlová, 2015).

### **3.6 Dopady zemětřesení na životní prostředí a člověka**

Těžké otřesy Země vytvářejí setrvačné síly, které působí značné škody na majetku. Mohou se tvořit zlomy, působit sesuvy, požáry, v některých oblastech tsunami a někdy dochází ke změnám v nadmořských výškách. Nutno ovšem dodat, že se takové škody týkají spíše území, kde dochází k silnějším zemětřesením. Důležitá je ochrana a zabezpečení staveb a technologií, které mohou ohrozit životní prostředí nebo jsou potřebné pro běžné fungování života. Jedná se například o jaderné elektrárny, přehradu, chemické továrny, zdroje vody a energií. Poškození se samozřejmě týká i lidských obydlí a budov (Stará, 2012). Otřesy mohou způsobit pohyb zemského povrchu, budov, opadávající omítku, zvukové projevy (hřmění). Vedle ekonomických následků jsou velmi nebezpečné lidským životům a zdraví, mohou změnit režim podzemních a povrchových vod, nebo způsobit jejich kontaminaci. (Skácelová, 2006).

Při vymezení makroseismického pole se často používá dotazníkových akcí, které jsou dostupné na stránkách Geofyzikálního ústavu AV ČR. Bývají rozesílány emailem na obyvatele obcí, které mohly otřesy zasáhnout (Pazdírková, Prachar, Zedník, Krumlová, 2015). Dotazník je volně dostupný na webových stránkách a sbírá údaje o makroseismickém pozorování, pozorování jiných osob, negativním hlášení, zprávách o dřívějších otřesech, zápisech v kronikách apod. Tyto údaje mohou pomoci při studiu seismicity na našem území. Dotazník vyžaduje kontaktní informace od pozorovatele, časový údaj a místo pozorování, popis pozorovaných otřesů a pohybu, doprovodné zvuky, účinky na člověka, předměty, přírodu, domácí a hospodářská zvířata a na budovy (Makroseismický dotazník, 2024).

### **3.7 Prevence**

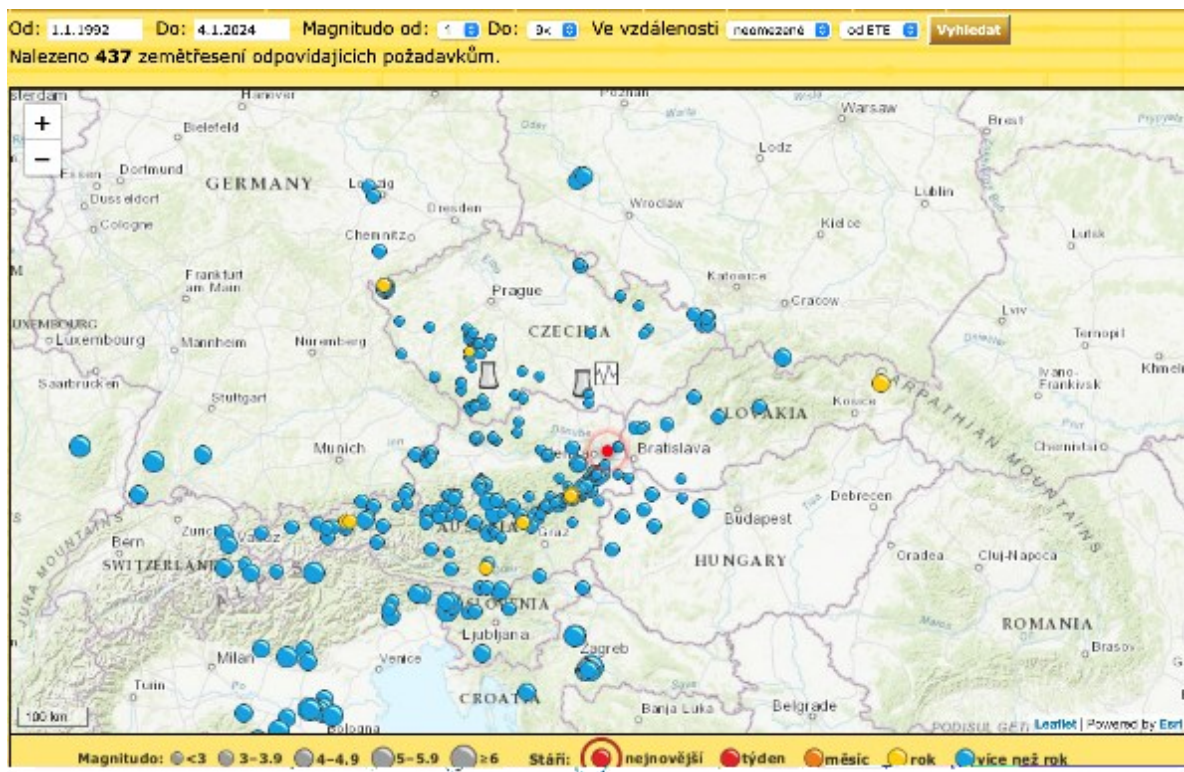
Důležitou součástí prevence je předpověď (predikce) zemětřesení. Je velmi obtížné přesně spočítat místo, čas a velikost zemětřesení ale udává se, že zemětřesení s magnitudou větší než 7 se dají predikovat mnohem lépe. (Stará, 2012).

Lokalitu lze určit na základně historických dat, statistik a studia elasticity v dané oblasti. Ne všechna místa jsou seismicky aktivní, takže nemusí být monitorována. Existuje teorie tzv. seismických mezer, která mluví o tom, že podél aktivních zlomů se hromadí energie vzniklá z posunu litosférických desek, která je následně po překročení pevnosti hornin vypuštěna ve formě zemětřesení. Napětí hornin změřit sice můžeme, nicméně zjištění dalších faktorů už je

problematické. K časovému určení se častěji používá detekce napěťových vln, které se objevují před mezi pevnosti hornin a vypuknutí zemětřesení. Nejnáročnější je predikce času příchodu zemětřesení. Na některých místech na světě se používá dilatační hypotéza, u které se kontroluje příchod P a S vln, které vznikají v ohnisku, ale není univerzální. U jiných druhů zemětřesení s magnitudem větším než 6 se používá matematická rovnice. (Stará, 2012).

Důležitým ukazatelem pro mapy zemětřesného ohrožení jsou historická data, u nichž však bývá problematické určit věrohodnost. I malá zemětřesení mohou totiž způsobit velké škody. Již výše zmíněné jaderné elektrárny nebo přehrady jsou monitorovány a stavěny na místech, která jsou tektonicky stabilní. (Křížek, 2007). Na obrázku 15 je zobrazena mapa seismické aktivity mezi roky 1992 a 2024 podle Seismologického informačního displeje, který monitoruje tektonické jevy a hodnotí jejich vliv na jaderné elektrárny Temelín a Dukovany.

Podobně tomu může být u zpřístupnění památek, ve kterých může hrozit tektonické nebezpečí. Taková pozornost byla věnována středověkému Dolu Jeroným, který je v současnosti otevřen veřejnosti jako národní kulturní památka, ale na začátku století probíhaly geotechnické a seismologické práce, protože se nachází v okolí epicentrální oblasti přírodní seismické aktivity západních Čech, která patří do jedné ze seismicky nejvíce aktivních lokalit. V úvahách se řešilo hodnocení přirozené seismické aktivity, předpokládané projevy technické seismické aktivity (doprava na komunikaci, projevy trhacích prací), seismická aktivita stavebních prací okolo dolu, výsledek krátkodobého experimentálního měření přirozeného seismického pozadí a návrh seismologického monitoringu. (Kaláb, 2003).



Obrázek 15: Mapa zemětřesení na území ČR a v okolních zemích mezi roky 1992 a 2004 s vyznačenými jadernými elektrárnami Temelín a Dukovany. Velikost kruhového pole odpovídá magnitudě daného eventu. Zdroj: <https://sid.ipe.muni.cz/prev.php>

### 3.7.1 Co dělat při zemětřesení?

Přestože je riziko silných zemětřesných otřesů na našem území nízké, není radno ho podceňovat. Vedle toho cestují občané ČR na území, kde je riziko podstatně vyšší a ne všude jsou adekvátně zabezpečené stavby, které otřesům dokáží odolat. Jedná se například o Řecko, Turecko, Itálii či Balkán, Indonésii, Nepál, Čínu, Japonsko nebo Kalifornii (USA). Předpověď intenzity a doby otřesů je navíc velmi problematická a nedá se přesně určit. Při náhlém zemětřesení se doporučuje následovat 3 hlavní body:

1. DROP! Skrčit se, klesnout k zemi, aby nás otřesy nepovalily.
2. COVER! Skrýt se (pod stolem, postelí apod.), nepohybovat se u oken a možných padajících předmětů a krýt si hlavu a krk.
3. HOLD ON! Zůstat skrčený v úkrytu a něčeho se přidržovat.

Nenadálé zemětřesení může být velmi šokující, je však potřeba zachovat chladnou hlavu a nepodléhat panice. Není dobré vybíhat ven před budovu kvůli riziku padajících předmětů, vyskakovat z oken nebo používat výtah. Pokud se člověk vyskytuje na volném prostranství, je dobré se vzdálit od stromů, budov a elektrického napětí. V autě je třeba zastavit a zůstat v něm.

