

Technická zpráva číslo 232/2018

---

**PRAVDĚPODOBNOSTNÍ  
HODNOCENÍ SEISMICKÉHO  
OHROŽENÍ LOKALIT  
VYBRANÝCH PRO UMÍSTĚNÍ  
HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ**

**EXPERTNÍ POSOUZENÍ**

---

Autoři:


RNDr. Jiří Málek, Ph.D.

RNDr. Ivan Prachař, CSc.

RNDr. Jiří Vackář

Mgr. Martin Mazanec

**Ústav struktury a mechaniky hornin AVČR, v.v.i.  
Praha, 04/2018**

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		232/2018

**Název zprávy: Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit vybraných pro umístění hlubinného úložiště**

*Evidenční číslo smlouvy zadavatele: SO2017-102*

*Evidenční číslo smlouvy zhotovitele: ÚSMH 310/6667*

**Autoři:**

RNDr. Jiří Málek, PhD.,

Ústav struktury a mechaniky hornin AVČR, v.v.i.

RNDr. Ivan Prachař, CSc.,

IP Consult


RNDr. Jiří Vackář

Ústav struktury a mechaniky hornin AVČR, v.v.i.

Mgr. Martin Mazanec


IP Consult

Schválil				
Funkce	Instituce	Jméno	Datum	Podpis
Osoba zhotovitele zodpovědná za technické řešení	ÚSMH	RNDr. Jiří Málek, PhD		
Osoba zhotovitele zodpovědná za koordinaci projektu	ÚSMH	RNDr. Jiří Málek, PhD		
Osoba zadavatele zodpovědná za koordinaci projektu	SÚRAO	Mgr. Jozef Urík		

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018


## Obsah

<b>1</b>	<b>Hodnocení seismického ohrožení jaderných zařízení .....</b>	<b>9</b>
1.1	Požadavky a kritéria .....	9
1.1.1	Požadavky vyhlášky SÚJB č. 378/2016 Sb. ....	9
1.1.2	Požadavky standardu IAEA NS-R-3. ....	9
1.1.3	Kritéria .....	10
1.2	Přístup k hodnocení .....	10
<b>2</b>	<b>Zhodnocení regionu lokalit HÚ .....</b>	<b>12</b>
2.1	Geologická stavba regionu .....	14
2.1.1	Evropské variscidy .....	14
2.1.2	Alpy .....	17
2.1.3	Západní Karpaty .....	20
2.1.4	Panonské pánve .....	21
2.2	Seismicita regionu HÚ .....	24
2.2.1	Horizontální pohyby bloků a napěťové pole .....	26
2.2.2	Vertikální pohyby .....	29
2.3	Regionální model seismického ohrožení .....	31
<b>3</b>	<b>Registrace zemětřesení v regionu HÚ .....</b>	<b>33</b>
3.1	Seismické sítě .....	33
3.1.1	Evropská seismologická centra a národní seismické sítě .....	33
3.1.2	Lokální seismické sítě v lokalitách jaderných zařízení .....	34
3.2	Katalogy zemětřesení .....	35
3.2.1	Prehistorická zemětřesení .....	35
3.2.2	Historická a instrumentálně zaznamenaná zemětřesení .....	36
3.2.3	Úplnost katalogu zemětřesení .....	37
3.2.4	Deklasterizace katalogu .....	41
<b>4</b>	<b>Seismotektonický model regionu HÚ .....</b>	<b>44</b>
4.1	Vymezení seismotektonických modelů v regionu HÚ .....	44
4.1.1	Seismotektonický model A1 .....	44
4.1.2	Seismotektonický model A2 .....	47
4.1.3	Seismotektonický model F1 .....	47
<b>5</b>	<b>Místní podmínky na lokalitách HÚ .....</b>	<b>54</b>
5.1	Charakteristika lokalit vybraných pro umístění HÚ .....	55
5.1.1	Lokalita Březový potok .....	56
5.1.2	Lokalita Čertovka .....	57
5.1.3	Lokalita Čihadlo .....	58
5.1.4	Lokalita Horka .....	59
5.1.5	Lokalita Hrádek .....	60
5.1.6	Lokalita Kraví Hora .....	61
5.1.7	Lokalita Magdaléna .....	62
5.1.8	Lokalita EDU-západ .....	63
5.1.9	Lokalita ETE-jih .....	63
5.2	Shrnutí .....	64
<b>6</b>	<b>Pravděpodobnostní výpočet seismického ohrožení .....</b>	<b>65</b>
6.1	Přřazení do zdrojových oblastí .....	65
6.2	Stanovení parametrů seismicity .....	65
6.3	Provedení výpočtu pomocí programu OpenQuake .....	73
6.4	Konstrukce pravděpodobnostních křivek seismického ohrožení .....	75
6.5	Deagregace seismického ohrožení .....	75
6.6	Srovnání jednotlivých lokalit .....	94
<b>7</b>	<b>Vliv vnitřních a vnějších podmínek na změnu seismicity v regionu HÚ .....</b>	<b>95</b>
<b>8</b>	<b>závěr .....</b>	<b>97</b>
<b>9</b>	<b>Reference .....</b>	<b>98</b>
9.1	Jaderná legislativa ČR, standardy IAEA a WENRA .....	98
9.2	Ostatní podklady .....	98


	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

## Seznam obrázků:

Obr. 1: Vymezení regionu HÚ s vyznačením jednotlivých lokalit: ČE – Čertovka; BP – Březový potok; MA – Magdaléna; TJ – Temelín-jih; ČI – Čihadlo; HR – Hrádek; KH – Kraví hora; HO – Horka; DZ – Dukovany-západ. Polygon vymezený liniemi 44,5°-53°N; 9°E a 44,5°-53°N; 23°E představuje oblast pokrytou kompilovaným regionálním katalogem zemětřesení IP-CAT používaným pro účely PSHA českých jaderných elektráren. Zobrazeno na mapě reliéfu Evropy, European Environment Agency, 2004.....	12
Obr. 2: Regionální geologické dělení krystalinických a varisky zvrásněných jednotek Českého masivu s vyznačením lokalit vybraných pro umístění HÚ (obrázek jednotek převzat z podkladu [L. 45]).	13
Obr. 3: Základní strukturální schéma střední Evropy. Převzato z podkladu [L. 60]). Legenda: BM – Český masiv, EEC – východoevropská platforma, TESZ – transevropská suturní zóna.	14
Obr. 4: Rozdělení zájmové části evropských variscid na dílčí jednotky. Převzato z podkladu [L. 22].	15
Obr. 5: Průběh vybraných geologických řezů a seismických profilů v zájmovém regionu HÚ.	16
Obr. 6: Geologická interpretace seismického profilu CEL09. Převzato z podkladu [L. 42].	17
Obr. 7: Geologická interpretace seismického profilu SO4. Převzato z podkladu [L. 42].	17
Obr. 8: Strukturální a evoluční model Alpského orogénu. Upraveno dle profilu TRANSALP ([L. 59]).	18
Obr. 9: Strukturální a evoluční model alpské příkrovové stavby označený jako "lateral extrusion model". Převzato z podkladu [L. 20].	19
Obr. 10: Základní strukturální jednotky Východních Alp. Převzato z podkladu [L. 79].	19
Obr. 11: Paleogeografická rekonstrukce postupu západokarpatské fronty během neogénu. Převzato z podkladu [L. 44].	20
Obr. 12: Geologický řez přechodnou zónou mezi Českým masivem a Západními Karpaty. Upraveno z podkladu [L. 54].	21
Obr. 13: Přehledná mapka panonských pánví. Převzato z podkladu [L. 26].	22
Obr. 14: Hlavní seismotektonické domény v regionu HÚ a v jeho okolí. Převzato z podkladu [L. 33].	24
Obr. 15: Geodynamický model styku AD - EUP - PA. Purpurovou čarou je vyznačena hranice regionu HÚ. Upraveno dle podkladu [L. 18]. Zobrazeno na mapě průběhu Moho diskontinuity v Evropě (viz [L. 25]).	25
Obr. 16: Hodnoty vzájemných horizontálních pohybů mezi hlavními bloky: AD - Adriatická mikrodaska, PA (PA') - Panonský blok, MMF - zlomový systém Mur-Mürz, DT - Drava trog, ST - Sava trog. Zpracováno dle podkladu [L. 21].	26
Obr. 17: Trajektorie $S_{Hmax}$ v jihovýchodní části regionu EDU. MHSZ - Středomadžarská střižná zóna, MMZ - zlomový systém Mur-Murz-Žilina, PAL - Periadriatický lineament. Upraveno dle podkladu [L. 11].	27
Obr. 18: Parametry 4 napěťových provincií v jižní části regionu EDU. Upraveno dle podkladu [L. 12].	28
Obr. 19: Radiální napěťové pole v okolí jihovýchodního výběžku Českého masivu. Upraveno dle podkladu [L. 73].	29
Obr. 20: Mapa vertikálních pohybů v regionu HÚ a ve východní části Panonské pánve a ve Východních Karpatech zpracovaná na základě podkladů [L. 86], [L. 73] a [L. 51].	30
Obr. 21: Výsek z mapy seismického ohrožení s 10 % pravděpodobností překročení v časovém úseku 50 let a s vyznačením oblastí s vysokým a středním seismickým rizikem pro region HÚ. Převzato z projektu SHARE [L. 29].	31
Obr. 22: Diagram roční četnosti seismických jevů s $M_w \geq 3.9$ za období 1700-2017.	38

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018


Obr. 23: Kumulativní četnost zemětřesení $M_w \geq 3.9$ pro oblast SCR (Stable Continental Region).....	39
Obr. 24: Kumulativní četnost zemětřesení $M_w \geq 4.4$ .....	39
Obr. 25: Kumulativní četnost zemětřesení $M_w \geq 4.9$ .....	40
Obr. 26: Kumulativní četnost zemětřesení $M_w \geq 5.4$ .....	40
Obr. 27: Epicentra historických zemětřesení s magnitudem $M_w \geq 3.9$ (před deklasterizací) v regionu HÚ s vyznačením pozic lokalit zvažovaných pro umístění HÚ. Zdroj: Kompilovaný katalog I. Prachaře, verze IP2018. ....	42
Obr. 28: Epicentra historických zemětřesení s magnitudem $M_w \geq 3.9$ v regionu HÚ a jevů s magnitudem $M_w = 2.9-3.8$ v oblasti pokryté národním katalogem CZ-NEC; s vyznačením pozic lokalit zvažovaných pro umístění HÚ. Před deklasterizací. Zdroj: Kompilovaný katalog I. Prachaře, verze IP2018 a pracovní verze katalogu CZ-NEC (Prachař, I., Pazdírková, J., in prep.) .....	43
Obr. 29: Seismotektonický model A1 .....	51
Obr. 30: Seismotektonický model A2 .....	52
Obr. 31: Seismotektonický model F1 .....	53
Obr. 32: Schéma regionálně geologického členění lokality Březový potok (převzato z podkladu [L. 28]). .....	56
Obr. 33: Regionálně geologická stavba lokality Čertovka (převzato z podkladu [L. 28]). .....	57
Obr. 34: Schéma regionálně-geologických jednotek na lokalitě Čihadlo (převzato z podkladu [L. 28]). ....	58
Obr. 35: Regionálně geologická stavba lokality Horka (převzato z podkladu [L. 28]). .....	59
Obr. 36: Schéma regionálně geologické stavby lokality Hrádek (převzato z podkladu [L. 28]). .....	60
Obr. 37: Regionálně geologická stavba lokality Kraví hora (převzato z podkladu [L. 28]). .....	61
Obr. 38: Schéma regionálně geologických jednotek lokality Magdaléna (převzato z podkladu [L. 28]). ....	62
Obr. 39: Schéma regionálně geologických jednotek lokality EDU západ (převzato z podkladu [L. 37]). .....	64
Obr. 40: Kumulativní GR graf pro stabilní kontinentální oblast SCR .....	66
Obr. 41: Pravděpodobnostní křivky seismického ohrožení pro lokalitu Březový potok. ....	76
Obr. 42: Deagrace ohrožení pro lokalitu Březový potok.....	77
Obr. 43: Pravděpodobnostní křivky seismického ohrožení pro lokalitu Čertovka. ....	78
Obr. 44: Deagrace ohrožení pro lokalitu Čertovka. ....	79
Obr. 45: Pravděpodobnostní křivky seismického ohrožení pro lokalitu Čihadlo. ....	80
Obr. 46: Deagrace ohrožení pro lokalitu Čihadlo. ....	81
Obr. 47: Pravděpodobnostní křivky seismického ohrožení pro lokalitu Dukovany-západ. ....	82
Obr. 48: Deagrace ohrožení pro lokalitu Dukovany-západ.....	83
Obr. 49: Pravděpodobnostní křivky seismického ohrožení pro lokalitu Horka.....	84
Obr. 50: Deagrace ohrožení pro lokalitu Horka .....	85
Obr. 51: Pravděpodobnostní křivky seismického ohrožení pro lokalitu Hrádek.....	86
Obr. 52: Deagrace ohrožení pro lokalitu Hrádek. ....	87
Obr. 53: Pravděpodobnostní křivky seismického ohrožení pro lokalitu Kraví Hora. ....	88
Obr. 54: Deagrace ohrožení pro lokalitu Kraví Hora. ....	89

 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

Obr. 55: Pravděpodobnostní křivky seismického ohrožení pro lokalitu Magdaléna. ....	90
Obr. 56: Deagragace ohrožení pro lokalitu Magdaléna.....	91
Obr. 57: Pravděpodobnostní křivky seismického ohrožení pro lokalitu Temelín-jih. ....	92
Obr. 58: Deagragace ohrožení pro lokalitu Temelín-jih.....	93
Obr. 59: Srovnání křivek seismického ohrožení 50% pro všechny lokality.....	94


### Seznam tabulek:

Tab. 1: Záznamy prehistorických zemětřesení.....	35
Tab. 2: Úplnost katalogu I. Prachaře, verze IP2018.....	41
Tab. 3: Seznam seismogenních struktur (zlomů) a jejich charakteristika.....	47
Tab. 4: Tabulka obvyklých rychlostí seismických vln v horninách (převzato z podkladu [L. 17]).....	55
Tab. 5: Model A1 Přehled zdrojových oblastí a hodnot a,b, $M_{max}$ .....	67
Tab. 6: Model A2 Přehled zdrojových oblastí a hodnot a,b, $M_{max}$ .....	68
Tab. 7: Model F1 Přehled zdrojových oblastí a hodnot a,b, $M_{max}$ .....	71

 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

### Seznam použitých zkratk:

IAEA	Mezinárodní agentura pro atomovou energii
WENRA	Asociace západoevropských jaderných dozorců
HÚ	hlubinné úložiště
ČR	Česká republika
Mw	momentové magnitudo
PSHA	Probabilistic seismic hazard assessment
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
EDU	Jaderná elektrárna Dukovany
ETE	Jaderná elektrárna Temelín

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

## Abstrakt

Byl proveden odhad seismického ohrožení devíti lokalit potenciálních pro umístění HÚ v ČR. Metodika se řídí podle vyhlášky 378/2016 Sb. §5 a také bezpečnostními návody, které vydává MAAE. Byl použit pravděpodobnostní přístup. Byl zkompileován katalog historických zemětřesení pro region do vzdálenosti 300 km od lokalit s dolním magnitudovým limitem 3,9. Paleoseismologické studie byly rovněž uvažovány. Byla provedena deklasterizace katalogu a určeny meze úplnosti katalogu zemětřesení. Zdrojové zóny byly vymezeny s použitím dvou přístupů, jako plošné zóny a jako lineární zóny. Byly určeny parametry Gutenberg-Richterova četnostního rozdělení  $a, b, M_{max}$ . Bylo vybráno osm útlumových vztahů (GMPE) pro stabilní oblasti s mělkou seismicitou. Výpočty byly prováděny pomocí programu OpenQuake. Spodní hranice roční četnosti byla uvažována  $10^{-6}$  a byly určeny křivky seismického ohrožení pro kvantily 16%, 50%, 84% a průměr. Deagregace seismického ohrožení byla součástí výpočtu. Srovnání výsledků ukázalo, že seismické ohrožení je nejvyšší pro dvě lokality (ČE a EDU), nejnižší je pro lokalitu HR. Úroveň seismického ohrožení je mírná pro všechny oblasti a žádnou z lokalit nelze vyloučit z výběrového procesu kvůli seismickému ohrožení.


**Klíčová slova:** Seismické ohrožení, pravděpodobnostní metoda, hlubinné úložiště

## Abstract

Seismic hazard assessment was computed for nine potential sites of the DGR in the Czech Republic. The methodology is directed by the Decree No. 378/2016 Sb. of CR's laws, §5 and also by the Safety Standards of IAEA. Probabilistic approach was implemented. The Catalog of historical earthquakes was compiled in the region up to 300 km from the sites with lower magnitude limit of 3.9. Paleoseismological data were also considered. Declustering of the catalog was performed and the earthquake catalog completeness was determined. Source zones were delineated using two approaches – areal zones and linear zones. The parameters of Gutenberg-Richter law  $a, b, M_{max}$  were determined. Eight ground motion prediction equations were selected for a stable shallow crust. The computation was made with help of the OpenQuake software. The probability limit was  $10^{-6}$  and seismic hazard curves of percentile 16%, 50%, 84% and mean were constructed. Deaggregation of seismic hazard was part of the computation. The comparison of results show that the seismic hazard is the highest for two localities (CE, EDU) and lowest for locality HR. The level of seismic hazard is moderate for all sites and none of the locality must be excluded from the selection process for the reason of high seismicity.

**Key words:** Seismic hazard, probabilistic method, deep geological repository



 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

# 1 HODNOCENÍ SEISMICKÉHO OHROŽENÍ JADERNÝCH ZAŘÍZENÍ

## 1.1 Požadavky a kritéria

Požadavky na hodnocení výskytu zemětřesení a s ním spojeného ohrožení jaderných zařízení jsou dány ustanovením § 5 vyhlášky SÚJB č. 378/2016 Sb. [L. 1] a čl. 3.1 až 3.4 standardu IAEA NS-R-3 [L. 2]. Podrobně jsou požadavky na hodnocení výskytu zemětřesení specifikovány v bezpečnostním standardu IAEA SSG-9 [L. 2]. Požadavky na hodnocení zemětřesení, resp. seismotektonických hazardů, jsou rovněž uvedeny v dokumentech WENRA (Western European Nuclear Regulators' Association) - viz [L. 6], [L. 7], [L. 8] a [L. 9].

### 1.1.1 Požadavky vyhlášky SÚJB č. 378/2016 Sb.


V § 5 vyhlášky SÚJB č. 378/2016 Sb. [L. 1] jsou požadavky na hodnocení seismicity shrnuty do 6 bodů (písm. a) až f) vyhlášky), kde je uvedena povinnost provést hodnocení:

- a) do vzdálenosti 300 km,
- b) zahrnout zejména zemětřesení, která mají epicentrum do 25 km, přičemž posuzování území k umístění jaderného zařízení z hlediska této seismicity musí využívat údaje z lokální sítě seismických stanic s vysokou citlivostí,
- c) pro území podle písmene a) sestavit databázi obsahující geologická, tektonická, geofyzikální a seismologická data o tomto území, včetně údajů o prehistorických, historických a přístrojově zaznamenaných zemětřeseních,
- d) využít seismotektonický model území podle písmene a),
- e) využít seismotektonický model místních geologických podmínek na pozemku jaderného zařízení a
- f) zahrnout pravděpodobnostní odhad seismického ohrožení formou určení četnosti výskytu seismických kmitů v závislosti na jejich velikosti na pozemku jaderného zařízení, zejména s využitím maximální amplitudy a spektra odezvy zrychlení seismického pohybu.

### 1.1.2 Požadavky standardu IAEA NS-R-3

Ve standardu IAEA NS-R-3 [L. 2] jsou požadavky specifikovány ve čtyřech článcích standardu následovně:

- 3.1 Musí být zhodnoceny seismologické a geologické podmínky v regionu a inženýrsko-geologické aspekty a geotechnické aspekty pozemku navrženého pro umístění.
- 3.2 Musí být shromážděny a zdokumentovány údaje o prehistorických, historických a instrumentálně zaznamenaných zemětřeseních v regionu.
- 3.3 Musí být pomocí seismotektonického hodnocení stanovena rizika spojená se seismicitou regionu s využitím co možná největšího množství shromážděných dat.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

3.4 Pro pozemek musí být určena hodnota zrychlení půdy vyvolaného zemětřesením, a to se zahrnutím seismotektonické charakteristiky regionu a místně specifických podmínek. Jako součást hodnocení seismického rizika musí být provedena důkladná analýza nejistot.

### 1.1.3 Kritéria

Pro posouzení výskytu zemětřesení v regionech jaderných zařízení není v klíčových dokumentech (vyhláška SÚJB č. 378/2016 Sb. [L. 1], standard IAEA NS-R-3 [L. 2] a SSG-35 [L. 4]) stanoveno žádné vylučující kritérium.

## 1.2 Přístup k hodnocení


Ve standardu IAEA SSG-9 [L. 3] se doporučuje, pokud možno, využít pravděpodobnostní a deterministický způsob stanovení seismického ohrožení. S ohledem na současnou mezinárodní praxi je však ve většině zemí preferován pravděpodobnostní přístup (PSHA). Deterministický přístup, založený na stanovení hraničních hodnot (Seismic Margin Assessment – SMA), je používán, v souladu s návodem SSG-9, jako kontrola rozumnosti výsledku PSHA.

Při hodnocení lokalit zvažovaných k umístění HÚ byl použit pravděpodobnostní přístup (PSHA). V současné době jsou autoři hodnocení zapojeni v mezinárodním projektu SIGMA 2 (<http://www.sigma-2.net>), který je zaměřen na zdokonalení metodologických postupů PSHA. Tyto zkušenosti bude možné aplikovat až v hodnoceních PSHA po roce 2019.

Použitý postup, který je možné považovat za „state of art“, je založen na podrobné analýze regionu hodnoceného jaderného zařízení a na důkladném vypořádání epistemických nejistot. Epistemické nejistoty jsou vypořádány začleněním alternativních seismotektonických modelů, postupů určení  $M_{max}$  a útlumových vztahů do logického stromu PSHA.

Při PSHA byla respektována struktura analýzy uvedená v čl. 6.3 standardu IAEA SSG-9 [L. 3], ve kterém jsou doporučeny následující kroky analýzy:

- (1) Zhodnocení seismotektonického modelu regionu z hlediska vymezení zdrojových oblastí a se zahrnutím nejistot jejich vymezení a velikosti.
- (2) Stanovení maximálního možného magnitudy pro každou oblast, četnosti výskytu zemětřesení za jednotku času a typu magnitudo-frekvenční závislosti, spolu s nejistotou spojenou s jejich ohodnocením.
- (3) Výběr útlumových vztahů platných pro daný region a hodnocení nejistoty, jak pro střední hodnotu, tak proměnlivosti kmitání půdy jako funkce magnitudy zemětřesení a vzdálenosti jaderného zařízení od zdroje tohoto zemětřesení.
- (4) Provedení výpočtu seismického ohrožení.
- (5) Zhodnocení odezvy podloží.

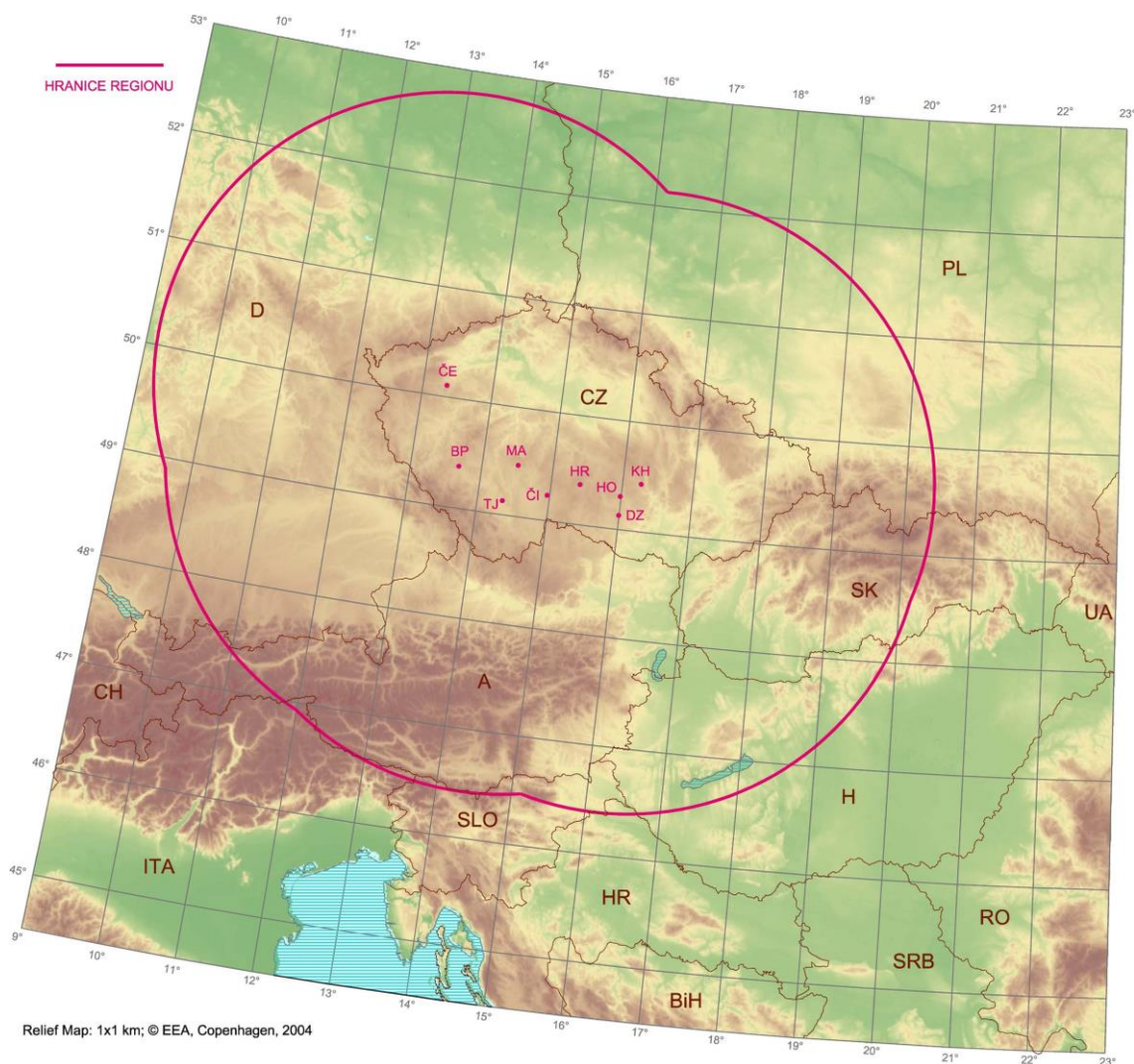
 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

Významným požadavkem standardů IAEA ([L. 2], [L. 3]) je vyhodnocení nejistot. Při vlastní analýze seismického ohrožení je nutné se zabývat dvěma typy nejistot – náhodnými (aleatory) a vědomostními (epistemic). Náhodná nejistota představuje přirozenou náhodnost v procesu generování zemětřesení a seismických vln a vyjadřujeme jí pomocí průměrné roční pravděpodobnosti. Vědomostní nejistota je nejistota v modelování procesu, což je dáno omezeními v datech i našich znalostech. Vědomostní nejistotu lze popsat alternativními modely podle logického stromu a vyjádřit ji pomocí kvantilů v křivkách seismického ohrožení.

Tento postup je doporučen v čl. 6.4 standardu IAEA SSG-9 ([L. 3]), kde je doporučeno sestavení logického stromu jako přijatelná metoda, jak zohlednit vědomostní (epistemické) nejistoty. Logický strom může být zahrnut do výpočtu buď pomocí kompletního výčtu větví logického stromu, nebo pomocí Monte Carlo simulace. K vyjádření nejistoty je dále doporučeno použít křivky seismického ohrožení – a to kvantily 16%, 50% (mean), 84%, a medián.

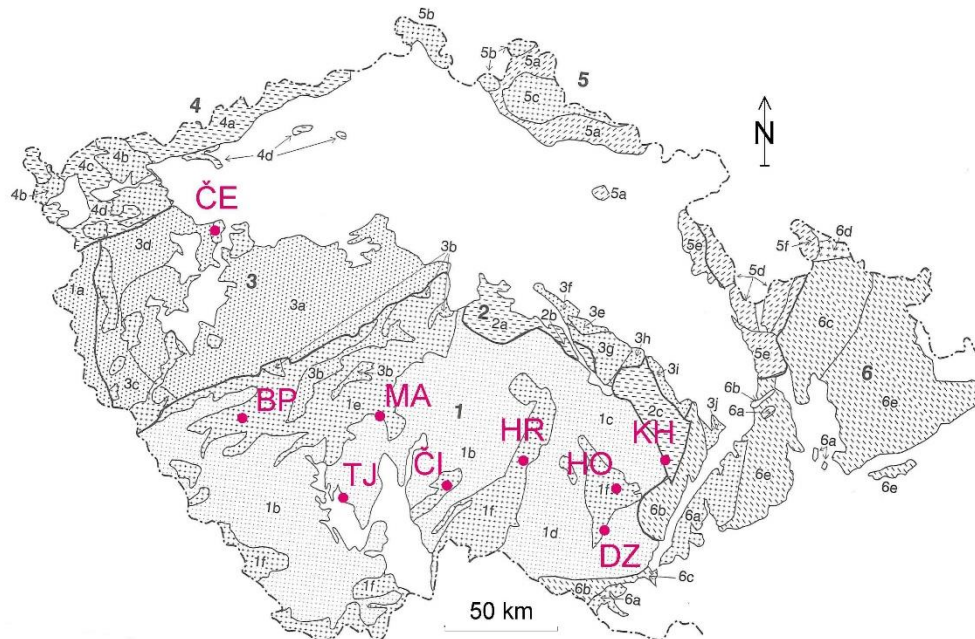
## 2 ZHODNOCENÍ REGIONU LOKALIT HÚ

V souladu s ustanovením § 5, písm. a) vyhlášky SÚJB č. 378/2016 Sb. [L. 1] a doporučení dle čl. 3.7 standardu IAEA SSG-9 [L. 3] byl region jednotlivých lokalit zvažovaných pro umístění HÚ stanoven jako oblast do 300 km od lokality HÚ. Analogicky, jako v případě českých jaderných elektráren Temelín a Dukovany, byl i pro lokality HÚ vymezen jeden společný region. Poloha jednotlivých lokalit zvažovaných pro umístění HÚ a hranice společného regionu vyplývají z Obr. 1.



Obr. 1: Vymezení regionu HÚ s vyznačením jednotlivých lokalit: ČE – Čertovka; BP – Březový potok; MA – Magdaléna; TJ – Temelín-jih; ČI – Čihadlo; HR – Hrádek; KH – Kraví hora; HO – Horka; DZ – Dukovany-západ. Polygon vymezený liniemi 44,5°-53°N; 9°E a 44,5°-53°N; 23°E představuje oblast pokrytou kompilovaným regionálním katalogem zemětřesení IP-CAT používaným pro účely PSHA českých jaderných elektráren. Zobrazeno na mapě reliéfu Evropy, European Environment Agency, 2004.

Lokality HÚ se nacházejí v Českém masivu. Jak vyplývá z Obr. 2, většina lokalit leží na území budovaném moldanubickou jednotkou (označena č. 1 na Obr. 2). Výjimkou jsou lokality Čertovka, která leží na území bohemika (č. 3) a Kraví hora, která se nachází na hranici mezi moldanubickou a kutnohorsko-svrateckou. Vyjma lokality Kraví hora a Temelín-jih, všechny polygony se nacházejí v územích budovaných granitoidními horninami.



Obr. 2: Regionální geologické dělení krystalinických a varisky zvrásněných jednotek Českého masivu s vyznačením lokalit vybraných pro umístění HÚ (obrázek jednotek převzat z podkladu [L. 45]).

Označení jednotek: m. - moldanubikum, k. - krystalinikum, prot. - proterozoikum, pal. - paleozoikum. 1 - oblast moldanubická; 1a - m. Českého lesa, 1b - m. Šumavy a jižních Čech, 1c - strážecké m., 1d - m. západní Moravy, 1e - středočeský pluton, 1f - moldanubický pluton; 2 - oblast kutnohorsko-svratecká; 2a - kutnohorské k., 2b - čáslavské k., 2c - svratecké k.; 3 - oblast středočeská (= bohemikum); 3a - Barrandien, 3b - metamorfované „ostrovy“, 3c - domažlické k., 3d - tepelské k., 3e - chrudimské pal., 3f - železnohorské prot., 3g - železnohorský pluton, 3h - hlinské pal. a prot., 3i - poličské k., 3j - letovické k.; 4 - oblast sasko-durynská: 4a - krušnohorské k., 4b - krušnohorský pluton, 4c - durynsko-vogtlandské pal., 4d - výskyty krystalinika v oherském riftu; 5 - oblast západosudetská (lužická): 5a - krkonošsko-jizerské k., 5b - lužický pluton, 5c - krkonošsko-jizerský masiv, 5d - orlicko-sněžnické k., 5e - zábřežské k., 5f - staroměstské k.; 6 - oblast moravskoslezská: 6a - brunovistulikum (brněnský a dyjský masiv), 6b - moravikum, 6c - silesikum, 6d - žulovský masiv, 6e - moravskoslezské pal.

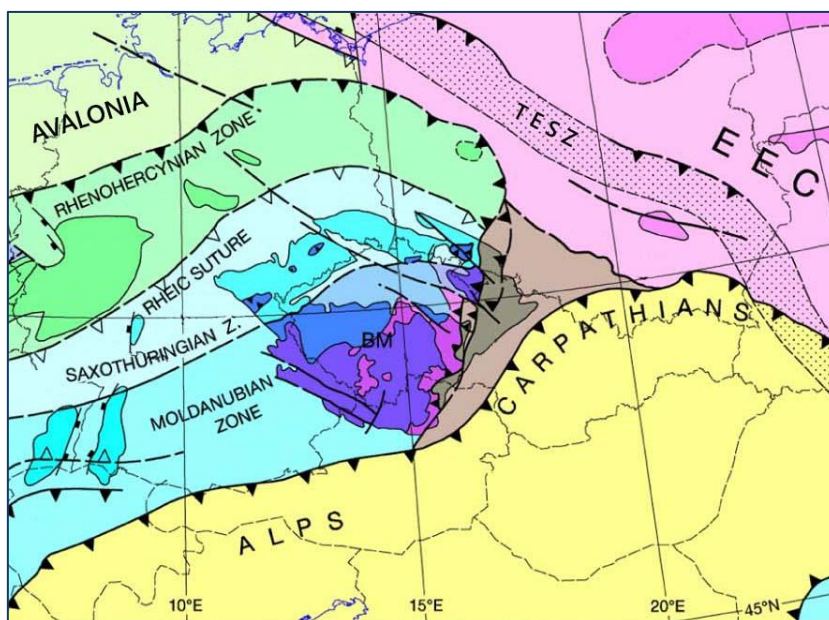
Označení lokalit: BP – Březový potok, ČE – Čertovka, ČI – Čihadlo, DZ – Dukovany Západ, HO – Horka, HR – Hrádek, KH – Kraví Hora, MA – Magdaléna, TJ – Temelín Jih.

## 2.1 Geologická stavba regionu

Region HÚ (viz Obr. 1) pokrývá dvě základní jednotky geologické stavby Evropy – Evropské variscidy a alpsko-karpatské pohoří. Na jihovýchodě a východě region HÚ ještě významně zasahuje do oblasti Panonských pánví a na jihu zasahuje až k hranici adriatické předhlubně a Dinarid. Lokality zvolené pro umístění HÚ jsou situovány v Českém masivu, který je součástí východní větve evropských variscid (hercynid).

### 2.1.1 Evropské variscidy

Evropské variscidy jsou zbytkem široké, vyvrásněné, mobilní zóny vklíněné mezi východoevropskou čili fenosarmatskou platformu<sup>1</sup> (EEC) a mezi severní okraj evropských Alpid (viz Obr. 3). Vnitřní stavba variscid byla vytvořena během variské orogeneze, jako výsledek uzavření Rheického oceánu po kolizi dvou paleokontinentů ve svrchním paleozoiku - Gondwany na jihu a Laurussie na severu. Severovýchodní hranici této paleozoické platformy tvoří transevropská suturní zóna<sup>2</sup> (TESZ), která ji odděluje od starší východoevropské platformy (EEC).




Obr. 3: Základní strukturální schéma střední Evropy. Převzato z podkladu [L. 60]). Legenda: BM – Český masiv, EEC – východoevropská platforma, TESZ – transevropská suturní zóna.

Variský geotektonický cyklus proběhl v zájmovém regionu v úplném rozsahu, od sedimentace sedimentů devonu a spodního karbonu v moravskoslezské oblasti, včetně bazického vulkanismu, přes vznik plutonů až k molasové<sup>3</sup> sedimentaci v hornoslezské černouhelné pánvi. V závěru

<sup>1</sup> Platforma – stabilizovaný úsek zemské kůry se slabší tektonickou aktivitou a menším gradientem pohybů.

<sup>2</sup> Sutura - linie, podle níž se spojily kratóny (stabilní jádra litosférických desek) při srážce kontinentů.

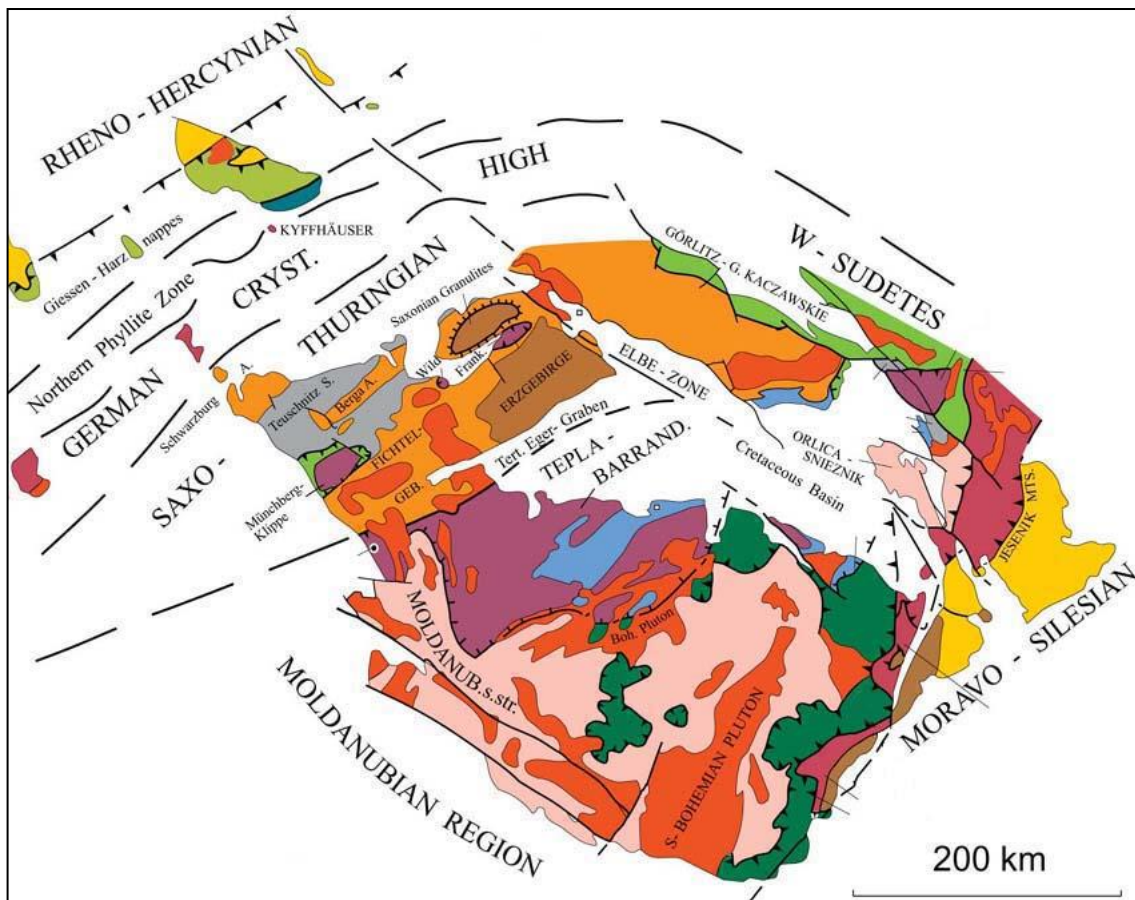
<sup>3</sup> Molasa – komplex sedimentů odpovídající závěrečné fázi orogenního cyklu.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

variského cyklu se vytvořily limnické permo-karbonských pánve. Celý variský cyklus byl tak zákonitě uzavřen vytvořením mladé epivariské platformy.

Rozdělení variscid střední Evropy na regionální geologické jednotky odráží jejich geotektonický vývoj a respektuje jejich vlastnosti, jako je charakter svrchní kůry, hloubka Moho diskontinuity, tíhové a magnetické anomálie a průběh hlavních zlomových systémů. Z globálního pohledu lze odkázat na podklad [L. 67], v detailním pohledu na Český masiv pak na podklady [L. 45] nebo [L. 62].

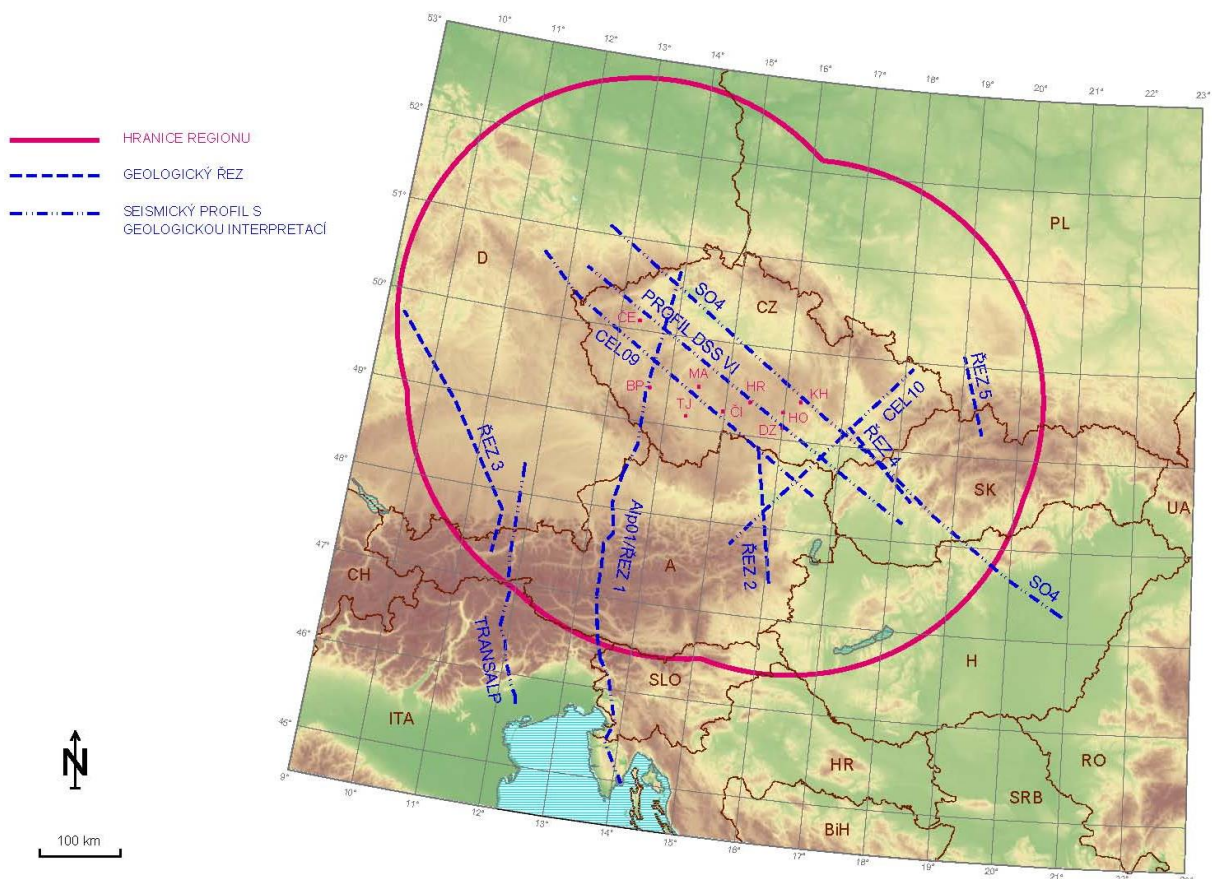
Region HÚ pokrývá několik zón variského orogenního pásma, od jihu k severu: moldanubická, saxothuringická, rhenohercynská, moravsko-slezská zóna a variská předhlubeň. Podrobnější charakterizace jednotlivých zón středoevropských variscid je uvedena v souhrnné studii [L. 60]. Strukturu Českého masivu názorně ukazuje též Obr. 4, převzatý z publikace [L. 22]. Na obrázku je patrné obloukovité uspořádání jednotek i přítomné hlavní zlomové systémy.



