Technická zpráva 453/2020

HODNOCENÍ POTENCIÁLNÍCH LOKALIT HÚ Z HLEDISKA KLÍČOVÝCH KRITÉRIÍ DLOUHODOBÉ BEZPEČNOSTI

LOKALITA HRÁDEK

Autoři: Václava Havlová, Jaroslava Pertoldová, Petr Mixa, Tomáš Hroch, Veronika Štědrá, Jan Baier, Martin Milický a kolektiv

Praha, 2020

SÚRAO

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

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., BAIER J., MILICKÝ M., BUKOVSKÁ Z., ČERNÝ M., DUDÍKOVÁ B., DUŠEK K., FRANĚK J., GVOŽDÍK L., HOLEČEK J., JANKOVEC J., JELÍNEK J., KACHLÍKOVÁ R., KUČERA R., KUNCEOVÁ E., PETYNIAK O., POLLÁK M., RAPPRICH V., RUKAVIČKOVÁ L., ŠVAGERA O., UHLÍK J., VOJTĚCHOVÁ H., ŽÁČKOVÁ E. (2020): Hodnocení potenciálních lokalit HÚ z hlediska klíčových kritérií dlouhodobé bezpečnosti. Lokalita Hrádek. – MS SÚRAO, TZ 453/2020

ŘEŠITELÉ:

ÚJV Řež, a. s.[1], ČGS[2], PROGEO, s. r. o.[3], Technická univerzita v Liberci[4]

AUTORSKÝ KOLEKTIV: Havlová V.[1], Pertoldová J.[2], Mixa P.[2], Hroch T.[2], Štědrá V.[2], Baier J.[3], Milický M.[3], Bukovská Z.[2], Černý M.[3], Dudíková B.[2], Dušek K.[2], Franěk J.[2], Gvoždík L.[3], Holeček J.[2], Jankovec J.[3], Jelínek J.[2], Kachlíková R.[2], Kučera R.[2], Kunceová E.[2], Petyniak O.[2], Polák M.[3], Rapprich V.[2], Rukavičková L.[2], Švagera O.[2], Uhlík J.[3], Vojtěchová H.[1], Žáčková E.[2]

Lukáš Vondrovic	**Václava Havlová**
Manažer projektu (SÚRAO)	Manažer projektu (*ÚJV Řež, a.s*)
30.1.2020	30.1.2020

SÚRAO

Obsah

1 Úvod 2

2 Vstupní předpoklady hodnocení 4

3 Přehled hodnocených kritérií významných z hlediska dlouhodobé bezpečnosti HÚ 7

4 Geologické charakteristiky lokality 11

4.1 Kritérium K3 Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků 11

4.1.1 Regionálně geologická stavba území 11

4.1.2 Indikátor K3a Stupeň křehkého porušení masivu – zlomové struktury 13

4.1.3 Indikátor K3b Stupeň křehkého porušení masivu – puklinové systémy 22

4.1.4 Indikátor K3c Stupeň duktilní deformace 22

4.2 Kritérium K4 Variabilita geologických vlastností 23

4.2.1 Indikátor K4a Prostorová variabilita horninového prostředí 23

4.2.2 Indikátor K4b Petrologická variabilita hornin 23

4.3 Expertní zhodnocení lokality 24

4.3.1 Nejistoty spojené s hodnocenou oblastí 28

4.3.2 Vyhodnocení kritérií ve vztahu k legislativním požadavkům na prokázání vhodnosti lokality pro umístění HÚ (vylučující kritéria) 29

4.3.3 Hodnocení vybraných kritérií pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ 29

5 Hydrogeologické charakteristiky 31

5.1 Vylučující kritéria 32

5.1.1 Přítomnost zvodní v izolační části úložiště 32

5.1.2 Obtížnost vytvoření hydrogeologických modelů a predikce vývoje hydrogeologických poměrů v lokalitě 33

5.2 Kritéria pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ 33

5.2.1 Kritérium K5 Charakteristika proudění vody v okolí úložiště a transportní charakteristiky 33

5.2.2 Kritérium K6 Identifikace a umístění drenážních bází 38

5.3 Expertní zhodnocení lokality 40

5.3.1 Nejistoty spojené s hodnocením hydrogeologických kritérií 40

5.3.2 Vyhodnocení kritérií ve vztahu k legislativním požadavkům na prokázání vhodnosti lokality pro umístění HÚ (vylučující kritéria) 40

5.3.3 Hodnocení vybraných kritérií pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ 41

6 Kritérium K7 Seismická a geodynamická stabilita 43

6.1 Vylučující kritéria 43
6.1.1 Zemětřesení a přítomnost potenciálně aktivních zlomů pro období statisíců let (seismická stabilita) 43
6.1.2 Pokles nebo výzdvih povrchu území (vertikální pohyby zemské kůry) 44
6.1.3 Postvulkanické jevy 44
6.2 Hodnocení vybraných kritérií pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ 44
6.2.1 Indikátor K7a Hodnota maximálního horizontálního zrychlení 44
6.2.2 Indikátor K7b Výškový gradient 45
6.2.3 Indikátor K7c Procentuální podíl plochy reliéfu postiženého a přetvořeného mladými cykly zpětné eroze a svahovými deformacemi 45
6.2.4 Indikátor K7d Výskyt vulkanických hornin paleogenního až holocenního stáří a kyselek 45
6.3 Expertní zhodnocení 45
6.3.1 Nejistoty spojené s hodnocenou oblastí 46
6.3.2 Vyhodnocení kritérií ve vztahu k legislativním požadavkům na prokázání vhodnosti lokality pro umístění HÚ (vylučující kritéria) 46
6.3.3 Hodnocení vybraných kritérií pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ 47
7 Kritérium K8 Charakteristiky, které by mohly vést k narušení úložiště budoucími aktivitami člověka 49
7.1 Vylučující kritéria 49
7.1.1 Poddolovaná území a stará opuštěná důlní díla 49
7.1.2 Přítomnost zásob nerostných surovin 50
7.1.3 Přítomnost zdrojů podzemní vody či geotermální energie 53
7.2 Kritéria pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ 54
7.2.1 Indikátor K8a Ložiskové poměry na lokalitě 54
7.3 Expertní zhodnocení lokality Hrádek 54
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 (vylučovací kritéria) 55
7.3.3 Hodnocení vybraných kritérií pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ 55
8 Celkové zhodnocení lokality Hrádek ve vztahu k vylučujícím kritériím a kritériím porovnávacím 57

Seznam použitých zkratek:

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 rezistivity 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, moldanubikum, Hrádek

Abstract

This report summarizes the available data from Hrádek 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, Moldanubian zone, Hrádek

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, společnostmi SG Geotechnika a.s., PROGEO, s.r.o., 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 navazujících 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 enviromentální 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 Hrádek.

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 hlubinného úložiště (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 Hrádek 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 Hrádek je realizováno na území 3D detailního hydrogeologického modelu (Baier et al. 2018), který byl aktualizován (Baier et al. 2020) zpracováním dat z nového strukturního schématu (Mixa et al. 2019).

Geologická kritéria (včetně vylučujících kritérií) jsou hodnocena 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 (Jankovec et al. 2020), do stanovení indikátorů je zahrnuta plocha podzemní části HÚ z Doplňku ke studiím umístitelnosti HÚ v kandidátních lokalitách (Zahradník et al. 2020).

Hodnocení kritéria **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 odpovídající požadavku vyhlášky č. 378/2016 Sb.;
- indikátor *K7a Hodnota maximálního horizontálního zrychlení* je hodnocen v rozsahu vzdálenosti 300 km od pozemku jaderného zařízení odpovídající metodice PSHA (Málek et al. 2018);
- indikátor *K7b Výškový gradient* je hodnocen v rozsahu regionálního 3D strukturně geologického modelu (Franěk et al. 2018);
- indikátor *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 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 kritéria **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 1135130 Y 681920;
- X 1135400 Y 682460;
- X 1131650 Y 685650;
- X 1127950 Y 684910;
- X 1127950 Y 683726;
- X 1127950 Y 681400;
- X 1130904 Y 678924;
- X 1132692 Y 678908;
- X 1133013 Y 678913.

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

Hrádek-jihovýchod

- X 1133156 Y 682477;
- X 1131277 Y 681527;
- X 1131066 Y 678987;
- X 1132664 Y 678996;
- X 1133550 Y 680113;
- X 1133719 Y 681795.

Hrádek-severozápad

- X 1129387 Y 681787;
- X 1129800 Y 681936;
- X 1130172 Y 682061;
- X 1130559 Y 682161;
- X 1130717 Y 682177;
- X 1131058 Y 682153;
- X 1131344 Y 682138;
- X 1131619 Y 682161;
- X 1131829 Y 682220;
- X 1132190 Y 682370;
- X 1130107 Y 683891;
- X 1128957 Y 682581.

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 bude hodnocená lokalita 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). Nepřijatelná 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 (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)

ID	Název kritéria	Popis kritéria/ hodnota	Zdroj	Hodnocené území
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 (v okruhu do 5 km od PÚPP)
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 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 porovnání lokalit pro umístění HÚ.

Tab. 2 Kritéria a jejich indikátory významné z hlediska dlouhodobé bezpečnosti, hodnocená pro danou lokalitu s cílem vyhodnocení 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

ID	Název kritéria	ID	Název indikátoru	Charakter požadavku
		K4b	Petrologická variabilita hornin	Vylučující/porovnávací
K5	Charakteristika proudění vody v okolí HÚ a transportní charakteristiky	K5a	Doba dotoku z HÚ k oblasti drenáže	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 ($l.s^{-1}.km^{-2}$)	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
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

Na základě platného regionálně geologického členění Českého masivu patří horninové komplexy širšího okolí lokality Hrádek regionálnímu celku moldanubika, respektive k jednotkám moldanubika jižních Čech (Chlupáč a Štorch 1992). Byly zde identifikovány horniny jednotvárné skupiny moldanubika (migmatity, migmatitizované pararuly a pararuly), pestré vložky v podobě erlanů, amfibolitů a kvarcitů, granitoidy moldanubického plutonického komplexu (těleso mrákotínského granitu a granitu typu Čeřínek) a sedimenty pokryvných útvarů, mezi které patří relikty sladkovodního neogénu a kvartérní uloženiny ve formě svahových a říčních sedimentů. Kontakt jednotvárné skupiny moldanubika a moldanubického plutonického komplexu je intruzivní, daný intruzí plutonu do vysoce metamorfovaných jednotek pestré skupiny.

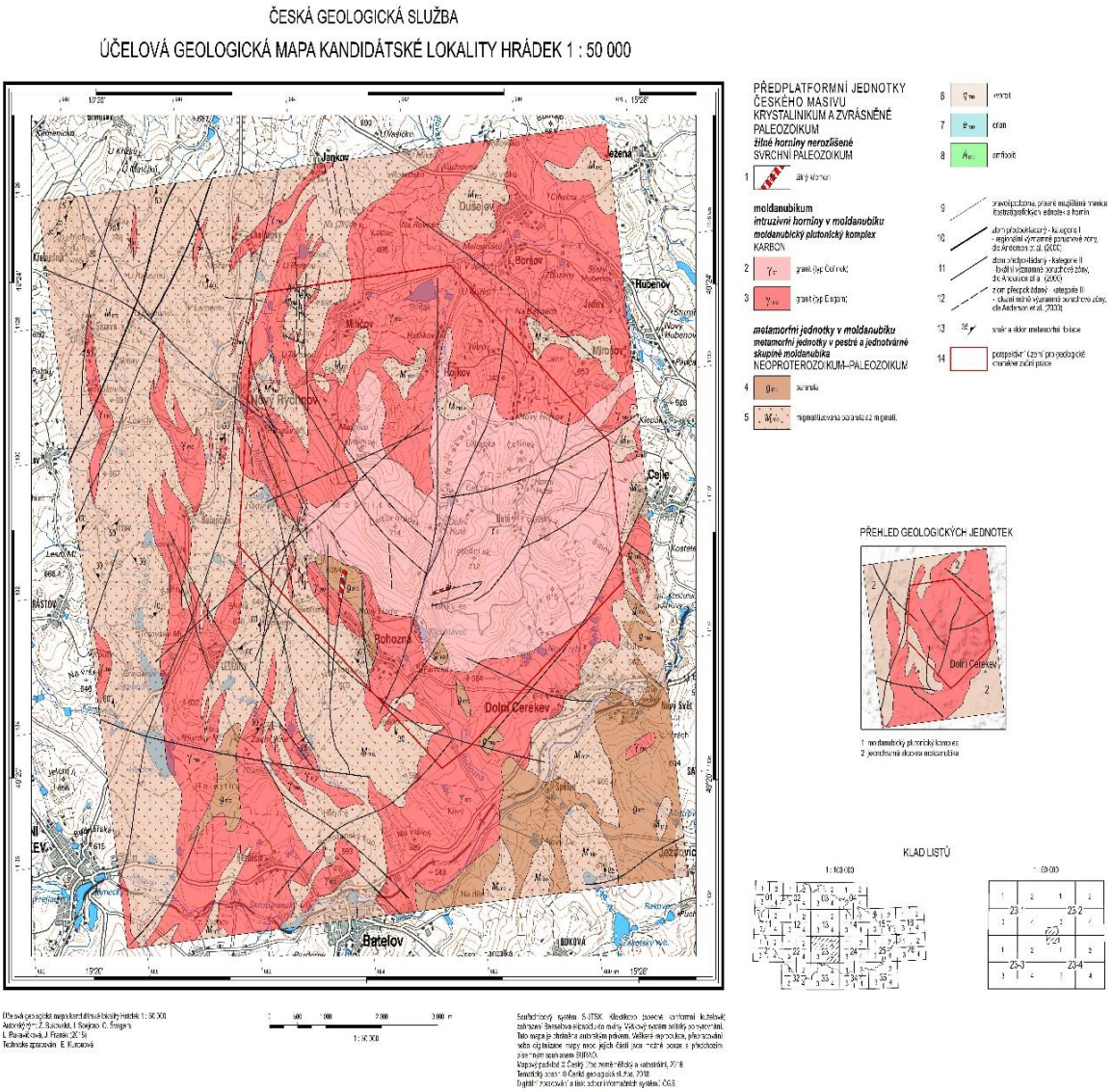
Popis geologické stavby

Geologické podloží lokality Hrádek tvoří převážně granity typu Eisgarn a Čeřínek, které pronikají metamorfovanými horninami jednotvárné skupiny moldanubika (Obr. 1).

Hlavním horninovým typem monotónní jednotky moldanubika jsou biotitické a silimanit-biotitické pararuly s variabilní mírou migmatitizace, biotitické a cordierit-biotitické migmatity. V těchto horninách se ojediněle nacházejí vložky erlanů, kvarcitů, amfibolitů, metamorfovaných vápenců a dolomitů. Během variských orogenních procesů (~360–329 Ma; např. Franke 2000) docházelo k polyfázové metamorfóze, tavení a deformaci těchto hornin. V horninách této části jednotvárné skupiny byly zaznamenány teplotně-tlakové podmínky střední kontinentální kůry (P: 3–8 kbar a T: 630–760 C; Linner 1996, Racek et al. 2006, Žák et al. 2011). V době okolo 340 Ma probíhaly procesy první fáze retrográdní metamorfózy za vysokých teplot a středních až nízkých tlaků, parciální tavení hornin (migmatitizace) a jejich polyfázová deformace (Schulmann et al. 2009). Další význačná vývojová etapa je spjata se vznikem regionální stavby v metamorfovaných horninách popisované oblasti. Jejím původcem je kolize tepelsko-barrandienské jednotky ze SZ (346–337 Ma; Verner et al. 2014) a podsouvání jednotky brunovistulika (346–330 Ma; Suess 1926; Schulmann et al. 2005, 2008, 2009; Tajčmanová et al. 2010; Soejono et al. 2010; Štípská et al. 2015), které zapříčinily gravitačně řízený kolaps a výzdvih dómovité struktury, a tudíž výstup magmat mrákotínského plutonu z úrovně střední kůry paralelně s okrajem jednotky brunovistulika do hornin monotónní jednotky. Okolní horniny monotónní jednotky byly exhumovány na úroveň svrchní kůry a zchlazeny alespoň o několik milionů let dříve, než došlo k formaci mrákotínských granitů (330-327 Ma; Verner et al. 2014). Během závěrečných fází výzdvihu hornin v období svrchního karbonu dochází k lokalizaci deformace a přechodu od duktilního ke křehkému chování. Jedná se zejména o střižné zóny, zlomové a puklinové poruchy, které byly spojeny s projevy lokální extenze, vmístěním žilných těles granitoidů, pegmatitů a křemenné výplně. Během kvartéru je území denudační oblastí, kde převládá transport a eroze materiálu.

Granitoidní horniny tvoří většinu geologického podloží na lokalitě Hrádek. Tyto granity jsou součástí moldanubického plutonického komplexu, v rámci lokality se jedná o granity typu Eisgarn, které tvoří široké spektrum hornin, jejichž stáří spadá do intervalu ~330–300 Ma (např. Breiter a Scharbert 1998; René 2000). Tyto horniny jsou interpretovány jako výsledek procesů anatexe kontinentální kůry a metasedimentárních hornin s omezeným příspěvkem plášťových komponent (Gerdes et al. 2000; Žák et al. 2011). Tyto granitoidy typu Eisgarn – mrákotínské granity – a granity typu Čeřínek (Zavřelová et al. 2009; Žák et al. 2011; Verner et al. 2014) – svým složením odpovídají peraluminickým, vysoce draselným granitoidům (S-typ) s podstatným zastoupením muskovitu a biotitu. Kontakty mrákotínských granitů, vůči metamorfovaným horninám, mají intruzivní charakter. Tyto kontakty tvoří prstovité průniky do okolních metamorfitů a upadají poměrně strmě k Z–SZ v západní části lokality a strmě k V-JV ve východní části lokality, v hloubce vyšší než 1,5 km se dle geofyzikálních dat jeví kontakty jako velmi strmé (Bukovská et al. 2016). Mají tak obvykle paralelní orientaci ve vztahu k regionální stavbě celého území. Granit typu Čeřínek je pozdnější intruzí, která tvoří peň v mrákotínských granitech – těleso s mírným protažením ve směru SV-JZ (Beneš et al. 2019c) – s poměrně dobře ohraničenými strmými kontakty, a liší se od ostatních granitů zejména složením a velikostí zrna. Ze dvou 2D gravimetrických modelů (Bukovská et al. 2016) vyplývá výrazný hloubkový dosah přítomných granitových těles, který pravděpodobně dosahuje i více než 10 km, resp. možná i více než 20 km dle plošných gravimetrických měření (Beneš et al. 2019c).