Na pobřeží se skrčit a zůstat. Pokud však otřesy trvají déle než 20 sekund, je nutné se okamžitě přesunout na výše položené místo, co nejdále do vnitrozemí, nebo alespoň 30 metrů nad hladinu, protože hrozí příchod vlny tsunami. (Slovníček, 2023).

## 4 Radonové riziko

Nebezpečí radonu bylo dříve spojováno s uranovými doly a tzv. „hornickou nemocí“, která byla později dána do souvislosti s rakovinou plic (Státní ústav radiační ochrany, 2024a). V roce 1900 objevil Friedrich Ernst Dorn prvek radon (Cídllová, Pařízek, 2014) a již od té doby byl považován za možnou příčinu vzniku choroby u horníků. V 50. letech 20. století zjistili Bale a Běhounek, že hlavní příčinou je vdechování krátkodobých produktů přeměny radonu a jejich usazování v dýchacích cestách (Státní ústav radiační ochrany, 2024a). Podle WHO je v současné době radon druhou nejčastější příčinou rakoviny plic hned po kouření (World Health Organization, 2023). Vzhledem k tomu, že Česká republika patří díky svému geologickému podloží k radonem nejpostiženějším zemím světa (Státní ústav radiační ochrany, 2024c), je třeba mu věnovat zvýšenou pozornost a rozšiřovat povědomí o možných následcích, prevenci a nutných opatřeních.

Radon (Rn) je přírodní radioaktivní plyn, bezbarvý, bez zápachu, bez chuti, těžší než vzduch, ve vodě se velmi špatně rozpouští (Suchánek, 2017). Existuje ve formě dvou izotopů:  $^{220}\text{Rn}$  (thoron) a  $^{219}\text{Rn}$  (aktion) (Bajerová, 2016), nemá ale žádný stabilní izotop (Závodníková, 2010). Díky svému 86. místu v Mendělejevově tabulce prvků je nejtěžší z inertních plynů, což má vliv na jeho vlastnosti jako je například jednoduchá difuze a rozpustnost ve vodě (Bajerová, 2016). Radon má schopnost uvolňovat se z hornin a vyplňovat póry zemin jako součást vzduchu a následně se dostávat do ovzduší nebo do budov (Státní ústav radiační ochrany, 2024c).

### 4.1 Radioaktivní záření

U některých nestálých atomových jader dochází k jejich samovolné přeměně a vyzáření tzv. radioaktivního (jaderného) záření (Vacík, 1999). Takové záření má ionizační účinky, to znamená, že je při průchodu látkou nebo prostředím schopné z neutrálních atomů vytvořit iontové páry. Pokud se jedná o proud nabitých částic (protonů, pozitronů, elektronů apod.) s dostatečnou kinetickou energií, mluvíme o přímo ionizujícím záření, které je typické pro záření alfa a beta. Nepřímo ionizující záření je tvořeno nenabitými částicemi jako jsou fotony nebo neutrony, které způsobují ionizaci až při průchodu látkou nebo prostředím a uvolnění sekundárního ionizujícího záření. Patří sem záření gama, rentgenové a neutronové (Bajerová, 2016).



1. **Záření  $\alpha$  (alfa)** je proud jader helia  ${}^4_2\text{He}$  neboli  ${}^4_2\alpha$ , které je velmi rychlé a dosahuje až 10 % rychlosti světla. Je nejméně pronikavé, ale má největší ionizační účinky (Vacík, 1999). Vnější ozáření zastaví list papíru nebo lidská pokožka, ale vnitřní ozáření je mnohem nebezpečnější. Alfa záření je typické pro ozáření radonem (Bajerová, 2016).
2. **Záření  $\beta$  (beta)** je proud elektronů nebo pozitronů, je asi stokrát pronikavější než alfa, o něco pomalejší a má menší ionizační účinky (Vacík, 1999), které lze zabrzdit hliníkovým plechem (Bajerová, 2016).
3. **Záření  $\gamma$  (gama)** již není proud jader, ale jedná se o elektromagnetické vlnění (proud fotonů) s krátkou vlnovou délkou, a tedy vysokou energií, která je zdaleka nejpronikavější a je většinou doprovázeno zářením alfa a beta (Vacík, 1999).
4. **Rentgenové záření** má velmi podobný charakter jako záření gama. Obě záření zastaví větší překážka z olova nebo betonu.
5. **Neutronové záření** je proud neutrálních částic, je velmi pronikavé a lze ho zastavit vrstvou vody bohatou na kyslík (Bajerová, 2016).

Radioaktivní přeměny se řídí tzv. časovým zákonem, který udává počet atomů  $N$ , který zbyde, pokud se za čas  $t$  přemění  $N_0$  atomů. Je dán následující rovnicí:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$e$  označuje základ přirozených logaritmů a  $\lambda$  je přeměnová konstanta, která se u jednotlivých radionuklidů liší (Vacík, 1999). Hodnota této konstanty u radonu je  $2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ . (Jiránek, 2019).

**Poločas rozpadu** udává čas, za který se rozpadne právě polovina radioaktivních jader ve vzorku, značí se písmenem  $\tau$  a není ovlivněn počátečním počtem atomů  $N_0$ , tlakem, teplotou, ani chemickou vazbou. (Vacík, 1999). U radonu je poločas rozpadu 3,82 dne (Závodníková, 2010).

**Rychlost radioaktivní přeměny** (počet přeměn za sekundu) je dána aktivitou vzorku:

$$A = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{dN}{dt}$$

Aktivita vzorku se udává v becquerelech (Bq), kdy  $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$ . Za čas se přemění určitý konstantní počet jader, který odpovídá přeměnové konstantě:

$$\lambda = -\frac{dN / N}{dt}$$

(Vacík, 1999)

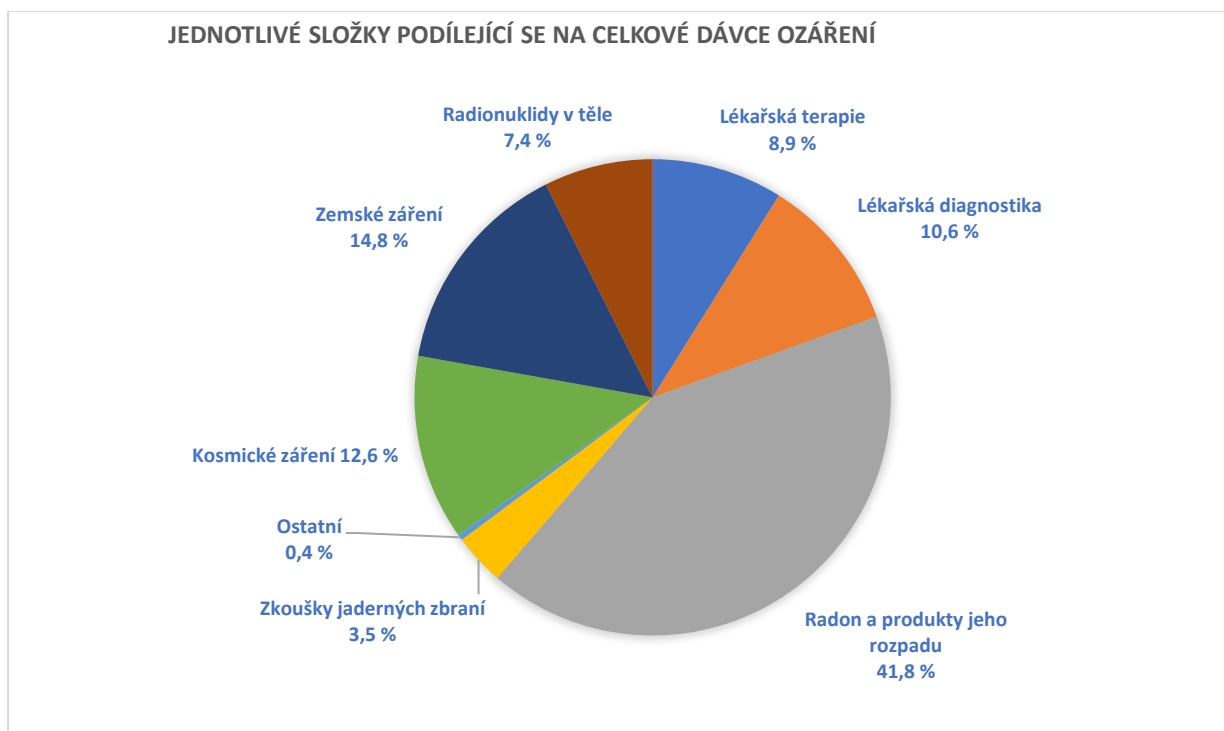
Dále se udává **objemová aktivita** měřená v  $\text{Bq/m}^3$ , která odpovídá počtu radioaktivních přeměn v metru krychlovém vzduchu a používá se k určování množství radonu v budovách (Státní ústav radiační ochrany, 2024b).

