

HODNOCENÍ POTENCIÁLNÍCH LOKALIT HÚ Z HLEDISKA KLÍČOVÝCH KRITÉRIÍ DLOUHODOBÉ BEZPEČNOSTI

LOKALITA ČERTOVKA

Autoři: Václava Havlová,
Jaroslava Pertoldová, Petr Mixa,
Tomáš Hroch, Veronika Štědrá,
Matěj Černý, Michal Polák,
Martin Milický a kolektiv

Praha, 2020

NÁZEV ZPRÁVY: Hodnocení potenciálních lokalit HÚ z hlediska klíčových kritérií dlouhodobé bezpečnosti. Lokalita Čertovka

NÁZEV PROJEKTU: Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště

IDENTIFIKACE V RÁMCI PROJEKTU: Aktualizace hodnocení lokalit z hlediska dlouhodobé bezpečnosti

Technická zpráva

ČÍSLO SMLOUVY: SO2014-061 (4.1.7.5 / č.j. ESS: SURAO-2019-3183)

Bibliografický zápis: HAVLOVÁ V., PERTOLDOVÁ J., MIXA P., HROCH T., ŠTĚDRÁ V., ČERNÝ M., POLÁK M., MILICKÝ M., BAIER J., DUŠEK K., FIFERNOVÁ M., FRANĚK J., GVOŽDÍK L., HOLEČEK J., JANKOVEC J., JELÉNEK J., JELÍNEK J., KACHLÍKOVÁ R., KUČERA R., KŮRKOVÁ I., PETYNIÁK O., RAPPRICH V., RUKAVIČKOVÁ L., ŠVAGERA O., UHLÍK J., VOJTĚCHOVÁ H., ŽÁČEK V., ŽÁČKOVÁ E. (2020): Hodnocení potenciálních lokalit HÚ z hlediska klíčových kritérií dlouhodobé bezpečnosti. Lokalita Čertovka. – MS SÚRAO, TZ 448/2020

ŘEŠITELÉ:

ÚJV Řež, a. s.¹, ČGS², PROGEO, s. r. o.³

AUTORSKÝ KOLEKTIV: Havlová V.¹, Pertoldová J.², Mixa P.², Hroch T.², Štědrá V.², Černý M.³, Polák M.³, Milický M.³, Baier J.³, Dušek K.², Fiferňová M.², Franěk J.², Gvoždík L.³, Holeček J.², Jankovec J.³, Jelének J.², Jelínek J.², Kachlíková R.², Kučera R.², Kůrková I.², Petyniak O.², Rapprich V.², Rukavičková L.², Švagera O.², Uhlík J.³, Vojtěchová H.¹, Žáček V.², Žáčková E.²

Lukáš Vondrovic

Manažer projektu (SÚRAO)

31. 1. 2020

Václava Havlová

Manažer projektu (ÚJV Řež, a. s.)

31. 1. 2020

Obsah

1	Úvod	2
2	Vstupní předpoklady hodnocení	4
3	Přehled hodnocených kritérií významných z hlediska dlouhodobé bezpečnosti HÚ.....	7
4	Geologické charakteristiky lokality	12
4.1	Kritérium K3 Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků.....	12
4.1.1	Regionálně geologická stavba území	12
4.1.2	Indikátor K3a Stupeň křehkého porušení masivu – zlomové struktury.....	15
4.1.3	Indikátor K3b Stupeň křehkého porušení masivu – puklinové systémy.....	24
4.1.4	Indikátor K3c Stupeň duktilní deformace	24
4.2	Kritérium K4 Variabilita geologických vlastností.....	24
4.2.1	Indikátor K4a Prostorová variabilita horninového prostředí.....	25
4.2.2	Indikátor K4b Petrologická variabilita hornin.....	25
4.3	Expertní zhodnocení lokality.....	26
4.3.1	Nejistoty spojené s hodnocenou oblastí	29
4.3.2	Vyhodnocení kritérií ve vztahu k legislativním požadavkům na prokázání vhodnosti lokality pro umístění HÚ (vylučující kritéria)	30
4.3.3	Hodnocení vybraných kritérií pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ	31
5	K5 Hydrogeologické charakteristiky	33
5.1	Vylučující kritéria	35
5.1.1	Přítomnost zvodní v izolační části úložiště	35
5.1.2	Obtížnost vytvoření hydrogeologických modelů a predikce vývoje hydrogeologických poměrů v lokalitě	35
5.2	Kritéria pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ	35
5.2.1	Kritérium K5 Charakteristika proudění vody v okolí úložiště a transportní charakteristiky.....	35
5.2.2	Kritérium K6 Identifikace a umístění drenážních bází	40
5.3	Expertní zhodnocení lokality.....	41
5.3.1	Nejistoty spojené s hodnocením hydrogeologických kritérií.....	41
5.3.2	Vyhodnocení kritérií ve vztahu k legislativním požadavkům na prokázání vhodnosti lokality pro umístění HÚ (vylučující kritéria)	42
5.3.3	Hodnocení vybraných kritérií pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ	42
6	Kritérium K7 Seismická a geodynamická stabilita.....	45

6.1	Vylučující kritéria	45
6.1.1	Zemětřesení a přítomnost potenciálně aktivních zlomů pro období statisíců let (seismická stabilita)	45
6.1.2	Pokles nebo výzdvih povrchu území (vertikální pohyby zemské kůry).....	46
6.1.3	Postvulkanické jevy	46
6.2	Kritéria pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ	47
6.2.1	Indikátor K7a Hodnota maximálního horizontálního zrychlení	47
6.2.2	Indikátor K7b Výškový gradient	47
6.2.3	Indikátor K7c Procentuální podíl plochy reliéfu postiženého a přetvořeného mladými cykly zpětné eroze a svahovými deformacemi	48
6.2.4	Indikátor K7d Výskyt vulkanických hornin paleogenního až holocenního stáří a kyselek	48
6.3	Expertní zhodnocení	48
6.3.1	Nejistoty spojené s hodnocenou oblastí	48
6.3.2	Vyhodnocení kritérií ve vztahu k legislativním požadavkům na prokázání vhodnosti lokality pro umístění HÚ (vylučující kritéria)	49
6.3.3	Hodnocení vybraných kritérií pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ	50
7	Kritérium K8 Charakteristiky, které by mohly vést k narušení hlubinného úložiště budoucími aktivitami člověka	51
7.1	Vylučující kritéria	52
7.1.1	Poddolovaná území a stará a opuštěná důlní díla	52
7.1.2	Přítomnost zásob nerostných surovin.....	52
7.1.3	Přítomnost zdrojů podzemní vody či geotermální energie	54
7.2	Kritéria pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ	55
7.2.1	Indikátor K8a Ložiskové poměry na lokalitě.....	55
7.3	Expertní zhodnocení lokality Čertovka	55
7.3.1	Nejistoty spojené s hodnocenou oblastí	55
7.3.2	Vyhodnocení kritérií ve vztahu k legislativním požadavkům na prokázání vhodnosti lokality pro umístění HÚ (vylučující kritéria)	56
7.3.3	Hodnocení vybraných kritérií pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ	56
8	Celkové zhodnocení lokality Čertovka ve vztahu k vylučujícím kritériím a kritériím porovnávacím	57

Seznam použitých zkratk:

3D	třídimenzionální
ČGS	Česká geologická služba
DFN	discreet fracture network
DMR	digitální model reliéfu
DOP	dipólové elektrické profilování
DP	dobývací prostor
DEMP	dipólové elektromagnetické profilování
EDU-západ	lokalita Na Skalním (EDU-západ)
ETE-jih	lokalita Janoch (ETE-jih)
ERT	electric resistivity tomography
GF	geofyzikální
HG	hydrogeologický
HÚ	hlubinné úložiště
CHLÚ	chráněné ložiskové území
IAEA	International Atomic Energy Agency (Mezinárodní agentura pro atomovou energii)
IB	inženýrské bariéry
ID	identifikace
ISVS	informační systém veřejné správy
k. ú.	katastrální území
Ma	milion let
MG, MAG	magnetometrie
MRS	mělká reflexní seismika
O	odhad
ODD	opuštěné důlní dílo
PÚGChP	perspektivní území pro geologické charakterizační práce
PÚPP	perspektivní území pro projektové práce
PÚZZZK	průzkumné území pro zvláštní zásah do zemské kůry
P-T	tlakově-teplotní (pressure-temperature)
PSHA	probabilistic seismic hazard analysis
RAO	radioaktivní odpady
RN	radionuklid
Sb.	sbírka zákonů
SDD	staré důlní dílo
SI	bezrozměrné číslo v soustavě jednotek SI
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚRAO	Správa úložišť radioaktivních odpadů
SurIS	Surovinový informační systém
UBA	úplná Bougerova anomálie
UOS	ukládací obalový soubor
VAO	vysoceaktivní odpady
VJP	vyhořelé jaderné palivo
ZL	zadávací list

Abstrakt

Tato zpráva shrnuje dostupná data z potenciální lokality hlubinného úložiště na základě archivních a nově získaných dat geologického výzkumu a průzkumu a zpracovaných syntetických popisných modelů. Dále hodnotí lokalitu dle kritérií dlouhodobé bezpečnosti dle dokumentu SÚRAO MP.22 a metodiky hodnocení Vondrovic et al. (2019) odvozených na základě legislativních požadavků (vyhláška č. 378/2016 Sb. o umístění jaderného zařízení) a mezinárodních doporučení (např. IAEA NS-R-3 rev.1 Site Evaluation for Nuclear Installations Safety Requirements, IAEA 2016; SSG-14 Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste, IAEA 2011b).

Vlastnosti lokality jsou hodnoceny v následujících kategoriích kritérií:

1. Geologické charakteristiky lokality
2. Hydrogeologické charakteristiky lokality
3. Stabilita lokality
4. Charakteristiky, které by mohly vést k narušení úložiště člověkem

Klíčová slova

Hlubinné úložiště, výběr lokality, dlouhodobá bezpečnost, tiský pluton, lubenecký pluton, Čertovka

Abstract

This report summarizes the available data from the Čertovka site on the basis of archive information, geological surface research and geophysical data and evaluates the site according to criteria derived by the expert team from the requirements of SÚJB (Decree No. 378/2016 Coll. On Nuclear Facility Location) and IAEA (NS-R-3 rev.1 Site Evaluation for Nuclear Installations Safety Requirements, IAEA 2016; SSG-14 Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste, IAEA 2011b) on significant site characteristics that affect long-term safety of DGR (Vondrovic et al. 2019). Site characteristics are evaluated in the following categories of criteria:

1. Geological characteristics of the site
2. Hydrogeologic characteristics of the site
3. Site stability
4. Characteristics, that could be a reason for future human intrusion into the repository

Keywords

Deep geological repository, siting, long term safety, Tis pluton, Lubenec pluton, Čertovka

1 Úvod

Tato zpráva byla zpracována v rámci projektu SÚRAO „Výzkumná podpora bezpečnostního hodnocení hlubinného úložiště“, který je součástí přípravy hlubinného úložiště radioaktivních odpadů (dále jen HÚ). Cílem projektu je získat vybraná data, modely, argumenty a další informace potřebné pro zhodnocení potenciálních lokalit pro umístění HÚ z hlediska dlouhodobé bezpečnosti. Na základě veřejného zadávacího řízení byla v červenci 2014 uzavřena čtyřletá smlouva s ÚJV Řež, a. s. a jeho subdodavateli: Českou geologickou službou, ČVUT v Praze, Technickou univerzitou v Liberci, Ústavem geoniky AV ČR a společnostmi SG Geotechnika a. s., Progeo, s. r. o. a Chemcomex Praha a. s. a Centrem výzkumu Řež s. r. o. o poskytování výzkumné podpory hodnocení dlouhodobé bezpečnosti v následujících oblastech:

- (i) Chování VJP a forem RAO, nepřijatelných do přípovrchových úložišť, v prostředí hlubinného úložiště;
- (ii) Chování ukládacích obalových souborů (UOS) VJP a RAO v prostředí hlubinného úložiště;
- (iii) Chování tlumících, výplňových a dalších konstrukčních materiálů v prostředí hlubinného úložiště;
- (iv) Řešení úložných vrtů a jejich vliv na vlastnosti obklopujícího horninového prostředí;
- (v) Chování horninového prostředí;
- (vi) Transport radionuklidů z úložiště;
- (vii) Další charakteristiky lokalit potenciálně ovlivňující bezpečnost úložiště.

Výběr lokalit pro umístění hlubinného úložiště je třeba v souladu s doporučeními IAEA a směrnicí Rady EU pro nakládání s VJP a RAO provádět postupnými kroky směřujícími ke snížení počtu a rozsahu lokalit se zvyšujícím se rozsahem znalostí o lokalitách. Charakteristiky a vlastnosti lokalit vybraných v prvních etapách prací by měly indikovat, že na vybraných lokalitách budou splněny všechny požadavky na HÚ a že jejich splnění může být důvěryhodně prokázáno. V každé další etapě prací budou data a informace z lokalit upřesňovány s využitím podrobnějších geologických prací na jednotlivých lokalitách a podrobnějších analýz.

Cílem tohoto dílčího projektu je aktualizace hodnocení potenciálních lokalit na základě výsledků geofyzikálního výzkumu lokalit, a návazných geologických prací, které proběhlo v letech 2017 až 2019.

Předmětem projektu je:

1. odhad velikosti všech potenciálně homogenních bloků vhodných pro umístění obalových souborů s odpady na lokalitách na základě shrnutí všech získaných výsledků;
2. aktualizace devíti popisných zpráv a zprávy hodnocení vhodnosti lokalit (Havlová et al. 2018 a-i) na základě nově získaných poznatků včetně návrhu váhového hodnocení a aktualizace bodového hodnocení dle metodiky aplikace kritérií;

3. revize zdůvodnění kritérií a indikátorů pro hodnocení dlouhodobé bezpečnosti potenciálních lokalit ve formě přehledné tabulky včetně analýzy kritérií ze skupiny proveditelnost a environmentální charakteristiky z hlediska překryvů, doporučení klíčových indikátorů;
4. spolupráce se SÚRAO při oponentních řízeních a jednání expertního panelu.

Cílem této zprávy je podat detailní popis vyhodnocení geologických charakteristik, hydrogeologických charakteristik, charakteristik stability a faktorů narušení úložiště budoucími aktivitami člověka na lokalitě Čertovka.

2 Vstupní předpoklady hodnocení

Zpracovaný text navazuje na důvodovou zprávu „Lokalizace perspektivních území pro geologické charakterizační práce a perspektivních území pro projektové práce HÚ“, která popisuje a zdůvodňuje změny v geologické stavbě a umístění **perspektivních území pro geologické charakterizační práce a perspektivních území pro projektové práce** na potenciálních lokalitách (Pertoldová et al. 2019).

Hodnocení geologických kritérií K3 Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků a K4 Variabilita geologických vlastností, kritéria K7 Seismická a geodynamická stabilita a K8 Charakteristiky, které by mohly vést k narušení úložiště budoucími aktivitami člověka a jejich indikátorů, uvedených níže, je na lokalitě Čertovka soustředěno na území 3D regionálního geologického modelu, strukturního schématu viz Mixa et al. (2019), perspektivního území pro geologické charakterizační práce a perspektivního území pro projektové práce a jeho okruhu 25 km v souladu se zadávacím listem „Aktualizace hodnocení lokalit z hlediska dlouhodobé bezpečnosti“ (PB-2019-ZL-U3183-043-Hodnocení2).

Hodnocení hydrogeologických poměrů lokality Čertovka je realizováno na území 3D detailního hydrogeologického modelu (Černý et al. 2018), který byl aktualizován (Černý et al. 2020) zpracováním dat z nového strukturního schématu (Mixa et al. 2019).

Geologická kritéria (včetně vylučujících kritérií) jsou hodnoceny v následujícím rozsahu:

Kritérium K3 Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků

- indikátor K3a *Stupeň křehkého porušení masivu – zlomové struktury* je hodnocen dle strukturních schémat ad Mixa et al. (2019);
- indikátor K3b *Stupeň křehkého porušení masivu – puklinové systémy* je hodnocen dle DFN modelu a nových poznatků ze zprávy Mixa et al. (2019); u lokalit Janoch (ETE-jih) a Na Skalním (EDU-západ) vychází hodnocení z expertního posouzení v území regionálního 3D geologického modelu;
- indikátor K3c *Stupeň duktilní deformace* je hodnocen v rozsahu perspektivního území pro projektové práce a jeho blízkého okolí.

Kritérium K4 Variabilita geologických vlastností

- indikátor K4a *Prostorová variabilita horninového prostředí* je hodnocen v rozsahu perspektivního území pro projektové práce a jeho blízkého okolí;
- indikátor K4b *Petrologická variabilita hornin* je hodnocen v rozsahu perspektivního území pro projektové práce a jeho blízkého okolí.

Hydrogeologická kritéria (včetně vylučujících kritérií) jsou uvedena v kapitole 5. Hydrogeologická kritéria, významná z hlediska dlouhodobé bezpečnosti, posuzovaná s cílem vyhodnocení lokalit z hlediska vhodnosti pro umístění HÚ, jsou stanovena z metodického pokynu SÚRAO MP.22 (Vokál et al. 2017), metodiky hodnocení (Vondrovic et al. 2019) a výsledků aktualizovaného 3D detailního hydrogeologického modelu (Černý et al. 2020), do stanovení indikátorů je zahrnuta plocha podzemní části HÚ z Doplnku ke studiím umístitelnosti HÚ v kandidátních lokalitách (Zahradník et al. 2020).

Hodnocení kritérií oblasti **Seismická a geodynamická stabilita lokalit** (včetně vylučujících kritérií) je provedeno v následujícím rozsahu:

- vylučující kritérium *Zemětřesení a přítomnost potenciálně aktivních zlomů pro období statisíců let (seismická stabilita)* bylo zhodnoceno následovně: Zemětřesení byla posouzena v rozsahu dle požadavku vyhlášky č. 378/2016 Sb. na základě dat seismotektonického modelu vycházející z metodiky PSHA (Málek et al. 2018). Pro vyhodnocení přítomnosti potenciálně aktivních zlomů na konkrétní lokalitě nejsou k dispozici relevantní data o stáří a aktivitě studovaných tektonických poruch;
- vylučující kritérium *Pokles nebo výzdvih povrchu území (vertikální pohyby zemské kůry)* je hodnoceno v rozsahu regionálních dat dle zprávy Hrocha a Pačese (2015);
- vylučující kritérium *Postvulkanické jevy* je zhodnoceno v rozsahu odpovídajícím požadavku vyhlášky č. 378/2016 Sb.;
- indikátor *kritéria K7a Hodnota maximálního horizontálního zrychlení* je hodnocen v rozsahu vzdálenosti 300 km od pozemku jaderného zařízení odpovídající metodice PSHA (Málek et al. 2018);
- indikátor *kritéria K7b Výškový gradient* je hodnocen v rozsahu regionálního 3D strukturně geologického modelu (Franěk et al. 2018);
- indikátor *kritéria K7c Procentuální podíl plochy reliéfu postiženého a přetvořeného mladými cykly zpětné eroze a svahovými deformacemi* je hodnocen v rozsahu regionálního 3D strukturně geologického modelu (Franěk et al. 2018);
- indikátor *kritéria K7d Výskyt vulkanických hornin paleogenního až holocenního stáří a kyselek* je hodnocen do vzdálenosti 5 km od pozemku od PÚPP pro výskyt vulkanických hornin, resp. do vzdálenosti 25 km od PÚPP pro výskyt kyselek.

Hodnocení kritérií oblasti **Charakteristiky, které by mohly vést k narušení úložiště budoucími aktivitami člověka** je provedeno v rozsahu perspektivního území pro geologické charakterizační práce, včetně vylučujících kritérií.

Souřadnice S-JTSK pro **perspektivní území pro geologické charakterizační práce:**

- X 1036010 Y 818323;
- X 1034036 Y 821089;
- X 1028462 Y 822033;
- X 1026800 Y 822800;
- X 1026850 Y 819430;
- X 1028565 Y 815885;
- X 1030080 Y 815888;
- X 1033000 Y 817000;
- X 1036106 Y 818182.

Souřadnice S-JTSK pro **perspektivní území pro projektové práce:**

Čertovka – J

X 1035682	Y 818645;
X 1034380	Y 820482;
X 1032395	Y 819226;
X 1033247	Y 817740.

Čertovka – S

X 1031004	Y 818156;
X 1029802	Y 819328;
X 1027927	Y 818593;
X 1029407	Y 816335;
X 1030747	Y 816883.

3 Přehled hodnocených kritérií významných z hlediska dlouhodobé bezpečnosti HÚ

Metodika postupu hodnocení je uvedena ve zprávě Vondrovic et al. (2019). V Tab. 1 je uveden přehled vylučujících kritérií, významných pro dlouhodobou bezpečnost HÚ.

Pro každou z lokalit budou u vylučujících kritérií vyhodnoceny dvě skutečnosti, které vycházejí z požadavků, definovaných na základě vyhlášky č. 378/2016 Sb.

- 1. Zjištěné informace o posuzované vlastnosti lokality spíše vedou k závěru, že požadavek bude splněn (příležitost převažuje nad rizikem), tj. nebyla zjištěna vlastnost lokality, při jejímž překročení je umístění úložiště zakázáno.**
- 2. Zjištěné informace o posuzované vlastnosti indikují překážku či problém ke splnění požadavku či možné problémy s jeho prokázáním (riziko převažuje nad příležitostí).**

Pokud hodnocená lokalita bude v rozporu s libovolným vylučujícím požadavkem či kritériem, a nebude existovat vhodné technické či administrativní opatření pro jeho eliminaci, nebude již dále zvažována pro další práce a bude zařazena do kategorie vyloučené lokality.

Pokud jsou zjištěny překážky, které mohou bránit v umístění hlubinného úložiště na lokalitě, pak bude posouzena možnost odstranění překážky či problému pomocí technického či administrativního opatření.

Tab. 1 Vylučující kritéria, významná z hlediska dlouhodobé bezpečnosti HÚ (Vokál et al. 2017, Vondrovic et al. 2019); je zachováno ID dle zdroje

ID	Název kritéria	Popis kritéria / hodnota	Zdroj	Hodnocené území
2.	Vylučující kritéria z hlediska dlouhodobé bezpečnosti hlubinného úložiště			
2.1	Geologické charakteristiky			
2.1.1	Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků	Geologické podmínky v úložišti musí umožnit připravit důvěryhodný komplexní, prostorový geologický model. Hloubkový dosah horninového masivu musí být dostatečný s ohledem na max. předpokládanou hloubku umístění úložiště (minimálně 400 m). Nepříjemná míra nejistoty v identifikaci a popisu regionálních a lokálních poruchových zón a dalších geologických struktur může vylučovat umístění úložiště. V první fázi povrchových geologických prací však tento faktor nemusí být vylučující, ale může sloužit pro porovnání lokalit.	Vyhl. č. 378/2016, § 18 (4) b)	Perspektivní území pro projektové práce

ID	Název kritéria	Popis kritéria / hodnota	Zdroj	Hodnocené území
2.1.2	Variabilita vlastností	Velká variabilita vlastností neumožňující připravit důvěryhodný 3D geologický, hydrogeologický, geomechanický či geochemický model je jedním z vylučujících kritérií. Ve stávající fázi povrchové geologické charakterizace však tento faktor nemusí být vylučující, ale může sloužit pro porovnání lokalit.	Vyhl. č. 378/2016, § 18 (4) b)	Perspektivní území pro projektové práce
2.2		Hydraulické charakteristiky		
2.2.1	Přítomnost zvodní v izolační části úložiště	Přítomnost zvodní v izolační části úložiště je vylučujícím kritériem pro umístění úložiště.	Vyhl. č. 378/2016, § 8 (2)	Perspektivní území pro projektové práce
2.2.2	Obtížnost vytvoření hydrogeologických modelů a predikce vývoje hydrogeologických poměrů v lokalitě	Nepřijatelné nejistoty v důsledku obtížného stanovení vlivu poruchových zón a dalších struktur na vytvoření hydrogeologického modelu lokality. V první fázi povrchových geologických prací však tento faktor nemusí být vylučující, ale může sloužit pro porovnání lokalit.	Vyhl. č. 378/2016, § 18 (4) b) 2.	Území 3D detailního hydrogeologického modelu
2.3		Stabilita lokality		
2.3.1	Zemětřesení a přítomnost potenciálně aktivních zlomů pro období statisíců let (seismická stabilita)	Pro umístění nemůže být využit pozemek jaderného zařízení, na kterém, nebo ve vzdálenosti do 5 km od jeho hranice, se vyskytuje zlom potenciálně schopný posunu s projevem na povrchu nebo blízko povrchu. Hodnoty maximálního potenciálního magnituda a hodnoty zrychlení kmitů půdy s četností mohou být použity pro porovnání lokalit.	Vyhl. č. 378/2016, § 6 (2) a)	V rozsahu odpovídající požadavku vyhlášky č. 378/2016 Sb. (v okruhu do 5 km od PÚPP)
2.3.2	Pokles nebo výzdvih povrchu území (vertikální pohyby zemské kůry)	Umístění úložiště je vyloučeno v lokalitách, kde pohyby zemské kůry jsou větší než 1 mm•rok ⁻¹ .	Vyhl. č. 378/2016, § 18 (2) g	V rozsahu regionálních dat dle zprávy Hrocha a Pačese (2015)
2.3.3	Postvulkanické jevy	Budou vyloučeny lokality s postvulkanickými jevy (výrony plynů, horké vody atd.).	Vyhl. č. 378/2016, § 9 (3) a) 2.	V rozsahu odpovídající požadavku vyhlášky č. 378/2016 Sb. (v okruhu do 5 km od PÚPP)

ID	Název kritéria	Popis kritéria / hodnota	Zdroj	Hodnocené území
2.4	Charakteristiky, které by mohly vést k narušení úložiště budoucími aktivitami člověka			
2.4.1	Přítomnost starých důlních děl	Na pozemku jaderného zařízení se nesmí vyskytovat stará důlní díla.	Vyhl. č. 378/2016, § 9 (3) b)	Perspektivní území pro geologické charakterizační práce
2.4.2	Přítomnost zásob nerostných surovin	V hloubce větší než 100 m nesmí být zásoby nerostných surovin.	Vyhl. č. 378/2016, § 18 (2) o)	Perspektivní území pro geologické charakterizační práce
2.4.3	Přítomnost zdrojů podzemní vody či geotermální energie	Horninové prostředí nesmí obsahovat významné zdroje vody či potenciál pro využívání geotermální energie.	Vyhl. č. 378/2016, § 8 (2), § 18 (4) c)	Perspektivní území pro geologické charakterizační práce

Ve druhém kroku budou potenciální lokality, které prošly hodnocením vylučujících kritérií, vzájemně porovnávány pomocí váhového hodnocení klíčových kritérií. Klíčová kritéria jsou případně členěna na dílčí indikátory, které představují konkrétní vlastnosti lokalit. Indikátor je tedy dílčí charakteristika lokality využitá pro zhodnocení klíčového kritéria. Porovnání lokalit v této fázi bude tedy provedeno na základě kritérií, která mají největší informační relevanci pro hodnocení a jejich vlastní hodnocení je opřeno o dostatečné množství dat (Vondrovic et al. 2019).

V Tab. 2 jsou uvedena kritéria, významná z hlediska dlouhodobé bezpečnosti, posuzovaná s cílem vyhodnocení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ.