Obr. 4: Rozdělení zájmové části evropských variscid na dílčí jednotky. Převzato z podkladu [L. 22].

Vzájemné vztahy mezi jednotkami ve vertikálním směru jsou nejlépe patrné z geologických řezů a geologických interpretací hlubokých seismických profilů (viz Obr. 5). Nejstarší seismický profil DSS VI (Česká geologická služba, 1963-1979) probíhal ve směru SZ-JV v blízkosti lokalit Čertovka, Hrádek, Horka a Dukovany-západ. Novější data byla získána z výsledků projektu

"Central European Lithospheric Experiment Based on Refraction" (CELEBRATION 2000 - [L. 14]) a následného projektu SUDETES ([L. 35]). Významné jsou zejména refrakční profily CEL09 a SO4, které probíhaly paralelně s DSS VI. Jak vyplývá z Obr. 5, profil CEL09 probíhá v blízkosti lokalit Březový potok, Magdaléna, Temelín-jih a Čihadlo.; profil SO4 probíhá v blízkosti lokality Kraví hora (viz [L. 42]). Významné jsou rovněž řezy a profily probíhající přes hranici mezi variscidy a alpsko-karpatským horstvem.

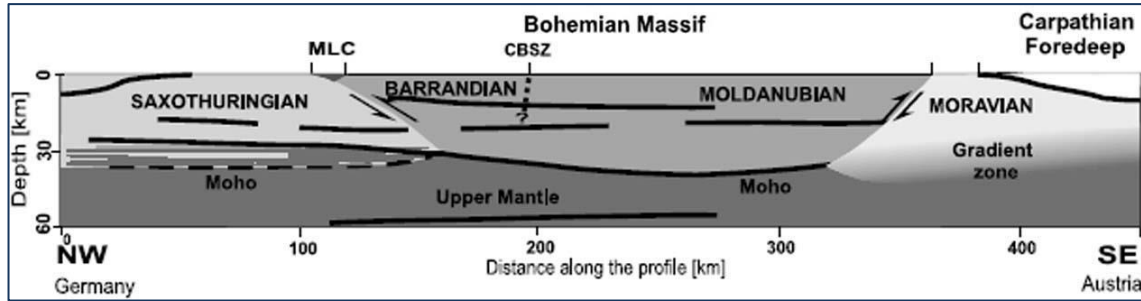


Obr. 5: Průběh vybraných geologických řezů a seismických profilů v zájmovém regionu HÚ.

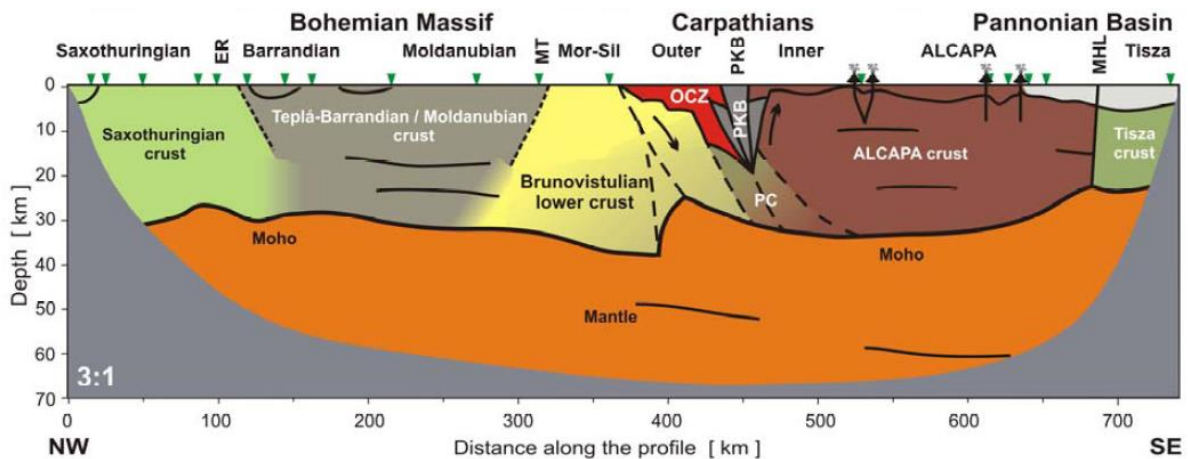
Názorně jsou vztahy mezi jednotlivými jednotkami Českého masivu znázorněny na Obr. 6 (zleva doprava): saxothuringikum s laminovanou spodní kůrou ukloněnou k severovýchodu; moldanubikum s ostrou hranicí Moho diskontinuity; moravo-silezikum (ozn. Moravian) s nezřetelnou hranicí kůry se svrchním pláštěm. Šipkami je vyznačen relativní pohyb podél kontaktních zón mezi jednotkami a je zde patrné, že moldanubický blok byl nasunut jak na saxothuringikum, tak na moravo-silezikum.

Podobný obraz poskytuje i profil SO4 (viz Obr. 7), který dále zachycuje kontaktní zónu mezi Českým masivem a pásem Karpat. Profil dále zasahuje až do oblasti Pannonské pánve s oběma bloky – Alcapa a Tisza oddělenými středomaďarskou zónou (MHL).





Obr. 6: Geologická interpretace seismického profilu CEL09. Převzato z podkladu [L. 42].



Obr. 7: Geologická interpretace seismického profilu SO4. Převzato z podkladu [L. 42].


Legenda: MT - moldanubické nasunutí; Mor-Sil - Moravo-silezikum; ER - Oherský rift; PKB - Pieninské bradlové pásmo; OCZ - Vnější karpatská zóna; MHL - Středo-maďarská zóna; PC - Pieninská kůra.

## 2.1.2 Alpy

Alpinské vrásnění ovlivnilo během paleogénu a neogénu (před 65,5 - 2,6 mil. lety) širokou oblast jižní Evropy a Středomoří. Alpy vytvářejí výrazný horský oblouk mezi pobřežím Janovského zálivu a Panonskou nížinou. V podloží Vídeňské pánve na ně navazuje karpatský oblouk. Vznik oblouku a tektonická stavba Alp byla dána vysunutím apulské (adriatické) desky směrem k SZ a její kolizí s evropskou deskou v období svrchní jury (cca 150 Ma). Mobilní oblast (geosynklinála) Tethys se začala formovat v průběhu permu (mořská sedimentace s převahou karbonátů) a její vývoj pokračoval v triasu sedimentací pelagických formací a vulkanismem. V juře se mobilní oblast přesunula k severozápadu do prostoru Penninského oceánu, v kolizní zóně Tethys se začaly vytvářet rané alpínské příkrovy, jejichž zformování proběhlo ve střední křídě. Zároveň se v předpolí příkrovů vytvořil flyšový<sup>4</sup> trog<sup>5</sup> a sedimentační oblast okrajového šelfu helvetika.

<sup>4</sup> Flyš – v geotektonickém významu sedimenty uzavírajících se geosynklinál.

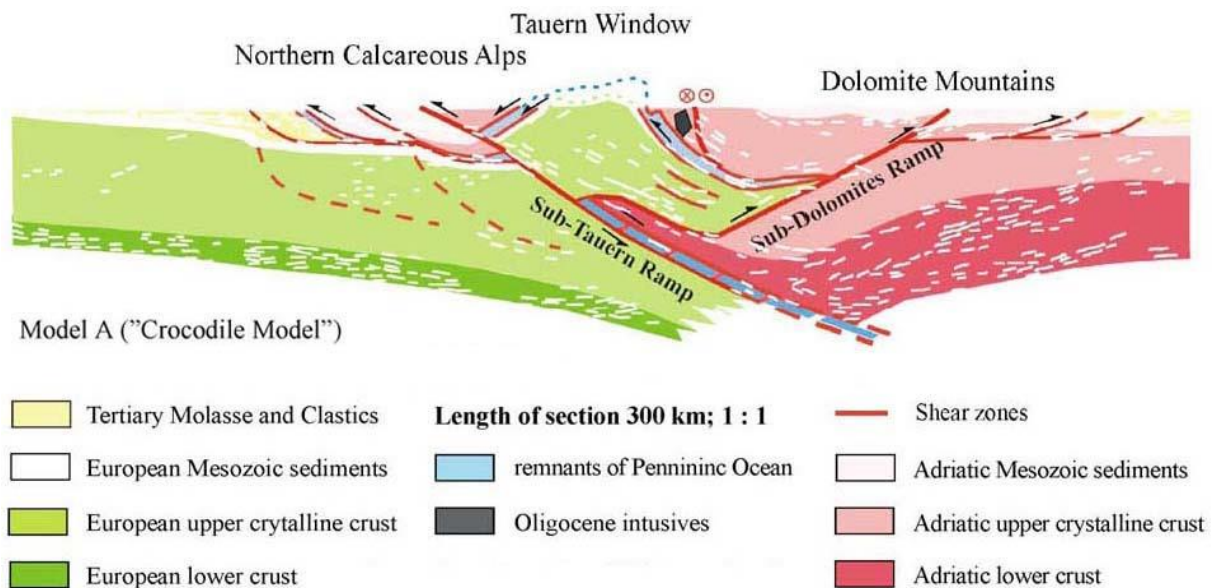
<sup>5</sup> Trog – příkop, hluboká brázda

 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

V oligocénu a miocénu proběhla druhá fáze formování příkrovové stavby Alp, kdy adriatická mikrodéska posunula kompletní strukturu alpských příkrovů k severu (viz [L. 63]). Příkrovy byly přesunuty od jihovýchodu přes helvetský šelf až na okraj (severo) evropské platformy.

Alpínskou příkrovovou stavbu lze nejlépe znázornit na zjednodušených geologických řezech, které byly sestaveny na základě hlubokých seismických profilů (viz např. projekty TRANSALP nebo CELEBRATION 2000). Velmi ilustrativní řez je uveden v publikaci projektu TRANSALP ([L. 59]), který je označen jako „Crocodile-type“ model (viz Obr. 8). Obdobný řez Alp01 (viz Obr. 9) je uveden ve výstupech z projektu ALP 2002 Seismic Experiment ([L. 20]). Oba řezy přetínají Východní Alpy a jsou vedeny s.-j. směrem přes taurské okno.

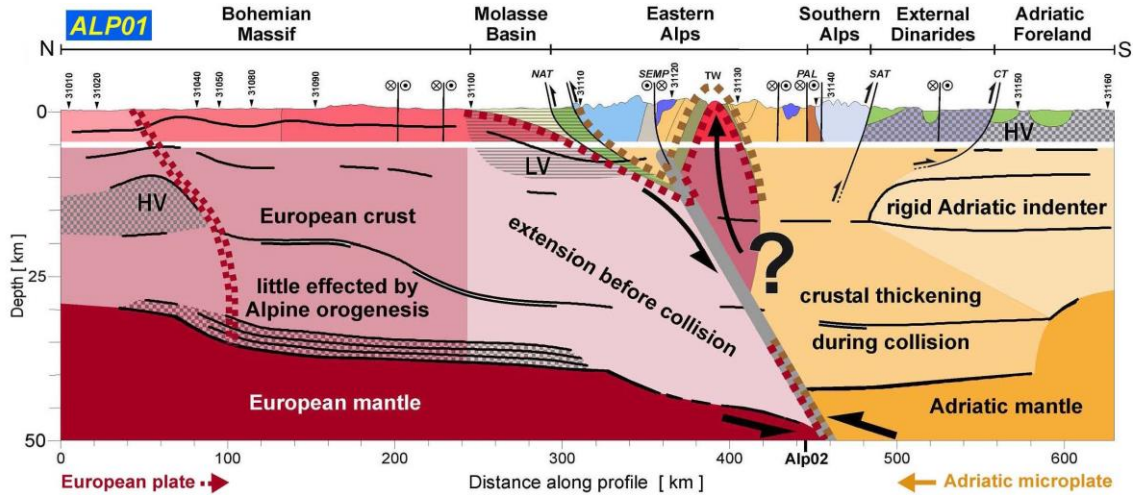
Podpovrchový styk Alp a jejich platformního předpolí je plochý. Tvoří jej ploché tektonické nasunutí příkrovů a dalších jednotek Alp na jižní okraj evropské platformy. Dle geofyzikálních dat se evropská platforma noří hluboko a daleko pod Alpy, které dosahují mocnosti až 55 km. Z Obr. 8 je patrná i 80 - 100 km dlouhá rampa ukloněná k jihu, která zapadá pod Taury, a druhá pod Dolomity. Sub-tauerskou rampu doprovází zbytek podsunuté kůry Penninského oceánu. Sub-tauerská rampa vychází na povrch v údolí Innu a druhá jako příkrov Valsugana na jihu. Obě rampy jsou spojeny se zvýšenou seismicitou.



Obr. 8: Strukturální a evoluční model Alpského orogénu. Upraveno dle profilu TRANSALP ([L. 59]).

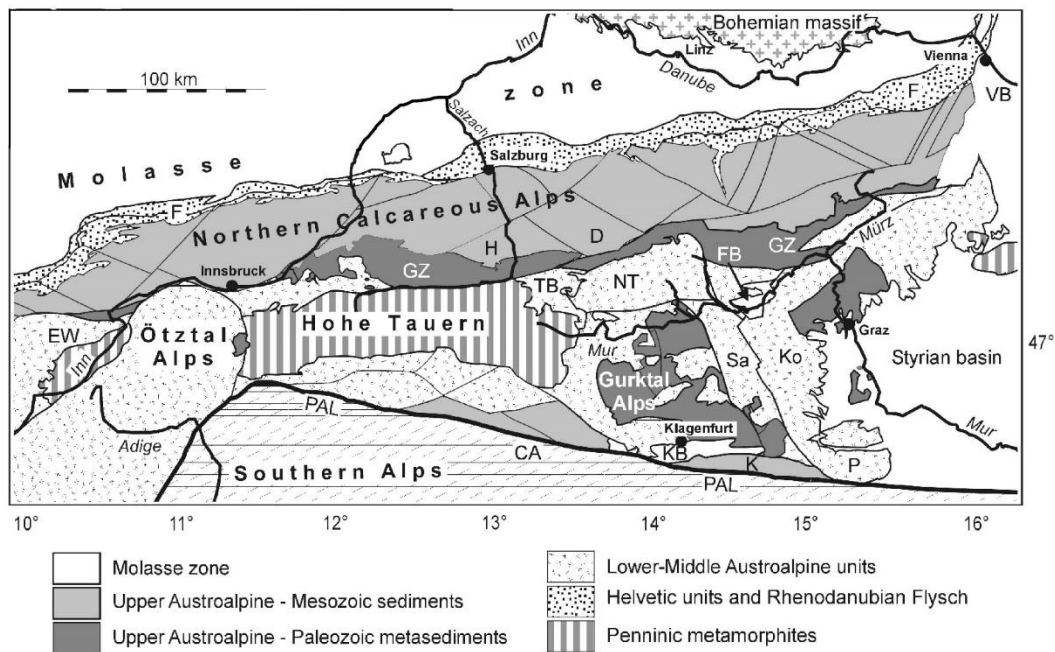
Povrchová hranice Alp je na severu spojována s okrajem zvrásněných formací alpsko-karpatského horstva a je označována jako alpská fronta.

Bloková stavba Alp a jejich rozdělení do strukturálních jednotek je popsáno v podkladu [L. 60] a přibližuje jej též Obr. 10.




Obr. 9: Strukturální a evoluční model alpské příkrovové stavby označený jako "lateral extrusion model". Převzato z podkladu [L. 20].

Legenda: HV - oblasti s relativně vyššími rychlostmi a LV s nízkými rychlostmi. TW - Tauerští okno; Zlomy: NAT - Severní alpské nasunutí; SEMP - Zlom Salzach-Enns-Mariazell-Puchberg; PAL - Periadriatický lineament; SAT - Jižní alpské nasunutí (Valsugana thrust); CT - Cicarija thrust.



Obr. 10: Základní strukturální jednotky Východních Alp. Převzato z podkladu [L. 79].

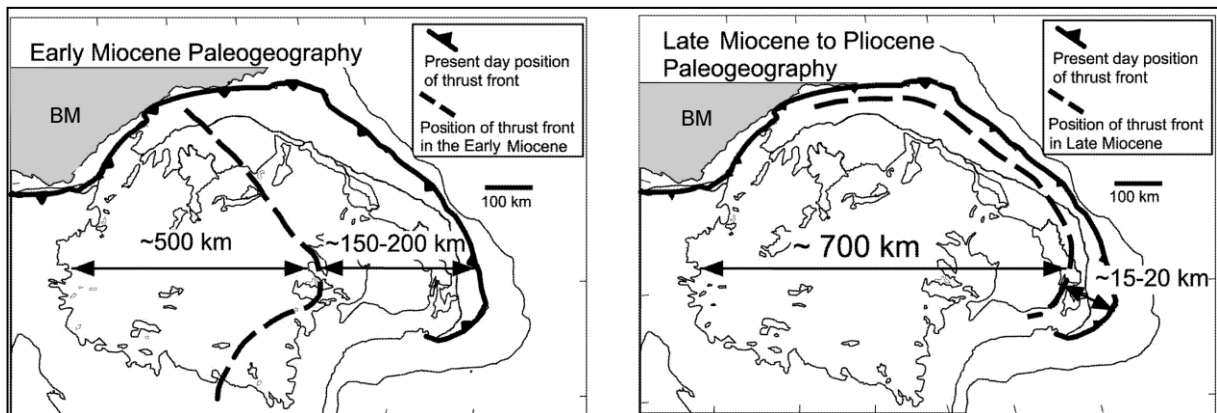
Legenda: CA: Karnské Alpy, D: Dachstein, EW: Engadinské okno, F: Flyšová zóna, FB: Fohnsdorfská pánev, GZ: „Grauwacke“ zóna, H: Hochkönig, K: Karawanky, KB: Klagenfurtská pánev, Ko: Koralpe, NT: Dolní Taury, P: Pohorje, PAL: Periadriatický lineament, Sa: Saualpe, TB: Tamswegská pánev, VB: Vídeňská pánev.

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

### 2.1.3 Západní Karpaty

Západní Karpaty tvoří horský oblouk ve východním pokračování Alp. Za severní hranici Západních Karpat je pokládáno čelo flyšových příkrovů, kterým jsou Západní Karpaty odděleny od karpatské předhlubně. Na českém území hranice probíhá přibližně v linii Znojmo - Přerov - Karviná. Jižní hranice není výrazná a vytváří prstovité výběžky Karpat do nitra Panonské nížiny. Současné uspořádání Západních Karpat, Východních Alp a Českého masivu se vytvořilo v průběhu spodního a středního miocénu, kdy Západní Karpaty dokončily posun k severu až severovýchodu, ven z alpské kolizní zóny. Tento posun byl doprovázen levostranným horizontálním posunem v sv. - jz. směru, levostrannou rotací rigidních bloků tatrického fundamentu, odsunutím některých příkrovů a otevřením sedimentačního prostoru Vídeňské pánve (viz Obr. 11). Dokladem pohybu fragmentů Západních Karpat sv. - jz. směrem je průběh lineamentu Mur-Mürz-Leitha a západní části peripieninského lineamentu.

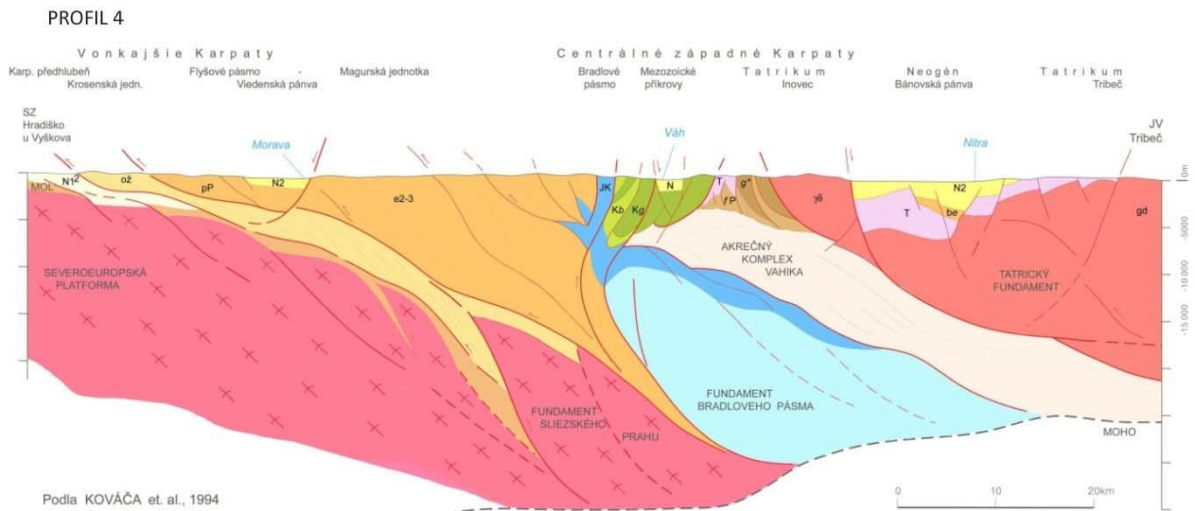
Podrobnější charakterizace jednotlivých jednotek Západních Karpat je uvedena v souhrnné studii [L. 60].



Obr. 11: Paleogeografická rekonstrukce postupu západokarpatské fronty během neogénu. Převzato z podkladu [L. 44].

Z hlediska hodnocení seismického ohrožení lokalit HÚ, které leží ve východní části Českého masivu, je nejvýznamnější oblast styku Českého masivu a Západních Karpat. Tato hranice má charakter násunu Západních Karpat na okraj (severo) evropské platformy. Strukturu této "přechodné zóny" nejlépe vystihuje hluboký seismický profil SO4 (viz [L. 43] a Obr. 7), který má příznivý směr a přetíná tak všechny významné tektonické zóny Západních Karpat i Českého masivu. V geologické interpretaci profilu představuje nejstarší segment této zóny brunovistulikum, které tvoří podloží karpatského akrečního klínu. Zóna má komplikovanou příkrovovou stavbu obsahující relikty tří orogenních cyklů.

Detailněji je struktura přechodné zóny znázorněna na geologickém řezu vytvořeném na základě podkladu [L. 54] (viz Obr. 12).



Obr. 12: Geologický řez přechodnou zónou mezi Českým masivem a Západními Karpaty. Upraveno z podkladu [L. 54].


## 2.1.4 Panonské pánve

Systém Panonských pánví pokrývá celé území Maďarska a zasahuje na území všech jeho sousedů (viz Obr. 13). Na západě systém pánví sousedí s Alpami, na severu a východě s Karpaty a na jihu s Dinaridy. Na území České republiky, na východní okraj Českého masivu, zasahuje tento systém svou dílčí částí, Vídeňskou pánví. Do regionu HÚ též zasahuje další dílčí část, Dunajská pánev.

### 2.1.4.1 Vídeňská pánev

Vídeňská pánev je rozsáhlou neogenní vnitrohorskou pánví, která leží na styčné zóně Východních Alp a Západních Karpat. Z Rakouska, kterému náleží největší část jejího území, zasahuje na jv. Moravu a jz. Slovensko. Je asi 200 km dlouhá, 55 km široká, prostírá se od Gloggnitz v Dolním Rakousku na JJZ až k Napajedelské bráně na SSV. Její nepravidelný tvar způsobují okrajové lineárně protažené dílčí deprese. Na území České republiky je to 30—40 km dlouhý a 10—15 km široký hradištský příkop, který se prakticky kryje s územím Dolnomoravského úvalu.

Vídeňská pánev se vytvářela od eggenburgu až do spodního badenu jako tzv. nesená pánev (piggy-back basin), která byla spolu se svým alpinotypním příkrovovým podkladem sunuta v sávké a štýrské orogenetické fázi na krystalinikum brunovistulika. To, spolu s jeho sedimentárním obalem tvoří krystalinické podloží. V podloží neogenní výplně pánve leží též příkrovy Východních Alp a Západních Karpat. Od středního badenu pokračoval její vývoj jako pánev typu pull-apart formovanou podél levostranného zlomového systému v průběhu bočního vytlačování Východních Alp.

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018


Vídeňská pánev představuje poměrně členitý sedimentační prostor s několika depozičními centry: centrální, kútskou schwechatskou depresí a zohorsko-plaveckým příkopem. Neogenní výplň vídeňské pánve zahrnuje pestrý sled mořských a terestrických sedimentů eggenburgu až pliocénu. Maximální mocnost výplně dosahuje až 5 500 m. Tento horninový komplex zakrývají kvartérní říční pisky a štěrky, místy s jezerními a močálovými uloženinami, a místy též mocné naváté eolické sedimenty.

Během svého vývoje byla vídeňská pánev většinou propojena s alpsko-karpatskou předhlubní a až do pliocénu také s dunajskou a panonskou pánví, kam jsou její povrchové toky odváděny dodnes.

Aktivita řady zlomů ve vídeňské pánvi přetrvávala až do recentu. Např. u jihovýchodního okrajovém zlomu vídeňské pánve je odhadována vysoká rychlost horizontálního pohybu v období středního pleistocénu až po recent s hodnotou 1.6-2.5 mm/rok (viz [L. 23]). Jejich recentní pohybová aktivita se projevuje zvýšenou prehistorickou i současnou seismicitou (viz např. [L. 38], [L. 24]).



Obr. 13: Přehledná mapka panonských pánví. Převzato z podkladu [L. 26].

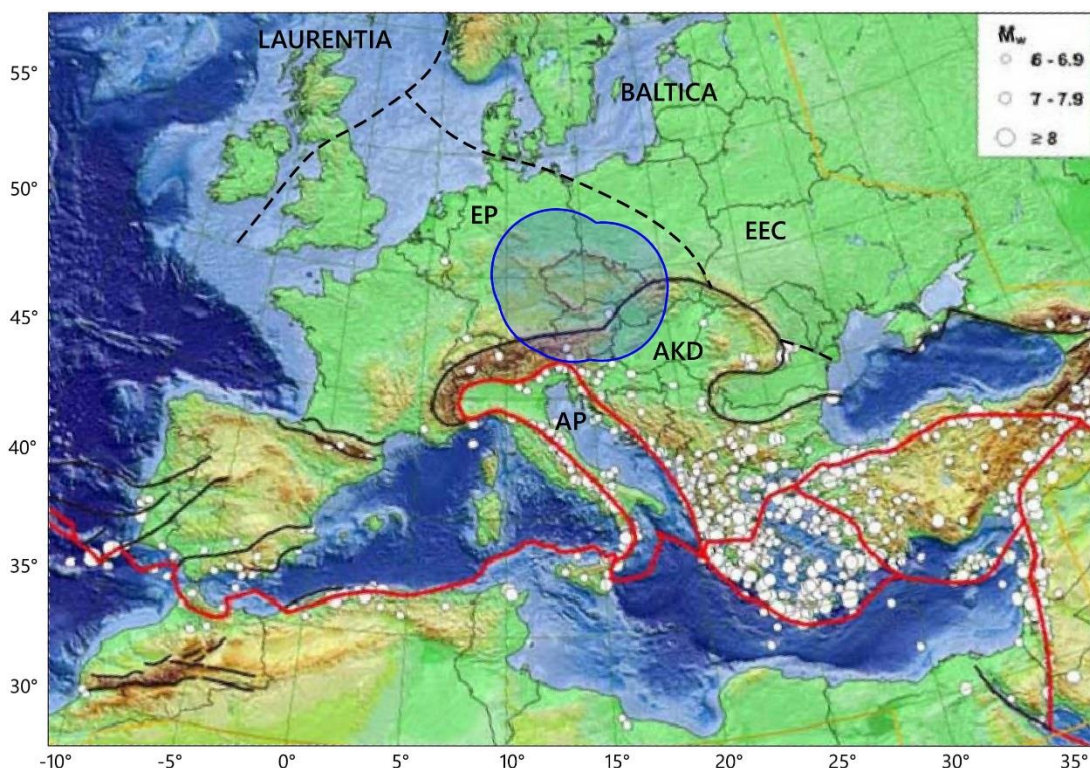
 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

#### 2.1.4.2 Dunajská pánev

Dunajská pánev je situována v oblasti alpsko-karpato-panonského styku. Na JZ hraničí s oblastí východních Alp, na západě a severozápadě je omezena hrástí Malých Karpat a směrem k severu prstovitě vybíhá do dílčích depresí: blatnianské, rišňovské a komjatické, které jsou navzájem odděleny hrástěmi Povážského Inovce a Tríbeče. V centrální části se pak nachází deprese gabčíkovská a železovská. Východní okraj pánve tvoří oblast středoslovenských neovulkanitů a na JV Transdunajské středohoří. Sedimentární výplň pánve tvoří mořské, brakické, jezerní i říční sedimenty egenburg-otnangu až pliocénu o maximální mocnosti celého sledu až 8500 m.

## 2.2 Seismicita regionu HÚ

Seismotektonický model regionu HÚ vychází z rozdělení evropského kontinentu na hlavní seismotektonické domény. Seismotektonická doména je chápána jako celistvý a jednotný blok litosféry, který náleží k jedné orogenní fázi, s quazi-homogenními geodynamickými podmínkami i výskytem silných zemětřesení. Vzájemné vztahy mezi stabilní (severo) evropskou platformou, alpsko-karpatsko-dinarským horstvem a středomořskou kolizní zónou umožňují v regionu HÚ vymezit 3 hlavní seismotektonické domény. Toto rozdělení lze též podpořit četností výskytu silných zemětřesení (viz Obr. 14 a studie [L. 33]).



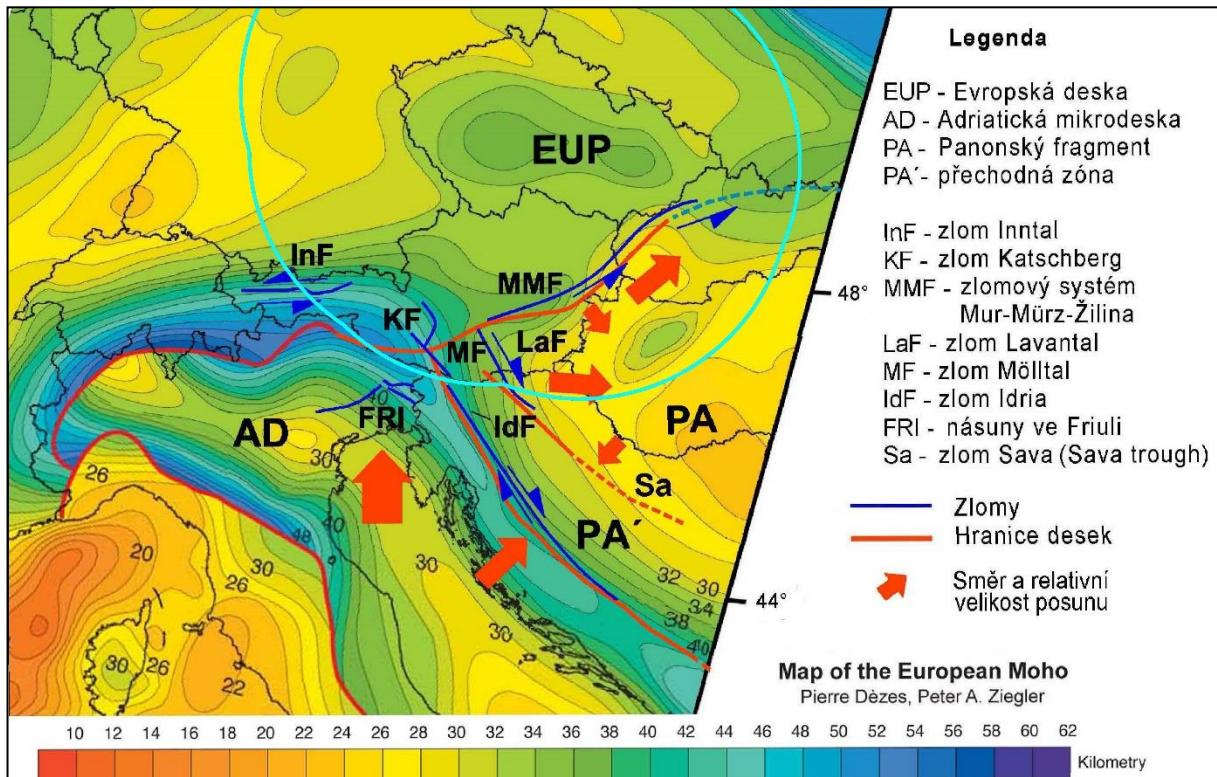
Obr. 14: Hlavní seismotektonické domény v regionu HÚ a v jeho okolí. Převzato z podkladu [L. 33].

Legenda: EP - evropská platforma; EEC - východoevropská platforma; AKD - alpsko-karpatsko-dinarský systém; AP - apulská (adriatická) mikrotectonika. Modré zvýraznění - region HÚ - 300 km. Bílé body představují ohniska zemětřesení s magnitudem 6 a větším uvedené v katalogu EMEC (European-Mediterranean Earthquake Catalogue).

Geodynamická situace v jižní části regionu HÚ a v jeho širším okolí se významně projevuje v seismicitě této oblasti. Z fragmentace Moho diskontinuity vyplývá, že v této oblasti lze vymezit tři bloky: adriatickou mikrotectoniku (AD), evropskou desku (EUP) a panonský blok (PA) s trojným styčným bodem v jižním Rakousku (viz podklady [L. 14], [L. 19] a [L. 18]). Jak ukazuje Obr. 15, Moho diskontinuita leží pod kaledonidy a variscidy ve střední hloubce okolo 32-35 km, v oblastech riftů se kůra ztenčuje a Moho se nachází 22-25 km pod povrchem. Naproti tomu pod Alpami Moho klesá do hloubky 50 - 60 km, což svědčí o přítomnosti kořene alpského pohoří.



Zaobloukové pánve (back-arc basins), jako např. Panonské pánve, mají Moho uloženo v menší hloubce, cca 23 km pod povrchem.




Obr. 15: Geodynamický model styku AD - EUP - PA. Purpurovou čarou je vyznačena hranice regionu HÚ. Upraveno dle podkladu [L. 18]. Zobrazeno na mapě průběhu Moho diskontinuity v Evropě (viz [L. 25]).

Uvedený Brücklův geodynamický model (viz Obr. 15; [L. 18]) je založen na konvergenci evropské desky a adriatické mikrodesky v S - J směru, na vystupování tauerského okna z důvodu vertikálního vytlačování a na bočním úniku panonského fragmentu směrem k SSV. Ačkoliv tyto procesy započaly během neogénu, autor podkladu [L. 14] předpokládá, že jsou stále živé, jak ukazuje zvýšená seismická a geodeticky zaznamenané deformace.

Nejvyšší seismická byla zaznamenána v oblasti Friuli, na styku evropské desky a adriatické mikrodesky. Hypocentra zemětřesení (srov. Obr. 14) se nacházejí ve svrchní kůře a fokální mechanismy odpovídají zpětnému násunu (back-thrust) Jižních Alp a také horizontálnímu posunu. Relativně vysoká seismická je též pozorována podél zlomového systému Mur-Mürz a v jižní části Vídeňské pánve podél styku evropské desky a panonského bloku. Fokální mechanismus odpovídá levostrannému posunu ve směru SV-JZ s malou poklesovou složkou. Pás se zvýšenou seismickou aktivitou pokračuje k severovýchodu podél peripieninského lineamentu (dobrovodský a žilinský zlom).

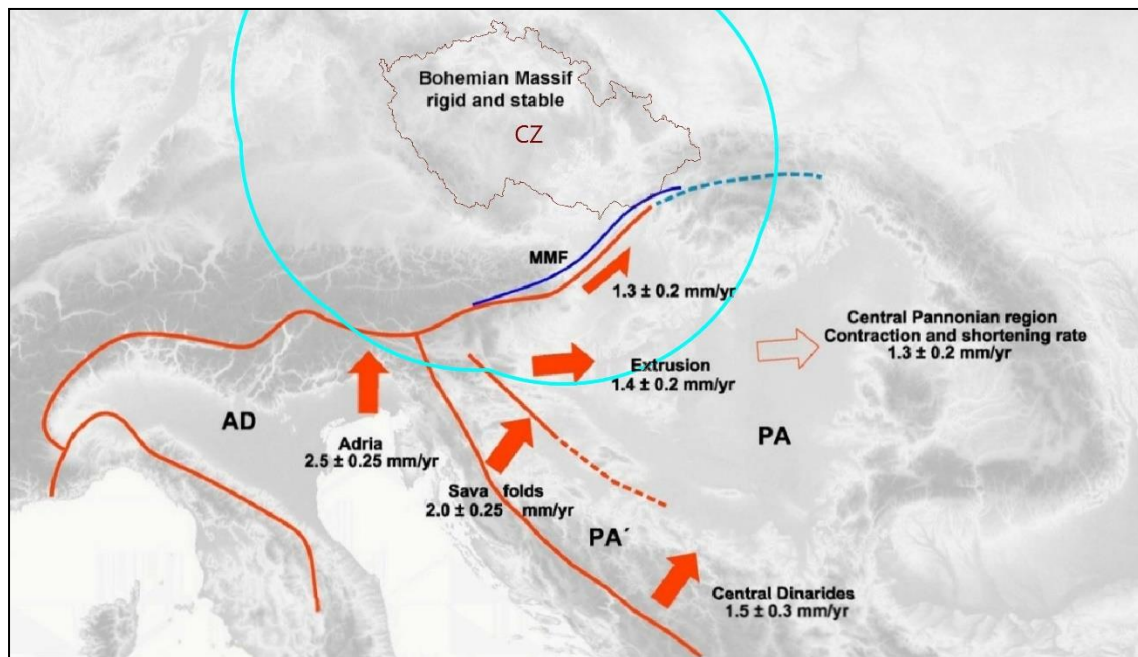
Vysoká seismická doprovází také pás příkrovů Dinarid, na styku bloků AD - PA' a PA' - PA. Panonský blok (PA) je omezen na severu linií Mur-Mürz a na západě zlomem Lavantal a sávkým zlomem (zlomy s horizontálním posunem). Mezi bloky AD a PA je vymezena přechodová zóna,

 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

která je označována jako PA'. Podle geofyzikálních dat, např. ze seismického profilu Alp07 (viz lit. [L. 82]) byla spodní adriatická kůra široce přesunuta přes PA' plášť.

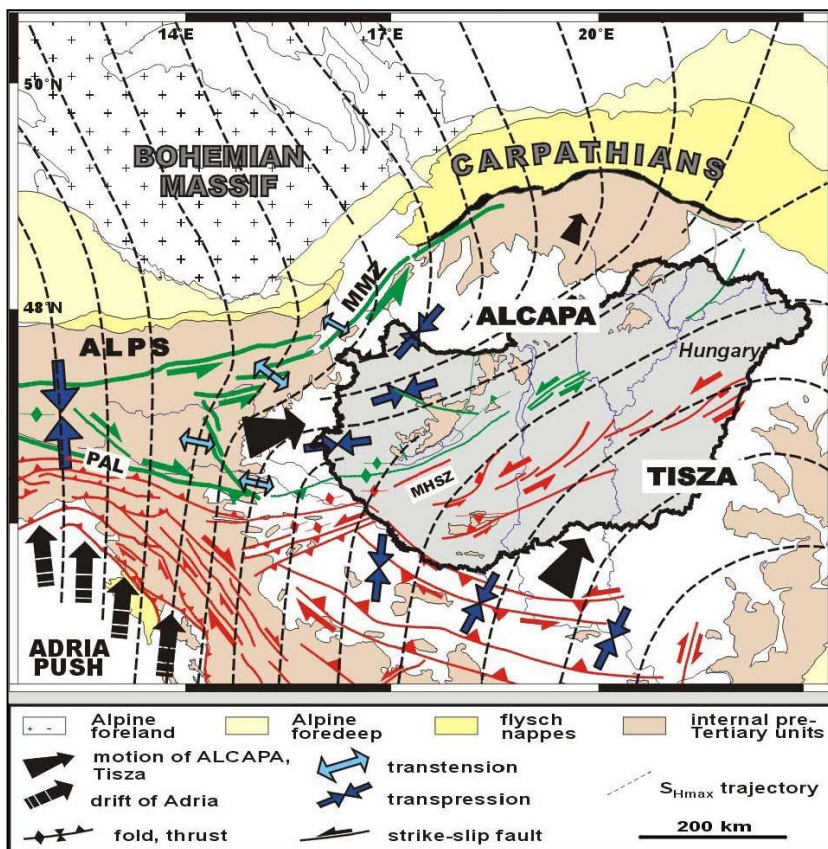
### 2.2.1 Horizontální pohyby bloků a napětové pole

Rychlost pohybu bloků v horizontálním směru, stanovená na základě GPS měření, je popsána např. v podkladu [L. 21] (viz též Obr. 16). Podle této studie GPS data ukazují, že panonský blok se podél zóny Mur-Mürz pohybuje relativně k Českému masivu rychlostí  $1,2 \pm 0,2$  mm/rok. Pohyb odpovídá převážně levostrannému horizontálnímu posunu. Stlačení okolo  $1,3 \pm 0,2$  mm/rok lze pozorovat v centrální panonské oblasti mezi Karpaty a k východu se pohybujícím alpsko-severopanonským blokem. GPS data také ukazují zřetelný pohyb adriatické mikrodesky směrem k severu ( $2,5 \pm 0,25$  mm/rok, který je generován jejím podsouváním k severovýchodu pod Alpy a Dinaridy. Dále lze pozorovat únik panonského bloku (PA) k východu, který je vytlačován z oblasti kolize evropské desky a adriatické mikrodesky. Pohyb PA bloku k východu se postupně zpomaluje a vznikající energie je zde pohlcována. Následkem je zvýšená seismičita na východním okraji PA bloku, v oblasti Vrancea v Rumunsku.