#### 4.1.1 Zdroje radioaktivního záření

Kosmické záření a přírodní radionuklidy jsou hlavním zdrojem přírodního záření a mohou na člověka působit ve formě vnitřního nebo vnějšího ozáření. Zdrojem přírodních radionuklidů jsou horniny a půda, ze kterých se dostávají do vody, ovzduší, potravinových nebo stavebních materiálů, což má vliv na zvýšenou radioaktivitu v některých budovách (Bajerová, 2016).

Vedle toho existují také umělé zdroje radioaktivního záření, které vznikají působením záření na stálé radionuklidy (Vacík, 1999). Zahrnují zdroje vytvořené člověkem jako jsou jaderné reaktory, jaderné zbraně, urychlovače, zdravotnické a jiné přístroje (Bajerová, 2016).

Obrázek 16 znázorňuje procentový podíl jednotlivých složek podílejících se na celkové dávce ozáření.



Obrázek 16: Jednotlivé složky podílející se na celkové dávce ozáření. Zdroj: [https://is.muni.cz/th/a7j1r/bakalarska\\_prace\\_19.4.2010.pdf](https://is.muni.cz/th/a7j1r/bakalarska_prace_19.4.2010.pdf)

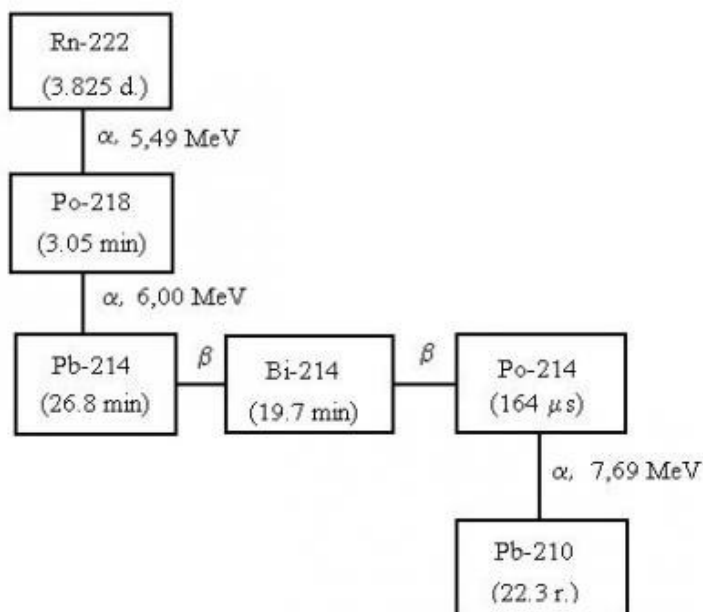
#### 4.1.2 Vliv radioaktivního záření na organismus

Při ozáření dochází k absorbování energie, která excituje a ionizuje okolní částice, což spouští další fyzikálně-chemické a biochemické procesy, které mají následky na buněčné úrovni i na úrovni celého organismu. Výsledný efekt na organismus je ovlivněn dalšími faktory jako je dávka, doba ozáření a radiosenzitivita orgánu, na který záření působí. Při vyšší dávce v krátkém časovém intervalu není buňka schopna zapojit reparační procesy k opravě poškození, naopak při nižších dávkách v delším časovém úseku nemusí být poškození tak rozsáhlé. Na buněčné úrovni může při vyšších dávkách dojít k okamžité buněčné smrti, nebo při nižších dávkách ke ztrátě schopnosti dělit se a pozdějšímu projevu poškození. Pokud dojde k mutaci, může se změna objevit až v další generaci (Bajerová, 2016).

#### 4.2 Radioaktivní působení radonu

V uranové rozpadové řadě vzniká rozpadem uranu ( $^{238}\text{U}$ ) izotop radonu  $^{222}\text{Rn}$ , přičemž v podložních horninách a v zeminách vzniká rozpadem radia  $^{226}\text{Ra}$  (Závodníková, 2010), který se následně přeměňuje až do vzniku stabilního izotopu olova. Na obrázku 17 lze vidět rozpadovou řadu radonu s poločasy rozpadu jednotlivých prvků, které jsou zpravidla velmi krátké, což zvyšuje nebezpečnost tohoto záření. Kovové prvky se zachycují na aerosolových

částicích vzduchu, které se pak velmi snadno dostávají do dýchacího ústrojí nebo na povrch předmětů (Bajerová, 2016).



Obrázek 17: Produkty radioaktivní přeměny radonu s jejich poločasem rozpadu (v závorce). Zdroj: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace>

#### 4.2.1 Vliv radonu na organismus

Z obrázku 16 je patrné, že hlavním zdrojem ionizujícího záření u člověka je radon. Ve vnějším prostředí dochází k rychlému naředění tohoto plynu do velmi malých koncentrací v průměru okolo  $5 \text{ Bq/m}^3$  až  $15 \text{ Bq/m}^3$ , které nepředstavují vážnější ohrožení. Problém ovšem nastává v uzavřených neventilovaných prostorách jako jsou doły, jeskyně, budovy, školy apod., kde mohou koncentrace přesáhnout  $10\,000 \text{ Bq/m}^3$ , aniž by byl plyn subjektivně detekovatelný (World Health Organization, 2023). Při vdechnutí se následně dýchacím ústrojím dostává do plic, které ozařuje (Státní ústav radiační ochrany, 2024c), poškozují plicní buňky a může u nich vyvolat rakovinotvorné bujení, přičemž samotná rakovina se může objevit až po 10-30 letech (Státní ústav radiační ochrany, 2024b).

V současné době je expozice radonem druhou nejvýznamnější příčinou rakoviny plic hned po kouření (Státní ústav radiační ochrany, 2024b). Riziko ohrožení radonem je u kuřáků 25krát vyšší než u nekuřáků, protože dochází k synergickému působení těchto faktorů. Teoreticky by ozáření radonem mohlo v menší míře ohrožovat i další orgány, nicméně například spojitost s rakovinou žaludku následkem pití vody s obsahem radonu nebyla prokázána. Radon se totiž z vody snadno dostává do vzduchu, který je následně inhalován (World Health Organization,

2023). V České republice je každoročně diagnostikováno okolo 6 000 případů rakoviny plic, 15 % z těchto případů (okolo 900) je způsobeno radonem a jeho dceřinými produkty, které mají silné ionizační účinky dané vyzařováním alfa záření. Pokud proniknou do organismu inhalací plyných a aerosolových částic, mohou se usazovat v dýchacích cestách (zejména plicních sklípcích) a zářením působit na plicní výstelku (sliznici), která je v důsledku poškozena nebo zničena a nemůže se dále regenerovat a dělit. Při kumulaci těchto poškození a překročení určité hranice dochází ke vzniku rakovinových buněk, které jsou velké, nefunkční, prorůstají plicemi a v konečném důsledku způsobí smrt (Bajerová, 2016).

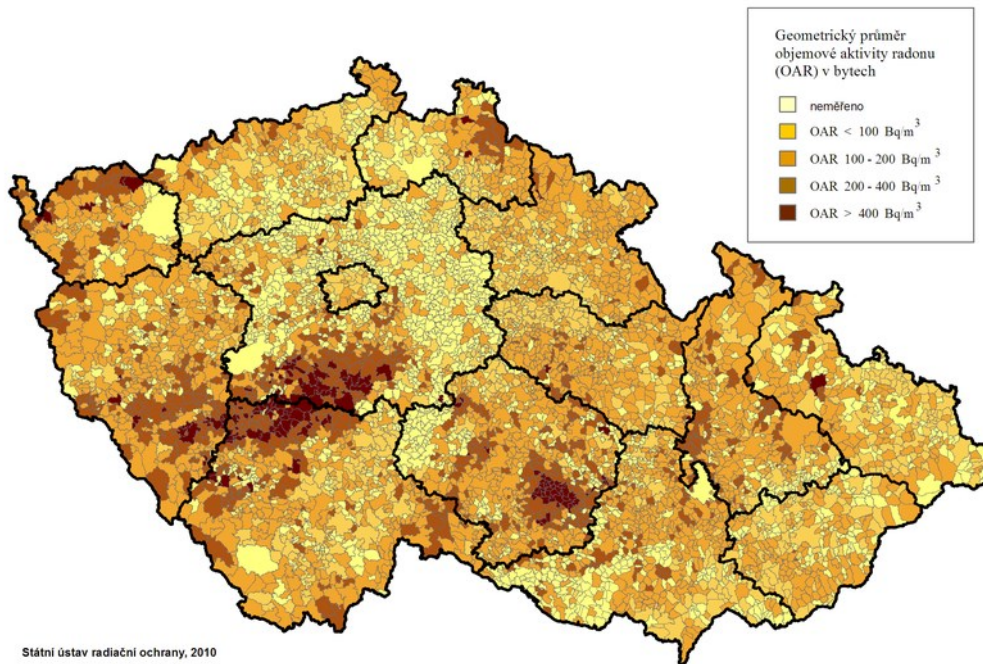
Bylo prokázáno, že i nízké koncentrace radonu v budovách představují zdravotní riziko a přispívají ke zvýšenému množství výskytu rakoviny plic. Riziko lineárně roste se zvyšující se koncentrací radonu (World Health Organization, 2023), nicméně důležitá je také délka pobytu. Statisticky bylo zjištěno, že při zvýšení koncentrace radonu o  $100 \text{ Bq/m}^3$  se riziko zvyšuje o 16 % a při ročním pobytu v koncentraci  $300 \text{ Bq/m}^3$  je záření srovnatelné s expozicí ozáření z 330 rentgenových snímků (Státní ústav radiační ochrany, 2024b). Odhaduje se, že při celoživotním pobytu v budově s koncentrací  $400 \text{ Bq/m}^3$ , se u 1-2 lidí ze sta objeví rakovina plic (Státní ústav radiační ochrany, 2024d).

