

HODNOCENÍ POTENCIÁLNÍCH LOKALIT HÚ Z HLEDISKA KLÍČOVÝCH KRITÉRIÍ DLOUHODOBÉ BEZPEČNOSTI

LOKALITA ČIHADLO

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

Praha, 2020

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

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: SÚRAO-2019-3183)

Bibliografický zápis: HAVLOVÁ V., PERTOLDOVÁ J., MIXA P., POLÁK M., ČERNÝ M., MILICKÝ M., HROCH T., ŠTĚDRÁ V., BAIER J., DUDÍKOVÁ B., DUŠEK K., FRANĚK J., GVOŽDÍK L., HEJTMÁNKOVÁ P., HOLEČEK J., JANKOVEC J., JELÉNEK J., JELÍNEK J., KACHLÍKOVÁ R., KUČERA R., KUNCEOVÁ E., NÝVLT D., PETYNIÁK O., RAPPRICH V., RUKAVIČKOVÁ L., ŠVAGERA O., UHLÍK J., VERNER K., VOJTĚCHOVÁ H. (2020): Hodnocení potenciálních lokalit HÚ z hlediska klíčových kritérií dlouhodobé bezpečnosti. Lokalita Čihadlo. – MS SÚRAO, TZ 449/2020

ŘEŠITELÉ:

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

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

Lukáš Vondrovic

Manažer projektu (SÚRAO)

31. 1. 2020

Václava Havlová

Manažer projektu (ÚJV Řež, a. s.)

31. 1. 2020

Obsah

1	Úvod	2
2	Vstupní předpoklady hodnocení	4
3	Přehled hodnocených kritérií významných z hlediska dlouhodobé bezpečnosti HÚ.....	7
4	Geologické charakteristiky lokality	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.....	21
4.1.4	Indikátor K3c Stupeň duktilní deformace	21
4.2	Kritérium K4 Variabilita geologických vlastností.....	22
4.2.1	Indikátor K4a Prostorová variabilita horninového prostředí.....	22
4.2.2	Indikátor K4b Petrologická variabilita hornin.....	23
4.3	Expertní zhodnocení lokality.....	23
4.3.1	Nejistoty spojené s hodnocenou oblastí	26
4.3.2	Vyhodnocení kritérií ve vztahu k legislativním požadavkům na prokázání vhodnosti lokality pro umístění HÚ (vylučující kritéria)	27
4.3.3	Hodnocení vybraných kritérií pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ	28
5	K5 Hydrogeologické charakteristiky	30
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	32
5.2	Kritéria pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ	32
5.2.1	Kritérium K5 Charakteristika proudění vody v okolí úložiště a transportní charakteristiky.....	32
5.2.2	Kritérium K6 Identifikace a umístění drenážních bází	37
5.3	Expertní zhodnocení lokality.....	39
5.3.1	Nejistoty spojené s hodnocením hydrogeologických kritérií	39
5.3.2	Vyhodnocení kritérií ve vztahu k legislativním požadavkům na prokázání vhodnosti lokality pro umístění HÚ (vylučující kritéria)	39
5.3.3	Hodnocení vybraných kritérií pro posouzení vhodnosti lokality pro umístění HÚ	39
6	Kritérium K7 Seismická a geodynamická stabilita.....	41

6.1	Vylučující kritéria	42
6.1.1	Zemětřesení a přítomnost potenciálně aktivních zlomů pro období statisíců let (seismická stabilita)	42
6.1.2	Pokles nebo výzdvih povrchu území (vertikální pohyby zemské kůry).....	42
6.1.3	Postvulkanické jevy	42
6.2	Kritéria pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ	43
6.2.1	Indikátor K7a Hodnota maximálního horizontálního zrychlení	43
6.2.2	Indikátor K7b Výškový gradient	43
6.2.3	Indikátor K7c Procentuální podíl plochy reliéfu postiženého a přetvořeného mladými cykly zpětné eroze a svahovými deformacemi	43
6.2.4	Indikátor K7d Výskyt vulkanických hornin paleogenního až holocenního stáří a kyselek	44
6.3	Expertní zhodnocení	44
6.3.1	Nejistoty spojené s hodnocenou oblastí	44
6.3.2	Vyhodnocení kritérií ve vztahu k legislativním požadavkům na prokázání vhodnosti lokality pro umístění HÚ (vylučující kritéria)	45
6.3.3	Hodnocení vybraných kritérií pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ	45
7	Kritérium K8 Charakteristiky, které by mohly vést k narušení hlubinného úložiště budoucími aktivitami člověka	47
7.1	Vylučující kritéria	48
7.1.1	Poddolovaná území a stará a opuštěná důlní díla	48
7.1.2	Přítomnost zásob nerostných surovin.....	48
7.1.3	Přítomnost zdrojů podzemní vody či geotermální energie	50
7.2	Kritéria pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ	51
7.2.1	Indikátor K8a Ložiskové poměry na lokalitě.....	51
7.3	Expertní zhodnocení lokality Čihadlo.....	52
7.3.1	Nejistoty spojené s hodnocenou oblastí	52
7.3.2	Vyhodnocení kritérií ve vztahu k legislativním požadavkům na prokázání vhodnosti lokality pro umístění HÚ (vylučující kritéria)	52
7.3.3	Hodnocení vybraných kritérií pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění	53
8	Celkové zhodnocení lokality Čihadlo ve vztahu k vylučujícím kritériím a kritériím porovnávacím	54

Seznam použitých zkratk:

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

Abstrakt

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

Vlastnosti lokality jsou hodnoceny v následujících kategoriích kritérií:

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

Klíčová slova

Hlubinné úložiště, výběr lokalit, Čihadlo, klenovský pluton, moldanubikum, dlouhodobá bezpečnost

Abstract

This report summarizes the available data from Čihadlo 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, Čihadlo, Klenov pluton, Moldanubian zone, long term safety

1 Úvod

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

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

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

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

Předmětem projektu je:

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

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

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

2 Vstupní předpoklady hodnocení

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

Hodnocení geologických kritérií K3 Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků a K4 Variabilita geologických vlastností, kritéria K7 Seismická a geodynamická stabilita a K8 Charakteristiky, které by mohly vést k narušení úložiště budoucími aktivitami člověka a jejich indikátorů uvedených níže, je na lokalitě Čihadlo 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 Čihadlo je realizováno na území 3D detailního hydrogeologického modelu (Polák et al. 2018), který byl aktualizován (Polák et al. 2020) zpracováním dat z nového strukturního schématu (Mixa et al. 2019).

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

Kritérium K3 Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků

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

Kritérium K4 Variabilita geologických vlastností

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

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

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

- vylučující kritérium *Zemětřesení a přítomnost potenciálně aktivních zlomů pro období statisíců let (seismická stabilita)* bylo zhodnoceno následovně: Zemětřesení byla posouzena v rozsahu dle požadavku vyhlášky č. 378/2016 Sb. na základě dat seismotektonického modelu vycházející z metodiky PSHA (Málek et al. 2018). Pro vyhodnocení přítomnosti potenciálně aktivních zlomů na konkrétní lokalitě nejsou k dispozici relevantní data o stáří a aktivitě studovaných tektonických poruch;
- vylučující kritérium *Pokles nebo výzdvih povrchu území (vertikální pohyby zemské kůry)* je hodnoceno v rozsahu regionálních dat dle zprávy Hrocha a Pačese (2015);
- vylučující kritérium *Postvulkanické jevy* je zhodnoceno v rozsahu odpovídajícím požadavku vyhlášky č. 378/2016 Sb.;
- indikátor *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 kritérií z oblasti **Charakteristik, 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 1138309 Y 715462;
- X 1142441 Y 715665;
- X 1142708 Y 715543;
- X 1144873 Y 715227;
- X 1145790 Y 716123;
- X 1146352 Y 717785;
- X 1146698 Y 718914;
- X 1146428 Y 720771;
- X 1145888 Y 720880;
- X 1145600 Y 720864;
- X 1138989 Y 720118.

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

Čihadlo – V

- X 1142276 Y 716711;
- X 1142708 Y 715543;
- X 1143955 Y 715884;
- X 1144288 Y 716045;
- X 1144635 Y 716358;
- X 1144923 Y 716770;
- X 1144998 Y 716909.

Čihadlo – Z

- X 1141870 Y 717752;
- X 1146539 Y 719520;
- X 1146370 Y 720737;
- X 1145987 Y 720819;
- X 1140374 Y 719791;
- X 1139921 Y 718282.

3 Přehled hodnocených kritérií významných z hlediska dlouhodobé bezpečnosti HÚ

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

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

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

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

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

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

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

ID	Název kritéria	Popis kritéria / hodnota	Zdroj	Hodnocené území
2.1.2	Variabilita vlastností	Velká variabilita vlastností neumožňující připravit důvěryhodný 3D geologický, hydrogeologický, geomechanický či geochemický model je jedním z vylučujících kritérií. Ve stávající fázi povrchové geologické charakterizace však tento faktor nemusí být vylučující, ale může sloužit pro porovnání lokalit.	Vyhl. č. 378/2016, § 18 (4) b)	Perspektivní území pro projektové práce
2.2	Hydraulické charakteristiky			
2.2.1	Přítomnost zvodní v izolační části úložiště	Přítomnost zvodní v izolační části úložiště je vylučujícím kritériem pro umístění úložiště.	Vyhl. č. 378/2016, § 8 (2)	Perspektivní území pro projektové práce
2.2.2	Obtížnost vytvoření hydrogeologických modelů a predikce vývoje hydrogeologických poměrů v lokalitě	Nepřijatelné nejistoty v důsledku obtížného stanovení vlivu poruchových zón a dalších struktur na vytvoření hydrogeologického modelu lokality. V první fázi povrchových geologických prací však tento faktor nemusí být vylučující, ale může sloužit pro porovnání lokalit.	Vyhl. č. 378/2016, § 18 (4) b) 2.	Území 3D detailního hydrogeologického modelu
2.3	Stabilita lokality			
2.3.1	Zemětřesení a přítomnost potenciálně aktivních zlomů pro období statisíců let (seismická stabilita)	Pro umístění nemůže být využit pozemek jaderného zařízení, na kterém, nebo ve vzdálenosti do 5 km od jeho hranice, se vyskytuje zlom potenciálně schopný posunu s projevem na povrchu nebo blízko povrchu. Hodnoty maximálního potenciálního magnituda a hodnoty zrychlení kmitů půdy s četností mohou být použity pro porovnání lokalit.	Vyhl. č. 378/2016, § 6 (2) a)	V rozsahu odpovídajícím 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)
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 odpovídajícím 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			

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

Ve druhém kroku budou potenciální lokality, které prošly hodnocením vylučujících kritérií, vzájemně porovnávány pomocí váhového hodnocení klíčových kritérií. Klíčová kritéria jsou případně členěna na dílčí indikátory, které představují konkrétní vlastnosti lokalit. Indikátor je tedy dílčí charakteristika lokality využitá pro zhodnocení klíčového kritéria. Porovnání lokalit v této fázi bude 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 z hlediska vhodnosti pro umístění HÚ.

Tab. 2 Kritéria a jejich indikátory významné z hlediska dlouhodobé bezpečnosti, hodnocené 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
		K4b	Petrologická variabilita hornin	Vylučující/porovnávací
K5	Charakteristika proudění vody v okolí HÚ a transportní charakteristiky	K5a	Doba dotoku z HÚ do oblasti drenáže	Porovnávací
		K5b	Rychlost proudění v úrovni úložiště (m.rok ⁻¹)	Porovnávací

ID	Název kritéria	ID	Název indikátoru	Charakter požadavku
		K5c	Propustnost v prostoru HÚ (m.s^{-1})	Porovnávací
		K5d	Sestupná vertikální složka proudění (% plochy HÚ)	Porovnávací
		K5e	Maximální propustnost poruchových zón do 500 m od hranice HÚ (m.s^{-1})	Porovnávací
		K5f	Specifický průtok v prostoru HÚ ($\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$)	Porovnávací
		K5g	Poměr ředění (%)	Porovnávací
K6	Identifikace a umístění drenážních bází	K6a	Počet drenážních toků	Porovnávací
		K6b	Zastoupení drenáže z plochy HÚ v jediném toku	Porovnávací
		K6c	Zastoupení drenáže z plochy HÚ v jediném povodí	Porovnávací
		K6d	Horizontální vzdálenost HÚ od drenáže (m)	Porovnávací
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 Čihadlo k jednotkám moldanubika jižních Čech (Chlupáč a Štorch 1992, Obr. 1). Jedná se o horniny jednotvárné skupiny moldanubika (migmatity, migmatizované pararuly a pararuly), tělesa ortorul a granulitů, místy pestré vložky erlanů, amfibolitů a kvarcitů, a dále granitoidy moldanubického plutonického komplexu (těleso klenovského plutonu). Sedimenty pokryvných útvarů zastupují relikty sladkovodního neogénu a kvartérní uloženiny ve formě svahových a říčních sedimentů.