Obr. 16: Hodnoty vzájemných horizontálních pohybů mezi hlavními bloky: AD - Adriatická mikrodeska, PA (PA') - Panonský blok, MMF - zlomový systém Mur-Mürz, DT - Drava trog, ST - Sava trog. Zpracováno dle podkladu [L. 21].

Geodynamická situace v jižní části regionu HÚ a v jeho širším okolí se zákonitě projevuje také v uspořádání napětového pole. Generelně, v důsledku kolize adriatické mikrodesky a evropské desky jsou trajektorie maximálního horizontálního napětí ( $S_{Hmax}$ ) orientovány severojižním směrem. Avšak v panonském bloku, vzhledem jeho extenzi, se trajektorie  $S_{Hmax}$  stáčí k severovýchodu (viz Obr. 17; [L. 11] a [L. 32]).



Obr. 17: Trajektorie  $S_{Hmax}$  v jihovýchodní části regionu EDU. MHSZ - Středomaďarská střížná zóna, MMZ - zlomový systém Mur-Murz-Žilina, PAL - Periadriatický lineament. Upraveno dle podkladu [L. 11].

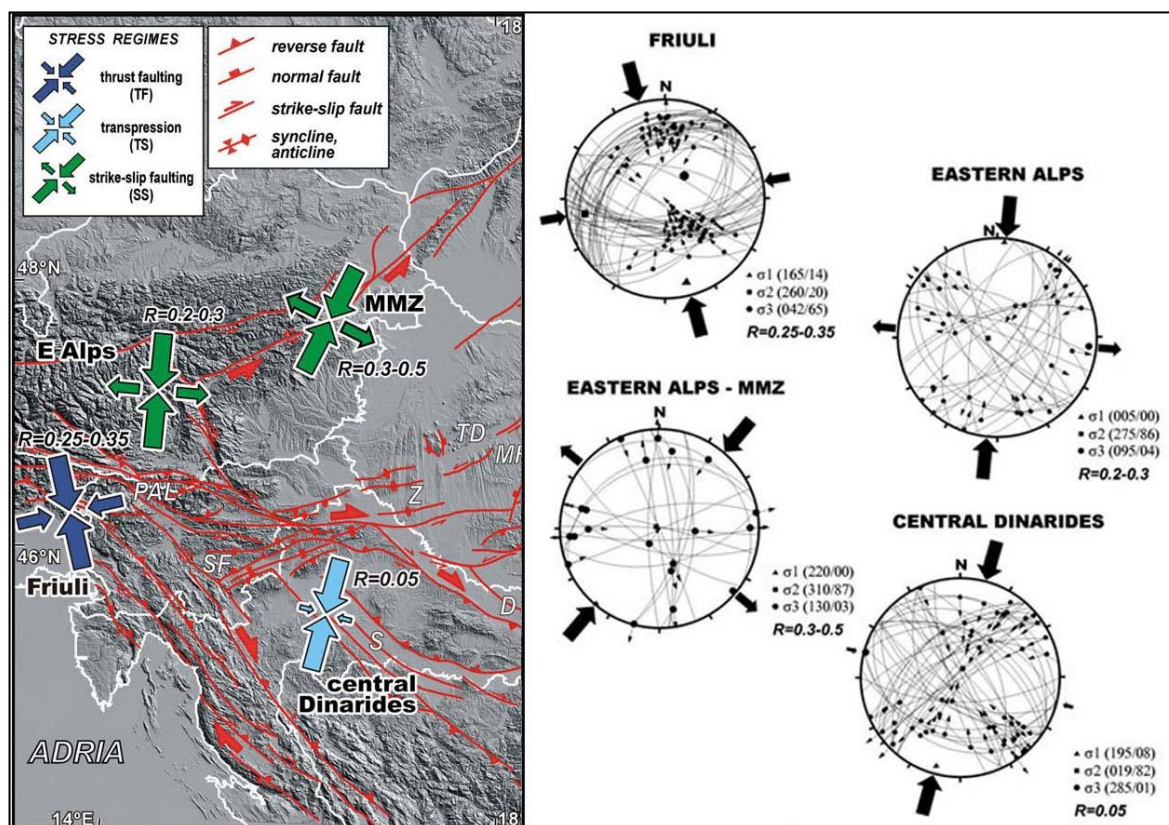
Detailnější rozbor napětového režimu v jižní části regionu HÚ je uveden v publikaci [L. 12]. Obr. 18, převzatý z této publikace, ukazuje generalizované napětové režimy a zlomové mechanismy pro 4 významných napětových provincií. Tyto provincie jsou charakterizovány následujícími parametry:

- oblast Friuli v severní Itálii lze charakterizovat převážně přítomností přesmyků a násunů probíhajících VSV - ZJZ směrem a čistě násunovým stresovým režimem s azimutem osy  $\sigma_1 = N 165^\circ$  a faktorem  $R^6 = 0,25-0,35$ .
- ve středních Dinaridech převládají zlomy s pravostrannými i levostrannými horizontálními posuny směru SZ-JV i SV-JZ, často v kombinaci s násunými, což ukazuje na kompresi ve směru SSV-JJZ. Azimut osy  $\sigma_1 = N 195^\circ$  a faktor  $R = 0,05$ .
- ve Východních Alpách jsou aktivizovány zlomy s pravostrannými i levostrannými horizontálními posuny směru SZ-JV i SV-JZ. Směr maximální horizontální komprese,

<sup>6</sup> Tvarový faktor elipsoidu napjatosti je definován vztahem  $R = (\sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_2)$  kde  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  jsou hlavní normálová napětí.

koincidující s osou  $\sigma_1$ , je orientován severojižně. Azimut osy  $\sigma_1 = N 5^\circ$  a faktor  $R = 0,2 - 0,3$ .


- trajektorie napětí jsou v oblasti zlomové struktury Mur-Mürz-Žilina odchýleny o  $35^\circ$  k východu oproti zbytku oblasti Východních Alp (c), tj. orientace osy  $\sigma_1$  je blízká směru SV-JZ. V oblasti jsou reaktivovány zlomy s horizontálním posunem, levostranné V-Z směru a pravostranné S-J směru. Azimut osy  $\sigma_1 = N 220^\circ$  a faktor  $R = 0,3 - 0,5$ .



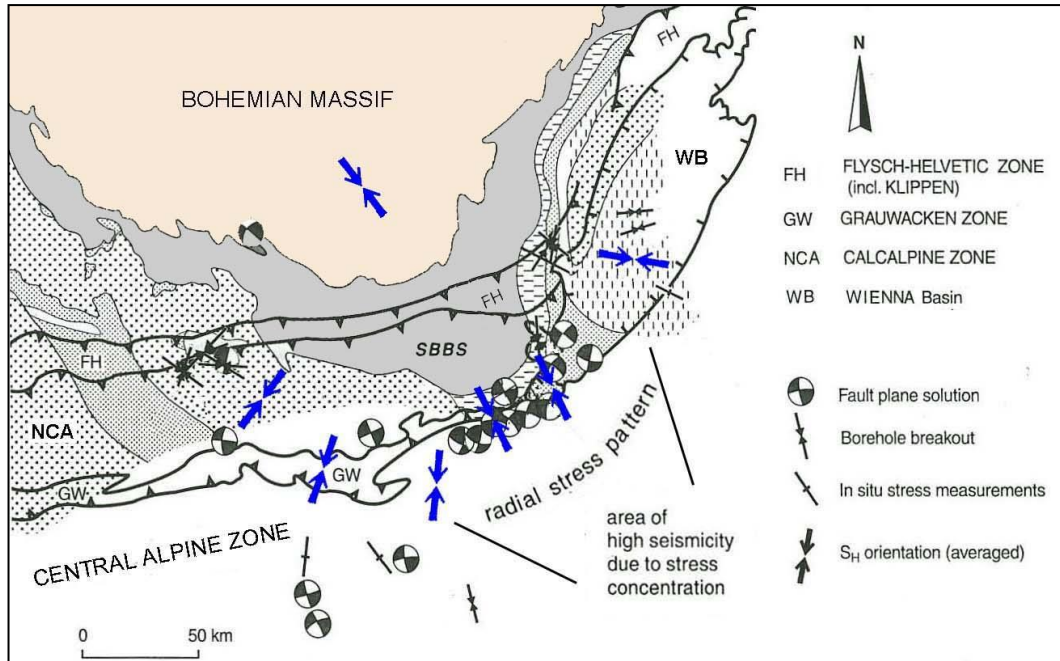
Obr. 18: Parametry 4 napětových provincií v jižní části regionu EDU. Upraveno dle podkladu [L. 12].

Poměrně komplikované napětové pole se vytváří na hranici evropské desky a panonského bloku, kde je toto pole silně ovlivněno jihovýchodním výběžkem Českého masivu (viz publikaci [L. 73], též [L. 10]). Tento výběžek je označen jako "South Bohemian Basement Spur" (SBBS) a v podloží alpínských příkrovů vybíhá k jihovýchodu až k linii Mur-Mürz. Je tvořen hlavně krystalinickými horninami a v současné době koliduje s austroalpínským podložím. Kolem tohoto výběžku je v publikaci [L. 73] popsáno radiální napětové pole a dochází zde ke koncentraci napětí a zvýšení seismicity (viz Obr. 19).

V Českém masivu lze generelně pozorovat stáčení severojižní orientace SHmax do směru SSZ-JJV, jak vyplývá z podkladů [L. 11], [L. 32] a [L. 65]. Jižní Morava je ovlivněna radiálním napětovým polem, které je typické pro styčnou oblast Alp a Karpat. Podél západní hranice karpatského oblouku pozorujeme orientaci SHmax ve směru SZ-JV, avšak podél severní hranice oblouku se stáčí do směru S-J až SSV-JJZ (viz např. [L. 47]).

 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

Velmi podobný model stresového pole, tj. S-J a SSZ-JJV orientaci SHmax v jižní a západní části Českého masivu předpokládají i autoři publikace [L. 10], stejně tak jako postupné stáčení SHmax do SZ-JV směru podél hranice mezi Českým masivem a Západními Karpaty.



Obr. 19: Radiální napětové pole v okolí jihovýchodního výběžku Českého masivu. Upraveno dle podkladu [L. 73].

## 2.2.2 Vertikální pohyby

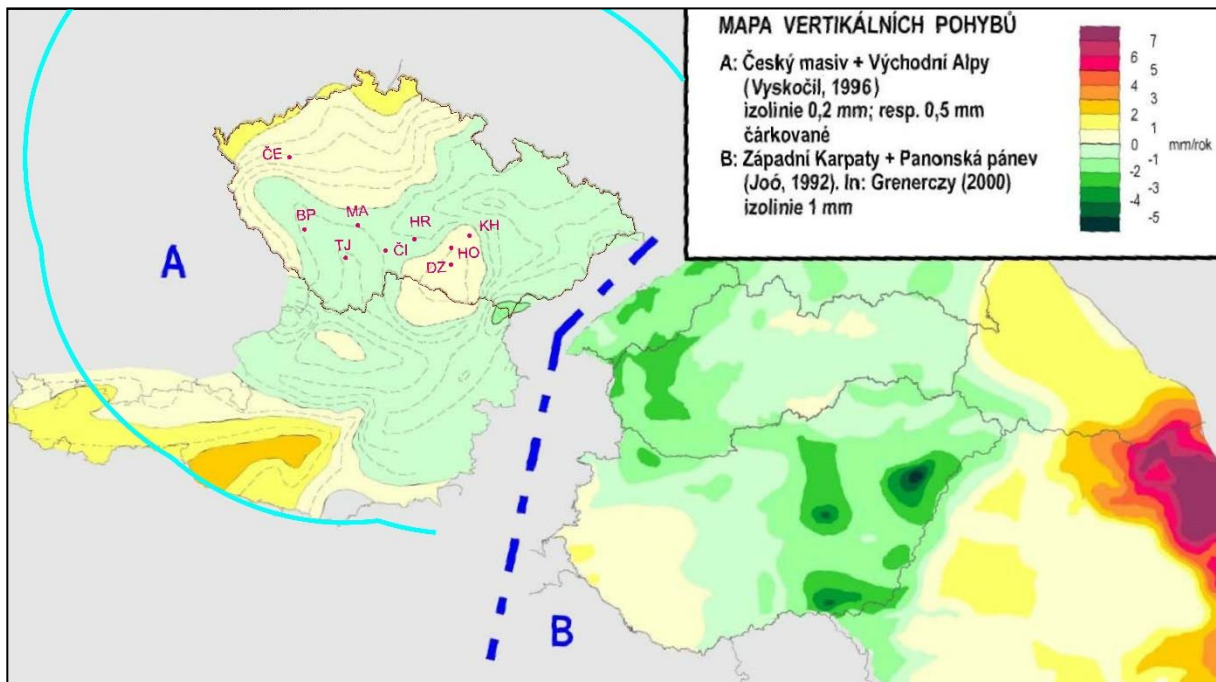
Hlavní tendence vertikálních pohybů v Českém masivu jsou souhrnně popsány v podkladu [L. 86]. Mapa na Obr. 20 ukazuje vyhlazené izolinie (oblastní trendy) a odráží hlavní tendence svislé aktivity regionu HÚ. Je zde patrný zdvih Východních Alp, zejména jejich západní části. K poklesovým oblastem patří podstatná část Alpské molasy a zejména oblast Vídeňské pánve.

V jádru Českého masivu jsou zdvihové tendence patrné v jeho severní a severozápadní části (viz [L. 86]). Patrný zdvih se objevuje zejména v oblasti neovulkanitů Doupovských hor a v oblasti lužického plutonu. Slabé zdvihové tendence se objevují i v oblasti Šumavy a Českomoravské vrchoviny. Centrální část Českého masivu, oblast jižních Čech a Moravy, hlavní část Karpatské předhlubně mají poklesovou tendenci. Významnější vertikální pohyby byly zaznamenány v oblasti Vídeňské pánve a struktury Mur-Mürz. Na této linii lze u severního bloku vysledovat zdvih v důsledku disjunktivního pohybu, 0,5 mm/rok až 1 mm/rok ve srovnání s jižním blokem (srov. např. podklad [L. 73]).

Charakter vertikálních pohybů v oblasti Karpat a Panonské pánve přibližuje část B mapky (Obr. 20), zpracovaná podle podkladu [L. 51]. V centrální části Panonské pánve se nacházejí tři centra s významnou poklesovou tendencí, kde max. vertikální pohyb dosahuje rychlosti -7 mm/rok (viz [L. 30]). Takový pokles byl pozorován v oblasti o průměru 40 km (izolinie -3 mm/rok)

v okolí Debrecénu ve východním Maďarsku. Jiné dvě významné poklesové oblasti se nacházejí v okolí měst Szolnok a Szeged. Je však nutné upozornit na fakt, že prvotní příčina tohoto poklesu není tektonická, ale v intenzivních lidských aktivitách (čerpání vody, těžba ropy). Pokračování poklesové oblasti v okolí Szolnoku k severu však charakterizuje tektonické procesy, jako je významný pokles pohoří Mátra se svislou rychlostí více než 2 mm/rok. Celkově Velká maďarská plošina má poklesovou tendenci v rozsahu 1-2 mm/rok. Podobné hodnoty lze sledovat i v oblasti Malé maďarské plošiny, Vídeňské pánve, Dunajské pánve a u Békéscsaby ve východním Maďarsku.

Významný zdvih lze pozorovat ve Východních Karpatech, kde velikost zdvihu dosahuje +8 mm/rok a rozsah zdvihové oblasti je také relativně velký. Vyšší zdvihové tendence jsou též v jižní části Východních Karpat v oblasti Vrancea a také ve východní části Jižních Karpat.

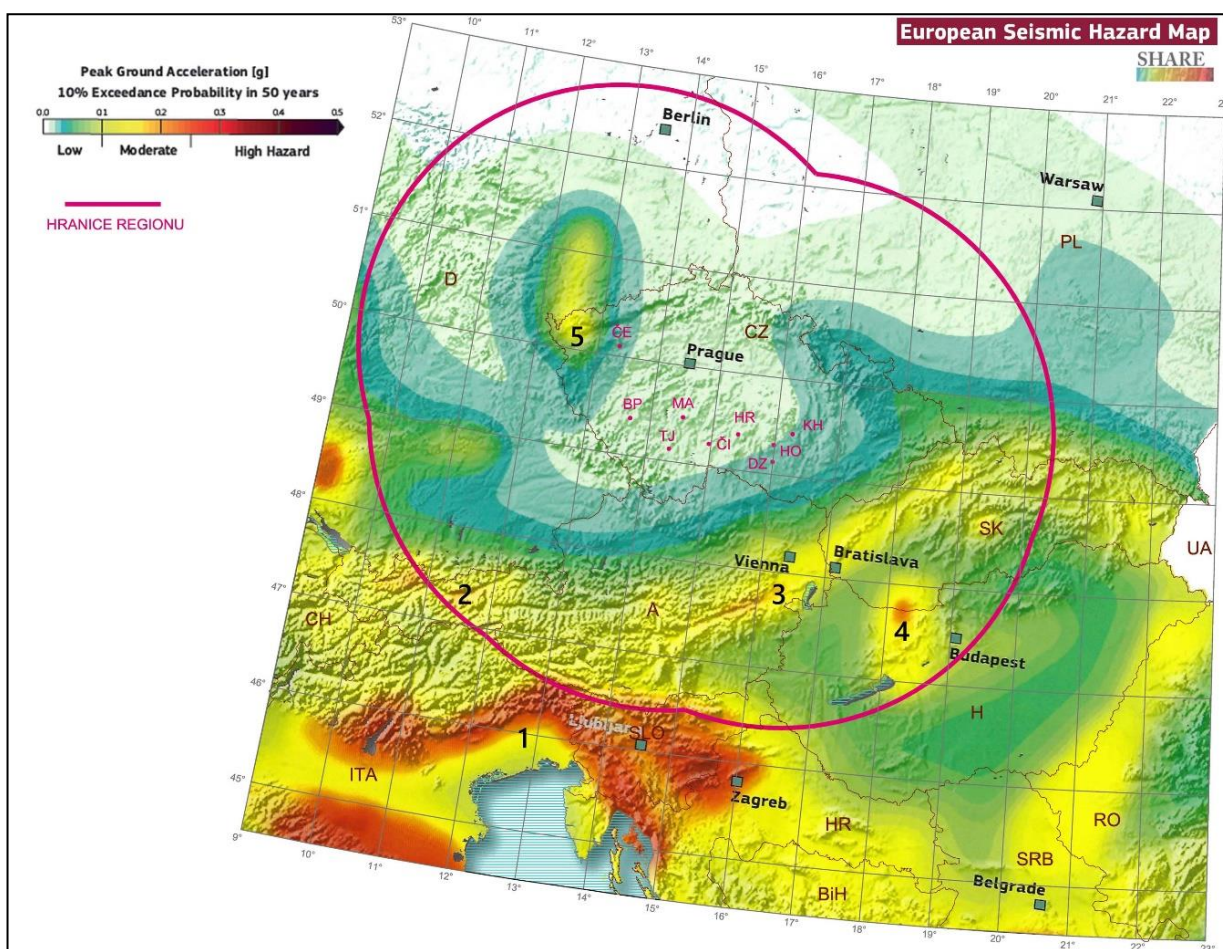


Obr. 20: Mapa vertikálních pohybů v regionu HÚ a ve východní části Panonské pánve a ve Východních Karpatech zpracovaná na základě podkladů [L. 86], [L. 73] a [L. 51].


## 2.3 Regionální model seismického ohrožení

Poslední model seismického ohrožení území Evropy byl vytvořen v rámci mezinárodního projektu SHARE (Seismic Hazard Harmonization in Europe) - viz lit. [L. 29]. Tento projekt rozvinul výsledky předchozího projektu GSHAP (Global Seismic Hazard Assessment Program), ve kterém region EDU spadl do Regionu 3 - střední a severní Evropa (viz lit. [L. 31]).

Výsledky projektu jsou prezentovány rovněž v mapě seismického ohrožení ESHM (European Seismic Hazard Map), která znázorňuje rozložení hodnoty zrychlení kmitů půdy (PGA) očekávané na území Evropy s 90 % pravděpodobností nepřekročení v časovém úseku 50 let (s periodou návratu 475 let) - (viz Obr. 21). Vedle toho byly zkonstruovány mapy seismického ohrožení pro periodu návratu 975 let a 4975 let.




Obr. 21: Výšek z mapy seismického ohrožení s 10 % pravděpodobností překročení v časovém úseku 50 let a s vyznačením oblastí s vysokým a středním seismickým rizikem pro region HÚ. Převzato z projektu SHARE [L. 29].

 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

Model seismického ohrožení Evropy (SHARE) vychází z nejnovějších informací o zemětřeseních, seismoaktivních zlomech a deformacích kůry. Informace o zemětřeseních jsou shrnuty v katalogu SHEEC (SHARE European Earthquake Catalogue), který obsahuje zemětřesení s magnitudem  $M_w$  větším než 3,5. Seismoaktivní zlomy s kompletním souborem parametrů (1128 zlomů) byly zařazeny do databáze EDSF (European Database of Seismogenic Faults), stejně tak jako 3 modely subdukčních zón. Posledním výstupem projektu SHARE je databáze měření deformací zemské kůry, která se opírá o výsledky GPS měření.

Dle těchto map představuje oblast Jižních Alp a Dinarid (oblast Friuli a zlomu Idria) oblast s největším seismickým rizikem v regionu HÚ a jeho širším okolí. Tato oblast je na Obr. 21 označena číslem 1. Střední a vysoké riziko se objevuje ve třech dalších oblastech. Číslem 2 jsou označeny oblasti v Allgauerských a Karwendelských Alpách, kde jsou ohniska zemětřesení vázána na zlomový systém Loisach-Fernpass, resp. linii Inntal. Zlomový systém Mur-Mürz (3) ve východní části Východních Alp, včetně Vídeňské pánve, představuje třetí oblast se zvýšenou seismicitou. Další oblastí (4) je oblast v okolí Komárna na Slovensko-maďarské hranici. Poslední významnou oblastí je oblast západních Čech (5), kde bylo nově při paleoseismologickém výzkumu odhaleno historické zemětřesení s magnitudem  $M_w = 6,5$ .



	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

### 3 REGISTRACE ZEMĚTŘESENÍ V REGIONU HÚ

Přístrojové záznamy o zemětřeseních jsou pořizována seismickými sítěmi dvojího typu. Prvním typem je seismická síť pokrývající celý evropský kontinent, která je v současnosti organizována evropským projektem EPOS a data jsou dostupná z evropských a světových seismologických center. Do tohoto projektu je zapojena i Česká regionální seismická síť, která je provozována několika českými vědeckými pracovišti pod vedením Geofyzikálního ústavu AV ČR. Druhým typem jsou lokální seismické sítě, které by měly být vybudovány kolem jaderných zařízení na základě požadavku dle § 5, písm. b) vyhlášky SÚJB č. 378/2016 Sb. [L. 1]. Tato data jsou zatím dostupná pouze pro lokality Temelín-jih a Dukovany-západ, neboť tyto lokality se nacházejí v území pokrytém lokálními sítěmi jaderných elektráren Temelín a Dukovany

#### 3.1 Seismické sítě


##### 3.1.1 Evropská seismologická centra a národní seismické sítě

Regionální informace o současných zemětřeseních v Evropě (tj. i z regionu HÚ) jsou dostupná online z několika zdrojů. Velmi známá je například internetová stránka Evropsko-středomořského seismologického centra EMSC (European-Mediterranean Seismological Centre) ve Francii. EMSC je nevládní mezinárodní organizace financovaná částečně z fondů Evropské komise a grantů, částečně z členských příspěvků a darů. V nepřetržitém režimu vyhodnocuje informace o zemětřeseních, které pomocí e-mailů získává od jednotlivých národních i nadnárodních evropských i některých mimoevropských seismických sítí (např. USGS). Některé lokalizace pouze přebírá, některé přehodnocuje a výsledky zveřejňuje na portálu [www.emsc-csem.org](http://www.emsc-csem.org).

Další organizací je Mezinárodní seismologické centrum ISC (International Seismological Centre) se sídlem ve Velké Británii, která spadá pod UNESCO. ISC na rozdíl od EMSC nepřináší okamžité informace o zemětřeseních, ale sbírá od jednotlivých přispěvatelů výsledné ověřené bulletiny (seznamy odečtů časů příchodu seismických fází, lokalizace jevů), které dále koreluje a vyhodnocuje. Časový skluz ve zpracování je přibližně 2 roky. Databáze ISC je velmi rozsáhlá, obsahuje data od roku 1904 a je poměrně spolehlivá. Nevýhodou tohoto zdroje ale je, že zpracovává a publikuje jen data získaná od přispěvatelů, a proto nelze vyloučit chyby v identifikaci.

Pro zónu do 300 km od lokalit HÚ je vhodné korelovat záznamy ISC a EMSC s katalogy jednotlivých seismologických organizací v každé zemi, hlavně z důvodu eliminace odstřelů nebo indukovaných jevů. Obtížné však může být rozhodnutí, která z lokalizací je ta správná. Problematické může být také určení magnitudy, které se může lišit podle metodiky výpočtu v jednotlivých organizacích až o  $\pm 0,5$ .

Seismologické monitorování v ČR provádí několik organizací v rámci infrastrukturního projektu CzechGeo: GFÚ - Geofyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Praha; ÚFZ - Ústav fyziky Země Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity Brno; ÚSMH - Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v. v. i., Praha; ÚG - Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Ostrava a MFF – Katedra geofyziky

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy. Na provozu stanic se dále podílí Technická univerzita Ostrava a Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v. v. i., Zdice.

Základní monitoring zajišťuje Česká regionální seismická síť (CRSN), složená z vybraných stanic provozovaných výše zmíněnými organizacemi. Počet stanic se průběžně mění, aktuální stav je popsán na stránce Geofyzikální ústav AV ČR, [http://www.ig.cas.cz/struktura/\\_observatore/ceska-regionalni-seismicka-sit/](http://www.ig.cas.cz/struktura/_observatore/ceska-regionalni-seismicka-sit/). V západních Čechách funguje již od 80.let minulého století lokální seismická síť WEBNET, která poskytuje detailní informace i o velmi slabých zemětřeseních v této oblasti. Informace o slabých zemětřeseních na zbyvajícím území České republiky je však možno považovat za kvalitní až v posledním desetiletí, kdy byla značně vylepšena Česká regionální seismická síť v rámci projektu CzechGeo.

Postupně vznikly kromě WEBNETu i další dočasné nebo permanentní lokální sítě, jejichž lokalizace jsou mnohem přesnější než lokalizace CRSN. Například síť MONET, provozovaná ÚFZ, monitoruje severní Moravu. Její výsledky nejsou prozatím publikovány formou bulletinu.

Na několika dalších lokalitách v ČR je dále provozován monitoring pro komerční účely, který je neveřejný. Seismická aktivita v OKR je sledována lokální sítí Green Gas DPB Paskov. Lokální seismická síť monitoruje také podzemní zásobník plynu Příbram – Háje.


### **3.1.2 Lokální seismické sítě v lokalitách jaderných zařízení**

Seismická aktivita v okolí jaderné elektrárny Temelín je od roku 1991 sledována lokální sítí, provozovanou ÚFZ. Počet, poloha a vybavení stanic se v průběhu let měnilo, od roku 2006 je v provozu pět stanic. Výsledky měření nejsou veřejně dostupné, avšak vybraná zemětřesení jsou aktuálně publikována pomocí Seismologického informačního displeje na stránce [sid.ipe.muni.cz](http://sid.ipe.muni.cz).

V okolí jaderné elektrárny Dukovany je lokální seismická síť provozována rovněž ÚFZ Brno. Síť byla vybudována v letech 2013 – 2015 a je tvořena pěti stanicemi. Data ze stanic jsou nepřetržitě kontinuálně přenášena do datového centra ÚFZ v Brně, kde jsou dále vyhodnocována. Výsledky měření rovněž nejsou veřejně dostupné. Vybraná zemětřesení jsou od 1.7. 2015 aktuálně publikována pomocí Seismologického informačního displeje na stránce [sid.ipe.muni.cz](http://sid.ipe.muni.cz).

V okolí lokality HÚ Čertovka je od roku 2017 provozována lokální síť čtyř seismických stanic. Zatím nebylo identifikováno žádné tektonické zemětřesení s ohniskem v místě uvažovaného HÚ.

V úložišti jaderného odpadu Richard poblíž Litoměřic je od roku 2013 provozována jedna seismická stanice ÚSMH AV ČR.

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

## 3.2 Katalogy zemětřesení

Katalogy zemětřesení byly sestaveny v souladu s požadavkem vyplývajícím ze standardu NS-R-3, čl. 3.1 ([L. 2]), kde je dána povinnost shromáždit a zdokumentovat údaje o prehistorických, historických a instrumentálně zaznamenaných zemětřeseních v regionu.

### 3.2.1 Prehistorická zemětřesení

V regionu HÚ byl paleoseismologickými metodami odhalen záznam proběhlých prehistorických zemětřesení ve třech oblastech (viz Tab. 1). Bližší popis zmíněných oblastí je uveden v podkladu [L. 60].

Tab. 1: Záznamy prehistorických zemětřesení

	Oblast	Lat.	Long.	MCE M <sub>w</sub>	Zlom	Doba od posledního zemětřesení
1	Kopanina (Záp. Čechy)	50,204	12,461	6,5	mariánskolázeňský zlom	1 230 – 1 000 let
2	Bílá Voda (sv. Čechy)	50,439	16,907	6,5	sudetský okrajový zlom	Přibližně před 11 000 až 4 500 lety
3	Siehdichfür Farm (sv. Rakousko)	48,291	16,678	7,1	zlom Markgrafneusiedl	14 000 let <sup>*)</sup>

\*) Pět zemětřesení v rozmezí 104 tisíce až 14 tisíc let. ([L. 24]).


Z oblasti 1 (záp. Čechy) byly nejnovější výsledky paleoseismologického výzkumu zveřejněny v roce 2017 ([L. 80]). Tento objev významně zvýšil seismické ohrožení v celé západní části Čech. Starší práce na téma seismického ohrožení v Čechách je proto třeba brát s kritickým odstupem. Zatímco do loňského roku se vědecká seismologická komunita v podstatě shodovala, že v západních Čechách se vyskytují pouze seismické roje se zemětřeseními, které nepřekračují magnitudo 5, nyní se ukazuje, že v této oblasti mohou nastat zemětřesení mnohem silnější (Štěpančíková, 2017, ústní sdělení<sup>7</sup>).

Zemětřesení ze západních Čech (č. 1) ovlivňují zcela zásadním způsobem seismické ohrožení lokality HÚ Čertovka.

Paleozemětřesení ze severní části našeho území (viz např. oblast Bílá Voda), která jsou starší než přibližně 10 000 let, jsou silně ovlivněna odlehčením po tání ledovců (viz např. [L. 57], [L. 81]). Tyto údaje tak nemohou být použity pro odhad současného seismického ohrožení.

Z hlediska vlivu na hodnotu seismické zátěže má pro většinu lokalit HÚ (vyjma lokality Čertovka) velký význam prehistorické zemětřesení z oblasti č. 3, na zlomu Markgrafneusiedl v Rakousku. Tento zlom je pokládán za jednu z větví (tzv. splay fault) významné střeoevropské seismogenní zóny, kterou je Vienna Basin Transfer Fault (VBTF) omezující vídeňskou pánev na východě.

<sup>7</sup> Viz <http://av21.avcr.cz/sd/novinky/hlavni-stranka/170919-vedci-novymi-metodami-zjistili-ze-se-v-cesku-v-minulosti-opakovala-zemetreseni-silnejsi-nez-dnes-podrobnosti-vedou-na-seminari.html>.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

Tento zlom probíhá ssv. - jjz. směrem a jeho pohybová aktivita je charakterizována levostranným horizontálním posunem.

Kvarterní pohybová aktivita zlomu Markgrafneusiedl je doložena porušením gänserndorfské terasy Dunaje (stáří (250 000 let) a nadložních spraší (20 - 15 tis. let). V podkladech [L. 24], [L. 38] a [L. 39] jsou popsány geologické záznamy 5 silných zemětřesení s projevem na povrchu území v posledních 104 000 let. Ve 3 rýhách byl zjištěn posun na zlomu okolo 15-20 cm, který může být spojován s otřesem před cca 14 000 lety. Další silný jev byl doložen nálezem 70-95 cm vysokého koluviálního klínu.

Morfologická a geologická data ukazují, že zlom Markgrafneusiedl má dlouhotrvající posun minimálně 0,02 - 0,07 mm/rok. Autoři podkladu [L. 24] soudí, že frekvence návratu zemětřesení s magnitudem 6,5 je 10 000 let a s magnitudem 7,0 každých 30 000 let. Zlom je charakterizován hodnotou MCE (maximum credible earthquake)  $M_w = 7,0$  (viz [L. 39]).

Zlom Markgrafneusiedl byl zařazen též do evropské databáze seismogenních zlomů EDSF (viz podklad [L. 13] s odhadnutým maximálním potenciálním magnitudem  $M_w = 7,0$ ).

### 3.2.2 Historická a instrumentálně zaznamenaná zemětřesení

V Českých zemích jsou písemné záznamy o pocítěných silných zemětřeseních dochovány přibližně od začátku 12. století, kdy byla napsána Kosmova „*Chronica Boemorum*“. V dalších staletích mají však záznamy o zemětřeseních kolísavou kvalitu, a dokonce i ve 20. století se setkáváme s mnoha nejasnostmi kolem pocítěných zemětřesení v Čechách, přestože k nim v některých případech existují již i přístrojové záznamy.


Z těchto důvodů je nutné katalogům zemětřesení věnovat velkou pozornost a vedle periodického doplňování katalogů je nutné se zabývat i revizemi jednotlivých záznamů.

#### 3.2.2.1 Regionální kompilovaný katalog

Katalog historických a instrumentálně zaznamenaných zemětřesení představuje při odhadu seismického ohrožení stěžejní soubor seismologických dat. Klíčové jsou především národní katalogy sestavené akademickými seismologickými pracovišti nebo národními seismologickými službami. Pro Českou republiku a Slovensko byl národní katalog sestaven Geofyzikálním ústavem Československé Akademie věd v 50. letech minulého století (viz [L. 52]) a doplněn v průběhu 80. let ([L. 53]). Obdobně vydávají svoje národní katalogy i státy, které s Českou republikou sousedí.

Pro potřeby hodnocení seismického ohrožení HÚ nelze použít jen jeden národní katalog a je nutné vytvářet tzv. kompilace (kompilovaný regionální katalog historických zemětřesení).

Prvá verze kompilovaného regionálního katalogu pro potřeby hodnocení seismického ohrožení českých jaderných elektráren byla vytvořena I. Prachařem v roce 2005 (nepublikovaný manuscript); v roce 2013 byl katalog revidován a doplněn v souvislosti s hodnocením seismického ohrožení ETE3,4 o data do roku 2011 (viz [L. 60]). Poslední úpravy katalogu v roce 2014 a 2015 zahrnovaly zásadní přestavbu katalogu (re-kompilaci originálních zdrojů) a

 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

propracovanější homogenizaci hodnoty magnituda s využitím výsledků projektu SHARE (viz [L. 77]).

Regionální katalog I. Prachaře byl již v roce 2005 koncipován tak, aby pokryl regiony obou českých jaderných elektráren a případně i regiony obou slovenských jaderných elektráren. Pokrývá tedy území vymezené geografickými souřadnicemi 52° N, 9° E až 44°30' N, 23° E. V katalogu jsou shromážděna data z celého území České republiky, Slovenska, Rakouska, Maďarska, Slovinska a z části území Německa, Polska, Ukrajiny, Švýcarska, Itálie, Chorvatska, Bosny a Hercegoviny, Srbska a Rumunska.

Velikost zemětřesení je v regionálním katalogu I. Prachaře, verze IP2015 jednotně oceněna pomocí momentového magnituda. Formát, zdrojová data a postup kompilace katalogu jsou popsány v podkladu [L. 68]. V katalogu jsou uvedeny všechny jevy s  $M_w \geq 3,9$  z území pokrytého katalogem. Katalog verze IP2015 byl použit při výpočtu seismického ohrožení EDU (viz [L. 61]). Pro účely hodnocení seismického ohrožení lokalit HÚ byla verze IP2015 doplněna o jevy z let 2014-2017. Doplněný katalog je označován jako verze IP2018.

Grafický výstup verze katalogu IP2018, tj. mapa ohnisek zemětřesení s vymezením regionu HÚ je uveden na Obr. 27.

### 3.2.2.2 Katalog lokálních zemětřesení


Jako katalog lokálních zemětřesení byl použit národní katalog zemětřesení pro Českou republiku a její blízké okolí. Tento katalog vychází z regionálního kompilovaného katalogu verze IP2005. Katalog byl doplněn o jevy z revidovaného katalogu instrumentálně zaznamenaných jevů (1977–2017). Tento katalog obsahuje jevy s magnitudem  $M_L \geq 2.9$ . Oblast pokrytá národním katalogem, který je v současné době zpracováván v rámci Projektu SIGMA2 ([L. 71]), vyplývá z Obr. 28.

### 3.2.3 Úplnost katalogu zemětřesení

Důležitou charakteristikou každého katalogu zemětřesení je jeho úplnost, tedy stanovení roku, odkdy katalog obsahuje všechna zemětřesení s určitým magnitudem, která se v daném regionu vyskytla.

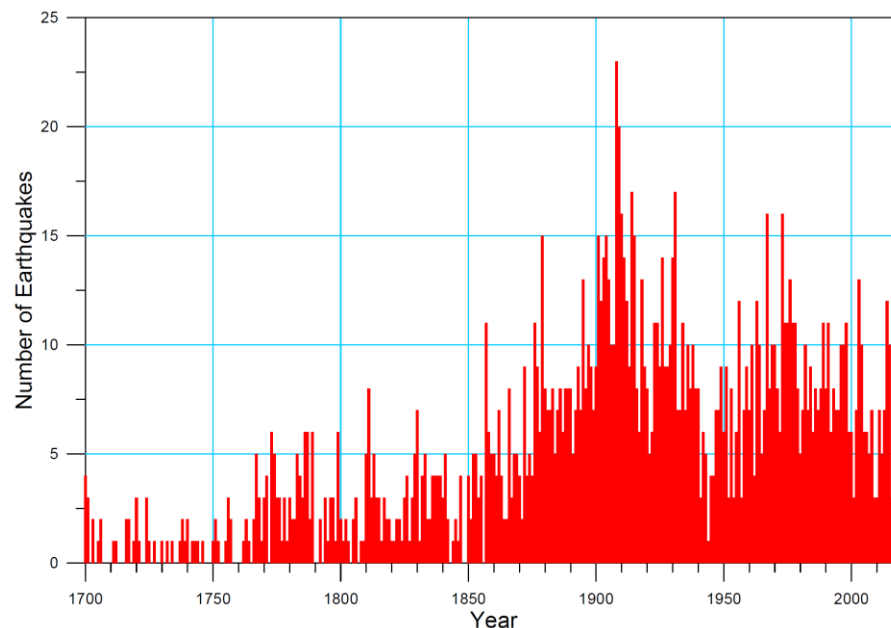
Při hodnocení katalogu pro region HÚ byly záznamy v katalogu nejprve rozděleny podle oblastí – na 3 oblasti, SCR (stable continental region), WAP (Western Alps and Pyrenees) a APD (Apennines, North-Eastern Alps and Dinarides) podle přístupu, který byl použit v projektu SHARE ([L. 77]). Pro každou oblast byla úplnost stanovena samostatně. Nakonec byl určen rok začátku úplnosti katalogu tak, že byla vzata nejvyšší hodnota ze všech tří oblastí.

Použitá metodika stanovení úplnosti vychází z předpokladu, že katalog je úplný pro období od začátku roku 1950 do současnosti, a to pro zemětřesení s magnitudem od 3,9. Tento předpoklad je opodstatněný vzhledem k tomu, že již brzy po válce v Čechách velmi dobře fungovaly seismologické výzkumné instituce a zemětřesení byla poměrně pečlivě evidována pomocí makroseismických dotazníků. V té době se pozorování zemětřesení také již opírala o záznamy seismické stanice Praha (která funguje od roku 1924), později Průhonice (od roku 1957) a Kašperské hory (od roku 1961). Podobná situace byla i v sousedních zemích. O úplnosti katalogu

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

svědčí také počet zemětřesení v jednotlivých letech, který se po výrazném propadu ve válečných a poválečných letech vrátil na předválečnou úroveň (viz Obr. 22).

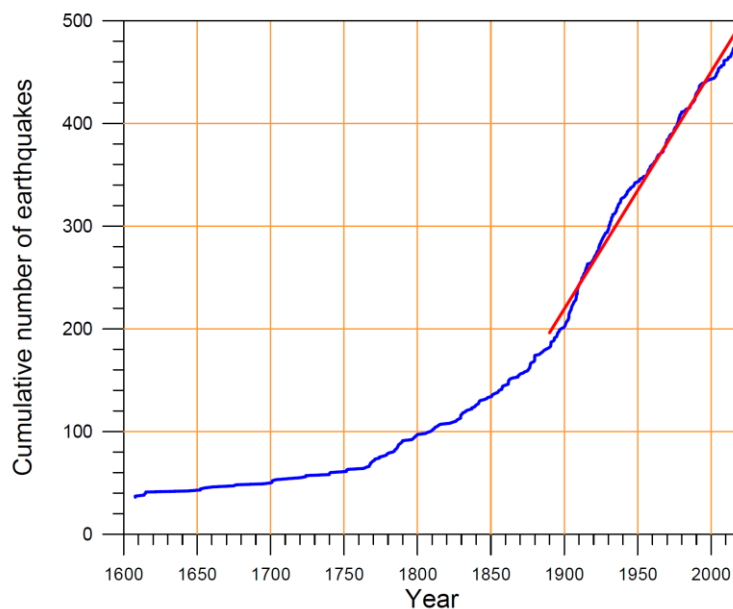
Pro určení úplnosti se využívá kumulativních grafů počtu zemětřesení. Nejprve vybereme z katalogu zemětřesení, která mají magnitudo větší nebo rovno než hraniční magnitudo (3,4, 3,9, 4,4, 4,9, 5,4, 5,9, 6,4). Na osu x nanášíme čas zemětřesení v katalogu a na osu y vynášíme číslo tohoto jevu v katalogu, takže roční četnost je úměrná směrnici tohoto grafu. Předpokládáme, že pokud je katalog úplný, pak se tato hodnota příliš neliší od průměrné střední hodnoty, určené z četnostního rozdělení od roku 1950. Postup je ilustrován na Obr. 23 až Obr. 26 pro stabilní kontinentální oblast SCR, ve které se nacházejí všechny zkoumané lokality. Modrou čarou jsou znázorněny kumulativní četnosti a červenou čarou je proložena úsečka v části grafu, která reprezentuje kompletní část katalogu. Pro celý kompilovaný katalog je úplnost stanovena v Tab. 2.