Tab. 2 Kritéria a jejich indikátory významná z hlediska dlouhodobé bezpečnosti, hodnocená pro danou lokalitu s cílem vyhodnocení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ (Vondrovic et al. 2019)

ID	Název kritéria	ID	Název indikátoru	Charakter požadavku
K3	Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků	K3a	Stupeň křehkého porušení masivu – zlomové struktury	Vylučující/porovnávací
		K3b	Stupeň křehkého porušení masivu – puklinové systémy	Vylučující/porovnávací
		K3c	Stupeň duktilní deformace	Vylučující/porovnávací
K4	Variabilita geologických vlastností	K4a	Prostorová variabilita horninového prostředí	Vylučující/porovnávací
		K4b	Petrologická variabilita hornin	Vylučující/porovnávací
K5	Charakteristika proudění vody v okolí HÚ a transportní charakteristiky	K5a	Doba dotoku z HÚ do oblasti drenáže (roky)	Porovnávací
		K5b	Rychlost proudění v úrovni úložiště (m.rok^{-1})	Porovnávací
		K5c	Propustnost v prostoru HÚ (m.s^{-1})	Porovnávací
		K5d	Sestupná vertikální složka proudění (% plochy HÚ)	Porovnávací
		K5e	Maximální propustnost poruchových zón do 500 m od hranice HÚ (m.s^{-1})	Porovnávací
		K5f	Specifický průtok v prostoru HÚ ($\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$)	Porovnávací
		K5g	Poměr ředění (%)	Porovnávací
K6	Identifikace a umístění drenážních bází	K6a	Počet drenážních toků	Porovnávací
		K6b	Zastoupení drenáže z plochy HÚ v jediném toku	Porovnávací
		K6c	Zastoupení drenáže z plochy HÚ v jediném povodí	Porovnávací
		K6d	Horizontální vzdálenost HÚ od drenáže (m)	Porovnávací

ID	Název kritéria	ID	Název indikátoru	Charakter požadavku
K7	Seismická a geodynamická stabilita	K7a	Hodnota maximálního horizontálního zrychlení (m.s^{-2})	Porovnávací
		K7b	Výškový gradient	Porovnávací
		K7c	Procentuální podíl plochy reliéfu postiženého a přetvořeného mladými cykly zpětné eroze a svahovými deformacemi	Porovnávací
		K7d	Výskyt vulkanických hornin paleogenního až holocenního stáří a kyselek	Porovnávací
K8	Charakteristiky, které by mohly vést k narušení úložiště budoucími aktivitami člověka	K8a	Ložiskové poměry na lokalitě (dobývací prostory, CHLÚ, prognózy nerostných surovin)	Vylučující/Porovnávací

4 Geologické charakteristiky lokality

4.1 Kritérium K3 Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků

4.1.1 Regionálně geologická stavba území

Geologicky patří lokalita Čertovka k neoproterozoiku Barrandienu, označovanému také jako bohemikum či tepelsko-barrandienská jednotka. Nejstarší jednotku tvoří neoproterozoické, slabě až středně metamorfované horniny, hlavně metaprachovce, fylity, metadroby až svory (Chlupáč a Štorch 1992). V oblasti vystupuje 5 mladších geologických jednotek různého stáří. Granitoidy kambrického stáří jsou částí rozsáhlého čistecko-jesenického kompozitního plutonu a v oblasti jsou zastoupeny tiským a nevelkým lubeneckým masivem. Následují pánevní sedimenty svrchně karbonského až raně permského stáří, doupovský vulkanický komplex, plus rozptýlené alkalické vulkanity terciárního stáří a sedimentární pokryv kvartérního stáří.

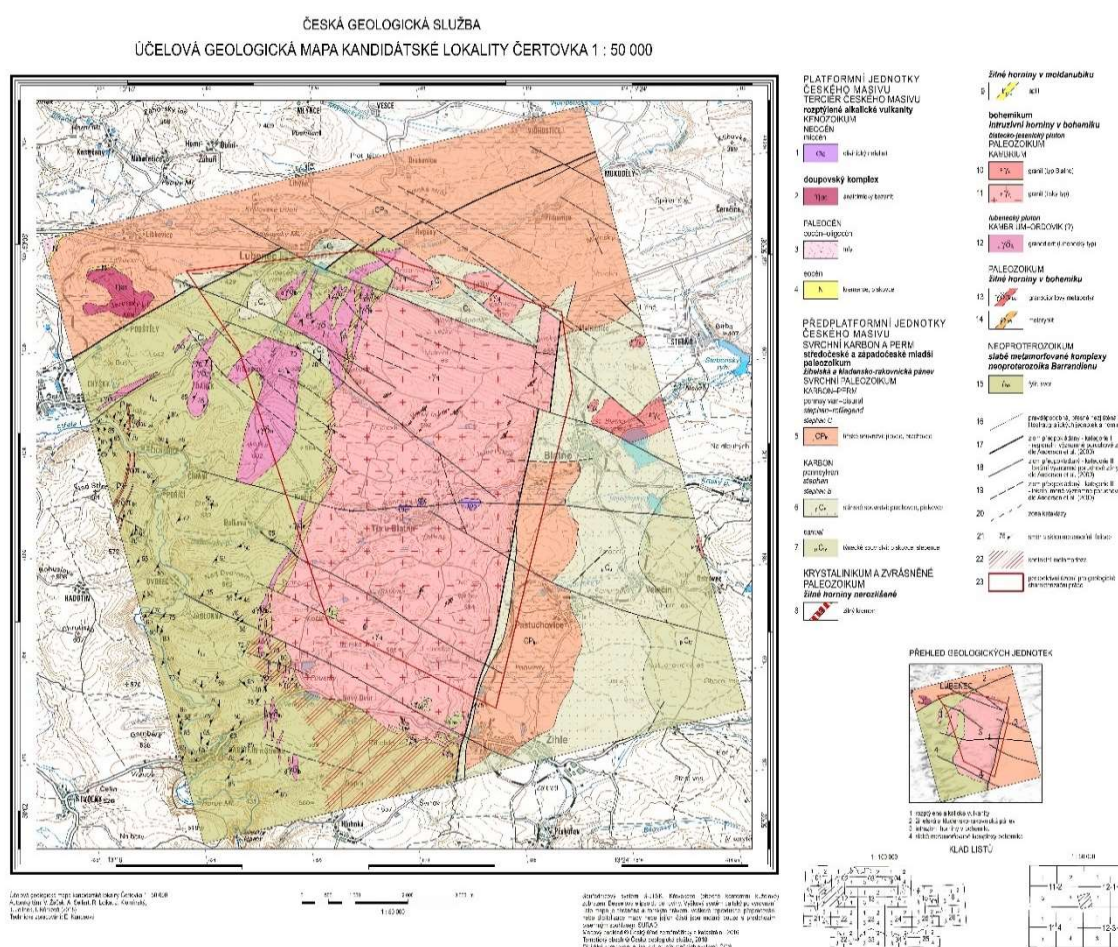
Popis geologické stavby

Geologická stavba lokality Čertovka byla již před realizací geologického mapování a geofyzikálního měření na profilech z větší části dokumentována v geologických mapách v měřítku 1 : 25 000 12–133 Jesenice (Seifert et al. 2013) a 11–244 Žlutice (Žáček et al. 2015). Aktuálním geologickým a geofyzikálním mapováním tak nedošlo k zásadní změně pohledu na geologickou stavbu lokality Čertovka. Přesto je přínos výrazný, došlo ke zpřesnění poloh kontaktů geologických těles či zjištění nových, dosud nezjištěných, dílčích kontaktů, upřesnění, zda jde o kontakty litologické nebo tektonické, přibližné určení morfologie a hloubky průběhu podloží permokarbonských pánví, a tím také přibližné mocnosti sedimentů žihelské a kladensko-rakovnické pánve. Dalším přínosem je zjištění dosud neznámých těles, např. diatrémy u osady Jablonná, zjištění nových zlomů či poruchových zón, dále indikace zvětralin a místy i zpřesnění rozsahu a mocností zejména svahových sedimentů, a to hlavně u paty žihelského zlomu. Údaje o charakteru nových zlomů a upřesnění mocnosti a morfologie pánevních výplní uvedené dále v textu jsou ze zprávy Mixy et al. (2019).

Podloží lokality Čertovka tvoří slabě až středně metamorfované sedimenty bohemika, které řadíme zhruba na západ od tiského masivu do tepelského krystalinika, směrem na východ pak do slabě metamorfovaného neoproterozoika bohemika. Jedná se převážně o břidlice, fylity, metadroby až svory a kontaktní rohovce. Do těchto metasedimentů intrudovalo rozsáhlé granitové těleso tiského masivu a menší granodioritové těleso lubeneckého masivu. Ve východní a severní části lokality Čertovka vystupují sedimenty permokarbonského stáří patřící do žihelské a kladensko-rakovnické pánve. Kontakty permokarbonských sedimentů s podložními horninami jsou většinou tektonické, jen někde transgresivní. V oblasti vystupuje několik drobných těles alkalických vulkanitů miocenního stáří, které pronikly podél zlomu směru V–Z.

Jednotka bohemika patří k nejstarším celkům variského orogenního pásma. Litologicky jde o slabě metamorfované fádňi neoproterozoické mořské sedimenty řady jíl – prach – droba, které se v tradičním pojetí řadí k flyšové facii blovického souvrství kralupsko-zbraslavské skupiny (Chlupáč a Štorch 1992; Mašek 2000). V západní části tepelsko-barrandienské oblasti (bohemika) postupně stoupá metamorfní gradient a vytváří plynulou řadu metamorfovaných

V neoproterozoiku Barrandienu, resp. v tepelském krystaliniku, vystupuje řada těles granitoidních hornin, u většiny bylo dokázáno nebo se předpokládá kambroordovické stáří (Klomínský et al. 2010). Kolem těchto těles je v šířce od několika desítek metrů do cca 1 km, na jihu tiského masivu i širší, vyvinut kontaktně metamorfovaný lem, zastoupený většinou rohovci.



Z menších granitoidních těles vystupuje u Lubence členitý, ale litologicky méně pestrý, lubenecký masiv (Breiter 2004; Žáček et al. 2015), tvořený hlavně drobně zrnitým biotitickým granodioritem až granitem v různém stupni deformace. Podle předběžného vyhodnocení gravimetrie se tíhově neprojevují ani velká tělesa granodioritu a jde o tělesa mělkého dosahu, spíše o velké budiny.

Lokalitě Čertovka dominuje tiský masiv, který je součástí podstatně rozsáhlejšího tělesa, z větší části skrytého pod permokarbonskými sedimenty a označovaného jako čistecko-jesenický kompozitní pluton nebo jako lounský pluton (Klomínský et al. 2010). Převážná část tohoto tělesa má kambrické či kambroordovické stáří, tzv. čistecký masiv je však devonský (Venera et al. 2000). Vlastní tiský masiv tvoří relativně litologicky homogenní obdélníkové těleso přibližně o velikosti 4 × 9 km, které má převážně intruzivní kontakt na západě a jihu, na východě a na severu je tektonický kontakt s permokarbonskými sedimenty. Tiský masiv tvoří hrubozrnný, někdy slabě porfyrický, biotitický granit (tiský typ) s nápadně šedomodrými křemeny.

Permokarbonské sedimenty patří v oblasti do žatecké části kladensko-rakovnické pánve a do žihelské pánve. Tyto pánve spojuje vliv tektoniky na jejich formování a na jejich postupný vývoj, usazování na více či méně penneplenizovaném povrchu převážně neoproterozoického stáří, s počátkem sedimentace nejdříve ve westphalu B či C a její ukončení v blíže neurčeném období během spodního permu. Také stratigraficky tyto limnické pánve spojuje cyklický vývoj hlavních souvrství, která jsou v hrubých rysech paralelizovatelná ve všech těchto pánvích, i když jsou zde místní faciální rozdíly a také rozdíly v mocnostech (Pešek 1996).

Žihelská pánev tvoří až 8 km širokou asymetrickou strukturu protaženou přibližně ve směru S-J, která je na západě vůči krystaliniku omezená morfologicky výrazným žihelským zlomem; východní okraj pánve je transgresivní. V jižní části dosahuje mocnosti až kolem 400 m. *Sedimenty liňského souvrství* představují nejmladší a zároveň nejmocnější jednotku permokarbonského s mocnostmi přes 500 m vs. a sv. části území. Poměrně monotónní sedimenty se v terénu projevují červenohnědým jílovitým až jílovitopísčítým eluvem, místy s úlomky dobře vytríděných jemnozrnných pískovců tmelených kalcitem, místy přistupují i valouny hornin. *Slánské souvrství* je až 100 m mocné, na bázi jsou hlavně pískovce, slepence a zelenošedé prachovce, výše pak sedimenty s převahou hrubě až středně zrnitých pískovců a slepenců, nad nimi pak šedé jílovce, prachovce a jemnozrnné pískovce. *Týnecké souvrství* vystupuje na bázi permokarbonského jako hrubě zrnité pískovce a slepence a červenohnědé prachovce, které nasedají na granitoidy a břidlice. Nejvyšších mocností i přes 100 m dosahuje v jižní části žihelské pánve.

Křemenné pískovce, místy kaolinické, a křemence, pravděpodobně eocenního stáří, vystupují v malém rozsahu v sz. cípu lokality Čertovka (Hradecký et al. 2012). Doupovský vulkanický komplex se utvářel od nejspodnějšího oligocénu do spodního miocénu (Sakala et al. 2010). Do Čertovky pak zasahují v jejím sz. cípu uloženiny laharů a vulkanity Jezerského vrchu. Ve vlastním tiském masivu vystupuje podle zlomu směru V–Z tzv. tisko-kračínské pásmo několik těles středně miocenních alkalických vulkanitů (Seifert et al. 2013). U osady Jablonná byla v místě magnetické anomálie nově identifikována skrytá diatréma, pravděpodobně také spjatá s miocenním vulkanismem.

Kvartérní pokryv má denudační charakter a plošně malý rozsah, relativně největší rozšíření mají svahové a fluviální sedimenty. Mocnosti svahových sedimentů se pohybují od ~ 1 m (nejnižší mapovaná mocnost) do 4–10 m, výjimečně u paty svahů až 15 m. Fluviální sedimenty a splachové sedimenty mají mocnosti 2–5 m, výjimečně až 10 m.

4.1.2 Indikátor K3a Stupeň křehkého porušení masivu – zlomové struktury

Zlomové struktury regionálního měřítka v okruhu 25 km

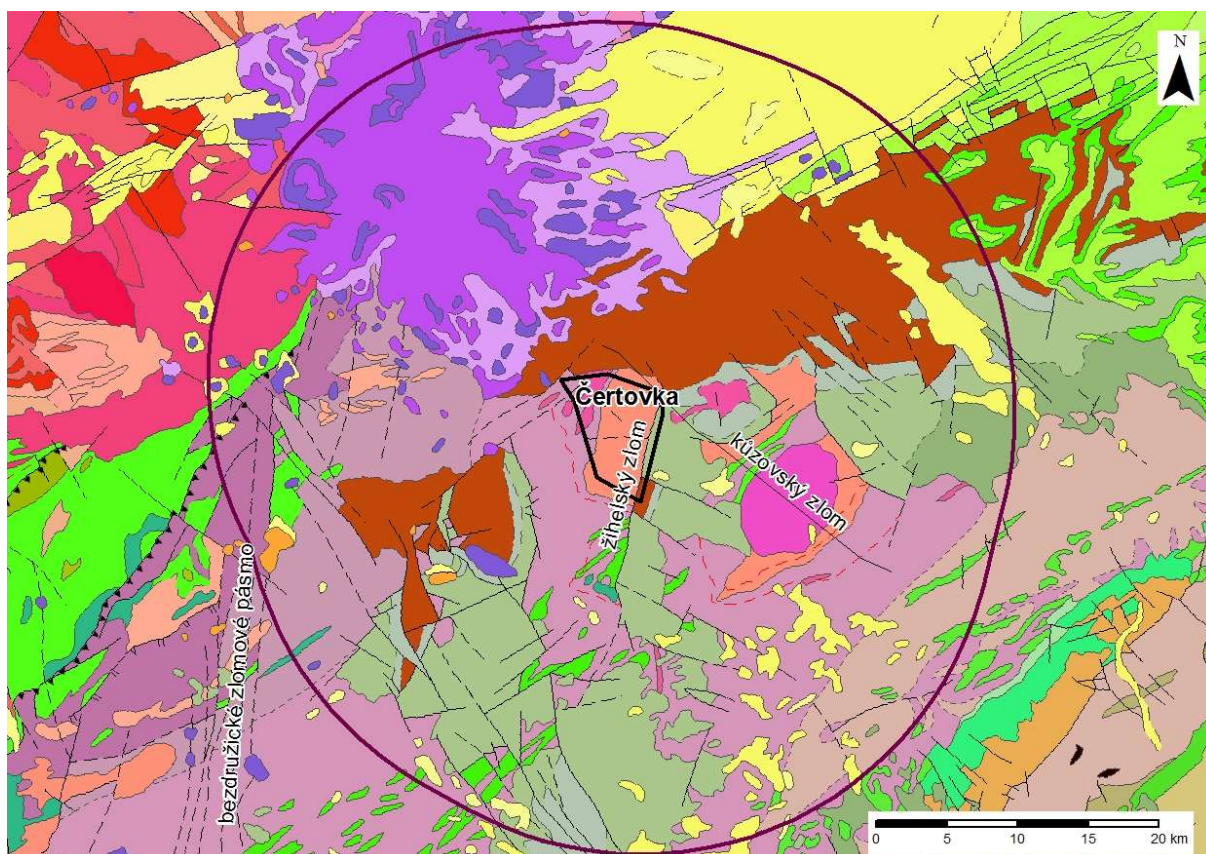
Popis významných tektonických linií regionálního měřítka, v širším okolí lokality, a jejich přímé zhodnocení, není zahrnuto v závazné metodice hodnocení (Vondrovic et al. 2019). Nicméně jejich konfigurace je klíčová pro posouzení zlomových struktur přímo na území lokality a jejich zasazení do širšího strukturního rámce regionu.

V širším regionu (okruh 25 km od lokalizace zájmového území) se vyskytují křehké deformační zóny, které odrážejí lokalizovanou tektonickou aktivitu v závěrečném období variských orogenních procesů a v období mezozoika až terciéru během alpinské orogeneze. Distribuce křehkých deformačních zón je nerovnoměrná (Obr. 2), je však třeba vzít v úvahu, že zatímco u kontrastních litologií (například na kontaktu permokarbonu a neoproterozoických hornin), jsou tektonické linie snadno identifikovatelné podle geometrie hranic mezi těmito jednotkami, tak u litologicky fádnic jednotek (např. část neoproterozoika, interní části kladensko-rakovnické pánve, neovulkanity doupovského komplexu), mohou být tektonické linie také přítomny, ale nebyly identifikovány. Část dalších tektonických linií může být zakryta také neovulkanity doupovského komplexu. V oblasti vystupují 3 hlavní tektonické zóny: směru SSV–JJZ, SSZ–JJV až SZ–JV a VSZ–ZJZ.

Pásmo zlomů směru SSV–JJZ je patrné zejména v západní části oblasti, kde představuje nejsevernější část tzv. bezdružického zlomového pásma s výrazným sinistrálním posunem (Cháb a Žáček 1994), která je blízkého směru jako žihelský zlom. Na zlomy tohoto směru jsou vázány i neogenní vulkanity.

Zlomy směru SSZ–JJV až SZ–JV jsou hojné prakticky v celé oblasti a modifikují geometrii, zejména rozšíření permokarbonských sedimentů vůči horninám neoproterozoika a granitoidů (manětínská i žihelská pánev). Na zlomy tohoto směru jsou také vázány i neogenní vulkanity (Manětínská hora). Stejného směru je nově popsán kůzovský zlom s hematit-křemen-barytovou mineralizací (Dobeš et al. 2018), který vystupuje na JZ od lokality Čertovka v oblasti jesenické části čistecko-jesenického plutonu a pravděpodobně navazuje na pásmo zlomů omezujících severní část tiského masivu u Lubence. Podle Dobeše et al. (2018) mohou tyto struktury představovat pokračování tektonických struktur regionálního významu z oblasti Krušných hor, tj. tzv. jáchymovský zlom. Jáchymovský zlom je však problematická struktura, která figuruje jen na tektonických schématech přehledného měřítka (např. v Misař et al. 1983). Název zavedli Röhlich a Šťovíčková (1968) a podle těchto autorů jde o zlomovou soustavu směru SZ–JV probíhající přerušovaně v linii Jáchymov – Rožmitál – České Budějovice, v jehož průběhu leží stratovulkán Doupovských hor, rožmitálský strukturní uzel a jihočeské senonsko-třetihorní pánve (je to téměř doslovná citace ze Svoboda 1983). Na žádné geologické mapě, včetně mapy ČR v měřítku 1 : 500 000 (Cháb et al. 2007), a už vůbec ne v mapách detailnějších, však tzv. jáchymovský zlom jako souvislou strukturu nenajdeme (např. Obr. 2, srv. také Hrnčiarová et al. 2009). Mezi Doupovskými horami a jihočeskými pánevmi vystupuje v mapě 1 : 500 000 pouze řada relativně krátkých zlomů směru SZ–JV v zóně, která je široká až kolem 30–40 km, a jde tak o zlomy, které pouze sjednocují směr předpokládaného „jáchymovského zlomu“, ale jsou vždy relativně krátké. Jedním z relativně dlouhých a nyní dobře doložených zlomů je i kůzovský zlom situovaný v čisteckém masivu jz. od lokality Čertovka (Dobeš et al. 2018, Obr. 2). Při pohledu na geologické mapy různých měřítek nepředstavuje „jáchymovský zlom“ definovanou zlomovou zónu ani pásmo zlomů. Řada zlomů

a zlomových pásem stejného směru leží například v jižní části plzeňské a manětínské pánve i jinde porůznu v celé jz. části Českého masivu (např. Obr. 2, Cháb et al. 2007). Vrátime-li se k „jáchymovskému zlomu“, lokalita Čertovka se nachází v jeho teoretické trajektorii (podle Röhliche a Šťovíčkové 1968), a tak řadu zlomů směru SZ–JV, hlavně v severní části lokality Čertovka, bychom mohli považovat za jeho projevy. Je však nepravděpodobné, že zde bude ověřena souvislá dlouhá struktura, kterou bychom mohli označit za jáchymovský zlom. Na základě stávajících dat se tedy jáchymovský zlom v lokalitě Čertovka jako unikátní diskrétní struktura nepotvrdil.



Obr. 2 Mapa zlomových struktur v širším okolí lokality (okruh 25 km od lokalizace zájmového území černou linií), menší černý polygon – lokalita Čertovka (perspektivní území pro geologické charakterizační práce)

Morfotektonické zhodnocení území regionálního 3D geologického modelu

V rámci hodnocení indikátoru K3a Stupeň křehkého porušení masivu je morfotektonické zhodnocení zájmové lokality pomocnou metodou posouzení křehkého porušení horninového masivu – především zlomových struktur. Identifikované strukturní lineární indikace jsou členěny do jiných kategorií (Marek et al. 2005; Woller 2006), které neodpovídají členění zlomů, viz Andersson et al. (2000). Zhodnocení bylo provedeno na základě morfostrukturní analýzy digitálního modelu reliéfu 4. generace (DMR 4G), radarových družicových dat ALOS-PALSAR 2 a leteckých stereoskopických snímků (Kopačková et al. 2017). Morfostrukturní analýzou a interpretací uvedených dat byly získané výsledky validovány za použití existujících strukturně-geologických, tektonických a geofyzikálních dat. Provedená morfostrukturní analýza zájmového území věcně a metodicky navazuje na předcházející geologické úkoly realizované

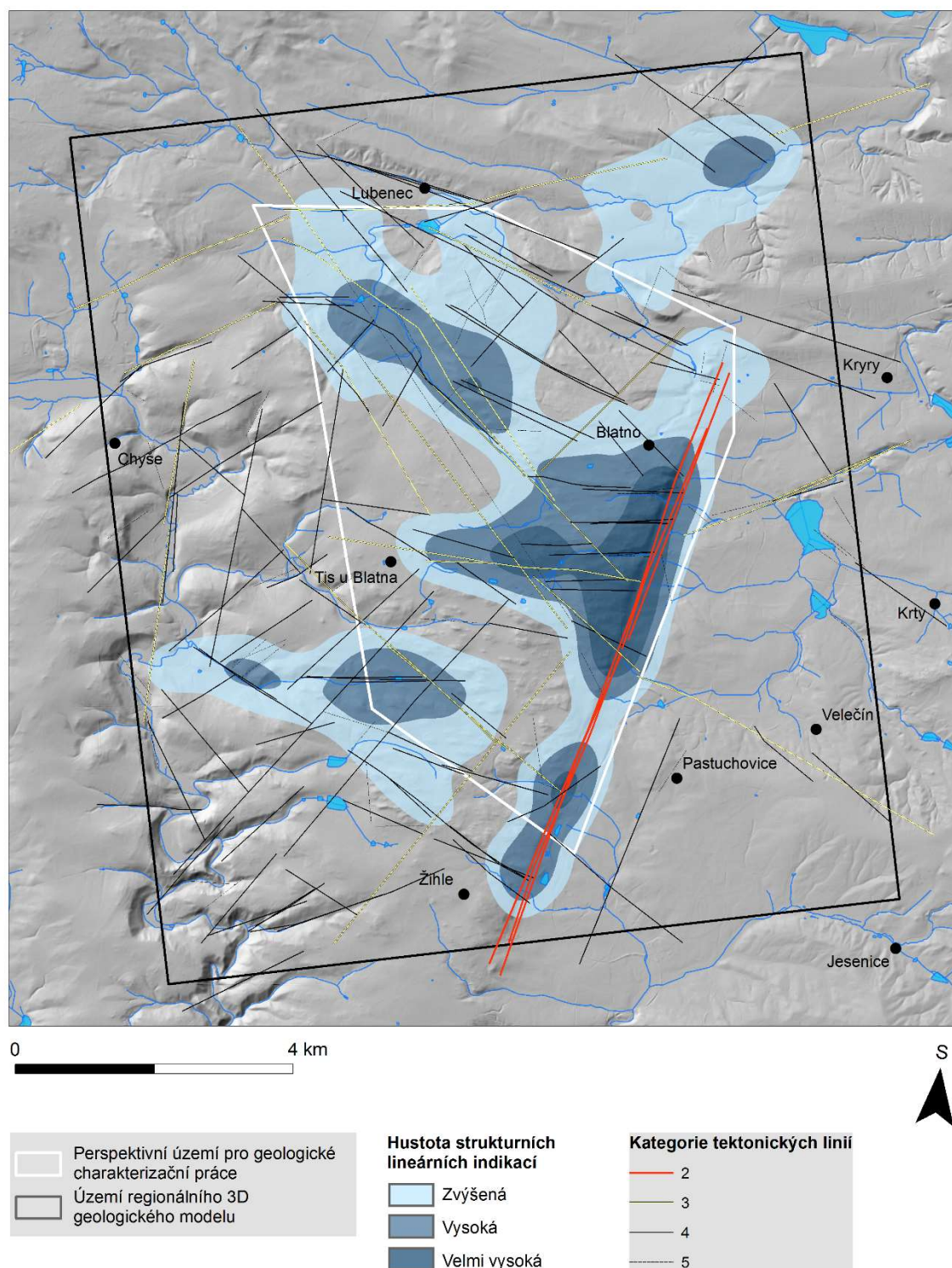
v rámci programu GeoBariéra (Marek et al. 2005). Pod pojmem morfolineament se rozumí lineární prvek zjištěný z DMR (nebo i ze studia leteckých snímků, terénního pozorování atd.) na základě studia geomorfologických indikací – morfostruktur. Strukturní lineární indikace je lineární prvek zjištěný různými metodami DPZ, studiím DMR – morfolineamentů, letecké geofyziky atd., který má genetickou vazbu na geologické struktury (zlomy, litologická rozhraní, foliace či puklinové zóny). Tektonická linie je chápána jako lineární strukturní prvek s vazbou na zlomy nebo puklinové zóny. Nelze v této fázi poznání určit, zda se jedná o zlom nebo o puklinovou zónu. Zlomové struktury jsou zlomy s různým smyslem a velikostí pohybu na zlomové ploše.

Výsledná síť strukturních lineárních indikací vznikla expertním zhodnocením výsledných sítí vytvořených výše zmíněnými metodami. Jednotlivé identifikované lineární indikace detekované různými metodami byly navzájem konfrontovány a validovány s daty letecké geofyziky a geologickými strukturními daty. Validované lineární indikace byly následně klasifikovány do definovaných kategorií míry křehkého porušení (Marek et al. 2005; Woller 2006).

Rozložení strukturních lineárních indikací je v zájmovém území nerovnoměrné. Bylo zjištěno šest dílčích oblastí s vysokou až velmi vysokou hustotou strukturních lineárních indikací, přičemž dvě maxima spadají do detailního území (Obr. 3). Mezi detekovanými strukturními lineárními indikacemi a strukturně-geologickými podklady existuje vysoká míra podobnosti.

Velmi dobře byl detekován žihelský zlom (ID 2, ID 2a). V oblasti mezi Blatnem a Žihlívou jsou na něj vázaná dvě propojená hustotní maxima (Obr. 3). Zlom byl detekován několika strukturními lineárními indikacemi druhého řádu. Dobře byly detekovány také zlomy průběhu SZ–JV, které se nacházejí v celém zájmovém území. Při severním okraji tiského masivu bylo detekováno několik strukturních lineárních indikací třetího a čtvrtého řádu, které dobře korelují s geologickými daty. Velmi dobrá korelace existuje také mezi strukturními lineárními indikacemi a zlomy směru SZ–JV protínající granitoidy tiského a lubeneckého masivu (ID 4 a 5). Na toto pásmo je vázáno další hustotní maximum v oblasti kolem Struhařského potoka. Další dílčí hustotní maximum v okolí osady Dvorce je vázáno na indikace stejného směru. I u tohoto maxima existuje vysoká shoda se zlomovou sítí (ID 9). Dobře detekovatelné je i zlomové pásmo (ID 1) probíhající ve směru ZJZ–VSV, které v severní části oblasti odděluje metamorfované horniny neoproterozoika od souvrství permokarbonu.