Popis geologické stavby

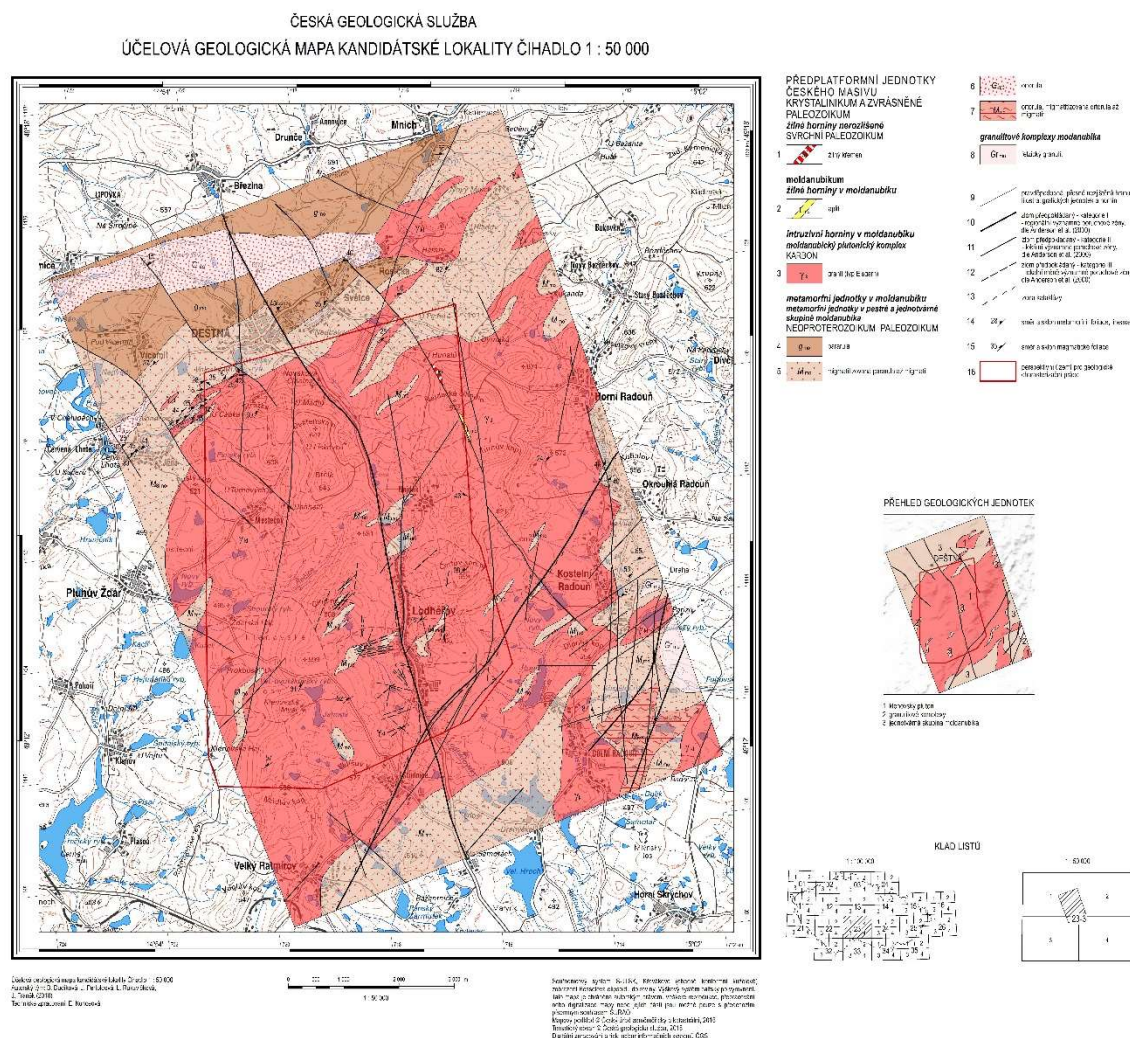
Granitový klenovský pluton lemují migmatity a migmatizované pararuly ojediněle s pestrými vložkami erlanů, amfibolitů a kvarcitů, severozápadně od plutonu probíhá těleso muskovit-biotitických ortorul v.–z. směru, jihovýchodně od plutonu pak vystupují menší tělesa leukokratických biotitických migmatitů, ortorul a granulitů. Stáří regionální metamorfózy a tavení hornin jednotvárné skupiny je pravděpodobně obdobné jako krystalizační stáří granitů klenovského plutonu, který je ve vztahu k regionálnímu vývoji syntecktonický. Klenovský pluton představují dvojslídne granity typu Eisgarn. Jsou to horniny s charakteristickým peraluminickým složením a relativně vysokými obsahy draslíku (granitoidy S-typu) při poměrně vysokém obsahu SiO_2 . Z výrazné negativní gravimetrické anomálie, korelující s plošným rozsahem klenovského plutonu, i ze dvou 2D gravimetrických modelů (Bukovská et al. 2016), vyplývá výrazný hloubkový dosah přítomných granitových těles, který pravděpodobně dosahuje v nejhlubších partiích 4,5 km. Aktuálními geologickými a geofyzikálními pracemi bylo zjištěno, že na východním i západním okraji plutonu je kontakt granitů s metamorfovanými horninami posunut více k centru plutonu v porovnání s publikovanými mapami. To znamená významnou redukci rozsahu granitů z východní strany asi o 1 km až 1,2 km, a redukci rozsahu granitů na západní straně klenovského plutonu o cca 1 km.

Kontakty granitů klenovského plutonu vůči metamorfovaným horninám mají převážně intruzivní charakter, pouze v z. okolí obce Mostečný, tedy na z. okraji plutonu, je kontakt tektonický (zlom ID 7 2. kategorie ve smyslu Anderssona et al. 2000). Intruzivní kontakty tvoří prstovité proniky do okolních hornin a upadají na jihu území pod středními úhly k Z a v severní části území až k SZ. Mají tak subparalelní orientaci ve vztahu k regionální stavbě celého území. Nové geologické a geofyzikální poznatky potvrdily také na v. okraji plutonu upadání kontaktu granitů s moldanubikem pod středními úhly k Z až SZ, ovšem jv. kontakt byl shledán jako problematičtější. Nové terénní práce, v kombinaci s archivními vrtnými pracemi z dob uranového průzkumu (např. vrty L-3 (1972), L-7, L-9 (oba 1973), L-6 (1976) provedené organizací Uranový průzkum, závod Příbram, které jsou dostupné v aplikaci Vrtná prozkoumanost ČGS), identifikovaly na jv. okraji plutonu dílčí granitovou apofýzu ploše ukloněnou k Z – lze tedy předpokládat, že se směrem k jihovýchodu mocnost granitové intruze výrazně snižuje (Mixa et al. 2019).

Horniny jednotvárné skupiny (Kodym 1966; Zoubek 1988) vznikly metamorfózou vulkanosedimentárních komplexů v podmínkách střední kůry (4–8 kbar, 630–760 °C, např. Linner 1996; Racek et al. 2006). Jedná se o sillimanit-biotitické migmatity a pararuly v různém stupni migmatitizace s ojedinělými výše zmíněnými pestrými vložkami. Protolitem těchto hornin byly jílovito-písčité a písčité sedimenty pravděpodobně neoproterozoického až devonského stáří s omezenými horizonty sekvencí křemenců, karbonátových a vulkanických hornin (např. Kröner et al. 1988; Košler et al. 2013). V období variských orogenních procesů (~360–325 Ma) docházelo společně s geodynamickým vývojem hlubších částí variského orogenního pásma k polyfázové metamorfóze, tavení a deformaci těchto hornin. Teplotní a tlakové podmínky hornin odpovídají podmínkám střední kontinentální kůry (3–6,5 kbar, 630–720 °C; Linner 1996; Žák et al. 2011). Součástí horninového komplexu migmatitů a pararul jsou tělesa ortorul, jejichž stáří je stále předmětem výzkumů, a tělesa felzických granulitů, které prošly vysokoteplotní a vysokotlakou metamorfózou (800–1000 °C, 15–20 kbar, např. Carswell a O'Brien 1993).

Na základě nových geologických a geofyzikálních prací bylo na území lokality Čihadlo zpřesněno množství některých horninových položek, např. biotitických ortorul, kvarcitů a amfibolitů, a také křemenných, pegmatitových a granitových žil jak v rámci plutonu, tak v okolních migmatitech. Při z. okraji plutonu bylo ve stávajících migmatitizovaných pararulách a stromatitických biotitických migmatitech nově vymapováno těleso ortoruly sv.–jz. směru a dílčí intruze granitu v migmatitech. Na jihovýchodním okraji území lokality bylo nově vymapováno těleso amfibolitu v biotitických migmatitech (Mixa et al. 2019).

Kvartérní sedimenty mají na lokalitě Čihadlo malý rozsah a jsou zpravidla vázány na plošně omezené výskyty v podobě denudačních reliktů. Fluviální hlíny, jíly, písky až štěrky holocenního stáří jsou akumulovány v údolních nivách vodních toků. Jejich mocnost se pohybuje od 2 do 2,5 m. Splachové jílovité až písčité sedimenty vyplňují dna občasně protékaných mělkých údolí a depresí, případně jsou vázány na části stálých toků bez vyvinuté nivy. Jejich sedimentace je vázána především na úseky s nižší spádovou křivkou. Mocnost těchto sedimentů se většinou pohybuje v řádu 0,5 m až prvních metrů. Svahové kamenitoblokové, resp. kamenitohlinité a hlinitokamenité, sedimenty jsou vázány na oblasti s výraznějším reliéfem (klenovský pluton) a jsou zachovány především na svazích, resp. v dolních částech svahů (Mixa et al. 2019).



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

4.1.2 Indikátor K3a Stupeň křehkého porušení masivu – zlomové struktury

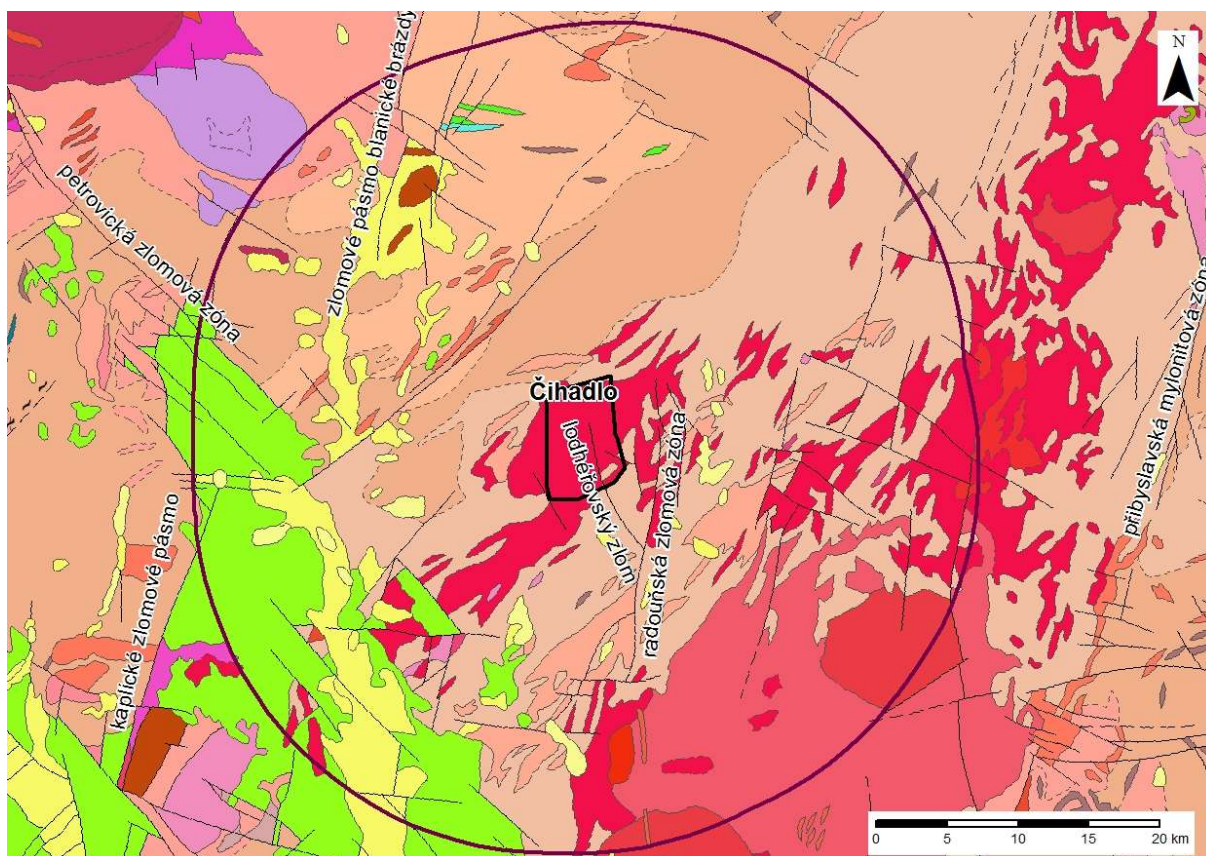
Zlomové struktury regionálního měřítka v okruhu 25 km

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

V širším regionu (okruh 25 km od lokalizace perspektivního území pro geologické charakterizační práce zájmového území – 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 alpské orogeneze. Mezi nejvýraznější strukturu patří zlomy kaplického zlomového pásma (strmý sklon v průběhu ~SSV–JJZ), které se vyskytují podél západního okraje vymezeného okruhu 25 km (v linii Kaplice – Tábor – Mladá Vožice). Jedná se o pásmo zlomů s doprovodem nízkoteplotních mylonitů a kataklazitů v šířce

několika desítek metrů. Pokračováním kaplického pásma dále k SV je pak zlomové pásmo blanické brázdy, zasahující rovněž do okruhu 25 km od zájmového území. Druhou skupinou výrazného křehkého porušení jsou zlomy a zlomové zóny severovýchodního tektonického omezení třeboňské pánve (v průběhu SZ–JV), které se nacházejí přibližně v linii Veselí nad Lužnicí – Gmünd. Do této skupiny zlomových struktur dále patří zlomy ve východní části vymezeného okruhu v okolí Nové Včelnice a Žirovnice. V regionálním měřítku se jedná o pokračování petrovické zlomové zóny.