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



Obr. 1 Účelová geologická mapa lokality Hrádek dle Franěk et al. (2018) (aktualizovaná mapa zlomové sítě je na Obr. 4, in Mixa et al. 2019)

4.1.2 Indikátor K3a Stupeň křehkého porušení masivu – zlomové struktury

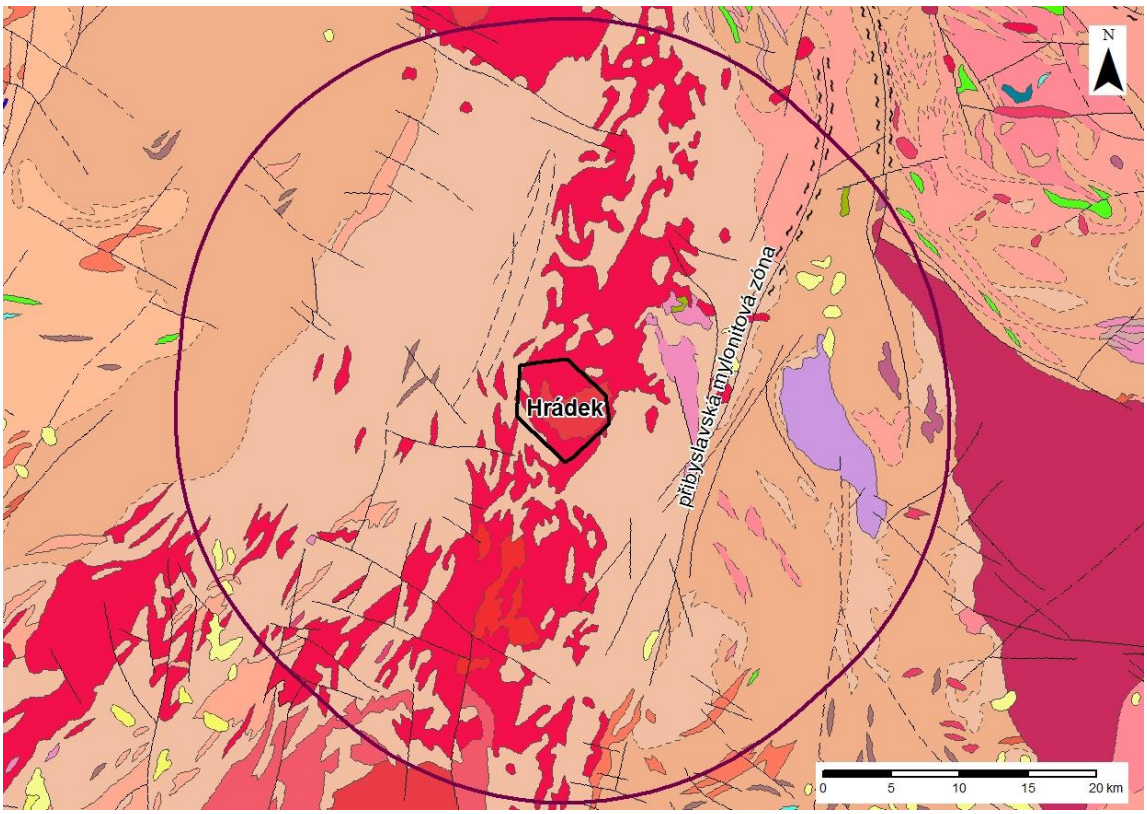
Charakteristika struktur křehké deformace vychází z archivních dat, která ne zcela dobře pokrývají lokalitu, dále z komplexní studie vmístění granitu Čeřínek (Verner et al. 2014), dále ze strukturní analýzy provedené v rámci dílčího projektu 3D modely (Bukovská et al. 2016; Franěk et al. 2018) a zejména z projektu Geofyzika (Mixa et al. 2019). Níže citované ID zlomových struktur byly převzaty z týchž projektů a zpráv.

Projevy křehké tektoniky jsou zastoupeny především zlomovými systémy a systémy střižných puklin, které mají v rámci území převážně strmou orientaci. Probíhají ve směru SSV–JJZ (paralelní s přibyslavskou mylonitovou zónou a jihlavskou brázdou) až S–J a v přibližně kolmé orientaci (ZSZ–VJV až V–Z) a nesou záznam polyfázové reaktivace. Plochy extenzních puklin přednostně upadají pod strmými úhly k J–JJZ nebo SSZ, dílčí maxima dále tvoří pukliny strmé orientace v průběhu V–Z a SV–JZ (Verner et al. 2014). Ve zprávě Skořepy et al. (2005) je

v území 3D regionálního modelu identifikováno pět dominantních puklinových setů, jejichž orientace jsou SZ–JV, SV–JZ, SSV–JJZ, S–J a V–Z.

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.



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

V širším regionu (okruh 25 km od lokalizace perspektivního území pro geologické charakterizační práce, Obr. 2) 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. Mezi nejvýraznější struktury patří zlomy s průběhem ~SSV–JJZ (v okolí Jihlavy, z části označované jako přibyslavská mylonitová zóna), které se vyskytují ve východní části vymezeného okruhu 25 km a dále paralelně orientované zlomové pásmo severně od lokality táhnoucí se od Humpolce k lokalitě. Druhou skupinou výrazného křehkého porušení v regionálním měřítku jsou zlomy a zlomové zóny s průběhem ZSZ–VJV, které se nacházejí jižně od lokality v okolí Žirovnice a Nové Včelnice, táhnoucí se k Telči, a severně od lokality v okolí Humpolce.

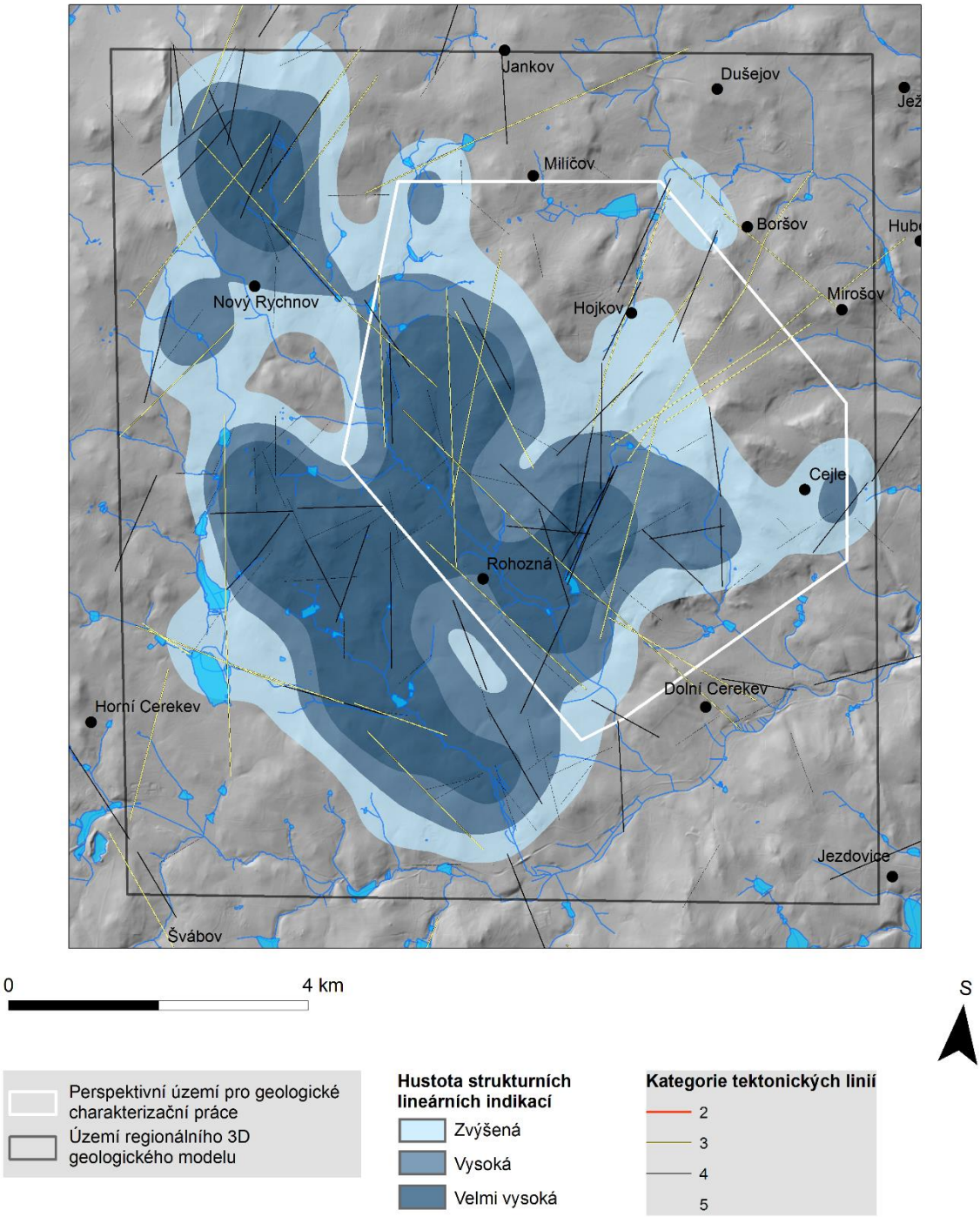
Morfotektonické zhodnocení území regionálního 3D geologického modelu

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. 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, studiem 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.

Rozložení strukturních lineárních indikací je v zájmovém území nerovnoměrné. Jsou soustředěny především v centrální až jihozápadní části zájmového území a v severozápadní části území regionálního 3D strukturně-geologického modelu. Tomuto rozložení odpovídají i hustotní maxima strukturních lineárních indikací (Obr. 3). Největší hustotní maximum, které vzniklo spojením několika dílčích celků, zaujímá celou jihozápadní část detailního území a táhne se dále k jihozápadu směrem na Horní Cerekev. Druhé, a svým rozsahem daleko menší maximum, se nachází severně od Nového Rychnova.

Ve zkoumaném území nebyla detekována jediná strukturní lineární indikace 1. ani 2. kategorie (Marek et al. 2005; Woller 2006). Ze 3. kategorie lineárních indikací jsou pro úložiště nejzajímavější indikace směru SZ–JV probíhající v okolí Rohozné a indikace směru S–J probíhající v západní části detailního území, která koresponduje se zlomy ID 33 a 34. Mezi detekovanými strukturními lineárními indikacemi a strukturně-geologickými podklady existuje vysoká míra podobnosti. Severně od Nového Rychnova je tato shoda velmi dobře patrná, kde dvě lineární indikace 3. kategorie korespondují se zlomy ID 4 a 12. Podobná situace je také ve střední části studované oblasti, kde dochází ke kontaktu mezi moldanubickými granity a migmatity metamorfních jednotek moldanubika.

Lineární indikace směru SZ–JV probíhající severně od obce Rohozná kopíruje hranici granitů Čeřínku a okolních granitů. Lineární indikace 3. kategorie stejného směru procházející údolím Pstruhového potoka koresponduje se zlomem ID 97. V západní části detailního území detekovaná lineární indikace směru S–J odpovídá kontaktu granitů moldanubického plutonu s lokálními migmatity. Ve východní části detailního území vystupuje velké množství lineárních indikací čtvrtého řádu směru SV–JZ až SSV–JJZ, které doprovází strukturní lineární indikace třetího řádu. Podobná situace je i v oblasti druhého hustotního maxima v severozápadní části území. Tyto v mapě (Obr. 3) hojně detekované strukturní lineární indikace jsou podpořeny maximy průběhů puklinových systémů (Kopačková et al. 2017).



Obr. 3 Klasifikované lineární indikace na lokalitě Hrádek 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 sítě (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 průzkumných prací. Všechny zde uvedené zlomy jsou v místech geofyzikálních profilů považované jako ověřené. Propojení jednotlivých anomálií na různých profilech je interpretační záležitost a v místech mimo profily jsou považované jako předpokládané.

Na lokalitě Hrádek lze v souvislosti s hloubkovým dosahem metod konstatovat, že významné poruchy byly zastiženy do stovek metrů, méně významné do cca 20–30 m, velmi často nelze hloubkový dosah poruch na základě získaných dat odhadovat. Množství anomálií, které zaznamenaly geofyzikální metody, nelze v suťovitém terénu masivu Čeřínek ověřit geologickým mapováním bez využití hlubších kopných prací vzhledem k tomu, že často nejsou poruchy zvodnělé a jedná se o mělké, zřejmě hloubkově nevýznamné, povrchové rozpukání masivu, kombinované se zvětrávacími procesy, zejména s projevy exfoliace, které jsou na některých výchozech patrné až do hloubky cca 3 a více metrů.

Místy se v těchto povrchových rozpukaných zónách drží voda a vzhledem k jejich nepropustnosti do větších hloubek lze pak lokálně pozorovat tvorbu rašelinišť. Pro zjištění hloubkového dosahu většiny zastižených tektonických poruch je limitujícím faktorem nízký dosah použitých geofyzikálních metod jen cca do 100 m, s výjimkou interpretací reflexní vibrační seismiky a plošných gravimetrických měření. Nicméně většina poruch interpretovaných z geofyzikálních měření se nezdá mít hlubší dosah, tomu také odpovídá často nulový projev těchto individuálních puklin či puklinových zón registrovatelný při úlomkovém mapování v terénu.

Poruchy klasifikované do 2. a 3. kategorie dle Anderssona et al. (2000) jsou zahrnuty do tektonického schématu lokality (Obr. 4). Projevy jednotlivých poruch v daných metodách byly převzaty z etapových zpráv Beneše et al. (2019a, b, c).

V rámci projektu Geofyzika (Mixa et al. 2019) byl kladen důraz na ověření a upřesnění větších poruchových (zlomových) zón v masivu Čeřínku a jeho okolí. Provedenými profily bylo ověřováno 27 zlomů dle Fraňka et al. (2018), z těchto lze vyjmenovat deset poruch, u kterých byly nalezeny indikace z hlediska geologického a hydrogeologického mapování a geofyzikálních měření a lze je považovat za „ověřené“ použitými metodami: ID 1, 33, 35, 42, 50, 61, 62, 78, 99, 129. Velmi často ale tyto poruchy mají alespoň v části odlišný průběh nebo se jejich poloha liší o řádově stovky metrů. Lze konstatovat, že alespoň u osmi poruch (ID 7, 29, 38, 60, 80, 112, 115, 123) nebyl zaznamenán jakýkoli projev v rámci provedených geofyzikálních měření a tyto poruchy tedy byly zrušeny. Více podrobností o jednotlivých ověřovaných strukturách (ID1–123) je uvedeno ve zprávě Mixa et al. (2019). U řady archivních zlomů, v okrajových částech vymezeného území, se nebylo možné vyjádřit k jejich ověření, protože přes ně nebyly vedeny geofyzikální profily. Nutno ale konstatovat, že tyto struktury jsou natolik vzdálené hodnoceným územím, že jejich přítomnost/nepřítomnost nemá žádný vliv na homogenitu případného perspektivního území pro projektové práce HÚ. Provedené geofyzikální a geologické práce ale vedly k ustanovení nových poruch ID 124–185, jejichž význam se různí.

Svahy a vrcholy masivu Čeřínku jsou charakteristické přítomností mrazových srubů a zejména mocných a rozsáhlých suťových polí. Proto je obvykle velmi komplikované geologicky mapovat přítomnost poruch pod touto sutí. Stran geologicky dokumentovaných poruch lze za významné považovat ty poruchy, u kterých byly nalezeny úlomky zlomových výplní, zejména hydrotermální křemen či brekcie. Takové výplně byly dokumentovány např. v případě poruch ID 99 v údolí Dolnohuťského potoka poblíž chatové osady u rybníka Klechtavec nebo v oblasti Na skalce (ID 129), nebo také ID 151, ID 155, ID 156, ID 173, ID 174. Množství zastižené křemenné žiloviny v oblasti jižního svahu Čertova hrádku je obtížně korelovatelné s poruchami, nicméně v minulosti (od 13. do začátku 20. stol.) zde bylo příležitostně těženo chudé polymetalické zrudnění vázané na křemenné žíly přibližně jv.–sz. průběhu.

Nejhlubší informace o poruchách na lokalitě poskytly metody reflexní vibrační seismika a plošná gravimetrie. Interpretace dat z plošné gravimetrie poskytuje plošný pohled na přítomné diskontinuity v hloubce větší než 0,5 km (Beneš et al. 2019c), zároveň velmi dobře dokumentuje rozsah intruze granitu Čeřínek. Tato data zahrnují jako nejvýraznější projevy poruch, které zřejmě odpovídají na povrchu poruchám ID 42, 61, 62, 99, 129, 144, 148, 159, 179, 185 a mimo zájmový masiv pak také dalším poruchám v oblasti, která nebyla předmětem výzkumu v tomto projektu nebo byla studována jen okrajově (zřejmě odpovídající poruchám ID 1, 2, 101). Plošná gravimetrie pak také jako nejméně porušené území identifikovala oblast ohraničenou poruchami ID 129, ID 62, ID 61 a ID 42.

Dle výsledků reflexní vibrační seismiky (Levý et al. 2019) jsou nejvýznamnějšími zlomy na lokalitě s hloubkovým dosahem alespoň okolo 500 m následující zlomy: ID 62 (východní okrajová porucha masivu Čeřínek), ID99/129 (dolnohuťský zlom), ID179, ID34. Další dílčí poruchy dosahují také nižších stovek metrů, ale zřejmě se, zejména v oblasti granitových masivů, jedná jen o rozpukání. Z hlediska reflexní vibrační seismiky pak homogennější prostředí v zájmovém masivu tvoří dva horninové bloky mezi poruchami ID 129 a ID 62, resp. a ID179 a ID 99.