### 4.3 Radonové riziko na území ČR

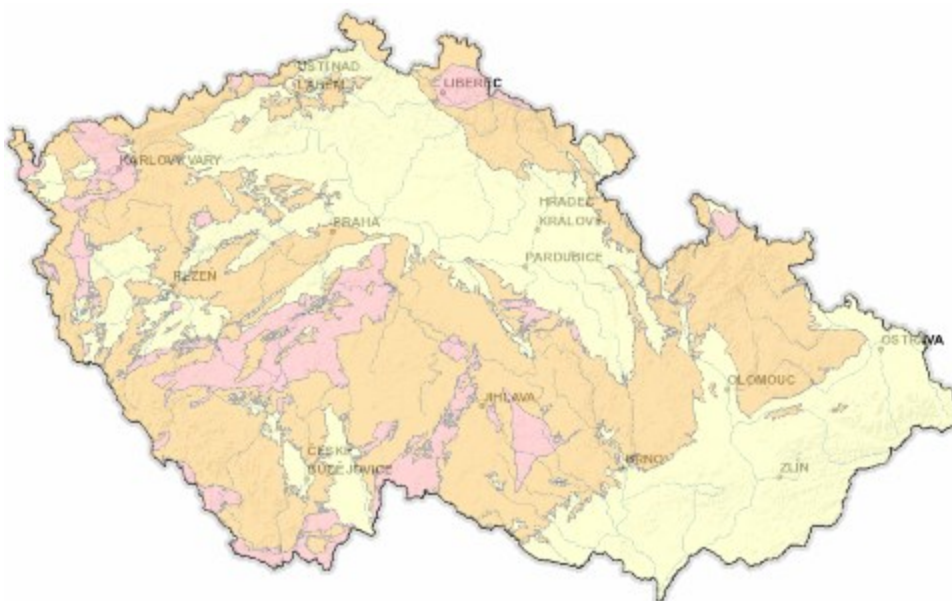
S průměrnou koncentrací radonu  $118 \text{ Bq/m}^3$  v budovách je Česká republika řazena mezi země s největší koncentrací na světě a přibližně 4-5 % bytů obsahuje koncentraci vyšší než  $300 \text{ Bq/m}^3$ , což představuje dávku, která odpovídá přibližně jednomu rentgenovému snímku denně (Státní ústav radiační ochrany, 2024c).

Obrázek 18 představuje mapu výsledků objemové aktivity radonu (OAR) v bytech v období 1990-2010. Radon se vyskytuje prakticky na každém území v různém množství, které se odvíjí od geologického podloží, podle kterého lze identifikovat oblasti s vyšším rizikem. Česká geologická služba vytvořila prognózní mapu radonového indexu (viz obrázek 19), která rozděluje území na oblasti s nízkým, přechodným, středním a vysokým radonovým indexem (Barnet, Mikšová, Procházka, 2016). Prognózní mapu radonového indexu z obrázku 19 lze najít na těchto stránkách: <https://mapy.geology.cz/radon/#>.

### Geometrický průměr objemové aktivity radonu (OAR) v obcích České republiky



Obrázek 18: Geometrický průměr objemové aktivity radonu (OAR) v bytech na území České republiky. Zdroj: <https://www.radonovyprogram.cz/radon-v-cr/>



Obrázek 19: Mapa komplexní radonové informace na území ČR dle České geologické služby. Růžová barva znázorňuje vysoké riziko, oranžová středně vysoké a žlutá nízké radonové riziko. Zdroj: <https://mapy.geology.cz/radon/>

### 4.3.1 Historie protiradonových programů a opatření

Jedna z prvních zmínek o možném výskytu radonu v bytech se objevila v 50. letech 20. století ve Švédsku, kdy se myslelo, že se jedná o lokální problém. Až v 70. letech 20. století byly zjištěny zvýšené koncentrace radonu i v jiných zemích a byly spuštěny speciální radonové programy. U nás byla příprava na takový program zahájena v Jáchymově, kde byla vyšší koncentrace radonu a uranu v podloží, které bylo navíc ovlivněno těžbou a byly využívány stavební materiály z vysoce radioaktivních odpadů z výroby uranových barev a radia (Státní ústav radiační ochrany, 2024a).

V 80. letech 20. století ministerstvo stavebnictví zahájilo výzkum protiradonových opatření zaměřený zejména na stavební materiály, a to v návaznosti na případ v Poříčí u Trutnova, kde se vyskytovala nadměrná koncentrace radia. Důvodem byl elektrárenský popílek pro výrobu pórobetonu z elektrárny na spalování černého uhlí z uhelné pánve s vysokým obsahem uranu. Přestože se zvýšené množství radonu vyskytovalo jen v několika málo případech, bylo rozhodnuto snížit množství radia ve stavebních materiálech (Státní ústav radiační ochrany, 2024a).

Čtyřikrát více množství radia než pórobeton z Poříčí (jeho vyzařování však bylo nižší) obsahoval stavební materiál v Rynholci u Nového Strašecí vyrobený ze škváry po bývalé revírní elektrárně v oblasti uranonosné sloje dolu Anna (později důl ČSA). Přestože se o rizikovosti vědělo již v 60. letech 20. století, z materiálu se dále stavěly obytné domy a byty bez potřebných opatření, k nimž se přistoupilo až těsně před revolucí a některé z nich musely být odkoupeny, případně sanovány (Státní ústav radiační ochrany, 2024a).

V polovině 80. let 20. století se pozornost začala věnovat také výskytu radonu v podloží a bylo prokázáno jeho pronikání do budov. Na základě toho vznikaly mapy radonového indexu, přistoupilo se k systematickému proměřování území a experimentálním sanačním metodám (Státní ústav radiační ochrany, 2024a).

### 4.3.2 Výskyt radonu v budovách

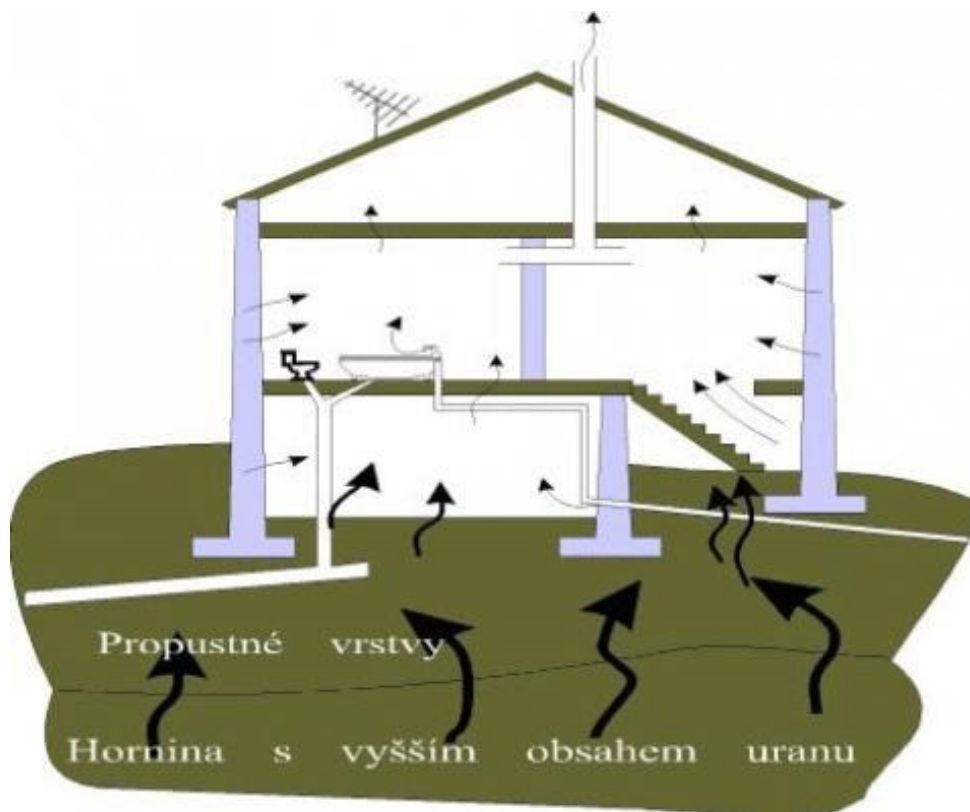
Koncentrace radonu v budovách závisí na několika různých faktorech:

- **Lokální geologické podloží** jako je například množství uranu, propustnost minerálů a půdy (World Health Organization, 2023). Na území Českého masívu je koncentrace ovlivněna množstvím vyvěřelých hornin (Závodníková, 2010), přičemž vyšší hodnoty

Lze naměřit v místech složených z granitů s vysokým obsahem radia (Bajerová, 2016). Koncentrace v půdním vzduchu v hloubce asi 1 m může být v rozmezí 20 000 – 2 000 000 Bq/m<sup>3</sup> (Státní ústav radiační ochrany, 2024c). Objemová aktivita radonu v půdním vzduchu souvisí s horninou a měrnou aktivitou radia, koeficientem emanace, propustností podloží atd. (Bajerová, 2016). Uran se na území ČR vyskytuje jako stopový prvek ve stovkách uranových mineralizací ve formě omezených geologických těles a ve formě nabohacených geologických struktur (přibližně 66 těžebních ložisek), které prostředí ovlivňují plošně. Obě formy výskytu jsou významné z hlediska radiační ochrany (Radonový program České republiky, 2016a).