V rámci vymezeného okruhu se dále vyskytují dva významné zlomy průběhu ~S–J, a to lodhěřovský zlom a radouňská zlomová zóna.



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

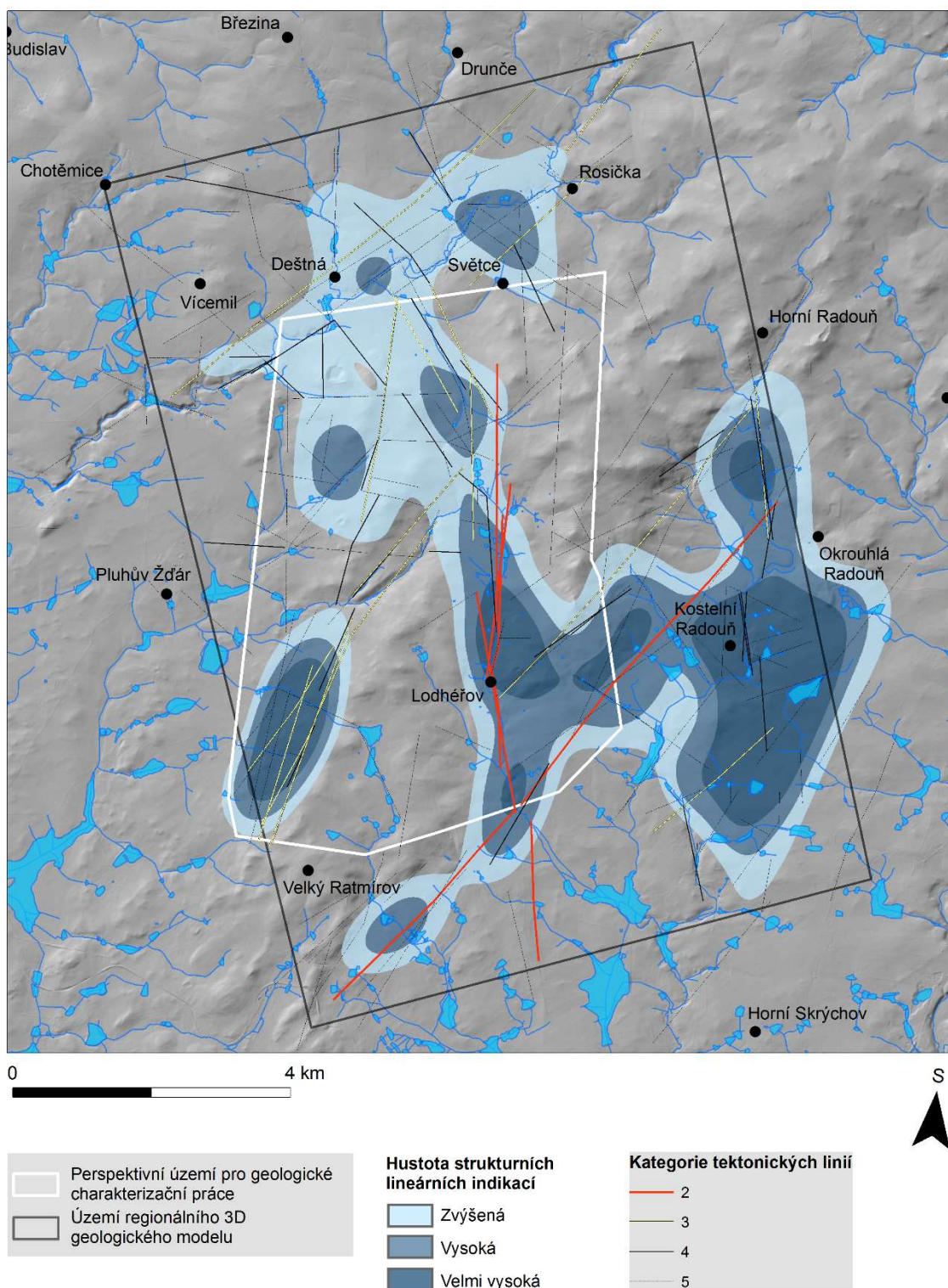
Morfotektonické zhodnocení území regionálního 3D geologického modelu

V rámci hodnocení indikátoru K3a Stupeň křehkého porušení masivu je morfotektonické zhodnocení zájmové lokality pomocnou metodou posouzení křehkého porušení horninového masivu – především zlomových struktur. Identifikované strukturní lineární indikace jsou členěny do jiných kategorií (Marek et al. 2005; Woller 2006), které neodpovídají členění zlomů viz Andersson et al. (2000). Zhodnocení bylo provedeno na základě morfostrukturní analýzy digitálního modelu reliéfu 4. generace (DMR 4G), radarových družicových dat ALOS-PALSAR 2 a leteckých stereoskopických snímků. 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. Výsledná síť strukturních lineárních indikací vznikla expertním zhodnocením výsledných sítí vytvořených výše zmíněnými metodami. Jednotlivé identifikované lineární indikace detekované různými metodami byly navzájem konfrontovány a validovány s daty letecké geofyziky a geologickými strukturními daty. Validované lineární indikace byly následně klasifikovány do definovaných kategorií míry křehkého porušení (Marek et al. 2005; Woller 2006).

Ve zkoumaném území nebyla morfostrukturně detekována žádná strukturní lineární indikace 1. kategorie (Marek et al. 2005; Woller 2006). Největší hustota strukturních lineárních indikací detekovaných v j. a jv. části zkoumané oblasti velmi dobře koresponduje s geologickými podklady (Obr. 3) – jedná se zejména o dvě strukturní lineární indikace 2. kategorie, které odpovídají výrazným zlomovým strukturám. Lineární indikace, probíhající s.–j. směrem ve střední části území poblíž obce Lodhěřov, odpovídá lodhěřovskému zlomu (ID 1). Druhá lineární indikace 2. kategorie probíhající sv.–jz. směrem odpovídá morfologicky výraznému zlomu ID 2. v jv. části území, drobné lineární indikace odpovídají komplexu zlomových struktur bývalé oblasti uranového průzkumu a těžby v okolí Kostelní a Okrouhlé Radouně. Západní část území charakterizovaná lineárními indikacemi 3. kategorie ve směru SSV–JJZ koresponduje se zlomovými strukturami zjištěnými geologickým, geofyzikálním a hydrogeologickým mapováním (např. ID 48). Lineární indikace nižších kategorií nacházejí svoje opodstatnění zejména v lokálně zjištěných puklinových systémech napříč celým územím nebo v kontaktech kontrastních litologií, jako je tomu kupříkladu v severní části oblasti.

Důležitým zjištěním je indikace lineamentů s.–j. a sv.–jz. směru severně od Lodhěřova (Kopačková et al. 2017).



Obr. 3 Klasifikované lineární indikace na lokalitě Čihadlo 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 geologických prací.

Na lokalitě Čihadlo se nejčastěji vyskytují zlomové struktury upadající pod strmými až středními úhly k ~SZ nebo ~JV. Tyto zlomy často nesou striace (rýhování) strmé orientace, nejčastěji po spádnicí zlomových ploch s indikátory poklesové kinematiky. Prostorová distribuce těchto struktur je poměrně rovnoměrná, s převažujícím výskytem ve východní části zájmového území. Druhou skupinou význačných zlomových struktur tvoří zlomy upadající pod strmými až středními úhly k ~JZ, které v převaze nesou mírně ukloněné striace (rýhování) a variabilní indikátory kinematiky. Tyto zlomové struktury se vyskytují zejména v severozápadní části klenovského plutonu a přilehlých horninách moldanubika, kde částečně tektonicky modifikují původní intruzivní kontakty tělesa plutonu. Do třetí skupiny zlomů o průběhu ~S–J (pravděpodobně nejmladší generace) je řazena jedna z nejvýraznějších struktur křehkého porušení – lodhérovský zlom (ID 1), respektive lodhérovské zlomové pásmo.

Z hlediska identifikace zlomů a širších poruchových zón přineslo podrobné geologické a hydrogeologické mapování a geofyzikální měření velké množství nových informací. Na lokalitě Čihadlo bylo ověřeno 19 zlomů a nově bylo stanoveno 6 zlomů (Mixa et al. 2019 – Obr. 4).

Nejvýraznější tektonickou strukturou lokality Čihadlo je tzv. lodhérovské zlomové pásmo o průběhu cca S–J. Podle archivních materiálů Uranového průmyslu (např. Pletánek 1979; Holovka a Křištiak 1989) probíhá ze západního okolí Jindřichova Hradce do severozápadního okolí obce Najdek zlom 1. kategorie (tzv. lodhérovský), jehož délka se odhaduje na cca 11,5 km. Zlom upadá pod strmým úhlem k Z (cca 279/75), což potvrdilo i měření na výchozu. Průběh zlomu byl ověřen také hydrogeologickým mapováním (výskyt pramenů podél zlomu), a také geofyzikálním měřením na profilech CIH-04A, CIH-03, CIH-05A a CIH-08 (Hrutka et al. 2019). Na základě geologického mapování (Dudíková Schulmannová et al. 2011) byl přibližně od kostela v obci Lodhéřov veden k S zlom, který je považován za východní větev lodhérovského zlomu. Po rekognoskaci archivních materiálů, které byly ověřeny i terénním mapováním a morfostrukturní analýzou DMR (Kopačková et al. 2017); Franěk et al. (2018) přiřadili lodhérovskému zlomu ID 1, jeho východní větev pak ID 81. Nově pak byly stanoveny zlomy ID 130 a ID 131, které tvoří sz. a jz. rozštěpení zlomu ID 1, takže spolu s ID 81 situovaném na V tvoří výše zmíněné lodhérovské zlomové pásmo (Mixa et al. 2019).

Toto lodhérovské zlomové pásmo (dále jen LZP) sleduje tok Lodhérovského potoka, na severu končí přibližně 2 km ssz. od Lodhéřova a na jihu pokračuje do severního okolí Studnice. Mocnost LZP v jeho severní části byla na základě měření na geofyzikálních profilech CIH-04,

CIH-08 a CIH-03 (od J–S) stanovena na cca 300–800 m. Ve své jižní části má LZP dle dosavadních poznatků (profily CIH-05A a CIH-11) mocnost cca 150–300 m.

Jihovýchodně od města Deštná byla zastižena další výrazná tektonická zóna na vzájemně paralelních profilech CIH-02 a CIH-02AR sz.–jv. směru. V rámci této zóny byly stanoveny nové zlomy ID 128 a ID 129 subparalelní s profilem CIH-02 a CIH-02AR. Jihozápadní ukončení zóny tvoří zlom ID 9 potvrzený geofyzikou na profilech CIH-06 a CIH-09 a tektonickým měřením na výchozu.

Nabízí se možnost, že by tato tektonická zóna mohla souviset s lodhérovským zlomovým pásmem. Geofyzikální měření na profilech CIH-03, CIH-09, CIH-06, CIH-02 a CIH-02AR však nepotvrdila návaznost jednotlivých zlomů v obou tektonických zónách, proto jsou tyto zóny a zlomy v nich považovány za dvě různé tektonické oblasti. V souvislosti s obdobnými strukturami v Českém masivu se může v případě sz.–jv. zlomů jednat o starší, původně puklinové, tahy následně reaktivované do zlomových struktur, které nesouvisí přímo se vznikem s.–j. orientovaného lodhérovského zlomového pásma.