Projev poruchových zón v metodě DEMP lze dobře sledovat v případě profilů HRA-09 a HRA-10, které zastihují jen jednu litologii, konkrétně granity typu Čeřínek. Odchylky z „nulového“ záznamu v DEMP dobře korelují se zónami snížených odporů, tedy poruchami nebo oblastmi rozpukání, v metodě DOP. Jedná se např. o 150–300 m v DOP a zároveň 200-300 m v DEMP profilu HRA-10 (porucha ID 41).

Porucha ID 62, která se jeví být poruchou omezující v. hranici masivu Čeřínku a byla zastižena na profilu HRA-15 a také HRA-02 (okolo 10350 m), má projev zejména v metodách DEMP a DOP. Granit typu Eisgarn je zde zjevně dosti porušený a projevuje se mírně odlišně než granity typu Eisgarn v jiných částech profilů (zejm. v metodách DOP, DEMP).

Významnou tektonickou zónu (a zřejmě nejvýznamnější v celé studované oblasti) tvoří porucha ID 99, která předurčuje průběh údolí Dolnohuťského potoka a skládá se z několika dílčích poruch, které místy anastomozují, místy jsou odskočené příčnými poruchami. Na profilu HRA-02 je tato porucha zastižena v DOP jako zóna porušení přes 400 m mocná na metráži 6820–7260 m, v DEMP se projevuje okolo 7200 m, v refrakčním seismickém řezu je zaznamenána na metráži 7000–7200 m, v hluboké reflexní vibrační seismice také kolem metráže 7100 m. Tato porucha je zastižena také na profilech HRA-13, HRA-14 a její větve jsou zřejmě zastiženy také na profilu HRA-04 (metráž okolo 3330 m), případně ID 151 (okolo 4070 m) na profilu HRA-12A (okolo 1550 m). Projev této poruchy je patrný až do hloubky cca

800 m. Zdá se, že se tato porucha štěpí do více méně významných poruch (viz tektonické schéma), jednou z takových poruch je např. ID 129.

Projev poruch je zřejmý také v řezech získaných metodou VES, kde např. na profilu HRA-05 korelují nízké zdánlivé odpory s poklesy odporů v DOP, zejména na metrážích 480–740 m (niva a terasa řeky Jihlavy), 2550–2700 m (ID 138) a 3830–4050 m (ID 139).

V severní části území je třeba zmínit významnější poruchu při okraji masivu Čeřínku v kontaktu s granity Eisgarn ID 144 (profil HRA-03, 5720 m), která se významně projevuje nejen v metodách DEMP a DOP, ale také v magnetometrii a gravimetrii. Přítomnost projevu na gravimetrické křivce nahrává významnějšímu rozpukání masivu na kontaktu s okolními horninami.

Mezi další významné poruchy v oblasti patří poruchy zastižené v okolí osady Na Bahnech v záznamu DOP na metráži 5700–5800 m, okolo 6290 m a 7000–7200 m (ID 147, 148, 149), na které je vázáno velké množství přítoků. Z hlediska zastižených úlomků nelze tyto poruchy geologicky spolehlivě prokázat, jsou identifikovány geofyzikálním měřením.

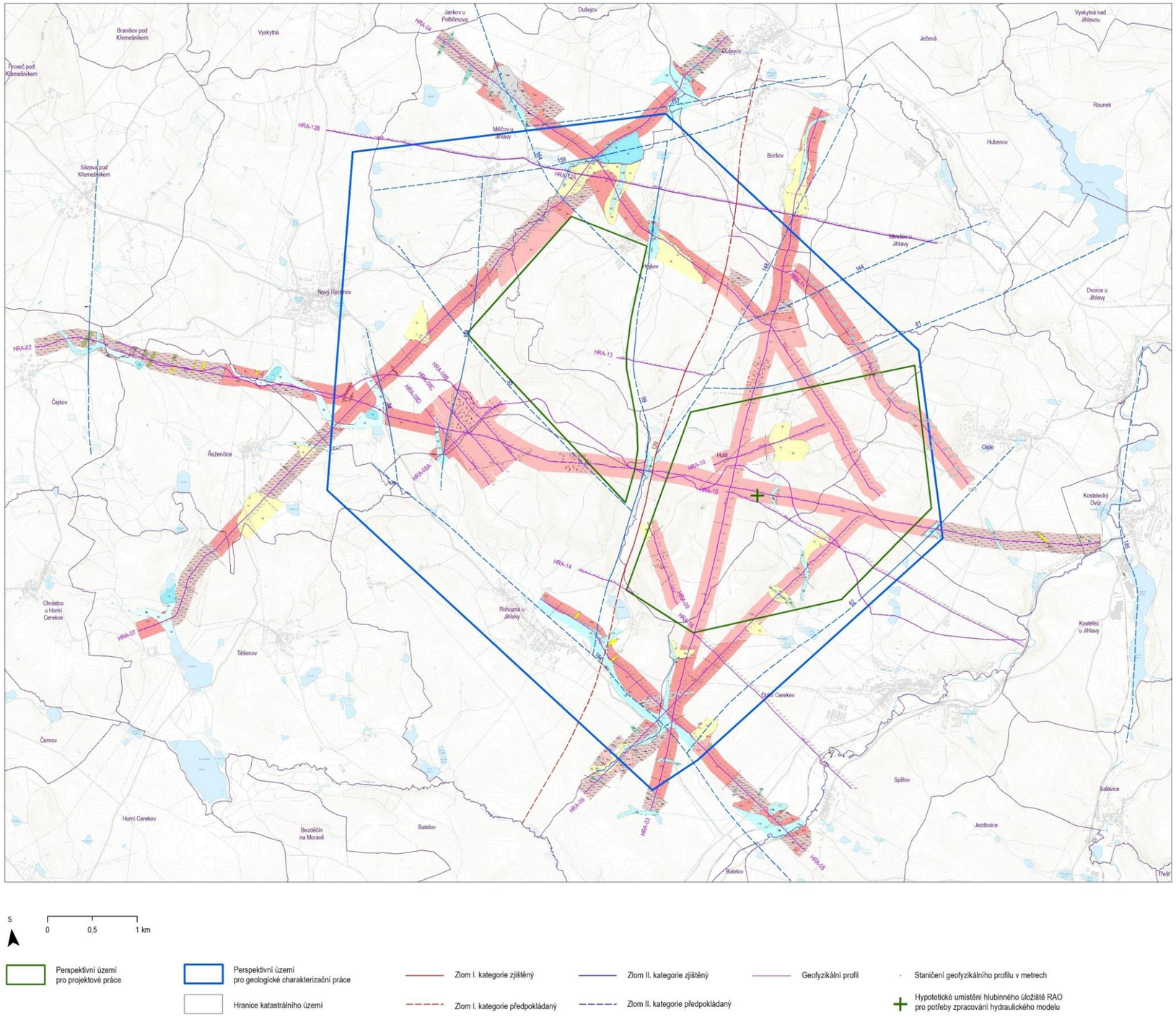
Na profilech HRA-08 byla kombinací metod DOP (HRA-08A až D) a ERT (HRA-08D) velmi dobře lokalizována porucha ID 178, výraznější porucha ID 179 a drobná porucha ve směru puklinového systému ID 180. Díky zastižení poruchy ID 179 lze alespoň zde odhadovat její sklon zhruba na cca 50° a upadání zhruba pod úhlem 290°, její projev je zaznamenán dle dosahu metody do 80 m pod povrch. Povrchový geologický projev těchto poruch bohužel nebyl zaznamenán, jedná se o vysoký les s množstvím bloků až kamenných moří v mírném svahu.

Na základě výsledků metody ERT lze sledovat průběh i sklon poruch, a to až do hloubky vyšších desítek metrů. Příkladem může být poruchová zóna na profilu HRA-11, kde je zastiženo několik poruch, jejichž projev je očekávaný alespoň do hloubky 40 m (ID 61), může jít o přípovrchovou rozpukanou zónu, která se projevuje v poměrně širokém pásmu, nicméně hlouběji pokračuje jen jako jedna porucha. V tomto místě je granitový masiv rozpukaný do cca 40–50 m alespoň v šířce 200 m, mapováním nebylo možné toto ověřit, vzhledem k přítomnosti podmáčeného lesa, kde nebylo nalezeno větší množství úlomků, jen sesucené kameny. Použití této metody také dobře zdůrazňuje zejména přípovrchové rozpukání a místy poměrně silnou vrstvu zvětralinového pokryvu (až 50 m). Metoda ERT jako jedna z mála identifikuje za příhodných podmínek (nižší mocnost zvětralin, zvodnění poruchy nebo puklinového sytému) směr a sklon zapadání významnějších zlomových struktur. To se projevilo také na poměrně dlouhém úseku profilu HRA-12A, kde byla metoda ERT realizována v rozsahu cca 1 km s hloubkovým dosahem cca 100 m. Výsledky ukazují zajímavé přípovrchové rozpukání masivu (na metráži 2400–2720 m, až do hloubky 50–60 m), přítomnost poruchy na metráži 2300 m a 2480 m (obě s hloubkovým dosahem alespoň 100 m, zapadající zřejmě poměrně strmě k SZ, resp. V/JV) i přítomnost tělesa amfibolitu a zbytků migmatitů v jinak granitovém okolí. V případě profilu HRA-13 zastihlo měření metodou ERT vodivou poruchu na metráži 200 m (zapadající zřejmě k V pod středními úhly či k JV nebo SV strměji), i poruchu provázející skalní bradlo Na skalce (150GCO0011) s významnou přítomností tektonických brekcií na metráži 560 m (zapadá zřejmě poměrně strmě k Z).

Všechny zmíněné poruchy se zároveň projevují v metodě DOP jako tenké vodiče, jejich projev v ostatních metodách je různý. Obdobný projev lokálních poruch lze vidět také na profilech HRA-12B (ID 99, DOP), HRA-14 (ID 99, DOP).

Dále od masivu Čeřínku v okolních metamorfovaných horninách, případně granitech typu Eisgarn, byly zaznamenány výrazně rozpukané zóny v oblasti dnes vyschlého rašeliniště PR Na Oklice, které se projevují jako zóna nízkých odporů v DOP na profilu HRA-04 na metráži 600–1200 m s projevem také v gravimetrické křivce. O kousek dále je zastižena podobně rozpukaná zóna, projevující se sníženými odpory v DOP, v oblasti PR Nad Svitákem, kterou zastihuje křížení tří profilů – HRA-04 (1950–2300 m), HRA-07 (7500–7900 m) a styk profilů HRA-12A a HRA-12B.

Vzorek zlomové výplně hydrotermálního křemene z lokality Na skalce (ID 99/129 – zlom dělící se do dvou větví, 150GCO0011) byl analyzován v laboratoři pomocí rentgenové difrakce s ohledem na lokální polymetalické zrudnění v oblasti, které obvykle nesou křemenné žíly. Rentgenová kvantitativní analýza prokázala pouze přítomnost křemene a dále slídového minerálu (pravděpodobně biotitu), Na-Ca živce, K-živce. Polymetalické zrudnění nebylo na vzorku zjištěno.



Obr. 4 Tektonické schéma lokality Hrádek (dle Mixa et al. 2019, Pertoldová et al. 2019)

4.1.3 Indikátor K3b Stupeň křehkého porušení masivu – puklinové systémy

Na základě terénních měření (Kabele et al. 2018 a Franěk et al. 2018) byly identifikovány hlavní směry puklinové sítě. Dle prostorové orientace byly identifikovány jednotlivé puklinové systémy. Nejčastěji se na lokalitě Hrádek vyskytují strmé pukliny (sklon 80–90°) probíhající zejména ve směrech V–Z, SV–JZ a SSV–JJZ a V–Z. Pukliny se středními sklony (sklon 60–40°) probíhající s.–j. směrem upadají generelně k V a Z. Pukliny subhorizontální (sklon 30–0°) se mimo zvětráváním vzniklých exfoliačních puklin, které byly z měření vyloučeny, na lokalitě vyskytují minimálně a kopírují trend puklin se středními sklony.

Dle geofyzikálních dat (Mixa et al. 2019) byly zjištěny slabé indikace křehkého porušení v sumárním rozsahu 1,15 km v rámci dokumentovaných geofyzikálních profilů. Jedná se o interpretované geofyzikální indikace křehkého porušení bez prokazatelné/předpokládané přítomnosti zlomových struktur 1. a 2. kategorie. Tyto zóny mohou být projevem zvětralinového pláště detekovaného v možném hloubkovém dosahu geofyzikálního měření (cca desítky metrů). Zvětralinový plášť může být predisponován právě projevy křehkého porušení puklinovými systémy, včetně vlivu působení mrazového zvětrávání během terciéru.

Pro zhodnocení intenzity puklinové sítě je použit především tzv. parametr P_{21}, který udává hodnoty souhrnné délky puklin na jednotku plochy výchozu (m/m^2) a přímo odpovídá terénním pozorováním na jednotlivých výchozech v horninovém prostředí perspektivním pro budování HÚ (granity typu Čeřínek a Eisgarn). Celkový dataset puklin byl získán jednotnou metodikou napříč 7 lokalitami dokumentovanými rámci DFN modelů (Kabele et al. 2018). Vypočtené hodnoty byly váženy relevancí výhozů s rozptylem hodnot 1 – drobný nevýznamný erodovaný výchoz až 10 – významný zlom. Hodnota parametru P_{21} je u této lokality 1,12 m/m^2. Tato hodnota je velmi podobná na lokalitách Horka, Magdaléna a Březový potok.

4.1.4 Indikátor K3c Stupeň duktilní deformace

V horninovém komplexu migmatitizovaných pararul až migmatitů byly identifikovány tři generace metamorfní foliace, převážně charakteru kompozičního páskování. Mezi relativně starší patří metamorfní foliace, které upadají pod strmými úhly k SSZ až Z nebo strmými až středními úhly k VJV. Tyto foliace místy nesou lineace upadající pod strmými až středními úhly k ZSZ (v západní části území) nebo pod mírnými až středními úhly k SSV (východní části území). Oba typy regionálních metamorfních staveb obsahují relikty starších foliací, nejčastěji ve formě izoklinálních vrás. Na tyto stavby byly naloženy lokalizované duktilní až křehce-duktilní střižné zóny strmého až středního úklonu k V až VJV (Verner et al. 2014). Hranice jednotlivých litologií metamorfovaných hornin jsou nejčastěji orientované paralelně s průběhem regionálních metamorfních foliací orientovaných ~SSV–JJZ.

Těleso granitů Eisgarn má v erozním řezu asymetricky protažený tvar v průběhu SV–JZ. Kontakty plutonu mají intruzivní charakter, převažuje strmý úklon kontaktů. V okrajových částech granity nepravidelně pronikají do okolních hornin monotónní skupiny moldanubika, jindy se v rámci granitů nacházejí drobné výskyty, reprezentující kry a xenolity metamorfovaných hornin monotónní skupiny, pojmuté okolními granity. V granitoidních horninách jsou magmatické foliace definovány především přednostní orientací agregátů živců a biotitů. Těleso plutonu Čeřínek má koncentrický, mírně ZJZ–VSV, protažený tvar. Vůči okolním horninám mrákotínského plutonu má

ostrý intruzivní charakter s pravděpodobným strmým úklonem kontaktních ploch a vyskytují se v něm doménově slabě vyvinuté magmatické foliace dvojí orientace (Verner et al. 2014).

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

Dominantní horninová tělesa – granity masivu Čeřínku a typu Eisgarn mají intruzivní kontakty, jednotlivé variety granitů do sebe přecházejí. Zejména v západní, jihozápadní a severní části lokality, mimo plochu perspektivního území pro projektové práce a blízké okolí, se nacházejí tělesa metamorfitů, která jsou granity pohlcena – a vyskytují se ve formě bloků v granitu, případně naopak metamorfity pohlcují drobné výskyty granitů. Rozsah střídání těchto těles není přesně znám ani na povrchu, ani s hloubkou. V rámci metamorfitů (pararul až migmatitů) se vyskytuje množství drobnějších čoček dalších horninových typů (např. amfibolity, erlany), jejichž rozsah také není přesně znám. Na základě nově provedených prací bylo možné upravit dílčí hranice a rozsahy těchto drobnějších výskytů (zejména migmatitů) v převládajících granitech lokality. Dle geofyzikálních prací se většina těchto těles jeví jako velmi mělká (první desítky metrů). Zatímco hloubkový dosah granitů byl stanoven na minimálně 4 km, ale zřejmě i více než 20 km, hloubkový dosah metamorfovaných hornin byl stanoven na cca 5 km na západě a 7 km na východě lokality (Beneš et al. 2019c).

V rámci metamorfovaných hornin ve východní a západní části od hodnocených perspektivních území pro projektové práce byly upřesněny hranice a výskyty dílčích vložkových hornin v migmatitizovaných pararulách až migmatitech monotónní jednotky. Zejména se jedná o nově vymapovaný výskyt amfibolitu v oblasti Na Bahnech, četné čočky eklogitů, amfibolitů, aplitických žil, pegmatitů v oblasti sv. od Dolní Cerekve ke Kostelci u Jihlavy nebo mezi Čejkovem a Novým Rychnovem. Tyto horniny nicméně tvoří drobnější tělesa nepřesahující vyšší desítky metrů.

Běžně pozorované alterace u minerálů na blocích hornin, jako je chloritizace, sericitizace, pinitizace a limonitizace, nemají na jejich homogenitu vliv. Na zlomech v činném lomu Boršov a na výchozech byly pozorovány alterace v podobě jílové výplně, hematitizace a limonitizace. Běžně byly na výchozech či na skalních blocích nalézány polohy sekrečního křemene, místy i dutiny vyplněné křemenem. Křemenné úlomky, nacházené na tektonických liniích, jsou často zabarvené oxidy Fe a Mn. Tyto faktory dle povrchových pozorování svědčí o snížené homogenitě prostředí, zejména v oblastech granitů v okolí Čertova hrádku postižených polymetalickým zrudněním.