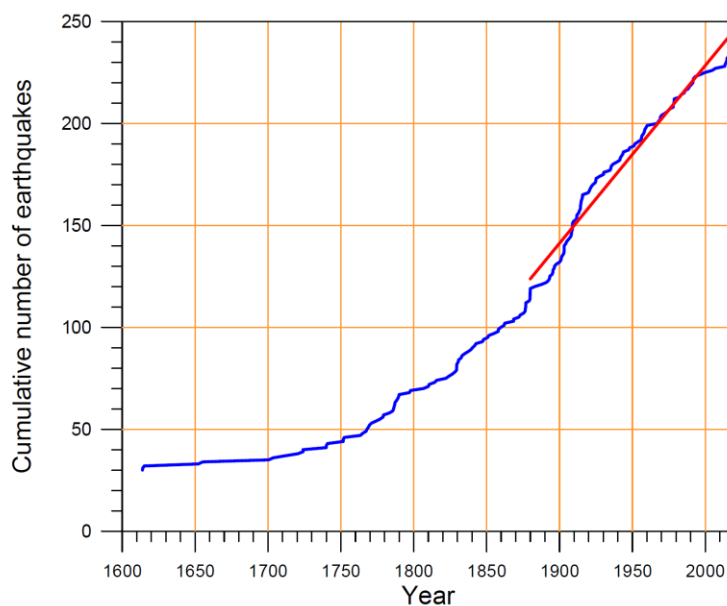
Obr. 22: Diagram roční četnosti seismických jevů s  $M_w \geq 3.9$  za období 1700-2017.

Základním předpokladem výpočtu seismického ohrožení na základě pozorovaných historických a prehistorických zemětřesení je stacionární seismický režim. Zjednodušeně řečeno to znamená, že v dlouhodobém měřítku je seismicity zkoumaného regionu stále stejná. To však nevylučuje značné kolísání seismicity v kratších obdobích. Lokální nárůsty nebo propady v počtu jevů v trvání prvých jednotek roků jsou patrné dokonce i v posledních padesáti letech, kdy je katalog úplný. K posledním dvěma zvýšením seismické aktivity v našem regionu došlo v letech 2003-2004 a 2014-2015. Naopak poslední dva roky 2016-2017 byly velmi klidné, oproti předchozím dvěma letům se počet zemětřesení snížil na čtvrtinu. Zajímavým jevem je prudké zvýšení seismické aktivity v první dekádě dvacátého století, a to na několika místech v regionu (západní Čechy, Hronovsko, Malé Karpaty). Vzhledem ke krátkosti katalogu a jeho neúplnosti ve starších obdobích nelze říci, zda ke kolísání seismicity dochází také v časovém měřítku stovek let, tedy

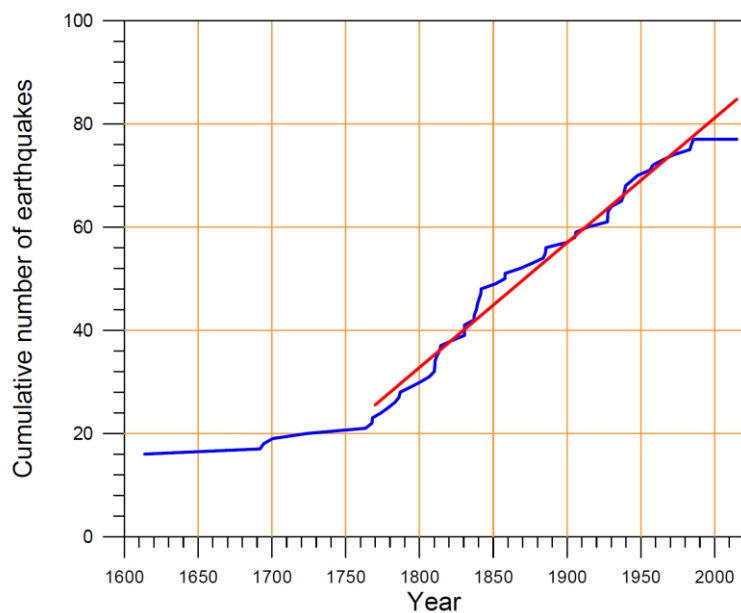
zda například v sedmnáctém století byl podobný počet zemětřesení jako ve století dvacátém. Z toho vyplývá značné riziko chyby při extrapolaci současných pozorování na delší časové období. Dalším velkým problémem při našich úvahách o kompletnosti katalogu je velmi nepřesné určení magnituda zemětřesení, pro která nejsou k dispozici přístrojové záznamy na dostatečném počtu stanic. To se týká všech jevů až do konce 19. století a mnoha slabších zemětřesení ve 20. století.



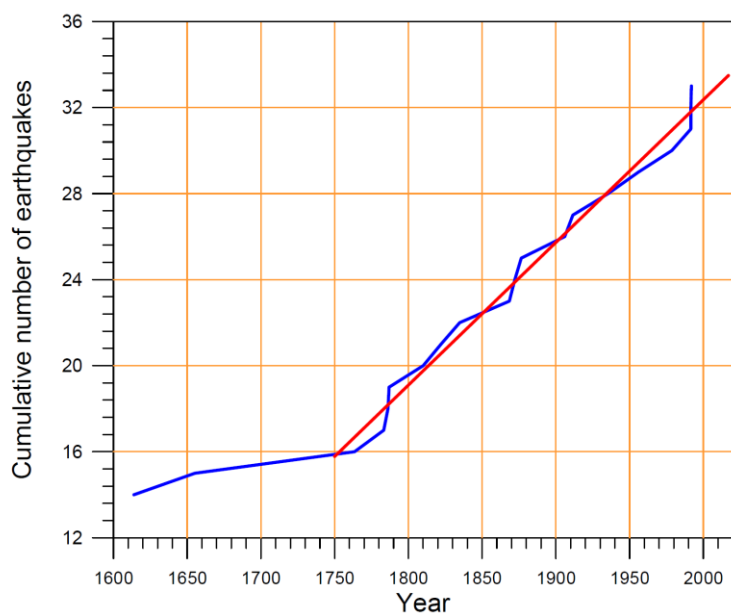
Obr. 23: Kumulativní četnost zemětřesení  $M_w \geq 3.9$  pro oblast SCR (Stable Continental Region).



Obr. 24: Kumulativní četnost zemětřesení  $M_w \geq 4.4$




Obr. 25: Kumulativní četnost zemětřesení  $M_w \geq 4.9$



Obr. 26: Kumulativní četnost zemětřesení  $M_w \geq 5.4$



	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

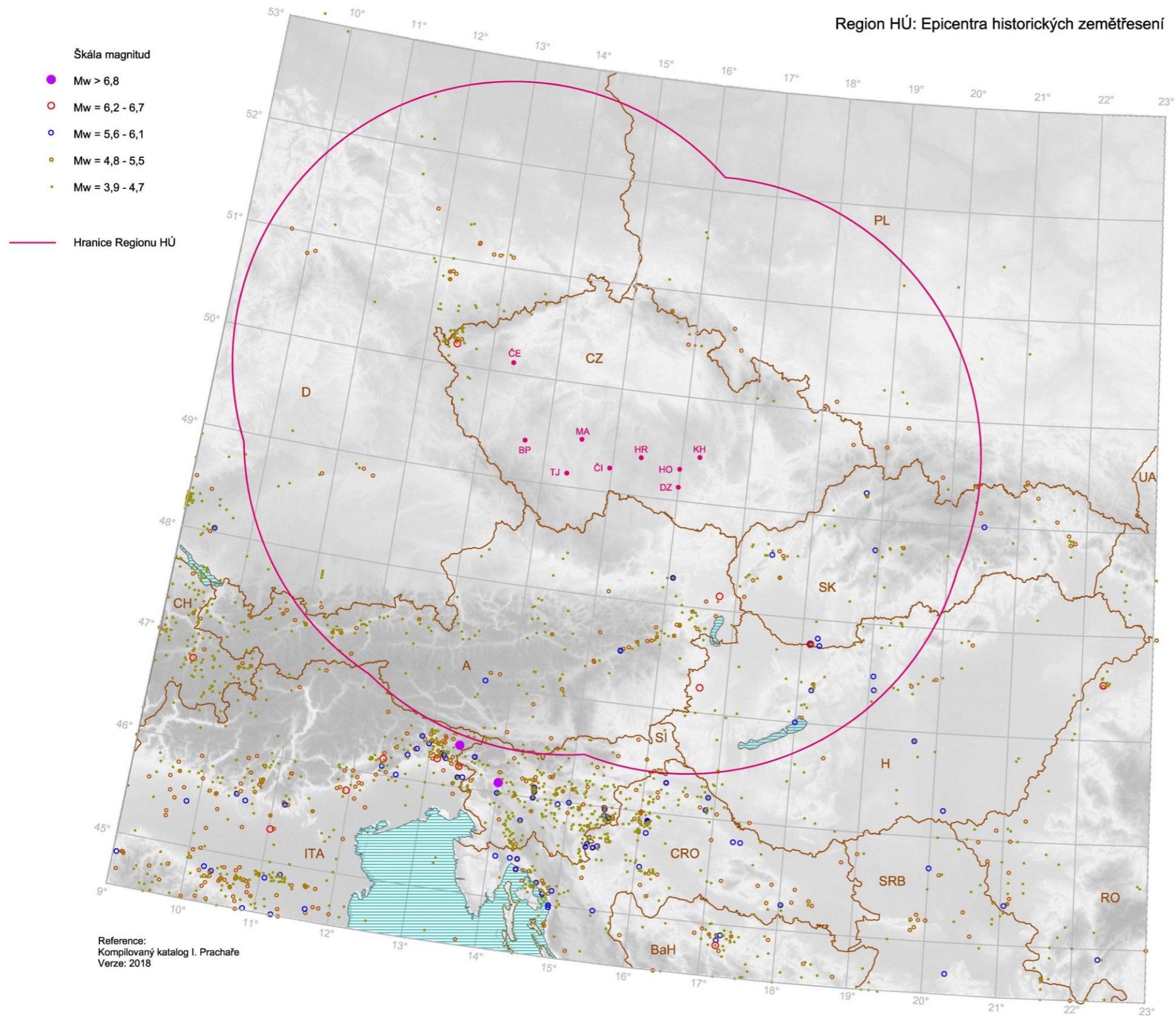
Tab. 2: Úplnost katalogu I. Prachaře, verze IP2018.

Magnitudo	Rok úplnosti
≥ 3.9	1890
≥ 4.4	1880
≥ 4.9	1780
≥ 5.4	1750
≥ 5.9	1700
≥ 6.4	1500

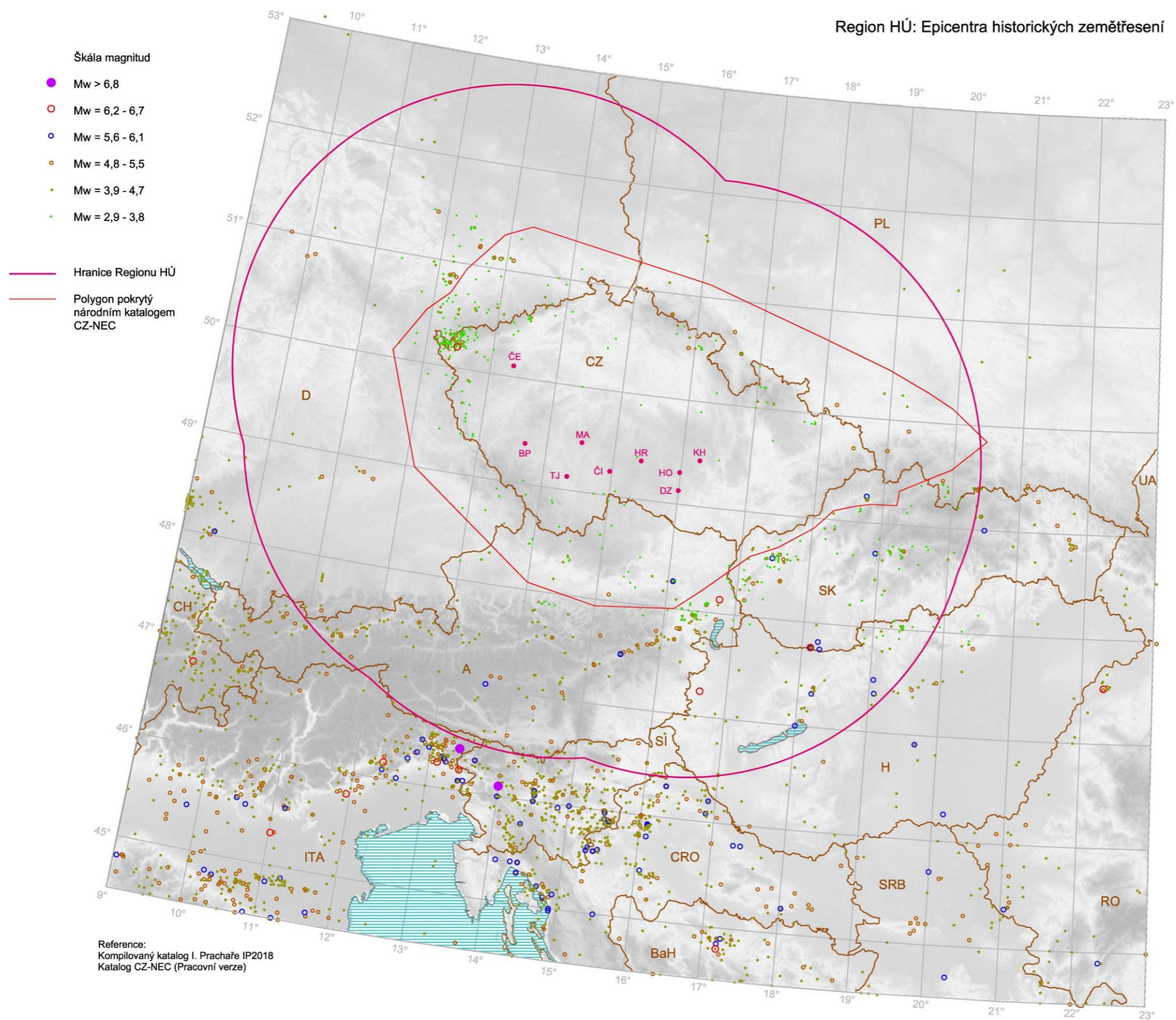
### 3.2.4 Deklasterizace katalogu

Smyslem deklasterizace katalogu je oddělení závislých zemětřesení (předtřesů a dotřesů) od nezávislých jevů (hlavních jevů), aby katalog zemětřesení odpovídal Poissonovu rozdělení (viz [L. 76]).


Předtřesy a dotřesy se dají z katalogu odstranit buďto ručně na základě posouzení interpretátora, nebo automaticky na základě objektivního kritéria. Ruční vylučování je velmi časově náročné a z podstaty věci nelze vyloučit zatížení výsledků subjektivním hodnocením interpretátora. U starších zemětřesení často není možné rozhodnout, zda jde o dotřes, protože poloha epicenter je zatížena značnou chybou, a je tedy obtížné stanovit, jestli spolu dvě zemětřesení prostorově souvisejí. V regionu HÚ se také vyskytují seismické roje, u kterých je často obtížné určit, který jev byl hlavní. Pro účely této zprávy byly předtřesy a dotřesy vyloučeny na základě objektivního kritéria dle podkladu [L. 36]. Za předtřesy a dotřesy jsou považovány jevy splňující kritérium na vzdálenost v čase a prostoru od hlavního jevu popsaného vzorcí 8–10 v citovaném článku, a které jsou slabší minimálně o 0,15 stupně magnitudové škály než hlavní jev. Touto metodou bylo vyloučeno z katalogu přibližně 30 % jevů.



Obr. 27: Epicentra historických zemětřesení s magnitudem  $M_w \geq 3.9$  (před deklasterizací) v regionu HÚ s vyznačením pozic lokalit zvažovaných pro umístění HÚ. Zdroj: Kompilovaný katalog I. Prachaře, verze IP2018.



Obr. 28: Epicentra historických zemětřesení s magnitudem  $M_w \geq 3.9$  v regionu HÚ a jevů s magnitudem  $M_w = 2.9-3.8$  v oblasti pokryté národním katalogem CZ-NEC; s vyznačením pozic lokalit zvažovaných pro umístění HÚ. Před deklasterizací. Zdroj: Kompilovaný katalog I. Prachaře, verze IP2018 a pracovní verze katalogu CZ-NEC (Prachař, I., Pazdírková, J., in prep.).

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

## 4 SEISMOTEKTONICKÝ MODEL REGIONU HÚ

Regionální seismotektonický model byl zpracován v souladu s požadavky standardu IAEA SSG-9 ([L. 3]) jako syntéza geologických, tektonických a geofyzikálních podkladů a seismologických dat shromážděných o regionu HÚ.

Při respektování seismotektonických domén (viz lit. [L. 33] a [L. 77]), distribuce katalogizovaných zemětřesení a průběhu známých nebo předpokládaných seismogenních struktur byly v regionu HÚ vymezeny dvě množiny zdrojových zón zemětřesení, seismotektonické modely A1 a F1. Třetí množina zdrojových zón (model A2) je identická s modelem A1, s tím rozdílem, že zóna s difúzní seismicitou D0 (Český masiv) je v modelu A2 rozdělena do 9 menších plošných zón na základě předpokládaného výskytu lokálních seismotektonických linií.

### 4.1 Vymezení seismotektonických modelů v regionu HÚ

#### 4.1.1 Seismotektonický model A1

Model A1 představuje "tradiční" přístup k vymezení zdrojových zón (viz [L. 31], [L. 29]), kdy region je rozdělen do plošných oblastí pokrývajících celou plochu regionu. Vedle zdrojových oblastí, jejichž vymezení bylo podmíněno výskytem zemětřesení o minimálním pozorovaném magnitudu  $M_w = 4.8$ , byly rovněž vymezeny oblasti s pozadovou (background), resp. difúzní seismicitou. Vyjma oblasti D0 (Český masiv) nebyly tyto oblasti zahrnuty do výpočtu seismického ohrožení.


Hodnota filtru  $M_w = 4.8$  byla přijata na základě úvahy ve smyslu čl. 11.17 standardu IAEA SSG-9 [L. 3]. Dle tohoto článku by zvolené spodní omezující magnitudo (lower bound magnitude) nemělo překročit hodnotu  $M_w = 5.0$ .

Dále byl Model A1 koncipován jako seismotektonický model s malými zdrojovými oblastmi (SASZ) ve smyslu publikace [L. 34].


Seismotektonický model A1 obsahuje 80 zdrojových oblastí, z nichž část leží mimo region HÚ, a jednu oblast s pozadovou seismicitou (D0). Označení a název oblastí, včetně přiřazení do seismotektonické domény dle podkladu [L. 77], vyplývá z následujícího přehledu a z Obr. 29.

Dle podkladu [L. 77] Region HÚ pokrývá tři oblasti s odlišnými útlumovými charakteristikami – SCR (Stabilní kontinentální oblast), WAP (Západní Alpy a Pyreneje) a APD (Apeniny, Severní a Východní Alpy a Dinaridy).


No.	Název zdrojové oblasti	Region
01	Bohemian Forest Zone	SCR
02	Český Krumlov Zone	SCR
03	Pregarten Zone	SCR
04	Moldanubian Pluton Zone	SCR
05	Diendorf Fault Zone	SCR
06	Železné hory Mts. Zone	SCR

 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

No.	Název zdrojové oblasti	Region
07	West Bohemian Swarm Zone	SCR
08	Plauen Zone	SCR
09	Jáchymov Zone	SCR
10	Erzgebirge Zone	SCR
11	Granulitgebirge	SCR
12	Gera Zone	SCR
13	Halle Zone	SCR
14	Lužice Zone	SCR
15	Hronov-Poříčí Zone	SCR
15	Sudetic Zone	SCR
16	Silesian Zone	SCR
17	Hrubý Jeseník Mts. Zone	SCR
18	Strzelin hills Zone	SCR
19	Silesian Basin Zone	SCR
20	Beskydy Foothills Zone	SCR
21	Hohe Meißner Zone	SCR
22	West Thüringer Wald Zone	SCR
23	Schwäbische Alb Zone	SCR
24	Donauworth Zone	SCR
25	Salzach Zone	SCR
26	Austrian Prealps Zone	SCR
27	Neulengbach Zone	SCR
28	Svätý Jur Zone	SCR
29	Little Carpatians Zone	SCR
30	Dobrá Voda Zone	SCR
31	Strážov Hills Zone	SCR
32	Žilina Zone	SCR
33	Podhale Zone	SCR
34	Štiavnica Hills Zone	SCR
35	Kremnica Hills Zone	SCR
36	Levoča-Volovec Mts. Zone	SCR
37	Zemplín Zone	SCR
38	Tisza river Zone	SCR
39	Savaria Zone	SCR
40	Zala Zone	SCR
41	Bakony Mts. Zone	SCR
42	Lake Balaton Zone	SCR
43	Vértes Mts. Zone	SCR
44	Komárno Zone	SCR
45	Börzsöny Mts. Zone	SCR

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

No.	Název zdrojové oblasti	Region
46	Buday-hegység Hills Zone	SCR
47	Jászberény Zone	SCR
48	Bükkal Zone	SCR
49	Debrecen Zone	SCR
50	Tamási Zone	SCR
51	Bergamo Zone	APD
52	Lago di Garda Zone	APD
53	Asiago Zone	APD
54	Idria-Friuli-Belluno Zone	APD
55	Dobratsch Zone	APD
56	Tamsweg Zone	APD
57	Gurktal Alps Zone	APD
58	Lavanttal Alps Zone	APD
59	Mur Valley Zone	APD
60	Mürz Valley Zone	APD
61	Vienna Basin Zone	APD
62	Carnuntum Zone	APD
63	Lake Neusiedl Zone	APD
64	Čičarija Zone	APD
65	Ljubljana Zone	APD
66	Julian Alps Zone	APD
67	Kamnik Zone	APD
68	Karawanks Zone	APD
69	Drava river Zone	APD
70	Žumberak Zone	APD
71	Krka river Zone	APD
72	Zagreb Zone	APD
73	Kalnik Mts. Zone	APD
74	Karwendel Alps II Zone	WAP
75	Tux Alps Zone	WAP
76	Karwendel Alps I Zone	WAP
77	Allgauer Alps Zone	WAP
78	Engadine-Ortler Zone	WAP
79	Bernina Zone	WAP
80	Madrisa Zone	WAP
D0	Bohemian Massif	SCR

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

#### 4.1.2 Seismotektonický model A2

Tento model je rovněž založen na rozdělení regionu HÚ do plošných oblastí. Na rozdíl od modelu A1 jsou v tomto modelu ve větším detailu vyhodnoceny blízké zdrojové oblasti v Českém masivu. Původní zóna s požadovou seismicitou D0 je rozdělena do 9 oblastí (viz Obr. 30):

No.	Název zdrojové oblasti
D1	Teplá-Barrandien Zone
D2	Moldanubian Zone
D3	Central Bohemian Zone
D4	Bohemian Cretaceous Basin Zone
D5	Moravian Zone
D6	Upper Moravian Basin Zone
D7	Brno Masiv Zone
D8	Ždánice Forest Zone
D9	Javorníky Mts. Zone


#### 4.1.3 Seismotektonický model F1

V modelu 2 jsou za zdroje zemětřesení považovány lineární seismogenní struktury – konkrétní seismogenní zlomy nebo seismotektonické linie. Seismogenní struktury byly vymezeny na základě poznatků shromážděných v geologické databázi Regionu HÚ a za pomoci geologických a tektonických map Regionu HÚ středních a velkých měřítek.

Vymezené seismogenní struktury a další zlomy a lineamenty v Regionu HÚ jsou znázorněny na Obr. 31. Jejich charakteristika je uvedena v Tab. 3.


Tab. 3: Seznam seismogenních struktur (zlomů) a jejich charakteristika

kód zlomu	Název zlomu	Zone	MmaxObs.	Nejsilnější jev	L (km)	Poznámka
2.1	Mariánské Lázně fault	01	4,5	1787/02/06/	36*	
2.2	Tachov fault	01	4,2	1902/11/26/	50*	
1.10	Pregarten fault	03	4,2	1900/09/28/	29,1	
3.17	Počátky-Plesná fault	07	6,5	998/--/--/	27,3	Paleoseis.
3.18.1	Klingenthal-Kraslice fault	07	4,5	1897/10/29/	44*	
3.14	Františkovy Lázně fault	07	4,5	1908/11/04/	20,3	
3.18.2	Bergen fault	08	4,5	1789/08/26/ 1896/05/16/	21,1	
3.13	Auerbach fault	08	4,5	1720/07/01/	29,7	
3.22	Jáchymov fault (II)	09	4,1	1552/04/20/	20,8	
3.25	Weissenbad fault	10	4,5	1552/03/06/	13,8	
3.26.2	Flöhy fault (II)	10	4,1	1896/11/03/	21,6	
3.30	bez názvu	10	4,1	1877/10/05/	31,5*	


 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

kód zlomu	Název zlomu	Zone	MmaxObs.	Nejsilnější jev	L (km)	Poznámka
3.28	Granulitgebirge fault	11	5,4	827/--/--/ 1088/05/12/	27*	
3.23.2	Crimmitschau fault	12	5,4	1872/03/06/	29,1*	
3.21.2	Pohlen fault	12	4,8	1326/--/--/	18,8	
3.27	Teutschenthal fault	13	5,0	1996/09/11/	16,5	
3.26.1	Rötha fault	13	4,8	1323/--/--/ 1711/10/25	42,8	
4.13.1	Hronov-Poříčí fault	15	4,7	1901/01/10/	21,6	
4.13.2	Nová Paka fault	15	4,8	1883/01/31/	18,9	
	Unknown	15	4,8	1751/07/31/		
4.5.1	Sudetic marginal fault	16	6,5	Prehistorické	19,8	Paleoseis.
4.5.2	Sudetic marginal fault	16	5,1	1562/02/10/	64,7	
4.16	Pleče fault	17	4,2	1935/07/24/	25,0	
5.9.1	Racibórz fault	19	5,1	1774/01/26/	36,6	
	Unknown	19	4,2	1931/04/12/		
5.14	Orlova fault	20	5,4	1786/02/27/	25,1*	
5.20	Andrychów fault	20	5,4	1786/12/03/	14*	
5.19	Bielsko-Biala Fault	20	4,8	1785/08/22/	20,6	
	Unknown	21	4,8	1767/04/13/		
	Unknown	22	5,2	1952/07/08/		
1.12	bez názvu	24	5,1	1769/08/04/	40,6	
1.11	bez názvu	24	4,9	1915/06/02/ 1915/10/10/	54,9	
12.4	bez názvu	25	4,8	1921/10/24/	15,0	
12.5	Salzach-Ennstal-Mariazell Line	26	5,1	1810/07/18/	103*	
	Unknown	27	5,8	1590/09/15/		
	Unknown	27	5,4	1876/08/17/		
7.1	Myjava fault	28	4,3	1904/10/12/	36*	
9.5	Malé Karpaty Mts. fault	29	5,2	1914/04/18/	20,0	
9.7	Povážie fault systém	29	4,9	1515/02/26/ 1586/--/--/	22,8	
9.3	Jablonica fault	30	5,9	1906/01/09/	28,6	
9.4	Čachtice fault	30	5,1	1930/03/05/	13,0	
8.1.2	Peripieniny lineament - Žilina-Zazrivá part	32	5,6	1613/11/16/	12,2	
8.1.3	Peripieniny lineament - Podhale part	33	4,9	1840/04/23/	59,4*	
10.3	Štiavnica fault (II)	35	5,7	1443/06/05/	24*	
10.4	Hron fault systém	35	4,9	1830/07/11/	21,2	
11.2.2	Muráň fault	36	5,6	1453/--/--/	21,0	



 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

kód zlomu	Název zlomu	Zone	MmaxObs.	Nejsilnější jev	L (km)	Poznámka
11.4	Poprad fault	36	4,9	1724/01/29/	53,7*	
8.1.5	Peripieniny lineament - Prešov-Humenné part	37	5,2	1778/12/19/	59,4*	
18.1	Számos fault (I)	37	5,1	1779/04/06/	20,9	
	Unknown	37	4,9	1724/01/29/		
	Unknown	37	4,8	1993/03/01/		
	Unknown	39	6,4	456/09/07/		Archeol.
15.4	Balaton upland fault	42	5,8	1100/--/--/	45*	
15.5	Mór Line	43	5,8	1810/01/14/	28,8	
10.6	Komárno faults	44	6,4	1763/06/28/	41,9	
15.6	Buda Line	46	5,8	1561/02/12/	22,1	
15.8	Jászberény fault (I)	47	4,8	1908/03/15/	26,4	
15.8	Jászberény fault (II)	47	5,1	1868/06/21/	42,8	
17.5	Érmellék active zone	49	6,4	1834/10/15/	65,7	
16.7	Kulcs fault	50	4,8	1892/06/22/	54,8*	
14.2.2	Idrija fault	54	6,9	1511/03/26/	66,7	
13.4	Dogna fault	54	6,8	1348/01/25/	46,5	
12.9.2	Dobratch fault	55	5,1	1857/12/25/	27,0	
12.10	Katsberg fault	56	6,0	1201/05/04/	32,8	
	Unknown	57	5,1	1767/11/21/		
	Unknown	57	4,9	1899/08/05/		
12.12.1	Lavantal fault_2a	58	5,0	1936/10/03/	16,9	
12.1.2	Mur fault(III)	59	5,1	1794/02/06/	31,4	
12.1.3	Mürz fault(I)	60	5,6	1267/05/08/ 1885/05/01/	16,0	
12.1.4	Mürz fault(II)	60	5,3	1964/10/27/	24*	
12.1.5	VBTF	61	5,4	1768/02/27/	23,6	
12.3	Markgrafneusiedl fault	62	7,1	Prehistorické	37,8	Paleoseis.
12.2	Lasse fault	62	6,3	350/--/--/	65,4	Archeol.
12.3.2	Leitha fault	63	4,9	1230/--/--/	26,0	
13.8.2	Žužemberk fault (II)	65	5,8	1895/04/14/	18,3	
13.8.1	Žužemberk fault (I)	66	5,1	1869/10/13/	37,0*	
13.9	Kamniš-Savinj thrust f.	67	5,4	1840/08/27/	49,0*	
12.12.2	Labot fault	68	5,0	1947/11/17/	50,9*	
12.14.2	Northern Karawanks f.	68	4,9	1958/03/19/	36,1	
	Unknown	69	5,1	1800/10/07/		
	Unknown	69	5,1	1813/08/17/		
	Unknown	69	5,0	1943/11/29/		
	Unknown	69	4,9	1839/03/22/		

 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

kód zlomu	Název zlomu	Zone	MmaxObs.	Nejsilnější jev	L (km)	Poznámka
12.7.2	Inntal fault system (II)	74	5,5	1670/07/17/ 1689/12/22/	25,3	
12.7.2	Inntal fault system (III)	74	5,0	1820/07/17/	16,8	
	Unknown	75	5,1	1913/08/24/		
12.20	Wipptal fault	75	4,9	1924/03/26/	30,1	
	Unknown	76	4,8	1982/10/17/		
12.6	Fernpass fault system	77	5,5	1930/10/08/	38,6*	
	Unknown	77	5,1	1918/09/26/		
12.23	Enganine	78	5,4	1504/03/--/ 1622/08/03/	22,5*	
	Unknown	78	4,8	1907/04/20/		
1.7	Pfahl segment	D01	3,6	1897/01/05	71,8	
1.9	Donau fault segment	D01	3,6	1858/01/28/ 1909/12/01/	89,7	
2.6.2	Železné hory Mts. fault	D04	3,6	1588/02/29/	29,1	
1.6	Lhenice ditch faults	D06	3,5	1900/02/11/	43,2	
1.3	Litschau-Kunějov zone	D07	3,5	1856/01/26/	Zone	
1.4.1	Vitis fault	D07	3,8	1932/12/23/	133*	
5.1	Diendorf fault	D09	3,5	1959/02/17/	148*	

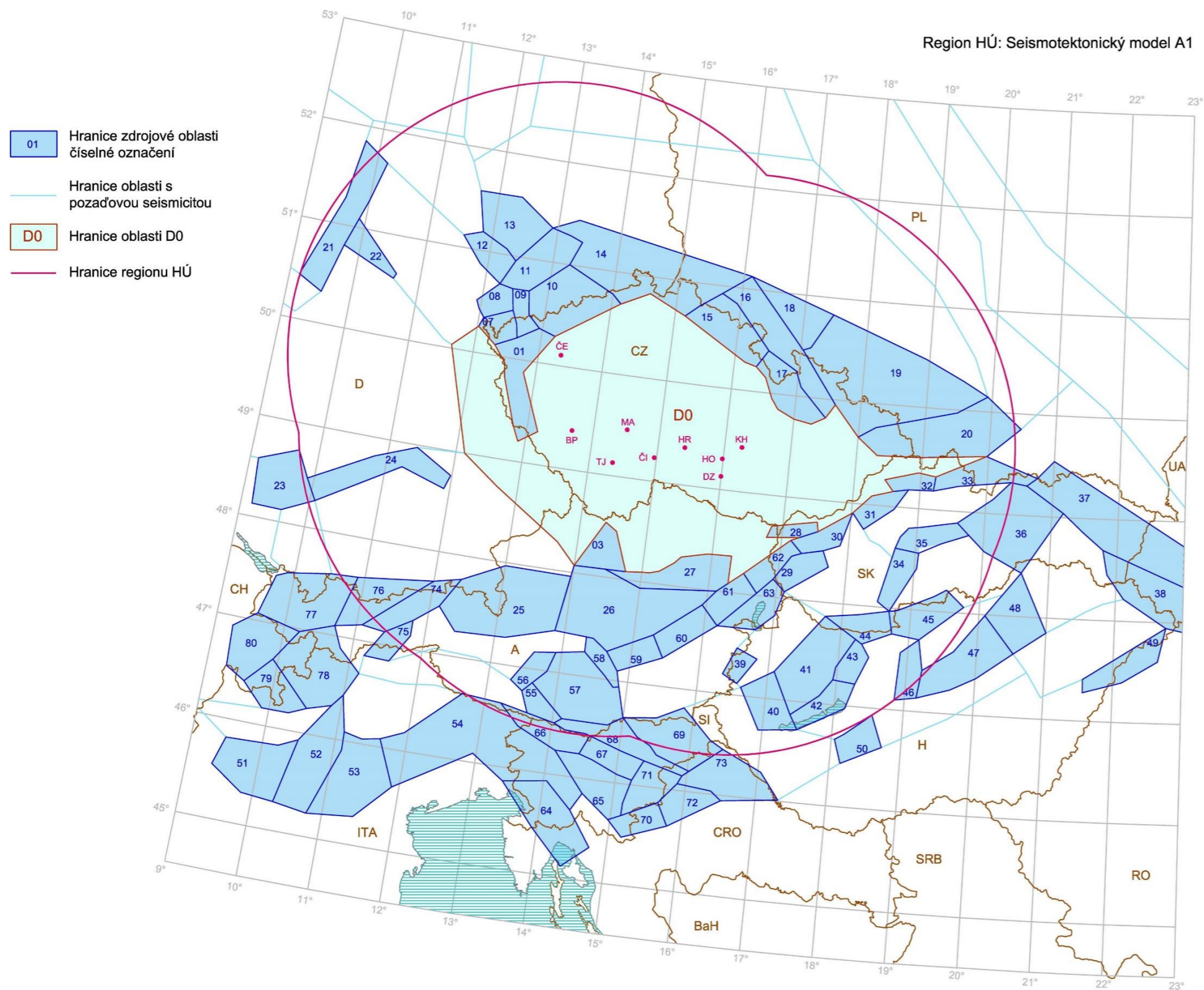
Vysvětlivky:

L (km) – délka aktivního segmentu zlomu; \*) Délka celého zlomu – segmentace není známa.

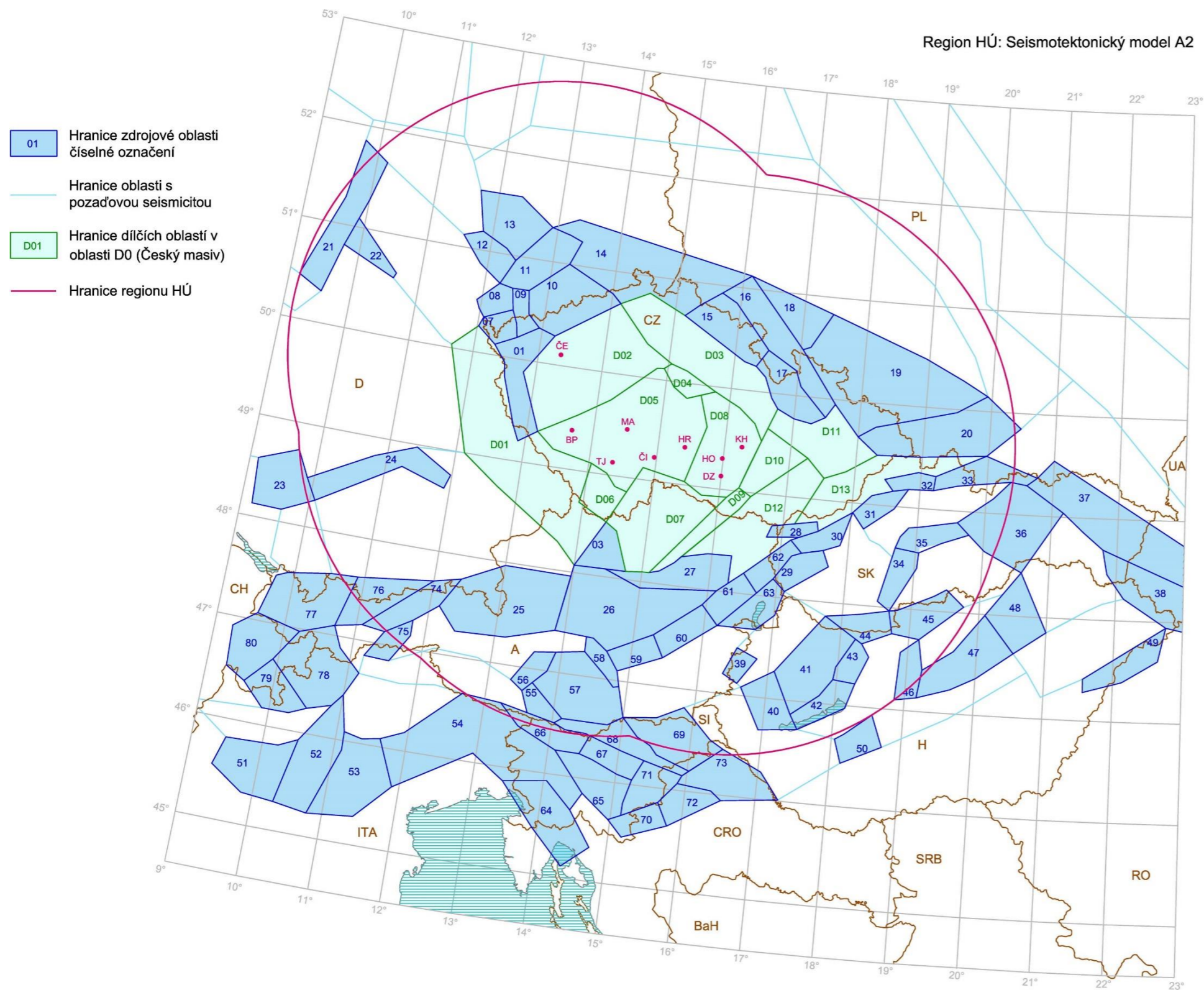
Unknown – Seismogenní struktura není známa (obvykle izolovaný jev s  $M_w \geq 4,8$ ).

Paleoseis. – dle geologického záznamu zemětřesení

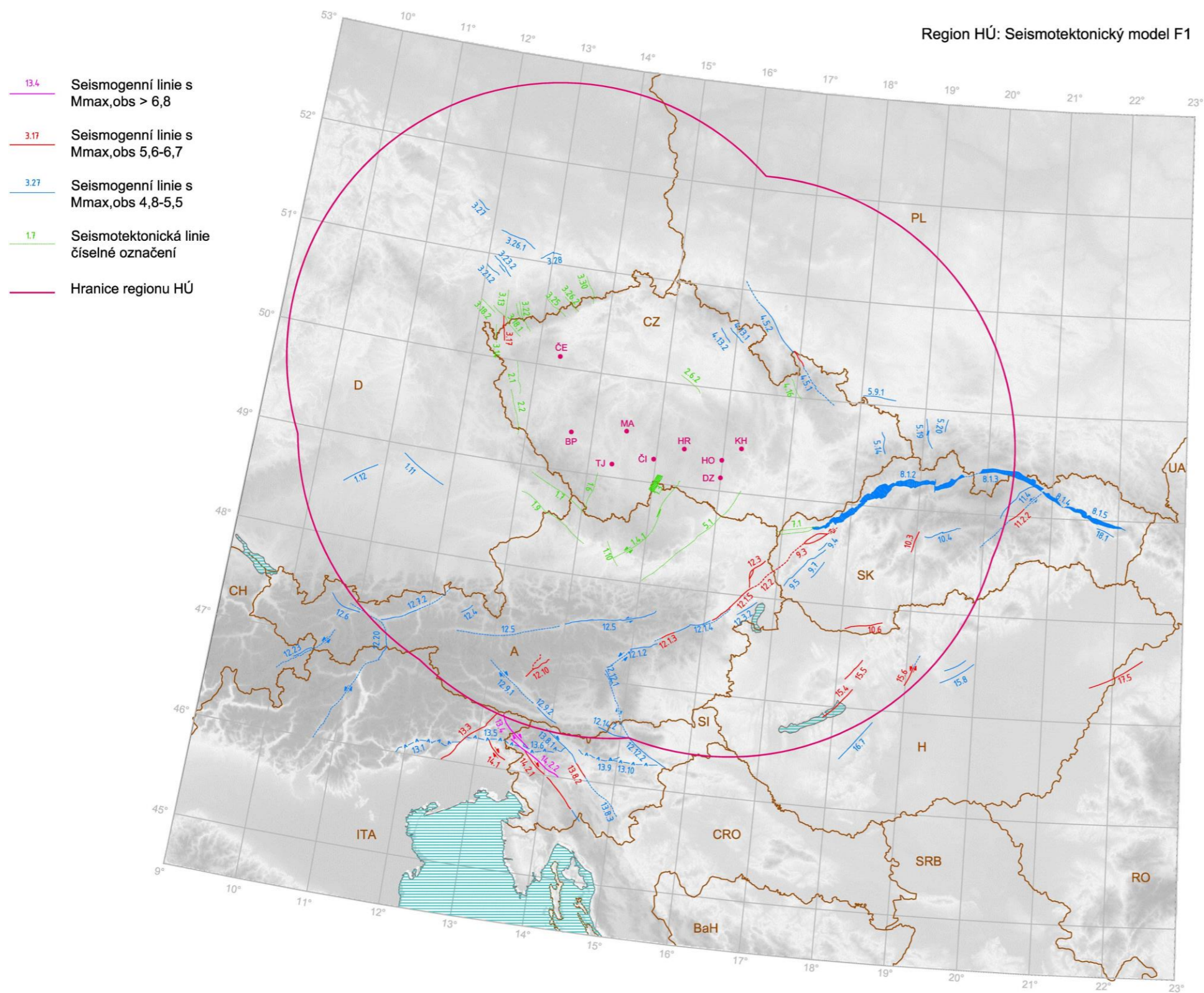
Archeol. – vymezeno na základě archeologických vykopávek




Obr. 29: Seismotektonický model A1.



Obr. 30: Seismotektonický model A2.



Obr. 31: Seismotektonický model F1.

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

## 5 MÍSTNÍ PODMÍNKY NA LOKALITÁCH HÚ

Při hodnocení místních geologických podmínek se vychází jednak z čl. 3.1 standardu IAEA NS-R-3 [L. 2] (3.1 Musí být zhodnoceny seismologické a geologické podmínky v regionu a inženýrsko-geologické aspekty a geotechnické aspekty pozemku navrženého pro umístění). Dále je ve vyhlášce SÚJB č. 378/2016 Sb., kde v §5, písm. e) uvedena povinnost “využít seismotektonický model místních geologických podmínek na pozemku jaderného zařízení” [L. 1].