Nově detekované strukturní lineární indikace průběhu JZ–SV až SSV–JJZ, patrně zejména v západní části zkoumané oblasti, nacházejí oporu v průbězích metamorfních foliací fylitů až svorů, které vytvářejí ostře řezaný ráz terénu. Strukturní lineární indikace směru V–Z korespondují v rámci tělesa tiského granitu ve střední části oblasti s detekovanými puklinovými systémy, které jsou v této oblasti hojně vyvinuty (Kopačková et al. 2017). Jižně od Tisu u Blatna je na ně vázáno jedno hustotní maximum (Obr. 3).



Obr. 3 Klasifikované lineární indikace na podkladě hustotního rastru, který představuje změny v plošné distribuci tektonických lineárních indikací detekovaných pomocí metod analýzy DMR, radarových družicových dat, leteckých stereoskopických snímků a zlomové síť (převzato z Kopačková et al. 2017); bodové symboly reprezentují centroidy katastrů obcí

Zlomové struktury 1. a 2. kategorie

V kapitole je specifikován počet, rozsah a charakter dosud indikovaných zlomových struktur. Zlomy jsou klasifikovány na základě Anderssona et al. (2000). Je nezbytné si uvědomit, že zlomová síť je zatížena určitou mírou nejistoty, která je dvou typů:

- nejistota povrchového průběhu, kterou bylo možno v dosavadních pracích rámcově ověřovat a zpřesňovat za pomoci geofyzikálních výzkumů a geologického a hydrogeologického mapování;
- nejistota určení sklonu zlomů, která je vzhledem k absenci technických prací (zejm. vrtů a kopaných rýh) v daných podmínkách krystalinika celkově vyšší.

Přesnost lokalizace zlomové sítě může být významně zvýšena až po realizaci rozsáhlých geologických prací.

Z hlediska identifikace zlomů a širších poruchových zón přineslo podrobné geologické mapování na profilech a aplikace geofyzikálních měření velké množství nových informací. V lokalitě Čertovka bylo zjištěno a očíslováno (ID) 96 zlomů, z toho 58 zlomů bylo zjištěno již v předchozích etapách, dalších 37 zlomů bylo zjištěno na základě nového výzkumu na profilech v letech 2017–2019 (Obr. 4, viz Levý et al. 2019a, b; Mixa et al. 2019). U části dříve zjištěných zlomů došlo ke korekci pozice v desítkách až prvních stovkách metrů. Z celkového počtu byly 2 zlomy zařazeny do 1. kategorie – regionální zlomy, 32 zlomů do 2. kategorie – významné lokální zlomy a 62 zlomů do 3. kategorie – lokální zlomy. Všechny zlomy uvádějí a diskutují Mixa et al. (2019), v této studii jsou podle zadání na Obr. 4 uvedeny, a v textu diskutovány, pouze zlomy 1. a 2. kategorie. Zlomy byly detekovány hlavně metodou DOP, která byla provedena v celém rozsahu profilů. Přítomnost větších zlomů se často projevila také v metodách MRS, ERT a VES, spíše výjimečně pak v reflexní seismice nebo gravimetricky.

Dominantními strukturami v oblasti jsou dva regionální zlomy **ID 1** a **ID 2** regionálního charakteru (1. kategorie), s délkou přes 10 km, které oddělují tiský granitový masiv od permokarbonských sedimentů žihelské pánve na východě a metamorfity tepelského krystalinika od permokarbonských sedimentů kladensko-rakovnické pánve na SZ.

Zlom ID 1 představuje významné litologické, ale nevýrazné geomorfologické, rozhraní mezi permokarbonskými sedimenty na SZ a krystalinikem na JZ, se strmým sklonem (70–80°) k SZ. Je geologicky vymapován jako zmíněné litologické rozhraní a indikován reflexní seismikou na profilu CER-01Avib (jiné metody nebyly na tomto profilu aplikovány), a to skokovým nárůstem permokarbonské sedimentární výplně na SZ od zlomu. Na profilu CER-01A byl tento zlom geologicky vymapován bez výraznějšího anomálního projevu DOP ve staničení ca 1300 m. Dále byl dokumentován hlavně metodou DOP ve st. 5800 m na profilu CER-08, ve st. 1400 m na profilu CER-05 a ve st. ca 1300 m na CER-01B.

Zlom ID 2 (žihelský zlom) byl dobře dokumentován jako výrazná vodivá zóna nebo diskontinuita metodami DOP, VES, TDEM, ERT, MRS, reflexní seismika a gravimetrie na všech 5 profilech ve staničeních (od jihu) 9300 m (CER-01A), 1200 m (CER-04B), 4000 m (CER-04A), 5250 m (CER-10) a 4000 m (CER-05). Jde o strukturu ukloněnou strmě (70–80°) k V, kterou o 100–150 m východně doprovází paralelní zlom **ID 2a**, zjištěný na všech profilech s výjimkou CER-05. Zlom **ID 2** (2a) nevykazuje výraznější posuny na příčných zlomech (**ID 9, 16, 17, 11, 14**) a není vyloučeno, že těmito příčnými zlomy není porušován.

V jižní části lokality Čertovka bylo hlavně metodou DOP, místy TDEM, slabě pak reflexní seismikou potvrzeno nebo nově zjištěno několik výrazných zlomů, řazených do 2. kategorie s minimální délkou 2–6 km, které zároveň někdy představují až několik set metrů široké zóny drcení a mají směry většinou ZSZ–VJV až SZ–JV a Z–V (**ID 62, 66, 68, 69, 11**). Zlomy směru SZS–VJV až SZ–JV (**ID 9, 16**) většinou porušují (posunují) v.–z. zlomy a drcené zóny (**ID 66, 68, 11**). Morfologicky nejvýraznější z této skupiny je subvertikální zlom **ID 9** západně od Žihle s délkou nejméně 6 km zachycený na profilech CER-06A (st. 1900 m), CER-06B (st. 1870 m), CER-01B (ca st. 2000 m) a CER-07A (st. 900 m) metodami DOP, VES, TDEM a MRS. S ním paralelní je zlom **ID 62** zastižný a potvrzený metodami DOP, MRS, reflexní seismikou, gravimetrie na profilech CER-06A i B (st. ca 900–1000 m) jako až 150 m mocné pásmo drcení se strmým úklonem k SV i na profilu CER-01B (1250 m). Se zlomem **ID 9** jsou paralelní další dva subvertikální zlomy: **ID 16** s délkou nejméně 3 km, zachycen na CER-06A (3330 m), CER-01B (3600 m, indikace DOP, VES) a CER-03 (100 m) a **ID 17** s délkou do 1,5 km (zachycen na CER-06A, st. 5450 m, indikace DOP a MRS). Zlom **ID 66** představuje naduřující pásmo drcení o šířce 100–300 m a byl zastižný na profilech CER-06A (DOP, st. 3700 m), CER-01B (indikace DOP, VES, TDEM ve st. 2800–3300 m), CER-07B (DOP a VES, st. 1400–1800 m) a CER-07A (DOP a VES, st. 450–650 m). Podél této poruchy došlo také k projevu pravděpodobně neogenního explozivního vulkanismu, jak ukazuje diatréma indikovaná na profilu CER-07A. Menší pásmo drcení **ID 68** s délkou nejméně 1,5 km a šířkou do 100 m bylo potvrzeno metodami DOP a VES na profilech CER-01B (st. 4000–4200 m) a metodou VES na profilu CER-03 (st. 400–500 m). Výrazné je pravděpodobně subvertikální pásmo drcení v.–z. směru **ID 11** o délce nejméně 3 km a šířce nejméně 200–300 m označované již dříve jako kračínsko-tiské zlomové pásmo s proniky a efuzemi neogenního olivinického nefelinitu (Fediuk 1993). Zlomové pásmo je dokumentováno zejména snížením odporů (DOP) na profilech CER-06A (5960 m), CER-02 (st. 7760–8000 m), CER-01A (st. 6800–7200 m) CER-01B (st. 5200–5500 m) a CER-03 (st. 1200–1800 m). Na profilu CER-01B také nevýraznými indikacemi TDEM a reflexní seismikou. Na profilu CER-03 drcení na zlomu **ID 11** zřejmě místy koinciduje s přítomností hlubokých zvětralin do prvních desítek metrů (indikace DOP).

V centrální části oblasti, při východním okraji tiského masivu, byla nově zejména metodou DOP (slabá indikace je také MRS), zjištěna výrazná subvertikální porucha o minimální délce 2,5 km a šířce až 150 m, zde dosud neuváděného směru SV–JZ, která se dělí do dvou paralelních větví (**ID 74, 74a**). Byla zachycena na profilech CER-04A (st. 3950 m) a CER-04B (st. 500 a 600 m) a CER-02 (st. 7230 m).

V S a SV části lokality Čertovka převažují na hranici granitu a permokarbonských sedimentů zlomy směru ZSZ–VJV až SZ–JV (**ID 21, 55, 46a, 47**), méně časté jsou pak zlomy směru SV–JZ (**ID 1, 94, 91**) a SZ–JV (**ID 90, 92, 93**). Většina je identifikována elektrickými metodami (DOP, zčásti TDEM), některé také reflexní seismikou (**ID 46a, 21**). Zlom **ID 21** má směr SZ–VJ a odděluje granitovou hrást' u Ležek od dílčí deprese vyplněné permokarbonskými sedimenty. Zlom má délku nejméně 3,5 km, sklon 70–80°, zapadá v místě profilu CER-01B k JZ (indikace ve staničení 10340 m). Zlom je detekován také metodou DOP na profilu CER-08 (staničení cca 4400 m) a u Ležek je na něm vydatný železitý pramen. Další zlom (**ID 93**) s délkou patrně přesahující 1 km má směr SZ–JV a na jihu odděluje granodiorit petrohradského typu od permokarbonských sedimentů, sklon 70–80° k JZ; indikován také na CER-05 (st. 5900 m). Podobného směru jsou předpokládány zlomy **ID 12** a **13**, které nebyly pokryty, a tím ani ověřeny geofyzikálními profily.

Zlomy, které zasahují jen do permokarbonu kladensko-rakovnické pánve v severní části lokality Čertovka: zlom **ID 90** (CER-01B, st. 13750 m, interpretován jako zlom směru SZ–JV), zlom **ID 92** (indikovaný metodou DOP na CER-05 ve st. 4100 m). Zlom **ID 92** je pozičně sblížený s **ID 2**, zřejmě směru SZ–JV a může navazovat na **ID 90** nebo také může představovat pokračování zlomu **ID 2a**; v tom případě by měl směr SSV–JJZ. Zlom **ID 94** má směr SZ–JV a byl indikován morfologicky i DOP na CER-05 (st. 2780 m), předpokládaný sklon je 70–80° k SZ. Ze starších podkladů byly v mapě ponechány předpokládané zlomy (strmé nebo strmě ukloněné k severu) směru SZ–JV (**ID 13 a 15**), které neleží na profilech.

Zlomy hlavně v granitu v severní a střední části lokality Čertovka, většinou směru ZSZ–VJV, představují zřejmě poklesy se strmými úklony k severu (až na **ID 5**) nebo jsou subvertikální. Hlavními jsou morfologicky i geologicky dobře dokumentované zlomy **ID 4 a ID 5**, které patří do 2. kategorie (podle Anderssona et al. 2000). Zlomy se sbíhají do jediného zlomu přibližně v místě průběhu profilu CER-03 a pokračují dál na JV jako zlom **ID 4**, i když podle geometrie průběhu zlomu se fakticky jedná o zlom **ID 5**. Západně od profilu CER-08 je mezi těmito zlomy příkopovitě zaklesnuta křa karbonských slepenců a arkóz. Zlom **ID 5** je velmi výrazný, zřejmě strmě ukloněný k jihu a je dokumentován DOP na profilu CER-08 a reflexní seismikou na CER-01B. Podle odporových křivek je zde široká poruchová zóna v úseku staničení 1500–1640 m. Táž výrazná zóna je zachycena DOP také na profilech CER-03 (st. 3500 m) a CER-01B (st. 7000 m). Zlom **ID 4**, resp. jeho jižní větev (zřejmě strmě ukloněná k severu), byla zachycena DOP na profilu CER-08 ve st. 1300 m. Jako další výrazný zlom, s délkou nejméně 2,5 km, byl metodou DOP identifikován zlom **ID 55**.

Zlomy pouze v permokarbonu žihelské pánve. V permokarbonu žihelské pánve je zakresleno také několik zřejmě subvertikálních zlomů zařazených do 2. kategorie. Jde o zlomy podle geologické mapy Seifert et al. (2013), které neleží na profilech, a tudíž nemohly být ověřeny, ale v mapě se jimi řeší stavba žihelské pánve, a proto byly ponechány jako zlomy předpokládané (**ID 17, 11, 14, 18**). Současně některé z nich představují pravděpodobné pokračování zlomů z oblasti tiského masivu. Ve staničení 13590 m na CER-01B byl metodami DOP a MRS indikován zlom, pravděpodobně strmě ukloněný k JZ, který může a nemusí představovat pokračování zlomu **ID 17**.

Zlomy v krystaliniku Z a SZ od tiského masivu. Další skupina zlomů, z větší části nově zjištěná, byla na profilech dokumentována většinou metodou DOP, případně byla identifikována jako geologická rozhraní s mylonitizací. Jde o struktury s převažujícím směrem SSV–JJZ (zlomy **ID 1 a ID 3**). Geomorfologicky výrazný je zlom **ID 36** na profilu CER-01A s výraznou DOP indikací ve st. 3200 m.

Pukliny, resp. intenzivně rozpukaná poruchová pásma až mylonitové zóny, jsou interpretovány na základě geofyzikálních dat, a to vzhledem k malému počtu výchozů situovaným poblíž geofyzikálních profilů. Silněji rozpukaná pásma (poruchové zóny) jsou indikována hlavně metodou DOP (silně rozkolísaným snížením odporů). Tam, kde byly tyto metody aplikovány, se puklinové zóny projevují také v MRS poklesem rychlostí; další metody použitelné pro identifikaci puklinových zón jsou hlavně ERT a VES.

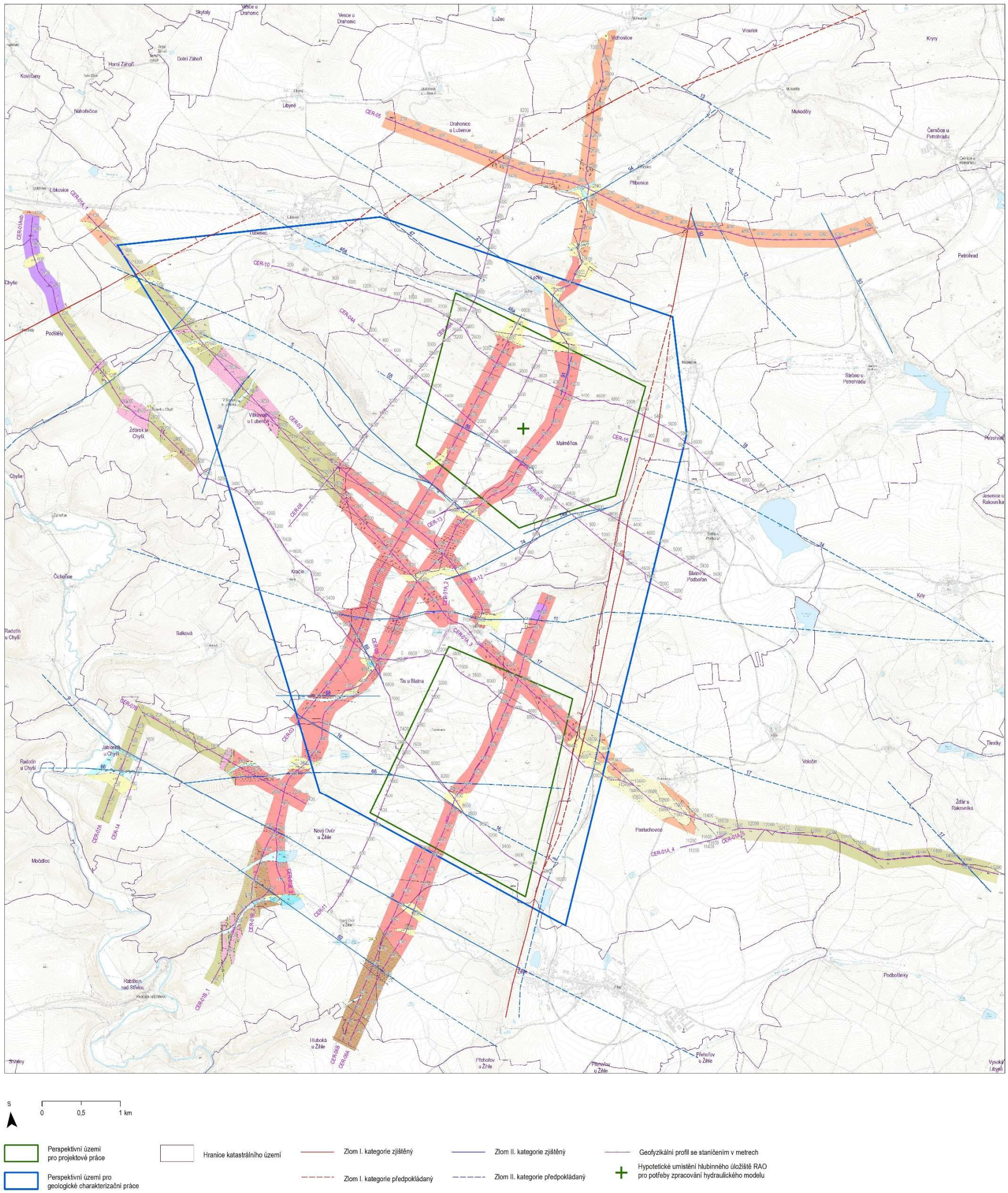
Výraznější puklinové (poruchové) zóny byly identifikovány zejména ve střední a jižní části lokality Čertovka. Ve všech případech jde o poruchové zóny, které doprovázejí zlomy se stanoveným ID. Poruchové zóny mají směr SZ–JV nebo V–Z. Směrem od jihu k severu jsou to následující zóny:

Zlom **ID 62** směru SZ–JV je na profilech CER-06A (staničení cca 920–1070 m) a CER-01B (staničení cca 950–1100 m) doprovázen zónou výrazně snížených odporů, které interpretujeme jako poruchovou zónu o šířce přibližně 150 m. Směrem k profilu CER-01B se tato zóna zřejmě zužuje a na tomto profilu se projevuje jen jako zlom (ve st. 1250 m).

Na výrazném zlomu směru SZ–JV (**ID 9**) se asi 100 m široká poruchová zóna projevuje na profilu CER-01B ve staničení 1900–2000 m. Na profilech CER-07A (st. 900 m), a CER-06A i CER-06B (obojí st. 1600 m) se však projevuje jako relativně úzký zlom.

Výrazná poruchová zóna směru V–Z o délce nejméně 3,5 km a šířce až 300 m doprovází v.–z. zlom **ID 66**. Je zastižena na profilech CER-07A ve staničení 400–600 m (diatréma zjištěná na tomto profilu je zřejmě vázaná na tuto poruchu); dána na CER-07B (st. 1400–1800 m) a na CER-01B (staničení 2880–3300 m). Zlom **ID 16** vykazuje známky na profilu CER-06A ve staničení cca 3350–3550 m).

Velmi složitá je situace v okolí Tisu, kde dochází ke křížení řady zlomů směru SZ–JV (ZSZ–VJV) se zlomy směru V–Z. Projevy puklinových pásem zde mohou také místy koincidovat s výskytem hlubokých zvětralin. Zóna snížených odporů DOP v plošinatém terénu ve st. 1300–1400 m na CER-03 odpovídá jen v jižní části poruchové zóny, jinak jde zřejmě o projev hlubokých zvětralin. Nejvýraznější je puklinové pásmo směru V–Z sdružené se zlomem **ID 11** (tzv. kračínsko-tiské zlomové pásmo), kde vystupují také drobná tělesa nefelinitu. Délka pásma je nejméně 3 km, šířka 200–300 m s projevy na profilech CER-03 (st. 1400–1600 m), CER-01B (st. 5200–5400 m), CER-01A (st. 7100–7400 m) a CER-02 (od staničení cca 7780 m do konce profilu), CER-06A (jen jako zlom ve st. 5950 m). Jihozápadně od Tisu vystupují další 1–1,5 km dlouhá puklinová pásma o šířce 100–200 m, a to podél zlomů **ID 68** (CER-03, st. 400–500 m) a CER-01B (st. 4050–4250 m) a **ID 69** (CER-03, kolem st. 5900, koinciduje s projevy hlubokých zvětralin) a CER-01B (st. 4600–4800 m). Porušená zóna zjištěná na profilu CER-01B ve staničení cca 6300 m až 7000 m má zatím nejasný směr, protože na paralelním profilu CER-03 nebyla zastižena. Žihelský zlom (**ID 2**) se až na výjimku projevuje jako velmi výrazná diskretní struktura a není doprovázen širokou drcenou zónou. Výjimkou je situace na profilu CER-05, kde mezi st. 4000–4100 m vystupuje 100 m široká silně porušená zóna. Může však jít o efekt několika zlomů. Výrazná, hluboce založená porucha zatím nejasného charakteru i průběhu, byla indikována metodou TDEM na profilu CER-10 (kolem st. 4100 m).



Obr. 4 Strukturní schéma zlomů na lokalitě Čertovka (dle Mixa et al. 2019, Pertoldová et al. 2019)

4.1.3 Indikátor K3b Stupeň křehkého porušení masivu – puklinové systémy

Dominantním souborem jsou subvertikální extenzní pukliny převážně bez minerální výplně. Je zde možné pozorovat výrazný trend v orientaci strmých extenzních puklin ve směru ~ZSZ–VJV až ZJZ–VSV. Mezi méně výrazný patří systém SV–JZ orientovaných puklin a pukliny v subhorizontální orientaci. Na základě analýzy četnosti extenzních puklin v jednotlivých směrech byl vyhodnocen směr ZSZ–VJV jako průběh nejvýraznější křehké anizotropie mapovaných hornin.

Z geofyzikálních prací a geologické interpretace (Mixa et al. 2019) vyplývá, že složitá a výrazná puklinová zóna (tisko-kračínské pásmo) byla potvrzena ve střední části perspektivního území v okolí Tisu. Délka pásma je nejméně 3 km a šířka 200–300 m. Dochází tu ke křížení řady zlomů směru SZ–JV (ZSZ–VJV) se zlomy směru V–Z. Projevy puklinových pásem zde mohou také místy koincidovat s výskytem hlubokých zvětralin. Výrazná poruchová zóna o délce nejméně 3,5 km a šířce až 300 m doprovází v.–z. zlom ID 66. Projevy indikující přítomnost křehkého porušení v přípovrchové zóně, ať už diskretních struktur nebo zvětralinového pláště, se dle aktuálních poznatků mimo okolí zlomů nevyskytuje, či spíše nebyla zastižena geofyzikálními profily. Hodnocení parametru P_{21} udává hodnoty souhrnné délky puklin na jednotku plochy výchozu ($\text{m} \cdot \text{m}^{-2}$). Tento parametr přímo odpovídá terénním pozorováním na jednotlivých výchozech v horninovém prostředí perspektivním pro budování HÚ (granitoidy tiského masivu). Tento dataset byl získán jednotnou metodikou napříč 7 lokalitami dokumentovanými rámci DFN modelů (Kabele et al. 2018). Vypočtené hodnoty byly váženy relevancí výchozů s rozptylem hodnot 1 – drobný nevýznamný erodovaný výchoz až 10 – významný lom. Hodnota parametru P_{21} je u této lokality $0,67 \text{ m} \cdot \text{m}^{-2}$. Jedná se tak o nejlepší výsledek na lokalitách se srovnatelným horninovým podložím (granitoidy) vhodným pro umístění HÚ. Výsledná hodnota nicméně není významně odlišná v porovnání s ostatními lokalitami.

4.1.4 Indikátor K3c Stupeň duktilní deformace

Mezi nejstarší identifikované strukturní prvky patří plochy primární magmatické foliace (přednostní prostorová orientace vyrostlic živců a agregátů dalších horninotvorných minerálů). Plochy této foliace převážně upadají pod strmými úhly k ZJZ až SSZ, méně pak k VJV. Granitoidy tiského masivu byly dále postiženy nízkoteplotní subsolidovou deformací, a to ve formě nepenetrativní kliváže strmé orientace SSV–JJZ s dominantním výskytem lokalizovaným podél východního okraje masivu. Mikrostrukturní charakter těchto staveb (např. evidence křehké deformace a rozpad živců, kinking biotitu a omezená rekrystalizace agregátů křemene formou bulgingu) indikují teploty vývoje těchto staveb okolo 300°C . Okolní sedimenty permokarbonského stáří nevykazují duktilní deformaci.

4.2 Kritérium K4 Variabilita geologických vlastností

Expertně posouzená variabilita vlastností udává množství, prostorovou distribuci a charakter horninových těles. Petrologická variabilita ukazuje na stupeň homogenity horninového prostředí v rozsahu horninových typů, které jsou definovány pro danou lokalitu. Míra nejistoty

určení litologických rozhraní či určení existence drobnějších petrograficky odlišných těles v hloubce je na podobné úrovni jako v případě indikátoru K3a.

4.2.1 Indikátor K4a Prostorová variabilita horninového prostředí

V ploše hodnoceného území se vyskytuje několik typů kontaktů mezi horninami, převážná část této plochy (přes 90 %) je tvořena jedinou horninou – tiským granitem, který pokračuje i na západ a na jih od plochy Perspektivního území (Obr. 4). Jedná se o homogenní horninu co do struktury, zrnitosti i mineralogického složení. Homogenní granitu místy narušují křemenné žíly, jiné horniny v granitu nebyly zjištěny. Směr těchto žil se nepodařilo potvrdit. Seifert et al. (2013) má v mapě zakresleny všechny žíly křemene ve směru SSV–JJZ, mnohé z těchto žil se však novým mapováním ani geofyzikálním výzkumem nepodařilo zjistit, tím méně ověřit jejich směr. Asi 50 cm mocná křemenná žíla zastížená na profilu CER-10 má jiný směr, a to SZ–JV. Hojně úlomky křemene byly zjištěny v širším okolí křížení profilů CER-01B, CER-13 a CER-10 a na profilu CER-15 v metráži 0–200 m.

Intruzivní, tektonicky predisponovaný kontakt mají drobná tělesa neogenních alkalických vulkanitů v tiském masivu. Tato tělesa mají na povrchu tvary pňů, žil i plochých těles o velikosti až několika set metrů, které představují výlevy, případně akumulace vulkanoklastik drobných vulkánů. V hloubce lze předpokládat přírodní kanály ve tvaru pňů nebo žil o mocnostech nejvýše prvních desítek metrů s přednostní orientací ve směru V-Z. Na východě je granit tiského masivu tektonicky oddělen od permokarbonských sedimentů na žihelském zlomu (ID 2). Na severu u Malměřic je pánev zahloubena na zlomech **ID 2** a **ID 2a**, indikovaných odporovým profilováním i mělkou refrakční seismikou, a jeví se jako stupňovitá příkopová propadlina s nejvíce zahloubenou bází permokarbonské cca 250 až 300 m od povrchu. Jižněji u Pastuchovic je pánev na zlomech ID 2, ID 2a a ID 8 stupňovitě zahloubena do příkopovité propadliny o hloubce až 400 m. Severně od perspektivního území byla mezi vlastním tělesem tiského masivu a izolovanými granitovými vrchy sv. od Lubence a u Ležek nově zjištěna tektonicky (hlavně podél zlomů ID 46a, ID 21) založená jen několik set metrů široká deprese s výplní permokarbonských sedimentů o mocnosti i přes 150 m.

4.2.2 Indikátor K4b Petrologická variabilita hornin

Petrologická variabilita je nízká. Dominantní horninou a jedinou horninou krystalinika, která zde vystupuje, je biotitický granit zvaný tiský. Při severním a východním okraji perspektivního území vystupují (ale jen v malém rozsahu) permokarbonské klastické sedimenty. Kontakty mezi tiským granitem a permokarbonskými sedimenty kladensko-rakovnické a žihelské pánve jsou tektonické. Na východě je to žihelský zlom s větvemi **ID 2**, **2a**, **8** a na severu a SV pak pásmo zlomů směru SZ–JV; tyto zlomy na severu však do perspektivního území prakticky nezasahují. Intruzivní, tektonicky predisponovaný kontakt mají alkalické vulkanity (olivinický nefelinit) v tiském plutonu (doprovázející zlom, resp. zlomové pásmo **ID 11**), tato tělesa však mají velmi malý rozsah. Omezený rozsah mají také kvartérní sedimenty; akumulace hlinitokamenitých až kamenitých, místy i blokových svahových sedimentů mocné až 20 m, vystupují zejména podél úpatí svahu žihelského zlomu.