4.2.2 Indikátor K4b Petrologická variabilita hornin

Metamorfované horniny jednotvárné skupiny moldanubika zastoupené na širším území lokality Hrádek jsou reprezentovány migmatitizovanými biotitickými pararulami až migmatity. Pestré

vložky v podobě erlanů, amfibolitů, kvarcitů, eklogitů není zcela znám. Ve vlastním území lokality se vyskytují migmatitizované pararuly poměrně plynule přecházející v migmatity. Migmatity jsou obvykle šedohnědé, středně zrnité, stromatitické. Stromatit je charakteristický střídáním poloh bohatých na biotit (melanosom) a poloh s převahou křemene, plagioklasu a draselného živce (leukosom). Mocnost pásků leukosomu a melanosomu se pohybuje kolem několika mm. Minerální asociace se skládá z křemene, polysynteticky zdvojčatěného plagioklasu, draselného živce a biotitu. Jako akcesorické fáze jsou přítomny apatit a zirkon.

Geologické podloží převážné části území lokality Hrádek je tvořeno granitem Čeřínek a granity Eisgarn Granity typu Eisgarn jsou součástí mrákotínského kompozitního plutonu intrudovaného do monotónní skupiny moldanubika, který tvoří pás protažený přibližně SSV–JJZ. Jedná se o peraluminické dvojslídné granitoidy typu Eisgarn, které jsou produktem tavení metasedimentárních hornin během exhumace vysoce metamorfovaných hornin moldanubika (Verner et al. 2014). Granitický masiv je poměrně homogenní – různé typy granitů se liší petrografickými, kompozičními či texturními variacemi – jedná se zejména o jemně až středně zrnité dvojslídné nebo muskovit-biotitické granity s hypautomorfně zrnitou strukturou. Granit se obvykle skládá z křemene, draselného živce, plagioklasu a biotitu. Charakteristickými akcesoriemi jsou ilmenit, apatit, zirkon a monazit. Někdy je přítomen andaluzit. Granity Čeřínek mají obvykle hypautomorfně zrnitou strukturu, místy se vyskytují v porfyrické varietě se zrny živce až o velikosti 3 cm. Obvykle se jedná o středně až hrubě zrnité muskovitické až dvojslídné granity.

Mrákotínské granity intrudovaly do hornin monotónní skupiny moldanubika, čemuž odpovídají i jejich ostré kontakty. Granit typu Čeřínek má poměrně ostrý kontakt s granity mrákotínského typu. Jedná se o výrazný peň středně až hrubozrnného, místy porfyrického, granitu, místy pronikaný žilami drobnozrnného muskovitického granitu. Granitoidy typu Čeřínek nesou znaky výraznější magmatické frakcionace (Zavřelová et al. 2009; Klomínský et al. 2010).

Na tektonické zóny jsou často vázány žíly aplitů, pegmatitů nebo křemene, které mohou nést polymetalickou mineralizaci, a které byly ve středověku na lokalitě ojediněle těženy. Žíly zanesené v mapě se vyskytují v jz. části od perspektivního území pro projektové práce a mají směr S–J. Dle terénních rekognoskací se jedná o extenzní struktury vyplněné křemennou žilovinou nepříliš mocnou. Dále se jedná o drobné výskyty v metamorfitech.

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), Beneš et al. 2019 a 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

Indikátor K3a: Stupeň křehkého porušení masivu – zlomové struktury

Lokalita Hrádek je tvořena hluboce založenou, a jasně ohraničenou, oválnou vertikální intruzí granitového masivu typu Čeřínek, intrudujícího do granitů typu Eisgarn a monotónní skupiny moldanubika. Hloubka intruze dle gravimetrických dat je odhadnuta na min. 10 km.

Ačkoliv byla intruze Čeřínek i její okolí detailně dokumentovány 14 geofyzikálními profily, s využitím komplexu povrchových geofyzikálních metod, dále plošně měřenou gravimetrií a jedním regionálním V–Z geofyzikálním profilem využívajícím hluboké metody vibrované seismiky a TDEM, byl na perspektivním území pro geologické charakterizační práce zjištěn pouze jeden S–J zlom 1. kategorie ID 99/129 (tzv. dolnohuťský), který zároveň vykazuje hydraulickou funkci a byl detailně ověřen řadou geofyzikálních V–Z profilů. Dále bylo dokumentováno 14 zlomů 2. kategorie, z nichž pouze 5 je lokalizováno v intruzi Čeřínek (ID 164, 148, 144, 61 a 35), část z nich tvoří severní rozmrštění zmíněného dolnohuťského zlomu (ID 61 a 144).

Zlomy ID 62, 144 a 179 představují alespoň zčásti okrajové subvertikální poruchy při východním a západním kontaktu intruze Čeřínek s granitem Eisgarn a metamorfovanými horninami a velmi pravděpodobně nezasahují v řezu do zmíněné intruze. Výše uvedené zlomy jsou svým průběhem vázány na zmíněné kontakty. Ostatní zlomy 2. kategorie se vyskytují mimo masiv Čeřínku a zároveň mimo obě perspektivní území pro projektové práce.

Ačkoliv v rámci hodnocení je posuzováno zlomové postižení pro území regionálního 3D modelu, při pohledu na hustotu geofyzikálních profilů a geologické dokumentace, zasahujících do perspektivního území pro projektové práce Hrádek – JV o ploše 6,9 km^2 – (celkem 8 profilů) považujeme za vysoce pravděpodobné, že ve jv. polygonu se nevyskytuje žádná nezjištěná významná zlomová struktura a území je pozoruhodně homogenní.

Západní polygon perspektivního území pro projektové práce Hrádek – SZ o ploše 3,4 km^2 –je zatížen větší nejistotou danou menším počtem geofyzikálních a geologických profilů (5 profilů

v polygonu nebo jeho těsné blízkosti), nicméně dle průběhu zlomů lemujících toto území (ID 35, 179, 99 a 164) se i toto území jeví jako homogenní, nepostižené zlomy 2. kategorie.

Při porovnání s ostatními lokalitami je zjevné, že granity lokality Hrádek, zejména intruze typu Čeřínek, poskytuje rozlehlá území nepostižená zlomy 1. ani 2. kategorie, což je situace ekvivalentní pouze lokalitě ETE-jih. Středem lokality Hrádek nicméně probíhá výše uvedený zlom 1. kategorie ID 99/129. Ačkoliv na lokalitě ETE-jih je dokumentována řada výrazných zlomů 1. kategorie, všechny jsou lokalizovány daleko od perspektivních území pro geologické charakterizační i projektové práce a nijak nenarušují homogenitu území perspektivního pro případnou lokalizaci HÚ. Z tohoto důvodu byla lokalitě Hrádek přidělena známka 2,3 a lokalitě ETE-jih známka nejvyšší 2,0. Dle metodiky hodnocení lokalit (Vondrovic et al. 2019) žádná z lokalit, na níž se vyskytuje zlom 1. kategorie nemůže být hodnocena známkou 1. Ostatní lokality vykazují postižení zlomovými strukturami všech řádů vyšší než lokality Hrádek a ETE-jih, a proto jim byly přiděleny známky vyšších hodnot (tj. horší hodnocení).

Indikátor K3b: Stupeň křehkého porušení masivu – pukliny

Známka 3,3 řadí lokalitu Hrádek do horší poloviny hodnocených lokalit, před lokalitu Čihadlo a na stejnou úroveň s puklinovým postižením lokality Březový potok.

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 [m^2]) viz* 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 Hrádek na roveň lokalitě Březový potok a zřetelně před lokalitu Čihadlo, ostatní lokality vykazují postižení vyjádřené parametrem P_{21} menší. S ohledem na minimální rozdíly mezi hodnotami parametru P_{21} se hodnotící tým nerozhodl nevyužít krajních hodnot 1 a 5, jak nám umožňuje metodika hodnocení.

Hlavní doprovodné zjištění z geofyzikálních a geologicko-geomorfologických výzkumů pro lokalitu Hrádek jsou následující: puklinové systémy zejm. směru SV–JZ a SZ–JV směru byly dobře dokumentovány jak geomorfologickou analýzou, tak geofyzikálním měřením (zejm. ERT a MRS). Puklinové tahy a rozpukání masivu exfoliačními systémy jsou hloubkově nevýznamné, anomálie v geofyzice indikují hloubky rozpukání (resp. otevřených puklin) do max. nižších desítek metrů (20–60 m). To koinciduje i s existencí a degradací rašelinišť, která zjevně nejsou dotována z hlubokého oběhu podzemních vod, ale z vody meteorické v mělkém puklinovém oběhu (a s tím související vysychání a postupný zánik rašelinišť v důsledku snižujících se srážek v uplynulých 10 letech). Puklinové zóny nebývají vázány na zlomové linie, ale vyskytují se v zónách mocných i několik set metrů v celé studované oblasti.

Mělký a extenzivní charakter puklin je výrazně méně limitující pro kvalitu lokality než například puklinové systémy na lokalitě Magdaléna, kde často puklinové systémy sledují okraje aplitových a křemenných žil a žilníků, jsou dle geofyziky zjevně hlubšího dosahu a často jeví výraznou hydraulickou funkci. Proto byla expertním posouzením přidělena lokalitě Hrádek známka 3,3. Podobný charakter jako Hrádek má puklinové postižení na lokalitě Březový potok v blatenských a červenských granodioritech, proto jsme zvolili pro tyto dvě lokality stejné známky. Kraví hora má sice výrazně příznivější parametr P_{21}, nicméně tvorba puklinových systémů je zde ovlivněna odlišnou reologií hornin (pararuly, migmatity), a protože geofyzikální měření (zejm. DOP a ERT) identifikuje intenzivní puklinové zóny (zčásti podél zlomů, zčásti mimo zlomy), byla lokalitě Kraví hora přidělena známka 3,1 jen nevýznamně lepší než lokalita Hrádek. Naopak puklinové systémy na lokalitě Horka jsou především vázány pouze na přítomnost zlomů, zbytek území je rozpukán nevýznamně (obdobně jako na Hrádku). Zohlednili jsme proto obdobně slabé projevy puklinových systémů a mírně lepší parametr P_{21} u Horky a expertně stanovili hodnotu indikátoru pro Horku mírně lepší než pro Hrádek (3,0 resp. 3,3). Známky lokalit Čertovka a Čihadlo představují krajní členy známkování a jsou pojednány u svých kapitol.

Indikátor K3c: Stupeň duktilní deformace

Granity lokality Hrádek, společně s granitoidy lokalit Čihadlo a Březový potok, jeví nejmenší postižení duktilní deformací (magmatická foliace), a proto byla těmto lokalitám přidělena známka 1. Na druhé straně stupnice jsou lokality tvořené metamorfovanými horninami s projevy více foliačních systémů a vrásněním, které jeví duktilní deformace řádově intenzivnější – proto také byly využity hodnoty celé škály 1 - 5, na rozdíl např. od ne tak významných rozdílů v kritériu K3b. Vzhledem k faktu, že duktilní deformace jsou hodnoceny pro území perspektivní pro projektové práce a blízké okolí, není do známky promítnuta duktilní deformace metamorfovaných hornin moldanubika – známka reflektuje pouze stavby v cílové litologii v granitu Čeřínek a zčásti Eisgarn, tj. v polygonu perspektivního území pro projektové práce a jeho okolí. Duktilní deformace – resp. magmatická foliace daná usměrněním agregátů biotitu a vyrostlicemi živců – se výrazněji projevuje pouze v okrajových částech granitu v blízkosti intruzivního kontaktu s moldanubickými migmatity. Centrální části granitového tělesa, v nichž jsou lokalizována perspektivní území pro projektové práce, jsou duktilní deformací postiženy minimálně. Z toho důvodu byla lokalitě Hrádek přidělena známka 1, stejně jako obdobně minimálně postiženým lokalitám Čihadlo a Březový potok. Ostatní lokality situované v granitoidech Na Skalním (EDU-západ), Březový potok, Čertovka a Horka jeví intenzivnější magmatické foliace, často dvojí orientace, a proto jim byly expertním posouzením přiděleny známky nevýznamně vyšší.

Indikátor K4a: Prostorová variabilita horninového prostředí

Hodnocené území – tj. perspektivní území pro projektové práce a blízké okolí – se jeví na lokalitě Hrádek homogenní. Hodnocené území je tvořeno výhradně granity, bez zjištění přítomnosti žil, ať už horninových či křemenných (přítomny pouze drobné sekreční čočky), a rovněž bez přítomnosti xenolitů, stopovaných bloků či jiných nehomogenit. Tyto nehomogenity se sice vyskytují v granitech typu Eisgarn a zčásti na kontaktu intruze Čeřínek s moldanubikem, nevyskytují se ale v hodnoceném území pro projektové práce a blízkém okolí. S ohledem na prokázaný vertikální a ostře ohraničený tvar intruze je velmi pravděpodobné, že stejně homogenní hornina se bude nalézat i v hloubce -500 m. Z těchto důvodů byla lokalita Hrádek vyhodnocena mezi devíti studovanými lokalitami jako ideálně homogenní, s minimální prostorovou variabilitou, a byla jí proto přidělena známka 1.

Indikátor K4b: Petrologická variabilita hornin

Hodnocené území je tvořeno z větší části granity Čeřínek a z menší části granity Eisgarn. Granity Eisgarn tvoří několik typů (Bílý kámen, Rohozná, Mrákotín) – různé typy granitů se liší petrografickými, kompozičními či texturními variacemi – jedná se zejména o jemně až středně zrnité dvojslídné nebo muskovit-biotitické granity s hypautomorfně zrnitou strukturou. Charakteristickými akcesoriemi jsou ilmenit, apatit, zirkon a monazit. Někdy je přítomen andaluzit. Granity Čeřínek mají obvykle hypautomorfně zrnitou strukturu, místy se vyskytují v porfyrické varietě se zrny živce až o velikosti 3 cm. Obvykle se jedná o středně až hrubě zrnité muskovitické až dvojslídné granity.

Podobně jako u kritérií K3c a K4a, i u petrologické variability se vyskytují diametrální rozdíly mezi jednotlivými lokalitami (monotónní granitoidy versus pestré metamorfované skupiny lokality Kraví hora). Proto i u kritéria K4b byl využit plný interval známek 1–5.

S ohledem na nepřítomnost jiných hornin než granitů (viz kritérium K4a) byla expertním posouzením přidělena lokalitě Hrádek druhá nejlepší známka 1,4. Lepší známku 1 získala pouze lokalita Horka, kde je hodnocené území tvořeno pouze jedním typem durbachitu, bez texturních či petrografických variet. Rozdíly jsou nicméně bezvýznamné, a proto byly známky pro obě lokality stanoveny v takto malém rozptylu. Ostatní granitoidní lokality na hodnocených územích obsahují obvykle žíly nebo xenolity, a proto jsou hodnoceny nevýznamně hůře, a to jak v prostorové, tak v petrologické variabilitě.

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 chybějících informací (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 Hrádek je dominantně tvořena muskovit-biotitickými až (biotit-)muskovitickými granity o různé zrnitosti, jen lokálně s přítomností částečně asimilovaných xenolitů okolních metamorfovaných hornin malého rozsahu. Nejistota ve vztahu k homogenitě daného území je zřejmá z neznalosti možného výskytu asimilovaných bloků v hloubce zejména v granitech Eisgarn. Větším problémem se lokálně zdá přítomnost žilného křemene a polymetalické mineralizace, jejíž rozšíření je omezené zřejmě na jihozápadní část masivu Čeřínku, nicméně jeho charakter s hloubkou není znám.

Stanovit přesnou míru rozpukání horninového masivu v hloubce plánovaného HÚ je obtížné. Strukturní data pořízená na povrchu a jejich matematická extrapolace nicméně přináší reálný obraz o podobě a hustotě puklinových systémů v přípovrchové zóně zkoumaného masivu. Výskyt puklin podobných orientací i ve větší hloubce lze však jen předpokládat.

Nejistota spojená s hodnocením oblasti spočívá v neznalosti úhlů a směrů upadání zastižených zlomů. Ve většině případů byly tyto orientace konvenčně stanoveny jako svislé, jen výjimečně byl určen sklon v hloubkovém dosahu použitých metod. Skutečný směr sklonu a průběhu zlomů může být s hloubkou odlišný.

Na základě gravimetrického modelu lze předpokládat mocnost granitů masivu Čeřínek alespoň 20 km, dosah okolních metamorfovaných hornin byl stanoven na cca 5–7 km.

Nejistotou je také stáří zarovnaného povrchu a štěrkových akumulací v širším okolí lokality. Pro zpřesnění celkového geomorfologického a geologického vývoje dané oblasti (např. zahlubování říčního systému) lze aplikovat metodu datování povrchů fluviálních akumulací dotčených povodí.

Nejistoty jsou spojené i s průběhem zvodnělých poruchových zón v hloubce úložiště.

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

Vyhodnocení vylučujících geologických kritérií (Tab. 1) ve vztahu k legislativním požadavkům na prokázání vhodnosti lokality pro umístění HÚ je uvedeno v Tab. 5. Pokud vyhodnotíme všechna výše zmíněná fakta, charakterizující 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 předpokládat průběh důležitých zlomových linií a vytvořit 3D geologický model.

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

ID	Kritérium	Hodnocení
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 spíše 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 Hrádek pro umístění HÚ. Jedná se o následující:

Popsatelnost a predikovatelnost lokality:

- 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 byla založena na výše shrnutých dostupných geovědních informacích (viz kapitoly 4.1 a 4.2, stručné shrnutí v kapitole 4.3) na stupnici 1 – nejnižší až 5 – nejvyšší (viz zpráva Vondrovic et al 2019). Následně bylo provedeno vzájemné porovnání daného hodnocení napříč lokalitami a vyhodnocení geologických indikátorů na základě dohody expertního týmu. Proto bylo zvoleno porovnání formou expertního odhadu na základě diskuze specialistů a jejich shody.