Významné doporučení je uvedeno v čl. 3.1 standardu IAEA NS-G-3.6 ([L. 5]), které se vztahuje k určení typu pozemku jaderného zařízení. Podle odhadu rychlostí střížných seismických vln  $V_s$  horninového masivu pod úrovní základů stavby jaderného zařízení jsou pozemky řazeny do tří kategorií:

- Typ 1:  $V_s > 1100$  m/s;
- Typ 2:  $1100$  m/s  $> V_s > 300$  m/s;
- Typ 3:  $300$  m/s  $> V_s$


Uvedené členění pozemku je podmíněno předpokladem, že rychlost střížných vln  $V_s$  významně neubývá s hloubkou.

V útlumových vztazích používaných při výpočtu metodou PSHA se v současnosti používá vstupní parametr  $V_{s30}$ . Tento parametr určuje střední hodnotu rychlosti střížných vln v hloubce prvních 30 metrů pod povrchem. Pro kategorizaci jaderných zařízení se používá parametr  $V_s$ , definovaný výše v čl. 3.1 standardu IAEA NS-G-3.6 ([L. 5]). Pro účely výpočtu PSHA bylo tedy nutné přijmout určitou hodnotu rychlosti střížných seismických vln. Vzhledem k tomu, že na zkoumaných lokalitách neproběhla karotážní měření, která by tyto rychlosti změřila v definovaných podmínkách, byly tyto parametry odvozeny z archivních podkladů a výsledků laboratorních zkoušek na vzorcích hornin z posuzovaných lokalit.

V podkladu [L. 66] jsou uvedeny výsledky laboratorních zkoušek provedených na blocích hornin s rozměry cca 20x20x20 cm. Zkoušky byly provedeny metodou ultrazvukového prozařování. Válcová zkušební tělíska (výška 100 mm, průměr 50 mm) připravená pro zkoušky v prostém tlaku a triaxiální zkoušky (kapitola 1.3 podkladu [L. 66]) byla po vysušení (24 hodin, 105 °C) v podélném směru ultrazvukově prozářena. Využito bylo snímačů *PANAMETRICS V150* (podélné vlny) a *PANAMETRICS V153* (příčné vlny), zesilovače *Sedlak PA31*, pulzního zdroje *Olympus 5072PR* a osciloskopu *Agilent Technologies, DSO1024A*.

Výsledky zkoušek přibližuje následující přehled:

Březový potok	granodiorit	$3.033 \pm 0.136$ m/s
Čertovka	granit	$2.886 \pm 0.074$ m/s
Čihadlo	granit	$3.054 \pm 0.024$ m/s
Horka	durbachit	$2.143 \pm 0.138$ m/s
Hrádek	granit	$2.789 \pm 0.220$ m/s
Kraví hora	migmatit	$2.458 \pm 0.119$ m/s
Kraví hora	granulit	$2.450 \pm 0.292$ m/s
Magdaléna	melasyenit	$3.072 \pm 0.291$ m/s

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

Výsledky zkoušek velmi dobře korelují s hodnotami rychlostí střížných seismických vln uvedenými v literatuře (viz např. [L. 17] a Tab. 4 – červené elipsy).

Tab. 4: Tabulka obvyklých rychlostí seismických vln v horninách (převzato z podkladu [L. 17]).


Type of formation	P wave velocity (m/s)	S wave velocity (m/s)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Density of constituent crystal (g/cm <sup>3</sup> )
Scree, vegetal soil	300-700	100-300	1.7-2.4	-
Dry sands	400-1200	100-500	1.5-1.7	2.65 quartz
Wet sands	1500-2000	400-600	1.9-2.1	2.65 quartz
Saturated shales and clays	1100-2500	200-800	2.0-2.4	-
Marls	2000-3000	750-1500	2.1-2.6	-
Saturated shale and sand sections	1500-2200	500-750	2.1-2.4	-
Porous and saturated sandstones	2000-3500	800-1800	2.1-2.4	2.65 quartz
Limestones	3500-6000	2000-3300	2.4-2.7	2.71 calcite
Chalk	2300-2600	1100-1300	1.8-3.1	2.71 calcite
Salt	4500-5500	2500-3100	2.1-2.3	2.1 halite
Anhydrite	4000-5500	2200-3100	2.9-3.0	-
Dolomite	3500-6500	1900-3600	2.5-2.9	(Ca, Mg) CO <sub>3</sub> 2.8-2.9
Granite	4500-6000	2500-3300	2.5-2.7	-
Basalt	5000-6000	2800-3400	2.7-3.1	-
Gneiss	4400-5200	2700-3200	2.5-2.7	-
Coal	2200-2700	1000-1400	1.3-1.8	-
Water	1450-1500	-	1.0	-
Ice	3400-3800	1700-1900	0.9	-
Oil	1200-1250	-	0.6-0.9	-

Uvedené hodnoty se vztahují na zdravou horninu, ve které bude vybudována podzemní část HÚ.

Pro objekty povrchového areálu ale bude nutné stanovit rychlosti střížných vln v definovaných podmínkách, tj. ve smyslu standardu IAEA NS-G-3.6 ([L. 5]), čl. 3.1 bezprostředně pod úrovní zakládání. Z popisu polygonů vybraných pro umístění HÚ a také ze zkušeností z průzkumů pro umístění reaktorů jaderných elektráren v lokalitách Temelín a Dukovany vyplývá, že pozemky pro umístění povrchového areálu budou zařazeny k typu 1 dle čl. 3.1 standardu IAEA NS-G-3.6 ([L. 5]). Reálně lze odhadnout, že rychlosti střížných vln se v úrovni zakládání vybraných povrchových objektů HÚ budou pohybovat v rozmezí 1100-2000 m/s.

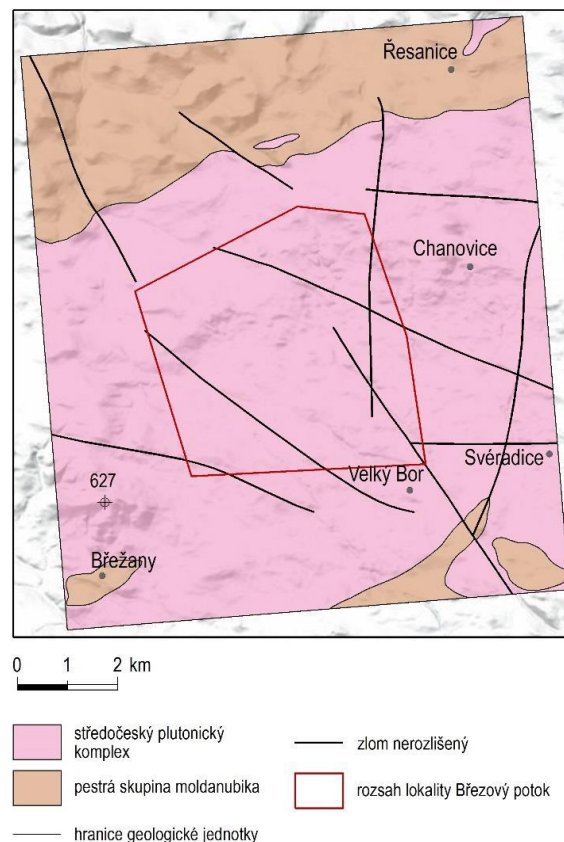
## 5.1 Charakteristika lokalit vybraných pro umístění HÚ

Popis zvažovaných lokalit pro umístění hlubinného úložiště radioaktivních odpadů byl převzat z podkladu [L. 28], který byla zpracován v rámci projektu SÚRAO „Výzkumná podpora bezpečnostního hodnocení hlubinného úložiště“.

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

### 5.1.1 Lokalita Březový potok

Zkoumané území lokality Březový potok je situována v Plzeňském kraji, z větší části náleží k území okresu Klatovy a z menší pak k okresu Plzeň-jih. V rámci území zkoumané lokality se nacházejí horniny patřící k pestré skupině jednotky moldanubika (pararuly, migmatizované pararuly a migmatity) a magmatické horniny blatenského a červenského typu (granodiority) patřící ke středočeskému plutonickému komplexu (Obr. 32). Na těchto horninách jsou uloženy horniny pokryvných útvarů, zastoupené omezeným výskytem sladkovodních sedimentárních sekvencí terciárního stáří a svahovými a říčními sedimentárními horninami kvartérního stáří. Sedimentární horniny pokryvných útvarů jsou zde relativně málo rozšířené.




Obr. 32: Schéma regionálně geologického členění lokality Březový potok (převzato z podkladu [L. 28]).

Na zkoumaném území jsou v existujících geologických mapách dokumentovány nebo předpokládány především zlomy SZ–JV, V–Z a S–J průběhu. Nejčastější jsou subvertikální až středně ukloněné struktury převážně V–Z průběhu.

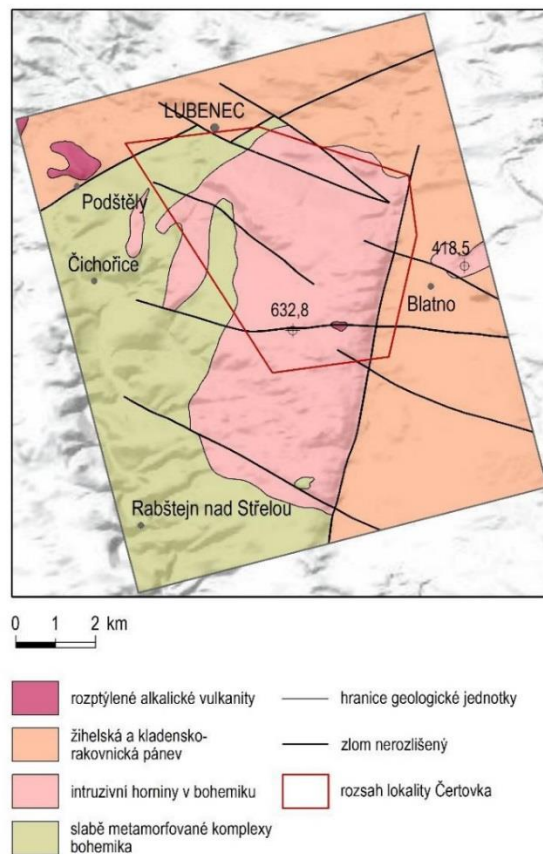
Odhady rychlostí střížných seismických vln  $v_s$  v převládajících granitoidech (2500-3300 m/s) a pestré skupině moldanubika (2700-3200 m/s) zařazují lokalitu dle standardu NS-G-3.6 do Typu 1 ( $v_s > 1100$  m/s).



 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

### 5.1.2 Lokalita Čertovka

Území zkoumané lokality Čertovka je situováno na území Karlovarského, Ústeckého a Plzeňského kraje. Horninové komplexy lokality Čertovka patří k neoproterozoiku Barrandienu, označovanému také jako bohemikum či tepelsko barrandienská jednotka (Chlupáč a Štorch 1992). Podloží oblasti Čertovka tvoří slabě až středně metamorfované sedimenty této jednotky. Jedná se převážně o břidlice, fylity, metadrobry až svory. V oblasti vystupuje 5 mladších geologických jednotek různého stáří: čistecko-jesenický pluton a lubenecký pluton kambrického až ordovického stáří, sedimenty kladensko-rakovnické pánve svrchně karbonického až permského stáří, doupovský vulkanický komplex plus rozptýlené alkalické vulkanity paleogenního až neogenního stáří a plošně malý rozsah sedimentárního pokryvu kvartérního stáří (Obr. 33; [L. 28]).



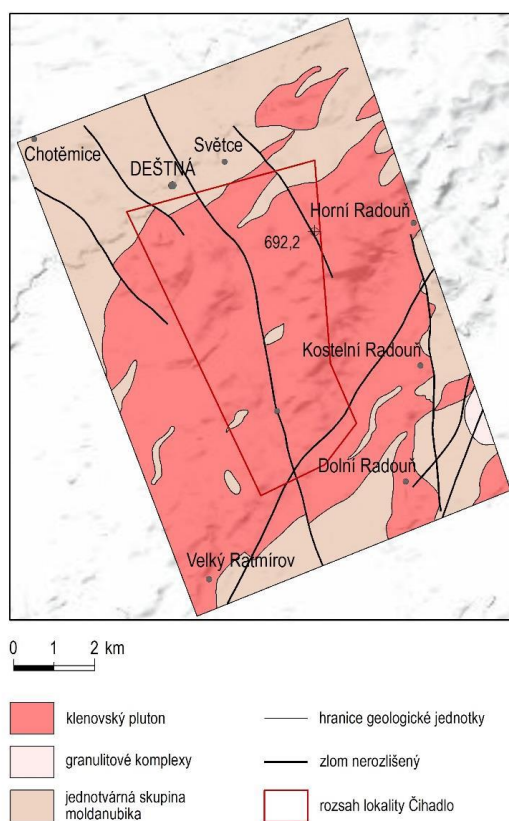
Obr. 33: Regionálně geologická stavba lokality Čertovka (převzato z podkladu [L. 28]).

Ve zkoumaném území jsou nejrozšířenější struktury s poklesovou kinematikou, které tvoří zlomy se strmým úklonem k JZ až ZJZ a výskytem rýhování (striací) orientovaných pod strmými úhly k Z až JZ.

Odhady rychlostí střížných seismických vln  $v_s$  v převládajících intruzivních horninách bohemika (2500-3300 m/s) zařazují lokalitu dle standardu NS-G-3.6 do Typu 1 ( $v_s > 1100$  m/s).

### 5.1.3 Lokalita Čihadlo

Území zkoumané lokality Čihadlo se nachází v Jihočeském kraji, na území okresu Jindřichův Hradec. Horninové komplexy v oblasti náleží svou geologickou pozicí a charakterem k regionálnímu celku moldanubika, respektive k jednotkám moldanubika jižních Čech (Obr. 34; [L. 46]). Na území zkoumané lokality byly identifikovány horniny monotónní skupiny moldanubika (migmatity, migmatizované pararuly a pararuly s tělesy ortorul a granulitů), granitoidy moldanubického plutonického komplexu (těleso klenovského plutonu) a sedimenty pokryvných útvarů, mezi které patří kvartérní uloženiny ve formě svahových a říčních sedimentů. Sedimenty na tomto území malý rozsah a jsou zpravidla vázány na plošně omezené výskyty v podobě denudačních reliktů ([L. 28]).



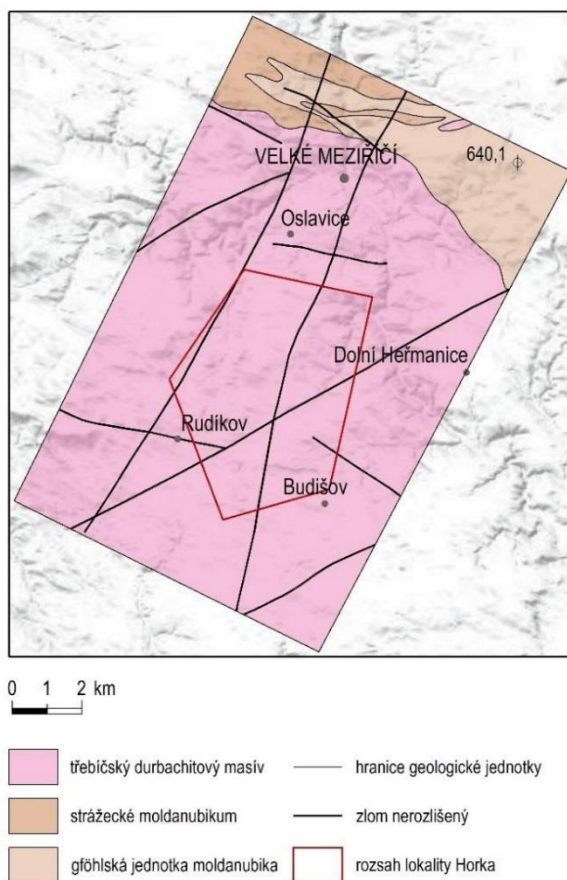
Obr. 34: Schéma regionálně-geologických jednotek na lokalitě Čihadlo (převzato z podkladu [L. 28]).

Obecně lze říci, že zlomy zasahující do zkoumaného území mají obvykle orientaci SV-V až JZ-Z nebo SZ-JV, ve východní části území převažují zlomy a zlomové zóny orientace S-J. Jejich vyšší hustota v jihovýchodní části modelu vyplývá z vyšší míry prozkoumanosti oblasti.

Odhady rychlostí střížných seismických vln  $v_s$  v granitoidech klenovského plutonu (2500-3300 m/s) zařazují lokalitu dle standardu NS-G-3.6 do Typu 1 ( $v_s > 1100$  m/s).

### 5.1.4 Lokalita Horka


Území lokality Horka se nachází kraji Vysočina, na území okresů Žďár nad Sázavou a Třebíč. Z pohledu regionální geologie náleží lokalita k moldanubiku ([L. 62]), přesněji je situována v severovýchodní části třebíčského plutonu a zahrnuje také jeho severní kontakt s horninami moldanubika. Třebíčský pluton je mělce uložené tabulární těleso trojúhelníkovitého tvaru (Obr. 35) a budují ho hlavně durbachity což jsou porfyrické amfibolicko-biotitické melasyenity až melagranity ([L. 40]). Lokálně nalezneme drobné výskyty sedimentárního pokryvu kenozoického stáří (dominují svahoviny a fluvialní sedimenty; [L. 28]).



Obr. 35: Regionálně geologická stavba lokality Horka (převzato z podkladu [L. 28]).

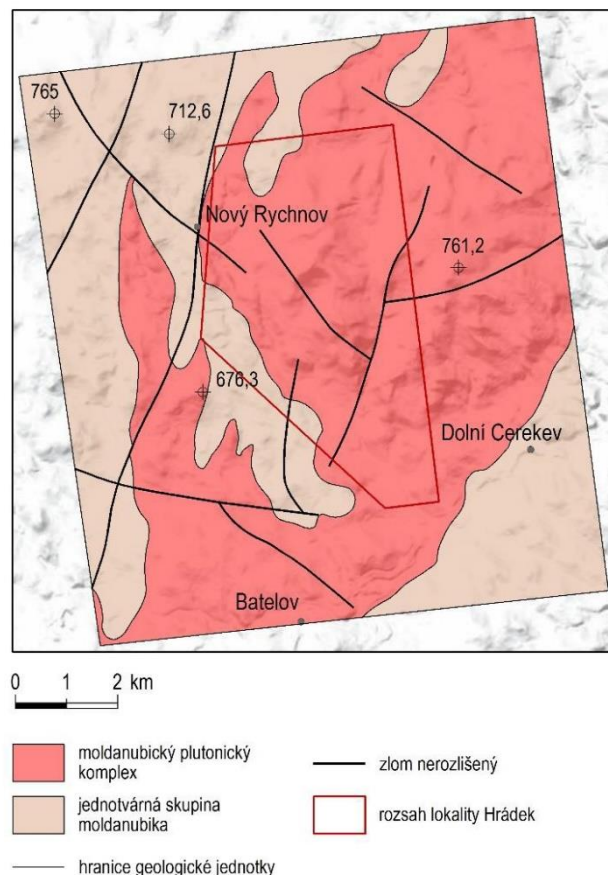
Autoři podkladu [L. 28] vyčlenili v třebíčském masívu pět dílčích segmentů, které od sebe oddělují jednotlivé zlomy (zhorský, hroznatínský, tasovský, bonovský a ohrazenický). Lokalita Horka spadá do segmentů hroznatínského a tasovského (viz též [L. 75]). Hranici mezi nimi představuje ořečovský (někdy též vidonínský) zlom orientovaný SV-JZ ([L. 28]).

Odhady rychlostí střížných seismických vln  $v_s$  v třebíčském durbachitovém masívu (2500-3300 m/s) zařazují lokalitu dle standardu NS-G-3.6 do Typu 1 ( $v_s > 1100$  m/s).

 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

### 5.1.5 Lokalita Hrádek

Zkoumané území lokality Hrádek se nachází převážně v kraji Vysočina, na území okresu Jihlava, západní část území se nachází v okresu Pelhřimov. Horninové komplexy této oblasti patří regionálnímu celku moldanubika, respektive k jednotkám moldanubika jižních Čech (Obr. 36). Na území zkoumané lokality byly identifikovány horniny tří odlišných geologických jednotek: (i) metamorfované horniny monotónní jednotky moldanubika; (ii) granitoidy moldanubického plutonického komplexu a (iii) pokryvné útvary kvartérního stáří ([L. 28]).




Obr. 36: Schéma regionálně geologické stavby lokality Hrádek (převzato z podkladu [L. 28]).

Autoři podkladů [L. 55] a [L. 74] považují za nejvýznamnější zlomový systém SZ–JV průběhu, který predisponoval tok Rohozné, jehož hloubkový dosah odhaduje přes 1000 m. Na většině archivních mapových podkladů však není tato porucha zachycena a nebyla zastižena ani geofyzikálním průzkumem v rámci projektu GeoBariéra ([L. 74]).

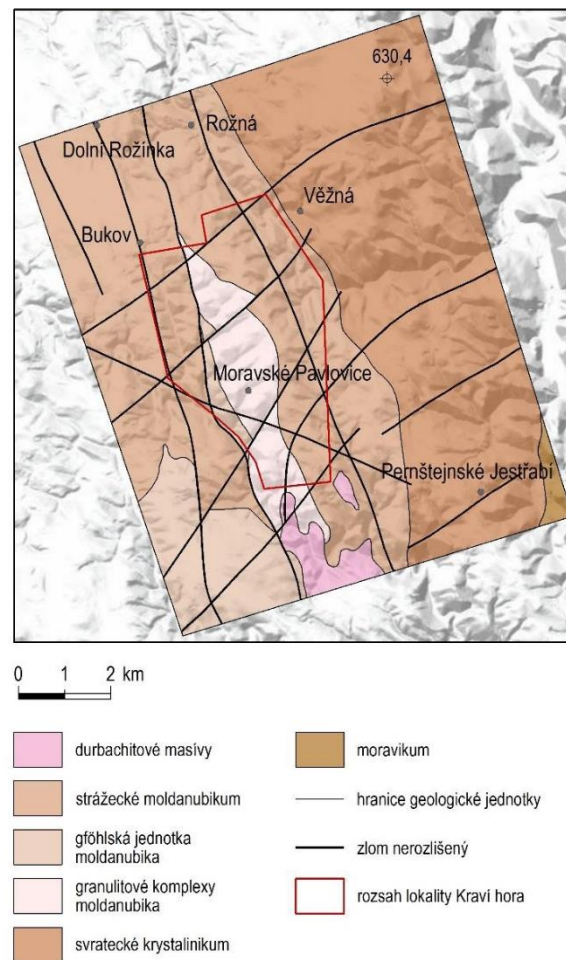
Sedimentární pokryv je zpravidla vázán na plošně omezené výskyty v podobě denudačních reliktů kvartérního stáří. Vesměs se jedná o svahové (splachové) a fluvialní sedimentární horniny, převážně písčitého a štěrkovitého charakteru.

Odhady rychlostí sřížných seismických vln  $v_s$  v moldanubickém plutonickém komplexu (2500–3300 m/s) zařazují lokalitu dle standardu NS-G-3.6 do Typu 1 ( $v_s > 1100$  m/s).

 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018


### 5.1.6 Lokalita Kraví Hora

Území zkoumané lokality Kraví Hora se nachází na hranici kraje Vysočina (okres Žďár nad Sázavou) a Jihomoravského kraje (okres Brno-venkov), jihovýchodně od obce Dolní Rožínka. V rámci zkoumaného území vystupují dvě odlišné jednotky metamorfovaných hornin (Obr. 37), a to strážecké moldanubikum na západě a svratecké krystalinikum v jeho východní části (dle podkladu [L. 46]). Do hornin strážeckého moldanubika byly dále vmístěny granitoidy až syenitoidy drahonínského plutonu ([L. 85]). Strážecké moldanubikum je tvořeno migmatitizovanými pararulami, migmatity, ortorulami a granulity s hojnými polohami amfibolitů, mramorů a kvarcitů. Území svrateckého krystalinika je dominantně tvořeno leukokrátními dvojslídými migmatity, ortorulami, pararulami a svory s polohami mramorů, vápenatosilikátových hornin a amfibolitů ([L. 28]).



Obr. 37: Regionálně geologická stavba lokality Kraví hora (převzato z podkladu [L. 28]).

Uranová mineralizace je zde vázána na mladovariské zóny mylonitizace a katalázy, které protínají komplexy metamorfovaných hornin ([L. 56] a citace v práci uvedené). Na území zkoumané lokality se vyskytuje poměrně velké množství tektonických poruch (zlomových zón, zlomů, střížných a extenzních puklin), jimž dominují zlomová pásma s.-j. průběhu nesoucí

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

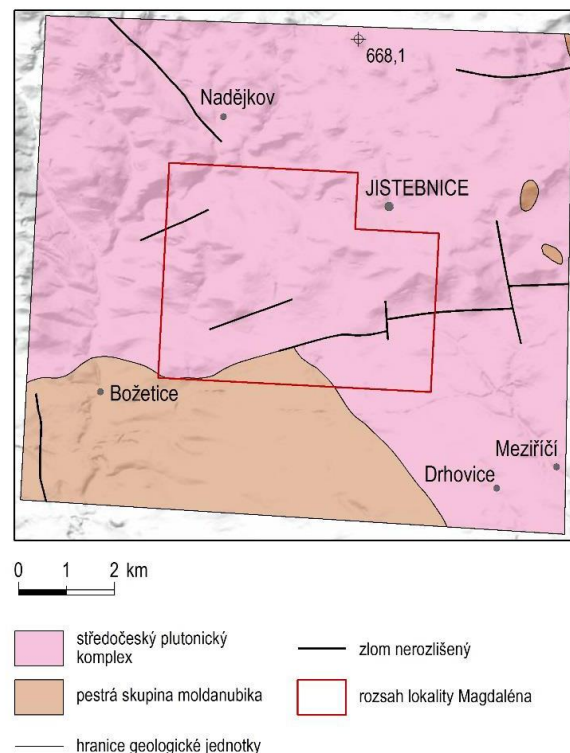
uranovou mineralizací. Tyto starší zlomy jsou porušeny relativně mladšími systémy orientace SV-JZ a SZ-JV.

Mezi zastoupené pokryvné útvary patří svahové a říční sedimenty omezené mocnosti. Zkoumané území spadá do vymezeného území rudního pole Rožná-Olší (shrnutí v podkladu [L. 56]). Oblast náleží k denudační oblasti ([L. 84]), kde dnes převažují procesy eroze a transportu materiálu. Proto mají sedimenty na tomto území malý rozsah a jsou zpravidla vázány na plošně omezené výskyty v podobě denudačních relikтів.


Odhady rychlostí střížných seismických vln  $v_s$  na lokalitě Kraví hora jsou v rozmezí 2500-3300 m/s a dle standardu NS-G-3.6 zařazují lokalitu do Typu 1 ( $v_s > 1100$  m/s).

### 5.1.7 Lokalita Magdaléna

Území zkoumané lokality Magdaléna se nachází v Jihočeském kraji, na území okresů Písek a Tábor v blízkosti města Jistebnice. Zkoumané území je litologicky i tektonicky relativně jednoduché. Horninové komplexy v oblasti náleží svou geologickou pozicí a charakterem k moldanubiku jižních Čech jako součásti Českého masivu (Obr. 38; [L. 46]). Tektonometamorfně nejstarší jednotku zde představují horniny moldanubika. Moldanubikum je zde tvořeno pestrou skupinou, pravděpodobně se zavrásněnými partiemi monotónní skupiny a gřöhlské jednotky, které však od sebe nelze vzhledem ke společnému intenzivnímu metamorfnímu a deformačnímu přetisku vždy jednoznačně odlišit ([L. 28]).



Obr. 38: Schéma regionálně geologických jednotek lokality Magdaléna (převzato z podkladu [L. 28]).

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

Dle podkladu [L. 78] a [L. 83] jsou kvartérní sedimenty zastoupeny svahovými uloženinami, sprašovými hlínami, splachovými a fluviálními sedimenty. Mají však na území jen malý rozsah v podobě denudačních reliktů.

Zlomové struktury jsou dle syntézy současných rešeršních prací ČGS ([L. 27]) reprezentovány třemi hlavními systémy poruch: (a) S-J zlomy vyplněné žilným křemenem, vyskytující se zejména v JZ části území paralelní se S-J žilami granodioritového porfyritu vyskytujícími se z. od zkoumaného území, (b) zlomy V-Z průběhu paralelní s žilami leukokrátních hornin a jižním okrajem milevského plutonu, (c) zlomy ~SSZ-JJV průběhu zhruba paralelní s petrovickou zónou, výraznou zlomovou linií nadregionálního významu probíhající západně od zkoumaného území.

Odhady rychlostí střížných seismických vln  $V_s$  ve středočeském plutonickém komplexu (2500-3300 m/s) zařazují lokalitu dle normy NS-G-3.6 do Typu 1 ( $v_s > 1100$  m/s).

### 5.1.8 Lokalita EDU-západ

Území zkoumané lokality EDU - západ leží v okrese Třebíč, kraji Vysočina a nachází se jižně od města Třebíč [L. 41]. Při hodnocení byla zkoumána dvě potenciálně vhodná území - „Klučovská Hora“ na severovýchodě a „Na Skalním“ na jihu polygonu EDU-Z (Obr. 39). V současné době je preferováno území „Na Skalním“.

Obě území leží v jižní části variského třebíčského plutonu (především amfibol-biotitické granity až syenity, označované jako durbachity) při jeho východní hranici s moravským moldanubikem, zde reprezentovaným gřohlskou skupinou (migmatity a granulitové ruly s granuly a serpentinity). Kenozoický pokryv je v zájmovém území zanedbatelný. Terciér Českého masivu je reprezentovaný reliktami křemenných pískovců. Kvartérní uloženiny jsou plošně i mocností velmi malého rozsahu, oblast má výrazně denudační charakter ([L. 37]).

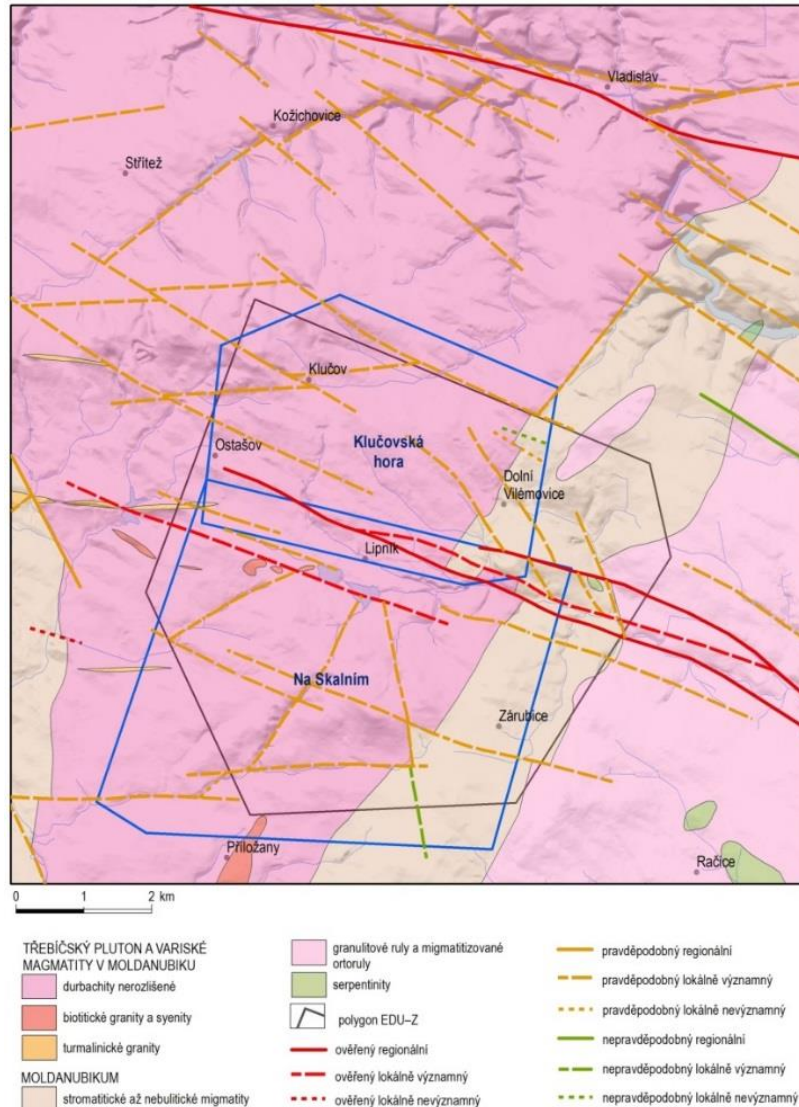
Nejvýraznějším zlomovým systémem zkoumaného polygonu je lipnický zlom, který probíhá v několika větvích od Ostašova přes Lipník k JV až VJV do údolí Rouchovanky. K jihu pak byly interpretovány paralelní struktury lokálního rozsahu jdoucí přes Silniční rybník a kolem kóty Na Skalním ([L. 37]).

Odhady rychlostí střížných seismických vln  $V_s$  pro třebíčský pluton (2500-3300 m/s) zařazují lokalitu dle standardu NS-G-3.6 do Typu 1 ( $v_s > 1100$  m/s).

### 5.1.9 Lokalita ETE-jih

Území zkoumané lokality ETE-jih se nachází jižně od jaderné elektrárny Temelín. Lokalita se nachází v území, které náleží k moldanubickému komplexu. Hlavním horninovým typem je tzv. refovaná rula monotónní série moldanubika. Nejběžnějším typem je sillimanit-biotitická pararula s různým stupněm migmatitizace.

Rychlosti střížných seismických vln se ve zdravých biotických pararulách pohybují v rozmezí 1845 – 1971 m/s, jak ukazují výsledky karotážních měření na pozemku NJZ ETE (viz [L. 70]). Ve smyslu standardu NS-G-3.6 se tedy jedná o Typ 1 ( $v_s > 1100$  m/s).




Obr. 39: Schéma regionálně geologických jednotek lokality EDU západ (převzato z podkladu [L. 37])

## 5.2 Shrnutí

Objekty 1. seismické kategorie povrchového areálu HÚ budou dle předpokladu založeny na mírně zvětralých až zdravých horninách s absencí (nizkorychlostního) pokryvu. Lze předpokládat, že rychlosti seismických střížných vln v těchto horninách budou všechny zvažované lokality zařazovat ve smyslu dle čl. 3.1 standardu IAEA NS-R-3 [L. 5] do Typu 1. Pro výpočet PSHA byla tedy použita rychlost  $V_s = 1100$  m/s.

Pro zdravé horniny v hloubkách, kde bude umístěna podzemní část hlubinného úložiště (horizont ukládání), lze očekávat rychlosti vyšší a vzhledem k převládajícím rychlostem  $V_s$  v hostitelských horninách (granitoidy, metamorfity – ruly, migmatity), byla pro výpočet použita rychlost 3000 m/s.



 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

## 6 PRAVDĚPODOBNOSTNÍ VÝPOČET SEISMICKÉHO OHROŽENÍ

### 6.1 Přiřazení do zdrojových oblastí

V tomto kroku PSHA jsou jednotlivé jevy uvedené v deklasterizovaném katalogu přiřazeny k příslušným zdrojovým oblastem v každém seismotektonickém modelu. Pro modely využívající plošné zdrojové zóny (A1, A2) je to jednoduché – přiřadíme lokace do příslušných geografických polygonů definujících zdrojové zóny. Pro seismotektonický model využívající lineární zlomy (F1) je to složitější – jednak obvykle známe jen průběh zlomu po povrchu a neznáme přesně jeho podpovrchový průběh; za druhé lokace zemětřesení jsou, obzvláště v dávnější minulosti, pouze velmi přibližné. Proto kritérium pro přiřazení epicentra známému zlomu je závislé na letopočtu zemětřesení. Před rokem 1900 přiřazujeme jev nejbližšímu zlomu až do vzdálenosti 40 km, mezi lety 1900 a 1950 do vzdálenosti 25 km, a novější jevy přiřadíme zlomu jen pokud jsou blíže než 15 km. Pro všechny seismotektonické modely zůstává menší počet zemětřesení, která nejsou přiřazena žádné zdrojové oblasti, a tudíž nevstoupí do statistiky v dalších krocích výpočtu. Těchto zemětřesení není mnoho, povětšinou jde o slabší jevy, a leží až ve větších vzdálenostech od míst, pro která vyhodnocujeme seismické ohrožení. Z těchto důvodů je možno jejich vliv zanedbat.

### 6.2 Stanovení parametrů seismicity

Základní statistickou zákonitostí pro výskyt zemětřesení, kterou v této zprávě používáme, je oříznuté Gutenberg-Richterovo (GR) četnostní rozdělení:


$$\log N_c = a - b.M_w \quad \text{pro } M_w \leq M_{max}$$

$$N_c = 0 \quad \text{pro } M_w > M_{max}$$

kde  $N_c$  je kumulativní četnost zemětřesení, tj. průměrný počet zemětřesení za jeden rok s momentovým magnitudem větším nebo rovným  $M_w$ . Parametry  $a$ ,  $b$  jsou konstanty pro uvažovanou zdrojovou zónu.  $M_{max}$  je maximální zemětřesení.

Parametr  $a$  je stanoven z průměrného ročního počtu zemětřesení v dané zdrojové zóně s magnitudem 3,9 nebo vyšším. Roční četnost takových zemětřesení označme symbolem  $N_{3,9}$ . Parametr  $a$  v četnostním grafu pak spočteme jako  $a = \log N_{3,9} + 3,9 b$ . Pokud ve zkoumané zóně není žádné zemětřesení s magnitudem 3,9 a větším, počítáme parametr  $a$  z katalogu slabých zemětřesení pro magnitudu 2,9. To se uplatňuje především v zónách s difúzní seismicitou.

Parametr  $b$  určíme nejprve jako průměrnou hodnotu pro celý region a pro oblasti SCR, APD a WAP. Za tím účelem nakreslíme GR graf pro magnitudu 3,9 a vyšší. Doba úplnosti vzrůstá s rostoucím magnitudem. Období úplnosti katalogu bylo přerušeno v období druhé světové války v letech 1940 a 1945, tato léta neuvažujeme. Hodnoty roční četnosti spočteme jako počet

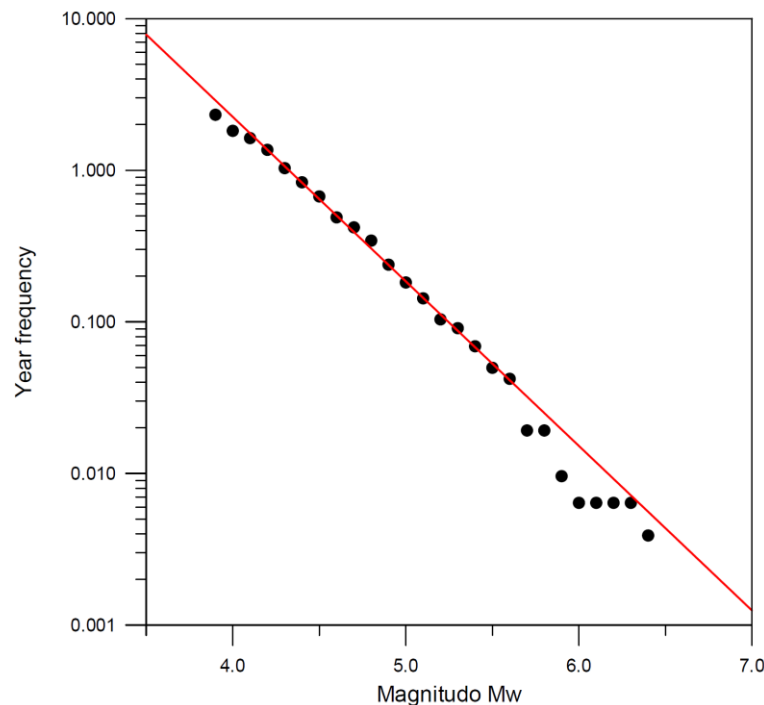
	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

zemětřesení s daným magnitudem a větším dělený dobou úplnosti katalogu. Výsledek pro oblast SCR vidíme na Obr. 40. Průměrná hodnota parametru  $b$  pro celý region je 1.045.


Pokud je v katalogu dostatečný počet zemětřesení pro statistické vyhodnocení, stanovují se parametry  $b$  individuálně pro jednotlivé zóny. V opačném případě se přebírají průměrné parametry  $b$  pro celý region.

Parametr  $M_{max}$  se stanovuje rozdílně pro seismotektonický model č.1 a č.2, které jsou tvořeny plošnými zdrojovými zónami a pro seismotektonický model č.3, který sestává z lineárních zdrojových zón, které modelují tektonické zlomy. V případě plošných zón je hodnota  $M_{max}$  stanovena pro jednotlivé zóny ve dvou variantách tak, že k hodnotě maximálně pozorovaného zemětřesení  $M_{obs}$  je přičtena hodnota 0,5 respective 1,0. Mezi pozorovaná zemětřesení se berou i paleozemětřesení, pokud nejsou starší než 2000 let. Toto pravidlo je aplikováno pro zónu „West Bohemian Swarm Zone“, kde jsou použity hodnoty  $M_{max} = 7,0$  a  $7,5$ . Nejmenší hodnota  $M_{max}$  je 6,0. To vyplývá z úvahy, že takovéto zemětřesení může proběhnout na dosud neznámém skrytém zlomu, jehož existence nemusí být na povrchu znatelná. Takové zemětřesení proto nelze v dlouhodobém horizontu milionu let vyloučit, i když roční pravděpodobnost takového jevu je velmi nízká. Obě varianty hodnoty  $M_{max}$  jsou použity se stejnou vahou. V případě lineárních zón podél zlomů (model F1) používáme rovněž dvě hodnoty, první je  $M_{obs} + 0,5$ , druhá je odvozena z délky zlomu podle vztahů publikovaných v podkladech [L. 58] a [L. 87].

Přehled parametrů pro 3 seismotektonické modely a pro jednotlivé zdrojové zóny jsou v Tab. 5 až Tab. 7. Všechny 3 modely jsou uvažovány se stejnou vahou.