Biotitický granit, tzv. tiský typ, je hrubě zrnitý, někdy slabě porfyrický, místy slabě usměrněný. Petrologická variabilita v rámci tohoto typu je malá. Hornina je tvořena vyrostlicemi či zrny perthitického draselného živce, plagioklasu (10–15 % An) a křemene, podíl hnědého biotitu je

4–6 %. Akcesorický je krátce sloupcovitý zirkon, leukoxenizovaný titanit, někdy s ilmenitem v jádru, apatit a monazit, allanit, rutil, ojediněle fluorit. Sekundární je sericit až jemný muskovit a chlorit ojediněle zatlačující biotit. Plagioklas bývá jen slabě sericitizován. V tiském granitu prakticky scházejí žíly dalších hornin, výjimkou jsou žíly křemene, pravděpodobně drobné, které byly indikovány většinou jen podle úlomků hlavně v severní části území.

Permokarbonské sedimenty jsou velmi nehomogenní, na povrchu silně a hluboce zvětřelé. Jsou to jíly, prachovce, pískovce, slepence až arkózy, které mají červené, hnědé, šedé nebo žlutavé zbarvení.

Olivinický nefelinit má tmavě modrošedou barvu, porfyrickou, někdy vesikulární strukturu. Základní hmotu tvoří klinopyroxen, nefelín a magnetit, přistupují vyrostlice serpentizovaného olivínu a klinopyroxenu, ojediněle i plagioklas. Někdy uzavírá xenolity tiského granitu centimetrové až decimetrové velikosti.

4.3 Expertní zhodnocení lokality

V následujícím textu jsou shrnuty pouze hlavní argumenty expertního týmu využité při stanovení příslušných známek. Pro primární podklady uvedených argumentací a další detailní informace je nutno použít zejm. zprávy Mixa et al. (2019), Franěk et al. (2018), Pertoldová et al. (2019), Levý et al. (2019a,b) a Kabele et al. (2018).

Tab. 3 Vyhodnocení geologických kritérií pro potenciální lokality pro umístění HÚ na základě expertního vyhodnocení

indikátor	Březový potok	Čertovka	Čihadlo	Horka	Hrádek	Janoch (ETE-jih)	Kraví hora	Magdaléna	Na Skalním (EDU-západ)
K3a	3,5	3,3	3,8	2,8	2,3	2	5	3,5	3,9
K3b	3,3	2,4	4	3	3,3	3,2	3,1	3	3
K3c	1,2	1,5	1	2	1	4	5	1,5	2
K4a	2,1	3	2	1,2	1	2,2	5	3,7	2
K4b	2,1	2,2	2	1	1,4	2,3	5	2	2,5

Geologická stavba lokality Čertovka je poměrně složitá. Ačkoliv dominantním horninovým tělesem a cílovou litologií je intruze homogenního biotitického tiského granitu, hostující geologické prostředí je zastoupeno z jihu a západu fylity až svory bohemia a lubeneckými metagranity, ze severu a východu pak permokarbonskými pánvemi, to vše je doprovázeno efuzemi neogenního olivinického nefelinitu na v.–z. kračínsko-tiském pásmu.

Indikátor K3a: Stupeň křehkého porušení masivu – zlomové struktury

Známka 3,3 řadí lokalitu Čertovka stran postižení zlomy zhruba do středu hodnocených lokalit.

Na území 3D strukturně-geologického modelu se vyskytují dva zlomy 1. kategorie, oba zlomy nicméně probíhají při hranicích tiského masivu (cílové litologie pro HÚ) a nezasahují do něj.

Zlom (resp. zlomové pásmo) SSV–JJZ směru, ID 2 (sledované větvemi ID 2a a ID 8), je označován jako žihelský zlom a představuje nejvýznamnější tektonickou strukturu lokality. Jedná se o linii morfologicky, geologicky i geofyzikálně velmi dobře dokumentovanou řadou metod (DOP, VES, TDEM, ERT, MRS, RXS i GRAV) na všech 5 profilech, které žihelský zlom kříží. Zlom z východu omezuje intruzi tiského masivu a definuje hranici granit/permokarbon. Zlom je ukloněn pod úhlem 70–80° k východu, zóna oslabení je mocná 300–800 m, přítomna je mylonitizace, brekciace, silicifikace, vzácně hematitizace, místy s výskyty žilného křemene. Ověřena je též významná hydraulická funkce podél celé dokumentované délky zlomu (cca 10 km).

Zlom 1. kategorie ID 1 směru SV–JZ sklonu 70–80° ve směru cca 320°, se vykytuje v SZ okraji studovaného území, a ačkoliv představuje významné geologické rozhraní mezi bohemikem a permokarbonem, v terénu se morfologicky, geologicky ani geofyzikálně příliš neprojevuje. Tento zlom je dostatečně vzdálen intruzi tiského masivu a nijak neovlivňuje perspektivní území pro geologické charakterizační práce, natož pak polygony perspektivních území pro projektové práce.

Na lokalitě Čertovka bylo dále popsáno celkem 32 zlomů 2. kategorie. Dominují zlomy SZ–JV (ZSZ–VJV), doprovázené méně hojnými zlomy směru V–Z. Ačkoliv se jedná o velké množství dokumentovaných zlomových linií, při hodnocení kritéria K3a bylo zohledněno, že řada zlomů 2. kategorie se vyskytuje mimo intruzi tiského masivu (zejm. v permokarbonu) a nijak neovlivňuje cílovou horninu – např. ID 14, 18, 12, 15, 93, 47 část 11, 17. Rovněž bylo přihlédnuto k faktu, že některé zlomy jsou patrné zejm. z morfologie, jejich geofyzikální projev je chabý a mohou představovat puklinové zóny bez složky přemístění, nebo zejm. u sz–jv. zlomů, se může jednat o starší, původně puklinové tahy, následně reaktivované do zlomových struktur. Tato úvaha je podpořena i studiem puklinových systémů v DFN modelech, v nichž lze pozorovat jako dominantní soubor subvertikální extenzní pukliny převážně bez minerální výplně směru ~ZSZ–VJV až ZJZ–VSV.

Bezpochyby významnou strukturou je ID 11 (kračínsko-tiská zlomová zóna nebo kračínsko-tiské pásmo) v.–z. směru subvertikálního sklonu, na níž se vyskytuje několik drobných efuzivních těles olivinického nefelinitu neogenního stáří. Tato tektonická linie byla dokumentována jako ověřená linie křížená pěti geofyzikálními profilem s významnou anomálií DOP, ale slabými nebo žádnými anomáliemi ostatních geofyzikálních metod (VES, TDEM, RXS) a s pravděpodobnou hydraulickou funkcí. Z toho důvodu zůstává nejisté, jedná-li se o zlom nebo pouze oslabenou puklinovou zónu sloužící jako přírodní kanály vulkanických hornin.

Vlastní polygony perspektivních území pro projektové práce Čertovka – S o rozměru 5,47 km² a Čertovka – J o rozměru 4,83 km² jsou dobře geologicky i geofyzikálně dokumentovány. Severní polygon kříží 8 geofyzikálních profilů, jižní polygon pak 5 linií. Obě území jsou zlomy velmi málo postižena – v severním území vyklíčuje jeden zlom ID 55 jevící jen slabé morfologické geoindikace a nevýrazné anomálie v komplexu geofyzikálních metod – silná DOP, slabá TDEM, MRS a RXS. V jižním polygonu byl dokumentován vyznívající zlom ID 66 křížený též vyznívajícím zlomem ID 16.

Ačkoliv na území 3D modelu se vyskytuje velké množství zlomů 2. kategorie, při expertním posouzení známky byly zohledněny výše uvedené hlavní argumenty – tj. oba zlomy 1. kategorie nezasahují do tiského masivu, řada zlomů 2. kategorie je situována mimo tiský masiv do permokarbonu, řada zlomů 2. kategorie jeví slabé indikace a může představovat

reaktivované puklinové tahy. Proto byla Čertovce stanovena známka 3,3 (tj. slabší než Hrádek, Horka či ETE-jih), ale lepší než Magdaléna (3,5), Čihadlo (3,8) či Březový potok (3,5), kde je na počet sice zlomů méně, nicméně významněji než na Čertovce, ovlivňují homogenitu cílové litologie.

Indikátor K3b: Stupeň křehkého porušení masivu – puklinové systémy

Známka 2,4 řadí lokalitu Čertovka na první místo v homogenitě studovaných území.

Při stanovení známek indikátoru K3b bylo přihlédnuto jednak k velikosti parametru P_{21} (souhrnná délka stop puklin [m] na jednotku plochy, tj. rovinu proloženou horninovým výchozem [m²]) – Tab. 4, a jednak k ověření charakteru puklin geofyzikálním měřením.

Tab. 4 Vyhodnocení parametru P_{21} .

	Březový potok	Čertovka	Čihadlo	Horka	Hrádek	Kraví hora	Magdaléna
Parametr P_{21}	1,15	0,67	1,51	0,90	1,12	0,58	0,92

Parametr P_{21} řadí lokalitu Čertovka na druhou pozici za lokalitu Kraví hora a na první pozici mezi granitoidními lokalitami. Nutno podotknout, že díky dobré odkrytosti terénu Čertovky, a velkému množství naměřených dat, má parametr P_{21} na této lokalitě významnou vypovídací hodnotu ve srovnání s jinými lokalitami (např. Kraví hora nebo Magdaléna). Zároveň je otázkou, nakolik je nízká hodnota parametru P_{21} u lokality Kraví hora zapříčiněna reologickým kontrastem pararul a migmatitů Kraví hory oproti granitoidním horninám ostatních lokalit. Ke stanovení nejvyšší známce 2,4 pro lokalitu Čertovka je nutno mít zároveň na zřeteli, že s ohledem na minimální rozdíly mezi hodnotami parametru P_{21} se hodnotící tým rozhodl nevyužít krajních hodnot 1 a 5, jak nám umožňuje metodika hodnocení.

Geofyzikálním výzkumem byly ověřeny puklinové zóny lokalizované ve všech případech podél některých zlomů - např. západní část ID 9, 16, 62 66, 68, 69 celá linie ID 11 (kračínsko-tiské pásmo) a další. Plochy mezi zlomy jsou puklinami postiženy jen minimálně, jak o tom svědčí klidný geofyzikální obraz, zejména v elektrických a seismických metodách. Rovněž o minimálním rozpukání granitů svědčí přítomnost velkého množství velkých až gigantických bloků (např. viklany Baba a Dědek).

Indikátor K3c: Stupeň duktilní deformace

Stupeň duktilní deformace granitů tiského masivu v hodnocené ploše perspektivního území pro projektové práce a blízké okolí je hodnocen známkou 1,5, která je v průměru rozptylu známek pro granitické lokality (1–2).

V granitu jsou dokumentovány plochy primární magmatické foliace (přednostní prostorová orientace vyrostlic žilců a agregátů dalších horninotvorných minerálů). Plochy této foliace převážně upadají pod strmými úhly k ZJZ až SSZ, méně pak k VJV. Projevy magmatické foliace jsou slabé a odpovídaly by spíše hodnocení 1 až 1,2, adekvátnímu např. lokalitám Čihadlo nebo Březový potok, nicméně na rozdíl od těchto lokalit se v granitech tiského masivu

vyskytuje i nízkoteplotní subsolidová deformace ve formě nepenetrativní kliváže strmé orientace SSV–JJZ s dominantním výskytem lokalizovaným podél východního okraje masivu. Proto byla známka expertním posouzením stanovena v hodnotě 1,5.

Indikátor K4a: Prostorová variabilita horninového prostředí

Lokalita Čertovka byla expertně hodnocena známkou 3, která ji řadí na nejslabší místo mezi granitovými lokalitami.

Hrubě zrnitý biotitický granit tiského masivu, tvořící obě území pro projektové práce, je ukázkou homogenní litologie, faciálně je hornina málo proměnlivá, bez xenolitů, odmíšenin či enkláv, jen s minimem křemenných žil a prakticky bez aplitů či pegmatitů. Nicméně s ohledem na fakt, že hodnoceno je území polygonů perspektivních území pro projektové práce a blízké okolí (dále jen polygonu), je třeba v hodnocení zohlednit, že v blízkosti obou polygonů se vyskytují neogenní efuze olivinických nefelinitů (cca 700 metrů od severního okraje polygonu perspektivního území pro projektové práce Čertovka – J a cca 1200 m od jižního okraje polygonu perspektivního území pro projektové práce Čertovka – S). V blízkém okolí obou polygonů ve vzdálenosti cca 300–400 m probíhá podél žihelského zlomu okraj permokarbonské sedimentární žihelské pánve. Stejně tak ve vzdálenosti cca 300 m od severní hranice polygonu Čertovka – S probíhá hranice permokarbonské žatecké části kladensko–rakovnické pánve. Na jihu pak jižní hranice polygonu Čertovka – J je vzdálena max. 900 m od kontaktu tiského granitu s fylity a svory tepelského krystalinika, zde kontaktně metamorfovanými do rohvců pozvolna přecházejících do regionálně metamorfované sekvence fylitů, svorů a metadrob.

Ačkoliv vlastní cílová litologie je tvořena homogenním granitem, při stanovení hodnocení byla expertním týmem zohledněna přítomnost pestré sekvence hornin v blízkém okolí – permokarbonských slepenců, pískovců a prachovců, dále rohvců, fylitů a svorů bohemika a terciérních efuzivních nefelinitů, a proto byla lokalitě stanovena známka 3.

Indikátor K4b: Petrologická variabilita hornin

Argumentace je obdobná se zdůvodněním indikátoru K4a. Zámka 2,2 řadí lokalitu Čertovka na předposlední místo mezi hodnocenými granitoidními lokalitami. Jako petrologicky variabilnější byla mezi magmatickými lokalitami hodnocena pouze lokalita Na Skalním (EDU-západ) (2,5), kde bylo přihlédnuto expertním týmem k výrazné faciální variabilitě melanokratických granitů až syenitů v perspektivních územích pro projektové práce a blízkém okolí, a dále k množství žil aplitů, pegmatitů a leukogranitů a mafických enkláv a xenolitů stromatitických migmatitů. Jako nevýznamně variabilnější byla hodnocena také lokalita Janoch (ETE-jih) (2,3), tvořená monotónními pararulami, pro kterou ale byla v hodnocení zohledněna přítomnost pruhu pestrých vložek (zejm. krystalické vápence, erlany a kvarcity) v zmíněných monotónních moldanubických pararulách. Tento pruh obsahující rovněž žilné horniny – aplity, pegmatity a žilný křemen – probíhá v blízkosti jižního okraje perspektivního území pro projektové práce. Nepoměrně variabilnější je sekvence hornin na lokalitě Kraví hora, proto existuje tak výrazný interval mezi nejhorší a druhou nejhorší známkou (5 resp. 2,5).

4.3.1 Nejistoty spojené s hodnocenou oblastí

Hodnocení lokalit HÚ představuje komplexní úlohu, která vyžaduje celou řadu vstupních dat zatížených různou mírou nejistoty. V prostorovém kontextu lze nejistotu interpretovat s

ohledem na posuzovanou oblast jako množství chybějící informace (Wellmann a Regenauer-Lieb 2012). Při hodnocení lokalit je důležité identifikovat a kvantifikovat různé zdroje nejistot. Za současného stavu omezeného poznání horninového prostředí zájmových lokalit nelze nejistotu ve vztahu k jednotlivým geologickým indikátorům zodpovědně kvantifikovat. Dosud nikde ve srovnatelném prostředí nebyla míra nejistoty ve vztahu k hodnocení lokalit HÚ kvantitativně definována. Proto je nejistota v této kapitole popsána expertním odhadem. Semikvantitativní stanovení nejistoty bude možno stanovit až po realizaci rozsáhlejších průzkumných prací včetně realizace hlubokých vrtů.

Lokalita Čertovka je tvořena hlavně homogenním tělesem hrubě zrnitého, místy nevýrazně porfyrického, biotitického granitu, lokálně jsou přítomny křemenné žíly a vzácně drobné žíly aplitu.

Nejistotou pro stanovení prostorového uspořádání zůstává nerovnoměrná odkrytost terénu s nedostatkem přirozených skalních výchozů potvrzená novým geologickým mapováním na profilech (Mixa et al. 2019). Mapování na základě skeletu a bloků, které sice umožňuje s poměrně dobrou přesností stanovit rozšíření a tvar geologických těles na povrchu, je nedostatečné pro zjištění průběhu případných zlomových zón a puklinových systémů a jejich případných alterací a výplní. Za stejného důvodu není možné bezpečně stanovit hustotu a homogenitu puklinové sítě v ploše tiského plutonu a zejména jejich distribuci v hloubce. Hustota puklin, vypočítaná na základě studia DFN modelů, je pouze orientační, protože velká část výchozů vhodných pro studium DFN modelů leží mimo perspektivní území a v tomto území je množství výchozů, vhodných pro toto studium, omezené. Nepřímým vodítkem hustoty rozpukání může být srovnávání velikosti granitových bloků na povrchu terénu. Srovnáme-li oblasti Čertovka – S a Čertovka – J (Obr. 4), tak právě v jižní oblasti je vyšší pokrytí velkými až obřími bloky granitu (např. „viklany“ Dědek a Baba). Naproti tomu se díky použití geofyzikálních metod výrazně snížila nejistota tvaru kontaktů (ohraničení) tiského masivu vůči permokarbonským sedimentům na východě a na severu (viz text výše). Zatímco pro zlomy ohraničující těleso tiského masivu vůči horninově kontrastnímu prostředí permokarbonských sedimentům bylo možno zjistit jejich směr sklonu a přibližný sklon, pro zlomy uvnitř masivu je to často stále problematické. Nejistotou je také stáří zarovnaného povrchu tiského masivu.

4.3.2 Vyhodnocení kritérií ve vztahu k legislativním požadavkům na prokázání vhodnosti lokality pro umístění HÚ (vylučující kritéria)

Vyhodnocení vylučujících geologických kritérií ve vztahu k legislativním požadavkům na prokázání vhodnosti lokality pro umístění HÚ je uvedeno v Tab. 5. Po vyhodnocení všech výše zmíněných fakt, charakterizujících lokalitu z hlediska geologických charakteristik, nebyl zjištěn důvod pro vyloučení lokality z dalšího výběru pro umístění úložiště. Geologická situace lokality je relativně dostatečně prozkoumaná tak, aby bylo možné přepokládat průběh důležitých zlomových linií a vytvořit 3D geologický model.

Tab. 5 Vyhodnocení vylučujících kritérií pro oblast Geologické charakteristiky pro lokalitu Čertovka. ID je zachováno dle zdroje Vondrovic et al. (2019)

ID	Posuzované kritérium	Vyhodnocení
2.1.1.	Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků	Zjištěné informace o posuzované vlastnosti lokality spíše vedou k závěru, že požadavek bude splněn (příležitost převažuje nad rizikem), tj. nebyla zjištěna vlastnost lokality, při jejímž překročení je umístění úložiště zakázáno.
2.1.2.	Variabilita fyzikálních a geochemických vlastností horninového prostředí	Zjištěné informace o posuzované vlastnosti lokality vedou k závěru, že požadavek bude splněn (příležitost převažuje nad rizikem), tj. nebyla zjištěna vlastnost lokality, při jejímž překročení je umístění úložiště zakázáno.

4.3.3 Hodnocení vybraných kritérií pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ

Kapitola „geologické charakteristiky“ obsahuje výčet a popis geologických faktorů, které lze považovat za základní indikátory vhodnosti lokality Čertovka pro umístění HÚ. Jedná se o následující charakteristiky:

Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků

- stupeň křehkého porušení masivu – zlomové struktury (podrobně viz kapitola 4.1.2);
- stupeň křehkého porušení masivu – puklinové systémy (podrobně viz kapitola 4.1.3);
- stupeň duktilní deformace (podrobně viz kapitola 4.1.4).

Variabilita vlastností horninového prostředí

- prostorová variabilita horninového prostředí (podrobně viz kapitola 4.2.1);
- petrologická variabilita hornin (podrobně viz kapitola 4.2.2).

Klasifikace jednotlivých indikátorů je založena na výše shrnutých dostupných geovědních informacích (viz kapitoly 4.1, 4.2) ve stupnici 1 – nejnižší a 5 – nejvyšší (viz Vondrovic et al. 2019). Následně bylo provedeno vzájemné porovnání daného hodnocení napříč lokalitami a vyhodnocení geologických indikátorů na základě týmového expertního posouzení. Lokality se navzájem liší množstvím i kvalitou geologických informací (mapové podklady různých měřítek, různý počet chemických analýz, výbrusů hornin atd.) a nelze je tedy exaktně kvantifikovat. Proto formou expertního odhadu bylo provedeno hodnocení na základě diskuse specialistů.

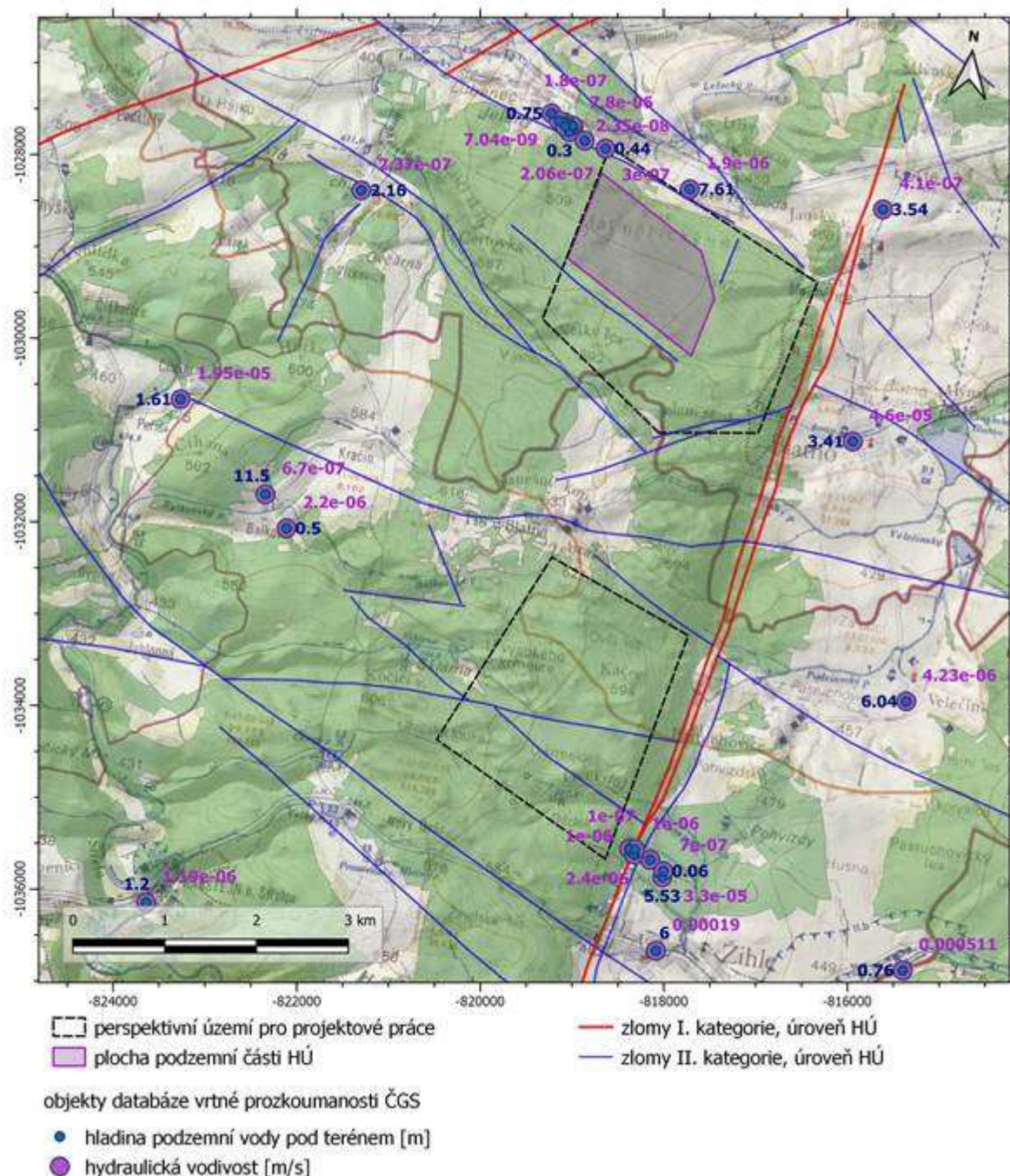
Popis výběru jednotlivých indikátorů a metodiky jejich vyhodnocení je uveden ve zprávě Vondrovic et al. (2019).

Tab. 6 Vybrané indikátory kritérií Geologické charakteristiky pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ a jejich hodnocení pro lokalitu Čertovka ID viz (Vondrovic et al. 2019)

ID	Indikátory kritérií	Známka
K3a	Stupeň křehkého porušení masivu – zlomové struktury (1 – nejnižší až 5 – nejvyšší)	3,3
K3b	Stupeň křehkého porušení masivu – puklinové systémy (1 – nejnižší až 5 – nejvyšší)	2,4
K3c	Stupeň duktilní deformace (1 – nejnižší až 5 – nejvyšší)	1,5
K4a	Prostorová variabilita horninového prostředí (1 – nejnižší až 5 – nejvyšší)	3
K4b	Petrologická variabilita hornin (1 – nejnižší až 5 – nejvyšší)	2,2

5 K5 Hydrogeologické charakteristiky

Oblast se nachází na rozhraní tří hydrogeologických rajonů (vyhláška č. 5/2011 Sb.) - 6230 Krystalinikum, proterozoikum a paleozoikum v povodí Berounky; 5131 Rakovnická pánev a 5132 Žihelská pánev.



Obr. 5 Hydrogeologické údaje v databázi vrtné prozkoumanosti ČGS

Pro širší zájmovou oblast krystalinika a sedimentární pánve jsou k dispozici pouze omezené bodové informace do hloubky max. desítek metrů. Vrtý s údaji o hydrogeologii jsou většinou situovány poblíž vodních toků, v údolích nebo v lokálních sníženinách. Nejhlubší vrt s archivními hydrogeologickými informacemi je situován v permokarbonu žihelské pánve a má

hloubku 150 m. V břidlicích a fylitech teplického krystalinika se nacházejí 4 vrty hluboké okolo 80 m, vyhloubené pro místní zásobování pitnou vodou, z toho tři u Balkové a jeden u Vítkova. V oblasti tiského masivu, poblíž sídla Tis u Blatna, se nachází výzkumný vrt TIV-1 s hloubkou 100 m vyhloubený v rámci projektu MPO FR-TI1/367. V databázi ČGS je v blízkém okolí perspektivních území pro projektové práce tiského masivu celkem 24 hydrogeologických vrtů, které mimo dva výše uvedené, dosahují hloubky maximálně 35 m. Přímo v ploše perspektivního území pro projektové práce se nenachází žádný archivní vrt.

Hladina podzemní vody ve většině vrtů je blízko pod terénem – do 15 m dle umístění vrtu, hydraulické vodivosti se pohybují v rozmezí řádů 10^{-4} a 10^{-9} m.s⁻¹ (Obr. 5). Vrty jsou situovány v přípovrchové zóně rozvolnění puklin s aktivním oběhem podzemních vod a s výrazně vyšší hydraulickou vodivostí (ve srovnání s horninovým prostředím v hloubce HÚ).

Přípovrchovou zónu svahových sedimentů a zvětralinového pláště granodioritů lze obecně označit jako prostředí se slabou průlinově–puklinovou propustností. Na tuto nejsvrchnější zónu, mocnou řádově jednotky až první desítky metrů, navazuje přípovrchová část intenzivního rozpukání a rozpojení puklin hydrogeologického masivu charakteristická relativně nízkou puklinovou propustností. Tyto dvě části horninového profilu tvoří hlavní kolektor krystalinika. V tomto kolektoru se vytváří několik dílčích zvodní.

Svrchní zvrstvení rychlého mělkého lokálního proudění vzniká v prostředí kvartérních sedimentů a zvětralinového pláště. Hloubkový dosah zvodně je řádově do 10 až 20 m.