Do sv. části území lokality Čihadlo zasahují také zlomy ID 10, ID 47, ID 77 a nově stanovené zlomy ID 124 a ID 125. Zlom ID 10 sz.–jv. směru byl potvrzen především geologickým mapováním a částečně i geofyzikou (na profilu CIH-06). Zlom ID 47 (směr SV–JZ) byl ověřen hydrogeologickým mapováním, geofyzikální projevy této struktury nejsou jednoznačné, protože její jz. ukončení směřuje do výše uvedené tektonické zóny zachycené na profilech CIH-09, CIH-06, CIH-02 a CIH-02AR. Zlom ID 77, rovněž směru SV–JZ, byl potvrzen geofyzikálním měřením na profilu CIH-08, CIH-02, CIH-03. Nové zlomy ID 124 a ID 125 byly identifikovány na profilech CIH-09 a CIH-06 na základě geologického a hydrogeologického mapování a geofyzikálním měřením metodou DOP.

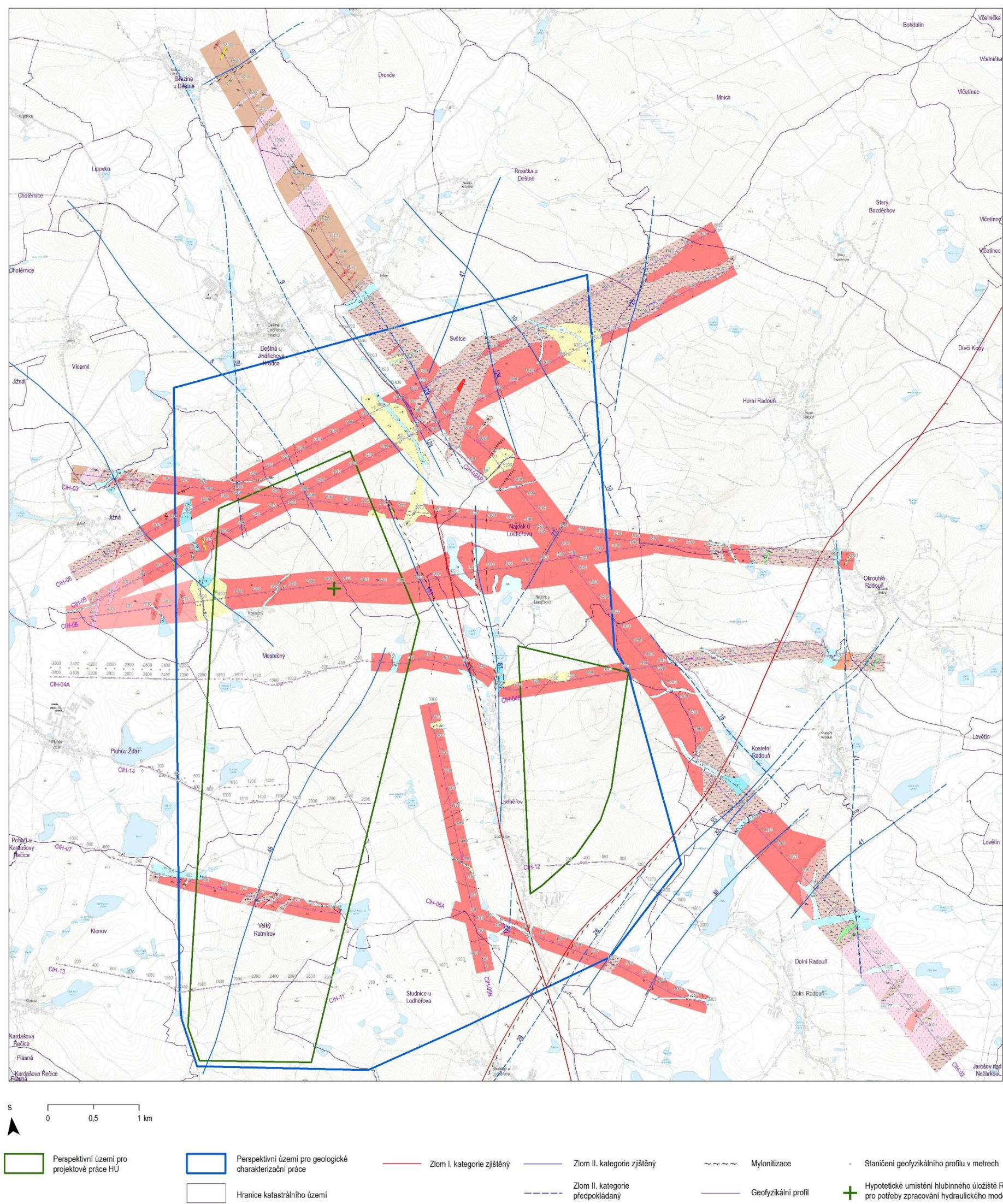
Výrazná tektonická struktura byla ověřena v jv. části území. Jedná se o zlom ID 2 (1. kategorie; zlom s ověřenou hydrogeologickou funkcí), který byl podrobným archivním geologickým a ložiskovým průzkumem (viz archivní materiály Franěk et al. 2018) označen za významnou tektonickou strukturu 1. řádu. Patří do skupiny výše zmíněných nejfrekventovanějších zlomů na lokalitě Čihadlo orientovaných SV–JZ. Nové geofyzikální měření zastihlo tuto regionální strukturu s níže uvedenými odchylkami obdobně (Hrutka et al. 2019). Profil CIH-05A v místě předpokládaného průběhu zlomu jeho geofyzikální indikaci zachytil v metráži 1 300, to je vzhledem k původnímu průběhu cca o 100 m východněji. Geofyzikou byla tato struktura na CIH-12 zachycena silně na metráži cca 1000 m. Obdobná situace jako na CIH-05A je na profilu CIH-02. Zde byla zjištěna výrazná tektonická zóna na metráži 3600–4000 a oproti původnímu předpokladu byl ID 2 posunut cca o 100–200 m k JV. Geofyzika ukázala na metráži 4400–4600 slabou indikaci na profilu CIH-04B. Na profilu CIH-03 byla na metráži 8 250 m identifikována pouze velmi slabá geofyzikální anomálie. Jedná se o metráž, kde dle archivních studií probíhá regionálně významný zlom ID 2 a pokračuje dále k SV. Průběh zlomu ID 2 potvrzuje také morfostrukturní analýza DMR (Kopačková et al. 2017).

Ve stejné oblasti nové poznatky ověřily zlomy ID 28, ID 32 a ID 33 (2. kategorie). Jsou to zlomy subparalelní se zlomem ID 2 probíhající jv. od něho.

Geofyzikálními metodami byl na profilech CIH-07, CIH-04A, CIH-13 a CIH-14 ověřen průběh zlomu ID 48. Dle archivních materiálů (Franěk et al. 2018) směřoval tento zlom k severu. Nejnovější data však ukazují na změnu jeho průběhu od profilu CIH-07 ssv. směrem do oblasti

metráže cca 0 profilu CIH-04A, tzn. 200, resp. 400 m, východně od původního předpokládaného směru zlomu.

Od Z, resp. SZ, zasahují na území zlomy ID 7, resp. ID 8 a ID 50. Zlomy ID 7 a ID 8 mají průběh SZ–JV, zlom ID 50 má směr cca S–J. Zlom ID 7 byl na profilu CIH-08 ověřen geofyzikálními metodami, na profilu CIH-09 pak geologickým mapováním (žíla pegmatitu sledující průběh zlomu). Na profilu CIH-06 byl tento zlom zastižěn v podobě méně výrazného vodiče na kontaktu migmatitů a plutonu, svědčící o tektonizovaném kontaktu zmíněných hornin. Na profilu CIH-03 zůstal geofyzikou nezměřen (vodní tok), ale na metráži cca 450-600 m ho potvrdilo geologické mapování v podobě četných bloků migmatitu (snad rozpadlý výchoz?) s tektonickými ohlasy, z čehož lze usuzovat na tektonický kontakt migmatitů a granitů. Přítomnost zlomu potvrzuje i geologické mapování v jeho sz. pokračování, asi 200 m s. od průběhu profilu CIH-03, kde byly nalezeny úlomky a velké bloky žilného křemene. Jedná se o zlom s ověřenou hydrogeologickou funkcí. Zlom ID 8 ověřila geofyzika na profilech CIH-03, CIH-06 a CIH-09. Zlom ID 50 byl na profilu CIH-09 posunut k SV cca o 100 m na metráž 1900, na profilu CIH-03 a CIH-06 byl rovněž ověřen.



Obr. 4 Tektonické schéma lokality Čihadlo (Mixa et al. 2019; Pertoldová et al. 2019)

4.1.3 Indikátor K3b Stupeň křehkého porušení masivu – puklinové systémy

Informace o puklinových systémech byly na lokalitě systematicky sbírány v rámci projektu DFN modely (Kabele et al. 2018). Na základě sebraných dat bylo dle jejich prostorové orientace identifikováno celkem 6 populací puklin. Nejčastěji se vyskytují relativně strmé (sklon 70–90°) pukliny probíhající ve směru SV–JZ; SZ–J. Pukliny se středními (sklon 60–40°), místy až subhorizontálními (sklon 30–0°), sklony probíhající ve směru SZ–JV a S–J upadají zejména k JV a Z.

Dle geofyzikálních dat (Mixa et al. 2019) byly zjištěny slabé indikace křehkého porušení v sumárním rozsahu 2,5 km v rámci dokumentovaných geofyzikálních profilů. Jedná se o interpretované geofyzikální indikace křehkého porušení bez prokazatelné/předpokládané přítomnosti zlomových struktur 1. až 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.

Hodnocení parametru P_{21} , který udává hodnoty souhrnné délky puklin na jednotku plochy výchozu ($m \cdot m^{-2}$) a který přímo odpovídá terénním pozorováním na jednotlivých výchozech v horninovém prostředí perspektivním pro budování HÚ (granity typu Eisgarn). Tento dataset byl získán jednotnou metodikou napříč 7 lokalitami dokumentovanými v rámci DFN modelů (Kabele et al. 2018). Vypočtené hodnoty byly váženy relevancí výchozů s rozptylem hodnot 1 – drobný nevýznamný erodovaný výchoz až 10 – významný lom. Hodnota parametru P_{21} je u této lokality 1,51 $m \cdot m^{-2}$. Jedná se tak o nejhorší výsledek na lokalitách se srovnatelným horninovým podložím (granitoidy) vhodným pro umístění HÚ. Na výslednou hodnotu může mít vliv zejména vyšší dostupnost výchozů v severní a střední části území pro DFN modelování (odpovídá území, na kterém byl konstruován 3D strukturně-geologický model), které se nachází ve více tektonicky postižených oblastech. Navzdory nejvyšší vypočtené hodnotě parametru P_{21} není tato hodnota v porovnání s ostatními lokalitami nijak extrémní. Intruzivní horniny jsou totiž často ve své přípovrchové zóně výrazněji postiženy křehkou deformací, která se s hloubkou vlivem omezujícího napětí a mrazového zvětrávání v terciéru snižuje.

4.1.4 Indikátor K3c Stupeň duktilní deformace

Studované území je tvořeno granity klenovského plutonu, v němž se místy vyskytují částečně asimilované xenolity a kry metamorfovaných hornin – biotitických migmatitů – o rozměrech několika metrů až stovek metrů. V metamorfovaných horninách byly identifikovány metamorfní foliace charakteru kompozičního páskování. Jedná se o nepravidelné střídání poloh separované taveniny a restitického materiálu (leukosomu a melanosomu). V regionálním měřítku tyto metamorfní foliace upadají pod mírnými až středními úhly k ~ZSZ až SSZ a tvoří tak dominantní strukturní anizotropii tohoto horninového komplexu. Tyto foliační plochy místy nesou výrazné lineace charakteru protažení agregátů křemene, živců a biotitu, které upadají pod mírnými úhly k Z až SSZ. Pozorované indikátory kinematiky (asymetrie deformovaných porfyroblastů a vrásových struktur) systematicky ukazují na poklesovou střížnou deformaci ve směru měřených lineací. V rámci těchto staveb byly pozorovány relikty starších metamorfních foliací, a to nejčastěji ve formě izoklinálních až mírně asymetrických, často sevřených, vrás

decimetrového až metrového měřítka. Osní roviny vrás mají mírný až střední sklon k SZ a jsou tak paralelní s dominantní foliační stavbou metamorfovaných hornin.