Obr. 40: Kumulativní GR graf pro stabilní kontinentální oblast SCR

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

Tab. 5: Model A1 Přehled zdrojových oblastí a hodnot  $a, b, M_{max}$


No.	Název zdroje	$a$	$b$	$M_{max1}$	$M_{max2}$
D0	Bohemian Massif Difuse Zone	1.71	1.05	6.0	6.0
1	Bohemian Forest Zone	2.01	1.05	6.0	6.0
3	Pregarten Zone	2.48	1.05	6.0	6.0
7	West Bohemian Swarm Zone	3.42	1.06	7.0	7.5
8	Plauen Zone	2.01	1.05	6.0	6.0
9	Jáchymov Zone	1.71	1.05	6.0	6.0
10	Erzgebirge Zone	2.01	1.05	6.0	6.0
11	Granulitgebirge	2.01	1.05	6.0	6.4
12	Gera Zone	2.01	1.05	6.0	6.4
13	Halle Zone	2.48	1.05	6.0	6.0
14	Lužice Zone	2.01	1.05	6.0	6.0
15	Sudetic Zone	2.71	1.05	6.5	6.5
16	Silesian Zone	2.31	1.05	6.0	6.1
17	Hrubý Jeseník Mts. Zone	2.01	1.05	6.0	6.0
18	Strzelin hills Zone	1.71	1.05	6.0	6.0
19	Silesian Basin Zone	2.48	1.05	6.0	6.1
20	Beskydy Foothills Zone	1.71	1.05	6.0	6.4
21	Hohe Meißner Zone	1.71	1.05	6.0	6.0
22	West Thüringer Wald Zone	2.31	1.05	6.0	6.2
23	Schwäbische Alb Zone	2.31	1.05	6.0	6.0
24	Donauwoth Zone	2.71	1.05	6.0	6.1
25	Salzach Zone	5.08	1.50	6.0	6.0
26	Austrian Prealps Zone	5.10	1.50	6.0	6.1
27	Neulengbach Zone	2.31	1.05	6.3	6.8
28	Svätý Jur Zone	2.01	1.05	6.0	6.0
29	Little Carpatians Zone	2.61	1.05	6.0	6.2
30	Dobrá Voda Zone	0.87	0.55	6.4	6.9
31	Strážov Hills Zone	2.01	1.05	6.0	6.0
32	Žilina Zone	2.01	1.05	6.1	6.6
33	Podhale Zone	2.48	1.05	6.0	6.0
34	Štiavnica Hills Zone	2.01	1.05	6.0	6.0
35	Kremnica Hills Zone	2.48	1.05	6.2	6.7
36	Levoča-Volovec Mts. Zone	1.71	1.05	6.1	6.6
37	Zemplín Zone	2.06	0.83	6.0	6.2
38	Tisza river Zone	2.71	1.05	6.0	6.0
39	Savaria Zone	1.71	1.05	6.9	7.4
40	Zala Zone	2.61	1.05	6.0	6.0
41	Bakony Mts. Zone	2.01	1.05	6.0	6.0
42	Lake Balaton Zone	2.48	1.05	6.3	6.8
43	Vértes Mts. Zone	2.48	1.05	6.3	6.8
44	Komárno Zone	1.71	1.05	6.9	7.4
45	Börzsöny Mts. Zone	3.93	1.32	6.0	6.0
46	Buday-hegység Hills Zone	2.31	1.05	6.3	6.8
47	Jászberény Zone	4.42	1.45	6.0	6.1
48	Bükki Zone	2.48	1.05	6.0	6.0

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018


No.	Název zdroje	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>M<sub>max1</sub></i>	<i>M<sub>max2</sub></i>
49	Debrecen Zone	2.31	1.05	6.9	7.4
50	Tamási Zone	2.31	1.05	6.0	6.0
51	Bergamo Zone	1.75	0.71	6.1	6.6
52	Lago di Garda Zone	1.74	0.64	6.3	6.8
53	Asiago Zone	0.88	0.50	7.2	7.7
54	Idria-Friuli-Belluno Zone	2.45	0.65	7.4	7.9
55	Dobratsch Zone	2.01	1.05	6.0	6.1
56	Tamsweg Zone	2.01	1.05	6.5	7.0
57	Gurktal Alps Zone	2.71	1.05	6.0	6.1
58	Lavanttal Alps Zone	1.62	0.75	6.0	6.0
59	Mur Valley Zone	2.48	1.05	6.0	6.1
60	Mürz Valley Zone	1.73	0.69	6.1	6.6
61	Vienna Basin Zone	1.43	0.65	6.0	6.4
62	Carnuntum Zone	2.01	1.05	7.1	7.3
63	Lake Neusiedl Zone	2.48	1.05	6.0	6.0
64	Čičarija Zone	3.62	1.08	6.6	7.1
65	Ljubljana Zone	3.41	1.04	6.3	6.8
66	Julian Alps Zone	3.51	1.17	6.0	6.1
67	Kamnik Zone	3.85	1.24	6.0	6.4
68	Karawanks Zone	1.55	0.70	6.0	6.0
69	Drava river Zone	2.73	1.01	6.0	6.1
70	Žumberak Zone	4.74	1.50	6.5	7.0
71	Krka river Zone	3.64	1.09	6.5	7.0
72	Zagreb Zone	1.69	0.69	6.6	7.1
73	Kalnik Mts. Zone	3.37	1.09	6.5	7.0
74	Karwendel Alps II Zone	4.21	1.30	6.0	6.5
75	Tux Alps Zone	2.71	1.05	6.0	6.1
76	Karwendel Alps I Zone	2.14	0.85	6.0	6.1
77	Allgauer Alps Zone	2.29	0.84	6.0	6.5
78	Engadine-Ortler Zone	2.79	0.94	6.0	6.4
79	Bernina Zone	2.31	1.05	6.0	6.0
80	Madrisa Zone	5.04	1.50	6.7	7.2

Tab. 6: Model A2 Přehled zdrojových oblastí a hodnot *a, b, M<sub>max</sub>*


No.	Název zdroje	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>M<sub>max1</sub></i>	<i>M<sub>max2</sub></i>
D01	Moldanubian Zone	1.71	1.05	6.0	6.0
D02	Teplá-Barrandien Zone	1.71	1.05	6.0	6.0
D03	Bohemian Cretaceous Basin Zone	1.71	1.05	6.0	6.0
D04	Železné hory Mts. Zone	1.71	1.05	6.0	6.0
D05	Central Bohemian Zone	1.71	1.05	6.0	6.0
D06	Český Krumlov Zone	1.71	1.05	6.0	6.0
D07	Moldanubian Pluton Zone	1.71	1.05	6.0	6.0
D08	Moravian Zone	1.71	1.05	6.0	6.0
D09	Diendorf Fault Zone	1.71	1.05	6.0	6.0

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

No.	Název zdroje	a	b	$M_{max1}$	$M_{max2}$
D10	Brno Masiv Zone	1.71	1.05	6.0	6.0
D11	Upper Moravian Basin Zone	1.71	1.05	6.0	6.0
D12	Ždánice Forest Zone	1.71	1.05	6.0	6.0
D13	Javorníky Mts. Zone	1.71	1.05	6.0	6.0
1	Bohemian Forest Zone	2.01	1.05	6.0	6.0
3	Pregarten Zone	2.48	1.05	6.0	6.0
7	West Bohemian Swarm Zone	3.42	1.06	7.0	7.5
8	Plauen Zone	2.01	1.05	6.0	6.0
9	Jáchymov Zone	1.71	1.05	6.0	6.0
10	Erzgebirge Zone	2.01	1.05	6.0	6.0
11	Granulitgebirge	2.01	1.05	6.0	6.4
12	Gera Zone	2.01	1.05	6.0	6.4
13	Halle Zone	2.48	1.05	6.0	6.0
14	Lužice Zone	2.01	1.05	6.0	6.0
15	Sudetic Zone	2.71	1.05	6.5	6.5
16	Silesian Zone	2.31	1.05	6.0	6.1
17	Hrubý Jeseník Mts. Zone	2.01	1.05	6.0	6.0
18	Strzelin hills Zone	1.71	1.05	6.0	6.0
19	Silesian Basin Zone	2.48	1.05	6.0	6.1
20	Beskydy Foothills Zone	1.71	1.05	6.0	6.4
21	Hohe Meißner Zone	1.71	1.05	6.0	6.0
22	West Thüringer Wald Zone	2.31	1.05	6.0	6.2
23	Schwäbische Alb Zone	2.31	1.05	6.0	6.0
24	Donauworth Zone	2.71	1.05	6.0	6.1
25	Salzach Zone	5.08	1.50	6.0	6.0
26	Austrian Prealps Zone	5.10	1.50	6.0	6.1
27	Neulengbach Zone	2.31	1.05	6.3	6.8
28	Svätý Jur Zone	2.01	1.05	6.0	6.0
29	Little Carpatians Zone	2.61	1.05	6.0	6.2
30	Dobrá Voda Zone	0.87	0.55	6.4	6.9
31	Strážov Hills Zone	2.01	1.05	6.0	6.0
32	Žilina Zone	2.01	1.05	6.1	6.6
33	Podhale Zone	2.48	1.05	6.0	6.0
34	Štiavnica Hills Zone	2.01	1.05	6.0	6.0
35	Kremnica Hills Zone	2.48	1.05	6.2	6.7
36	Levoča-Volovec Mts. Zone	1.71	1.05	6.1	6.6
37	Zemplín Zone	2.06	0.83	6.0	6.2
38	Tisza river Zone	2.71	1.05	6.0	6.0
39	Savaria Zone	1.71	1.05	6.9	7.4
40	Zala Zone	2.61	1.05	6.0	6.0
41	Bakony Mts. Zone	2.01	1.05	6.0	6.0
42	Lake Balaton Zone	2.48	1.05	6.3	6.8
43	Vértes Mts. Zone	2.48	1.05	6.3	6.8
44	Komárno Zone	1.71	1.05	6.9	7.4
45	Börzsöny Mts. Zone	3.93	1.32	6.0	6.0
46	Buday-hegység Hills Zone	2.31	1.05	6.3	6.8


	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

No.	Název zdroje	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>M<sub>max1</sub></i>	<i>M<sub>max2</sub></i>
47	Jászberény Zone	4.42	1.45	6.0	6.1
48	Bükk Zone	2.48	1.05	6.0	6.0
49	Debrecen Zone	2.31	1.05	6.9	7.4
50	Tamási Zone	2.31	1.05	6.0	6.0
51	Bergamo Zone	1.75	0.71	6.1	6.6
52	Lago di Garda Zone	1.74	0.64	6.3	6.8
53	Asiago Zone	0.88	0.50	7.2	7.7
54	Idria-Friuli-Belluno Zone	2.45	0.65	7.4	7.9
55	Dobratsch Zone	2.01	1.05	6.0	6.1
56	Tamsweg Zone	2.01	1.05	6.5	7.0
57	Gurktal Alps Zone	2.71	1.05	6.0	6.1
58	Lavanttal Alps Zone	1.62	0.75	6.0	6.0
59	Mur Valley Zone	2.48	1.05	6.0	6.1
60	Mürz Valley Zone	1.73	0.69	6.1	6.6
61	Vienna Basin Zone	1.43	0.65	6.0	6.4
62	Carnuntum Zone	2.01	1.05	7.1	7.3
63	Lake Neusiedl Zone	2.48	1.05	6.0	6.0
64	Ćićarija Zone	3.62	1.08	6.6	7.1
65	Ljubljana Zone	3.41	1.04	6.3	6.8
66	Julian Alps Zone	3.51	1.17	6.0	6.1
67	Kamnik Zone	3.85	1.24	6.0	6.4
68	Karawanks Zone	1.55	0.70	6.0	6.0
69	Drava river Zone	2.73	1.01	6.0	6.1
70	Žumberak Zone	4.74	1.50	6.5	7.0
71	Krka river Zone	3.64	1.09	6.5	7.0
72	Zagreb Zone	1.69	0.69	6.6	7.1
73	Kalnik Mts. Zone	3.37	1.09	6.5	7.0
74	Karwendel Alps II Zone	4.21	1.30	6.0	6.5
75	Tux Alps Zone	2.71	1.05	6.0	6.1
76	Karwendel Alps I Zone	2.14	0.85	6.0	6.1
77	Allgauer Alps Zone	2.29	0.84	6.0	6.5
78	Engadine-Ortler Zone	2.79	0.94	6.0	6.4
79	Bernina Zone	2.31	1.05	6.0	6.0
80	Madrisa Zone	5.04	1.50	6.7	7.2

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018


Tab. 7: Model F1 Přehled zdrojových oblastí a hodnot  $a, b, M_{max}$

No.	Název zdroje	$a$	$b$	$M_{max1}$	$M_{max2}$
1	2.1 Mariánské Lázně fault	1.67	1.05	5.0	5.0
2	2.2 Tachov fault	1.98	1.05	4.7	4.7
3	1.10 Pregarten fault	2.28	1.05	4.7	4.7
4	3.17 Počátky-Plesná fault	2.69	0.94	6.8	7.0
5	3.18.1 Klingenthal-Kraslice fault	2.28	1.05	5.0	5.0
6	3.14 Františkovy Lázně fault	2.58	1.05	5.0	5.0
7	3.18.2 Bergen fault	1.98	1.05	5.0	5.0
8	3.22 Jáchymov fault (II)	1.67	1.05	4.6	4.6
9	3.25 Weissenbad fault	1.67	1.05	5.0	5.0
10	3.26.2 Flöhy fault (II)	1.98	1.05	4.6	4.6
11	3.30 ???	1.67	1.05	4.6	4.6
12	3.28 Granulitgebirge fault	1.98	1.05	5.9	5.9
13	3.23.2 Crimmitschau fault	1.67	1.05	5.9	5.9
14	3.21.2 Pohlen fault	1.98	1.05	5.3	5.3
15	3.27 Teutschenthal fault	1.98	1.05	5.5	5.5
16	3.26.1 Rötha fault	2.28	1.05	5.3	5.3
17	4.13.1 Hronov-Poříčí fault	2.45	1.05	5.2	5.2
18	4.13.2 Nová Paka fault	1.67	1.05	5.3	5.3
19	Point Source	1.67	1.05	5.3	5.3
20	4.5.1 Sudetic marginal fault	1.67	1.05	6.6	6.5
21	4.5.2 Sudetic marginal fault	1.98	1.05	5.6	5.6
22	4.16 Pleče fault	1.98	1.05	4.7	4.7
23	5.9.1 Racibórz fault	1.67	1.05	5.6	5.6
24	Point Source	1.98	1.05	4.7	4.7
25	5.14 Orlova fault	1.67	1.05	5.9	5.9
26	5.20 Andrychów fault	1.67	1.05	5.9	5.9
27	5.19 Bielsko-Biała Fault	1.67	1.05	5.3	5.3
28	Point Source	1.67	1.05	5.3	5.3
29	Point Source	2.28	1.05	5.7	5.7
30	1.12	1.98	1.05	5.6	5.6
31	1.11	2.45	1.05	5.4	5.4
32	12.4	2.45	1.05	5.3	5.3
33	12.5 Salzach-Ennstal-Mariazell Line	2.88	1.05	5.6	5.6
34	Point Source	1.67	1.05	6.3	6.3
35	Point Source	1.67	1.05	5.9	5.9
36	7.1 Myjava fault	1.98	1.05	4.8	4.8
37	9.5 Malé Karpaty Mts. fault	1.98	1.05	5.7	5.7
38	9.7 Povážie fault systém	1.67	1.05	5.4	5.4
39	9.3 Jablonica fault	2.58	1.05	6.8	6.4
40	9.4 Čachtice fault	2.28	1.05	5.6	5.6
41	8.1.2 Peripieniny lineament - Žilina-Zazrivá part	1.98	1.05	6.2	6.1
42	8.1.3 Peripieniny lineament - Podhale part	2.28	1.05	5.4	5.3
43	10.3 Štiavnica fault (II)	1.67	1.05	6.2	6.2
44	10.4 Hron fault systém	2.45	1.05	5.4	5.4
45	11.2.2 Muráň fault	1.67	1.05	6.6	6.1

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

No.	Název zdroje	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>M<sub>max1</sub></i>	<i>M<sub>max2</sub></i>
46	11.4 Poprad fault	1.98	1.05	5.4	5.4
47	8.1.5 Peripieniny lineament - Prešov-Humenné	2.28	1.05	5.7	5.7
48	18.1 Számos fault (I)	2.28	1.05	5.6	5.6
49	Point Source	1.67	1.05	5.4	5.4
50	Point Source	1.98	1.05	5.3	5.3
51	Point Source	1.67	1.05	6.9	6.9
52	15.4 Balaton upland fault	2.28	1.05	6.3	6.3
53	15.5 Mór Line	2.45	1.05	6.8	6.3
54	10.6 Komárno faults	2.28	1.05	7.0	6.9
55	15.6 Buda Line	2.28	1.05	6.6	6.3
56	15.8 Jászberény fault (I)	2.28	1.05	5.3	5.3
57	15.8 Jászberény fault (II)	1.98	1.05	5.6	5.6
58	17.5 Érmellék active zone	2.45	1.05	7.2	6.9
59	16.7 Kulcs fault	2.28	1.05	5.3	5.3
60	14.2.2 Idrija fault	3.02	1.00	7.2	7.4
61	13.4 Dogna fault	0.72	0.46	7.0	7.3
62	12.9.2 Dobratch fault	2.28	1.05	5.6	5.6
63	12.10 Katsberg fault	1.98	1.05	6.8	6.5
64	Point Source	1.98	1.05	5.6	5.6
65	Point Source	1.98	1.05	5.4	5.4
66	12.12.1 Lavantal fault_2a	2.75	1.05	5.5	5.5
67	12.1.2 Mur fault(III)	2.28	1.05	5.6	5.6
68	12.1.3 Mürz fault(I)	2.58	1.05	6.4	6.1
69	12.1.4 Mürz fault(II)	2.88	1.05	5.8	5.8
70	12.1.5 VBTF	2.93	1.05	6.6	5.9
71	12.3 Markgrafneusiedl fault	1.67	1.05	7.1	7.1
72	12.2 Lasse fault	2.58	1.05	6.8	6.8
73	12.3.2 Leitha fault	2.28	1.05	5.4	5.4
74	13.8.2 Žužemberk fault (II)	2.75	1.05	6.5	6.3
75	13.8.1 Žužemberk fault (I)	2.58	1.05	5.6	5.6
76	13.9 Kamniš-Savinj thrust f.	3.07	1.01	5.9	6.1
77	12.12.2 Labot fault	2.67	1.05	5.5	6.5
78	12.14.2 Northern Karawanks f.	2.82	1.05	5.4	5.4
79	Point Source	1.67	1.05	5.6	5.6
80	Point Source	1.67	1.05	5.6	5.6
81	Point Source	2.28	1.05	5.5	5.5
82	Point Source	2.45	1.05	5.4	6.5
83	12.7.2 Inntal fault system (II)	2.82	1.05	6.7	6.0
84	12.7.2 Inntal fault system (III)	2.58	1.05	5.5	5.5
85	Point Source	1.98	1.05	5.6	5.6
86	12.20 Wipptal fault	2.45	1.05	5.4	5.4
87	Point Source	2.45	1.05	5.3	5.3
88	12.6 Fernpass fault system	2.88	1.05	6.0	6.0
89	Point Source	2.28	1.05	5.6	5.6
90	12.23 Enganine	1.98	1.05	5.9	5.9
91	Point Source	2.45	1.05	5.3	5.3




	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

No.	Název zdroje	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>M<sub>max1</sub></i>	<i>M<sub>max2</sub></i>
92	5.1 Diendorf fault	1.98	1.05	5.5	4.6
93	2.6.2 Železné hory Mts. fault	1.67	1.05	4.5	4.5
94	1.6 Lhenice ditch faults	1.67	1.05	4.5	4.5
95	1.3 Litschau-Kunějov zone (area source)	1.67	1.05	4.5	4.5
96	1.7 Pfahl segment	1.67	1.05	4.5	4.5
97	1.9 Donau fault segment	1.67	1.05	4.5	4.5
98	3.13 Auerbach fault	1.67	1.05	5.0	5.0
99	1.4.1 Vitis fault	1.67	1.05	4.5	4.5

### 6.3 Provedení výpočtu pomocí programu OpenQuake

Pravděpodobnostní výpočet seismického ohrožení byl proveden pomocí standardního a mezinárodně uznávaného programu OpenQuake, ([L. 64]). Jedná se o programový balík s otevřeným zdrojovým kódem, který je vyvíjen velkým počtem odborníků na seismické ohrožení a riziko, sdružených v iniciativě GEM (Global Earthquake Model). Oproti starším programům v sobě zahrnuje prakticky všechny aspekty a úlohy, které v oboru seismického ohrožení řešíme. Jeho použití je však podmíněno správným pochopením všech požadavků na vstupní data a správným nastavením parametrů výpočtu. Nároky kladené programem na kvalitu vstupních dat jsou poměrně vysoké a pro oblast Českého masívu zatím nejsou dostatečně kvalitní data k dispozici. To se týká zvláště úplnosti katalogu historických zemětřesení pro menší magnituda, údajích o hloubce a mechanismu zemětřesení, sklonu a hloubkového dosahu tektonických zlomů a údajů o útlumu seismických vln mezi ohniskem a lokalitami. To vede k velkým nejistotám, které se odrážejí ve výsledných křivkách seismického ohrožení. Zlepšení kvality vstupních dat i pro naše území má přinést projekt Sigma2, který v současné době probíhá. Zlepšení se očekává zejména v kvalitě katalogu historických a prehistorických zemětřesení, informacích o tektonických zlomech na našem území a útlumu seismických vln včetně směrové závislosti. Dále je třeba zvýšit přesnost určení hloubky a mechanismu ohniska u silnějších zemětřesení, které se v regionu vyskytly.

Amplitudy seismických vln a jejich frekvenční obsah závisí nejen na magnitudu zemětřesení a vzdálenosti od ohniska zemětřesení, ale i na jeho hloubce a mechanismu ohniska. Abychom mohli zadat správně hloubku do výpočetního programu, udělali jsme histogram hloubek zemětřesení, a to dvěma způsoby. Jednak z celého katalogu, jednak z části katalogu po roce 1950, kde předpokládáme, že jsou hloubky přesněji určeny než ve starších obdobích. V obou případech bylo procentuální rozložení hloubek velmi podobné: medián hloubky je 9 km, kvantil 15 % v hloubce 5 km, a kvantil 85 % je 14 km hluboko. Ve výpočtu se zdrojovými modely využívajícími plošné zdroje uvažujeme medián hloubky s váhou 40 % a hloubky obou zmiňovaných kvantilů s váhou 30 %. U oblasti 07 (West Bohemian Swarm Zone) jsme spočítali její vlastní rozdělení hloubek. Tato oblast je výjimečná jednak velkým počtem jevů, které umožňují udělat rozumnou statistiku, dále druhem seismické aktivity (rojová aktivita), a také tím, že je blízko zájmové lokalitě ČE. Pro tuto oblast vyšel medián také 9 km, ale kvantil 15 % v hloubce 7 km a kvantil 85 % v hloubce 10 km; čili zemětřesení jsou více soustředěna do jedné

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

hloubky. U seismotektonického modelu tvořeného zlomy uvažujeme seismogenní hloubku v rozmezí 5 až 14 km.

Vzhledem k nedostatku informací o mechanismech většiny silnějších historických zemětřesení, zvolili jsme tento přístup: U plošných zdrojů uvažujeme, že zdroj bude mít se stejnou pravděpodobností kterýkoli z následujících čtyř mechanismů (uvedených jako strike/dip/rake):

0° / 90° / 0° (strike-slip na severojižním zlomu)

90° / 90° / 0° (strike-slip na východozápadním zlomu)

0° / 70° / 90° (přesmyk na severojižním ukloněném zlomu)

90° / 70° / -90° (pokles na východozápadním ukloněném zlomu)


Tato kombinace mechanismů modeluje situaci, kdy je mechanismus zemětřesení neznámý.

U seismotektonického modelu tvořeného zlomy uvažujeme sklon zlomu (dip) 90° a směr posunu (rake) 0° (vodorovný).

Protože je území České republiky regionem s malou seismickou aktivitou, nelze pro něj odvodit potřebné modely přímo na základě naměřených instrumentálních dat. Přebíráme proto standardní modely, které byly odvozeny na základě velkého množství naměřených seismogramů v různých částech světa. Takové vztahy označujeme jako GMPE (Ground Motion Prediction Equation) nebo nověji GMM (Ground Motion Model). V programu OpenQuake je jich implementováno velké množství. Pro účely této zprávy jsme vybrali šest vztahů, které byly odvozeny pro stabilní regiony s mělkou seismicitou, jako je Česká republika. Tyto vybrané GMPE používáme při výpočtu se stejnou vahou:

- Atkinson and Boore 2006 (sev. Amerika)
- Campbell 2003
- Cauzzi and Faccioli 2008 (SHARE)
- Pezeshk et al. 2011 (vých. sev. Amerika)
- Somerville et al. 2009 (Austrálie)
- Toro et al. 2003 (sev. Amerika)

Všechny útlumové vztahy GMPE se vztahují k zemskému povrchu a proto rovněž křivky seismického ohrožení prezentujeme pro zemský povrch. Protože HÚ se budou nacházet hluboko pod povrchem, je třeba posoudit, jak se amplituda seismických vln změní s hloubkou. Pro vzdálená zemětřesení lze předpokládat, že amplituda seismických vln v podzemí je nižší. To je dáno především konverzními koeficienty při dopadu seismických vln na volný povrch. Přesnější posouzení však obecně není možné, protože to závisí na typu dopadajících vln (podélné, střížné, povrchové), úhlu jejich dopadu, geologické struktury až do hloubky HÚ a frekvenčním obsahu. Pokud se zemětřesení budou vyskytovat přímo v lokalitě HÚ (tzv. difúzní seismicity nebo indukovaná seismicity), pak mohou být amplitudy seismických vln v podzemí naopak větší než na povrchu, protože hypocentrální vzdálenost od ohniska může být pro podzemní objekty podstatně menší.

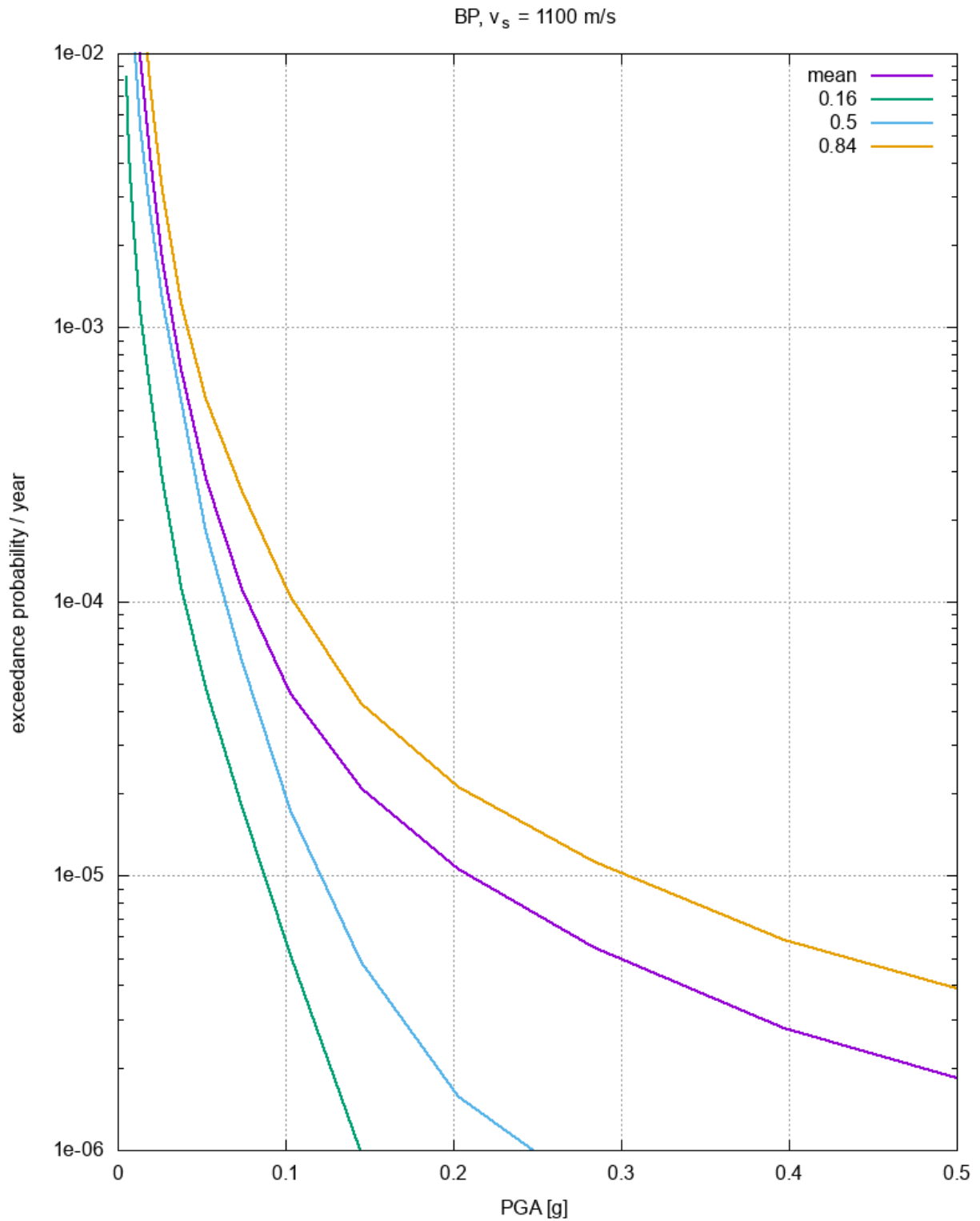
 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

## 6.4 Konstrukce pravděpodobnostních křivek seismického ohrožení

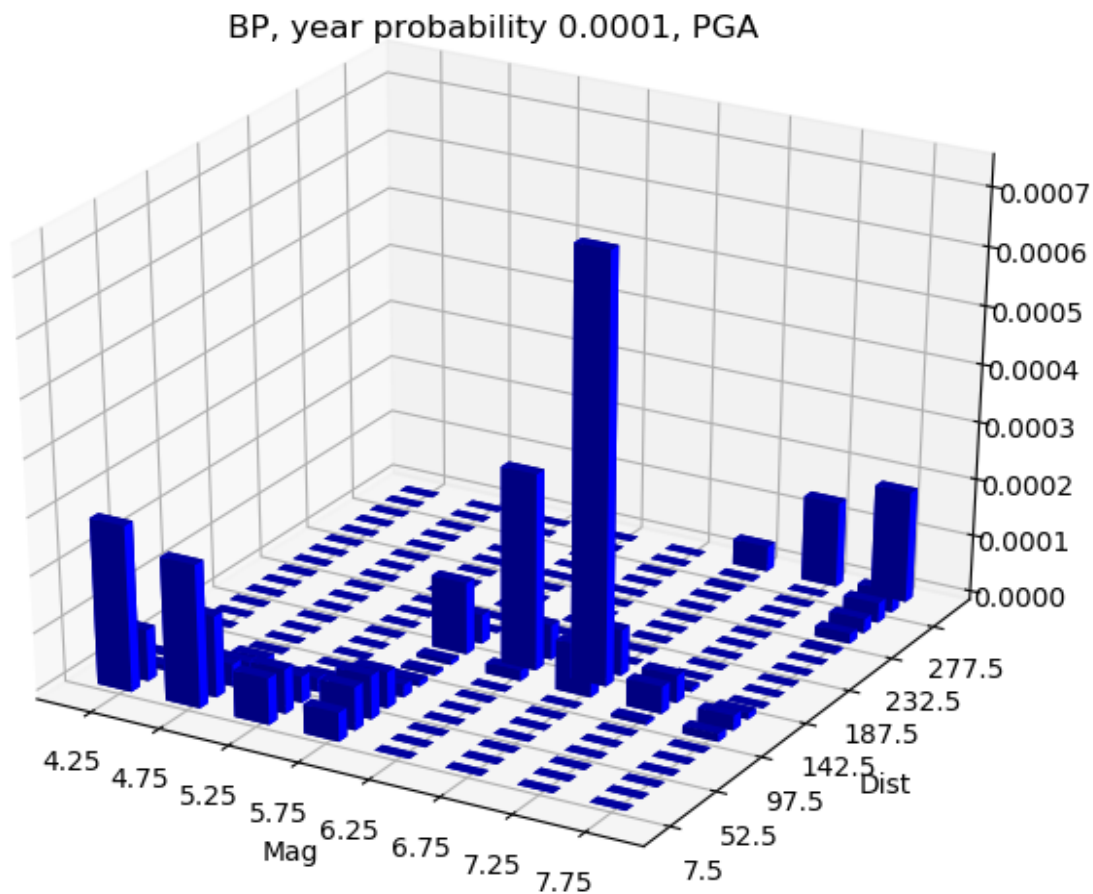
Výsledek výpočtu je uveden jednotlivě pro zkoumané potencionální lokality HÚ na následujících obrázcích - Obr. 41, Obr. 43, Obr. 45, Obr. 47, Obr. 49, Obr. 51, Obr. 53, Obr. 55, Obr. 57. Na vodorovné ose je maximální hodnota horizontálního zrychlení seismického kmitání půdy (PGA). Na svislé ose je roční četnost výskytu takového zrychlení. Převrácené hodnoty na svislé ose můžeme interpretovat také jako dobu opakování těchto pohybů (za předpokladu, že se v budoucnu nezmění seismický režim). Křivka 50% reprezentuje střední variantu, medián, kdy polovina scénářů dává hodnotu vyšší, druhá polovina nižší. Křivka 84% reprezentuje hodnotu, která nebude překročena s pravděpodobností 84%, a křivka 16% představuje odhad hodnoty, která naopak s pravděpodobností 84% bude překročena. Dále je zobrazen aritmetický průměr ze všech scénářů, který je vyšší než medián. To je způsobeno tím, že PGA nabývá pouze kladných hodnot a nemůže tedy mít Gaussovo normální rozdělení. Extrémně vysoké hodnoty PGA, které přísluší malé části scénářů pak způsobí tento rozdíl mezi průměrem a mediánem.

## 6.5 Deagregace seismického ohrožení

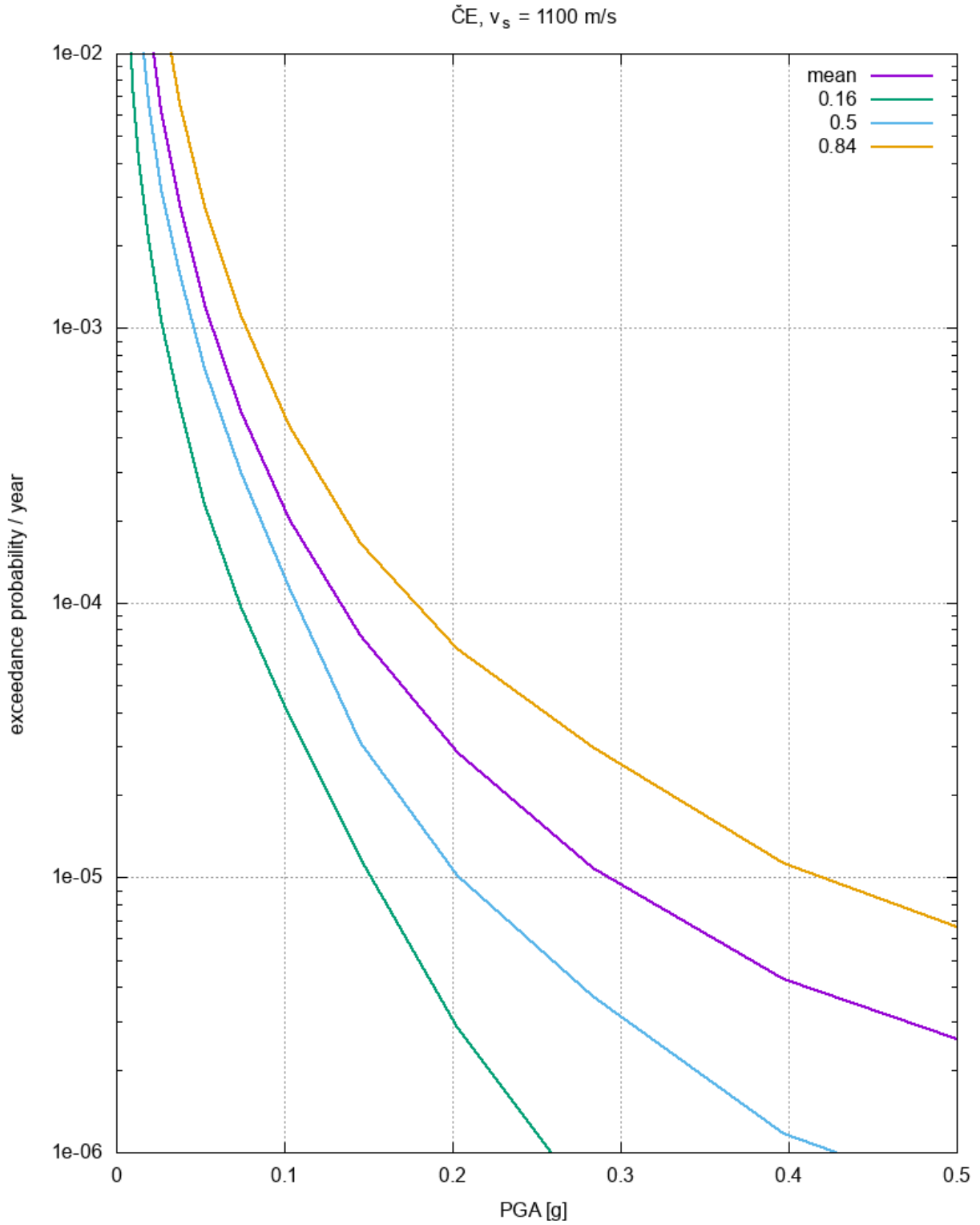
Deagregace seismického ohrožení nám ukazuje, které zdrojové zóny zemětřesení vygenerují pro jednotlivá uvažovaná HÚ největší amplitudy seismických vln. Znázorníme ji pomocí 3D grafů, kdy na dvou vodorovných osách je magnitudo a vzdálenost zemětřesení, na svislé ose je významnost pro seismické ohrožení. Pro všechny potenciální lokality HÚ je deagragace seismického ohrožení znázorněna na následujících obrázcích - Obr. 42, Obr. 44, Obr. 46, Obr. 48, Obr. 50, Obr. 52, Obr. 54, Obr. 56, Obr. 58.



Obr. 41: Pravděpodobnostní křivky seismického ohrožení pro lokalitu Brezový potok.

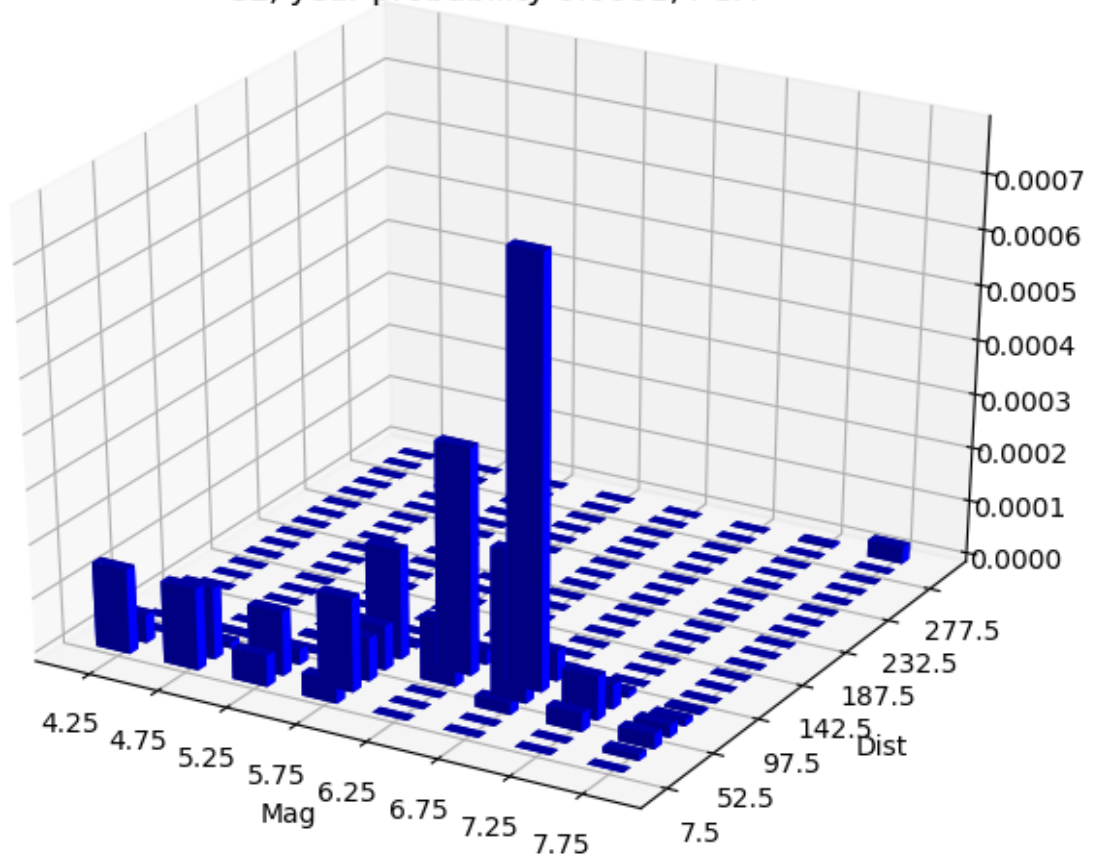


Obr. 42: Deagragace ohrožení pro lokalitu Březový potok



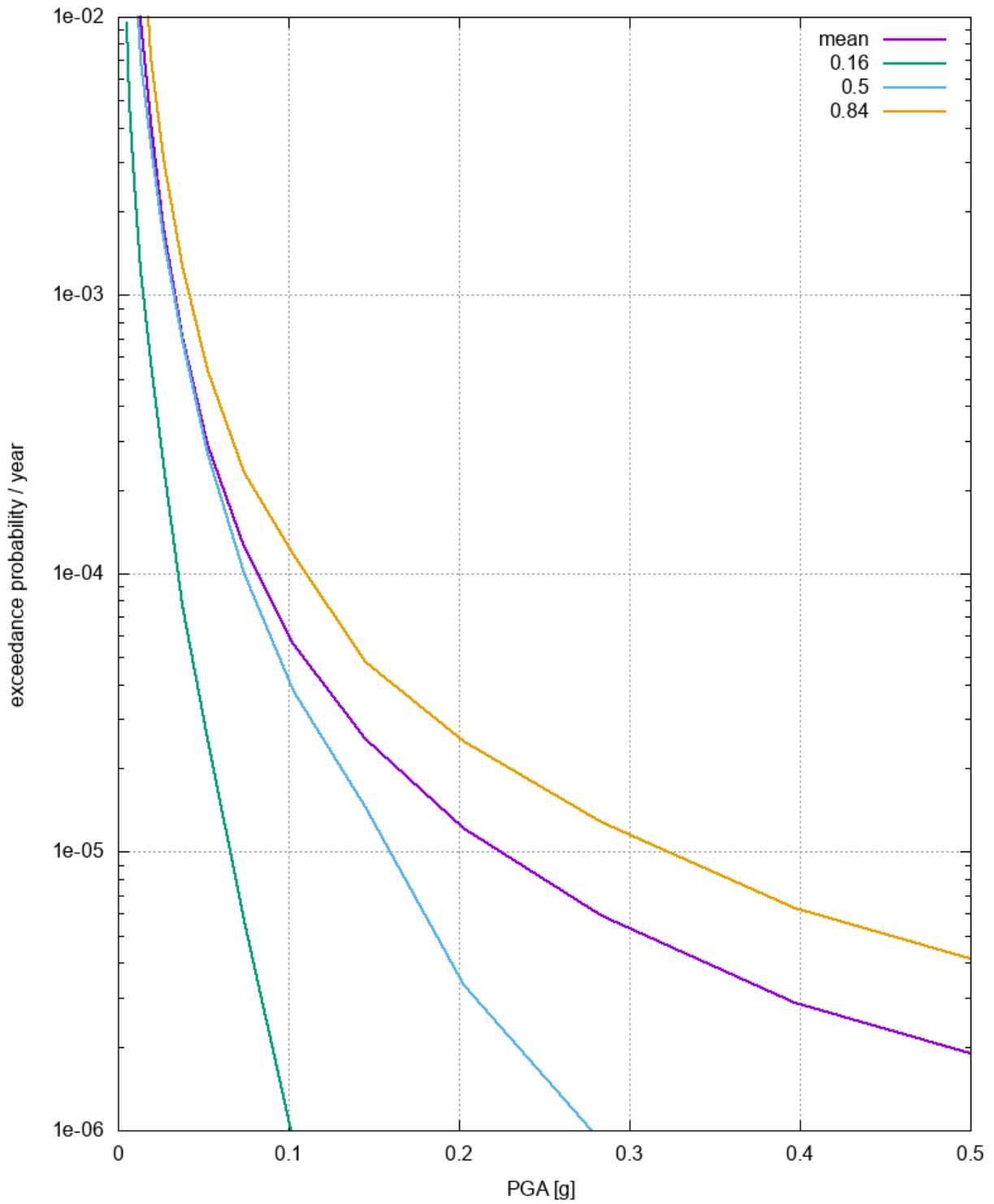
Obr. 43: Pravděpodobnostní křivky seismického ohrožení pro lokalitu Čertovka.