Akumulační možnosti svrchního kolektoru jsou vzhledem ke své geologické stavbě a mocnosti značně omezené a nedochází zde k tvorbě významnějších zdrojů podzemní vody.

Spodní, hlubší část zvodně je vázaná na puklinové prostředí pevných hornin. Její dosah je u migmatitů a rul do 40–50 m, u masivů granodioritových hornin může dosahovat do hloubek 100 až 120 m.

V hlubších částech krystalinika dochází k postupnému svírání puklin tíhou nadložních hornin a hydraulická vodivost se snižuje. Pomalý oběh podzemních vod probíhá výhradně po puklinách, zlomových pásmech a poruchových zónách.

Zdrojem podzemní vody na lokalitě je srážková infiltrace, ke které dochází v celé ploše území. Rozložení efektivní infiltrace je prostorově variabilní, průměrná velikost je $2 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (Krásný et al. 1982). Do hlubších oblastí masivu, vzhledem k malé propustnosti, přetéka z přípovrchové vrstvy pouze první jednotky procent celkového množství vody infiltrovaného ze srážek. Infiltrační oblasti pro plochu podzemní části HÚ se nachází jižně od hranice podzemní části HÚ na hřebenu mezi vrchy Velký les a Čertovka.

K drenáži svrchních částí zvodně dochází do nejbližších toků, hladiny podzemní vody do velké míry korespondují s terénem. Nejvyšší úroveň dosahuje hladina v oblasti Kanešova kopce (přes 600 m n. m.), nejnižší úroveň hladiny klesají v oblasti soutoku Blšanky s Mlýneckým potokem pod úroveň 320 m n. m.

K odvodnění hlubších částí zvodně dochází na bázi hlavních vodotečí, většinou skrytě do kvartérních sedimentů. Častá je také drenáž prostřednictvím vodivých tektonických poruch.

5.1 Vylučující kritéria

5.1.1 Přítomnost zvodní v izolační části úložiště

Pro zhodnocení hydraulických vlastností hlubších částí krystalinických hornin v hloubkách projektovaného HÚ nejsou aktuálně k dispozici žádná data, je ale velmi pravděpodobné, že v hloubce 500 m pod zemským povrchem bude hydraulická vodivost hornin mimo poruchová pásma (izolační část masivu) o tři až pět řádů nižší než v přípovrchové zóně rozvolnění puklin (expertní odhad ČGS) a nebude zde přítomna souvislá zvodeň. V hlubších částech krystalinika dochází k postupnému svírání puklin a hydraulická vodivost horninového prostředí se postupně snižuje. Proudění podzemní vody probíhá výhradně po výrazných puklinách, zlomových pásmech a poruchových zónách. V evidenci odběrů a vypouštění ISVS – VODA (<https://voda.gov.cz/>) jsou pro širší oblast perspektivního území pro projektové práce evidovány odběry využívající přípovrchové zdroje podzemní vody a nesignalizují možnost využití podzemní vody hlubokého oběhu pro vodohospodářské využití a existenci významných zdrojů podzemní vody v hlubší části masivu.

5.1.2 Obtížnost vytvoření hydrogeologických modelů a predikce vývoje hydrogeologických poměrů v lokalitě

Pro hodnocení hydrogeologických poměrů na lokalitě Čertovka byl vytvořen aktualizovaný detailní hydrogeologický model (Černý et al. 2020), který reprezentuje aktuální znalost poměrů proudění podzemní vody v lokalitě ve vztahu k hlubinnému oběhu. Využita jsou v něm primárně všechna dostupná archivní data a neinvazivní metody průzkumu z terénu, která jsou dostačující pro realizaci komplexního hydraulického modelu. Vývoj hydrogeologických poměrů v lokalitě úzce souvisí s vývojem klimatu a průběhem budoucího antropogenního ovlivnění horninového masivu v posuzované lokalitě, oba faktory lze v realizovaném hydraulickém modelu lokality Čertovka zohlednit. Vyhodnocení kritéria je v kapitole 5.3.2.

5.2 Kritéria pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ

5.2.1 Kritérium K5 Charakteristika proudění vody v okolí úložiště a transportní charakteristiky

5.2.1.1 Indikátor K5a Doba dotoku z HÚ do oblasti drenáže

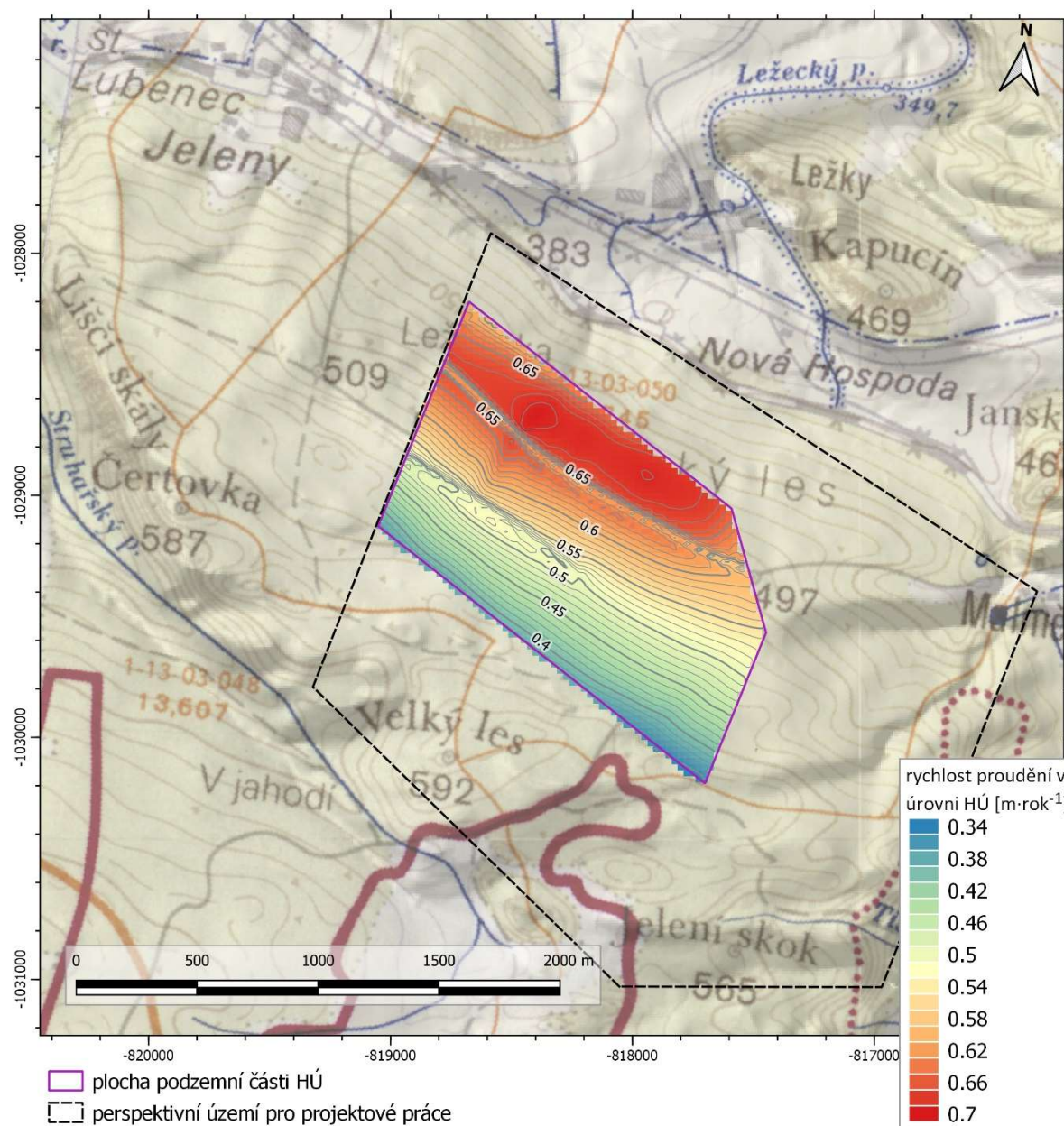
Doby dotoku (zdržení) podzemní vody z prostoru HÚ k drenáži jsou v modelových simulacích proudění podzemní vody stanoveny metodou *particle tracking* (Muffels et al. 2014).

Skutečná rychlost proudění v úseku mezi prostorem podzemní části HÚ (v úrovni –130 m n. m.) a drenáží v přípovrchové zóně se liší v závislosti na hydraulickém odporu prostředí a hydraulickém gradientu. Proudění v přípovrchové zóně dosahuje rychlostí řádově stovek metrů za rok, zatímco ve větších hloubkách horninového masivu dosahují rychlosti proudění maximálně desítek centimetrů za rok. Hydraulickou souvislost prostoru projektovaného HÚ s drenážními bázemi charakterizuje parametr doby zdržení (doby dotoku). První kvartil doby dotoku podzemní vody z HÚ k drenážním bázím byl modelem v lokalitě

Čertovka vypočten na hodnotu 1 726 roků (indikátor K5a, Tab. 8). Rozsah dob dotoku se z prostor HÚ v lokalitě Čertovka pohybuje v rozmezí 1 398 až 4 554 let (mezidecilové rozpětí intervalu výsledků $Q_{0,1}$ – $Q_{0,9}$).

5.2.1.2 Indikátor K5b Rychlost proudění v úrovni úložiště

Rychlost proudění podzemní vody v úrovni úložiště ovlivňuje dynamiku potencionálního odtoku kontaminace z prostor HÚ. Rychlost proudění v úrovni HÚ souvisí s hydraulickým gradientem, který je ovlivněn morfologií terénu a její propagací do tlakových poměrů podzemní vody. Rozložení rychlostí proudění v úrovni a prostoru HÚ vypočtených modelem proudění je uvedeno na Obr. 6. Rozsah vypočtených rychlostí proudění v prostoru potencionálního HÚ vychází 0,34–0,70 m rok⁻¹. Jako hodnota indikátoru je zvoleno maximum (Indikátor K5b, Tab. 8).



Obr. 6 Rozložení modelových rychlostí proudění (m·rok⁻¹) v prostoru HÚ

5.2.1.3 Indikátor K5c Propustnost v prostoru HÚ

Propustnost horninového masivu v prostoru HÚ (indikátor K5c, Tab. 8) i maximální propustnost poruchových zón do 500 m od hranice HÚ (indikátor K5e, Tab. 8) souvisí s koncepcí stanovení hydraulických vodivostí zlomových pásem a jednotlivých identifikovaných litotypů, která je podrobně popsána ve zprávě Uhlík et al. (2018).

Při hodnocení hydrogeologických vlastností lokality Čertovka byly v horninovém prostředí na základě přijaté koncepce vymezeny dvě dílčí části s rozdílným charakterem propustnosti.

Svrchní část horninového profilu tvoří málo mocné sedimentární horniny kvartéru, aluvium a svrchní vrstva hydrogeologického masivu postižená intenzivním rozpukáním a vyšší mírou rozpojení puklin. Hydraulická vodivost v přípovrchové vrstvě se v prostoru perspektivního území pro projektové práce pohybuje generelně v rozsahu $1 \cdot 10^{-7}$ až $1 \cdot 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$, přičemž i v přípovrchové vrstvě lze předpokládat pokles hydraulické vodivosti s hloubkou.

Spodní část profilu tvoří krystalinické horniny, které lze z hydrogeologického hlediska popsat jako heterogenní anizotropní puklinové málo propustné prostředí. Ve zpracovaném hydraulickém modelu, využitém pro hodnocení, je zadán pokles hydraulické vodivosti v masivu s hloubkou jak v oblastech bez identifikovaných poruchových zón, tak v těchto zónách. Pokles vodivosti je odvozen podle empirické rovnice (Gustafson a Liedholm 1989) tak, že k poklesu koeficientu hydraulické vodivosti o jeden řád dochází s nárůstem hloubky pod terénem o 675 m. Hydraulické vodivosti horniny (mimo poruchové zóny) v úrovni potenciálního HÚ jsou podle tohoto konceptu v modelu zadány v rozsahu $1,0 \cdot 10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$ až $1,4 \cdot 10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$ (indikátor K5c, Tab. 8).

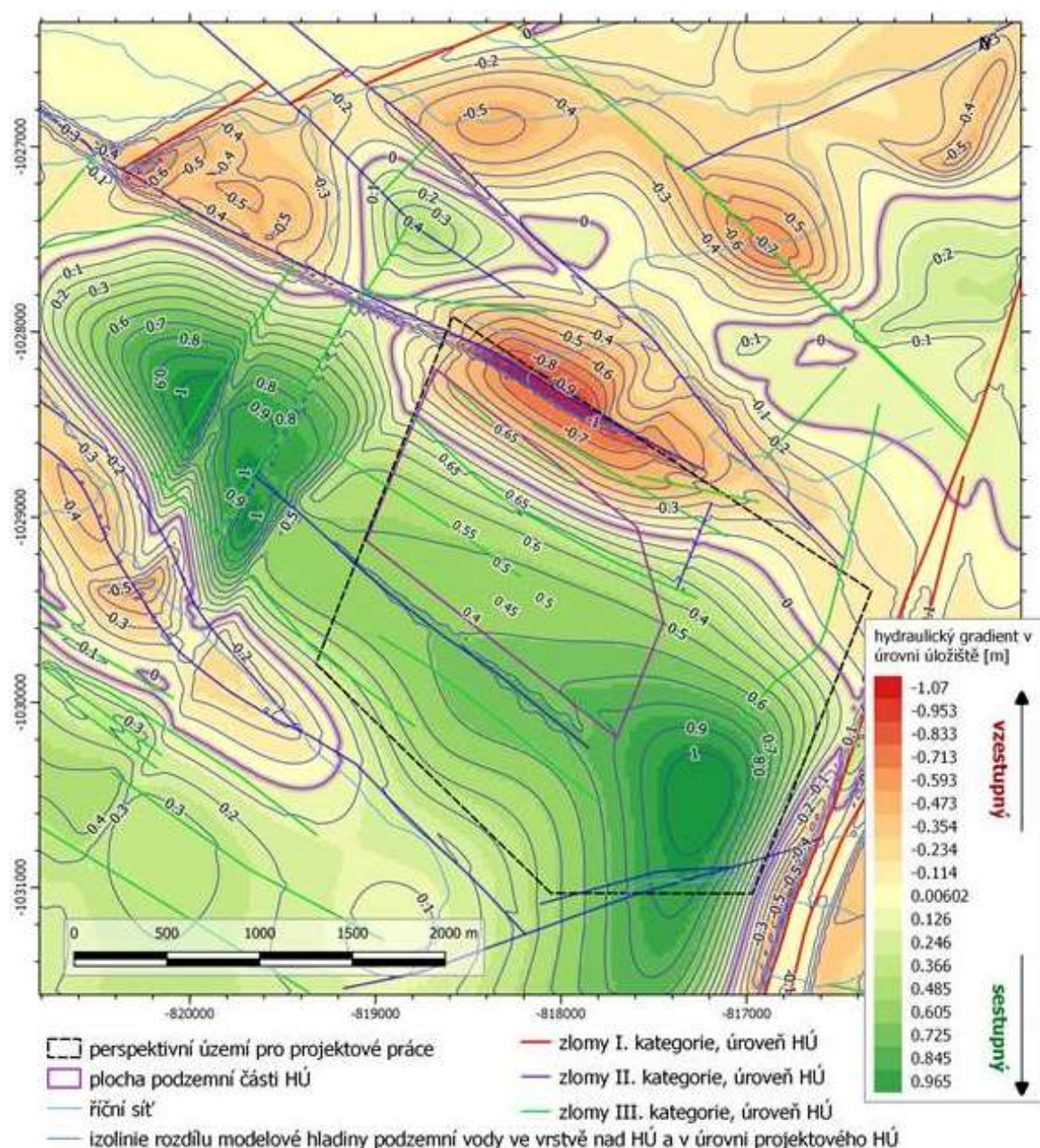
5.2.1.4 Indikátor K5d Sestupná vertikální složka proudění

V hydraulickém modelu proudění podzemní vody je simulováno nasycené proudění s volnou hladinou podzemní vody v přípovrchové vrstvě. V zájmové oblasti lze obecně předpokládat standardní vertikální vývoj tlakového pole, kdy v infiltračních oblastech převládá sestupné proudění (po vertikále dochází s hloubkou k poklesu hydraulické výšky) a v oblastech drenáže převládá vzestupné proudění (po vertikále dochází s hloubkou k nárůstu hydraulické výšky). Kromě morfologie terénu ovlivňují tlakové poměry odporové parametry horninového prostředí, jejichž heterogenita je v zájmovém území více než litologií dána tektonikou. V tektonických zónách, které efektivně propojují oblasti s různou hydraulickou výškou, dochází k deformaci pole daného primárně úrovní terénu.

Rozdíl hladiny podzemní vody v úrovni HÚ a ve vrstvě nad HÚ je dokumentován na Obr. 7. Z obrázku je patrné, že zóny sestupného proudění (kladný rozdíl hladin) jsou lokalizovány do vrcholových partií území. Oblasti s největším záporným vertikálním tlakovým gradientem (a složkou vzestupného proudění) jsou soustředěny do hlouběji zaříznutých údolí v oblastech s výrazným reliéfem – např. údolí Střely.

V jižní části perspektivního území pro projektové práce převažuje infiltrace podzemní vody. Drenážní oblast se vyskytuje na severu území, na kterém pramení Ležecký potok. Výrazná drenážní oblast se nachází také západně od předběžného projektového řešení HÚ v zářezu údolí Struhařského potoka, predisponovaného dvěma zlomy 2. řádu. Obecně lze usuzovat, že mimo severního okraje plochy podzemní části HÚ, je oblast spíše infiltrační. Sestupné

proudění v oblasti HÚ v úrovni -130 m n. m. je zastoupeno z 86 % (indikátor K5d, Tab. 8), tj. téměř v celé ploše mimo severní okraj.



Obr. 7 Hydraulický gradient v úrovni HÚ (-130 m n. m.)

5.2.1.5 Indikátor K5e Maximální propustnost poruchových zón do 500 m od hranice HÚ

Koncepce proudění podzemní vody v prostředí hydrogeologického masivu předpokládá existenci pásem zvýšených hydraulických vodivostí vázaných na tektonické poruchové zóny. V hlubších horizontech horninového prostředí má proudění podzemní vody dominantně puklinový charakter. Lze přitom předpokládat, že existence lépe propojené, konduktivní puklinové sítě, zprostředkovávající hydraulické propojení hlubších horizontů s drenážními bázemi na povrchu, je více pravděpodobná v poruchových zónách kolem významných zlomů

s hlubinným dosahem. Proudění podzemní vody mezi prostorem HÚ a drenážními bázemi probíhá (a může být tedy ovlivněno) i prostřednictvím puklinových zón.

V blízkosti zvoleného umístění podzemní části HÚ na lokalitě Čertovka je z předpokládané zlomové sítě nejvýznamnější severojižní zlom, který vede souběžně s východním okrajem granitového tělesa a současně je provázen výraznou topografií.

Proudění v okolí perspektivního území pro projektové práce je dále ovlivněno dvěma zlomy 2. kategorie predisponující údolí Struhařského potoka. Podzemní voda z prostor HÚ je odváděna do blízkých drenážních toků přes čtyři rovnoběžné zlomy 2. kategorie sz-jv. směru. Hydraulická vodivost zlomových pásem druhého řádu dosahuje v úrovni HÚ (a vzdálenosti do 500 m od jeho hranic) maximální hodnoty $6,9 \cdot 10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$. Zlomové pásmo prvního řádu se do 500 m od hranic HÚ nevyskytuje.

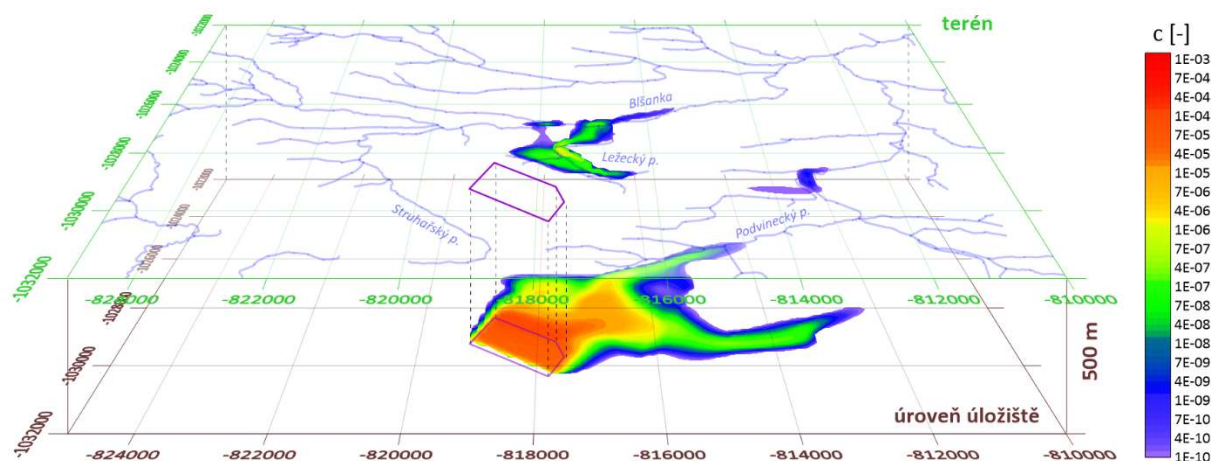
Hydraulické vlastnosti těchto pásem mají pro lokalitu Čertovka značný význam a při stávajících znalostech nelze zcela vyloučit hydraulickou souvislost zlomových pásem s prostředím masivu v prostoru podzemní části HÚ (průběh a charakter zón v hloubce HÚ není možné v současnosti ověřit). Zlomová pásma mají, na základě přijaté koncepce poklesu hydraulické vodivosti porušených pásem s hloubkou, v úrovni projektovaného HÚ, předpokládanou hydraulickou vodivost v řádu 10^{-8} m.s^{-1} pro pásma 1. řádu a 10^{-9} m.s^{-1} pro pásma 2. řádu. Maximální hydraulická vodivost na zlomových zónách v úrovni HÚ vzdálených do 500 m od hranice podzemní části HÚ je tedy $6,9 \cdot 10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$ (indikátor K5e, Tab. 8).

5.2.1.6 Indikátor K5f Specifický průtok v prostoru HÚ

Bilanční údaje proudění podzemní vody pro lokalitu Čertovka jsou stanoveny z hydrogeologického modelu. Zadané doplňování zásob podzemní vody (efektivní srážková infiltrace) je v ploše modelu proměnlivé a mění se v závislosti na rozložení srážkového normálu. Údaje o plošném rozložení srážkového normálu pro lokalitu Čertovka byly v kilometrové síti poskytnuty ČHMÚ. Průměrná hodnota efektivní modelové infiltrace v lokalitě Čertovka je $2,0 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ (Krásný et al. 1982). Z celkově infiltrovaného množství 527 l.s^{-1} proudí 67 % podzemní vody pouze v přípovrchové vrstvě zvětralin, rozpojení puklin a kvartéru. Do hlubších oblastí masivu infiltruje (vzhledem k vysokým koeficientům hydraulické vodivosti permokarbonského souvrství v severozápadní oblasti modelového území) 173 l.s^{-1} . Suma průtoků přes vymezený prostor HÚ je modelem stanovena na $3,85 \cdot 10^{-2} \text{ l.s}^{-1}$, specifický průtok přes půdorysnou plochu HÚ je $2,4 \cdot 10^{-2} \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ (indikátor K5f, Tab. 8).

5.2.1.7 Indikátor K5g Poměr ředění

Pro posouzení vhodnosti lokality Čertovka z hlediska transportu kontaminace z prostoru podzemní části HÚ do prostoru drenáže podzemní vody byla realizována schematická transportní simulace (pro konzervativní – nereagující a nesorbující stopovač bez možnosti rozpadu). Cílem simulace bylo získat podklady pro hodnocení míry zředění roztoku transportovaného z HÚ advektivním prouděním podzemní vody k drenážní oblasti. Ředění bylo stanoveno v procentech z poměru maximálních koncentrací vypočtených před vstupem do drenážní báze a v prostoru úložiště. Pro HÚ v lokalitě Čertovka byla nejnižší míra ředění stanovena na 1,7 % (indikátor K5g, Tab. 8). Rozsahy kontaminačního mraku a vypočtené relativní koncentrace v úrovni úložiště a v přípovrchové zóně jsou uvedeny v Obr. 8.



Obr. 8 Rozložení relativních modelových koncentrací v úrovni HÚ (-130 m n. m.) a v přípovrchové vrstvě

5.2.2 Kritérium K6 Identifikace a umístění drenážních bází

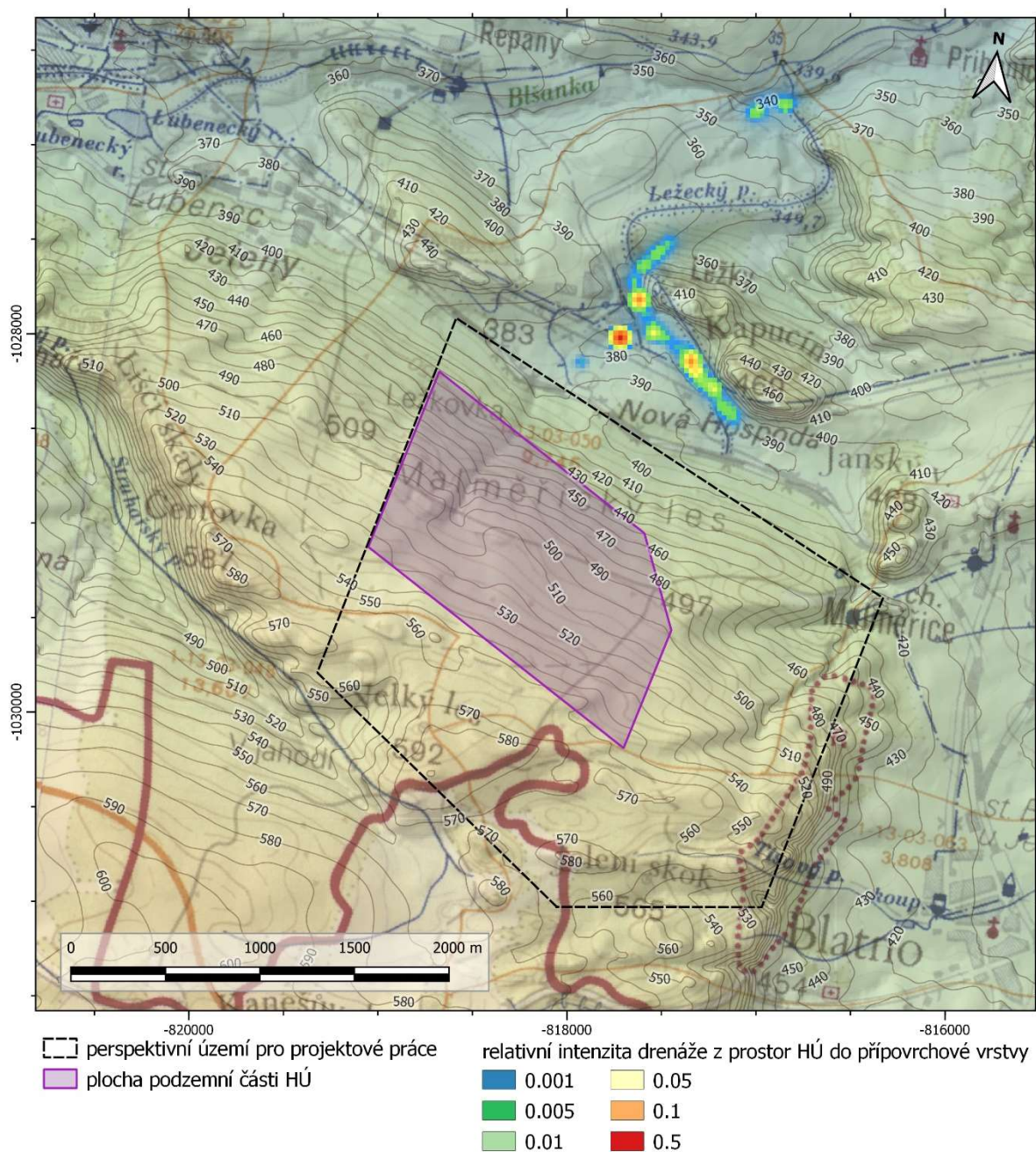
Plocha podzemní části HÚ je součástí hydrologického povodí 1-13-03 Libockého potoka a Ohře od Libockého potoka po Chomutovku. Drenáž podzemní vody z horninového masivu je zprostředkována přípovrchovou vrstvou zvětralin a rozpojení puklin do povrchových toků. Místa drenáže hlubokého proudění podzemní vody závisí na výrazně heterogenních a anizotropních odporových parametrech horninového prostředí. Drenážní oblasti hlubší zóny lze očekávat v korytech tektonicky predisponovaných vodních toků (např. Struhařský potok nebo Blšanka), na křížení těchto toků a významných zlomových zón (Ležecký potok) a v oblastech s vysokou hydraulickou vodivostí svrchní zóny a nízkým hydraulickým potenciálem.