Těleso klenovského plutonu má v erozním řezu asymetricky protažený tvar v průběhu SV–JZ. Kontakty plutonu mají intruzivní charakter, převažuje úklon kontaktů pod středními až mírnými úhly k ZSZ–SZ. V okrajových částech těleso klenovského plutonu prstovitě proniká do okolních hornin ve formě malých, často izolovaných, výrazně protažených intruzí. Vnitřní stavby v granitoidech klenovského plutonu jsou definovány přednostní prostorovou orientací krystalů křemene, živců a slíd. Přednostní orientace krystalů má převážně planární charakter tvořící magmatické foliace, místy s doklady slabé vysokoteplotní subsolidové deformace. V severozápadní části plutonu magmatické foliace upadají pod mírnými až středními úhly k SZ a nesou nevýrazné magmatické lineace definované lineární přednostní prostorovou orientací vyrostlic živců a biotitu s mírnými úklony k SZ. Tyto stavby velmi dobře korespondují s orientací intruzivních kontaktů a regionální metamorfní stavby. Lokálně byly měřeny reliktní magmatické foliace strmé orientace ve směru SV–JZ, které mají v rámci výchozů doménový charakter.

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

Jedním z rozhodujících faktorů pro výběr perspektivního území pro projektové práce byl předpoklad homogenního geologického prostředí pro vybudování HÚ. Na vymezeném území je tento předpoklad dán přítomností granitového klenovského plutonu lemovaného metamorfovanými horninami jednotvárné skupiny moldanubika – migmatitizovanými sillimanit-biotitickými pararulami, migmatity, ortorulami a na JV i granulity. Zájmové těleso klenovského plutonu představuje homogenní horninu co do struktury, zrnitosti i mineralogického složení. Těleso je charakteristické svými převážně intruzivními kontakty vůči okolním metamorfovaným horninám a výskytem drobných xenolitů biotitických migmatitů (velikosti jednotek až vyšších desítek metrů). Na západním okraji plutonu lze na základě nových geofyzikálních dat předpokládat kontakty upadající pod středními úhly k Z, na východě je toto upadání plošší. Xenolity migmatitů, vyskytující se v rámci plutonu převážně v jeho střední a jihovýchodní části, mají charakter ker plovoucích v granitovém magmatu. Rozsah a četnost těchto ker není směrem do hloubky znám. Ojediněle se v rámci granitové intruze vyskytují žíly křemene nebo pegmatitu, které však homogenitu prostředí vzhledem ke svému mocnostem výrazně neovlivňují.

Perspektivním územím pro geologické charakterizační práce protíná významná tektonická struktura – lodhérovské zlomové pásmo (LZP). Jeho šířka se v severní části pohybuje okolo cca 300–800 m, v jižní části má dle dosavadních poznatků (profily CIH-05A a CIH-11) mocnost cca 150–300 m. Lodhérovské zlomové pásmo upadá pod strmými úhly přibližně k Z, lze tedy předpokládat, že nezasáhne ani jedno z vymezených perspektivních území pro projektové práce, neboť tyto byly navrženy v dostatečné vzdálenosti od jeho případných tektonických

projevů. V souvislosti s LZP, ale i s dalšími tektonickými a hydrogeologickými projevy v rámci území, lze pozorovat u bloků granitů i migmatitů různé druhy alterací, jako je hematitizace nebo limonitizace. Rovněž minerály těchto hornin podléhají chloritizaci, sericitizaci, případně pinitizaci. Křemenné úlomky nacházené na tektonických liniích jsou často zabarvené oxidy Fe a Mn.

4.2.2 Indikátor K4b Petrologická variabilita hornin

Metamorfované horniny jednotvárné skupiny moldanubika jsou zastoupeny na perspektivním území pro projektové práce a v jeho blízkém okolí převážně xenolity biotitických migmatitů, které se vyskytují v granitech klenovského plutonu. Migmatity mají šedočernou barvu, lepidogranoblastickou strukturu a většinou jsou středně zrnité s charakteristickým páskováním, kdy se střídají polohy bohaté na biotit, sillimanit a cordierit (melanosomy) a polohy s převahou křemene a živců (leukosomy). V základní minerální asociaci je cordierit, sillimanit, biotit (~ 35 %), plagioklas (25–35 %), draselný živec (20–30 %), křemen (20–25 %) a v malé míře se může vyskytovat muskovit. Ojediněle lze pozorovat drobné krystaloblasty granátu almandinového typu. Akcesoricky se vyskytují apatit, zirkon, ilmenit, spinel a pyrohotin.

Většina geologického podloží popisovaného území je tvořena muskovit-biotitickými granity klenovského plutonu, jehož kontakty vůči okolním metamorfovaným horninám jsou intruzivní a upadají k Z až SZ pod středními nebo plochými úhly. Jedná se o peraluminické dvojslídne granitoidy typu Eisgarn, které jsou produktem dekompresního tavení metasedimentárních hornin během exhumace vysoce metamorfovaných hornin moldanubika, krystalizační stáří se pohybuje okolo 327 Ma. Z makroskopického pohledu mají tyto světle šedé granity ekvigranulární, plošně-paralelní texturu magmatického až submagmatického charakteru s dobře vyvinutou planární přednostní orientací živců a slíd (magmatickou foliací). Mezi základní minerální asociaci patří plagioklas, K-živec, křemen, biotit a muskovit. Objemově výrazně méně zastoupené horninotvorné minerály jsou andalusit, granát, cordierit a sillimanit. Nejvíce jsou zastoupeny živce, jejichž celkový podíl kolísá v rozmezí 35–40 %. Křemen je objemově zastoupen asi 25 %. Celkové množství slíd v hornině kolísá v rozmezí 7–12 %.

Na tektonické zóny mohou být vázány žíly pegmatitů nebo křemene o mocnostech kolem 10-50 m. Žíly mají směr odpovídající všem třem základním orientacím zlomů na lokalitě Čihadlo: SZ–JV, SV–JZ a S–J.

Petrologická variabilita hornin na lokalitě Čihadlo není složitá, neboť jak metamorfované, tak intruzivní, horniny si v rámci litologie zachovávají jednotné minerální složení, zrnitost i texturní znaky.

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), Hrutka et al. (2019) a Kabele et al. (2018).

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

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

Geologická stavba lokality Čihadlo je charakterizována intruzí dvojslídňných granitů klenovského plutonu do metamorfovaných jednotek moldanubika – migmatitů, pararul, ortorul a pestrých vložkových hornin. Pluton má převážně intruzivní kontakty vůči metamorfovaným horninám, do kterých prstovitě proniká, celkově těleso granitu upadá na jihu území pod mírnými až středními úhly k Z a v severní části území strmě SSZ.

Indikátor K3a: Stupeň křehkého porušení masivu – zlomové struktury

Známka 3,8 řadí lokalitu Čihadlo na třetí místo od konce hodnocených území. Nutno přitom mít na mysli, že dle metodiky hodnocení lokalit (Vondrovic et al. 2019) žádná z lokalit, na níž se vyskytuje zlom 1. kategorie, nemůže být hodnocena známkou 1, a že se tudíž hodnoty devíti lokalit musí pohybovat v intervalu 2 až 5. Na hodnocené ploše účelové tektonické mapy 1: 25 000 lokality Čihadlo se vyskytují dva zlomy 1. kategorie a 23 zlomů 2. kategorie, z toho do plochy perspektivního území pro geologické charakterizační práce zasahuje celkem 16 zlomů 2. kategorie.

V ploše 3D strukturně-geologického modelu se vyskytují dvě významná tektonická pásma, tvořená zlomy 1. kategorie. Jedná se o s.-j. tzv. lodhérovské zlomové pásmo tvořené zlomem 1. kategorie ID 1 a zlomy 2. kategorie ID 81, 130 a 131, rozmršťující se a vyklíňující v centrální části studované oblasti. Tato struktura byla detailně ověřena čtyřmi v.-z. orientovanými komplexními geofyzikálními profily (ERT, MRS, DOP) a je proto interpretována jako zlom zjištěný. Mocnost tektonické zóny je v jeho severní části dokumentována geofyzikálním měřením v šířce cca 300–800 m, v jižní části pak cca 150–300 m. Zlom je doprovázen rozsáhlou kataklázou a má významnou hydraulickou funkci, jeho sklon varíruje mezi 70 – 80° k západu.

Druhým zlomem 1. kategorie je zlom ID 2, tvořící tektonickou zónu směru SV–JZ směru dohromady ještě se zlomy 2. kategorie ID 28, 32 a 33. Tato tektonická zóna regionálního významu byla vymapována v archivních mapách, byla ověřena technickými pracemi Uranového průmyslu a nově byl její průběh zpřesněn pěti geofyzikálními profily, které tuto linii kříží. Zlomové pásmo upadá pro úhlem 80° k SZ, je mocné 100 až 300 m a jsou na něj vázány

mylonitizace a katakláza, četné pramenní vývěry a mimo studovanou oblast i uranová mineralizace.

Četné zlomy 2. kategorie směru SZ–JV až SSZ–JJV s úklonem cca 70° k JZ se vyskytují v sz. části plochy 3D modelu (ID 7, 8, 9, 10, 128, 129 a 58). Tyto zlomy jsou dominantně vyvinuty v horninách moldanubika, propagují se nicméně do klenovského plutonu, kde obvykle po cca 2 km vyznívají. Zlomy mají dominantní dextrální kinematiku a posunují kontakt plutonu a moldanubika až o stovky metrů. V řadě případů je zjištěna hydraulická funkce, v mapování jsou dokumentovány křemenné žiloviny a četné striace na úlomcích granitů. Prakticky všechny tyto zlomy jsou dobře ověřeny jak geofyzikálními anomáliemi (zejm. DOP, méně ERT, MRS a ÚBA), tak geologickým mapováním a v mapě jsou zkrešeny jako zlomy zjištěné (ověřené).

Je možno konstatovat, že lokalita Čihadlo je intenzivně zlomově porušena zejména ve východní a severní části hodnoceného území, méně pak v západní až jihozápadní části území, kam bylo umístěno větší perspektivní území pro projektové práce. Celkový počet zlomů a jejich charakter i vysoký stupeň ověření vedly expertní tým k udělení známky 3,8, protože zlomové porušení lokality je v podstatě obdobné zlomové síti lokalit Magdaléna či Na Skalním (EDU-západ) a je jistě intenzivnější než lokalit Čertovka (3,3), Horka (2,8) nebo Březový potok (3,5). Při rozhodování o známce byla také zohledněna zmíněná vysoká míra ověření tektoniky a tím pádem převažující zákresy zlomů jako zlomy zjištěné (např. na rozdíl od lokality Horka). Většina zlomů je dokumentována dvěma i více geofyzikálními profily s výraznými anomáliemi zejm. elektrických metod, rovněž projevy zlomů v terénu při geologickém mapování jsou výrazné (posuny litologických rozhraní, drcení, křemenné žiloviny, pramenní vývěry, striace na úlomcích apod.).

Indikátor K3b: Stupeň křehkého porušení masivu – pukliny

Při stanovení známek indikátoru K3b bylo přihlédnuto jednak k velikosti parametru P_{21} (souhrnná délka stop puklin [m] na jednotku plochy, tj. rovinu proloženou horninovým výchozem [m²]) - 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 Čihadlo na poslední nejhorší pozici stran rozpuštění granitoidního masivu, což potvrzují i terénní mapovací práce a rovněž měření geofyzikálního obrazu.

Klenovský pluton se tak jeví jako výrazně rozpuštěný. Puklinový systém představuje 6 populací puklin, z nichž nejpočetnější jsou ty relativně strmé (sklon 70–90°) upadající k SZ, JV, SV, JZ, VSV a ZJZ. Pukliny se středním až mírným sklonem upadají k JV a Z (Kabele et al. 2018). Na lokalitě Čihadlo jsou geofyzikálními metodami ověřena rozsáhlá drcení kolem zlomů, nicméně identifikovány byly i mocné puklinové zóny, které zjevně nesouvisí se zlomovými liniemi 1. a 2. kategorie, a odpovídají spíše puklinám dokumentovaným na výchozech – ať už pro tvorbu DFN modelů, tak i při popisu dokumentačních mapovacích bodů. Zmíněné výsledky současného geofyzikálního měření identifikují na profilech anomálie široké stovky metrů

zvýšené vodivosti a snížených seismických rychlostí do hloubek 20–60 metrů, které jsou interpretovány jako rozvolněné a zvodnělé puklinové systémy.

S ohledem na intenzitu rozpukání dokumentovanou jak DFN modely, tak geologickým mapováním, tak interpretací geofyzikálních anomálií, byla expertním týmem lokalitě Čihadlo přidělena známka 4, představující nejintenzivnější postižení lokality puklinovými systémy.