- **Vstup radonu do budov** různými cestami (viz obrázek 20): prasklinami v podlahách nebo na spojích mezi podlahou a stěnou, mezerami mezi potrubím a kabely, malými póry ve stěnách dutých tvárnic, jímkami nebo odtoky. Riziko je vyšší v nejnižších podlažích a ve sklepích, protože jsou nejbližší podloží, ale vyšší koncentrace radonu se mohou vyskytovat i ve vrchních patrech.
- Uvolňování radonu ze **stavebních materiálů** (World Health Organization, 2023), které obsahují vyšší množství uranu a rádia, jehož přeměnou vzniká radon. U materiálu nerostného původu je určité množství radioaktivních látek běžné, zejména se jedná o draslík, uran, thorium a radionuklidy vzniklé radioaktivní přeměnou, z nichž nejvýznamnější je radium. Je proto nutné dbát při výrobě na systematické měření a hodnocení obsahu radia v materiálech (Státní ústav radiační ochrany, 2024e).
- **Ventilace budovy** a s tím související výměna vnitřního a venkovního vzduchu, kterou mohou částečně ovlivnit obyvatelé budov větráním. Důležitá je ale také samotná konstrukce a vzduchotěsnost budovy (World Health Organization, 2023).





Obrázek 20: Vstup radonu do budov. Zdroj: <https://www.suro.cz/cz/faq/radon-v-dome>.

Někdy může docházet ke kontaminaci pitné vody radonem v podzemních zdrojích, pramenech, vrtech nebo studnách (World Health Organization, 2023) z hornin s obsahem uranu a radia. Při požití pitné vody s obsahem radonu je riziko ozáření minimální, ale při užívání vody v domácnosti na sprchování, mytí, vaření, praní apod. dochází k uvolňování radonu do ovzduší a jeho vdechování. V podzemních zdrojích pitné vody České republiky je v průměru 14 Bq/l, avšak nejvyšší naměřené hodnoty mohou dosahovat až k několika tisícům. Příkladem je lázeňská voda v jáchymovských lázních, která obsahuje řádově 10 000 Bq/l radonu (Státní ústav radiační ochrany, 2024f).

#### 4.4 Prevence a opatření

Dle mezinárodních standardů o radiační ochraně má stát povinnost informovat o množství radonu a jeho riziku ve vnitřních prostorech a zároveň zajistit vhodný plán na kontrolu působení radonu. Kvůli možným sociálním a ekonomickým následkům je nadále nutné zajistit referenční hodnotu koncentrace  $^{222}\text{Rn}$  v prostorech s větším výskytem lidí, která nesmí překročit průměrnou roční hodnotu **300 Bq/m<sup>3</sup>** (International Atomic Energy Agency, 2014). Do roku 2016 nařizovala směrnice ČR maximální povolenou koncentraci 200 Bq/m<sup>3</sup> u

novostaveb, přičemž u stávajících staveb nesměla hodnota překročit  $400 \text{ Bq/m}^3$ . Od roku 2017 je v platnosti jediná referenční úroveň -  $300 \text{ Bq/m}^3$ . Úkolem projektanta je hledat pomocí vhodných protiradonových opatření řešení tak, aby byla koncentrace snížena na nejnižší možnou hodnotu (Jiránek, 2019).

#### 4.4.1 Protiradonové programy a zákonná ustanovení v ČR

V České republice začal v roce 1999 desetiletý Radonový program, který měl za úkol vyhledání existujících objektů s vysokou koncentrací radonu, prevenci, informování veřejnosti, výzkumnou a vývojovou činnost i zajištění dotací na protiradonová opatření. Následně byl zahájen tzv. „*Radonový program ČR 2010 až 2019 - Akční plán*“, jehož cílem bylo snížení obsahu radonu v budovách a informování veřejnosti (Státní ústav radiační ochrany, 2024a). Od roku 2020 je v platnosti Národní akční plán pro regulaci ozáření obyvatel z radonu "*RANAP*", který se zabývá regulací ozáření obyvatel v budovách. Jeho dlouhodobým plánem je informovanost a komunikace se zapojením veřejnosti, vzdělávání, prevence při výstavbě a rekonstrukci budov a regulace stávajícího ozáření (Radonový program České republiky, 2016b).

Vyhláška č. 422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje stanovuje základní opatření a maximální přípustné dávky při expozici radonem pro pracovníky, kteří pracují na území s vyšším rizikem výskytu radonu, pro fyzické osoby nacházející se ve vnitřních prostorech, pro pitnou vodu pro veřejnou potřebu a pro dodání balené vody na trhy (maximální objemová hodnota radonu je  $300 \text{ Bq/l}$ ) a stanovuje také radonový index pozemku, při jehož měření musí být zohledněna plynopropustnost půd a charakteristika geologického podloží. Podle objemové koncentrace v půdním vzduchu se rozlišují 3 úrovně indexu:

1. **Nízký radonový index** při hodnotě menší než  $10 \text{ kBq/m}^3$  (Vyhláška č. 422/2016 Sb.) nestanovuje povinnost zavádět speciální opatření (Bajerová, 2016).
2. **Střední radonový index** při hodnotě  $10\text{-}35 \text{ kBq/m}^3$  (Vyhláška č. 422/2016 Sb.) zavádí povinnost protiradonových izolací s hydroizolační funkcí pro stavby v přímém kontaktu s půdou (Bajerová, 2016).
3. **Vysoký radonový index** při hodnotě nad  $35 \text{ kBq/m}^3$  (Vyhláška č. 422/2016 Sb.) ustanovuje stejná opatření jako pro střední index rozšířená o odvětrávanou vzduchovou mezeru pod izolací nebo odvětrávací drenážní systém (Bajerová, 2016).

Zákon č. 263/2016 Sb., Atomový zákon zároveň zadává povinnost stanovení radonového indexu pozemku při povolení nové stavby nebo přístavby určené k pobytu. Pokud byla v budově určené k pobytu naměřena vyšší než referenční hodnota, je majitel objektu povinen snížit ozáření fyzických osob a zajistit vhodná opatření, která míru rizika ozáření snižují.

#### **4.4.2 Riziko ozáření radonem na pracovišti**

Velikost ozáření obyvatelstva je výrazně ovlivněna ozářením na pracovišti, proto je nutné se věnovat jeho snižování a redukovat rizika (Radonový program České republiky, 2016c). Tomu se věnuje Zákon č. 263/2016 Sb., který stanovuje povinnosti ohledně hlášení úřadům, řádného měření, informovanosti pracovníka a radiační ochrany. Legislativně jsou také vymezeny oblasti a obce se zvýšeným rizikem výskytu radonu u provozovatelů pracovišť v podzemních nebo prvních podlažích, kde je pravděpodobnost překročení referenční hodnoty vyšší než 30 % (Radonový program České republiky, 2016b). Pokud se jedná o školské, sociální nebo zdravotnické zařízení, musí vlastník objektu provádět pravidelná měření při uvedení do provozu a při stavebním zásahu (Zákon č. 263/2016 Sb.).

#### **4.4.3 Výskyt radonu v pitné vodě**

Vyšší koncentrace radonu v pitné vodě se na území ČR nachází v oblastech s vysokým radonovým indexem, kde se občanům doporučuje provést měření individuální zásobárny vody. Pokud hodnota přesahuje 1 000 Bq/l, doporučuje se zdroj upravit nebo nahradit, ale pro individuální zásobování neexistuje zákonný limit. Ve veřejných vodovodech je měření povinné a voda musí splňovat předepsané směrné limity. Při objemové aktivitě vyšší než 50 Bq/l se doporučuje posoudit možnost odstranění radonu alespoň zčásti, ale pokud objemová aktivita překročí mezní hodnotu 300 Bq/l, pitná voda nesmí být dodávána a je třeba ji vhodně upravit, nebo zajistit nový zdroj (Státní ústav radiační ochrany, 2024f).

#### **4.4.4 Základní protiradonová opatření**

U stávajících budov se provádí radonová diagnostika ke stanovení vhodných opatření v závislosti na zdroji radonu. Pokud je zdrojem podloží, utěsňují se cesty vstupu, zvyšuje ventilace, případně zavádí bodové odvětrávání, podlahové konstrukce nebo ventilace. Ventilace a rekuperace tepla se používá při vysokém výskytu radonu ve stavebních materiálech. Pokud se nadlimitní hodnoty nachází ve vodě, eliminuje se přívod vody speciálními aeračními zařízeními (Bajerová, 2016), kterými se radon odstraňuje provzdušňováním. Mají vysokou účinnost, ale statisícové náklady, proto se využívají u velkých

zdrojů jako jsou úpravny vody pro veřejné vodovody (Státní ústav radiační ochrany, 2024f). V případě objektů se základním opatřením je doporučeno dostatečné větrání v místnostech se spotřebou vody (Bajerová, 2016).