K drenáži podzemní vody protékající prostorem projektového HÚ dochází do dvou toků (Obr. 9, **indikátor K6a Počet drenážních toků**, Tab. 8).

Malá část plochy HÚ (4 %) je drénována v toku Blšanky, poblíž soutoku s Ležeckým potokem. Hlavní drenáž je modelem vypočtena do Ležeckého potoka, kam se drénuje 96 % vody protékající plochou HÚ (**indikátor K6b Zastoupení drenáže z plochy HÚ v jediném toku**, Tab. 8). K drenáži do Ležeckého potoka dochází přibližně na dvoukilometrovém úseku, který probíhá souběžně se zlomem druhé kategorie. Nejintenzivnější drenáž je soustředěna do míst soutoku Ležeckého potoka a jeho krátkého, bezejmenného přítoku z oblastí bližších projektovanému HÚ (Obr. 9). Drenáž do konkrétního úseku toku je do značné míry ovlivněna lokálním charakterem přípovrchové vrstvy zvětralin a kvartérních sedimentů podél toků.

Plocha podzemní části HÚ je ze 100 % odvodňována v povodí Blšanky (**indikátor K6c Zastoupení drenáže z plochy HÚ v jediném povodí**, Tab. 8).

Drenáž je vypočtena v úrovni 330 m n. m. (soutok Blšanky a Ležeckého p.) až 385 m n. m. (Ležecký p.). Nejkratší horizontální vzdálenost HÚ od drenáže (**indikátor K6d Horizontální vzdálenost HÚ od drenáže**, Tab. 8) vychází v modelu proudění 540 m (bezejmenný přítok Ležeckého p., Obr. 9). Místa nejvzdálenější drenáže vychází až 2,3 km od hranice podzemní části HÚ (soutok Blšanky a Ležeckého p.). K drenáži přímo v ploše HÚ na povrchu nedochází.



Obr. 9 Vypočtená místa drenáže pro podzemní vodu z projektovaného HÚ na lokalitě Čertovka

5.3 Expertní zhodnocení lokality

5.3.1 Nejistoty spojené s hodnocením hydrogeologických kritérií

Veškerá hydrogeologická data pocházejí z povrchu nebo přípoверхové zóny. Žádný z dosavadních hydrogeologických průzkumů či výzkumů nedosáhl hloubek plánovaného HÚ, kde lze očekávat rozdílné hydraulické vlastnosti hornin. Pro komplexní hydrogeologické zhodnocení chybí data o hlubokých hydrogeologických strukturách, zejména o výskytu, orientaci a hydraulických vlastnostech vodivých zlomů a poruchových zón v hloubkách HÚ.

Hodnocení hydrogeologických poměrů v hloubce úložiště může proto vycházet pouze z interpretace povrchových dat, analogie nebo odborného odhadu.

Je možné předpokládat, že u řady poruch (zlomů) vodivých v mělkých částech masivu bude se zvětšující se hloubkou docházet ke svírání puklin a zlomových ploch a jejich hydraulická vodivost bude klesat až na hodnoty blízké okolnímu horninovému prostředí. Role těchto zlomů v hloubce úložiště bude již minimální.

5.3.2 Vyhodnocení kritérií ve vztahu k legislativním požadavkům na prokázání vhodnosti lokality pro umístění HÚ (vylučující kritéria)

Vzhledem k výše zmíněným faktům (kapitola 5.1) je možno konstatovat, že nebyly identifikovány žádné vlastnosti lokality, které by vylučovaly umístění HÚ.

Tab. 7 Vyhodnocení vylučujících kritérií pro oblast Hydrogeologické charakteristiky pro lokalitu Čertovka. ID je zachováno dle zdroje Vondrovic et al. (2019)

ID	Posuzované kritérium	Vyhodnocení
2.2.1.	Přítomnost zvodní v izolační části úložiště	Zjištěné informace o posuzované vlastnosti lokality spíše vedou k závěru, že požadavek bude splněn (příležitost převažuje nad rizikem), tj. nebyla zjištěna vlastnost lokality, při jejímž překročení je umístění úložiště zakázáno.
2.2.2.	Obtížnost vytvoření HG modelu a predikce vývoje HG poměrů v lokalitě	Zjištěné informace o posuzované vlastnosti lokality vedou k závěru, že požadavek bude splněn (příležitost převažuje nad rizikem), tj. nebyla zjištěna vlastnost lokality, při jejímž překročení je umístění úložiště zakázáno.

5.3.3 Hodnocení vybraných kritérií pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ

Pro hodnocení hydrogeologických poměrů a posouzení vhodnosti situovat hlubinné úložiště v lokalitě Čertovka byl v softwaru MODFLOW-USG vytvořen aktualizovaný 3D detailní hydrogeologický a schematizovaný transportní model lokality. Modely jsou základním nástrojem pro interpretaci hydrogeologických poměrů lokality ve vazbě na dlouhodobou bezpečnost projektovaného hlubinného úložiště. Modelové výpočty popisují geosféru (vzdálené pole interakcí) a nijak nezahrnují vliv inženýrských bariér.

Známky indikátorů (Tab. 8) reprezentují vzájemné porovnání hodnot indikátorů devíti posuzovaných lokalit. **Výběr jednotlivých indikátorů a metodiky jejich vyhodnocení (sloupec známka) je uveden ve zprávě Vondrovic et al. (2019).**

Tab. 8 Vybrané indikátory kritérií Hydrogeologické charakteristiky pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ a jejich hodnocení pro lokalitu Čertovka

ID	Název kritéria / Indikátoru	Hodnoty	Známka
	Střední úroveň HÚ (m n.m.)	-130	
	Plocha ukládacích prostor HÚ (km²)	1,598	

ID	Název kritéria / Indikátoru	Hodnoty	Známka
K5	Kritérium: Charakteristika proudění vody v okolí HÚ a transportní charakteristiky		
K5a	Doba dotoku z HÚ do oblasti drenáže (roky)	1 726	4,9
K5b	Rychlost proudění v úrovni úložiště (m.rok^{-1})	0,70	2,0
K5c	Propustnost v prostoru HÚ (m.s^{-1})	$1,4 \cdot 10^{-9}$	2,0
K5d	Sestupná vertikální složka proudění (% plochy HÚ)	86	1,7
K5e	Maximální propustnost poruchových zón do 500 m od hranice HÚ (m.s^{-1})	$6,9 \cdot 10^{-9}$	1,0
K5f	Specifický průtok v prostoru HÚ ($\text{l.s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$)	$2,4 \cdot 10^{-2}$	3,0
K5g	Poměr ředění (%)	1,7	5,0
K6	Kritérium: Identifikace a umístění drenážních bází		
K6a	Počet drenážních toků	2	4,3
K6b	Zastoupení drenáže z plochy HÚ v jediném toku (% plochy HÚ)	96	4,8
K6c	Zastoupení drenáže z plochy HÚ v jediném povodí (% plochy HÚ)	100	5,0
K6d	Horizontální vzdálenost HÚ od drenáže (m)	540	2,4

Rozdíly hodnot indikátorů mezi lokalitami jsou ovlivněny celou řadou faktorů plynoucích z rozdílných přírodních podmínek (geomorfologie, propustnost, říční síť atd.) a možností umístění hlubinného úložiště na jednotlivých lokalitách. Konceptuálně je propustnost horninového masivu v modelech zadána s ohledem na průběh zlomů, litotypy hornin i morfologii terénu a v modelech klesá s hloubkou (Uhlík et al., 2018). Gradienty proudění podzemní vody jsou dány rozdíly v úrovni infiltračních oblastí v okolí úložiště a oblastmi drenáže. Komplexně se tak při proudění podzemní vody uplatňuje morfologie terénu modelovaná erozními procesy v návaznosti na geometrii říční sítě. Poloha podzemní části hlubinných úložišť je vymezena v perspektivním území pro projektové práce s ohledem na průběh ověřených a předpokládaných zlomů.

U hodnot indikátoru v blízkosti mediánu hodnocení všech lokalit není možné stanovit výrazně diferencované pořadí vhodnosti lokalit, a proto je zhodnocení indikátorů v následujících odstavcích zaměřeno především na interpretaci hodnot a odpovídajících známek v krajních oblastech škály („silné“ a „slabé“ vlastnosti lokality).

V porovnání s dalšími lokalitami jsou v rámci kritéria K5 poměry na lokalitě Čertovka výrazně lépe hodnoceny v rámci dvou indikátorů K5d a K5e (Tab. 8). Sestupná složka proudění (indikátor K5d) je přítomna ve značné části plochy podzemní části úložiště (86 %) a převládá z důvodu situování podzemní části HÚ v místech s rozsáhlejší terénní elevací. Dobré hodnocení propustnosti zlomových zón (K5e) vychází z důvodu nepřítomnosti poruchy první kategorie ve vzdálenosti do 500 m.

Velmi dobré je i hodnocení indikátorů rychlosti proudění v úrovni HÚ (K5b) a propustnosti prostoru HÚ (K5c), protože propustnost vychází z jediného litotypu (s nižší hydraulickou vodivostí) a převládá sestupná složka proudění.

Průměrně je hodnocen specifický průtok v prostoru HÚ (K5f), jeho hodnota je obdobná jako na většině lokalit.

Jako zhoršené vychází hydrogeologické poměry lokality Čertovka v rámci indikátorů K5a a K5g. Doba dotoku do drenážních bází (K5a) vychází relativně krátká z důvodu blízké drenáže do Ležeckého potoka a minimálnímu (téměř nulovému) dotoku do vzdálenějších poloh od HÚ. Nepříznivý výsledek poměrů ředění (K5g) vychází z obdobného důvodu – blízká soustředěná drenáž téměř do jediného toku.

V rámci kritéria K6 je lokalita Čertovka hodnocena převážně jako podprůměrná (Tab. 8). Téměř celý prostor úložiště je odvodněn do jediného blízkého toku (Ležecký potok) v jediném povodí (indikátory K6a, K6b a K6c) a nedochází tak k výhodnějšímu rozdělení drenáže do více povodí. Nadprůměrně je hodnocena pouze minimální vzdálenost HÚ od míst jeho drenáže do toků, která je 540 m.

6 Kritérium K7 Seismická a geodynamická stabilita

Geologická stavba území k umístění hlubinného úložiště musí zaručit stabilitu hlubinného úložiště po dobu nejméně statisíců let. Podle § 18, odst. 2, písm. g), i), či j) vyhlášky č. 378/2016 Sb., musí být posouzen výskyt endogenních a exogenních jevů (g), předpokládaný vývoj klimatu (i) či zranitelnost horninového prostředí z hlediska dlouhodobých klimatických změn (j). Podle IAEA hostitelské prostředí (IAEA 2011a) pro hlubinné úložiště by nemělo být náchylné k poškození budoucími geodynamickými procesy a následnými jevy a jinými faktory (např. změnou klimatu, neotektonickými pohyby, vysokou seismicitou) do té míry, že by tyto vlivy mohly nepříjemně poškodit bezpečnostní funkce celého úložného systému. Na základě předchozích poznatků (Pačes et al. 2010) plyne, že v ČR mohou být důležité především následující vlivy:

1. zemětřesení vyšší intenzity a přítomnost potenciálně aktivních zlomů (seismická stabilita);
2. pokles nebo výzdvih povrchu území (geodynamická stabilita);
3. postvulkanické jevy.

Podle odst. 3 §9 vyhlášky č. 378/2016 Sb. je charakteristikou dalších geodynamických jevů a geotechnických parametrů základových půd, při jejímž dosažení je umístění jaderného zařízení zakázáno, výskyt vulkanických hornin pliocenního až holocenního stáří nebo projevů postvulkanické činnosti, zejména výronu plynů anebo minerálních vod, spojených s minulou vulkanickou aktivitou, do vzdálenosti 5 km.

Zhodnocení lokality z hlediska geodynamické stability dle vyhlášky č. 378/2016 Sb. zahrnuje vliv geodynamických jevů na pozemek jaderného zařízení, jako je vliv eroze a akumulace sedimentů, možnost zaplavení pozemku a posouzení svahových pohybů snižující jadernou bezpečnost. Vylučujícím kritériem je umístění lokality, kde pohyby zemské kůry jsou větší než 1 mm ročně, což znamená, že by v důsledku zahloubení drenážního systému a následných denudačních procesů v daném území došlo k exhumaci potenciálního úložiště za 500 tisíc let. Dalším vylučujícím kritériem jsou lokality s výskytem postvulkanických jevů (výrony plynů, horké vody atd.).

Zhodnocení geodynamické stability vychází ze studie erozní stability perspektivních lokalit HÚ VJP v ČR (Hroch a Pačes 2015). K vyhodnocení geodynamické charakteristiky zájmového území byla použita dostupná archivní data, geomorfologická analýza území zahrnující přítomnost zarovnaných povrchů a jejich pozice k úrovni dnešní erozní báze, a posouzení projevů „mladých“ cyklů zpětné eroze.

6.1 Vylučující kritéria

6.1.1 Zemětřesení a přítomnost potenciálně aktivních zlomů pro období statisíců let (seismická stabilita)

Územím prochází výrazný morfolineament vázaný na žihelský zlom ID1 (Franěk et al. 2018). Tento zlomový svah s přímým průběhem má vyvinutou zřetelnou horní hranu, jsou na něm vytvořeny drenážní struktury vytvářející hluboké rokle s krátkými povodími. Výše zmíněné charakteristiky mohou indikovat relativně mladé pohyby na zlomu, avšak podobné

geomorfologické projevy můžou být produktem nedávné denudace již neaktivní struktury oddělující sedimenty žihelské pánve a granitoidy tiského masivu, které vykazují rozdílnou náchylnost k erozi. Proto výše uvedené morfologické charakteristiky nelze považovat za jednoznačné indikace přítomnosti zlomu potenciálně schopného posunu. Další údaje o stáří a aktivitě studovaných tektonických poruch sloužící k vyhodnocení potenciálně aktivních zlomů na konkrétní lokalitě nejsou k dispozici. Pro hodnocené území není indikována aktivita zlomu v období posledních 2,6 milionu let. Pokud potenciál zlomu k posunu nebyl prokázán ani indikován, předpokládá se, že neexistuje.

6.1.2 Pokles nebo výzdvih povrchu území (vertikální pohyby zemské kůry)

Údaje o rychlosti zahlubování říčního systému nejsou z konkrétního okolí území k dispozici. Archivní údaje o rychlosti zahlubování drenážního systému jsou dostupné pouze v regionálním měřítku.

Balatka a Kalvoda (2008), na základě studia výškového rozdílu peneplenizovaných povrchů a zachovalých fluvialních sedimentů, uvádějí rychlosti zahlubování v průběhu pleistocénu $0,02\text{--}0,86\text{ mm.rok}^{-1}$. Tyráček et al. (2004), korelací labských a vltavských teras, odhadují průměrnou rychlost výzdvihu centrální části Českého masivu ve spodním pleistocénu na $0,04\text{ mm.rok}^{-1}$ a během středního a svrchního pleistocénu až $0,15\text{ mm.rok}^{-1}$.

Dosavadní studie, vycházející z metod založených na datování pomocí izotopů ^{10}Be a ^{26}Al , jsou dostupné jen z širší oblasti Českého masivu. Z jihozápadního okraje Českého masivu jsou odhady rychlosti eroze $0,023\text{--}0,027\text{ mm.rok}^{-1}$ (Schaller et al. 2001), z oblasti Šluknovského výběžku jsou v průběhu středního a svrchního pleistocénu odhady eroze stanoveny na $0,025\text{--}0,027\text{ mm.rok}^{-1}$ (Nývlt 2008). Uvedené oblasti, kde byly tyto metody využity, sice nevykazují identické geologické charakteristiky se studovanou lokalitou, ale jsou umístěny v podobné geomorfologické pozici. Z tohoto důvodu lze na lokalitě očekávat podobné rychlosti eroze a denudace, a proto jsou tyto údaje v hodnocení lokalit zohledněny. Z výše uvedených údajů vyplývá, že hodnoty vertikálních pohybů zemského povrchu, resp. rychlosti zahlubování drenážního systému, **nepřekračují hodnoty 1 mm.rok^{-1} pro dané modelové území**

6.1.3 Postvulkanické jevy

Perspektivní území pro geologické práce protíná ve směru V–Z linie vulkanických těles olivinického nefelinitu. Nejvýchodnější a plošně nejrozsáhlejší těleso představuje relikt lávového proudu, ostatní tělíska pak představují erozní relikt drobných struskových kuželů (Seifert et al. 2013). Stáří olivinického nefelinitu u Tisu bylo stanoveno metodou K–Ar (Dr. Zoltán Pécskay, ATOMKI, Debrecen; buk-rock; Seifert et al. 2013) na $13,74 \pm 1,25\text{ Ma}$. Vzhledem k rozměrům těles, i jejich předpokládaným žilně-protaženým přírodním dráhám, můžeme předpokládat velmi rychlý proces chladnutí a krystalizace magmatu. K žádným postvulkanickým projevům zde patrně nedocházelo již velmi krátce po erupci. V současnosti není na PÚPP znám žádný projev postvulkanické aktivity. Ve vzdálenosti asi 4 km sz. od PÚPP Čertovka se objevují výskyty reliktů vulkanického komplexu Doupovských hor, který byl vulkanicky aktivní před 34–20 miliony let (např. Sakala et al. 2010). Dozvuky postvulkanických projevů (např. hydrotermální alterace hornin) zde mohly doznívat ještě před 10 miliony let (nepublikovaná data). V oblasti však nejsou známy postvulkanické projevy čtvrtohorního stáří.

Asi 4 km západně od PÚPP Čertovka se nachází Vladař, další relikt samostatné menší sopky, na který navazují rozptýlené relikt izolovaných vulkanických těles Tepelské vrchoviny a Slavkovského lesa. Stáří aktivity tohoto vulkanického pole se udává na 22 až 6 milionů let (Ulrych et al. 2003, 2016; Lustrino a Wilson 2007). V celé oblasti Tepelské vrchoviny a Slavkovského lesa měla vulkanická aktivita charakter jednotlivých erupcí, bez déletrvajících následných postvulkanických projevů souvisejících s odplyňováním chladnoucího magmatu. V okruhu 5 km od PÚPP nejsou známy projevy vulkanické ani post-vulkanické aktivity pliocenního až holocenního stáří. **Z hlediska post-vulkanických jevů nejsou na lokalitě překročena vylučující kritéria.**

6.2 Kritéria pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ

6.2.1 Indikátor K7a Hodnota maximálního horizontálního zrychlení

Studie seismické stability zahrnuje výsledky pravděpodobnostního hodnocení seismického ohrožení vypracované Málkem et al. (2018). Seismické ohrožení lokality je dáno zvláště vzdáleností od prvních dvou významných zón a četností slabých blízkých zemětřesení. V rámci studie byl zkompileován katalog historických zemětřesení pro region do vzdálenosti 300 km od PÚPP s dolním magnitudovým limitem 3,9. Hodnota byla stanovena pro 50% pravděpodobnost a dobou opakování 10^5 let a byly určeny křivky seismického ohrožení pro kvantily 16 %, 50 %, 84 % a průměr. Spodní hranice roční četnosti byla uvažována 10^{-6} . Hodnota maximálního horizontálního zrychlení získaná z pravděpodobnostní metody pro 50% pravděpodobnost a dobou opakování 10^5 let činí **2,04 m.s⁻²**.

6.2.2 Indikátor K7b Výškový gradient

Území lokality Čertovka se nachází při rozvodí mezi Střelou, Rakovnickým potokem a Blšankou. V oblasti rozvodí se rozkládá relikt zarovnaného povrchu, jehož nadmořská výška je okolo 600 m n. m. a který navazuje na úroveň zarovnaného povrchu Tepelské plošiny. Tento zarovnaný povrch se zachoval na poměrně rezistentní poloze tektonicky vymezeného masívu monolitického granitu a granodioritu. K severu se tento masív zanořuje a denudace zde vytvořila systém kvest se strukturními svahy ukloněnými mírně k SSV. Zarovnaný povrch, zachovaný na masivu granitoidních hornin, je na východě omezen výrazným zlomem, který se projevuje zřejmým zlomovým svahem s průběhem SSV–JJZ. Zlomový svah, omezující východní okraj tohoto masívu, tvoří výrazný morfologický stupeň s výškovým rozdílem mezi horní částí a úpatím zlomového svahu přes 100 výškových metrů. Zároveň jsou na této morfologické struktuře evidentní krátké zlomové svahy odpovídající zlomům ve směru SZ–JV. Zlomový svah tvoří západní okraj Žihelské pánve vyplněné mladopaleozoickými sedimenty, na které je vytvořena úroveň zarovnaného povrchu v nadmořských výškách 450 až 500 m n. m.

Lokální erozní báze pro oblast v povodí Střely a Rakovnického potoka a horní část povodí Blšanky představuje povrch niv těchto toků ve výšce cca 400 m n. m. až 370 m n. m. Pro severovýchodní část území, odvodňující úroveň zarovnaného povrchu v nadmořských výškách 450 až 500 m n. m. Podvineckým potokem a Ležeckým potokem, odpovídá erozní báze povrchu nivy toku Blšanka u Kyr ve výšce cca 300 m n. m. (Hroch a Pačes 2015). **Nejvyšší výškový rozdíl** mezi úrovní jednotlivých zarovnaných povrchů a úrovní lokální erozní báze činí **200 až 230 m**.

6.2.3 Indikátor K7c Procentuální podíl plochy reliéfu postiženého a přetvořeného mladými cykly zpětné eroze a svahovými deformacemi

Na území se výrazně uplatňuje reliéf přetvořený zpětnou erozí. Výrazný erozní reliéf je vázán na údolí řeky Střely, které je hluboké 200 m, jehož strmé boční svahy vykazují sklony vyšší než 25° a boční přítoky jsou vázány na úzká a strmá údolí bez zachovaných údolních akumulací. Do paleoreliéfu v úrovni 450 až 500 m n. m. postupuje z povodí Blšanky a Jesenického potoka zpětná eroze, což se projevuje vytvářením poměrně husté sítě erozních strží kaňonů vyhloubených v sedimentech mladšího paleozoika. V severní části území jsou zřejmé projevy pirátství říčních toků, kdy v minulosti došlo k načepování horního toku Rakovnického potoka do povodí Blšanky (Hroch a Pačes 2015). **Procentuální podíl plochy reliéfu postiženého a přetvořeného mladými cykly zpětné eroze se odhaduje na 60 %.**

6.2.4 Indikátor K7d Výskyt vulkanických hornin paleogenního až holocenního stáří a kyselek

V blízkosti i v širším okolí se nachází výskyty vulkanických hornin terciárního stáří. V oblasti PÚPP se vyskytují reliktové tělesa lávového proudu a erozní reliktové drobných struskových kuželů (Seifert et al. 2013). Od severozápadu zasahují na území výskyty reliktů vulkanického komplexu Doupovských hor, západně od lokality Čertovka se nachází Vladař, další relikt samostatné menší sopky, na který navazují rozptýlené reliktové izolovaných vulkanických těles Tepelské vrchoviny a Slavkovského lesa. Stáří těchto vulkanických hornin se pohybuje od 34 až do 6,25 milionů let (Sakala et al 2010; Ulrych et al. 2003, 2016; Lustrino a Wilson 2007).

V okruhu 25 km od PÚPP byly zaznamenány rozptýlené četné výskyty kyselek. Nejčetnější zdroje kyselek jsou spjaty s místy tektonických zón v blízkosti projevu neogenního vulkanismu (Kolářová a Myslík 1979; Kačura 1980) v oblasti Doupovských hor, Slavkovského lesa a Tepelské plošiny jihozápadně, západně a severozápadně od lokality. V hodnoceném území vystupují po zlomech z permokarbonských sedimentů kyselky původem z podložního krystalinika, konkrétně na území obcí Vroutek, Očíchov a Liběšice.

6.3 Expertní zhodnocení

Pokud vyhodnotíme všechny výše uvedené podklady, lze konstatovat, že na základě všech dat dostupných pro komplexní hodnocení nebyla zjištěna vylučující kritéria pro umístění HÚ.

6.3.1 Nejistoty spojené s hodnocenou oblastí

- Pro vyhodnocení potenciálně aktivních zlomů nejsou k dispozici relevantní data o stáří a aktivitě tektonických struktur. Pro další fázi hodnocení je vhodné realizovat studium zahrnující tektonické mapování, detailní geomorfologickou a morfotektonickou analýzu, včetně monitoringu pomocí aplikace optických metod a DPZ, případně místní seismickou síť.
- Kritéria a indikátory geodynamické stability vychází především z vizuální geomorfologické interpretace daného území. Zdroje dat o rychlosti denudačních procesů, vertikálních pohybech povrchu a rychlosti zahlubování drenážního systému jsou velmi heterogenní a do jisté míry nespolehlivé, vyplývající z krátkého intervalu

měření či účelu pořízení dat. Některé datové zdroje jsou ve vzájemném rozporu v závislosti na použité metodice.

- Archivní údaje o rychlosti zahlubování drenážního systému pochází ze studií v regionálním měřítku a nejsou specifikovaná na jednotlivá dílčí povodí. Nejmodernější studie vycházející z metod založených na datování pomocí izotopů ^{10}Be a ^{26}Al jsou dostupné jen z širší oblasti Českého masivu. Chybí tak detailnější analýzy vývoje drenážních systémů v dotčených povodích včetně moderního datování povrchů.

6.3.2 Vyhodnocení kritérií ve vztahu k legislativním požadavkům na prokázání vhodnosti lokality pro umístění HÚ (vylučující kritéria)

Vyhodnocení kritéria K7 Seismická a geodynamická stabilita lokality Čertovka ve vztahu k legislativním požadavkům je uvedeno v Tab. 9.

Tab. 9 Vyhodnocení vylučujících kritérií pro oblast Seismická a geodynamická stabilita pro lokalitu Čertovka. ID je zachováno dle zdroje (Vondrovic et al. 2019)

ID	Kritérium	Hodnocení
2.3.1.	Zemětřesení a přítomnost potenciálně aktivních zlomů pro období statisíců let (seismická stabilita)	Zjištěné informace o posuzované vlastnosti lokality vedou k závěru, že požadavek bude splněn (příležitost převažuje nad rizikem), tj. nebyla zjištěna vlastnost lokality, při jejímž překročení je umístění úložiště zakázáno.
2.3.2.	Pokles nebo výzdvih povrchu území (vertikální pohyby zemské kůry)	Zjištěné informace o posuzované vlastnosti lokality vedou k závěru, že požadavek bude splněn (příležitost převažuje nad rizikem), tj. nebyla zjištěna vlastnost lokality, při jejímž překročení je umístění úložiště zakázáno.
2.3.3.	Postvulkanické jevy	Zjištěné informace o posuzované vlastnosti lokality spíše vedou k závěru, že požadavek bude splněn (příležitost převažuje nad rizikem), tj. nebyla zjištěna vlastnost lokality, při jejímž překročení je umístění úložiště zakázáno.

6.3.3 Hodnocení vybraných kritérií pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ

Popis výběru jednotlivých indikátorů a metodiky jejich vyhodnocení je uveden ve zprávě Vondrovic et al. (2019). Vyhodnocení vybraných parametrů indikátorů pro kritérium K7 Seismická a geodynamická stabilita lokality Čertovka je uvedeno v Tab. 10.

Tab. 10 Vybrané indikátory kritérií oblasti Seismická a geodynamická stabilita pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ a jejich hodnocení pro lokalitu Čertovka

ID	Indikátor kritéria	Hodnota indikátoru	Známka
K7a	Hodnota maximálního horizontálního zrychlení získaná z pravděpodobnostní metody pro 50% pravděpodobnost a dobou opakování 10^5 let	2,04 m.s ⁻²	5
K7b	Výškový rozdíl mezi úrovní jednotlivých zarovnaných povrchů a úrovní lokální erozní báze (čím menší výškový rozdíl, tím příznivější hodnota tohoto porovnávacího kritéria)	230 m	3,4
K7c	Procentuální podíl plochy reliéfu postiženého a přetvořeného mladými cykly zpětné eroze a svahovými deformacemi (menší podíl rozlohy těchto povrchů k celkové ploše lokality představuje příznivější hodnotu porovnávacího kritéria)	cca 60 %	3,8
K7d	Výskyt vulkanických hornin paleogenního až holocenního stáří a kyselek	jev se vyskytuje	5

7 Kritérium K8 Charakteristiky, které by mohly vést k narušení hlubinného úložiště budoucími aktivitami člověka

Kapitola hodnotí perspektivní území pro geologické charakterizační práce (PÚGChP) pro lokalitu Čertovka podle metodického pokynu SÚRAO MP.22 (Vokál et al. 2017) a podle metodiky hodnocení (Vondrovic et al. 2019) ve třech oblastech kritérií:

1. Přítomnost poddolovaných území a starých a opuštěných důlních děl na pozemku pro povrchová zařízení.
2. Ložiskové poměry na lokalitě (dobývací prostory, CHLÚ a prognózy nerostných surovin).
3. Přítomnost zdrojů podzemní vody či geotermální energie.