ČE, year probability 0.0001, PGA



Obr. 44: Deagragace ohrožení pro lokalitu Čertovka.

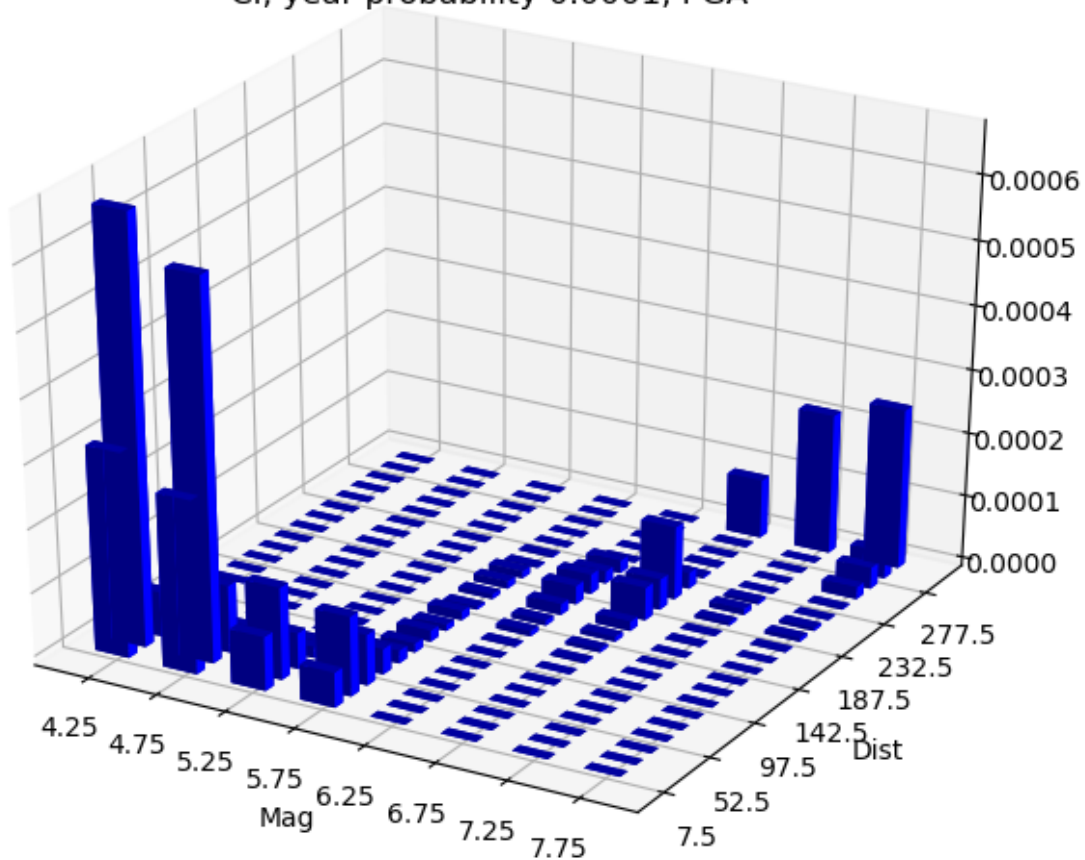
ČI,  $v_s = 1100$  m/s



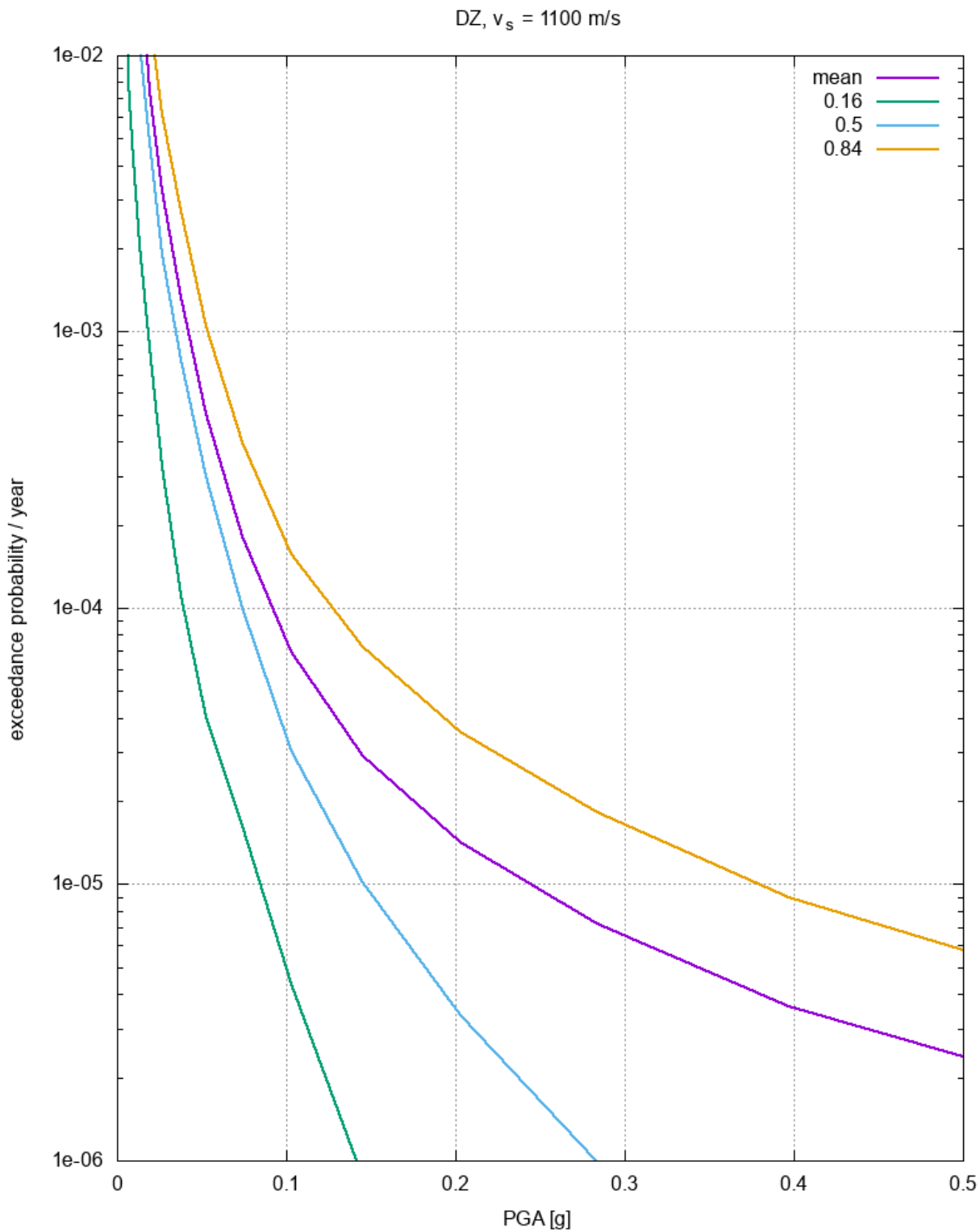
Obr. 45: Pravděpodobnostní křivky seismického ohrožení pro lokalitu Čihadlo.



Čl, year probability 0.0001, PGA

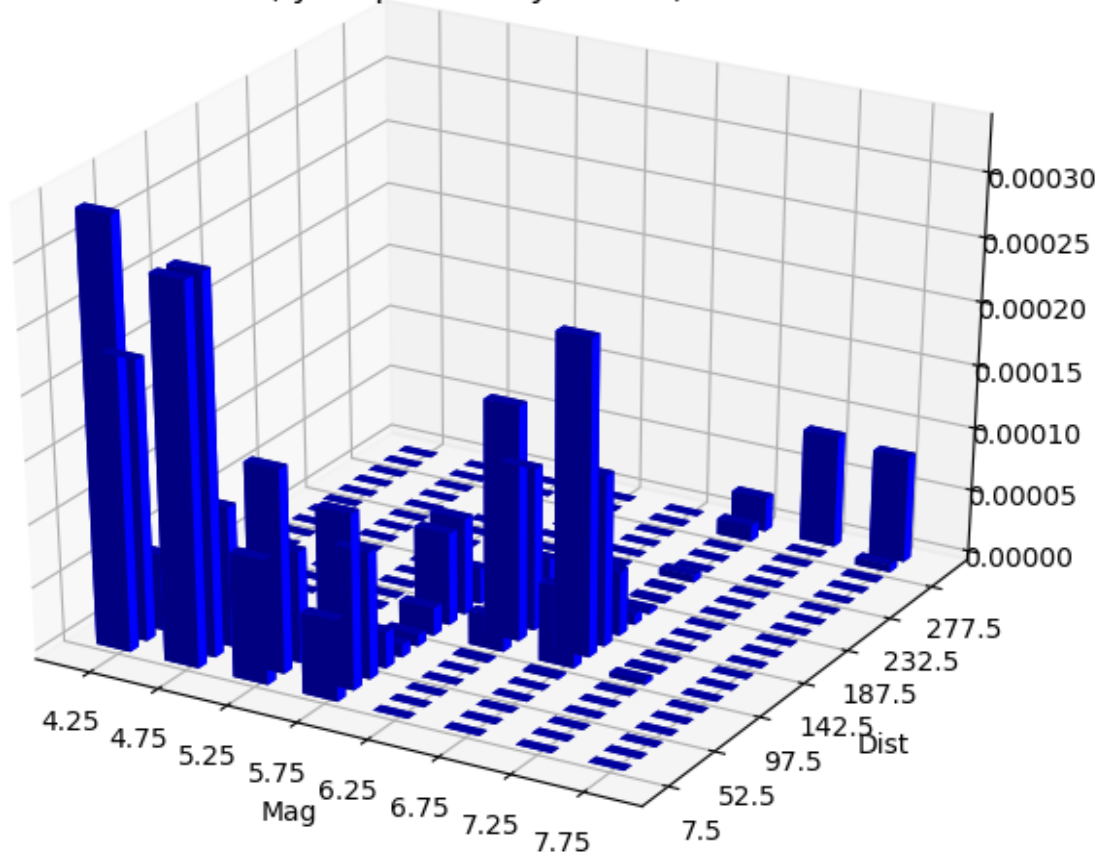


Obr. 46: Deagragace ohrožení pro lokalitu Čihadlo.

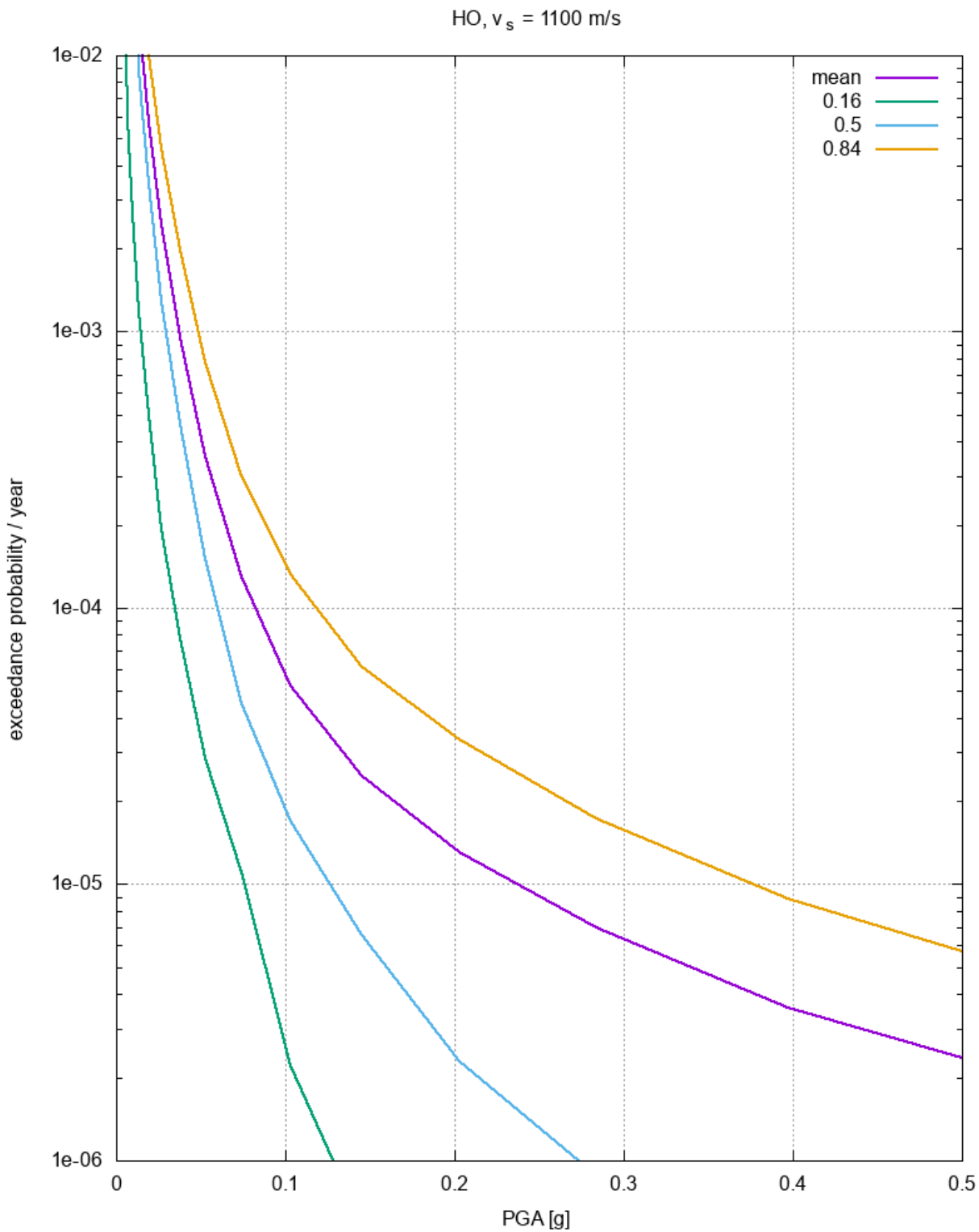


Obr. 47: Pravděpodobnostní křivky seismického ohrožení pro lokalitu Dukovany-západ.

DZ, year probability 0.0001, PGA

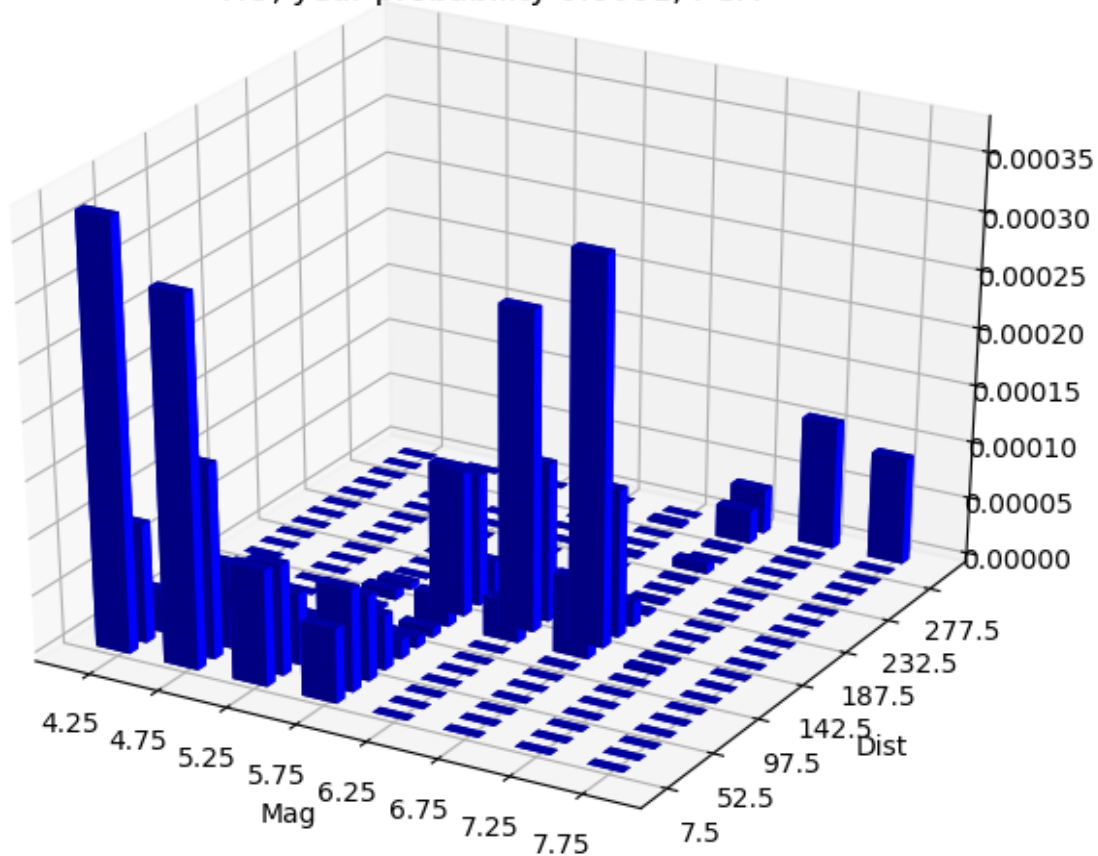


Obr. 48: Deagragace ohrožení pro lokalitu Dukovany-západ.

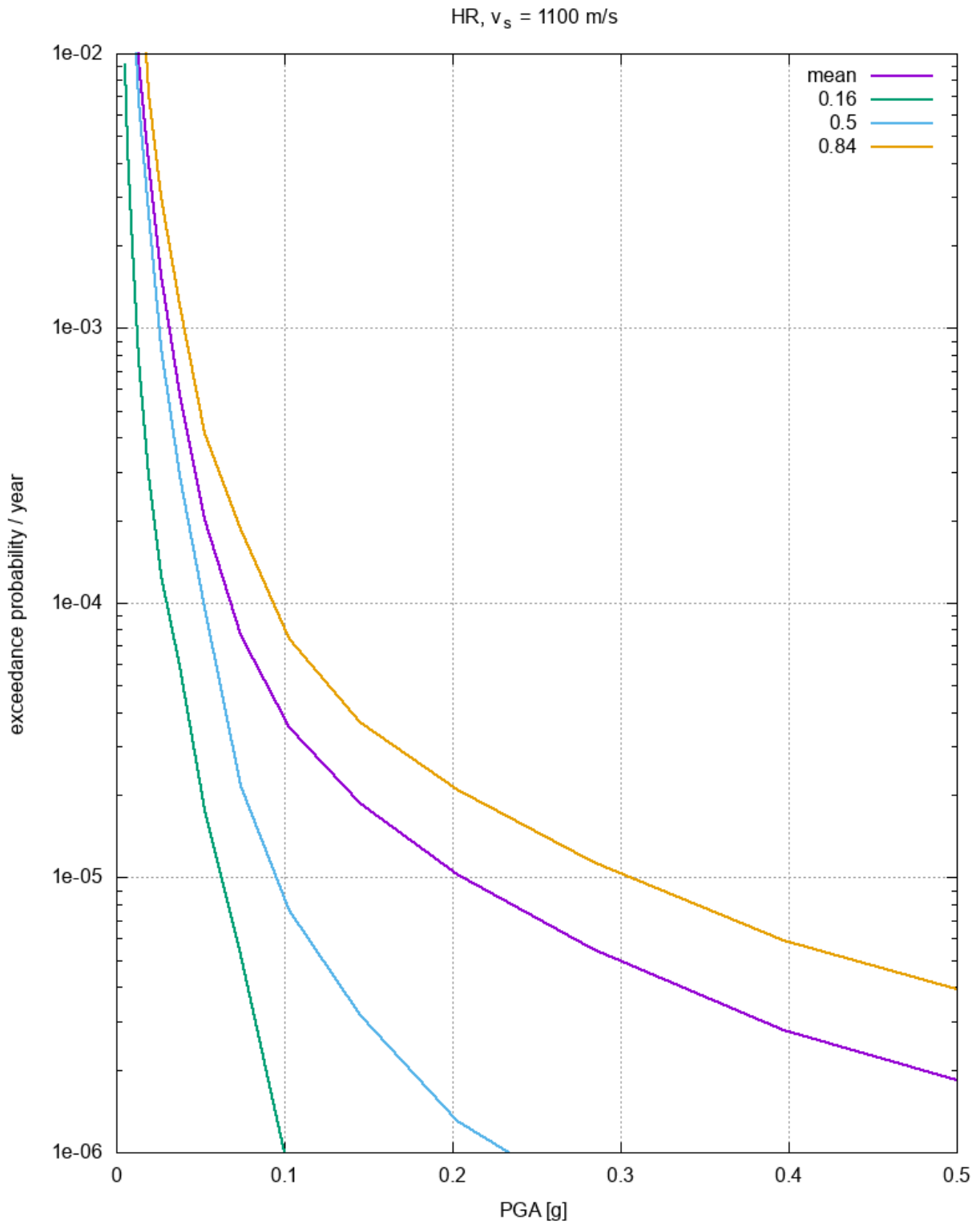


Obr. 49: Pravděpodobnostní křivky seismického ohrožení pro lokalitu Horka

HO, year probability 0.0001, PGA

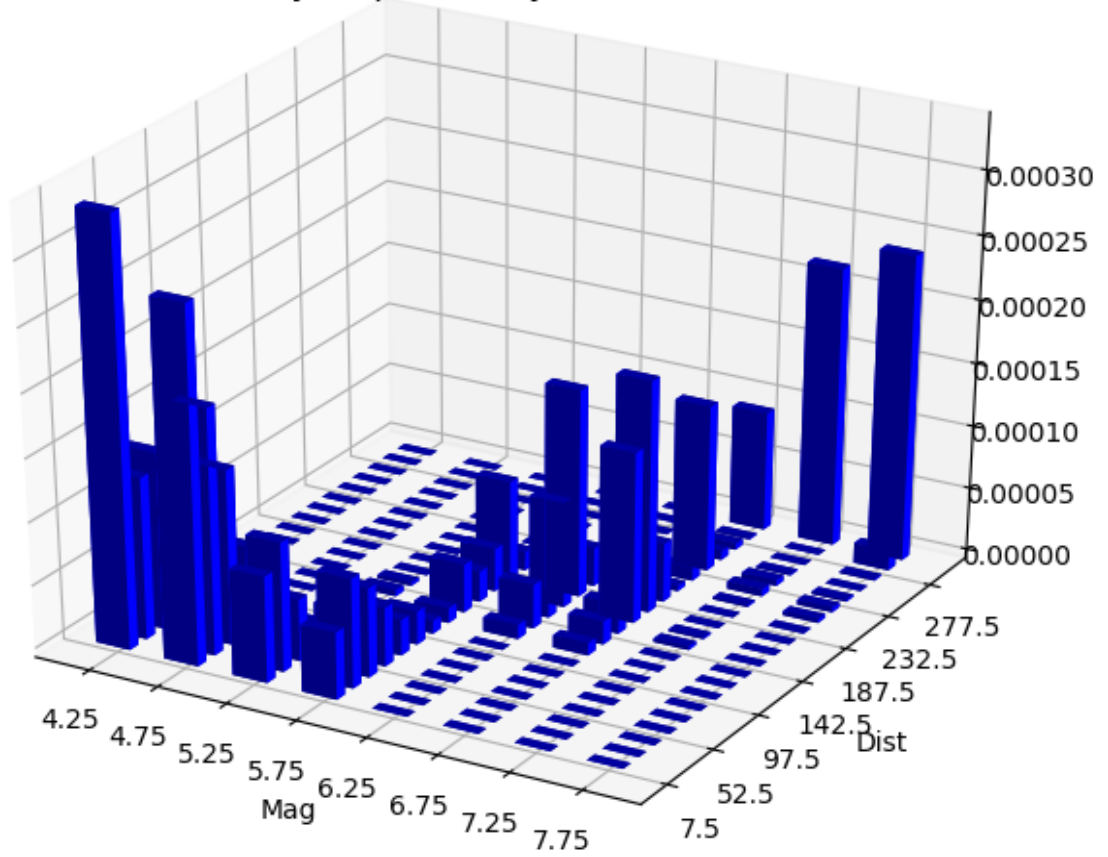


Obr. 50: Deagrace ohrožení pro lokalitu Horka.

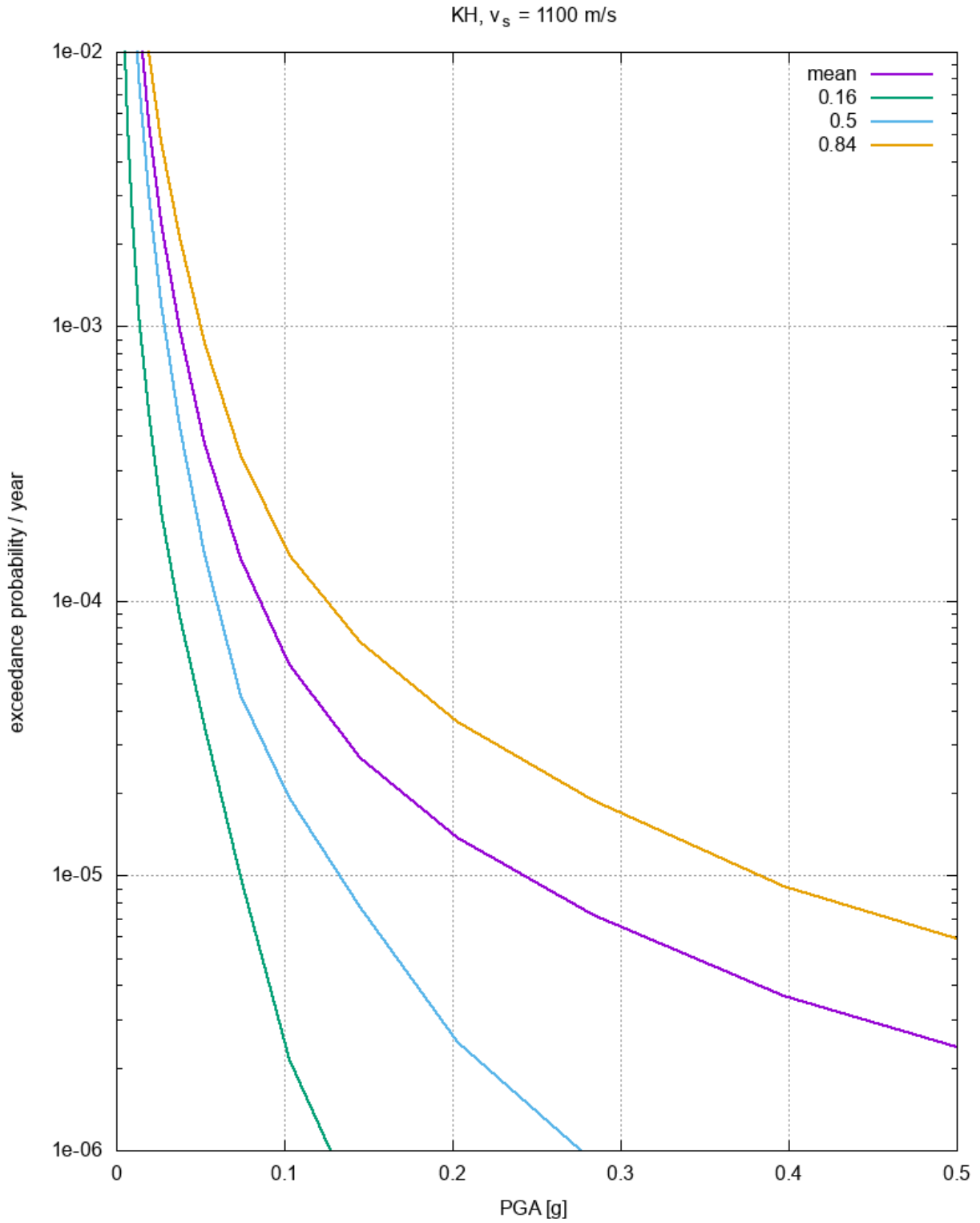


Obr. 51: Pravděpodobnostní křivky seismického ohrožení pro lokalitu Hrádek

HR, year probability 0.0001, PGA



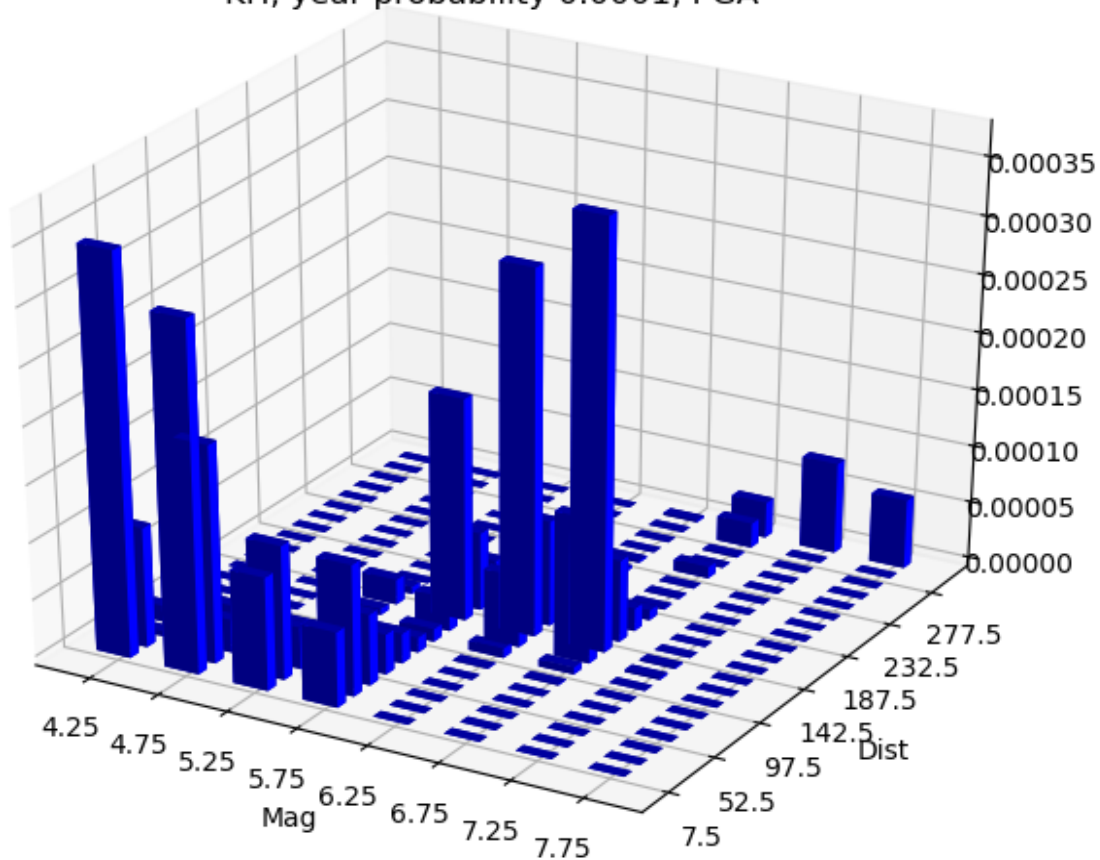
Obr. 52: Deagragace ohrožení pro lokalitu Hrádek.



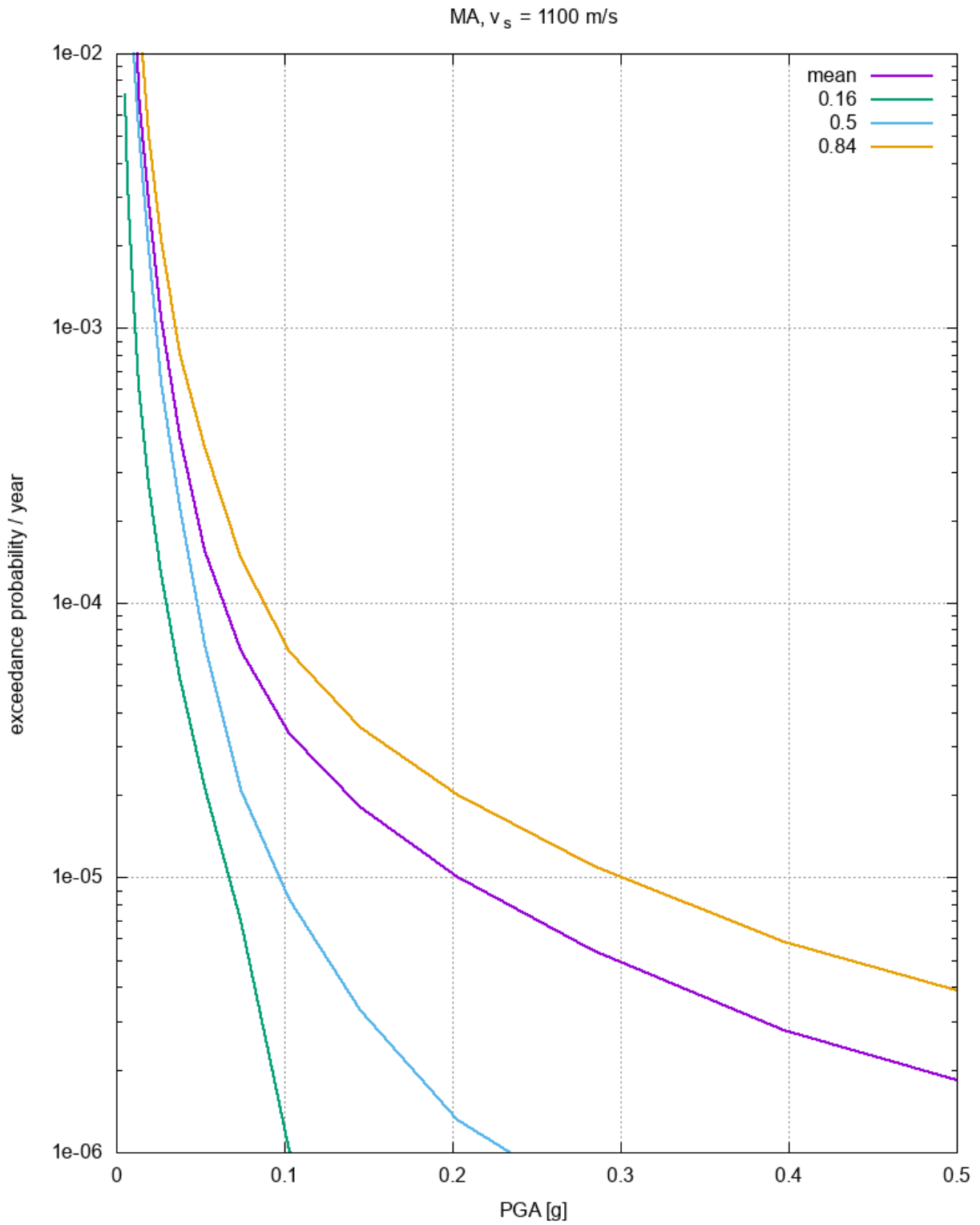
Obr. 53: Pravděpodobnostní křivky seismického ohrožení pro lokalitu Kraví Hora.



KH, year probability 0.0001, PGA

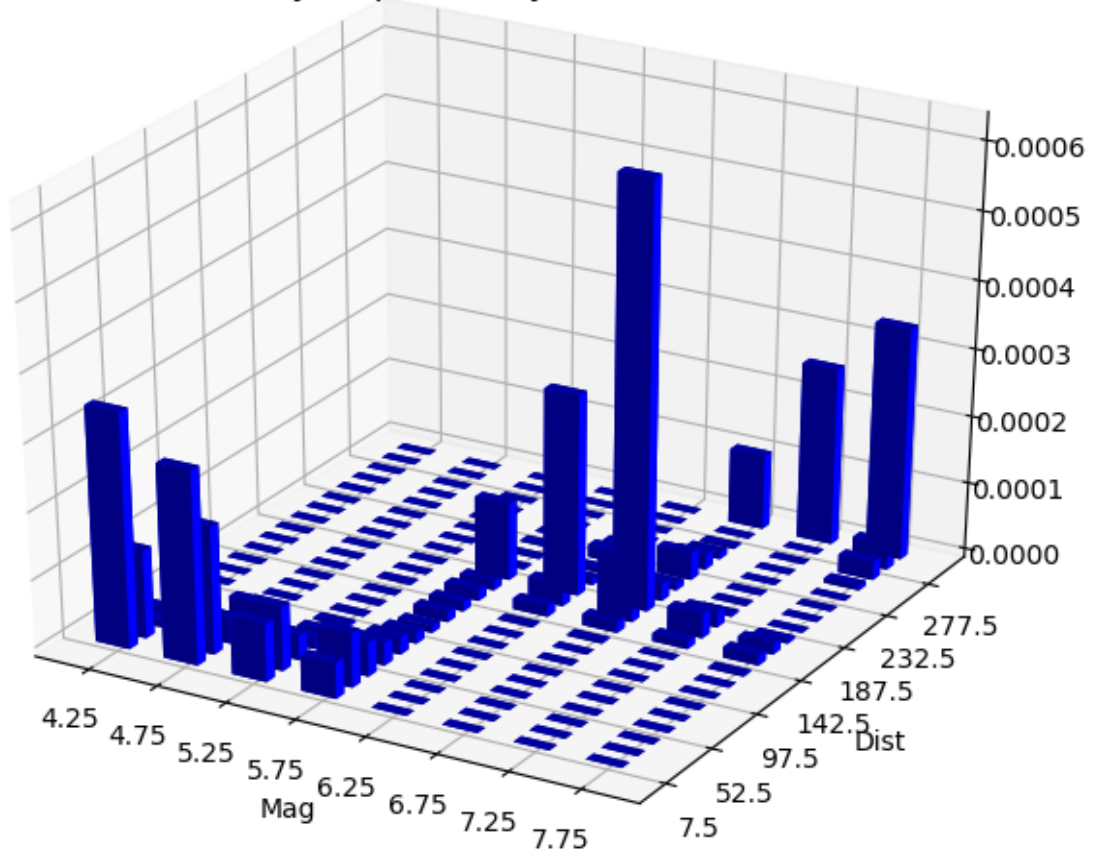


Obr. 54: Deagrace ohrožení pro lokalitu Kraví Hora.



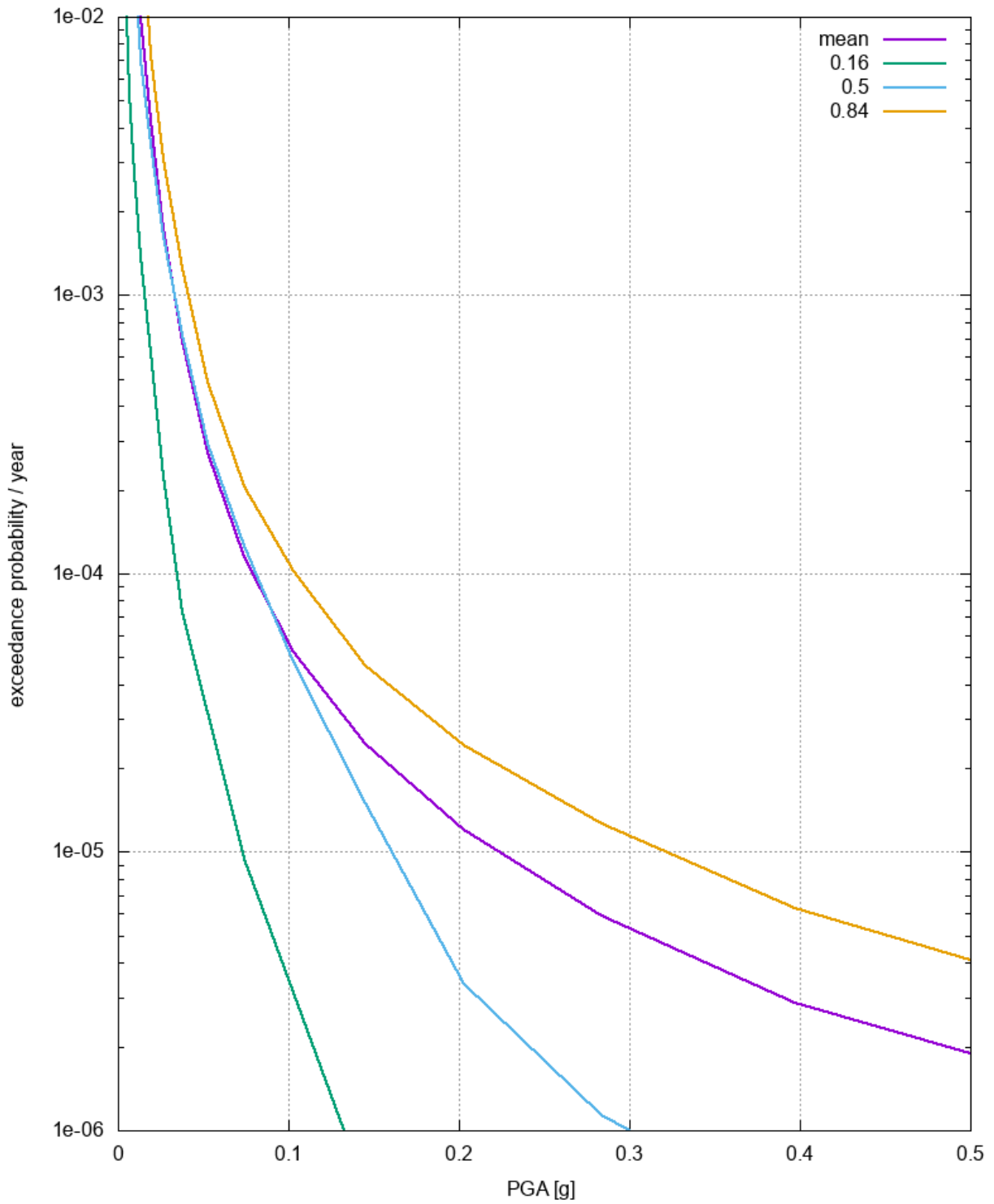
Obr. 55: Pravděpodobnostní křivky seismického ohrožení pro lokalitu Magdaléna.