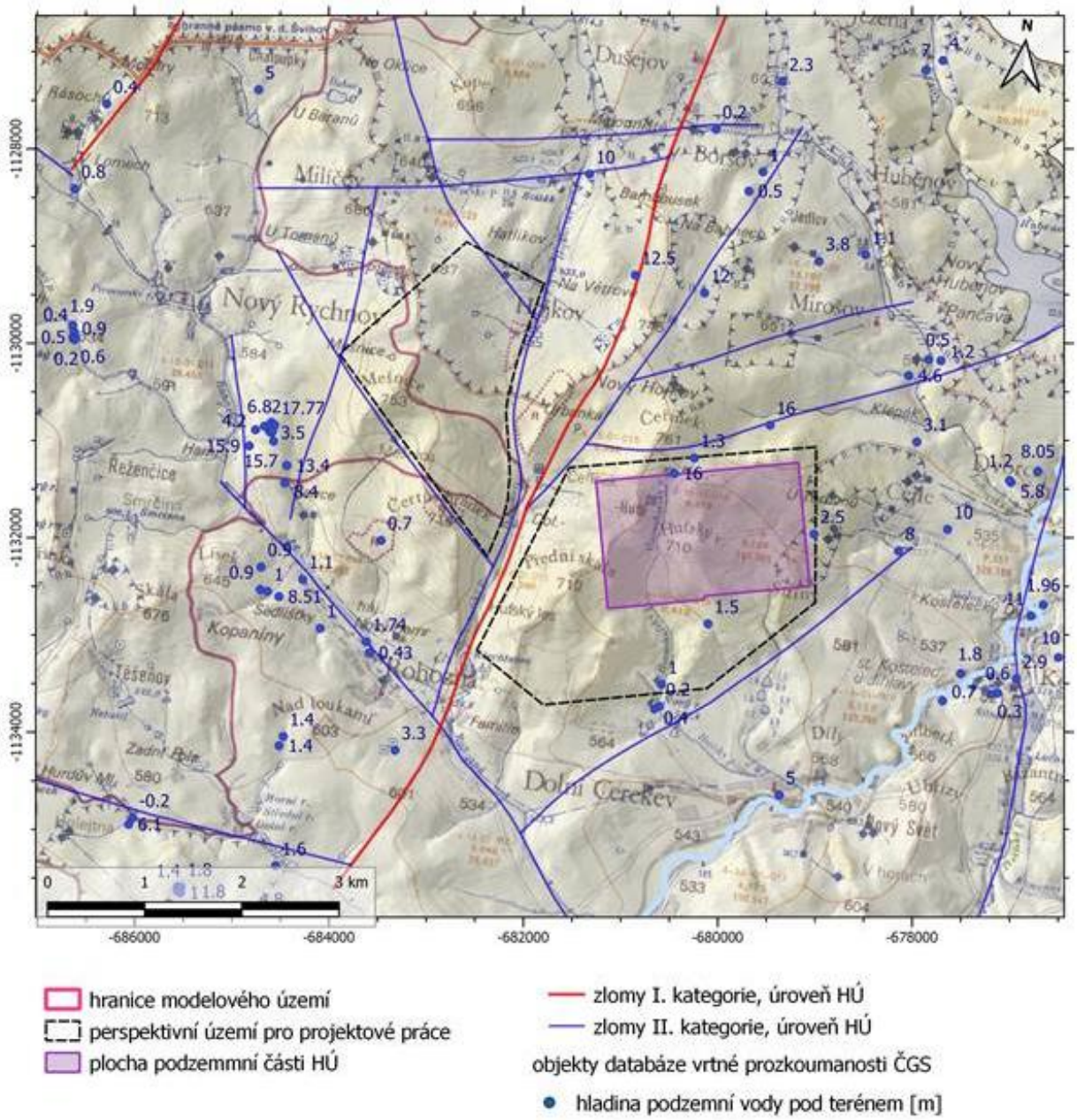
Popis výběru jednotlivých indikátorů a metodiky jejich vyhodnocení je uveden ve zprávě Vondrovic et al. (2019).

Tab. 6 Vybrané indikátory kritérií Geologické charakteristiky pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ a jejich hodnocení pro lokalitu Hrádek.

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

5 Hydrogeologické charakteristiky

Území lokality Hrádek spadá do hydrogeologického rajonu 6550 Krystalinikum v povodí Jihlavy. Krystalinikum zde tvoří dvě hlavní hydrogeologické jednotky, první tvoří granity typu Mrákotín a Čeřínek, druhá jednotka je tvořena metamorfovanými komplexy hornin jednotvárné skupiny moldanubika – pararulami a migmatity.



Obr. 5 Hydrogeologické údaje v databázi vrtné prozkoumanosti ČGS – lokalita Hrádek

Širší oblast zájmového území je charakteristická nízkou mírou hydrogeologické prozkoumanosti území. V databázi ČGS Geofond je v širším okolí perspektivního území 35 hydrogeologických vrtů s maximální hloubkou 100 m (vrt HVR-1 severozápadně od Rohozné). Jedná se převážně o mělké pramenní jímky a studny, pouze 5 vrtů je hlubších než 50 m. Rozmístění hydrogeologických objektů je na území lokality nerovnoměrné, vyšší koncentrace objektů je

v okolí bývalé skládky u Nového Rychnova a v okolí Rohozné, v ostatních částech je vrtná prozkoumanost téměř nulová. V oblasti perspektivního území pro projektové práce s projektovanou podzemní částí HÚ jsou k dispozici údaje ze 30 m hlubokého vrtu HVHě-2 lokalizováno na severním okraji HÚ v Horních Hutích a z 90 m hlubokého vrtu DC-1 lokalizovaného při jižním okraji projektového území.

Přípovrchovou zónu svahových sedimentů a zvětralinového pláště granitů a migmatitů 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.

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

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 zvodeň je vázaná na puklinové prostředí pevných hornin. Její dosah je u migmatitů a rul do 40–50 m, u granitových masivů může dosahovat do hloubek 100 až 120 m.

V hlubších částech krystalinika (pod 100 m) 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. K odvodnění hlubších částí zvodně dochází na bázi hlavních vodotečí, většinou skrytě do kvartérních sedimentů.

Zdrojem podzemní vody na lokalitě je srážková infiltrace, ke které dochází v celé ploše území. Rozložení efektivní infiltrace je prostorově variabilní, průměrná velikost je 4,0 $l.s^{-1}.km^{-2}$ (Krásný et al. 1982). Do hlubších oblastí masivu, vzhledem k malé propustnosti, přetékají z přípovrchové vrstvy pouze první jednotky procent celkového množství vody infiltrovaného ze srážek. Modelem stanovené infiltrační oblasti pro plochu podzemní části HÚ se nachází v linii hřebene Přední skála – Čeřínek a na hřebeni směřující od vrcholu Čeřínek východním směrem na Cejle.

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 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 ISVS – VODA (www.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 Hrádek byl vytvořen aktualizovaný detailní hydrogeologický model (Baier 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 Hrádek zohlednit. Vyhodnocení kritéria je uvedeno 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

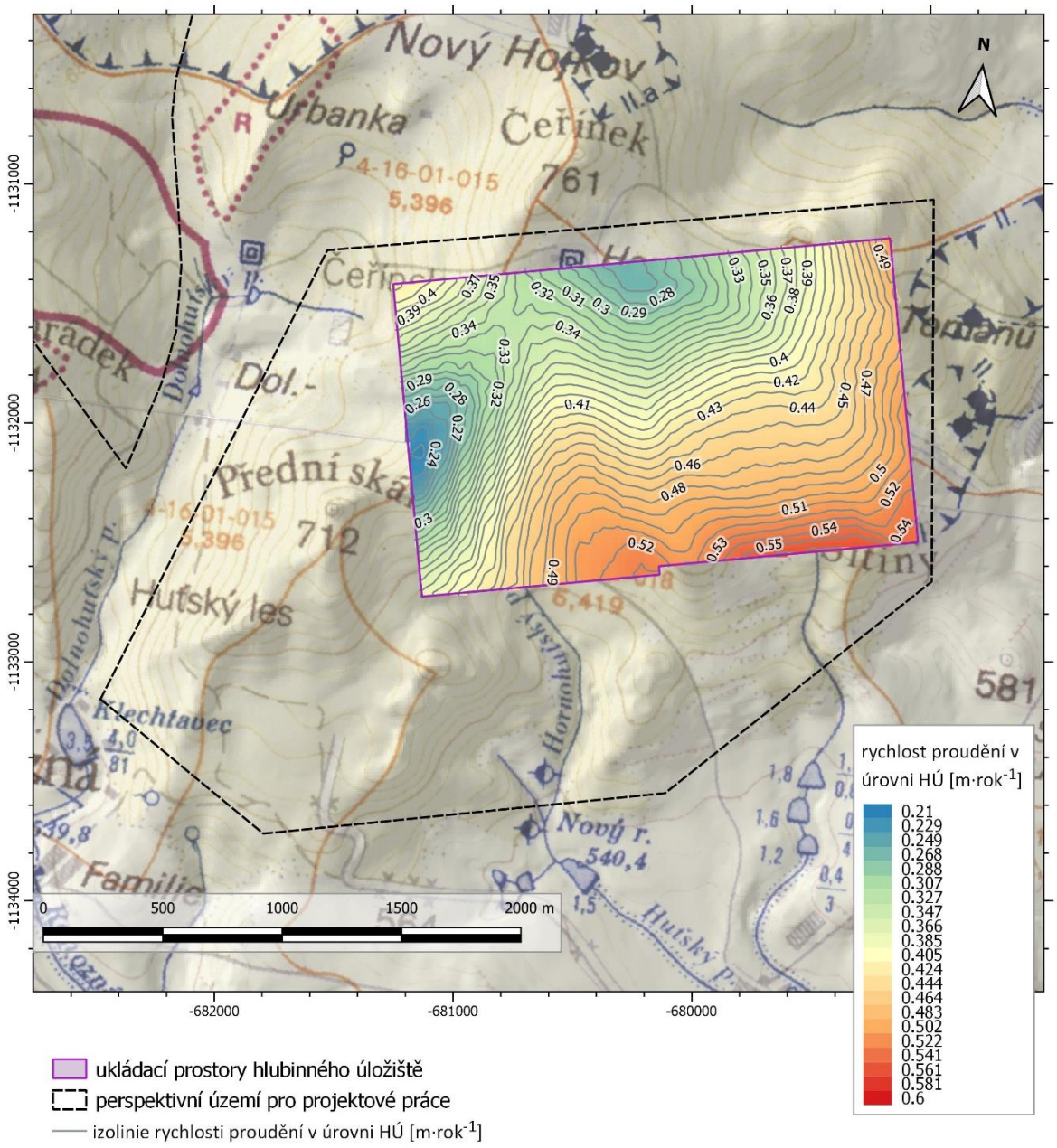
5.2.1.1 Indikátor K5a Doba dotoku z HÚ do oblasti drenáže

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 potenciálního úložiště (87 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 dotoku (zdržení). První kvartil doby dotoku podzemní vody z HÚ k drenážním bázím byl modelem v lokalitě Hrádek vypočten na hodnotu 4813 roků (indikátor K5a, Tab. 8). Rozsah dob dotoku se z prostor HÚ v lokalitě Hrádek pohybuje v rozmezí 3 000 až 35 000 let (mezidecilové rozpětí intervalu výsledků $Q_{0,9}$ -$Q_{0,1}$).

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 0,2-0,56 m.rok^{-1} (Indikátor K5b, Tab. 8).



Obr. 6 Rozložení modelových rychlostí proudění podzemní vody (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 podzemní plochy HÚ (indikátor K5e, Tab. 8) souvisí s koncepcí stanovení hydraulických vodivostí zlomových pásem a jednotlivých identifikovaných litotypů, která je podrobně popsána ve zprávě Uhlíka et al. (2018).

Při hodnocení hydrogeologických vlastností lokality Hrádek 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 masívu postižená intenzivním rozpukáním a vyšší mírou

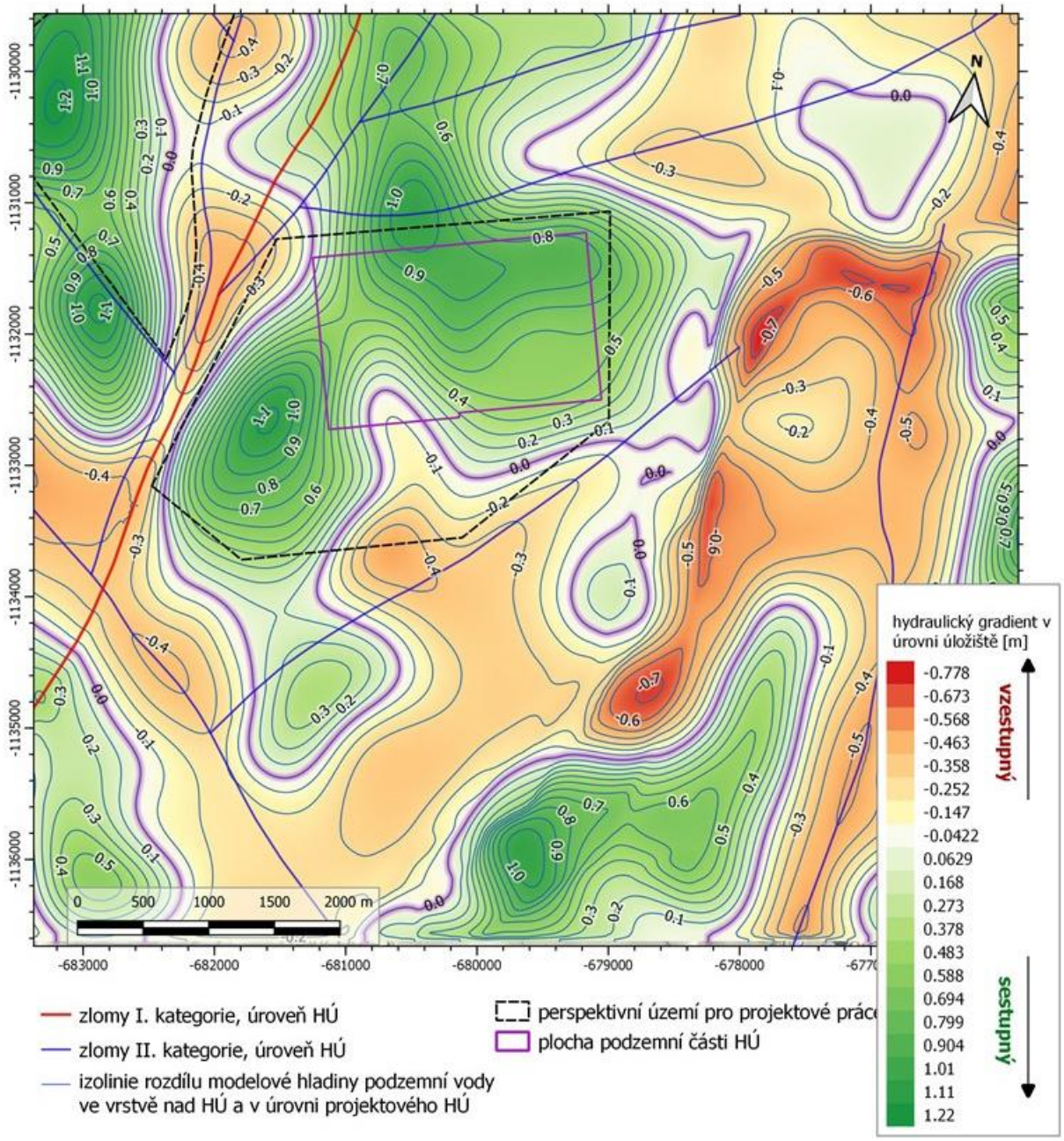
rozpojení puklin. Hydraulická vodivost v přípovrchové vrstvě se v prostoru perspektivního území pro projektové práce pohybuje v rozsahu 1.10^{-7} až 1.10^{-5} $m.s^{-1}$, přičemž i v přípovrchové vrstvě lze předpokládat pokles hydraulické vodivosti s hloubkou.

Spodní část profilu tvoří krystalinické horniny, které lze z hydrogeologického hlediska popsat jako heterogenní anizotropní puklinový kolektor. 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 zadané v rozsahu $1,2.10^{-9}$ $m.s^{-1}$ až $1,9.10^{-9}$ $m.s^{-1}$ (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, které tvoří 97 % plochy HÚ (indikátor K5d, Tab. 8), jsou lokalizovány do průběhu regionální hydrologické rozvodnice, která na povrchu spojuje vrcholy Přední skála a Čeřínek. Oblast vzestupného proudění v oblasti HÚ v hloubce 8 m n.m. se nachází pouze v oblasti, kde na povrchu protéká Hornohuťský potok (v jižní části projektovaného HÚ).



Obr. 7 Hydraulický gradient v úrovni HÚ (87 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.

Perspektivním územím pro projektové práce neprochází žádný zlom 1. ani 2. kategorie.

V blízkosti zvoleného perspektivního území pro umístění HÚ na lokalitě Hrádek se vyskytuje jedno zlomové pásmo prvního řádu probíhající údolím Dolnohuťského potoka ze SV na JZ.

Západní perspektivní území je ohraničeno zlomy 2. kategorie, které probíhají údolím Dolnohuťského potoka a Rohozné, na severu je perspektivní území omezeno zlomem 2. kategorie VZ směrem od toku Jihlavy k vrcholu Čeřínek.

Hydraulické vlastnosti těchto pásem mají pro lokalitu Hrádek značný význam a při stávajících znalostech nelze zcela vyloučit ani hydraulickou souvislost těchto zlomových pásem s prostředím masivu v prostoru potenciálního 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 cca $1{,}7.10^{-8}$ $m.s^{-1}$ pro pásma 1. řádu (indikátor K5e, Tab. 8) a 3.10^{-9} $m.s^{-1}$ pro pásma 2. řádu.