Podle vyhlášky č. 378/2016 Sb., § 18, odst. 2) to představuje:

o) výskyt současné a budoucí lidské aktivity, která je způsobilá narušit izolační vlastnosti úložného systému, zejména využití hostitelské horniny těžbou nerostných surovin nebo využíváním geotermální energie nebo využíváním systému pro podzemní zásobníky plynu,

p) výskyt změn v hostitelském a okolním geologickém prostředí vzniklých vrtnou a báňskou činností v průzkumné fázi umísťování hlubinného úložiště, při kterých by vznikly nové preferenční cesty pro migraci radioaktivních látek.

Podle odst. 3 § 9 vyhlášky č. 378/2016 Sb. je charakteristikou dalších geodynamických jevů a geotechnických parametrů základových půd, při jejímž dosažení je umístění jaderného zařízení zakázáno, výskyt jevů podle odstavce 2 písm. c) jako krasové jevy, hlubinné doly, podzemní zásobníky plynu či jiné stavby, vybudované v podzemních prostorech, pozůstatky historické těžby na pozemku jaderného zařízení, nebo mimo pozemek jaderného zařízení, hrozí-li propad nebo deformace povrchu území k umístění s vlivem na jadernou bezpečnost.

Tato kapitola shrnuje rešeršní údaje o lokalitě Čertovka z hlediska výskytu současné a budoucí lidské aktivity, která je způsobilá narušit izolační vlastnosti úložného systému, zejména účelové využití hostitelské horniny spojené s ložiskovou či důlní aktivitou a přítomností zdrojů podzemní vody či geotermální energie. K tomu slouží bodové a plošné archivní údaje o předchozích průzkumech a zásazích do horninového prostředí. Dříve sledované informace o zásahu do horninového prostředí formou vrtů nejsou nadále považovány za významný parametr pro nebezpečí narušení HÚ člověkem.

Kapitola je postavena na rešerši dat a metodice vyhledávání archivních dat různého formátu a stáří. Zdrojové datové sady jsou připraveny pro využití během následných etap hodnocení lokalit a jejich výběru.

7.1 Vylučující kritéria

7.1.1 Poddolovaná území a stará a opuštěná důlní díla

Na PÚGChP Čertovka nejsou registrována žádná stará (SDD) ani opuštěná (ODD) důlní díla a podle současných znalostí tedy nehrozí střet s vylučujícími podmínkami vyhlášky č. 378/2016 Sb.

7.1.2 Přítomnost zásob nerostných surovin

7.1.2.1 Ložisková území

Zásoby a prognózní zdroje nerostných surovin jsou v PÚGChP Čertovka přítomny ve dvou ložiskách a ve čtyřech prognózních zdrojích (Obr. 10). Jde o suroviny stavební kámen (drcené kamenivo), kámen pro hrubou a ušlechtilou kamenickou výrobu a cihlářské suroviny. K sestavení ložiskové části kapitoly byly využity údaje SurlS a elaboráty geologického průzkumu.

Podle § 15 odst. 1 písm. g) vyhlášky č. 378/2016 Sb. existuje v PÚGChP Čertovka kolize se dvěma povrchovými dobývacími prostory. Při j. okraji polygonu perspektivního území pro geologické charakterizační práce jsou položeny DP 70274 Tis u Blatna a DP 70275 Tis u Blatna I. Tyto nespojitě DP byly stanoveny pro výhradní ložisko kamene pro hrubou a ušlechtilou kamenickou výrobu B 3038400 Tis u Blatna. Oba DP leží v k. ú. 767085 Tis u Blatna. Těžba nerostných surovin probíhá v severněji položeném DP 70274 Tis u Blatna. Oba DP leží v j. části polygonu perspektivního území pro geologické charakterizační práce. Jsou orientovány zhruba ve směru SZ–JV a celkově zaujímají prostor o rozměrech asi 500 × 250 m. Výměra DP podle údajů v SurlS činí 0,04690 km² resp. 0,01917 km². Uvnitř obou DP jsou zásoby výhradního ložiska B 3038400 Tis u Blatna.

Výhradní ložisko kamene pro hrubou a ušlechtilou kamenickou výrobu B 3038400 Tis u Blatna leží uvnitř DP 70274 Tis u Blatna a DP 70275 Tis u Blatna I. Ložisko leží na úpatí vrchu Žebrák (kóta 621 m). Ložisko tvoří dva samostatné úseky vzdálené od sebe cca 90 m. Celkově tak zaujímá přibližně obdélníkovou plochu o rozměrech asi 380 × 20 m s delší stranou orientovanou ve směru SZ–JV. Podle údajů ze SurlS je ložisko součástí posttektonického granitoidního čistecko-jesenického masivu, který je obklopen barrandienským neoproterozoikem s projevy kontaktní metamorfózy. Ložisko leží v západní (tiské) části masivu tvořené kadomským hrubozrnným biotitickým tiským granitem. Průměrná ověřená mocnost ložiska se pohybuje okolo 25 m. Mocnost nadloží tvořeného svahovými hlínami, sutěmi a navětralým granitem se pohybuje od 1,5 do 5,4 m (průměr 2,7 m). Na ložisku se vyskytují dva základní systémy puklin: 1) pukliny SV–JZ s úklonem 70–80° k JV, 2) pukliny SZ–JV s úklonem 70–80° k JZ. Ložisko je v jeho s. části otevřeno stěnovým zahloubeným lomem. Z mapy odečtená výška stěn lomu je bez zahloubení cca 15–20 m. Vrtný průzkum ověřil ložisko svislými vrty (hloubka 20–31 m), jež dosáhly výškové úrovně cca 579–580 m n. m.

Vzhledem k aktivní těžbě kameniva lze dovodit, že se k DP 70274 Tis u Blatna mohou vztahovat indikátory „Zajištění stability staveb“ a „Přítomnost zásob nerostných surovin“, avšak s ohledem na přípovrchový charakter těžby není předpokládán střet s umístěním HÚ.

Při j. okraji území se nachází chráněné ložiskové území Žihle-Východ (CHLÚ ID 05670001) vymezené v hnědočervených karbonských až permských jílovcích a prachovcích Žihelské pánve. Zajištěno bylo 1 036 060 m³ suroviny kategorie C1B pro výrobu krytiny a 1 149 915 m³ k výrobě cihel. Povrchové výhradní ložisko cihlářských hlín Žihle IČ 00025798 bylo dříve povrchově těženo (VL ID 3056700; Špaček 2007).

7.1.2.2 Prognózní zdroje

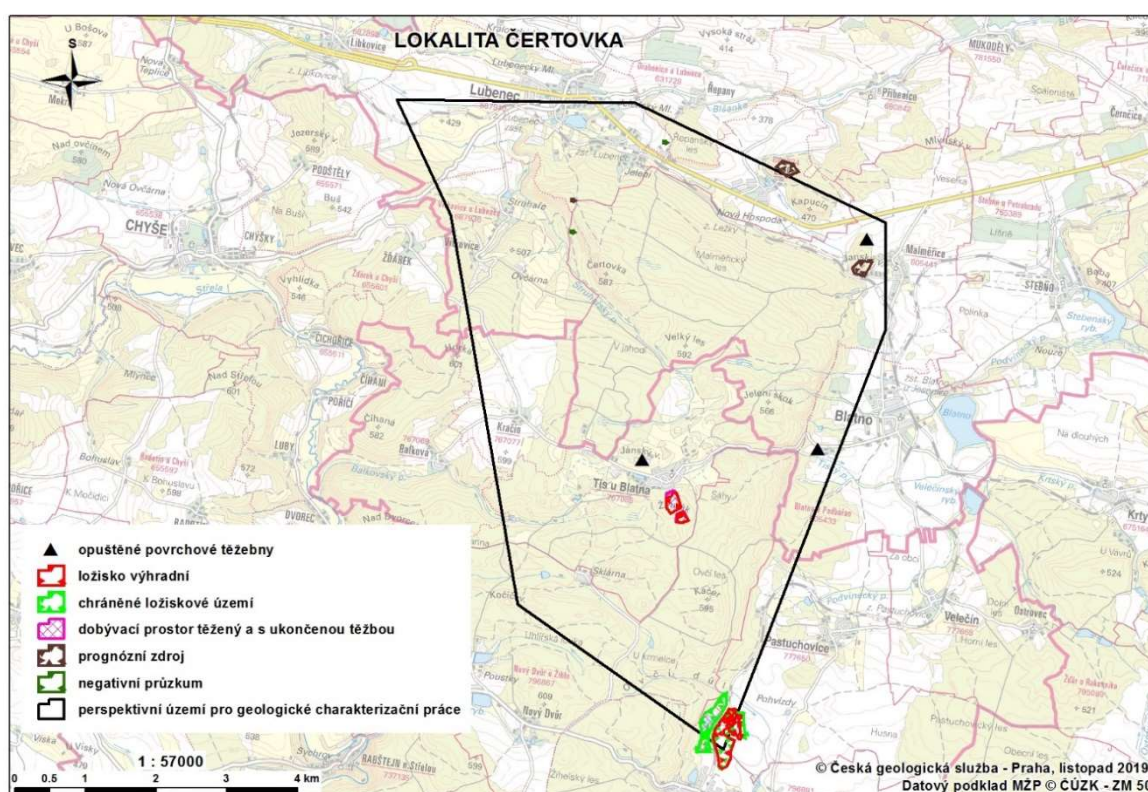
Surovinovou základnu v PÚGChP Čertovka rozšiřují prognózní zdroje surovin Q 9177600 Malměřice–Jánský vrch, Q 9043300 Lubenec a Q 9043100 Ležky (Obr. 10).

Prognózní zdroj stavebního kamene Q 9177600 Malměřice–Jánský vrch leží asi 400 m z. od kostela v Malměřicích na zalesněném vrchu. Geologicky náleží k tiskému masivu, leží při jeho sv. okraji. Hrubozrnná biotitická žula je pravidelně rozpukaná. Svrchní partie hornin jsou navětralé a nad nimi spočívá různě mocný zvětralinový pokryv. V j. části jsou rozsáhlé skalní výchozy, na S byla v minulosti v písčitém eluviu založena stěnová pískovna. Na v. straně návrší byla hornina kdysi místně těžena v malém lomu jako surovina pro hrubou a ušlechtilou kamenickou výrobu. Báze zásob byla stanovena na úrovni 415 m n. m (Špaček 1972).

Prognózní zdroj stavebního kamene Q 9043300 Lubenec. Plošně nevymezený zdroj surovin se nachází asi 1,5 km j. od kostela v Lubenci v oblasti zvané Liščí skály. Podle Exlera (1971) je jeho rozsah vázán na několik desítek metrů vysoké skalní žulové kulisy a na jejich výskyty v předpolí. Ty se v území nespojitě vyskytují řádově v délce vyšších stovek metrů. Navazující ploché temeno, protáhlé směrem k JV, je pokryto hojnou balvanitou sutí. Geologicky jde o sz. výběžek tiského masivu tvořený granitoidy s vysokým stupněm navětrání a značnými mocnostmi zvětralinového pláště. Hornina je silně rozpukaná, porušená mikrotrhlinami, s přítomností limonitických povlaků. Její vhodnost vyhodnotil Exler (1971) jen pro stavební kámen (drcené kamenivo). Vzhledem k příznivé morfologii pro těžbu není v budoucnosti vyloučena možnost úvah o dalším využití tohoto zdroje.

Prognózní zdroj kamene pro hrubou a ušlechtilou kamenickou výrobu Q 9043100 Ležky okrajově zasahuje přes sv. hranici perspektivního území pro geologické charakterizační práce. Zaujímá prostor vrchu Jelení asi 400 m sv. od kaple v obci Ležky. Lokalita se nachází při s. okraji tiského masivu. Je tvořena hrubozrnnou biotitickou žulou, pravidelně rozpukanou ve směrech VSV–ZJZ a SSZ–VJV. Hornina se vyznačuje nepravidelným zvětráním, podobně jako na předchozích lokalitách. Báze zásob na lokalitě byla stanovena Špačkem (1972) na úroveň 370 m n. m. V minulosti byl v masivu založen lom ležící mimo PÚGChP.

V ploše PÚGChP se kromě ložiska a prognózních zdrojů podle Špačka (1969) nalézají čtyři objekty (lomy, pískovny); jeden z lomů patří výše popsanému výhradnímu ložisku. Zbylé tři lokality reprezentují jednak opuštěný malý lom na Kanešově kopci s. u obce Tis, jednak dvě pískovny založené v eluviu žuly nebo slepenců.



Obr. 10 Ložisková situace s vyznačením ložisek Tis u Blatna a Žihle, tří prognózních zdrojů a opuštěných těžeben na lokalitě Čertovka

Vyjádření k PÚGChP z hlediska požadavku § 18 odst. 2 písm. o) a odst. 3 vyhlášky č. 378/2016 Sb.: Při posouzení současných údajů o ložiskové prozkoumanosti lze shrnout, že dvě ložiska a tři prognózní zdroje na lokalitě Čertovka jsou lokálně využívána nebo netěžená povrchová ložiska, a že lidská aktivita při případné budoucí těžbě stavebních a cihlářských surovin nedosáhne ani neovlivní hloubky pod zemským povrchem, v níž se předpokládá umístění HÚ.

7.1.3 Přítomnost zdrojů podzemní vody či geotermální energie

Přítomnost zdrojů podzemní vody je hodnocena v navazující práci Krajička et al. (2020).

Mezi výskyty současné a budoucí lidské aktivity, která je způsobilá narušit izolační vlastnosti úložného systému, je též přítomnost zdrojů geotermální energie (odst. 4c § 18 vyhlášky č. 378/2016 Sb.). V českém legislativním rámci pojem „zdroj geotermální energie“ není zakotven. Do budoucna je nutno stanovit kritéria, co je za zdroj geotermální energie považováno. Při relativním posouzení významu možných zdrojů geotermální energie v lokalitě Čertovka je nutno vyjít z platných definic pojmů a legislativy.

Ve zprávě Dědeček et al. (2020) jsou uvedeny dva základní parametry pro charakteristiku geotermálního potenciálu území jako vstupní hodnoty pro porovnání specifik každé lokality – tepelný tok na povrchu a teplota v hloubce 500 m pod povrchem.

Pro lokalitu Čertovka je možné za základní pozadí považovat teplotu okolo 18–21 °C v hloubce 500 m. Dle mapy tepelného toku v ČR leží lokalita Čertovka pravděpodobně v území s průměrným až mírně nadprůměrným tepelným tokem cca 70–75 mW.m⁻².

Kromě toho může být významným faktorem přirozená radioaktivita granitů. Pro tuto lokalitu byla spočítána tepelná produkce pro základní hodnocenou horninu, tiský granit, Hanákem et al. (2017). Obsahy přirozených radioaktivních prvků jsou u všech horninových typů relativně nízké a poměrně homogenní, pro granity průměrné obsahy dosahují eU(Ra) 2,9–3,9 ppm, eTh 9,9–13,2 ppm a K 2,74–3,57 %, čemuž odpovídá vypočtená průměrná tepelná produkce 1,9–2 $\mu\text{W}\cdot\text{m}^{-3}$. To představuje poměrně nízkou tepelnou produkci s ohledem na průměrnou tepelnou produkci granitu, která se pohybuje okolo 3 $\mu\text{W}\cdot\text{m}^{-3}$ (Vaňková et al. 1979; Rybach a Čermák 1982).

Uvážíme-li výše uvedenou tepelnou produkci granodioritů, tak by byl, po odečtení vlivu horninového masivu v nadloží, tepelný tok v hloubce 500 m nižší o přibližně 1 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$, což je zanedbatelné. Riziko konfliktu s využíváním geotermální energie pro průmyslové využití je na této lokalitě minimální.

S ohledem na současný stav poznání nebyla přítomnost průmyslově využitelného zdroje geotermální energie na lokalitě Čertovka prokázána a nebezpečí proniknutí člověka do úložiště nebo změny horninového masivu z důvodů využívání geotermálního potenciálu je velmi málo pravděpodobné.

7.2 Kritéria pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ

7.2.1 Indikátor K8a Ložiskové poměry na lokalitě

Hodnocení ložiskových poměrů a poddolování je hodnoceno jako součást vyhodnocení vylučujících kritérií v kapitole 7.1.1. a 7.1.2.

7.3 Expertní zhodnocení lokality Čertovka

Popis výběru jednotlivých indikátorů a metodiky jejich vyhodnocení je uveden ve zprávě Vondrovic et al. (2019).

Pokud vyhodnotíme všechny výše uvedené podklady, lze konstatovat, že na základě všech dostupných dat zpracovaných v kapitole 7 nebyla na základě dostupných dat zjištěna vylučující kritéria pro umístění HÚ.

Shrnutí výsledků hodnocení kritérií K8 „Charakteristiky, které by mohly vést k narušení úložiště budoucími aktivitami člověka“ je uvedeno ve finální tabulce (Tab. 12) se zavedením vyhodnocení dle bodové škály (1–5).

7.3.1 Nejistoty spojené s hodnocenou oblastí

Nejistoty pro sledované tři parametry na lokalitě Čertovka nejsou definovány ani odůvodněny. Z povahy definice ložiska může nejistotu představovat skutečnost, že nelze vyloučit budoucí změny ve vymezování ložiskových území, opětovné využívání registrovaných míst s bývalou těžbou kamene či vymezení nových vhodných lokalit pro těžbu podle společenské poptávky. Nejistoty spadají spíše do okruhu otázek spojených s parametry diskutovanými nyní v rámci jiných kapitol (např. s hydrogeologickými poměry a dosahem zdrojů podzemních vod), případně s potenciálem geotermální energie díky nejasnostem v jeho legislativní definici.

7.3.2 Vyhodnocení kritérií ve vztahu k legislativním požadavkům na prokázání vhodnosti lokality pro umístění HÚ (vyklučující kritéria)

Popis výběru jednotlivých indikátorů a metodiky jejich vyhodnocení je uveden ve zprávě Vondrovic et al. (2019).

Vyhodnocení kritérií „Charakteristiky, které by mohly vést k narušení úložiště budoucími aktivitami člověka“ ve vztahu k legislativním požadavkům na prokázání vhodnosti lokality pro umístění hlubinného úložiště je uvedeno v Tab. 11. Přítomnost zdrojů podzemní vody je hodnocena v práci Krajíčka et al. (2020).

Tab. 11 Vyhodnocení vylučujících kritérií pro oblast Charakteristiky, které by mohly vést k narušení úložiště budoucími aktivitami člověka pro lokalitu Čertovka. ID je zachováno dle zdroje Vondrovic et al. (2019)

ID	Kritérium	Hodnocení
2.4.1.	Přítomnost starých důlních děl	Zjištěné informace o posuzované vlastnosti lokality spíše vedou k závěru, že požadavek bude splněn (příležitost převažuje nad rizikem), tj. nebyla zjištěna vlastnost lokality, při jejímž překročení je umístění úložiště zakázáno.
2.4.2	Přítomnost zásob nerostných surovin	Zjištěné informace o posuzované vlastnosti lokality spíše vedou k závěru, že požadavek bude splněn (příležitost převažuje nad rizikem), tj. nebyla zjištěna vlastnost lokality, při jejímž překročení je umístění úložiště zakázáno.
2.4.3	Přítomnost zdrojů podzemní vody či geotermální energie	Zjištěné informace o posuzované vlastnosti lokality spíše vedou k závěru, že požadavek bude splněn (příležitost převažuje nad rizikem), tj. nebyla zjištěna vlastnost lokality, při jejímž překročení je umístění úložiště zakázáno.

7.3.3 Hodnocení vybraných kritérií pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ

Vyhodnocení vybraných parametrů indikátorů kritérií K8 Charakteristiky, které by mohly vést k narušení úložiště budoucími aktivitami člověka pro lokalitu Čertovka, je uvedeno v Tab. 12. Ve sledovaných kritériích jsou indicie jednoznačně nevýznamné, resp. negativní.

Tab. 12 Vybrané indikátory kritérií oblasti Charakteristiky, které by mohly vést k narušení úložiště budoucími aktivitami člověka pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ a jejich hodnocení pro lokalitu Čertovka

ID	Indikátor kritéria	Hodnocení	Známka
K8a	Ložiskové poměry na lokalitě	nevýznamný	2

8 Celkové zhodnocení lokality Čertovka ve vztahu k vylučujícím kritériím a kritériím porovnávacím

Charakterizace a vyhodnocení lokality Čertovka ve vztahu k hodnoceným kritériím, významným z hlediska dlouhodobé bezpečnosti HÚ, vychází z metodiky hodnocení lokalit Vondrovic et al. (2019).

V tabulce Tab. 13 je shrnuto vyhodnocení vylučujících kritérií, významných pro dlouhodobou bezpečnost, pro tuto lokalitu. Vyhodnocení vylučujících kritérií je prvním krokem pro další hodnocení a porovnání lokalit na základě definovaných kritérií a jejich indikátorů. Hodnocení jednotlivých indikátorů kritérií pro vzájemné porovnání lokalit je shrnuto v každé relevantní kapitole této zprávy.

Tab. 13 Výsledné vyhodnocení vylučujících kritérií z hlediska dlouhodobé bezpečnosti pro tuto lokalitu

Kategorie kritérií	Kritérium	Charakter požadavku	Kvantifikace / trend kritéria
Geologické charakteristiky lokalit	Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků	Vylučující	Zjištěné informace o posuzované vlastnosti lokality spíše vedou k závěru, že požadavek bude splněn (příležitost převažuje nad rizikem), tj. nebyla zjištěna vlastnost lokality, při jejímž překročení je umístění úložiště zakázáno.
	Variabilita vlastností	Vylučující	Zjištěné informace o posuzované vlastnosti lokality spíše vedou k závěru, že požadavek bude splněn (příležitost převažuje nad rizikem), tj. nebyla zjištěna vlastnost lokality, při jejímž překročení je umístění úložiště zakázáno.
Hydrogeologické vlastnosti lokality	Přítomnost zvodní v izolační části úložiště	Vylučující	Zjištěné informace o posuzované vlastnosti lokality spíše vedou k závěru, že požadavek bude splněn (příležitost převažuje nad rizikem), tj. nebyla zjištěna vlastnost lokality, při jejímž překročení je umístění úložiště zakázáno.
	Obtížnost vytvoření hydrogeologických modelů a predikce vývoje hydrogeologických poměrů v lokalitě	Vylučující	Zjištěné informace o posuzované vlastnosti lokality spíše vedou k závěru, že požadavek bude splněn (příležitost převažuje nad rizikem), tj. nebyla zjištěna vlastnost lokality, při jejímž překročení je umístění úložiště zakázáno.

Kategorie kritérií	Kritérium	Charakter požadavku	Kvantifikace / trend kritéria
Stabilita lokality	Zemětřesení a přítomnost potenciálně aktivních zlomů pro období statisíců let (seismická stabilita)	Vylučující	Zjištěné informace o posuzované vlastnosti lokality spíše vedou k závěru, že požadavek bude splněn (příležitost převažuje nad rizikem), tj. nebyla zjištěna vlastnost lokality, při jejímž překročení je umístění úložiště zakázáno.
	Pokles nebo výzdvih povrchu území (vertikální pohyby zemské kůry)	Vylučující	Zjištěné informace o posuzované vlastnosti lokality spíše vedou k závěru, že požadavek bude splněn (příležitost převažuje nad rizikem), tj. nebyla zjištěna vlastnost lokality, při jejímž překročení je umístění úložiště zakázáno.
	Postvulkanické jevy	Vylučující	Zjištěné informace o posuzované vlastnosti lokality spíše vedou k závěru, že požadavek bude splněn (příležitost převažuje nad rizikem), tj. nebyla zjištěna vlastnost lokality, při jejímž překročení je umístění úložiště zakázáno.
Charakteristiky, které by mohly vést k narušení úložiště budoucími aktivitami člověka	Přítomnost starých důlních děl	Vylučující	Zjištěné informace o posuzované vlastnosti lokality spíše vedou k závěru, že požadavek bude splněn (příležitost převažuje nad rizikem), tj. nebyla zjištěna vlastnost lokality, při jejímž překročení je umístění úložiště zakázáno.
	Přítomnost zásob nerostných surovin	Vylučující	Zjištěné informace o posuzované vlastnosti lokality spíše vedou k závěru, že požadavek bude splněn (příležitost převažuje nad rizikem), tj. nebyla zjištěna vlastnost lokality, při jejímž překročení je umístění úložiště zakázáno.
	Přítomnost zdrojů podzemní vody či geotermální energie	Vylučující	Přítomnost zdrojů podzemní vody je hodnocena v práci Krajíčka et al. (2020) Zjištěné informace o posuzované vlastnosti lokality spíše vedou k závěru, že požadavek bude splněn (příležitost převažuje nad rizikem), tj. nebyla zjištěna vlastnost lokality, při jejímž překročení je umístění úložiště zakázáno

Z výsledků tohoto hodnocení je jednoznačně patrné, že na lokalitě Čertovka nebyla identifikována žádná vlastnost, které by ji vylučovala pro umístění HÚ.

Citace a seznam literatury

- ANDERSSON J., STRÖM A., SVEMAR C., ALMÉN K.-E., ERICSSON L. E. (2000): What requirements does the KBS-3 repository make on the host rock? Geoscientific suitability indicators and criteria for siting and site evaluation. – SKB Technical Report TR-00-12, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company, Stockholm, Sweden, 148 s.
- BALATKA B., KALVODA J. (2008): Evolution of Quaternary river terraces related to the uplift of the central part of the Bohemian Massif. – *Geografie – Sborník České geografické společnosti*, 113, 3, Praha, 205–222.
- BREITER K. (2004): Granitoidy Tiského masivu – Zprávy o geologických výzkumech v roce 2003, 13–16, Praha.
- ČERNÝ M., KRÁLOVCOVÁ J., UHLÍK J., MILICKÝ M., GVOŽDÍK L., CHUDOBA J., ŘÍHA J., RUKAVIČKOVÁ L. (2018): Hydrologické modely horninového prostředí pro hlubinné úložiště, pasport detailního modelu – lokalita Čertovka. – MS SÚRAO, TZ 343/2018, Praha.
- ČERNÝ M., UHLÍK J., MILICKÝ M., GVOŽDÍK L. (2020): Pasport aktualizovaného detailního hydraulického modelu. Lokalita Čertovka. Technická zpráva v přípravě, Praha.
- DĚDEČEK P., UXA T., HOLEČEK J. (2020): Geotermické zhodnocení potenciálních lokalit HÚ na základě dostupných údajů. – MS SÚRAO, TZ 486/2020.
- DOBEŠ P., KLOMÍNSKÝ J., ČEJKOVÁ B., JAČKOVÁ I., LNĚNÍČKOVÁ Z. (2018): Barytová mineralizace na kůzovském zlomu v čistecko-jesenickém kompozitním plutonu: studium fluidních inkluzí a stabilních izotopů – *Zpr. geol. Výzk.*, ročník 51, číslo 2, 2018, 141–147.
- EXLER D. (1971): Závěrečná zpráva Čistecko-jesenický masív. Surovina: kámen. – MS Čes. geol. služ. – Geofond. Praha.
- FEDIUK F. (1993): Zpráva o geologických výzkumech v severozápadní části čistecko-jesenického masivu. *Zpr. Geol. Výzk. v roce 1992*. Praha.
- FRANĚK J., BUKOVSKÁ Z., BURIÁNEK D., DUDÍKOVÁ SCHULMANNOVÁ B., GRUNDLOCH J., HOLEČEK J., JELÉNEK J., JELÍNEK J., KLOMÍNSKÝ J., KRYŠTOFOVÁ E., KUČERA R., KUNCEOVÁ E., KŮRKOVÁ I., NAHODILOVÁ R., PACHEROVÁ P., PERTOLDOVÁ J., PEŘESTÝ V., RUKAVIČKOVÁ L., SOEJONO I., ŠVAGERA O., VERNER K., ŽÁČEK V. (2018): Závěrečná zpráva 3D strukturně – geologické modely potenciálních lokalit HÚ. – MS SÚRAO, TZ 229/2018, Praha, 594 str.
- GUSTAFSON G., LIEDHOLM M. (1989): Groudwater Flow Calculation on a Regional Scale at The Swedish Hard Rock Laboratory. SKB Progress Report 25-88-17, Stockholm.
- HANÁK J., CHLUPÁČOVÁ M., ONDRA P., HROUDA F., SOSNA K., ŽIŽKA J., KAŠPAREC I., DĚDEČEK P. (2017): Stanovení petrofyzikálních charakteristik horninového prostředí pro území potenciálních lokalit HÚ. Závěrečná zpráva. – MS SÚRAO, ZZ 103/2017, Praha, 170 s.
- HAVLOVÁ V., PERTOLDOVÁ J., BUKOVSKÁ Z., HROCH T., ŠTĚDRÁ V., POLÁK M., ŘÍHA J., ČERVINKA R., ČERNÝ M., DUDÍKOVÁ SCHULMANNOVÁ B., DUDKOVÁ I., DUŠEK K., FRANĚK J., GONDOLLI J., GVOŽDÍK L., HOKR M., HOLEČEK J., JANKOVEC J., JELÉNEK J., JELÍNEK J., KACHLÍKOVÁ R., KALÁB Z., KLAJMON M., KLOMÍNSKÝ J., KOLOMÁK K., KOUŘIL M., KRÁLOVCOVÁ J., KUNCEOVÁ E., LEDNICKÁ M., MARYŠKA J., MILICKÝ M., NÝVLT D., ONDRA P., RAPPRICH V., RUKAVIČKOVÁ L., STEINOVÁ J., SVOBODA J., ŠÍR P., ŠVAGERA O., UHLÍK J., VAŠÍČEK R., VAVRO M., VERNER K., VOPÁLKA D., ZEMAN J., ZEMAN O. (2018a): Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného

úložiště. Hodnocení vhodnosti lokality pro umístění úložiště VJP a RAO z hlediska dlouhodobé bezpečnosti. Lokalita Čihadlo. – MS SÚRAO, TZ 278/2018, 124 s.