Indikátor K3c: Stupeň duktilní deformace

Stupeň duktilní deformace granitů klenovského plutonu v hodnocené ploše perspektivního území pro projektové práce a blízkém okolí je slabý. Vnitřní stavby v granitoidech klenovského plutonu jsou definovány slabou přednostní prostorovou orientací krystalů křemene, živců a slíd. Přednostní orientace krystalů má převážně planární charakter tvořící magmatické foliace, místy s doklady slabé vysokoteplotní subsolidové deformace. Reliktní strmé magmatické foliace orientace ve směru SV–JZ mají doménový charakter a nebyly dokumentovány v perspektivním území pro projektové práce, stejně jako duktilní deformace v metamorfovaných horninách. Z toho důvodu je expertně hodnocena uvedená plocha jako pouze slabě postižená jednou fází duktilní deformace, obdobně jako tomu je na lokalitách Hrádek a Magdaléna. Proto byla lokalitě Čihadlo přidělena známka 1, značící nejmenší intenzitu plastických staveb.

Indikátor K4a: Prostorová variabilita horninového prostředí

Hodnocené území – tj. perspektivní území pro projektové práce a blízké okolí – se jeví jako relativně homogenní, a proto byla lokalitě pro kritérium K4a stanovena známka 2. Pouze lokality Horka (1,2) a Hrádek (1,0) mají lepší hodnocení. Argumentem pro expertní hodnocení byl fakt, že těleso klenovského plutonu představuje homogenní horninu co do struktury, zrnitosti i mineralogického složení. V rámci hodnoceného území se nehojně vyskytují xenolity biotitických migmatitů – produkt pohlcení moldanubických metasedimentů během intruze klenovského plutonu, které zvyšují variabilitu prostředí. Tyto xenolity rozměrů do desítek metrů jsou tvořeny středně zrnitými migmatity s charakteristickým páskováním, kdy se střídají polohy bohaté na biotit, sillimanit a cordierit (melanosomy) a polohy s převahou křemene a živců (leukosomy). Z tohoto důvodu byla lokalitě Čihadlo expertně stanovena známka 2.

Indikátor K4b: Petrologická variabilita hornin

Argumentace je obdobná se zdůvodněním indikátoru K4a. Hodnocené území – tj. perspektivní území pro projektové práce a blízké okolí – obsahuje sice petrologicky výrazně odlišné typy hornin (petrologicky fádní muskovit-biotitické granity klenovského plutonu versus xenolity biotitických migmatitů se sillimanitem a cordieritem), nicméně moldanubické xenolity se vyskytují v tomto území zřídka, více v centrální části mezi Mostečným a Ratmírovem, jinde jsou vzácné.

4.3.1 Nejistoty spojené s hodnocenou oblastí

Hodnocení lokalit HÚ představuje komplexní úlohu, která vyžaduje celou řadu vstupních dat zatížených různou mírou nejistoty. V prostorovém kontextu lze nejistotu interpretovat s ohledem na posuzovanou oblast jako množství chybějící informace (Wellmann a Regenauer-Lieb 2012). Při hodnocení lokalit je důležité identifikovat a kvantifikovat různé zdroje nejistot. Za současného stavu omezeného poznání horninového prostředí zájmových lokalit nelze nejistotu ve vztahu k jednotlivým geologickým indikátorům zodpovědně kvantifikovat. Dosud

nikde ve srovnatelném prostředí nebyla míra nejistoty, ve vztahu k hodnocení lokalit HÚ, kvantitativně definována. Proto je nejistota v této kapitole popsána expertním odhadem. Semikvantitativní stanovení nejistoty bude možno stanovit až po realizaci rozsáhlejších průzkumných prací včetně realizace hlubokých vrtů.

Lokalita Čihadlo je dominantně tvořena středně zrnitým muskovit-biotitickým granitem, místy s přítomností částečně asimilovaných xenolitů okolních metamorfovaných hornin. Nejistota ve vztahu k homogenitě daného území je zřejmá z neznalosti hloubkového rozšíření a mocnosti asimilovaných bloků migmatitů v granitech.

Nejistotu vhodnosti lokality představuje míra rozpuštění horninového masivu, jejíž stanovení v hloubce plánovaného HÚ je obtížné. Bylo zde identifikováno 6 populací puklin, z nichž byly vypočteny statistické parametry matematického DFN modelu v objemu regionálního 3D geologického modelu (Franěk et al. 2018). Z matematického DFN modelu byl získán parametr P_{21} , který je definován jako souhrnná délka na jednotku plochy výchozu ($m \cdot m^{-2}$). Navzdory nejvyšší vypočtené hodnotě parametru P_{21} není tato hodnota v porovnání s ostatními lokalitami nijak extrémní. Intruzivní horniny jsou totiž často ve své přípovrchové zóně výrazněji postiženy křehkou deformací, která se s hloubkou vlivem omezujícího napětí a mrazového zvětřování v terciéru snižuje.

Mapovacími a geofyzikálními pracemi byly odlišeny tři hlavní systémy zlomových struktur. Nejistota spojená s hodnocením oblasti spočívá v neznalosti úhlů a směrů upadání zlomů. Úhly a směry sklonů zlomů byly odhadnuty na základě známé orientace okolních zlomů, zjištěných z archivních materiálů, nebo byly konvenčně stanoveny jako svislé, popř. byly naměřeny na ojedinělých výchozech. V některých případech byl určen sklon v hloubkovém dosahu použitých geofyzikálních metod. Skutečný směr sklonu zlomů může být s hloubkou odlišný.

Na základě expertního odhadu, založeného na strukturních měřeních, lze předpokládat mocnosti granitů okolo 2,5 km v jv. části území i nižší (viz kapitola 4.1.1). Hloubkový dosah je pravděpodobně největší podél severozápadního okraje plutonu, a to přibližně 4,5 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 fluvialních 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. Po vyhodnocení všech výše zmíněných fakt, charakterizujících lokalitu z hlediska geologických charakteristik, nebyl zjištěn důvod pro vyloučení lokality z dalšího výběru pro umístění úložiště. Geologická situace lokality je relativně dostatečně prozkoumaná tak, aby bylo možné přepokládat průběh důležitých zlomových linií a vytvořit 3D geologický model.

Tab. 5 Vyhodnocení vylučujících kritérií pro oblast Geologické charakteristiky pro Čihadlo. 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 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 lokality“ obsahuje výčet a popis geologických faktorů, které lze považovat za základní indikátory vhodnosti lokality Čihadlo pro umístění HÚ. Jedná se o následující:

Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků

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

Variabilita vlastností horninového prostředí

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

Klasifikace jednotlivých indikátorů byla založena na výše shrnutých dostupných geovědních informacích (viz kapitola 4, stručné shrnutí v kapitole 4.3) ve 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. Lokality se navzájem výrazně liší množstvím i kvalitou geologických informací (např. mapy různého měřítka, odlišný počet chemických analýz atd.) a nelze je tedy porovnávat exaktními a kvantitativními postupy. Proto bylo zvoleno porovnání formou expertního odhadu na základě diskuse specialistů a jejich shody.

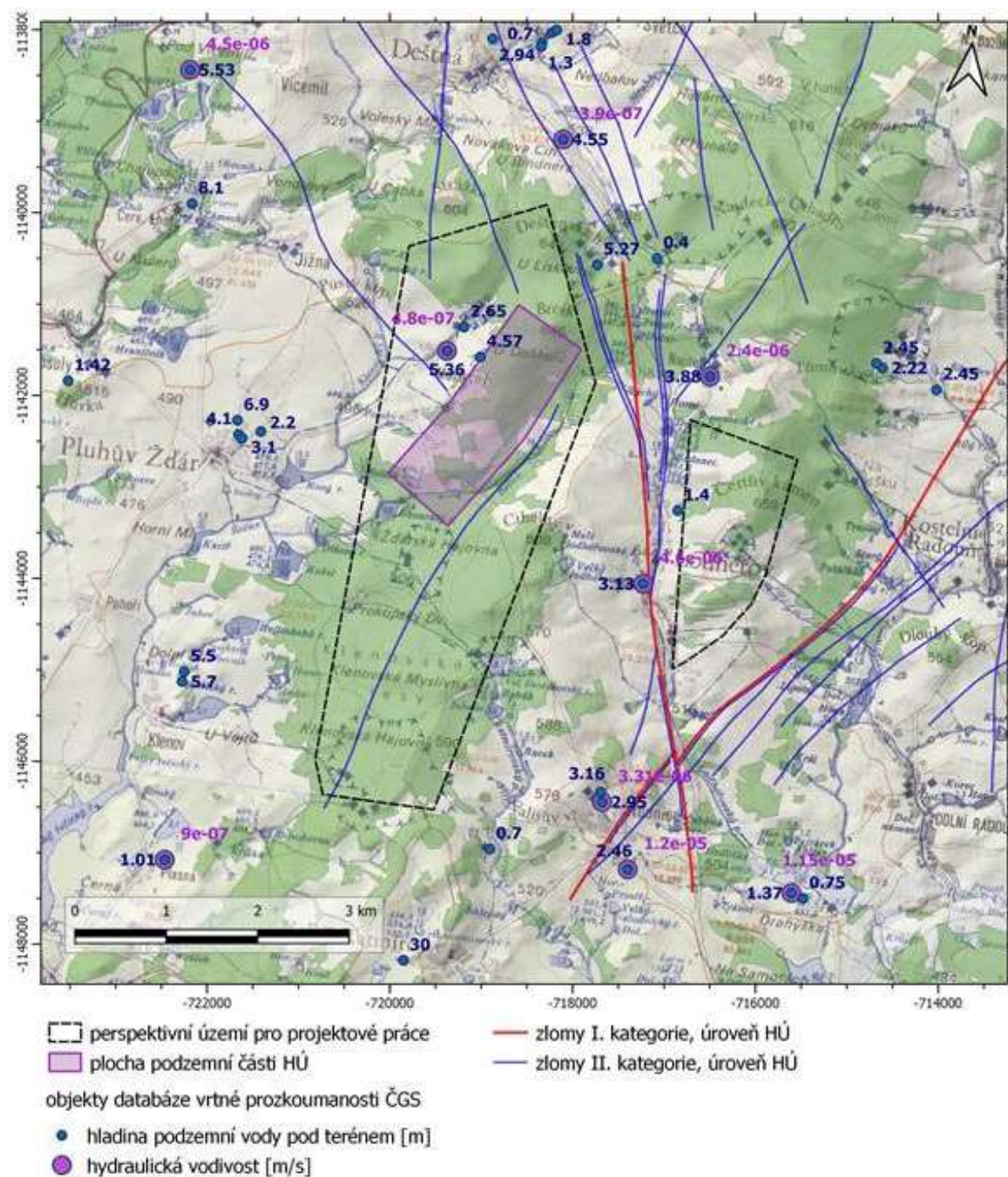
Popis výběru jednotlivých indikátorů a metodiky jejich vyhodnocení je uveden ve zprávě Vondrovic et al. (2019).

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

ID	Indikátory kritérií	Známka
K3a	Stupeň křehkého porušení masivu – zlomové struktury (1 – nejnižší až 5 – nejvyšší)	3,8
K3b	Stupeň křehkého porušení masivu – puklinové systémy (1 – nejnižší až 5 – nejvyšší)	4
K3c	Stupeň duktilní deformace (1 – nejnižší až 5 – nejvyšší)	1
K4a	Prostorová variabilita horninového prostředí (1 – nejnižší až 5 – nejvyšší)	2
K4b	Petrologická variabilita hornin (1 – nejnižší až 5 – nejvyšší)	2

5 K5 Hydrogeologické charakteristiky

Území lokality Čihadlo je součástí hydrogeologického rajonu 6510 Krystalinikum v povodí Lužnice (vyhláška č. 5/2011 Sb.). Krystalinikum je zde tvořeno granity klenovského plutonu a metamorfovanými komplexy hornin jednotvárné skupiny moldanubika.



Obr. 5 Hydrogeologické údaje v databázi vrtné prozkoumanosti ČGS

Malému vodárenskému významu prostředí granitů klenovského plutonu a krystalinika odpovídá nízká míra hydrogeologické prozkoumanosti území. Pro širší zájmovou oblast granitoidního masivu jsou k dispozici pouze omezené bodové informace do hloubky max. prvních desítek metrů. Vrtý s údaji o hydrogeologii jsou většinou situovány poblíž vodních toků, v údolích nebo v lokálních sníženinách. Nejhlubší vrtý s archivními hydrogeologickými informacemi (o hladině podzemní vody a transmisivitě) jsou situovány na západním okraji granitového masivu a mají hloubku 118 a 121 m. V databázi ČGS jsou v západním polygonu perspektivního území pro projektové práce (poblíž severovýchodní hranice polygonu vymezujícího potenciální polohu HU) pouze 3 hydrogeologické vrtý s hloubkou 30 až 49 m. Hladina podzemní vody ve vrtech je blízko pod terénem (do 5,6 m). Pro mělké vrtý (25 a 30 m) jsou hydraulické vodivosti stanoveny v prvních jednotkách řádu 10^{-6} m.s^{-1} a pro hlubší vrtý (do 80 m) v jednotkách řádu 10^{-7} m.s^{-1} . Údaje z vrtů jsou obdobné (Obr. 5). Vrtý zastihly přípovrchovou zónu rozvolnění puklin s aktivním oběhem podzemních vod a s výrazně vyšší hydraulickou vodivostí (ve srovnání s horninovým prostředím v hloubce HÚ).