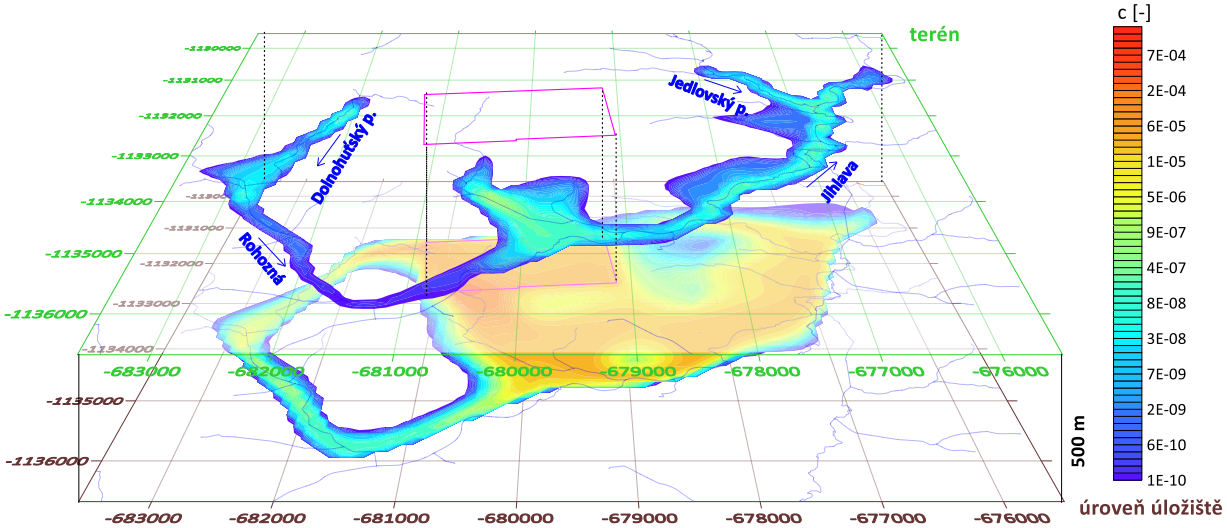
5.2.1.6 Indikátor K5f Specifický průtok v prostoru HÚ

Bilanční údaje proudění podzemní vody pro lokalitu Hrádek 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 Hrádek byly v kilometrové síti poskytnuty ČHMÚ. Průměrná hodnota efektivní modelové infiltrace v lokalitě Hrádek je 4,0 $l.s^{-1}.km^{-2}$ Krásný et al. 1982). Z celkově infiltrovaného množství 955 $l.s^{-1}$ proudí 98 % podzemní vody pouze v přípovrchové vrstvě zvětralin, rozpojení puklin a kvartéru. Do hlubších oblastí masivu infiltruje (vzhledem k nízkým koeficientům hydraulické vodivosti) pouze 18 $l.s^{-1}$. Suma průtoků přes vymezený prostor HÚ je modelem stanovena na $1{,}0.10^{-4}$ $l.s^{-1}$, specifický průtok přes půdorysnou plochu HÚ je $3{,}7.10^{-2}$ $l.s^{-1}.km^{-2}$ (indikátor K5e, Tab. 8).

5.2.1.7 Indikátor K5g Poměr ředění

Pro posouzení vhodnosti lokality Hrádek 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

koncentrace vypočtené před vstupem do drenážní báze a maximální koncentrace v prostoru úložiště. Pro HÚ v lokalitě Hrádek byla nejnižší míra ředění stanovena na 0,3 % (indikátor K5g, Tab. 8). Rozsahy kontaminačního mraku a vypočtené relativní koncentrace v úrovni úložiště a v přípovrchové zóně jsou uvedeny v Obr. 8.



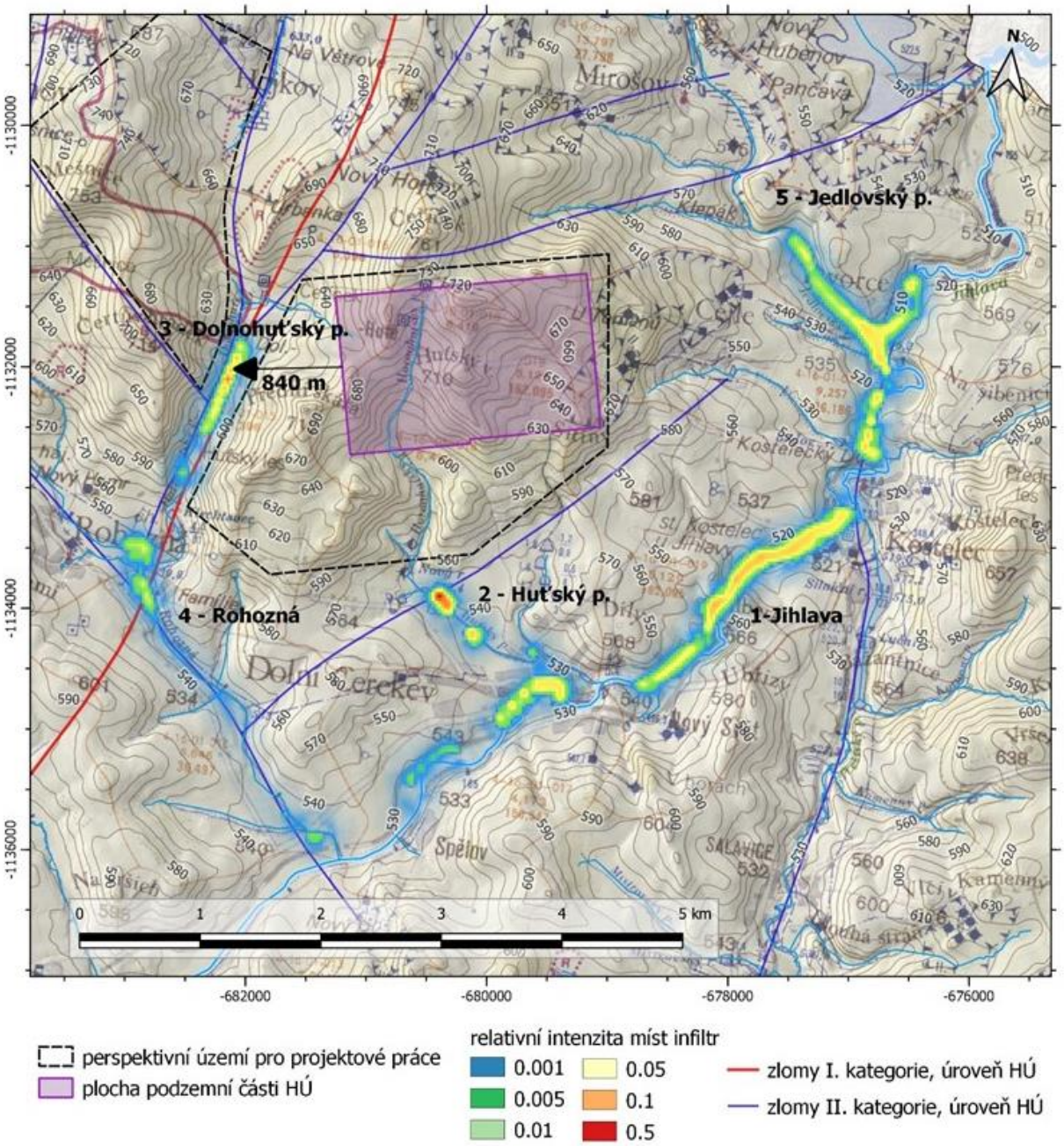
Obr. 8 Rozložení relativních modelových koncentrací v úrovni HÚ (87 m n.m.) a v přípovrchové vrstvě

5.2.2 Kritérium K6 Identifikace a umístění drenážních bází

Lokalita projektovaného HÚ je součástí hydrologického povodí 4-16-01 Jihlava od Rokytné po ústí a Svratka od Jihlavy po ústí.

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 (Dolnohuťský potok), na křížení těchto toků a významných zlomových zón (soutok Dolnohuťského potoka a Rohozné) a v oblastech s vysokou hydraulickou vodivostí svrchní zóny a nízkým hydraulickým potenciálem.

Předpokládané drenážní oblasti pro HÚ projektované v úrovni 87 m n. m. byly stanoveny modelem proudění s využitím metody particle tracking. Místa a intenzita drenáže z úrovně HÚ v drenážních bázích jsou znázorněny na Obr. 9.



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

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

Nejmenší plocha HÚ (3,1 %) je drénována v linii Jedlovského potoka. K drenáži pod 10 % celkové plochy HÚ dochází i do Rohozné (3 %) a Dolnohuťského potoka (6 %). Do Huťského potoka, zejména v oblasti se zlomovou zónou 2. kategorie, se drénuje 20 % plochy HÚ. Hlavní drenáž je modelem vypočtena do Jihlavy, kam se drénuje 68 % vody protékající plochou HÚ (**indikátor K6b Zastoupení drenáže z plochy HÚ v jediném toku**, Tab. 8). K drenáži do toků dochází v delších liniích, nejintenzivnější drenáž je soustředěna do oblastí bližších projektovanému HÚ. Drenáž do konkrétního úseku toku je do značné míry ovlivněna lokálním charakterem přípovrchové vrstvy zvětralin a kvartérních sedimentů podél toků.

Celkem 87 % plochy podzemní části HÚ je odvodňováno v povodí Jihlavy (**K6c Zastoupení drenáže z plochy HÚ v jediném povodí,** Tab. 8).

Drenáž je vypočtena v nadmořské úrovni cca 600 m n.m. (Dolnohuťský p.) až 500 m n. m. (Jihlava) ve vzdálenosti 840 m (Dolnohuťský p., **indikátor K6d Horizontální vzdálenost HÚ od drenáže**, Tab. 8) až 3 km (Soutok Rohozné a Jihlavy) od hranice polygonů vymezujících podzemní část HÚ. K drenáži na povrchu, přímo v polygonu vymezujícím rozsah podzemních částí HÚ, nedochází.

5.3 Expertní zhodnocení lokality

5.3.1 Nejistoty spojené s hodnocením hydrogeologických kritérií

Veškerá hydrogeologická data pocházejí z povrchu nebo přípovrchové 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.

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

Vzhledem k výše zmíněným faktům (kap. 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 Hrádek. ID je zachováno dle zdroje (Vondrovic et al. 2019)

ID	Kritérium	Hodnocení
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 do lokality Hrádek potok byl v softwaru MODFLOW-USG vytvořen aktualizovaný 3D detailní hydrogeologický a transportní model lokality. Oba 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 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 Vondrovice et al. (2019).

Tab. 8 Vybrané indikátory kritérií Hydrogeologických charakteristik pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ a jejich hodnocení pro lokalitu Hrádek

ID	Název kritéria/ Indikátoru	*Hodnoty*	*Známka*
	Střední úroveň HÚ (m n.m.)	***87,0***	
	Plocha ukládacích prostor HÚ (km^2)	***2,707***	
K5	**Kritérium: Charakteristika proudění vody v okolí HÚ a transportní charakteristiky**		
K5a	Doba dotoku z HÚ do oblasti drenáže (roky)	4 813	4,6
K5b	Rychlost proudění v úrovni úložiště (m.rok^{-1})	0,56	1,8
K5c	Propustnost v prostoru HÚ (m.s^{-1})	1,9.10^{-9}	2,6
K5d	Sestupná vertikální složka proudění (% plochy HÚ)	97	1,1
K5e	Maximální propustnost poruchových zón do 500 m od hranice HÚ (m.s^{-1})	1,7.10^{-8}	2,3
K5f	Specifický průtok v prostoru HÚ (l.s^{-1}.km^{-2})	3,7.10^{-2}	4,4
K5g	Poměr ředění (%)	0,3	1,5
K6	**Kritérium: Identifikace a umístění drenážních bází**		
K6a	Počet drenážních toků	5	2,3
K6b	Zastoupení drenáže z plochy HÚ v jediném toku (% plochy HÚ)	68	3,1
K6c	Zastoupení drenáže z plochy HÚ v jediném povodí (% plochy HÚ)	87	3,9
K6d	Horizontální vzdálenost HÚ od drenáže (m)	840	1,0

Rozdíly hodnot indikátorů mezi lokalitami jsou ovlivněny celou řadou faktorů. Primárně rozložením propustnosti horninového masivu, hydraulickými gradienty a v neposlední řadě i polohou hlubinného úložiště. Propustnost horninového masivu v modelech klesá s hloubkou a je zadána s ohledem na průběh zlomů, litotypy hornin a úroveň terénu (Uhlík et al., 2018). Hydraulický gradient je určován rozdíly v úrovni infiltračních oblastí v okolí úložiště a oblastí drenáže. Komplexně se tak při proudění podzemní vody uplatňuje morfologie terénu utvářená erozními procesy. Poloha podzemní části hlubinných úložišť je vymezena v perspektivním území pro projektové práce s ohledem na průběh ověřených a předpokládaných zlomů.

Zejména u hodnot indikátoru v blízkosti mediánu platí interpretace, že kombinace výše uvedených faktorů ovlivňujících proudění a transport způsobuje obdobné poměry jako u dalších lokalit. Zhodnocení indikátorů je v následujících odstavcích zaměřeno především na interpretaci hodnot a odpovídajících známek v krajních oblastech škály („silné“ a „slabé“ vlastnosti lokality).

V rámci kritéria K5 jsou poměry na lokalitě Hrádek z hlediska vhodnosti lokalizovat HÚ příznivě hodnoceny v rámci indikátorů K5d a K5g (Tab. 8). Poloha podzemní části HÚ je vzdálená od významných drenážních bází (Jihlava, Rohozná) a většina jeho plochy leží v infiltrační oblasti, charakterizované sestupným prouděním podzemní vody, které se projevuje i v úrovni projektovaného HÚ (indikátor K5d). K vhodnému poměru naředění kontaminace z prostoru úložiště (K5g) přispívá rozložení drenáže podzemní vody do pěti toků, ve kterých navíc nedochází k soustředěné drenáži do krátkého úseku toku. Malá vypočtená rychlost proudění v prostoru podzemní části HÚ (K5b) souvisí především s převládající sestupnou složkou proudění v úrovni HÚ, ale i s propustností horninového masivu (granit Čeřínek).

Z hlediska posuzování propustnosti zlomových zón (K5e) a propustnosti v prostoru HÚ (K5c) je lokalita hodnocena průměrně. Hodnoty indikátorů i kombinace faktorů, která je ovlivňuje, je obdobná jako na dalších lokalitách.

Jako nevhodné pro situování HÚ vychází hydrogeologické poměry lokality Hrádek v rámci indikátoru K5a a K5f. Vypočtená doba dotoku z úložiště do oblasti drenáže (indikátor K5a) patří k nejdelším, ale výrazněji oproti většině lokalit nevybočuje. Nepříznivá známka (4,6) je způsobena „anomálně“ příznivou hodnotou vypočtené doby dotoku na lokalitě Temelín (ETE-jih), kde doba dotoku vychází řádově větší. Vyšší hodnota indikátoru K5f (specifický průtok v prostoru HÚ) je způsobena zejména větším hydraulickým gradientem mezi úrovní HÚ a vrstvou v jeho nadloží.

Výsledné hodnoty indikátorů kritéria K6 jsou výrazně ovlivněny morfologií terénu. Terén v nadloží projektovaného HÚ je tvořen převážně hřebenem a svahy vrcholů Čeřínek a Přední skála, které určují směry proudění podzemní vody v přípovrchové vrstvě a zprostředkovaně i v úrovni HÚ. Výrazně příznivě pro situování HÚ je lokalita hodnocena v rámci indikátoru K6d (horizontální vzdálenost HÚ od drenáže), která je ovlivněna morfologií (drenážní báze jsou vzdálené) a výraznou sestupnou složkou proudění v oblasti HÚ (nedochází k vzestupnému proudění do Hornohuťského potoka protékajícího perspektivním územím). Vhodně z hlediska situování HÚ vychází indikátor K6a, vzhledem k morfologii terénu a poměrům proudění v přípovrchové zóně dochází k drenáži podzemní vody z prostor HÚ do pěti toků. Průměrně až podprůměrně vychází indikátory K6b a K6c, k drenáži podzemní vody z prostor HÚ dochází převážně v povodí Jihlavy do stejnojmenného toku.

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 postižení budoucími geodynamickými procesy a následnými jevy a jinými faktory (např. změnou klimatu, neotektonickými pohyby, vysokou seizmicitou) do té míry, že by tyto vlivy mohly nepřijatelně 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)

Pro vyhodnocení potenciálně aktivních zlomů na konkrétní lokalitě nejsou k dispozici relevantní data o stáří a aktivitě studovaných tektonických poruch (tektonická síť Mixa et al. 2019). Pro hodnocené území této lokality není indikována aktivita zlomu v období posledních 2,6 milionu let. Pokud není indikována ani prokázána aktivita zlomu v období posledních 2,6 milionu let, 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 fluviálních sedimentů, uvádějí rychlosti zahlubování v průběhu pleistocénu 0,02-0,86 mm.rok^{-1}. Tyráček et al. (2004), korelací labských a vltavských teras, odhadují průměrnou rychlost výzdvihu centrální části Českého masívu ve spodním pleistocénu na 0,04 mm.rok^{-1} a během středního a svrchního pleistocénu až 0,15 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 0,023–0,027 mm.rok^{-1} (Schaller et al. 2001), z oblasti Šluknovského výběžku jsou v průběhu středního a svrchního pleistocénu odhady eroze stanoveny na 0,025-0,027 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

Lokalita se nachází mimo oblasti kenozoického vulkanizmu spojeného s vývojem oherského riftu a rozptýleného alkalického magmatismu Českého masivu nebo karpatského oblouku. V okruhu 5 km od PÚPP **nejsou známy projevy vulkanické ani post-vulkanické aktivity pliocenního až holocenního stáří** (např. Cháb et al. 2007, Mixa et al. 2019). **Z hlediska post-vulkanických jevů nejsou na lokalitě zjištěna vylučující kritéria**.

6.2 Hodnocení vybraných kritérií 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 zkompilován katalog historických zemětřesení pro region do vzdálenosti 300 km od lokalit 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}. Seismické ohrožení lokality je dáno zvláště vzdáleností od prvních dvou významných zón a četností slabých blízkých zemětřesení.

Hodnota maximálního horizontálního zrychlení získaná z pravděpodobnostní metody pro 50% pravděpodobnost a dobou opakování 10^5 let činí **0,95 m.s^{-2}**.