## **Závěr**

Cílem této bakalářské práce bylo představit vybraná geologická rizika na území České republiky a popsat jejich projevy, příčiny, rizika a případná preventivní opatření tak, aby mohla být použita jako doplňující odborný materiál pedagogům základních a středních škol. Práce poukázala na význam a vliv geologických rizik na geodiverzitu, která je úzce spjata s biodiverzitou, což je aspekt, který bývá často opomíjen. Hodnocení následků bývá nejčastěji na základě hospodářských a ekonomických škod, případně možného ohrožení zdraví. Rizika způsobená pouze přírodním působením téměř neexistují a jsou prakticky vždy ovlivněna lidskou činností. Geologická rizika jsou dle různých zdrojů dělena do více kategorií, tato bakalářská práce představila 3 vybraná geologická rizika, která byla popsána do větších detailů. Jednalo se o svahové nestability, zemětřesení a radonové riziko.

Tato bakalářská práce může být podkladem pro rozšíření na diplomovou práci zaměřující se na porovnání a analýzu výukových materiálů geologie na základních a středních školách a možnosti zakotvení tematiky geologických rizik do výuky.

## Zdroje

AZ Consult, spol. s r.o., 1999. *Obecná metodika postupů při sanaci rizik skalního řízení*. Online. Ústí nad Labem. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/postupy\\_riceni\\_2/\\$FILE/OOHPP-Methodika\\_skalni\\_riceni-20080820.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/postupy_riceni_2/$FILE/OOHPP-Methodika_skalni_riceni-20080820.pdf). [citováno 2023-12-27].

BACHURA, M., 2017. *The Structure of the West Bohemian Earthquake Swarm Source Zone. Struktura zdrojové oblasti západočeských rojových zemětřesení*. Online. Praha. Disertační práce. Univerzita Karlova v Praze. Fakulta přírodovědecká. Vedoucí práce Tomáš FISCHER. Dostupné z: [https://www.ig.cas.cz/wp-content/uploads/2018/09/phd\\_thesis\\_bachura.pdf](https://www.ig.cas.cz/wp-content/uploads/2018/09/phd_thesis_bachura.pdf). [citováno 2023-01-28].

BAJER, A., BALKOVÁ, M., KUBALÍKOVÁ, L., 2019. *Plán pro ochranu a využívání geodiverzity na území Místní akční skupiny Východní Slovácko a Mikroregionu Javorina*. Online. In: Akční plán pro ochranu geodiverzity. Brno: Fond malých projektů. Dostupné z: [https://ldf-test.mendelu.cz/wp-content/uploads/2022/03/akn\\_pln\\_pro ochranu geodiverzity final cz.pdf](https://ldf-test.mendelu.cz/wp-content/uploads/2022/03/akn_pln_pro ochranu geodiverzity final cz.pdf). [citováno 2024-02-17].

BAJEROVÁ, S., 2016. *Uvolňování radonu do životního prostředí po ukončení provozu uranového dolu Rožná a jeho vliv na okolní obyvatelstvo*. Online. Praha. Diplomová práce. České vysoké učení technické. Fakulta biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce Hana KUBÁTOVÁ. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/67522/FBMI-DP-2016-Bajerova-Sona-prace.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [citováno 2024-12-03].

BARNET, I., MIKŠOVÁ, J., PROCHÁZKA, J., 2016. *Radon v ČR*. Online. Radonový program České republiky. Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Dostupné z: <https://www.radonovyprogram.cz/radon-v-cr/>. [citováno 2024-12-03].

BAROŇ. *Ploužení*. Online. In: GeoHAZARDY. Katalog geohazardů. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/geohazardy/katalog/geohazard-23/>. [citováno 2023-12-08].

BATELKOVÁ, K., KIRCHNER, K., 2015. *Svahové pohyby jako přírodní hazard, jejich impakty a ohrožení krajiny – Slope movements as natural hazard, their impact and threat of landscape*. Online. In: Přírodní rizika a jejich sociální důsledky. Sborník abstraktů z 10. mezinárodní geografické konference CONGEO'15. Brno: Ústav geoniky Akademie věd ČR. s. 10- 14. ISBN 978-80-86407-58-6. Dostupné z:

[https://www.researchgate.net/publication/308901880\\_Svahove\\_pohyby\\_jako\\_prirodni\\_hazar\\_d\\_jejich\\_impakty\\_a\\_ohrozeni\\_krajiny\\_-](https://www.researchgate.net/publication/308901880_Svahove_pohyby_jako_prirodni_hazar_d_jejich_impakty_a_ohrozeni_krajiny_-)

[Slope movements as natural hazard their impact and threat of landscape.](#) [citováno 2023-12-03].

BLAHŮT, J., KLIMEŠ, J., 2011: *Příspěvek k české terminologii ve studiu rizik ze svahových deformací. Contribution to Czech Terminology in Landslide Risk Studies.* Online. Geografie, roč. 116, č. 1, s. 79–90. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/268386016\\_PRISPEVEK\\_K\\_CESKE\\_TERMINOLOGII\\_VE\\_STUDIU\\_RIZIK\\_ZE\\_SVAHOVYCH\\_DEFORMACI](https://www.researchgate.net/publication/268386016_PRISPEVEK_K_CESKE_TERMINOLOGII_VE_STUDIU_RIZIK_ZE_SVAHOVYCH_DEFORMACI). [citováno 2023-12-03].

BOKR, P. *Katalog geohazardů – úvodní stránka.* Online. In: GeoHAZARDY. Katalog geohazardů. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/geohazardy/>. [citováno 2024-02-04].

CÍDLOVÁ, H., PAŘÍZEK, J., 2014. *Radon.* Online. Historie chemie. Dostupné z: <https://www.ped.muni.cz/wchem/sm/hc/hist/chemlat/radon.html>. [citováno 2024-12-03].

CÍLEK, V., 2000. *Geodiverzita. Geologická rozmanitost Čech.* Online. Vesmír. 5. 2. 2000, roč. 79, č. 2. ISSN 1214-4029. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2000/cislo-2/geodiverzita.html>. [citováno 2024-02-17].

*Česká regionální seismická síť,* 2024. Online. In: Geofyzikální ústav Akademie věd České republiky, v. v. i. Praha: Seismické oddělení, Geofyzikální ústav AV ČR. Dostupné z: <https://www.ig.cas.cz/vyzkum-a-vyuka/observatore/ceska-regionalni-seismicka-sit/>. [citováno 2024-01-01].

DEMEK, J. et al., 2006. *Hory a nížiny. Zeměpisný lexikon ČR.* Online. 2. vydání. Brno: AOPK ČR. ISBN 80-86064-99-9. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/340385714\\_Hory\\_a\\_niziny\\_Zemepisny\\_lexikon\\_C\\_R](https://www.researchgate.net/publication/340385714_Hory_a_niziny_Zemepisny_lexikon_C_R). [citováno 2023-12-26].

FISCHER, T., ZEDNÍK, J., 2010. *Zemětřesení v Česku a proč je sledujeme.* Online. Vesmír. 22. 7. 2010, roč. 89., č. 7. ISSN 1214-4029. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2010/cislo-7/zemetreseni-cesku.html>. [citováno 2023-01-28].

GATES, E. A., RITCHIE, D., 2007. *Encyclopedia of Earthquakes and Volcanoes.* Online. 3. vyd. New York: Facts On File, Inc. ISBN 0-8160-6302-8. Dostupné z: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-encyclopedia-earthquakes-and-volcanoes.pdf>. [citováno 2023-11-02].

*Geologická rizika*, 2023. Online. In: Česká geologická služba. Dostupné z: <https://cgs.gov.cz/veda-a-vyzkum/geologicka-rizika>. [citováno 2023-12-26].

*Geologie ČR*, 2016. In: Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Radonový program České republiky. Dostupné z: <https://www.radonovyprogram.cz/o-radonu/geologie-cr/>. [citováno 2024-02-17].

GOLIÁŠ, V., 2016. *Kde vznikají geologické zlomy a jak souvisejí s teplými prameny?* Online. In: Přírodovědci.cz. Praha: Přírodovědecká fakulta UK, 01.11.2016. Dostupné z: <https://www.prirodovedci.cz/zeptejte-se-prirodovedcu/1527>. [citováno 2023-01-28].

HAVÍŘ, J., PAZDÍRKOVÁ, J., SÝKOROVÁ, Z., 2012. *Zvýšená seismická aktivita v epicentrální oblasti Laštiny (střední Morava)*. Online. Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku. Brno: Institute of Geological sciences, Fac. of Science, Masaryk University, roč. 19, č. 1-2, s. 180-182. ISSN 2336-4378. Dostupné z: <https://doi.org/10.5817/GVMS2012-1-2-180>. [citováno 2023-12-29].

HIGHLAND, L.M., BOBROWSKY, P., 2008. *The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides*. Online. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey Circular 1325. ISBN 978-141132226-4. Dostupné z: <https://pubs.usgs.gov/circ/1325/pdf/Sections/Section1.pdf>. [citováno 2023-11-02].