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

Svrchní zvoď rychlého mělkého lokálního proudění vzniká v prostředí kvartérních sedimentů a zvětralinového pláště. Hloubkový dosah zvodně je řádově do 10 až 20 m. Akumulační možnosti svrchního kolektoru jsou omezené a nedochází zde k tvorbě významnějších zdrojů podzemní vody.

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

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

Zdrojem podzemní vody na lokalitě je srážková infiltrace, ke které dochází v celé ploše území. Rozložení efektivní infiltrace je prostorově variabilní, průměrná velikost je $3,25 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ (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. Infiltrační oblasti pro prostor podzemní části HÚ se nachází v oblasti rozvodnic ve vrcholových partiích území v blízkém okolí HÚ. Modelem byly hlavní infiltrační oblasti vymezeny v prostoru vrcholu Brčík (645 m n. m.), Cihelný vrch (608 m n. m.) a menší měrou i na hřbetu, který se táhne od vrcholu Najdeckého Čihadla (692 m n. m.) k jihu.

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 (expertní odhad ČGS) 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 Čihadlo byl zpracován aktualizovaný detailní hydrogeologický model (Polák 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 Čihadlo zohlednit. Vyhodnocení kritéria je v kapitole 5.3.2.

5.2 Kritéria pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ

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

5.2.1.1 Indikátor K5a Doba dotoku z HÚ do oblasti drenáže

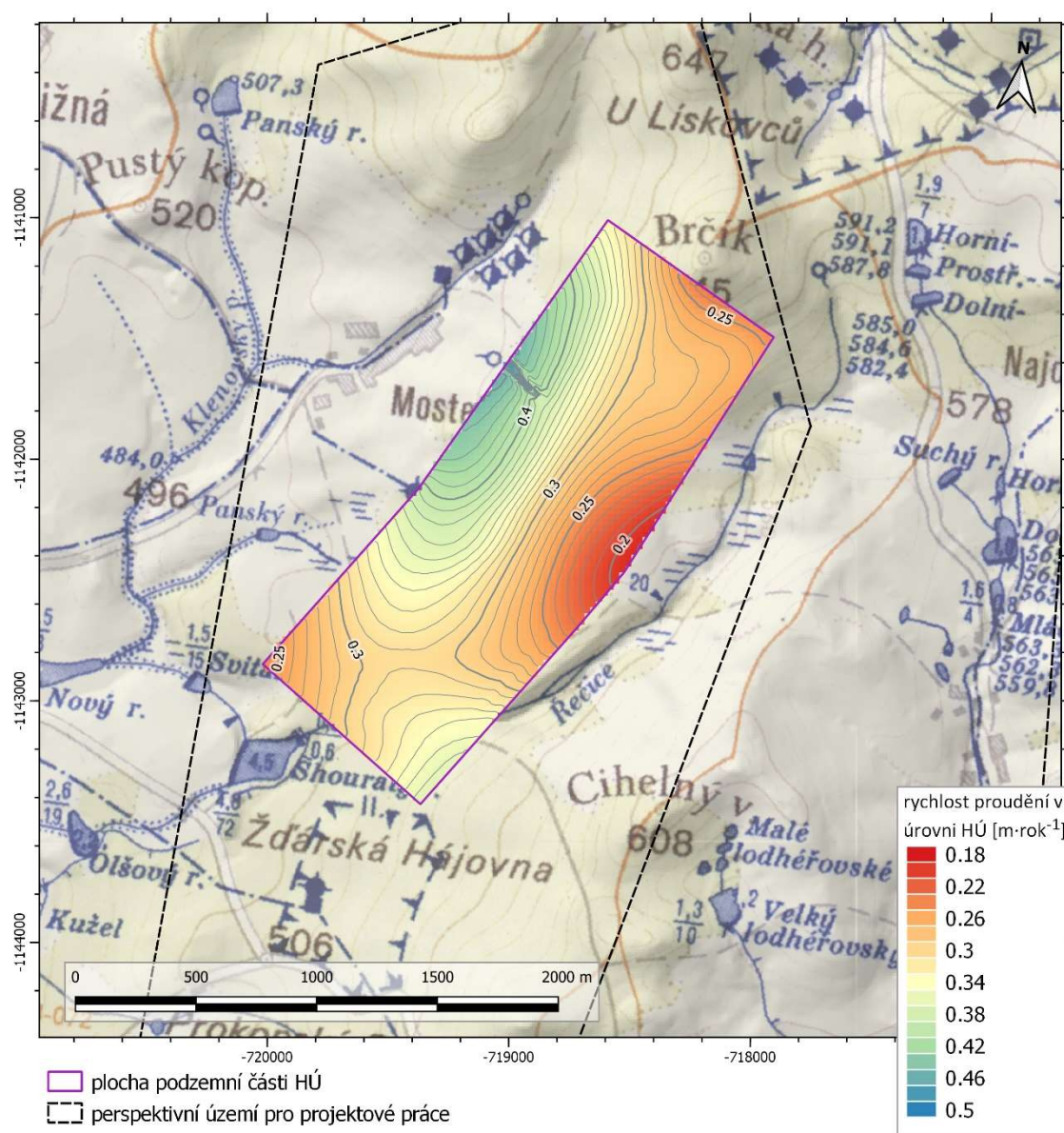
Doby zdržení (dotoku) podzemní vody mezi prostorem HÚ a drenáží jsou v modelových simulacích proudění podzemní vody stanoveny metodou *particle tracking* (Muffels et al. 2014).

Skutečná rychlost proudění v úseku mezi prostorem potenciálního úložiště (8 m n. m.) a drenáží v přípovrchové zóně se liší v závislosti na hydraulickém odporu prostředí a hydraulickém gradientu. Proudění v přípovrchové zóně dosahuje rychlostí řádově stovek metrů za rok, zatímco ve větších hloubkách horninového masivu dosahují rychlosti proudění maximálně desítek centimetrů za rok. Hydraulickou souvislost prostoru projektovaného HÚ s drenážními bázemi charakterizuje parametr doby zdržení (doby dotoku). První kvartil zdržení podzemní vody pro HÚ v lokalitě Čihadlo byl modelem vypočten na hodnotu 3 207 roků

(indikátor K5a, Tab. 8). Rozsah dob zdržení se pro prostor HÚ v lokalitě Čihadlo pohybuje v rozmezí 2 500 až 11 000 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 0,18–0,50 m.rok⁻¹. Jako hodnota indikátoru je využito stanovené maximum (Indikátor K5b, Tab. 8).



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

5.2.1.3 Indikátor K5c Propustnost v prostoru HÚ

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

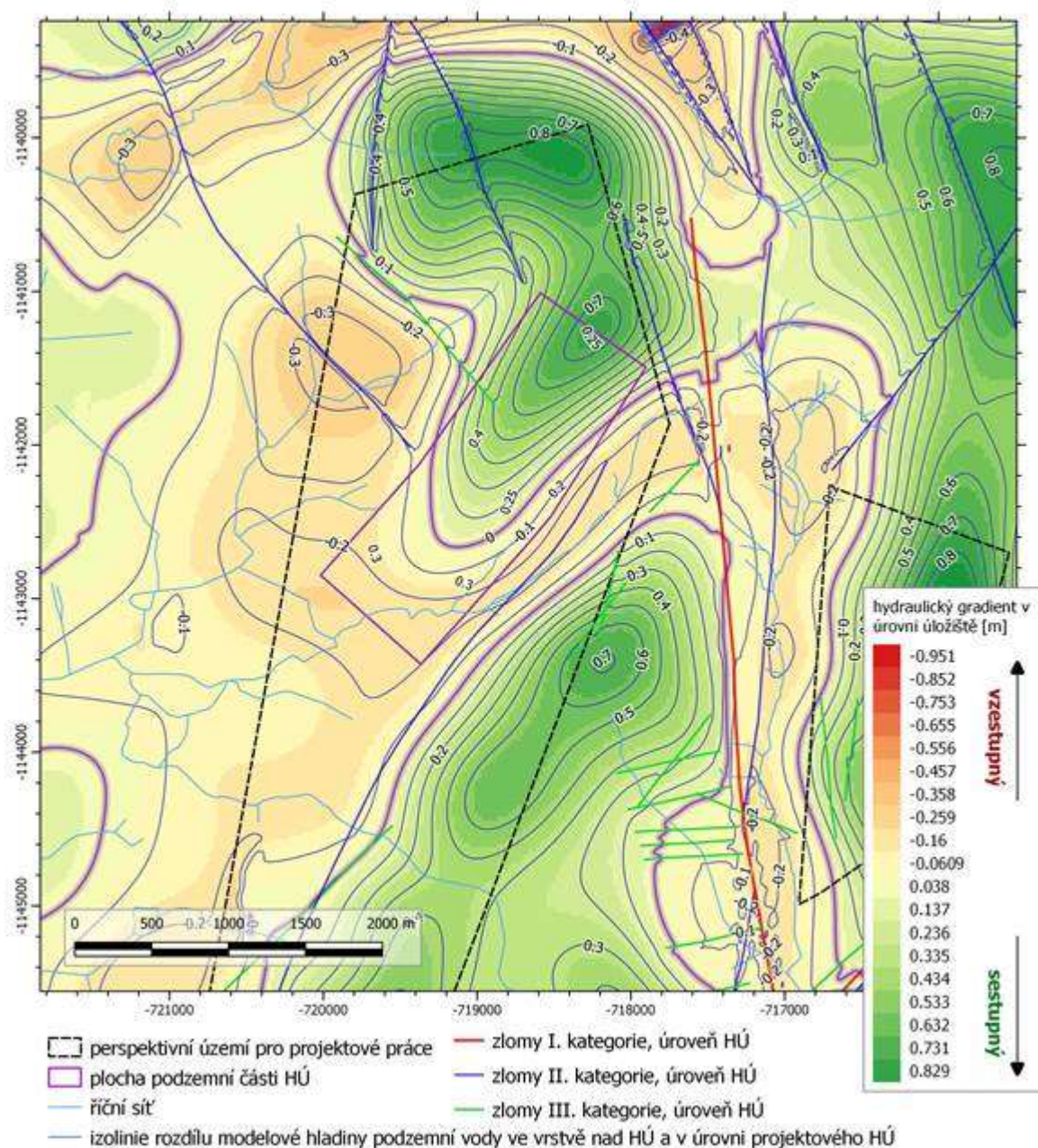
Při hodnocení hydrogeologických vlastností lokality Čihadlo byly v horninovém prostředí na základě přijaté koncepce vymezeny dvě dílčí části s rozdílným charakterem propustnosti.

Svrchní část horninového profilu tvoří málo mocné sedimentární horniny kvartéru, aluvium a svrchní vrstva hydrogeologického masivu postižená intenzivním rozpukáním a vyšší mírou rozpojení puklin. Hydraulická vodivost v přípovrchové vrstvě se v prostoru perspektivního území pro projektové práce pohybuje generelně v rozsahu $1,0 \cdot 10^{-7}$ až $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$, přičemž i v přípovrchové vrstvě lze předpokládat pokles hydraulické vodivosti s hloubkou.

Spodní část profilu tvoří krystalinické horniny, které lze z hydrogeologického hlediska popsat jako heterogenní anizotropní puklinové málo propustné prostředí. Ve zpracovaném hydraulickém modelu využitém pro hodnocení je zadán pokles hydraulické vodivosti v masivu s hloubkou jak v oblastech bez identifikovaných poruchových zón, tak v těchto zónách. Pokles vodivosti je odvozen podle empirické rovnice (Gustafson a Liedholm 1989) tak, že k poklesu koeficientu hydraulické vodivosti o jeden řád dochází s nárůstem hloubky pod terénem o 675 m. Hydraulické vodivosti horniny (mimo poruchové zóny) v úrovni potenciálního HÚ jsou podle tohoto konceptu v modelu zadány v rozsahu $1,1 \cdot 10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$ až $2,2 \cdot 10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$ (indikátor K5c, Tab. 8).

5.2.1.4 Indikátor K5d Sestupná vertikální složka proudění

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



Obr. 7 Hydraulický gradient v úrovni HÚ (8 m n. m.)

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 jsou lokalizovány do severovýchodní části území, kde se prostor HÚ nachází pod vrcholem a jihozápadním úbočím vrchu Brčák. K sestupnému proudění (kladný rozdíl hladin) dochází na 58 % plochy HÚ (indikátor K5d, Tab. 8). Oblast se záporným vertikálním tlakovým gradientem (a vertikální složkou vzestupného proudění) je lokalizována v jihozápadní části HÚ, kde úroveň terénu nad prostorem HÚ klesá k toku Řečice, Klenovského potoka a jejich soutoku.