HAVLOVÁ V., PERTOLDOVÁ J., BUKOVSKÁ Z., BAIER J., HROCH T., ŠTĚDRÁ V., ŘÍHA J., ČERVINKA R., ČERNÝ M., DUDKOVÁ I., DUŠEK K., FRANĚK J., GONDOLLI J., GVOŽDÍK L., HOKR M., HOLEČEK J., JELÍNEK J., KACHLÍKOVÁ R., KALÁB Z., KLAJMON M., KOLOMÁ K., KOUŘIL M., KRÁLOVCOVÁ J., KUNCEOVÁ E., MARYŠKA J., MILICKÝ M., NÝVLT D., ONDRA P., POLÁK M., RAPPRICH V., RUKAVIČKOVÁ L., STEINOVÁ J., SVOBODA J., ŠÍR P., ŠVAGERA O., UHLÍK J., VAŠIČEK R., VAVRO M., VOPÁLKA D., ZEMAN J. (2018b): Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště. Hodnocení vhodnosti lokality pro umístění úložiště VJP a RAO z hlediska dlouhodobé bezpečnosti. Lokalita Hrádek. Závěrečná zpráva. – MS SÚRAO, TZ 281/2018, 124 s.

HAVLOVÁ V., PERTOLDOVÁ J., BUKOVSKÁ Z., HROCH T., ŠTĚDRÁ V., BAIER J., ŘÍHA J., ČERVINKA R., ČERNÝ M., DUDKOVÁ I., DUŠEK K., FRANĚK J., GONDOLLI J., GVOŽDÍK L., HOKR M., HOLEČEK J., JANKOVEC J., JELÍNEK J., KACHLÍKOVÁ R., KALÁB Z., KLAJMON M., KOLOMÁ K., KOUŘIL M., KRÁLOVCOVÁ J., KUNCEOVÁ E., POLÁK M., MARYŠKA J., MILICKÝ M., NÝVLT D., ONDRA P., RAPPRICH V., RUKAVIČKOVÁ L., SOEJONO I., STEINOVÁ J., SVOBODA J., ŠÍR P., ŠVAGERA O., UHLÍK J., VAVRO M., VAŠIČEK R., VOPÁLKA D., ZEMAN J., ZEMAN O. (2018c): Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště. Hodnocení vhodnosti lokality pro umístění úložiště VJP a RAO z hlediska dlouhodobé bezpečnosti. Lokalita Březový potok. Závěrečná zpráva. – MS SÚRAO, TZ 275/2018, 116 s.

HAVLOVÁ V., PERTOLDOVÁ J., BUKOVSKÁ Z., HROCH T., ŠTĚDRÁ V., ČERNÝ M., ŘÍHA J., ČERVINKA R., BAIER J., DUDKOVÁ I., DUŠEK K., FRANĚK J., GONDOLLI J., GVOŽDÍK L., HOLEČEK J., HOKR M., JANKOVEC J., JELÍNEK J., JELÍNEK J., KACHLÍKOVÁ R., KALÁB Z., KLAJMON M., KOLOMÁ K., KOUŘIL M., KRÁLOVCOVÁ J., KUNCEOVÁ E., KŮRKOVÁ I., MARYŠKA J., MILICKÝ M., NÝVLT D., ONDRA P., PACHEROVÁ P., POLÁK M., RAPPRICH V., RUKAVIČKOVÁ L., STEINOVÁ J., SVOBODA J., ŠÍR P., ŠVAGERA O., VAŠIČEK R., VAVRO M., VOPÁLKA D., UHLÍK J., ZEMAN O., ŽÁČEK V. (2018d): Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště. Hodnocení vhodnosti lokality pro umístění úložiště VJP a RAO z hlediska dlouhodobé bezpečnosti. Lokalita Čertovka. Závěrečná zpráva. – MS SÚRAO, TZ 277/2018, 123 s.

HAVLOVÁ V., PERTOLDOVÁ J., BUKOVSKÁ Z., HROCH T., ŠTĚDRÁ V., UHLÍK J., ŘÍHA J., ČERVINKA R., BAIER J., BURIÁNEK D., ČERNÝ M., DUDKOVÁ I., DUŠEK K., FRANĚK J., GONDOLLI J., HOKR M., HOLEČEK J., JANKOVEC J., JELÍNEK J., JELÍNEK J., KACHLÍKOVÁ R., KALÁB Z., KLAJMON M., KOLOMÁ K., KOUŘIL M., KRÁLOVCOVÁ J., KUNCEOVÁ E., MARYŠKA J., MILICKÝ M., NÝVLT D., ONDRA P., PACHEROVÁ P., POLÁK M., RAPPRICH V., RUKAVIČKOVÁ L., STEINOVÁ J., SVOBODA J., ŠÍR P., ŠVAGERA O., VAŠIČEK R., VAVRO M., VOPÁLKA D., ZEMAN J., ZEMAN O. (2018e): Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště. Hodnocení vhodnosti lokality pro umístění úložiště VJP a RAO z hlediska dlouhodobé bezpečnosti. Lokalita Horka. Závěrečná zpráva. – MS SÚRAO, TZ 280/2018, 117 s.

HAVLOVÁ V., PERTOLDOVÁ J., BUKOVSKÁ Z., HROCH T., ŠTĚDRÁ V., ČERNÝ M., ŘÍHA J., DUDKOVÁ I., DUŠEK K., FRANĚK J., GONDOLLI J., GVOŽDÍK L., HOKR M., HOLEČEK J., JANKOVEC J., JELÍNEK J., JELÍNEK J., KACHLÍKOVÁ R., KALÁB Z., KOUŘIL M., KRÁLOVCOVÁ J., KLAJMON M., KOLOMÁ K., KUNCEOVÁ E., MARYŠKA J., MILICKÝ M., NÝVLT D., ONDRA P., PACHEROVÁ P., POLÁK M., RAPPRICH V., RUKAVIČKOVÁ L., STEINOVÁ J., SVOBODA J., ŠÍR P., ŠVAGERA O., VAŠIČEK R., VAVRO M., VOPÁLKA D., UHLÍK J., ZEMAN J., ZEMAN O. (2018f): Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště. Hodnocení vhodnosti lokality pro umístění

úložiště VJP a RAO z hlediska dlouhodobé bezpečnosti. Lokalita Magdaléna. Závěrečná zpráva. – MS SÚRAO, TZ283/2018, 122 s.

HAVLOVÁ V., PERTOLDOVÁ J., BUKOVSKÁ Z., VERNER K., HROCH T., ŠTĚDRÁ V., UHLÍK J., ŘÍHA J., ČERVINKA R., BAIER J., BURIÁNEK D., ČERNÝ M., DUDKOVÁ I., DUŠEK K., FRANĚK J., GONDOLLI J., GVOŽDÍK L., HOKR M., HOLEČEK J., JELÍNEK J., KACHLÍKOVÁ R., KALÁB Z., KLAJMON M., KOLOMÁ K., KOUŘIL M., KRÁLOVCOVÁ J., KRYŠTOFOVÁ E., KUNCEOVÁ E., MARYŠKA J., MILICKÝ M., NÝVLT D., ONDRA P., POLÁK M., RAPPRICH V., RUKAVIČKOVÁ L., STEINOVÁ J., SVOBODA J., ŠÍR P., ŠVAGERA O., VAVRO M., VOPÁLKA D., VAŠÍČEK R., ZEMAN J., ZEMAN O. (2018g): Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště. Hodnocení vhodnosti lokality pro umístění úložiště VJP a RAO z hlediska dlouhodobé bezpečnosti. Lokalita Kraví hora. Závěrečná zpráva. – MS SÚRAO, TZ 282/2018, 130 s.

HAVLOVÁ V., PERTOLDOVÁ J., BUKOVSKÁ Z., HROCH T., ŠTĚDRÁ V., JANKOVEC J., ŘÍHA J., ČERVINKA R., BAIER J., ČERNÝ M., DUDKOVÁ I., DUŠEK K., FRANĚK J., GONDOLLI J., GVOŽDÍK L., HANŽL P., HOKR M., HOLEČEK J., HRDLÍČKOVÁ K., JELÍNEK J., JELÍNEK J., KACHLÍKOVÁ R., KALÁB Z., KLAJMON M., KOLOMÁ K., KRÁLOVCOVÁ J., KOUŘIL M., KRYŠTOFOVÁ E., KUNCEOVÁ E., MARYŠKA J., MILICKÝ M., NÝVLT D., ONDRA P., PACHEROVÁ P., POLÁK M., RAPPRICH V., RUKAVIČKOVÁ L., SEDLÁČKOVÁ I., SOEJONO I., STEINOVÁ J., SVOBODA J., ŠÍR P., ŠVAGERA O., VAŠÍČEK R., VAVRO M., VOPÁLKA D., UHLÍK J., ZEMAN J., ZEMAN O. (2018h): Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště. Hodnocení vhodnosti lokality pro umístění úložiště VJP a RAO z hlediska dlouhodobé bezpečnosti. Lokalita EDU-západ. – MS SÚRAO, TZ 279/2018, 122 s.

HAVLOVÁ V., PERTOLDOVÁ J., HROCH T., ŠTĚDRÁ V., JANKOVEC J., ŘÍHA J., ČERVINKA R., NAHODILOVÁ R., BAIER J., BUKOVSKÁ Z., ČERNÝ M., DUDKOVÁ I., DUŠEK K., FRANĚK J., GONDOLLI J., GVOŽDÍK L., HOKR M., HOLEČEK J., JELÍNEK J., KACHLÍKOVÁ R., KALÁB Z., KOLOMÁ K., KLAJMON M., KRÁLOVCOVÁ J., KRYŠTOFOVÁ E., MARYŠKA J., MILICKÝ M., ONDRA P., PACHEROVÁ P., PEŘESTÝ V., POLÁK M., ŘIHOŠEK J., RUKAVIČKOVÁ L., STEINOVÁ J., SVOBODA J., ŠÍR P., UHLÍK J., VAŠÍČEK R., VAVRO M., VOPÁLKA D., ZEMAN O. (2018i): Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště. Hodnocení vhodnosti lokality pro umístění úložiště VJP a RAO z hlediska dlouhodobé bezpečnosti. Lokalita ETE-jih. Závěrečná zpráva. – MS SÚRAO, TZ 284/2018, 118 s.

HRADECKÝ P., LOJKA R., MLČOCH B., ŠEBESTA J., KOTKOVÁ J., KNĚSL I., SKÁCELOVÁ Z., HRAZDÍRA P., ŽÁČEK V., VONDROVIC L., KYCL P., GODÁNY, J., SKÁCELOVÁ D., BURIÁNEK D., SIDORINOVÁ T., KUNCEOVÁ E., SMYČKOVÁ L., JANDERKOVÁ J., KRÁLOVÁ L. (2012): Vysvětlivky k základní geologické mapě ČR 1:25 000 list 11–224 Valeč – MS Česká geologická služba, Praha, 161 s.

HRNČIAROVÁ T., MACKOVČIN P., ZVARA I. (2009): Atlas krajiny České republiky. Praha, MŽP ČR, Průhonice, Výzkumný ústav ST pro krajinu a okrasné zahradnictví, ISBN 978-80-85116-59-5, 331 s.

HROCH T., PAČES T. (2015): Erozní stabilita lokalit. – MS SÚRAO, TZ 25/2015, Praha.

CHÁB J., STRÁNÍK Z., ELIÁŠ M. eds. (2007): Geologická mapa České republiky 1 : 500 000. Česká geologická služba. Praha.

CHÁB J., ŽÁČEK V. (1994): Metamorphism of the Teplá Crystalline Complex – KTB Report 94-3, 33–37.

CHLUPÁČ I., ŠTORCH P. (1992): Regional division of the Bohemian Massif in Czech Republic. – Report of Committee for Regional Geologic Classification. – Čas. Mineral. Geol. 37: 257–275.

- KABELE P., ŠVAGERA O., SOMR M., NEŽERKA V., ZEMAN J., JELÍNEK J., BUKOVSKÁ Z., SOEJONO I., FRANĚK J. (2018): Mathematical modelling of brittle fractures in rock mass by means of the DFN method. – MS SÚRAO, TZ 286/2018, Praha, 100 str.
- KAČURA G (1980): Minerální vody Severočeského kraje. – MS Čes. geol. služ. Praha.
- KETTNER R. (1913): O poměru svorů k fylitům a rulám na Žluticku. – Rozpr. Čes. Akad. Věd 22, II, č. 43, Praha.
- KLOMÍNSKÝ J., JARCHOVSKÝ T., RAJPOOT G. S. (2010): Atlas of plutonic rocks and orthogneisses in the Bohemian Massif. – Česká geologická služba, Praha.
- KOLÁŘOVÁ M, MYSLIL V. (1979): Minerální vody Západočeského kraje. – MS Čes. geol. služ. Praha.
- KOPAČKOVÁ V., JELÍNEK J., ŠVAGERA O., HROCH T., KOUCKÁ L., JELÍNEK J., SKÁCELOVÁ Z., FÁROVÁ K. (2017): Morfostrukturní analýza širšího okolí průzkumných území HÚ pomocí DPZ. Závěrečná zpráva. – MS SÚRAO, TZ 115/2017, Praha.
- KRAJÍČEK L., SKOŘEPA Z., HUBÁČEK O., MAREK P. (2020): Hodnocení potenciálních lokalit HÚ dle klíčových environmentálních kritérií. – MS SÚRAO, TZ 456/2020, Praha.
- KRÁSNÝ J., KNĚŽEK M., ŠUBOVÁ A., DAŇKOVÁ H., MATUŠKA M., HANZEL V. (1982): Odtok podzemní vody na území Československa. Český hydrometeorologický ústav. Praha.
- LEVÝ O., LINHARTOVÁ R., FILIPSKÝ D., ŠTAINBRUCH J. (2019a): Ověření geologických struktur lokality Čertovka geofyzikálními metodami. Závěrečná zpráva. – MS SÚRAO, TZ 432/2019, 84 s.
- LEVÝ O., FILIPSKÝ D., GRINČ M., LINHARTOVÁ R., KAROUS M. (2019b): Geofyzikální výzkum hlubokých struktur a geometrie horninového masivu. Závěrečná zpráva. – MS SÚRAO, TZ 440/2019, MS SÚRAO, Praha
- LISTRINO M., WILSON M. (2007): The circum-Mediterranean anorogenic Cenozoic igneous province. – Earth-Science Reviews 81, 1–65.
- MÁLEK J., PRACHAŘ I., VACKÁŘ J., MAZANEC M. (2018): Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit vybraných pro umístění hlubinného úložiště. Expertní posouzení. – MS SÚRAO, TZ 232/2018, Praha.
- MAREK J., SKOŘEPA J., NAVRÁTILOVÁ V., SKOPOVÝ J., SLOVÁK J., TESAŘ M., ČERNÝ J. (2005): Kritéria pro zúžení vybraných lokalit a kategorizace tektonických zón zjištěných v rámci projektu. Technická zpráva – MS SÚRAO Praha.
- MAŠEK J. (2000): Stratigraphy of the Proterozoic of the Barrandian area – Bull. Geosci. 75, 197–200.
- MÍSAŘ Z., DUDEK, A., HAVLENA V., WEISS J. eds. (1983): Geologie ČSSR I, Český masív, 333 stran, Státní pedagogické nakladatelství, n.p. v Praze.
- MIXA P., SKÁCELOVÁ Z., PERTOLDOVÁ J., BUKOVSKÁ Z., BURIÁNEK D., DUDÍKOVÁ B., FRANĚK J., HRDLÍČKOVÁ K., JELÍNEK J., NAHODILOVÁ R., SOEJONO I., VERNER K., ŽÁČEK V. (2019): Shrnutí výsledků geologických a geofyzikálních výzkumných prací provedených v období 9/2017–6/2019 pro aktualizaci hodnocení potenciálních lokalit hlubinného úložiště RAO. – MS SÚRAO, TZ 412/2019, Praha, 427 s.

- MUFFELS C., WANG X., TONKIN M., NEVILLE C. (2014): User's Guide for mod-PATH3DU. S.S. Papadopoulos & Associates Inc., Bethesda, Ontario, USA.
- NÝVLT D. (2008): Paleogeografická rekonstrukce kontinentálního zalednění Šluknovské pahorkatiny. Ph.D. thesis, 103 s., Faculty of Science, Charles University, Praha.
- PAČES T., BÁRTA J., BREITER K., DOBEŠ P., HANÁK J., HAVLOVÁ V., HOLEČEK J., KLOMÍNSKÝ J., LAUFEK F., KOPAČKOVÁ V., KRÁLOVCOVÁ J., LUKEŠ J., MÁLEK J., MARYŠKA J., MRÁZOVÁ Š., PROCHÁZKA J., RUKAVIČKOVÁ L., SEDLÁČEK J., SCHENK V., SIDORINOVÁ T., SKARKOVÁ H., ŠAFANDA J., ULRICH S., VESELOVSKÝ F., VOKÁL A., ZÁRUBA J., ZEMAN A. (2010): Výzkum procesů pole vzdálených interakcí HÚ vyhořelého jaderného paliva a vysoce aktivních odpadů. – (arch. č. SÚRAO 32/10), SÚRAO, Praha.
- PEŠEK J. (1996): Geologie pánví středočeské svrchnopaleozoické oblasti – Český geologický ústav, Praha, 95 s.
- PERTOLDOVÁ J., MIXA P., BUKOVSKÁ Z., BURIÁNEK D., DUDÍKOVÁ B., FRANĚK J., HRDLÍČKOVÁ K., NAHODILOVÁ R., SOJONO I., VERNER K., ŽÁČEK V., PETYNIÁK O., KUČERA R., ŽÁČKOVÁ E., FIFERNOVÁ M., ZEMKOVÁ M. (2019): LOKALIZACE PERSPEKTIVNÍCH ÚZEMÍ PO GEOLOGICKÉ CHARAKTERIZAČNÍ PRÁCE A PERSPEKTIVNÍCH ÚZEMÍ PRO PROJEKTOVÉ PRÁCE HÚ. DŮVODOVÁ ZPRÁVA. – MS SÚRAO, TZ 446/2020, PRAHA.
- RÖHLICH P., ŠTOVÍČKOVÁ N. (1968): Die Tiefenstörungstektonik und deren Entwicklung im zentralen Teil der Böhmisches Masse. *Geologie* 17. Berlin, 670–694.
- RYBACH L., ČERMÁK V. (1982): Radioactive heat generation in rocks. V: Čermák V. et al. (eds): *Physical properties of rocks*. Vol. 1, Subvol. A. – Springer Verlag, Berlin, 373 str.
- SAKALA J., RAPPRICH V., PÉCSKAY Z. (2010): Fossil angiosperm wood and its host deposits from the periphery of a dominantly effusive ancient volcano (Doupovské hory Volcanic Complex, Oligocene–Lower Miocene, Czech Republic): systematics, volcanology, geochronology and taphonomy – *Bul. Geosci.* 85, 4, 617–629.
- SEIFERT A., BREITER K., BRÍZOVÁ E., DRÁBKOVÁ J., GODÁNY J., HRAZDÍRA P., JANDERKOVÁ J., KNĚSL I., LOJKA R., MALÍK J., RAPPRICH V., SIDORINOVÁ T., SKÁCELOVÁ D., SKÁCELOVÁ Z., SMYČKOVÁ L., ŠEBESTA J., ŠIMŮNEK Z., ŠTĚPÁNEK P., TRUBAČ J., VERNER K., PÁLENSKÝ P., FEDIUK F. (2013): Vysvětlivky k základní geologické mapě ČR, list Jesenice 12–133 – MS, Česká geologická služba, Praha.
- SCHALLER M., VON BLANCKENBURG F., HOVIUS N., KUBIK P. W. (2001): Large-scale erosion rates from in situ-produced cosmogenic nuclides in European river sediments, *Earth Planet. Sci. Lett.* 188, s. 441–458.
- SVOBODA J. ED. (1983): *Encyklopedický slovník geologických věd A–M*. 917 stran, Nakladatelství Československé akademie věd. Praha.
- ŠPAČEK K. (1969): Inventarisace ložisek stavebních nerostných surovin. Dílčí závěrečná zpráva pro území mapy 1:50 000 M-33-63-D (Jesenice). – MS Čes. geol. služ. – Geofond. Praha.
- ŠPAČEK K. (1972): ČistECKO-jesenický masív. Surovina: kámen. – MS Čes. geol. služ. – Geofond. Praha.
- ŠPAČEK K. (2007): Přehodnocení zásob ložiska Žihle, číslo ložiska: 3 057 800, surovinový druh: cihlářská surovina. Dodatek k závěrečným zprávám Žihle-sever 01 84 1046, archivní číslo Geofondu FZ6094, Žihle 01 80 1092. GF FZ006853. – ČGS Geofond Praha.

- TYRÁČEK J., WESTAWAY R., BRIDGLAND D. (2004): River terraces of the Vltava and Labe (Elbe) system, Czech Republic, and their implications for the uplift history of the Bohemian Massif. – *Proceedings of the Geologists Association*, 115, 101–124.
- UHLÍK J., ČERNÝ M., BAIER J., MILICKÝ M., POLÁK M., GVOŽDÍK L., KRÁLOVCOVÁ J., GRECKÁ M., RUKAVIČKOVÁ L. (2018): Detailní hydrogeologické modely lokalit. – MS SÚRAO, TZ 323/2018, Praha.
- ULRYCH J., LLOYD F., BALOGH K. (2003): Age relations and geochemical constraints of Cenozoic alkaline volcanic series in W Bohemia, a review – *Geolines*, 15, 168–180.
- ULRYCH J., KRMÍČEK L., TOMEK Č., LLOYD F.E., LADENBERGER A., ACKERMAN L., BALOGH K. (2016): Petrogenesis of Miocene alkaline volcanic suites from Western Bohemia: Whole rock geochemistry and Sr-Nd-Pb isotopic signatures. *Geochemie der Erde*, 76, 77 – 93.
- VAŇKOVÁ V., BARTOŠEK J., CHLUPÁČOVÁ M., MATOLÍN M. (1979): Radioactivity and heat production of rocks from the Bohemian Massif and the West Carpathians. In: *Geodynamic Investigations in Czechoslovakia*, 257–263. – Veda, Bratislava.
- VENERA Z., SCHULMANN K., KRÖNER A. (2000): Intrusion within a transtensional tectonic domain: the Čistá granodiorite (Bohemian Massif) structure and rheological modelling – *J. Struct. Geol.* 22, 1437–1454.
- VOKÁL A., POSPÍŠKOVÁ I., VONDROVIC L., KOVÁČIK M., STEINEROVÁ L., DUSÍLEK P., WOLLER F. (2017): Požadavky, indikátory vhodnosti a kritéria výběru lokalit pro umístění hlubinného úložiště. MP.22, revize 3. – MS SÚRAO, Praha.
- VONDROVIC L., AUGUSTA J., VOKÁL A., HAVLOVÁ V., KONOPÁČOVÁ K., LAHODOVÁ Z., POPELOVÁ E., URÍK J., BUKOVSKÁ Z., BUTOVIČ A., FRANĚK J., HROCH T., JELÍNEK J., KOBYLKA D., KRAJÍČEK J., MILICKÝ M., MIXA P., PERTOLDOVÁ J., SKOŘEPA Z., ŠTĚDRÁ V., ŠVAGERA J., UHLÍK J., ZAHRADNÍK O. (2019): METODIKA ZÚŽENÍ POČTU LOKALIT PRO HLUBINNÉ ÚLOŽIŠTĚ V ČR V LETECH 2019–2020. – MS SÚRAO, TZ 423/2019, PRAHA.
- WELLMANN F., REGENAUER-LIEB K. (2012): Uncertainties have a meaning: Information entropy as a quality measure for 3-D geological models. *Tectonophysics*. 526-529. 207-216. 10.1016/j.tecto.2011.05.001.
- WOLLER F. (2006): Provedení geologických a dalších prací pro hodnocení a zúžení lokalit pro umístění hlubinného úložiště. Zkrácená závěrečná zpráva sdružení GEOBARIÉRA. Technická zpráva – MS SÚRAO Praha.
- ZAHRADNÍK O. (2020): Doplněk ke studiím umístitelnosti HÚ v kandidátních lokalitách, Závěrečná zpráva. – MS SÚRAO, TZ 442/2019, Praha.
- ZOUBEK V. (1948): Poznámky ke geologii českého masivu – *Sbor. Stát. geol. úst. ČSR*, 15, 339–398, Praha.
- ŽÁČEK V., CHÁB J. (1993): Metamorphism in the Teplá Upland, Bohemian Massif, Czech Republic (Preliminary report) – *Věst. Čes. geol. Úst.* 68, 3, 33–37.
- ŽÁČEK V., BŘÍZOVÁ E., DRÁBKOVÁ J., HAVLÍČEK P., HOŠEK J., HRAZDÍRA P., JANDERKOVÁ J., KOTKOVÁ J., KNĚSL I., LOJKA R., MALÍK J., MARTÍNEK K., RAPPRICH V., SIDORINOVÁ T., SKÁCELOVÁ D., SKÁCELOVÁ Z., ŠIMŮNEK Z., VERNER K. (2015): Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1:25 000, list 11–244 Žlutice – MS, Česká geologická služba, Praha, 120 s.

Zákony a vyhlášky

IAEA (2011a): Disposal of Radioactive Waste, Specific Safety Requirements, No. SSR-5, Pub. 1449. – International Atomic Energy Agency, Vienna.

IAEA (2011b): Geological disposal facilities, Specific Safety Guide, SSG-14, Pub. 1483, Appendix I” Siting of geological disposal facilities. – International Atomic Energy Agency, Vienna.

IAEA (2016): Site Evaluation for Nuclear Installations, Safety Requirements No. NS-R-3 (Rev. 1), IAEA Safety Standards. – International Atomic Energy Agency, Vienna.

VYHLÁŠKA č. 378/2016 Sb., o umístění jaderného zařízení. In: Sbírka zákonů, 2016. – Částka 151, 5989–5997.

www stránky:

ISVS – VODA (www.voda.gov.cz, údaje za rok 2018)

MPO FR-TI1/367. Projekt Výzkum vlivu mezizrnné propustnosti granitů na bezpečnost hlubinného ukládání do geologických formací a vývoj metodiky a měřicí aparatury (2009–2013). <https://www.rvvi.cz/cep?s=jednoduche-vyhledavani&ss=detail&n=0&h=FR-TI1%2F367>

SURIS - <https://mapy.geology.cz/suris/>



SÚRAO

SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ
RADIOAKTIVNÍCH
ODPADŮ

NAŠE
BEZPEČNÁ
BUDOUCNOST

info@surao.cz | www.surao.cz