MA, year probability 0.0001, PGA



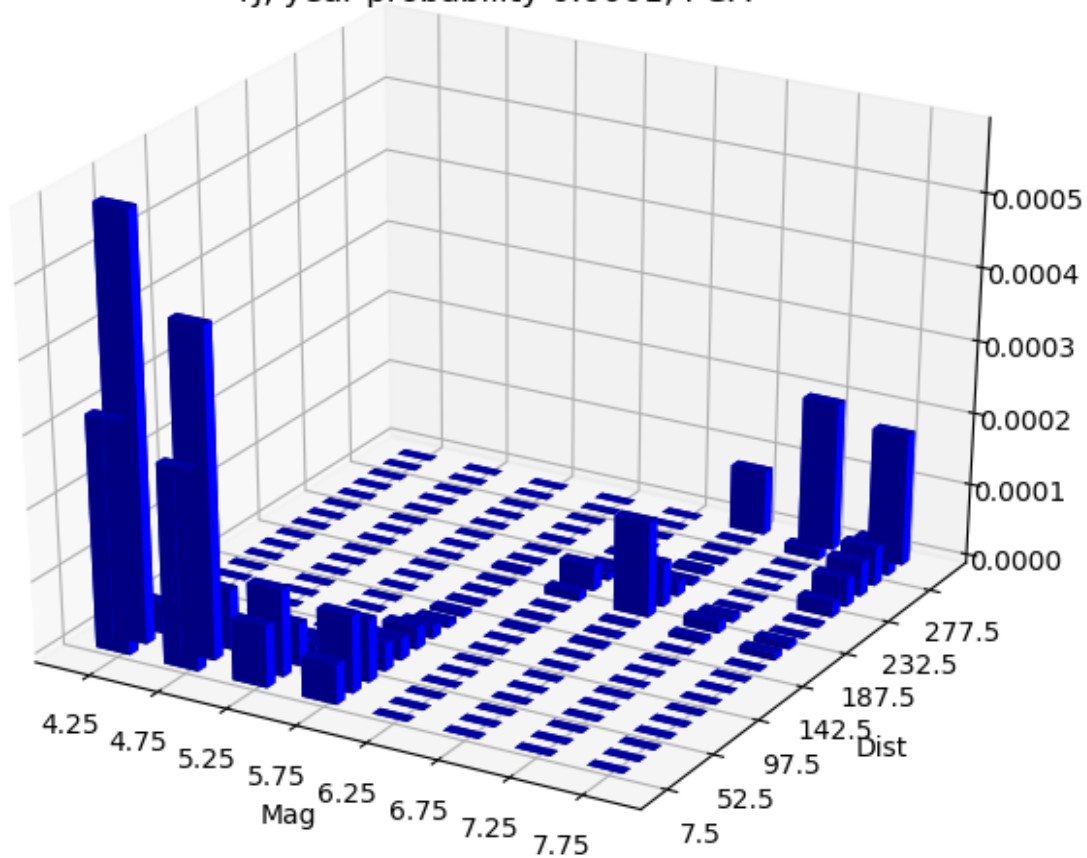
Obr. 56: Deagragace ohrožení pro lokalitu Magdaléna.

TJ,  $v_s = 1100$  m/s



Obr. 57: Pravděpodobnostní křivky seismického ohrožení pro lokalitu Temelín-jih.

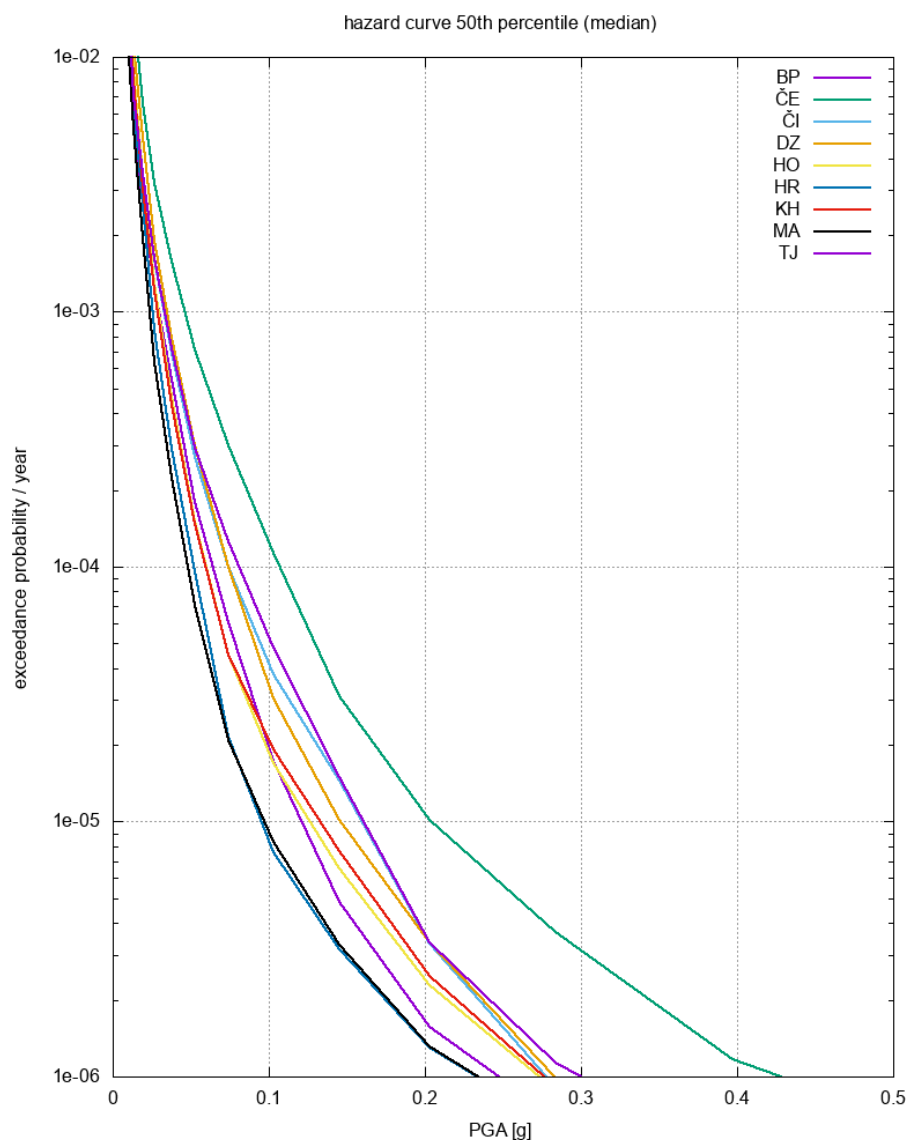
TJ, year probability 0.0001, PGA




Obr. 58: Deagrace ohrožení pro lokalitu Temelín-jih.

## 6.6 Srovnání jednotlivých lokalit

Křivky seismického ohrožení pro jednotlivé lokality jsou srovnány na Obr. 59 pro medián. Z tohoto srovnání vychází největší ohrožení pro lokalitu Čertovka (ČE). Nejnižší ohrožení má lokalita Hrádek (HR) a Magdaléna (MA). Nízké seismické ohrožení mají i všechny ostatní zkoumané lokality. Deagregace seismického ohrožení ukazuje, že s jistou dávkou zjednodušení můžeme identifikovat tři hlavní seismické zóny, které způsobují seismické ohrožení zkoumaných lokalit. První je oblast západočeských zemětřesení, druhá je oblast Východních Alp a třetím zdrojem ohrožení jsou slabá ale blízká zemětřesení v difúzních zónách. Seismické ohrožení lokality je dáno zvláště vzdáleností od prvních dvou významných zón a četností slabých blízkých zemětřesení.



Obr. 59: Srovnání křivek seismického ohrožení 50% pro všechny lokality.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

## 7 VLIV VNITŘNÍCH A VNĚJŠÍCH PODMÍNEK NA ZMĚNU SEISMICITY V REGIONU HÚ

Jak již bylo řečeno výše, použitá metoda ocenění seismického ohrožení vychází z předpokladu stacionární seismicity. Jinak řečeno – jsou používány údaje o minulých zemětřeseních a je extrapolován jejich výskyt do budoucnosti. V následující stručné diskusi je řešeno, zda je tento předpoklad stacionarity opodstatněný až do časového horizontu 1 milion let, který je třeba pro výpočet roční pravděpodobnosti  $10^{-6}$ , která je uváděna na výsledných křivkách seismického ohrožení.


Možné příčiny změny seismotektonického režimu jsou uvedeny v následující stručné diskusi. Vytvoření modelového scénáře a zahrnutí těchto změn do PSHA není při současném stavu vědeckého poznání možné. Tyto scénáře by musely zahrnovat možnou reaktivaci všech zlomů v regionu; ať už známých zlomů, které jsou patrné na povrchu a jsou vykresleny v geologických mapách nebo bez povrchového projevu, které jsou většinou neidentifikované.

Z geologických pozorování je velmi dobře známo, že pohyb tektonických desek, stejně tak jako tektonický tlak se mění. Při paleonapěťových analýzách obvykle rozpoznáme několik tektonických fází, které mohou vyjadřovat zcela odlišné tektonické děje, například stlačení v jednom směru je po nějaké době vystřídáno roztahením. Tyto změny s sebou přirozeně nesou i dramatické změny v seismickém režimu. Může dojít k seismickému oživení zlomů, které byly v předchozí fázi neaktivní. V místech, kde v jedné fázi jsou pozorována pouze malá zemětřesení, mohou nastat zemětřesení s velkými magnitudy. Není přitom jasné, jak dlouho trvá přechod od jednoho ustáleného napěťového stavu k jinému.

Změny v tektonickém a seismickém režimu přitom mohou mít jak vnitřní, tak vnější příčiny. Primární vnitřní příčinou tektonických procesů jsou konvekční proudy v zemském plášti, které jsou patrně motorem pohybů litosférických desek. Vzájemný pohyb desek pak závisí i na dalších faktorech, zvláště na momentálním vzájemném postavení pevninských a oceánských desek, jejich tloušťce a charakteru kontaktu s okolními deskami. V našich podmínkách, uvnitř euroasijské litosférické desky, se k nám přenáší na velké vzdálenosti napětí z jejich okrajů a způsobuje změnu ve vzájemném pohybu mikrodesek a horninových bloků, které dále vedou k pohybům na zlomech a zemětřesením. Velká zemětřesení na okrajích desek mohou změnit napětí podél kontaktů s dalšími deskami, a tím způsobit změny i uvnitř litosférické desky. Tyto procesy jsou velmi nepravidelné ve všech časových měřítcích od minut (po které se šíří seismické vlny od velkých zemětřesení k nám) až po desítky milionů let (za které může dojít zcela k přeskupení kontinentů).

Ještě nepravidelnější je další vnitřní faktor – vulkanismus, který rovněž ovlivňuje seismicitu. Velmi výrazný je tento efekt v oblasti západních Čech. Ještě před několika sty tisíci lety zde byly činné vulkány, jejichž erupce zcela jistě seismicitu ovlivňovaly. Dnes se zde vyskytují seismické roje, které s doznívající vulkanickou aktivitou souvisejí.

Z vnějších faktorů je možno uvažovat vliv klimatu na seismicitu, zvláště v souvislosti se střídáním dob ledových a meziledových, ke kterému dochází prokazatelně v posledním přibližně 1,8

 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

milionu let. V období ledových dob dochází k zalednění rozsáhlých oblastí a tím k přitížení litosféry. Při odlednění dojde k odlehčení, které má za následek pohyb litosférických desek ve vertikálním směru s rychlostí i mnoha centimetrů za rok, tedy rychleji, než probíhá posun litosférických desek v horizontálním směru. Jeho důsledkem je výrazný nárůst seismicity (reaktivace zlomů) po skončení doby ledové. Tento efekt ovlivňuje seismicitu nejen v místech zalednění, ale ještě několik set kilometrů od hranice ledovce.


Je tedy zřejmé, že ustálený seismický režim (který předpokládáme při výpočtech) u nás existuje maximálně po dobu přibližně posledních dvanácti tisíc let, po posledním ústupu ledovce. I kdybychom byli schopni z paleoseismických pozorování přečíst kompletní záznam o zemětřeseních, je možné pro charakterizaci současné seismicity použít pouze toto poměrně krátké období.

Dosud málo probádanou otázkou je změna seismického režimu v důsledku lidské činnosti. Po odlesnění rozsáhlých ploch na kontinentech a dalších změnách na zemském povrchu dochází ke změnám v teplotním kolísání v přípovrchových horninových vrstvách. Vzhledem k teplotní roztažnosti hornin může toto kolísání způsobovat dodatečné tektonické napětí. Známé jsou projevy indukované seismicity v důsledku výstavby přehrad, těžby nerostných surovin nebo využívání geotermální energie.

Odhad, zda v budoucích staletích dojde ke změně seismicity na našem území je při současném stavu seismologického poznání zcela nemožný. Vůbec pak již nehovoříme o delším časovém horizontu tisíců nebo desetitisíců let. Kromě vnitřních příčin totiž budou stále významnější faktory, které jsou ovlivněny rozvojem lidské civilizace. Paradoxně právě tyto faktory je nejtěžší odhadnout. Například, je otázkou, zda nastane další doba ledová, jak by odpovídalo tzv. Milankovičovým cyklům, odvozeným z parametrů oběžné dráhy Země kolem Slunce a sklonu zemské osy. Je možné, že převáží efekt globálního oteplování, způsobeného skleníkovým efektem. Podle našeho názoru je pravděpodobné, že technologické možnosti lidstva vzrostou natolik, že se bude moci rozhodnout, zda zalednění rozsáhlých oblastí dovolí. Obdobně se můžeme domnívat, že ve vzdálené budoucnosti se najde způsob, jak odlehčit tektonické napětí ve zdrojové oblasti a zabránit tak vzniku velkého zemětřesení.

Z výše uvedených důvodů má smysl zkoumat seismické ohrožení pouze v horizontu nejbližších let a desetiletí, kdy je pravděpodobné (nikoliv však zaručené), že ke změně seismického režimu nedojde. Pravděpodobnosti uvedené v této zprávě je třeba chápat jako platné pouze v případě, že nedojde ke změně seismického režimu. Případná změna se může ohlásit například vznikem nečekaného zemětřesení, které vybočuje z historického katalogu. V takovém případě je třeba přehodnotit vymezení zdrojových zón a provést nové výpočty seismického ohrožení.



 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018


## 8 ZÁVĚR

Odhad seismické ohrožení hlubinných úložišť jaderného odpadu se řídí stejnými zásadami jako výpočet seismického ohrožení jiných jaderných zařízení (například jaderných elektráren), je však specifická tím, že předpokládaná doba existence HÚ je velmi dlouhá. V ČR je pro jaderná zařízení závazná vyhláška 378/2016 Sb. o umístění jaderných zařízení. Seismicitou se zabývá speciálně §5 a zvláštními požadavky na rozsah a způsob posuzování území k umístění hlubinného úložiště je věnován §18. Prozatím nebylo možno splnit všechny požadavky kladené touto vyhláškou. Týká se to požadavku §5, písmeno b), kde se říká že „Posuzování území k umístění jaderného zařízení z hlediska seismicity musí využívat údaje z lokální sítě seismických stanic s vysokou citlivostí.“ Takovéto údaje nám nebyly v době vypracování zprávy k dispozici. Posuzovaná seismicita v sobě nezahrnuje indukovanou seismicitu, která může vzniknout během budování a provozu HÚ. Před zahájením báňských činností je nemožné stanovit, jak silná indukovaná seismicita vznikne. Kromě zmíněné vyhlášky jsme se řídili rovněž návody Mezinárodní agentury pro atomovou energii.

Zhodnocení seismického ohrožení bylo provedeno pravděpodobnostní metodou. Jako výchozí podklady byly použity (1) nejnovější verze katalogu historických zemětřesení, který zahrnuje písemné zprávy o zemětřeseních pocítěných lidmi a údaje naměřené seismografy a (2) nejnovější údaje o prehistorických zemětřeseních, která jsou získána geologickými metodami při paleoseismickém průzkumu. Na základě těchto dat byly vymezeny zdrojové zóny zemětřesení do vzdálenosti 300 km, s přihlédnutím k regionálnímu seismotektonickému modelu a dalším geovědním poznatkům. Byly spočteny parametry četnosti výskytu zemětřesení ve zdrojových zónách. Ze světových seismologických výzkumů byly vybrány vztahy popisující účinky zemětřesení, které se hodí pro tektonicky podobné oblasti jako je region HÚ.

Výsledky jsou prezentovány ve formě pravděpodobnostních křivek seismického ohrožení, které jsou uvedeny v kap. 6.4. Získané hodnoty odpovídají tomu, že Česká republika se nachází v tektonicky relativně stabilním regionu s mírnou seismicitou. Při porovnání posuzovaných lokalit bylo největší ohrožení zjištěno pro lokalitu Čertovka (ČE). Nejnižší ohrožení má lokalita Hrádek (HR) a Magdaléna (MA). Nízké seismické ohrožení mají i všechny ostatní zkoumané lokality.

Získané výsledky nevyklučují z hlediska seismického ohrožení výstavbu HÚ v posuzovaných lokalitách za předpokladu, že bude zajištěna odpovídající seismická odolnost prováděných staveb.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018


## 9 REFERENCE

### 9.1 Jaderná legislativa ČR, standardy IAEA a WENRA


- L. 1 **ČESKÁ REPUBLIKA.** Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Vyhláška č. 378 ze dne 7. listopadu 2016 o umístění jaderného zařízení. In Sběrka zákonů České republiky. 2016, částka 151, s. 5989-5997. ISSN 1211-1244.
- L. 2 **INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.** Site Evaluation for Nuclear Installation, Safety Requirements, Standards Series No. NS-R-3 (Rev. 1). IAEA. Vienna, 2016.
- L. 3 **INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.** Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, Specific Safety Guide, Safety Standards Series No. SSG-9. IAEA. Vienna, 2010.
- L. 4 **INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.** Site survey and site selection for nuclear installations. Specific Safety Guide, Safety Standards Series No. SSG-35. IAEA. Vienna. 2015
- L. 5 **INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.** Geotechnical Aspects of Site Evaluation and Foundations for Nuclear Power Plants, Safety Guide, Safety Standards Series No. NS-G-3.6. IAEA. Vienna, 2004.
- L. 6 **WENRA.** RHWG Report on Safety of new NPP designs. Reactor Harmonization Working Group (RHWG), Aug. 28, 2013.
- L. 7 **WENRA.** Safety Reference Level for Existing Reactors - September 2014. Western European Nuclear Regulators' Association (WENRA), Sept. 19, 2014.
- L. 8 **WENRA.** Guidance Document. Issue T: Natural Hazards. Head Document (Guidance for the WENRA Safety Reference Levels for Natural Hazards introduced as lesson learned from TEPCO Fukushima Dai-Ichi accident). Reactor Harmonization Working Group, 21.4.2015.
- L. 9 **WENRA.** Guidance Document. Issue T: Natural Hazards. Guidance on Seismic Events. (Annex to the Guidance Head Document on Natural Hazards). Reactor Harmonization Working Group, 9.10.2015.

### 9.2 Ostatní podklady


- L. 10 **BADA, G., CLOETINGH, S., GERNER, P., HORVÁTH, F., 1998.** Sources of recent tectonic stress in the Pannonian region: inferences from finite element modelling. Geophysical Journal International, Volume 134, Issue 1, page 87-101. Royal Astronomical Society. London. 1998.
- L. 11 **BADA, G., HORVÁTH, F., CLOETINGH, S., COBLENTZ, D. D., TOTH, T., 2001.** Role of topography induced gravitational stresses in basin inversion: The case study of the Pannonian basin. Tectonics, Volume 20, Issue 3, page 343-363. American Geophysical Union. Washington D. C. 2001.
- L. 12 **BADA, G., HORVÁTH, F., DÖVÉNYI, P., SZAFIÁN, P., WINDHOFFER, G., CLOETINGH, S., 2007.** Present-day stress field and tectonic inversion in the Pannonian basin. Global and Planetary Change, Volume 58, page 165-180. Elsevier B. V. Munchen. 2007.

	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018


- L. 13 **BASILI, R., KASTELIC, V., DEMIRCIOGLU, M. B., GARCIA MORENO, D., NEMSER, E. S., PETRICCA, P., SBORAS, S. P., BESANA-OSTMAN, G. M., CABRAL, J., CAMELBEECK, T., CAPUTO, R., DANCIU, L., DOMAC, H., FONSECA, J., GARCÍA-MAYORDOMO, J., GIARDINI, D., GLAVATOVIC, B., GULEN, L., INCE, Y., PAVLIDES, S., SESETYAN, K., TARABUSI, G., TIBERTI, M. M., UTKUCU, M., VALENSISE, G., VANNESTE, K., VILANOVA, S., WÖSSNER, J., 2013.** The European Database of Seismogenic Faults (EDSF) compiled in the framework of the Project SHARE. <http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/>, doi: 10.6092/INGV.IT-SHARE-EDSF.
- L. 14 **BEHM, M., BRÜCKL, E., MITTERBAUER, U., CELEBRATION 2000 WORKING GROUPS. 2007.** A New Seismic Model of the Eastern Alps and its Relevance for Geodesy and Geodynamics. *Vermessung & Geoinformation, Volume 2*, page 121-133. Department of Geodesy and Geoinformation, Vienna University of Technology. Vienna. 2007.
- L. 15 **BEIDINGER, A., DECKER, K., ROCH, K. H., 2009.** Combined geophysical, geomorphological and geological studies at the active Lassees Segment of the Vienna Basin Fault System. *Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo*, 29. 112-118.
- L. 16 **BIELIK, M., KOVÁČ, M., KUČERA, I., MICHALÍK, P., ŠUJAN, M., HÓK, J., 2002.** Neo-Alpine density boundaries (faults) detected by gravimetry. *Geologica carpathica*, 53, 4, 235 – 244.
- L. 17 **BOURBIÉ, T., COUSSY, O., ZINSZNER, B., 1987.** *Acoustics of porous media*, Gulf Publishing Co., Houston, p. 1987. (ISBN 0-87201-025-2)
- L. 18 **BRÜCKL, E., 2011.** Lithospheric Structure and Tectonics of the Eastern Alps - Evidence from New Seismic Data. *Tectonics*. InTech. Rijeka. 2011. ISBN 978-953-307-545-7.
- L. 19 **BRÜCKL, E., BEHM, M., DECKER, K., GRAD, M., GUTERCH, A., KELLER, G. R., THYBO, H., 2010.** Crustal structure and active tectonics in the Eastern Alps. *Tectonics, Volume 29, Issue 2*, page 1-17. American Geophysical Union. Washington D. C. 2010.
- L. 20 **BRÜCKL, E., BLEIBINHAUS, F., GOSAR, A., GRAD, M., GUTERCH, A., HRUBCOVÁ, P., KELLER, R. G., MAJDAŃSKI, M., ŠUMANOVAC, F., TIIRA, T., YLINIEMI, J., HEGEDŰS, E., THYBO, H., 2007.** Crustal structure due to collisional and escape tectonics in the Eastern Alps region based on profiles Alp01 and Alp02 from the ALP 2002 seismic experiment. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978-2012)*, Volume 112, Issue B6308. American Geophysical Union. Washington D. C. 2007.
- L. 21 **BUS, Z., GRENERCZY, GY., TOTH, L., MONUS, P., 2009.** Active crustal deformation in two seismogenic zones of the Pannonian basin - GPS versus seismological observations. *Tectonophysics, Volume 474, Issue 1-2*, page 343-352. Elsevier B. V. Munchen. 2009.
- L. 22 **DALLMEYER, R.D., FRANKE, W., WEBER, K., 1995.** Pre-permian geology of Central and Eastern Europe. Springer. Berlin. 1995.
- L. 23 **DECKER, K., PERESSON, H., HINSCH, R., 2005.** Active tectonics and Quaternary basin formation along the Vienna Basin Transform fault. *Quaternary Science Reviews*, 24, pp. 307–322.
- L. 24 **DECKER, K., HINTERSBERGER, E., 2011.** AIP [Austrian Interfacing Project]: Paleoseismology of Temelin's Near-Regional Faults. Part 2: Calibration of the Paleoseismological Approach at the Vienna Basin Test Site. Department of Geodynamics and Sedimentology University of Vienna, 2011.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018


- L. 25 **DÉZES, P., ZIEGLER, P. A., 2001.** European Map of the Mohorovicic discontinuity. 2nd EUCOR-URGENT Workshop (Upper Rhine Graben Evolution and Neotectonics), Mt. St. Odile, France.
- L. 26 **DOLTON, G. L., 2006.** Pannonian Basin Province, Central Europe (Province 4808) - Petroleum geology, total petroleum systems, and petroleum resource assessment. U.S. Geological Survey Bulletin, 2204-B, 47 p.
- L. 27 **FRANĚK, J., BUKOVANSKÁ, Z., ČEJCHANOVÁ, A., JELÉNEK, J., MLČOCH, B., PERTOLDOVÁ, J., SKÁCELOVÁ, Z., SOEJONO, I., ŠVAGERA, O., VERNER, K., MILICKÝ, M., BARTÁŠKOVÁ, L. 2016.** Regionální 3D strukturně geologický model lokality Magdalena. Technická zpráva – MS SÚRAO Praha.
- L. 28 **FRANĚK J., BUKOVANSKÁ Z., A KOLEKTIV 2018.** Závěrečná zpráva 3D strukturně-geologické modely potenciálních lokalit HÚ, 594 str., MS SÚRAO
- L. 29 **GIARDINI, D., J. WOESSNER, L. DANCIU, H. CROWLEY, F. COTTON, G. GRUENTHAL, R. PINHO, G. VALENSISE, S. AKKAR, R. ARVIDSSON, R. BASILI, T. CAMEELBECK, A. CAMPOS-COSTA, J. DOUGLAS, M. B. DEMIRCIOLU, M. ERDIK, J. FONSECA, B. GLAVATOVIC, C. LINDHOLM, K. MAKROPOULOS, F. MELETTI, R. MUSSON, K. PITILAKIS, K. SESETYAN, D. STROMEYER, M. STUCCHI, A. ROVIDA, 2013.** Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE): Online Data Resource, doi:10.12686/SED-00000001-SHARE, 2013.
- L. 30 **GRENERCZY, G., 2000.** Present-day tectonics of the Pannonian basin and its surroundings inferred from space geodesy. Ph.D. Dissertation, Loránd Eötvös University of Sciences Faculty of Natural Sciences, Budapest, Hungary.
- L. 31 **GRÜNTAL, G. AND GSHAP REGION 3 WORKING GROUP. 1999.** Seismic Hazard Assessment for Central, North and Northwest Europe: GSHAP Region 3 [online]. GeoForschungsZentrum. Postdam. 1999. Dostupné z <http://www.seismo.ethz.ch/static/gshap/ceurope/report.html>.
- L. 32 **GRÜNTAL, G., STROMEYER, D., 1994.** The recent crustal stress field in Central Europe sensulato and its quantitative modelling. Geologie en Mijnbouw, Volume 73, page 173-180. Netherlands Journal of Geosciences' Foundation. Utrecht. 1994. ISSN 0016-7746.
- L. 33 **GRÜNTAL, G., WAHLSTRÖM, R., 2012.** The European-Mediterranean Earthquake Catalogue (EMEC) for the last millennium. Journal of Seismology, Volume 16, Issue 3, page 535-570. Springer. Cham. 2012. ISSN 1383-4649.
- L. 34 **GRÜNTAL, G., STROMEYER, D., BOSSE, CH., COTTON, F., BINDI, D., 2018.** The probabilistic seismic hazard assessment of Germany—version 2016, considering the range of epistemic uncertainties and aleatory variability. Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 16. 1-57, 2018.
- L. 35 **GUTERCH, A., M. GRAD, A. ŠPIČÁK, E. BRUECKL, G. R. KELLER, H. THYBO, AND WORKING GROUP 2003.** An overview of recent seismic refraction experiments in Central Europe, Studia Geophysica and Geodetica, 47, 651-657.
- L. 36 **HAKIMHASHEMI, A.H., GRÜNTAL, G., 2012.** A Statistical Method for Estimating Catalog Completeness Applicable to Long-Term Nonstationary Seismicity Data. Bulletin of the Seismological Society of America, 102 (6), 2530–2546.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018


- L. 37 **HANŽL, P., AUE, M., ČOUPEK, P., FIEDLER, F., FRANĚK, J., HRDLIČKOVÁ, K., KAROUS, M., KRAJÍČEK, L., PALEČEK, M., PERTOLDOVÁ, J., POŘÁDEK, P., RUKAVIČKOVÁ, L., SOEJONO, I., ŠVAGERA, O. 2018.** Lokalita HÚ – EDU západ souhrnná závěrečná zpráva, 63. str., MS SÚRAO
- L. 38 **HINTERSBERGER, E., DECKER, K., LOHMAX, J., 2011.** Paleoseismological investigations within the Vienna Basin (Austria) excavate the largest earthquake north of the Alps. Geophysical Research Abstracts, Vol. 13.
- L. 39 **HINTERSBERGER, E., DECKER, K., LOMAX, J., LÜTHGENS, CH., 2018.** Implications from palaeoseismological investigations at the Markgrafneusiedl Fault (Vienna Basin, Austria) for seismic hazard assessment. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 18, 531–553, 2018.
- L. 40 **HOLUB F. V., 1997.** Ultrapotassic plutonic rocks of the durbachite series in the Bohemian Massif: Petrology, geochemistry and petrogenetic interpretation – Sbor. geol. věd, ser. Ložisková geologie, mineralogie, 31, 5–25.
- L. 41 **HRDLIČKOVÁ, K., PERTOLDOVÁ, J., (ED.), AUE, M., BUKOVSKÁ, Z., BURIÁNEK, D., ČOUPEK, P., FRANĚK, J., GNOJEK, I., HANŽL, P., HROCH, T., JANOUŠEK, V., JELÍNEK, J., KAROUS, M., KLOMÍNSKÝ, J., KOPAČKOVÁ, V., KOUČKÁ, L., KRYŠTOFOVÁ, E., MAREČEK, L., NIKL, P., NOVOTNÁ, J., PACHEROVÁ, P., PALEČEK, M., POŘÁDEK, P., PRACHAŘ, I., RUKAVIČKOVÁ, L., ŘEZNÍČEK, P., SEDLÁK, J., SEDLÁČEK, Z., SEDLÁČKOVÁ, I., SKÁCELOVÁ, Z., SOEJONO, I., VÍT, J., ZABADAL, S., 2016.** Zhodnocení geologických a dalších informací vybraných částí českého moldanubika z hlediska potenciální vhodnosti pro umístění HÚ – EDU západ. Dílčí etapová zpráva: Zpráva o shromáždění, utřídění a vyhodnocení relevantních geovědních informací na lokalitě HÚ EDU – západ. MS, Česká geologická služba.
- L. 42 **HRUBCOVÁ, P., ŠRODA, A., ŠPIČÁK, A., GUTERCH, M., GRAD, M., KELLER, G. R., BRUECKL, E., THYBO, H., 2005.** Crustal and uppermost mantle structure of the Bohemian Massif based on CELEBRATION 2000 data. Journal of Geophysical Research, Vol. 110, B11305. American Geophysical Union. 2005.
- L. 43 **HRUBCOVÁ, P., ŠRODA, P., GRAD, M., GEISLER, W.H., GUTERCH, A., VOZÁR, J., HEGEDŮS, E., AND SUDETES 2003 WORKING GROUP. 2010.** From the Variscan to the Alpine Orogeny: Crustal structure of the Bohemian Massif and Western Carpathians in the light of the SUDETES 2003 seismic data, Geophys. J. Int., 183, 611-633, doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04766.x, 2010.
- L. 44 **HUISMANS, R, PODLADCHIKOV, Y, CLOETINGH, S., 2001.** Dynamic modeling of the transition from passive to active rifting, application to the Pannonian basin. Tectonics, Volume 20, Issue 6, page 1021 - 1039. American Geophysical Union. Washington D. C. 2001.
- L. 45 **CHLUPÁČ, I., BRZOBOHATÝ, R., KOVANDA J., STRÁNÍK, Z., 2002.** Geologická minulost České republiky. Monografie, Academia, 436 s.
- L. 46 **CHLUPÁČ, I., ŠTORCH, P. (EDS), 1992.** Regionálně geologické dělení Českého masívu na území České republiky – Čas. Mineral. Geol. 37, 257–275.
- L. 47 **JAROSIŃSKI, M., 2005.** Ongoing tectonic reactivation of the Outer Carpathians and its impact on the foreland: Results of borehole breakout measurements in Poland. Tectonophysics, Volume 410, Issue 1-4, page 189–216. Elsevier B. V. Munchen. 2005.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

- L. 48 **JAROŠ, J., 1958.** K otázce východního omezení Boskovické brázdy. Čas. Mineral. Geol., 3, 467–470.
- L. 49 **JAROŠ, J., 1991.** Postavení a tektonický styl brunovistulika v jádře svratecké klenby. Acta Universitatis Carolinae, Geologica, č. 3-4 (1991), s. 225-238.
- L. 50 **JETEL, J., 1982.** Určování hydraulických parametrů hornin hydrodynamickými zkouškami
- L. 51 **JOÓ, I., 1992.** Recent vertical surface movements in the Carpathian Basin. Tectonophysics, 202 (1992), pp. 129-134.
- L. 52 **KÁRNÍK, V., MICHAL, E., MOLNÁR, A., 1958.** Erdbebenkatalog der Tschechoslowakei bis zum Jahre 1956. Travaux. Inst. Geophys. Tcheosl. Acad. Sci., 69, NČSAV Praha, 1958.
- L. 53 **KÁRNÍK V., PROCHÁZKOVÁ D., BROUČEK I., 1984.** Catalogue of Earthquakes for the Territory of Czechoslovakia for the Period 1957 - 1980.- Geofyzikální sborník No 555, Geofyzikální ústav ČSAV, Praha.
- L. 54 **KOVÁČ, M., KRÁL, J., MARTON, E., PLASIENKA, D., UHER, P., 1994.** Alpine uplift history of the Central Western Carpathians: geochronological, paleomagnetic, sedimentary and structural data. Geologica Carpathica, Volume 45, Number 2, page 83-96. Geological Institute of the Slovak Academy of Sciences. Bratislava. 1994.
- L. 55 **KOVÁČIK, M., VONDROVIC, L., VENCL, M., POSPÍŠKOVÁ, I., UHRÍK, J., 2015.** Ověření vhodnosti horninového prostředí pro umístění hlubinného úložiště VJP a RAO v PÚZZZK Hrádek – MS SÚRAO.
- L. 56 **KŘÍBEK, B., HÁJEK, A., (EDS) 2005.** Uranové ložisko Rožná, model pozdně variských a povariských mineralizací – Česká geologická služba, Praha, 1–98.
- L. 57 **KRZYSZKOWSKI, D., BOWMAN, D., 1997.** Neotectonic Deformation of Pleistocene Deposits Along the Sudetic Marginal Fault, Southwestern Poland. Earth Surface Processes and Landforms 22(6):545-562.
- L. 58 **LEONARD, M., 2010.** Earthquake Fault Scaling: Self-Consistent Relating of Rupture Length, Width, Average Displacement, and Moment Release. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 100, No. 5A, pp. 1971-1988.
- L. 59 **LÜSCHEN, E., LAMMERER, B., GEBRANDE, H.; MILLAHN, K., NICOLICH, R. AND TRANSALP WORKING GROUP, 2004.** Orogenic structure of the Eastern Alps, Europe, from TRANSALP deep seismic reflection profiling. Tectonophysics, Volume 388, Issues 1-4, page 85-102. Elsevier B. V. Munchen. 2004.
- L. 60 **MÁLEK, J., PRACHAŘ, I., KOLÍNSKÝ, P. A KOL., 2014.** Seismic Hazard Assessment of the Temelín Nuclear Power Plant (Reevaluation 2013). MS Institute of Rock Structure and Mechanics. Academy of Sciences of the Czech Republic. Praha. 2014.
- L. 61 **MÁLEK, J., PRACHAŘ, I., KOLÍNSKÝ, P., 2015.** Probabilistic seismic hazard assessment of the Dukovany nuclear power plant. MS, Institute of Rock Structure and Mechanics, Academy of Sciences of the Czech Republic, v.v.i, 2015.
- L. 62 **MÍSAŘ, Z., DUDEK, A., HAVLENA, V., WEISS, J., 1983.** Geologie ČSSR I. Český masiv. Monografie, SPN Praha, 336 s.


 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

- L. 63 **NEUBAUER, F., GENSER, J., HANDLER, R., 2000.** The Eastern Alps: Result of a two-stage collision proces. Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft, Band 92, page 117-134. Österreichische Geologischen Gesellschaft. Wien. 1999. ISSN 0251-7493.
- L. 64 **PAGANI, M., MONELLI, D., WEATHERILL, G., DANCIU, L., CROWLEY, H., SILVA, V., HENSHAW, P., BUTLER, L., NASTASI, M., PANZERI, L., SIMIONATO, M., VIGANO, D., 2014.** OpenQuake Engine: An Open Hazard (and Risk) Software for the Global Earthquake Model. Seismological Research Letters (2014) 85 (3): 692-702.
- L. 65 **PEŠKA, P., 1992.** Stress indications in the Bohemian Massif: Reinterpretation of borehole televiewer data. Studia Geophysica et Geodaetica, Volume 36, Issue 4, page 307–324. Geophysical Institute of Czechoslovakia Academy of Sciences. Praha. 1992. ISSN 0039-3169.
- L. 66 **PETRUŽÁLEK, M., 2017.** Stanovení mechanických vlastností hlavních petrografických typů na potenciálních lokalitách HÚ. Technická zpráva číslo 88/2017. Geologický ústav AV ČR, v. v. i.
- L. 67 **PHARAOH, T. C., 1999.** Palaeozoic terranes and their lithospheric boundaries within the Trans-European Suture Zone (TESZ): a review. [online]. Tectonophysics, Volume 314, Issues 1-3, page 17-41. Basin Analysis & Stratigraphy Group. British geological Survey. Keyworth Notts. 1999. Dostupné z [www.geo.edu.ro/sgr/mod/downloads/PDF/Pharaoh-TPh-1999-314-17.pdf](http://www.geo.edu.ro/sgr/mod/downloads/PDF/Pharaoh-TPh-1999-314-17.pdf).
- L. 68 **PRACHAŘ, I., PAZDÍRKOVÁ, J., 2015.** Revize katalogů zemětřesení. In: Jaderná elektrárna Dukovany. Seismotektonický model, geologický a paleoseismologický průzkum. Oddíl C. Revize katalogů zemětřesení. MS, Energoprůzkum Praha spol. s r.o. a Ústav fyziky Země MU Brno, 2015.
- L. 69 **PRACHAŘ, I., PISKAČ, J., BALATKA, B., RAJLICH, P., 1999.** Biskoupky - Pohřbené kvartérní
- L. 70 **PRACHAŘ, I., PISKAČ, J., ŠIMŮNEK, P., 2010.** NJZ v lokalitě JE Temelín, Doplnění informací o základové půdě na staveništi NJZ ETE, Závěrečná zpráva. MS, Energoprůzkum Praha spol. s r.o. Praha. 2010.
- L. 71 **PRACHAŘ, I., PAZDÍRKOVÁ, J., IN PREP.** Review and completing of the Czech national earthquake catalogue. SIGMA2 project.
- L. 72 **PROCHÁZKOVÁ, D., KÁRNÍK, V., 1978.** Atlas of isoseismal maps - Central and Eastern Europe. Geophysical Institute of the Czechoslovak Academy of Sciences. Praha. 1978.
- L. 73 **REINECKER, J., LENHART, W. A., 1999.** Present day stress field and deformation in eastern Austria. International Journal of Earth Sciences, Volume 88, Issue 3, page 532-550. Springer-Verlag. 1999. Berlin. ISSN 1437-3254.
- L. 74 **SKOŘEPA, J., BÁRTA, J., ČERNÝ, J., DUFEK, J., KONOPÁČOVÁ, K., KRAJÍČEK, L., MAAROVÁ, I., MAREK, J., NAVRÁTILOVÁ, V., SLOVÁK, J., TESAŘ, M., 2005.** Provedení geologických a dalších prací pro zhodnocení a zúžení lokalit pro umístění hlubinného úložiště, svazek G – Lokalita č. 41 – Rohozná, závěrečná zpráva – Sdružení Geobariéra, Praha.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

- L. 75 **STÁRKOVÁ, I., ZRŮSTEK, V., 1977.** Geologická stavba a perspektivy rozšíření uranu v oblasti č. 25 – třebíčský masiv – MS, Geofond Praha.
- L. 76 **STIPHOUT VAN, T., ZHUANG, J., MARSAN, D., 2012.** Seismicity declustering, Community Online Resource for Statistical Seismicity Analysis, Available at <http://www.corsso.org>.
- L. 77 **STUCCHI ET AL., 2013.** The SHARE European Earthquake Catalogue (SHEEC) 1000–1899. *Journal of Seismology* (2013), 17, 523–544.
- L. 78 **SUK M. ET AL., 1970.** Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1 : 25 000, list 22–243 Bernartice. – ÚÚG Praha.
- L. 79 **SZÉKELY, B., J. REINECKER, I. DUNKL, W. FRISCH, KUHLEMANN, J., 2002.** Neotectonic movements and their geomorphic response as reflected in surface parameters and stress patterns in the Eastern Alps. EGU Stephan Mueller Special Publication Series, Volume 3, page 149-166. European Geosciences Union. Munich. 2002.
- L. 80 **ŠTĚPANČÍKOVÁ P., FISHER T., HARTVICH, F., TÁBOŘÍK, P., ROCKWELL, T.K., STEMBERK, J., ŠIROKÝ, J., SANA HAMID, 2017.** Late Quaternary activity of slow-slip intraplate Mariánské Lázně fault as revealed by trenching and shallow geophysical survey; Bohemian Massif (Czech Republic, central Europe). 8th International INQUA Meeting on Paleoseismology, Active Tectonics and Archeoseismology (PATA), 13 – 16 November, 2017, New Zealand, Proceedings Volume 8.
- L. 81 **ŠTĚPANČÍKOVÁ P., HÓK J., NÝVLT D., DOHNAL J., SÝKOROVÁ I., STEMBERK J. (2010):** Active tectonics research using trenching technique on the south-eastern section of the Sudetic Marginal Fault (NE Bohemian Massif, central Europe). *Tectonophysics*, 485, 1-4, 269–282.
- L. 82 **ŠUMANOVAC, F., OREŠKOVIĆ, J., GRAD, M. AND ALP 2002 WORKING GROUP. 2009.** Crustal structure at the contact of the Dinarides and Pannonian basin based on 2-D seismic and gravity interpretation of the Alp07 profile in the ALP 2002 experiment. *Geophysical Journal International*, Volume 179, Issue 1, pages 615-633. Royal Astronomical Society. London. 2009.
- L. 83 **TOMAS, J. ET AL., 1986.** Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1 : 25 000, list 22–241 Milevsko – ÚÚG Praha.
- L. 84 **TYRÁČEK, J., RŮŽIČKA, M., 1992.** Kvartér. In: CHLUPÁČ I., ŠTORCH P. (EDS): Regionálně geologické dělení Českého masívu na území České republiky – Čas. Čes. geol. spol., 37, 4: 257–275. Praha.
- L. 85 **VERNER, K., BURIÁNEK, D., VRÁNA, S., VONDROVIC, L., PERTOLDOVÁ, J., HANŽL, P., NAHODILOVÁ, R., 2009.** Tectonometamorphic features of geological units along the northern periphery of the Moldanubian Zone (Bohemian Massif) – *Journal of Geosciences*, 54, 2, 87–100.
- L. 86 **VYSKOČIL, P., 1996.** Recent crustal movements, their properties and results of studies at the territory of Czech Republic. In: Seismicity, neotectonics, and recent dynamics with special regard to the territory of the Czech Republic, 42, 15, VUGTK Zdíby, 77–120.



 <b>SÚRAO</b>	<b><i>Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit pro HÚ</i></b>	Evidenční označení:
		TZ 232/2018

- L. 87 **WELLS, D. L., COPPERSMITH, K. J., 1994.** New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 84, No. 4, pp. 974-1002.