6.2.2 Indikátor K7b Výškový gradient

Hodnocené území leží v povodí řeky Jihlavy na rozvodí mezi přítoky Rohozná a Jedlovským potokem. Výškový rozdíl mezi průměrnou výškou paleoreliéfu a příslušné erozní báze byl stanoven na základě geomorfologické analýzy vypracované v rámci studie erozní stability (Hroch a Pačes 2015) a morfotektonické analýzy (Kopačková et al. 2017). V oblasti rozvodí se rozkládají úrovně zarovnaných povrchů v nadmořské výšce 700 až 750 m a na nižší úrovni paleoreliéfu okolo 600 m. Východně od perspektivního území pro geologické charakterizační práce jsou v oblasti soutoku s Třešťským potokem zachovány zbytky zarovnaných povrchů ve výškové úrovni cca 550 m. n. m. Jednotlivé úrovně oddělují ústupové a erozní svahy. Erozní báze pro hodnocené území odpovídá povrchu nivy řeky Jihlavy v nadmořské výšce cca 510 až 530 m. n. m. V povodí Jedlovského potoka se pro nejvyšší úroveň zarovnaného povrchu a přilehlý reliéf vztahuje lokální erozní báze vyvinutá v nadmořské výšce cca 600 m n. m. (odpovídající nivě Jedlovského potoka u Boršova sv. od průzkumného území). **Maximální výškový rozdíl mezi průměrnou nadmořskou výškou paleoreliéfu a erozní bází je 240 m.**

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

Hlavní toky na většině území protékají otevřenými úvalovitými toky s vyvinutou nivou a jejich koryta mají převážně meandrující charakter s převažující laterální složkou eroze. Údolí menších bočních přítoků také nevykazují známky intenzivní hloubkové eroze a jsou většinou vyplněny údolními akumulacemi. Malou intenzitu erozních procesů dokládají četné zachované svahové akumulace, vyvinuté pod skalními sruby. Projevy zpětné hloubkové eroze v reliéfu se vyskytují až v nižších partiích povodí toku pod Dolní Cerekví, kde dochází k nápadnému zúžení a prohloubení údolí řeky Jihlavy, které se v nižších částech povodí zvýrazňuje (Hroch a Pačes 2015, Kopačková et al. 2017). **Celková plocha erozního reliéfu zaujímá cca 15 % území.**

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

Na základě dostupných dat (např. Cháb et al 2007, Franěk et al 2018, Mixa et al. 2019) nejsou v okruhu 5 km od PÚPP známy projevy vulkanické ani post-vulkanické aktivity paleogenního až holocenního stáří (např. Cháb et al. 2007). V okruhu 25 km od PÚPP nebyly zjištěny žádné výskyty kyselek (Květ a Kačura 1976, Kolářová 1978, Jetel a Rybářová 1979).

6.3 Expertní zhodnocení

Pokud vyhodnotíme všechny výše uvedené podklady, lze konstatovat, že na základě všech dostupných dat 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 fáze hodnocení je vhodné realizovat studium zahrnující tektonické mapování, detailní geomorfologickou a morfotektonickou analýzu, včetně monitoringu pomocí aplikace optických metod a DPZ, případně místní seismickou sítí.
- 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. Vyplývají 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 Hrádek ve vztahu k legislativním požadavkům je uvedeno v Tab.9.

Tab. 9 Vyhodnocení vylučujících kritérií pro oblast Seismická a geodynamická stabilita pro lokalitu Hrádek. 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 indikátorů pro kritérium K7 Seismická a geodynamická stabilita lokality Hrádek je uvedeno v Tab. 10.

Tab. 10 Vybrané indikátory kritérii Seismická a geodynamická stabilita pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ a jejich hodnocení pro lokalitu Hrádek.

ID	Indikátor kritéria	Hodnota indikátoru	Známka
K7a	Hodnota maximálního horizontálního zrychlení získaná z pravděpodobnostní metody pro 50% pravděpodobnost a dobou opakování 10^5 let	0,95 $m.s^{-2}$	1,0
K7b	Výškový rozdíl mezi úrovní jednotlivých zarovnaných povrchů a úrovní lokální erozní báze (čím menší výškový rozdíl, tím příznivější hodnota tohoto porovnávajícího kritéria).	240 m	4,4
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 porovnávajícího kritéria).	cca 15 %	2,1

ID	Indikátor kritéria	Hodnota indikátoru	Známka
K7d	Výskyt vulkanických hornin paleogenního až holocenního stáří a kyselek	jev se nevyskytuje	1

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

Kapitola hodnotí perspektivní **území pro geologické charakterizační práce** (PÚGChP) pro lokalitu Hrádek podle metodického pokynu SÚRAO MP_22 (Vokál et al. 2017) a podle metodiky hodnocení (Vondrovic et al. 2019) ve třech kritériích:

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 Hrádek 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 průniku člověka do HÚ.

Kapitola je postavena na rešerši dat a metodice vyhledávání archivních dat různého formátu a stáří.

Zdrojové datové sady pro nově definované potenciální území jsou připraveny pro využití během následných etap hodnocení lokalit a jejich výběru.

7.1 Vylučující kritéria

7.1.1 Poddolovaná území a stará opuštěná důlní díla

Ve vlastním perspektivním území pro geologické charakterizační práce Hrádek je evidováno 8 důlních děl v databázi důlních děl České geologické služby, která lze rozdělit do dvou kategorií

ve smyslu § 35 zákona č. 44/1988 Sb. (horní zákon). Jde o 7 starých důlních děl po těžbě polymetalických rud Pb, Zn a Ag a o jedno průzkumné důlní dílo na stavební kámen. Poloha důlních děl je patrná z mapového výřezu (Obr. 10). Opuštěné průzkumné důlní dílo (šachtice Šc-1) na stavební kámen dosáhlo hloubky 22 m.

Těžba polymetalických rud a průzkumné práce probíhaly s přestávkami od středověku až do počátku 20. století. Jde o důlní díla malého rozsahu, jejichž hloubkový dosah není znám. Dostupné informace k těmto důlním dílům jsou uvedeny v databázi SURIS.

Rešerše ložiskových průzkumů a geologického mapování pro lokalitu Hrádek je uvedena ve zprávě Švagery et al. 2015. Z této rešerše starých báňských map z archivu ČGS – Geofondu vytvořených před r. 1900 vyplývá absence dalších záznamů o indikacích významnějšího zrudnění nebo registrace starších ložiskových průzkumů v tomto území.

7.1.2 Přítomnost zásob nerostných surovin

7.1.2.1 Ložisková území

Zásoby nerostů jsou v lokalitě Hrádek registrovány ve třech ložiskách kamene pro hrubou a ušlechtilou kamenickou výrobu (viz Obr. 10), z nichž jedno zasahuje na sv. hranici území. Geneticky všechna ložiska souvisejí s centrálním moldanubickým masívem variského stáří.

Výhradní ložisko kamene pro hrubou a ušlechtilou kamenickou výrobu B 3128500 Nový Rychnov–Mešnice se rozkládá v okolí kóty Mešnice s nadmořskou výškou 752 m n. m. Většina plochy ložiska leží na k. ú. 707881 Nový Rychnov, malá v. část přesahuje na k. ú. 640697 Hojkov. Plášť plutonu tvoří převážně moldanubické parabřidlice, které jsou v prostoru ložiska denudovány. Surovinu představuje masívní světle šedý až šedomodrý jemně až středně zrnitý biotiticko-muskovitický granit. Ložiskem probíhají dvě poruchová pásma směru SZ–JV se strmým úklonem k SV, které se projevují intenzívním rozpukáním a při povrchu větší náchylností k větrání. Báze zásob ložiska je na úrovni 665 m n. m., celkové převýšení na ložisku (max. mocnost) je cca 85 m. Průzkumnými vrty byla na ložisku dosažena nejnižší úroveň cca 660 m n. m. Celkově je ložisková část granitu chudá na vydatnější zdroje vody a obsahuje pouze puklinové zvodnění. Ložisko nebylo dosud těženo ani otevřeno.

Výhradní ložisko kamene pro hrubou a ušlechtilou kamenickou výrobu **B 3128500 Horní Hutě-Čeřínek** se rozkládá v lese v. u osady Horní Hutě. Ložisko představuje těleso šedorůžové žuly tvořící drobnou apofýzu pronikající pararulami. Petrografické složení hornin kolísá; hlavním typem je biotiticko-muskovitická žula až adamelit. Po tektonické a petrografické stránce se ložisko jeví jako homogenní těleso.

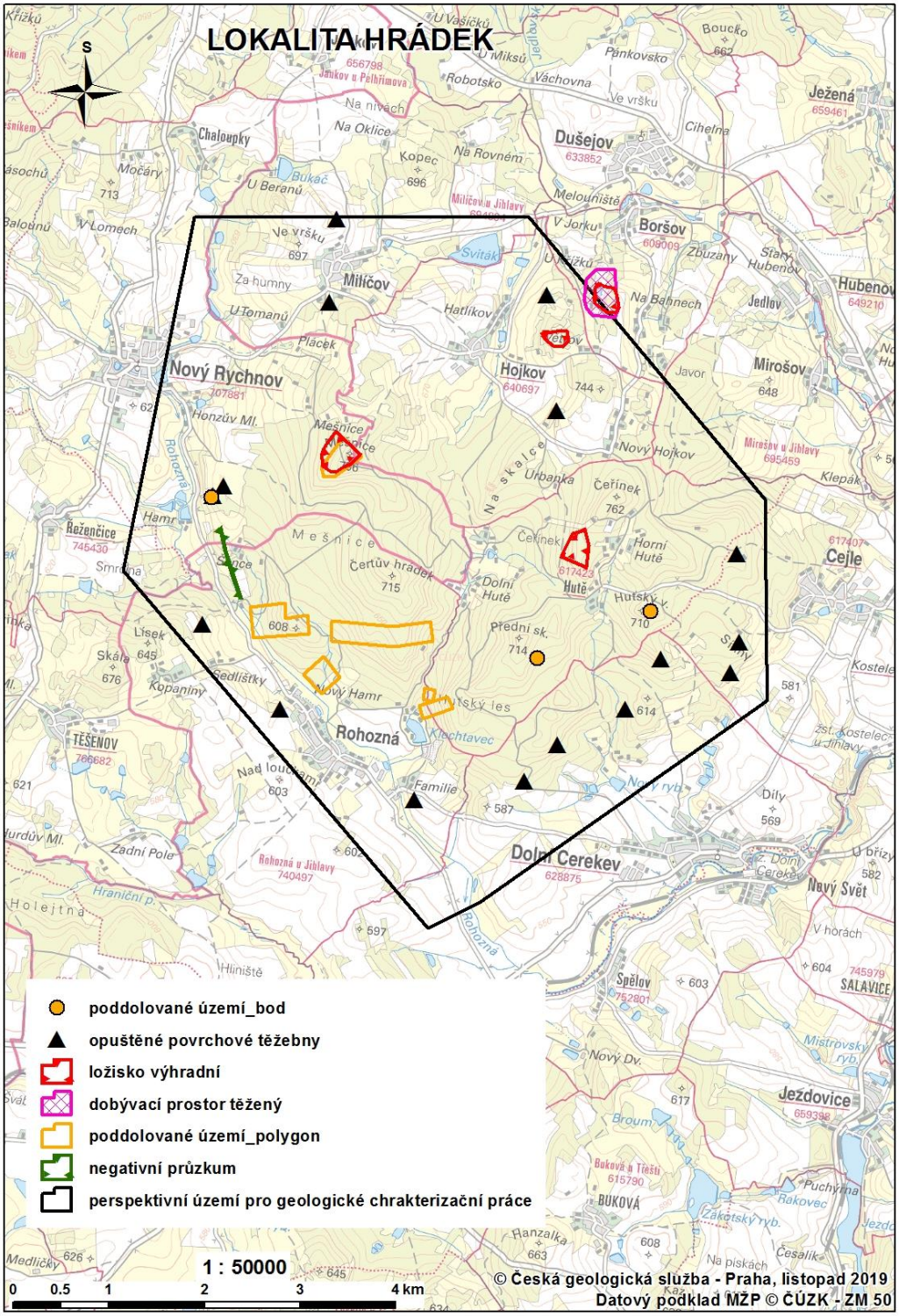
Výhradní ložisko kamene pro hrubou a ušlechtilou kamenickou výrobu **B 3043800 Boršov** leží mezi Chvojkovem a Boršovem při sv. okrajové části rozšířeného PÚGChP. Tvoří je dvě samostatné části. Jihozápadní část se nachází v prostoru tvořeném zemědělskou půdou s remízky a lesíky západně od samot u Větrova. Nebyla dosud těžena. Severovýchodní část ložiska, mající stanovený dobývací prostor **70566 Boršov**, leží pouze svou menší částí uvnitř vymezení potenciálního území. Je těžena jámovým lomem. Ložisko je tvořeno jednak dvojslídným granitem převážně šedých odstínů (v tektonicky postižených pásmech i načervenalým), jednak světlešedým granodioritem.

7.1.2.2 Drobné těžebny na stavební suroviny

V souvislosti s ust. § 18 odst. 2 písm. o) vyhlášky č. 378/2016 Sb. byla pro lokalitu Hrádek zjišťována i další místa zdrojů nebo dřívější těžby nerostných surovin. V ploše perspektivního území pro geologické charakterizační práce se nachází patnáct opuštěných těžeben, náležejících lomům v žule a pískovnám založených v jejím písčitém eluviu (Růžičková 1970). Méně pevné navětralé a rozpadavé žuly byly využívány jako štěrk, kompaktní hornina jako kámen pro hrubou kamenickou výrobu. Rozměry těžeben jsou různé, těžená mocnost kamene je 4–6 m, u žulového eluvia nepřesahuje 2 m. V s. okolí Milíčova, u s. hranice perspektivního území pro geologické charakterizační práce, je uváděn jámový lom velký 15×15×4–5 m a pískovna asi 40×30×1 m. Jižně u téže obce je skupina tří pískoven (40×30×1 m, 10×8×1,5 m, 40×10×1–1,5 m). Na návrší v polích jz. od Nového Rychnova byl jámový lom velký 20×15×4 m; území bylo následně využito jako skládka průmyslového odpadu a je zrekultivováno. Západním směrem je ve svahu lom nepravidelného půdorysu o rozměrech 10–15×15–30×4–5 m. U jz. hranice PÚGChP, sz. od obce Rohozná, jsou dvě pískovny: stěnová ležící s. od samoty Sedlíšťky je velká 50×5×1–2 m, jámová ležící sv. u Rohozné je velká 25×15×4 m. Jámový lom je evidován u osady Famílie (40×5-10×5-6 m). Na v. hranici území sz. od Dolní Cerekve leží u cesty další lom o rozměrech 18×12×2 m, jeho současný stav nebyl aktuálně ověřován.

7.1.2.3 Ložiskové indicie

Průzkum radioaktivních surovin na území polygonu Hrádek a v jeho okolí byl realizován Litochlebem a Krištiakem (1985). V roce 1974 byla u samoty Šance (sz. od obce Rohozná) ověřena radiometrická anomálie na limonitických zónách a v okolních rozpukaných žulách.



Obr. 10 Situace ložiskových objektů v PÚGChP Hrádek a v jeho okolí

Průzkumnými pracemi bylo zjištěno, že anomálie je vázaná na křížení tektonických poruch směru SZ–JV s úklonem 60–70° k SV a směru S–J s úklonem 70–85° k Z a V o mocnosti 0,2–2 m. Jejich výplň tvoří drcený granit, tektonický jíl a relikty brekciovité křemen-karbonátové žiloviny, vrty byl zastižen na hlubších zónách drcení pyrit. Průzkum lokality byl vyhodnocen jako negativní.

Přítomnost křemenných žil se sulfidickým zrudněním, příp. se zlatem, v okolí obce Rohozná náleží k rozptýleným výskytům polymetalické mineralizace, které se vyskytují mezi rudními revíry pelhřimovským a jihlavským. Podle přehledu nerostných surovin v regionu (Pokorný et al. 1969) se na území lokality Hrádek dolovalo s., sv. a sz. od Rohozné v Huťském lese, na jz. svazích Čertova hrádku i mezi Rohoznou a osadou Šance možná již od středověku; poslední ověřovací báňské práce pocházejí z 20. století. Pozůstatky po prospekci nebo těžbě jsou dochovány v podobě několik set metrů dlouhých řad dolíků a několika štol na výchozech některých křemenných žil. V křemenné žilovině byl nalezen pyrit, pyrhotin a galenit. Některé křemenné žíly mohou vykazovat vyšší obsah zlata. Průzkumné práce na těchto historických lokalitách, provedené ve 2. polovině 20. století, vyzněly negativně. Předpokládáme, že hloubkový dosah hornických prací na žílách nebude mít význam pro umístění HÚ.

Charakter dosavadní těžby a vymezené zásoby na lokalitách stavebního kamene v PÚGChP nepředpokládají dosah a narušení masivu pod 30 m pod povrchem. Z hlediska požadavku § 18 odst. 2 písm. o) a odst. 3 vyhlášky č. 378/2016 Sb. lze dovodit, že při posouzení známých údajů ložiskové prozkoumanosti současná a budoucí lidská aktivita při ekonomické těžbě nerostných surovin (těžba stavebního kamene a kamene pro hrubou a ušlechtilou kamenickou výrobu) nedosáhne hloubky pod zemským povrchem, v níž se předpokládá umístění hlubinného úložiště. Těžbou může být okrajově dotčen vylučující indikátor „Zajištění stability staveb“.

7.1.3 Přítomnost zdrojů podzemní vody či geotermální energie

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

Pro charakteristiku geotermálního potenciálu území jsou uvedeny této zprávě dva základní parametry jako vstupní hodnoty pro porovnání specifik každé lokality z hlediska nebezpečí proniknutí člověka do horninového prostředí při využívání geotermální energie – tepelný tok na povrchu a teplota v hloubce 500 m pod povrchem. Tyto dva parametry jsou doplněny informací o tepelné produkci hornin na základě obsahu radiogenních prvků.