International Atomic Energy Agency, 2014. *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*. Online. Vídeň: IAEA. ISBN 978-92-0-135310-8. Dostupné z: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1578\\_web-57265295.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1578_web-57265295.pdf). [citováno 2024-12-03].

ISLAM, T., RYAN, J., 2016. *Hazard Identification—Natural Hazards*. Online. In: ISLAM, T., RYAN, J. Hazard Mitigation in Emergency Management. Elsevier. ISBN 978-0-12-420134-7. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420134-7.00005-9>. [citováno 2023-11-02].

JIRÁNEK, M., 2019. *Změny v navrhování protiradonových opatření podle revidované ČSN 73 0601*. Online. TZB-info. Praha: Topinfo s.r.o. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/izolace-proti-vode-a-radonu/19847-zmeny-v-navrhovani-protiradonovych-opatreni-podle-revidovane-csn-73-0601>. [citováno 2024-12-03].

KALÁB, Z., 2003. *Posouzení seismického zatížení středověkého Dolu Jeroným v České republice*. Online. Acta Montanistica Slovaca, roč. 8, č. 1, s. 36-41. ISSN 1335-1788. Dostupné z: <https://actamont.tuke.sk/pdf/2003/n1/7kalab.pdf>. [citováno 2023-12-30].



KLIMEŠ J., BAROŇ, I., SPITZER, L., 2019. *Pozitivní aspekty sesuvů. Opomíjený pohled*. Online. Vesmír. 7. 10. 2019. ISSN 1214-4029. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/on-line-clanky/2019/10/pozitivni-aspekty-sesuvu.html>. [citováno 2023-12-27].

KLIMEŠ, J., 2019. *Negativní dopady sesuvů*. Online. Vesmír. 7. 10. 2019, roč. 98, č. 10. ISSN 1214-4029. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2019/cislo-10/negativni-dopady-sesuvu.html>. [citováno 2023-12-27].

KRÁLOVÁ M., 2007. *Seismické vlny a jejich detekce*. Online. In: Techmania Science Center/EDUPORTÁL. Plzeň: Techmania Science Center o.p.s. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/geofyzika/seismologie/seismicke-vlny-jejich-detekce> [citováno 2024-01-24].

KŘÍŽEK, M., 2007. *Zemětřesení na území České republiky*. Online. Geografické rozhledy. Praha: Česká geologická společnost, roč. 17, č. 2, s. 4–5. ISSN 1210-3004. Dostupné z: <https://www.geograficke-rozhledy.cz/archiv/51>. [citováno 2024-01-02].

KUBICOVÁ R., 2018. *Sesuv půdy pod Gírovou v Beskydech se v roce 2010 stal jedním z největších sesuvů u nás*. Online. Český Rozhlas. 9.10.2018. Dostupné z: <https://region.rozhlas.cz/sesuv-pudy-pod-girovou-v-beskydech-se-v-roce-2010-stal-jednim-z-nejvetsich-7637406>. [citováno 2024-02-23].

KUKAL, Z., POŠMOURNÝ, K., 2005. *Přírodní katastrofy a rizika. Příspěvek geologie k ochraně lidí a krajiny před přírodními katastrofami*. Online. Planeta. Praha: Ministerstvo životního prostředí, roč. 12, č. 3. ISSN 1213-3393. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/3974FDA531EA66B3C1257030001E709F/\\$file/planeta\\_katastrofy\\_2korektura.pdf](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/3974FDA531EA66B3C1257030001E709F/$file/planeta_katastrofy_2korektura.pdf). [citováno 2024-02-17].

LOŽEK, V., 2000. *Biodiverzita, ekofenomény a geodiverzita. Bohatství živé přírody je chráněno rozmanitostí terénu*. Online. Vesmír. 5. 2. 2000, roč. 79, č. 2. ISSN 1214-4029. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2000/cislo-2/biodiverzita-ekofenomeny-geodiverzita.html>. [citováno 2024-02-17].

*Makroseismický dotazník*, 2024. Online. In: Geofyzikální ústav Akademie věd České republiky, v. v. i. Praha: Seismické oddělení, Geofyzikální ústav AV ČR. Dostupné z: <https://www.ig.cas.cz/makroseismicky-dotaznik/>. [citováno 2024-01-01].

MALEK, J., VACKAR, J., 2019. *Site-specific probabilistic seismic hazard of Prague (Czech Republic)*. Online. Journal of Seismology. Springer Nature B.V., 25.10.2019, roč. 23. č. 6, s.

1223–1232. ISSN 1573-157X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10950-019-09859-6>. [citováno 2023-12-29].

MÜLLEROVÁ, H., a kol., 2017. *Sesuvy – podceňované nebezpečí*. Online. 1. vydání. Edice Strategie AV21. Přírodní hrozby. Praha: Středisko společných činností AV ČR, v. v. i., pro Kancelář Akademie věd ČR. Dostupné z: <https://www.academia.cz/uploads/media/preview/0001/04/e822515aec8ad4fc571613b07ca076358473a9e1.pdf>. [citováno 2024-02-23].

NEŠVARA, P., SEKYRA, Z., 1999. *Obecné zásady postupů směřujících ke stabilizaci sesuvů*. Online. Praha: SG Geotechnika a.s. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/obecne\\_zasady\\_1/\\$FILE/OOHPP-Stabilizace\\_sesuvu\\_Text-20080820.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/obecne_zasady_1/$FILE/OOHPP-Stabilizace_sesuvu_Text-20080820.pdf). [citováno 2023-12-27].

PAZDÍRKOVÁ, J., et al. 2013. *Zemětřesení v Hrubém Jeseníku 14.6. 2012*. Online. Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku. Brno: Institute of Geological sciences, Fac. of Science, Masaryk University, roč. 20, č. 1-2, s. 205-209. ISSN 2336-4378. Dostupné z: <https://journals.muni.cz/gvms/article/view/1576/1213>. [citováno 2023-12-29].

PAZDÍRKOVÁ, J., PRACHAR, I., ZEDNÍK, J., KRUMLOVÁ, H., 2015. *Zemětřesení v Hoštěradicích v červnu 2014*. Online. Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku. Brno: Institute of Geological sciences, Fac. of Science, Masaryk University, roč. 22, č. 1-2, s. 61-64. ISSN 2336-4378. Dostupné z: <https://doi.org/10.5817/GVMS2015-1-2-61>. [citováno 2023-12-29].

PAZDÍRKOVÁ, J., ZEDNÍK, J., 2010. *Seismic activity in the Czech Republic in 2008*. Online. Studia Geophysica et Geodaetica. Academy of Sciences of the Czech Republic. 16.5.2010, roč. 54, č. 2, s. 333-338. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11200-010-0018-6>. [citováno 2023-12-30].

PETRÁNEK, J., 2007a. *Variské vrásnění*. Online. In: On-line Geologická encyklopedie. Česká geologická služba. Dostupné z: [http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?variske\\_vrasneni#](http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?variske_vrasneni#). [citováno 2023-12-29].

PETRÁNEK, J., 2007b. *Alpínský cyklus*. Online. In: On-line Geologická encyklopedie. Česká geologická služba. Dostupné z:

[http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?alpinsky\\_cyklus](http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?alpinsky_cyklus). [citováno 2023-12-29].

*Pocitěné zemětřesení u Mirotic*, 7. 3. 2024, M 3,5, 2024. Online. In: MUNI SCI. Ústav fyziky a Země. Masarykova univerzita, 8. 3. 2024. Dostupné z: <https://www.ipe.muni.cz/latest-earthquakes/pocitene-zemetreseni-u-mirotic-7-3-2024-m-35>. [citováno 2024-03-15].

Radonový program České republiky, © 2016a. *Geologie ČR*. Online. Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Dostupné z: <https://www.radonovyprogram.cz/o-radonu/geologie-cr/>. [citováno 2024-12-03].

Radonový program České republiky, © 2016b. *NÁRODNÍ AKČNÍ PLÁN - RANAP*. Online. Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Dostupné z: <https://www.radonovyprogram.cz/narodni-akcni-plan-ranap/>. [citováno 2024-12-03].

Radonový program České republiky, © 2016c. *Radon na pracovištích. Máte povinnost zajistit měření radonu na pracovišti?* Online. Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Dostupné z: <https://www.radonovyprogram.cz/pracoviste/>. [citováno 2024-12-03].

RAŠKA, P., KLIMEŠ, J., 2019. *Svahy v pohybu*. Online. Geografické rozhledy. Praha: Česká geologická společnost, roč. 28, č. 3, s. 14–17. ISSN 1210-3004. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/profile/Pavel-Raska-3/publication/331248175\\_Svahy\\_v\\_pohybu/links/5eac3f0445851592d6af1c71/Svahy-v-pohybu.pdf?\\_cf\\_chl=tk=cm1Hkuup3qvKqongji4pIHL.7aGe97B4uPHkTv4PVsI-1708421234-0.0-7378](https://www.researchgate.net/profile/Pavel-Raska-3/publication/331248175_Svahy_v_pohybu/links/5eac3f0445851592d6af1c71/Svahy-v-pohybu.pdf?_cf_chl=tk=cm1Hkuup3qvKqongji4pIHL.7aGe97B4uPHkTv4PVsI-1708421234-0.0-7378). [citováno 2024-02-20].