Dle mapy teploty v hloubce 500 m (Dědeček et al. 2020) pod povrchem na území ČR by se teplota v této hloubkové úrovni na lokalitě Hrádek mohla pohybovat okolo 17–19 °C. Teplotní mapa vychází jednak z mapy tepelného toku, která je založena na omezeném počtu vrtů, a dále pak z průměrných hodnot tepelné vodivosti jednotlivých horninových typů v dílčích regionálně geologických jednotkách. Detailnější pohled na podpovrchovou teplotu na lokalitě Hrádek nabízejí scénáře nárůstu teploty s hloubkou založené na naměřených hodnotách tepelné vodivosti na dané lokalitě a na zemském tepelném toku vycházejícím z mapy tepelného toku v ČR (Čermák 1979). Z výpočtů je patrné, že teplota v hloubce 500 m pod povrchem se pro jednotlivé scénáře pohybuje přibližně v rozpětí cca 19–23 °C.

Hustotu tepelného toku produkovaného horninami v důsledku rozpadu radioaktivních prvků a postupným chladnutím Země lze určit z naměřeného teplotního gradientu ve vrtech a tepelné vodivosti hornin vrtem zastižených. Podle Čermáka (1979) je průměrná hodnota tepelného toku v Českém masivu 68 ± 24 $mW.m^{-2}$. Nejvyšší hodnoty tepelného toku v severní části Českého masivu (80–100 $mW.m^{-2}$) jsou vázané na vyšší radioaktivitu variských granitů. Dle mapy tepelného toku v ČR leží lokalita Hrádek pravděpodobně v území s průměrným až mírně nadprůměrným tepelným tokem cca 70–75 $mW.m^{-2}$. Uvážíme-li výše uvedenou tepelnou produkci

granitů, tak by byl po odečtení vlivu horninového masivu v nadloží tepelný tok v hloubce 500 m nižší o přibližně 1–2 mW.m^{-2}, což je zanedbatelné.

Petrofyzikální vlastnosti hornin na lokalitě Hrádek byly zpracovány kolektivem Hanáka et al. (2017). Byla zde spočítána tepelná produkce jak pro základní hodnocenou horninu, granit typu Čeřínek a jemu blízký granit typu Boršov, tak pro migmatit (MI – ID 1302) z odběrové lokality Milíčov. Obsahy přirozených radioaktivních prvků dosahují u všech horninových typů průměrných hodnot a výrazně se neliší. U granitů dosahují průměrné obsahy eU(Ra) 6,9-9 ppm, eTh 13,6-19,3 ppm a K 4,01–4,11 %, čemuž odpovídá vypočtená průměrná tepelná produkce 3,5-3,6 μW.m^{-3}. U migmatitu jsou průměrné koncentrace radioaktivních izotopů mírně nižší v případě uranu a draslíku a vypočtená průměrná tepelná produkce činí 2,9 μW.m^{-3}. Tepelnou produkci hodnocených hornin lze tak označit za průměrnou.

Lokalita Hrádek se vyznačuje mírně podprůměrnou tepelnou vodivostí hornin, průměrnou tepelnou produkcí, a nachází se v místě s pravděpodobně průměrnou až mírně nadprůměrnou hustotou zemského tepelného toku. Využití geotermální energie není pravděpodobné. Z hlediska indikace nebezpečí průniku člověka do hostitelských hornin kvůli využití geotermální energie se tudíž lokalita Hrádek jeví jako negativní.

V českém legislativním rámci není pojem „zdroj geotermální energie“ zakotven. Do budoucna je nutno stanovit kritéria, co je za zdroj geotermální energie považováno, jinak lze vždy počítat v tomto parametru s určitou mírou nejistoty.

Mezi výskyty současné a budoucí lidské aktivity, které jsou způsobilé narušit izolační vlastnosti úložného systému, je též zahrnuta přítomnost zdrojů geotermální energie (odst. 4c § 18 vyhlášky č. 378/2016 Sb.). S ohledem na současný stav poznání nebyla přítomnost průmyslově využitelného zdroje geotermální energie na lokalitě Hrádek prokázána. Nebezpečí proniknutí člověka do úložiště nebo změny horninového masivu z důvodů využívání geotermálního potenciálu je 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 posuzováno jako součást vyhodnocení vylučujících kritérií v kapitole 7.1.1 a 7.1.2.

7.3 Expertní zhodnocení lokality Hrádek

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

Po vyhodnocení všech výše uvedených podkladů, lze konstatovat, že na základě všech dostupných dat zpracovaných v této kapitole věnované faktorům, které by mohly vést k narušení úložiště budoucími aktivitami člověka, nebyla na základě dostupných dat zjištěna vylučující kritéria pro umístění HÚ.

Výsledky hodnocení indikátorů kategorie „Charakteristiky, které by mohly vést k narušení úložiště budoucími aktivitami člověka“ jsou uvedeny ve finální tabulce se zavedením vyhodnocení dle

doporučené bodové škály (1–5) pro kritérium „Ložiskové poměry na lokalitě“. Toto shrnutí ukazuje, že ve sledované položce bude kritérium vhodnosti spíše splněno (Tab. 11 a Tab. 12).

7.3.1 Nejistoty spojené s hodnocenou oblastí

Hodnocená oblast a její ložiskové parametry v současném pojetí ochrany nerostných surovin nepředstavují střety s kritériem vhodnosti. Větší pravděpodobnost střetu může nastat při případné změně či novém vymezení chráněných ložiskových území a změně hloubkového dosahu ložisek na stavební kámen, popřípadě při obnově průzkumů na polymetalické rudní indicie. Určitou nejistotu v kritériu geotermální energie lze spatřovat v nedostatečné legislativní definici zdroje geotermální energie pro naše území, neboť současné technologie umožňují získávání energie i z nízkoteplotních geotermálních zdrojů bez vazby na přirozené geotermální anomálie, pro něž je lokalita Hrádek bez rizika.

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

Vyhodnocení kritéria K8 „Charakteristiky, které by mohly vést k narušení úložiště budoucími aktivitami člověka“ ve vztahu k legislativním požadavkům na prokázání vhodnosti lokality pro umístění HÚ 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 budoucími aktivitami člověka pro lokalitu Hrádek. 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

Popis výběru jednotlivých indikátorů a metodiky jejich vyhodnocení je uveden ve zprávě Vondrovic et al. (2019). Vyhodnocení vybraných indikátorů pro kritérium K8 „Charakteristiky, které by mohly vést k narušení úložiště budoucími aktivitami člověka“ na lokalitě Hrádek, je

uvedeno v Tab. 12. Ve sledovaných parametrech ložiskové situace a poddolování jsou indicie nevýznamné.

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

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

.

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

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

V Tab. 13 je shrnuto vyhodnocení vylučujících kritérií, významných pro dlouhodobou bezpečnost, pro lokalitu Hrádek. 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 lokalitu Hrádek.

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 Hrádek nebyla identifikována žádná vlastnost, která 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.

BAIER J., MILICKÝ M., GVOŽDÍK L., POLÁK M., UHLÍK J., ČERNÝ M., ZEMAN O., JANKOVEC J. (2018): Detailní hydrogeologický model lokality Hrádek. – MS SÚRAO, TZ 241/2018. Praha.

BAIER J., MILICKÝ M., GVOŽDÍK L., POLÁK M., UHLÍK J., ČERNÝ M., ZEMAN O., JANKOVEC J. (2020): Pasport aktualizovaného detailního hydraulického modelu. Lokalita Hrádek. – Technická zpráva v přípravě, Praha.

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.

BENEŠ V., BELOV T., JIRKŮ J., BUNEŠ J., BÁRTA J. (2019a): Zpráva geofyzikálních prací za první etapu – lokalita Hrádek. – MS SÚRAO, TZ 253/2019, Praha, 24 s.

BENEŠ V., BELOV T., JIRKŮ J., BUNEŠ J., BÁRTA J. (2019b): Zpráva geofyzikálních prací za druhou etapu – lokalita Hrádek. – MS SÚRAO, TZ 377/2019, Praha, 36 s.

BENEŠ V., BELOV T., JIRKŮ J., BUNEŠ J. BÁRTA J. (2019): Ověření geologických struktur lokality Hrádek geofyzikálními metodami. Závěrečná zpráva. – MS SÚRAO, TZ 435/2019, 76 s.

BREITER K., SCHARBERT S. (1998): Latest intrusions of the Eisgarn Pluton (South Bohemia – Northern Waldviertel). – Jahrb. Geol. B.–A., 141, 25–37.

BUKOVSKÁ Z., ČEJCHANOVÁ A., FRANĚK J., JELÉNEK J., MLČOCH B., PERTOLDOVÁ J., SKÁCELOVÁ Z., SOEJONO I., ŠVAGERA O., VERNER K., MILICKÝ M., BARTÁŠKOVÁ L. (2016): Regionální 3D strukturně geologický model lokality Hrádek. – MS SÚRAO, TZ 105/2017, Praha.

ČERMÁK V. (1979): Geothermal studies and heat flow map of Czechoslovakia. In: ČERMÁK V. (ed): Geodynamic investigations in Czechoslovakia. Final Report. – Veda, Bratislava, 129–132.

DĚDEČEK P., UXA T., HOLEČEK J. (2020): Geotermické zhodnocení potenciálních lokalit HÚ na základě dostupných údajů. – MS SÚRAO, TZ 486/2020.

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.

FRANKE W. (2000): The mid-European segment of the Variscides: tectonostratigraphic units, terrane boundaries and plate tectonic evolution. – Geological Society, London, Special Publications, 179, 35–61.

GERDES A., WÖRNER G., FINGER F. (2000): Hybrids, magma mixing and enriched mantle melts in post-collisional Variscan granitoids: the Rastenberg Pluton, Austria. In: Franke, W., Haak, V., Oncken, O., Tanner, D. (Eds): Orogenic Processes: Quantification and Modelling in the Variscan Belt – Geological Society of London Special Publication, 179, 415–431.

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., KOLOMÁ 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 umístnění 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., VAŠÍČEK 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., VAŠÍČEK 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., JELÉNEK 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., VAŠÍČEK 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., JELÉNEK 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., VAŠÍČEK 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., JELÉNEK 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., VAŠÍČEK 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., HRDLIČKOVÁ K., JELÉNEK 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 279/20118, 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.

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

CHÁB J., STRÁNÍK Z., ELIÁŠ M. (2007): Geologická mapa České republiky 1 : 500 000. – Čes. geol. služba. Praha.

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

JETEL J., RYBÁŘOVÁ L (1979): Minerální vody Východočeského kraje. – MS Čes. geol. služ. Praha.

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.

KLOMÍNSKÝ J., JARCHOVSKÝ T., RAJPOOT G. S. (2010): Atlas of plutonic rocks and orthogneisses in the Bohemian Massif. – Česká geologická služba, Praha.

KOLÁŘOVÁ M. (1978): Minerální vody Středočeského a Jihočeského kraje. – MS Čes. geol. služ. Praha.

KOPAČKOVÁ V., JELÍNEK J., ŠVAGERA O., HROCH T., KOUCKÁ L., JELÉNEK 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. (1982): Odtok podzemní vody na území Československa. – Čes. hydrometeorolog. úst., Praha.

KVĚT R, KAČURA G. (1976): Minerální vody Jihomoravského kraje. – MS Čes. geol. služ. Praha.

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

LINNER M. (1996): Metamorphism and partial melting of paragneisses of the Monotonous Group, SE Moldanubicum (Austria). – Mineral. Petrol., 58, 215–234.

LITOCHLEB J., KRIŠTIAK J. (1985): Závěrečná zpráva o geologickém mapování a vyhledávacím průzkumu na úseku Pelhřimov – Humpolec. Uranový průzkum Příbram. – MS Čes. geol. služ. – Geofond. Praha.

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. Provedení geologických a dalších prací pro hodnocení a zúžení lokalit pro umístění hlubinného úložiště. – Geobariéra, SÚRAO, Praha.

MIXA P., SKÁCELOVÁ Z., PERTOLDOVÁ J., BUKOVSKÁ Z., BURIÁNEK D., DUDÍKOVÁ B., FRANĚK J., HRDLIČKOVÁ 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. Papadopulos & Associates Inc., Bethesda, Ontario, USA.

NÝVLT D. (2008): Paleogeografická rekonstrukce kontinentálního zalednění Šluknovské pahorkatiny. – Ph.D. teze, Univerzita Karlova v Praze, Praha, 103 s.

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.

PERTOLDOVÁ J., MIXA P., BUKOVSKÁ Z., BURIÁNEK D., DUDÍKOVÁ B., FRANĚK J., HRDLIČKOVÁ K., NAHODILOVÁ R., SOEJONO I., VERNER K., ŽÁČEK V., PETYNIAK 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.

POKORNÝ J., MAŇOUR J., PLÍŠEK A. (1969): Surovinová studie Českomoravské vrchoviny. – MS Čes. geol. služ. – Geofond, Praha.

RACEK M., ŠTÍPSKÁ P., PITRA P., SCHULMANN K., LEXA O. (2006): Metamorphic record of burial and exhumation of orogenic lower and middle crust: new tectonothermal model for the Drosendorf window (Bohemian Massif, Austria). – Mineralogy and Petrology, 86, 221–251.

RENÉ M. (2000): Two-mica granites of the southwestern part of the South Bohemian Batholith. – Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft, 145, 21–28.

RŮŽIČKOVÁ B. (1970): Inventarisace ložisek stavebních nerostných surovin. Dílčí zpráva pro území listu mapy 1:50 000 M-33-91-D (Dolní Cerekev). – MS, Geoindustria, Čes. geol. služ. – Geofond, 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, 441–458.

SCHULMANN K., KRÖNER A., HEGNER E., WENDT I., KONOPÁSEK J., LEXA O., ŠTÍPSKÁ P. (2005): Chronological constraints on the pre-orogenic history, burial and exhumation of deep-seated rocks along the eastern margin of the Variscan orogen Bohemian Massif, Czech Republic. – Amer. J. Sci., 305, 407–448.

SCHULMANN K., LEXA O., ŠTÍPSKÁ P., RACEK M., TAJČMANOVÁ L., KONOPÁSEK J., EDEL J. B., PESCHLER A., LEHMANN J. (2008): Vertical extrusion and horizontal channel flow of orogenic lower crust: key exhumation mechanisms in large hot orogens?. – Journal of Metamorphic Geology, 26, 273–297.

SCHULMANN K., KONOPÁSEK J., JANOUŠEK V., LEXA O., LARDEAUX J. M., EDEL J. B., ŠTÍPSKÁ P., ULRICH S. (2009): An Andean type Palaeozoic convergence in the Bohemian Massif – Comptes Rendus Geoscience 341, 266–286.

SKOŘEPA J., BÁRTA J., ČERNÝ J., DUFEK J., KONOPÁČOVÁ K., KRAJÍČEK L., MAAROVÁ I., MAREK J., NAVRÁTILOVÁ V., SLOVÁK J., TESAŘ M. (2005). Provedení geologických a dalších prací pro

zhodnocení a zúžení lokalit pro umístění hlubinného úložiště, svazek G – Lokalita č. 41 – Rohozná, závěrečná zpráva. – Sdružení Geobariéra, Praha.

SOEJONO I., ŽÁČKOVÁ E., JANOUŠEK V., MACHEK M., KOŠLER, J. (2010): Vestige of an Early Cambrian incipient oceanic crust incorporated in the Variscan orogen: Letovice Complex, Bohemian Massif. – Journal of the Geological Society London, 167, 1113–1130.

SUESS F. E. (1926): Intrusionstektonik und Wandertektonik im Variszichen Grundgebirge. – Verlag Bornttrager, Berlin.

ŠTÍPSKÁ P., HACKER B. R., RACEK M., HOLDER R., KYLANDER-CLARK A. R. C., SCHULMANN K., HASALOVÁ P. (2015): Monazite dating of prograde and retrograde P-T-d paths in the Barrovian terrane of the Thaya window, Bohemian Massif. – Journal of Petrology, 56, 1007–1035.

ŠVAGERA O., FRANĚK J., BUKOVSKÁ Z., ČEJCHANOVÁ A., MLČOCH B., PERTOLDOVÁ J., SKÁCELOVÁ Z., SOEJONO I., TOMEK F. (2015): Rešerše dostupných archivních dat pro 7 zájmových území SÚRAO relevantních pro 3D strukturně geologické modely. – MS SÚRAO, TZ 12/2015, Praha.

TAJČMANOVÁ L., SOEJONO I., KONOPÁSEK J., KOŠLER J., KLÖTZLI U. (2010): Structural position of high-pressure felsic to intermediate granulites from NE Moldanubian zone (Bohemian Massif). – Journal of the Geological Society London, 167, 329–345.

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, - NS SURAO, TZ 323/2018, Praha.

VERNER K., ŽÁK J., ŠRÁMEK J., PACLÍKOVÁ J., ZAVŘELOVÁ A., MACHEK M., FINGER F., JOHNSON K. (2014): Formation of elongated granite–migmatite domes as isostatic accommodation structures in collisional orogens. – Journal of Geodynamics, 73, 100-117.

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.

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. (2019): Doplněk ke studiím umístitelnosti HÚ v kandidátních lokalitách, Závěrečná zpráva. – MS SÚRAO, TZ 442/2019, Praha.

ZAVŘELOVÁ A., VERNER K., MELICHAR R. (2009): Magnetické stavby a mechanizmy vmístění granitiodů pně Čeřínku (moldanubický plutonický komplex). – Geol. výzk. mor. slez., Brno, 2009, 121–124.

ŽÁK J., VERNER K., FINGER F., FARYAD S. W., CHLUPÁČOVÁ M., VESELOVSKÝ M. (2011): The generation of voluminous S-type granites in the Moldanubian unit, Bohemian Massif, by rapid isothermal exhumation of the metapelitic middle crust. – Lithos, 121, 25–40.

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.

ZÁKON č. 44/1988 Sb., Zákon o ochraně a využití nerostného bohatství (horní zákon). In: Sbírka zákonů, 1988. – Částka 8, 175–188, ve znění pozdějších předpisů.

www stránky:

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

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

SÚRAO | SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ | NAŠE BEZPEČNÁ BUDOUCNOST

info@surao.cz | **www.surao.cz**