RYBÁŘ, J., 2006. *Vliv klimatu na vývoj různých typů svahových pohybů. Climatic effects in the development of different types of slope movements*. Online. Zprávy o geologických výzkumech v roce 2006. Praha: Ústav struktury a mechaniky hornin Akademie věd České republiky, roč. 40, s. 90-92. ISSN 2336-5757. Dostupné z: <https://app.geology.cz/img/zpravyvyzkum/fulltext/2006-str.90-92.pdf>. [citováno 2024-02-22].

RYBÁŘ, J., 2010. *Sesuvy v České republice*. Online. Vesmír. 5. 11. 2010, roč. 89, č. 11. ISSN 1214-4029. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2010/cislo-11/sesuvy-ceske-republice.html>. [citováno 2023-12-26].

*Sesuvy a řízení skal*. Online. In: Ministerstvo životního prostředí. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2008-2023. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/sesuvy\\_riceni\\_skal](https://www.mzp.cz/cz/sesuvy_riceni_skal). [citováno 2023-12-27].

SKÁCELOVÁ, 2006. *Zemětřesení*. Online. In: Pavel Bokr. Geohazardy. Katalog geologických rizik. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/geohazardy/katalog/geohazard-21/>. [citováno 2023-12-29].

*Slovníček*, 2023. Online. In: Seismologický informační displej Temelín a Dukovany. Dostupné z: <https://sid.ipe.muni.cz/glossary.php?lang=cs#magnitudo>. [citováno 2024-01-01].

STARÁ E., 2012. *Zemětřesení jako geologický děj, jeho predikce a účinná ochrana před ním. Earthquake as a geological process, its prediction and effective protection against it*. Online. Praha. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze. Fakulta přírodovědecká. Vedoucí práce Jan VILHELM. Dostupné z: [https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/43297/BPTX\\_2011\\_1\\_11310\\_0\\_29052\\_3\\_0\\_37130.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/43297/BPTX_2011_1_11310_0_29052_3_0_37130.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [citováno 2023-12-29].

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i., 2024a. *RADON včera a dnes*. Online. In: SÚRO, Státní ústav radiační ochrany, v. v. i. Praha. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace/historie-radonove-problematiky/radon-vcera-a-dnes>. [citováno 2024-11-03].

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i., 2024b. *Více o zdravotních účincích RADONU*. Online. In: SÚRO, Státní ústav radiační ochrany, v. v. i. Praha. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace/zdravotni-ucinky-radonu>. [citováno 2024-11-03].

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i., 2024c. *Základní informace o RADONU*. Online. In: SÚRO, Státní ústav radiační ochrany, v. v. i. Praha. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace>. [citováno 2024-11-03].

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i., 2024d. *Radon v domě. Úvodní rady a informace pro ochranu před radonem*. Online. In: SÚRO, Státní ústav radiační ochrany, v. v. i. Praha. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/faq/radon-v-dome>. [citováno 2024-11-03].

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i., 2024e. *Základní informace o RADONU ze stavebního materiálu*. Online. In: SÚRO, Státní ústav radiační ochrany, v. v. i. Praha. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace/radon-ze-stavebnich-materialu>. [citováno 2024-11-03].

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i., 2024f. *Základní informace o RADONU v používané vodě*. Online. In: SÚRO, Státní ústav radiační ochrany, v. v. i. Praha. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace/radon-ve-vode>. [citováno 2024-03-11].

SUDICKÝ, P., 2006. *Přírodní katastrofy a environmentální hazardy – multimediální výuková příručka*. Online. Brno. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Vladimír HERBER. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/fc42e/>. [citováno 2024-02-17].

SUCHÁNEK, V., 2017. *Ionizující záření a jeho vliv na kvalitu životního prostředí člověka: Radon jako rizikový faktor pro lidské zdraví v ČR*. Online. Praha. Diplomová práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Jana SPILKOVÁ. Dostupné z: [https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/91748/DPTX\\_2016\\_2\\_11310\\_0\\_48583\\_9\\_0\\_192175.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/91748/DPTX_2016_2_11310_0_48583_9_0_192175.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [citováno 2024-03-11].

ŠIKULA, 2006. *Sesuv*. Online. In: Pavel Bokr. Geohazardy. Katalog geologických rizik. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/geohazardy/katalog/geohazard-22/>. [citováno 2023-12-27].

ŠIKULA, J., 2017. *Metodika určování sesuvného hazardu v prostředí ohroženém svahovými nestabilitami*. Online. In: Projekt: TA04030824. Výzkum a hodnocení rizik svahových nestabilit v liniích hlavních plánovaných dopravních koridorů. Praha: Česká geologická služba. Dostupné z: [http://www.geology.cz/img/geohazardy/metodika/Metodika\\_urcovani\\_SN.pdf](http://www.geology.cz/img/geohazardy/metodika/Metodika_urcovani_SN.pdf). [citováno 2023-12-03].

ŠÍLENÝ, J., VAVRYCUK, V., ZAHRADNÍK, J., 2004. *Střížná a nestřížná zemětřesení*. Online. Praha: Geofyzikální ústav AV ČR. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/265915952\\_Strizna\\_a\\_nestrizna\\_zemetreseni](https://www.researchgate.net/publication/265915952_Strizna_a_nestrizna_zemetreseni). [citováno 2023-12-29].

VACÍK, J., a kol., 1999. *Přehled středoškolské chemie*. 3. doplněné vydání. Praha: SPN – pedagogické nakladatelství, akciová společnost. ISBN 80-7235-108-7. [citováno 2024-05-03].

*Vybraná zemětřesení v regionu*, 2023. Online. In: Seismologický informační displej Temelín a Dukovany. Dostupné z: <https://sid.ipe.muni.cz/glossary.php?lang=cs#magnitudo>. [citováno 2024-01-04].

*Vyhláška č. 422/2016 Sb. Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje*. Online. In: *Zákony pro lidi*. Roč. 2016, částka 172, č. 422. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-422>. [citováno 2024-11-03].

World Health Organization, 2023. *Radon*. Online. © World Health Organization (WHO), 2021. Dostupné z: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health>. [citováno 2024-12-03].

ZAHRADNÍK, J., BURJANEK, J., GALLOVIČ, F., 2015. *Fyzikální výzkum zemětřesení*. Online. Praha: Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta, katedra geofyziky. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/266531990\\_FYZIKALNI\\_VYZKUM\\_ZEMETRES\\_ENI](https://www.researchgate.net/publication/266531990_FYZIKALNI_VYZKUM_ZEMETRES_ENI). [citováno 2024-01-24].

*Zákon č. 263/2016 Sb. Atomový zákon*. Online. In: *Zákony pro lidi*. Roč. 2016, částka 102, č. 263. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-263>. [citováno 2024-11-03].

*Zákon č. 369/2004 Sb. ze dne 3. června 2004, o projektování, provádění a vyhodnocování geologických prací, oznamování rizikových geofaktorů a o postupu při výpočtu zásob výhradních ložisek*. Online. In: *Zákony pro lidi*. Roč. 2004, částka 120, č. 369. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-369>. [citováno 2024-11-03].

*Zákon č. 62/1988 Sb., ze dne 21. dubna 1988, o geologických pracích a o Českém geologickém úřadu*. Online. In: *Zákony pro lidi*. Roč. 1988, částka 10, č. 62. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1988-62>. [citováno 2024-11-03].

ZÁVODNÍKOVÁ, I., 2010. *Radon a životní prostředí*. Online. Brno. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Pedagogická fakulta. Vedoucí práce Vladislav NAVRÁTIL. Dostupné z: [https://is.muni.cz/th/a7j1r/bakalarska\\_prace\\_19.4.2010.pdf](https://is.muni.cz/th/a7j1r/bakalarska_prace_19.4.2010.pdf). [citováno 2024-12-03].

ZEMEK, T., 2015. *Sesuvy v oblasti Bílých Karpat a jejich dopad na stav cestní sítě*. Online. In: *Lesy ČR*. Hradec Králové: Lesy ČR, 22.9.2015. Dostupné z: <https://lesy.cz/casopis-clanek/sesuvy-v-oblasti-bilych-karpat-a-jejich-dopad-na-stav-cestni-site/>. [citováno 2023-12-27].

*Zemětřesení v ČR a okolí*, 2023. Online. In: MUNI SCI. Ústav fyziky a Země. Masarykova univerzita. Dostupné z: <https://www.ipe.muni.cz/public/czech-earthquakes>. [citováno 2024-01-01].

ZIMOLA, P., 2015. *Sesuvy na dopravních stavbách v České republice. Landslides on transport constructions in Czech Republic*. Online. Praha. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze. Fakulta přírodovědecká. Vedoucí práce Jan NOVOTNÝ. Dostupné z:

[https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/76383/BPTX\\_2013\\_1\\_11310\\_0\\_35179\\_4\\_0\\_144326.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/76383/BPTX_2013_1_11310_0_35179_4_0_144326.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [citováno 2024-02-22].