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.

Pro lokalitu Čihadlo, a zvolené umístění HÚ, je z předpokládané zlomové sítě nejvýznamnější zlom druhé kategorie probíhající podél jihovýchodní hranice polygonu vymezujícího polohu HÚ. V linii tohoto pásma je na povrchu patrná deprese s pramenní oblastí toku Řečice. Významné poruchové pásmo lodhérovského zlomu (zóna prvního řádu) probíhá severojižním směrem cca 400 m východně od vymezeného území HÚ. Zlom představuje potenciální preferenční cestu proudění z infiltrační oblasti ve vrcholových partiích masivu do drenážních partií jižně i severně od perspektivních území pro projektové práce a zároveň potenciálně propojuje hlubší a mělké partie masivu. Hydraulické vlastnosti tohoto pásma mají tedy pro lokalitu Čihadlo značný význam a při stávajících znalostech nelze zcela vyloučit hydraulickou souvislost tohoto zlomového pásma s prostředím masivu v prostoru podzemní části HÚ (průběh a charakter zón v hloubce HÚ není možné v současnosti ověřit). Zlomová pásma mají, na základě přijaté koncepce poklesu hydraulické vodivosti porušených pásem s hloubkou, v úrovni projektovaného HÚ předpokládanou hydraulickou vodivost v řádu 10^{-8} m.s^{-1} pro pásma 1. řádu a 10^{-9} m.s^{-1} pro pásma 2. řádu. Maximální hydraulická vodivost v prostoru identifikovaných zlomových zón ve vzdálenosti do 500 m od hranice projektového HÚ v modelu lokality Čihadlo je $1,6 \cdot 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$ (indikátor K5e, Tab. 8).

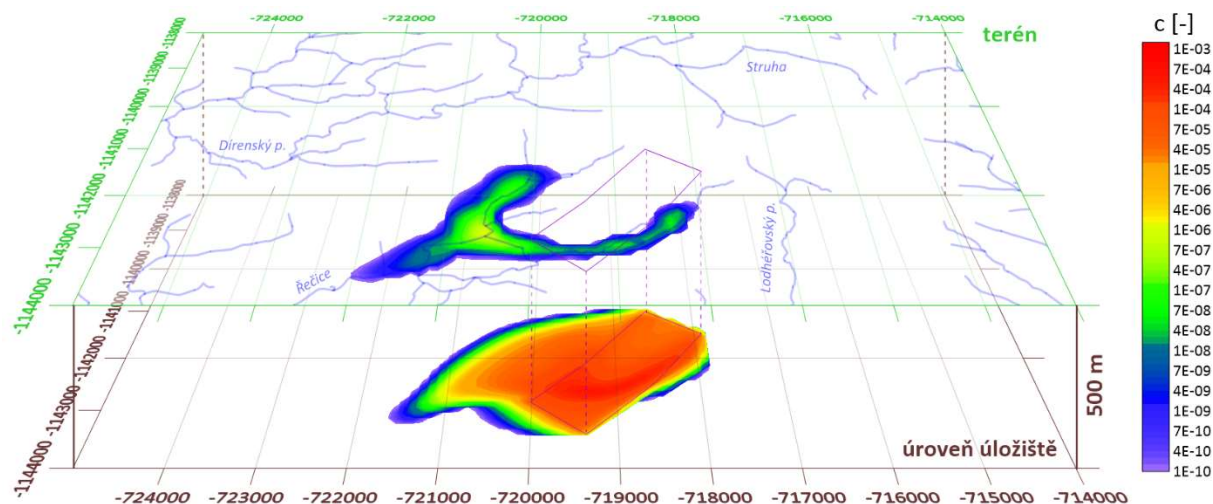
5.2.1.6 Indikátor K5f Specifický průtok v prostoru HÚ

Bilanční údaje proudění podzemní vody pro lokalitu Čihadlo jsou stanoveny z hydrogeologického modelu (Polák et al. 2020) 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 Čihadlo byly v kilometrové síti poskytnuty ČHMÚ. Průměrná hodnota efektivní modelové infiltrace v lokalitě Čihadlo je $3,25 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (Krásný et al. 1982). Z celkově infiltrovaného množství 823 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 $15,4 \text{ l.s}^{-1}$. Suma průtoků přes vymezený prostor HÚ je modelem stanovena na $3,78 \cdot 10^{-2} \text{ l.s}^{-1}$, specifický průtok přes půdorysnou plochu HÚ je $1,8 \cdot 10^{-2} \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (indikátor K5f, Tab. 8).

5.2.1.7 Indikátor K5g Poměr ředění

Pro posouzení vhodnosti lokality Čihadlo 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 maximální koncentrace vypočtené před vstupem do drenážní báze a koncentrace v prostoru úložiště. Pro HÚ v lokalitě Čihadlo byla nejnižší míra ředění stanovena na 0,2 % (indikátor K5g, Tab. 8). Rozsahy kontaminačního mraku a vypočtené relativní koncentrace v úrovni úložiště a v přípovrchové zóně jsou uvedeny na Obr. 8.



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

5.2.2 Kritérium K6 Identifikace a umístění drenážních bází

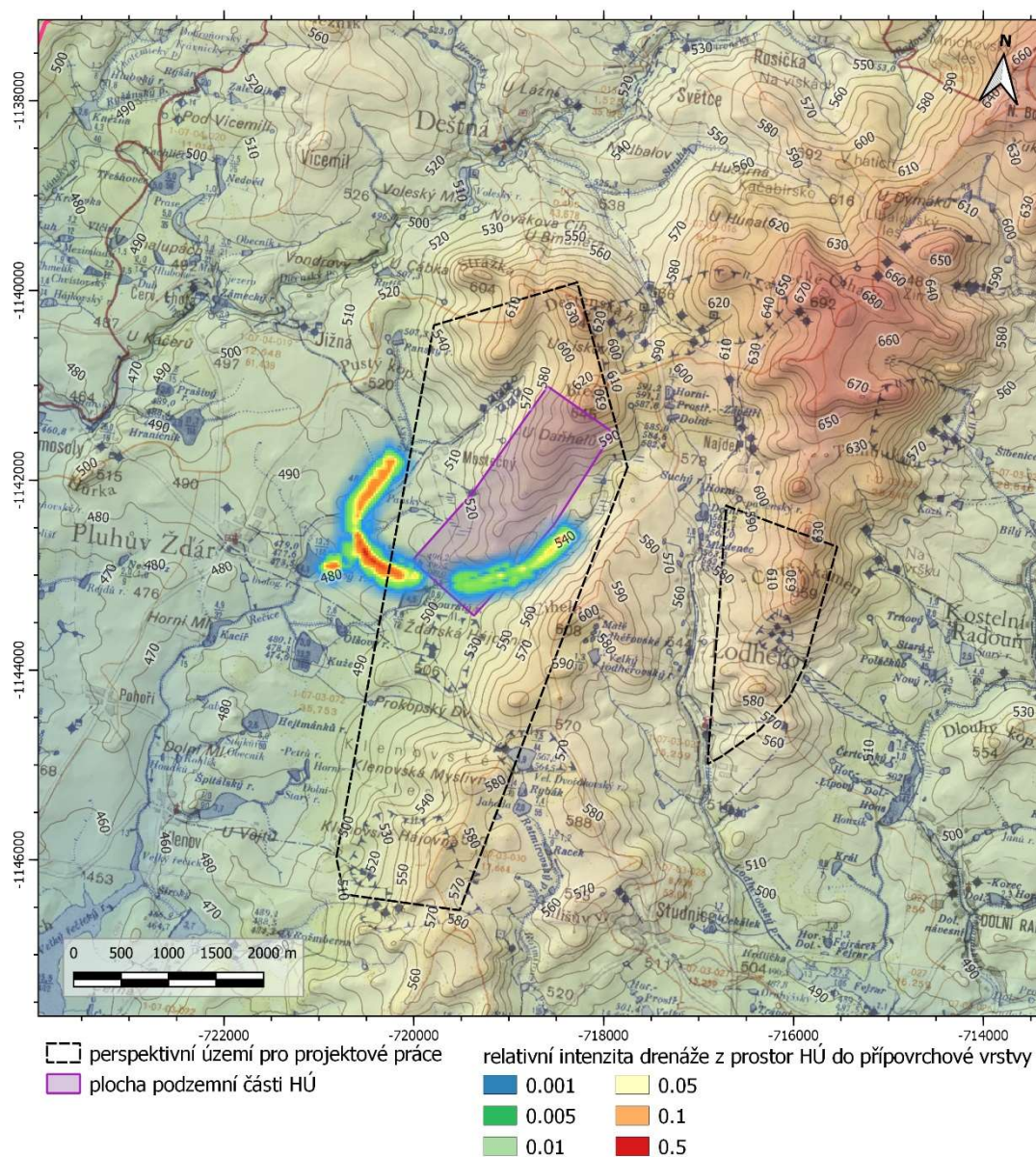
Perspektivní území pro geologické charakterizační práce je součástí hydrologického povodí Řečice 1-07-03-072, které je součástí povodí 1-07-03 Kamenice a Nežárka po ústí do Lužnice.

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, na křížení těchto toků a významných zlomových zón a v oblastech s vysokou hydraulickou vodivostí svrchní zóny a nízkým hydraulickým potenciálem.

Předpokládané drenážní oblasti pro HÚ projektované v úrovni 8 m n. m. byly stanoveny modelem proudění s využitím metody *particle tracking*. Místa a intenzita drenáže z úrovně HÚ v drenážních bázích jsou znázorněna na Obr. 9.

K drenáži podzemní vody protékající prostorem projektového HÚ dochází do dvou toků – Řečice a Klenovského potoka (Obr. 9, **indikátor K6a Počet drenážních toků**, Tab. 8). K částečné drenáži (cca 3 %) dochází v linii toku Řečice blízko pod její pramenní oblastí, dominantní drenáž byla modelem vypočtena do oblasti soutoku Řečice a Klenovského potoka. Do Řečice se nad soutokem drénuje voda ze 38 % plochy HÚ, do Klenovského potoka se nad soutokem drénuje 49 % plochy HÚ a do Řečice pod soutokem se drénuje voda z cca 10 % plochy HÚ. Do Řečice se tak drénuje podzemní voda z 51 % plochy HÚ (**indikátor K6b Zastoupení drenáže z plochy HÚ v jediném toku**, Tab. 8).

Celá plocha podzemní části HÚ (100 %) je odvodňována v povodí Řečice (**indikátor K6c Zastoupení drenáže z plochy HÚ v jediném povodí**, Tab. 8).



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

Drenáž prostoru podzemní části HÚ je relativně soustředěná. Celková délka vypočtené drenážní linie toků je cca 3,8 km. Drenáž je vypočtena v úrovni 475 až 542 m n. m. ve vzdálenosti do 1 km od hranice polygonů vymezujících podzemní části HÚ. Nejvzdálenější drenáž byla vypočtena do přípoверхové vrstvy v prostoru Nového rybníka. K částečné drenáži dochází i přímo v polygonu vymezujícím podzemní část HÚ na povrchu. Nejkratší horizontální vzdálenost drenáže (indikátor K6d Horizontální vzdálenost HÚ od drenáže, Tab. 8) je tedy rovna 0 m.

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

Tab. 7 Vyhodnocení vylučujících kritérií pro oblast Hydrogeologické charakteristiky pro lokalitu Čihadlo. 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 lokality pro umístění HÚ

Pro hodnocení hydrogeologických poměrů a vybraných kritérií pro posouzení vhodnosti lokality Čihadlo pro situování HÚ byl vytvořen aktualizovaný 3D detailní hydrogeologický model, který reprezentuje aktuální znalost poměrů proudění podzemní vody v lokalitě, ve vztahu k hlubinnému proudění podzemní vody. Hodnoty indikátorů uvedených v Tab. 8 jsou vyhodnoceny z výsledků modelového řešení proudění podzemní vody a transportu látek. **Popis výběru jednotlivých indikátorů a metodiky jejich vyhodnocení (sloupec známka) je uveden ve zprávě Vondrovic et. al. (2019).**

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

ID	Název kritéria / Indikátoru	Hodnoty	Známka
	Střední úroveň HÚ (m n. m.)	8,0	
	Plocha ukládacích prostor HÚ (km²)	2,074	
K5	Kritérium: Charakteristika proudění vody v okolí HÚ a transportní charakteristiky		
K5a	Doba dotoku z HÚ do oblasti drenáže (roky)	3 207	4,8
K5b	Rychlost proudění v úrovni úložiště (m.rok ⁻¹)	0,50	1,7
K5c	Propustnost v prostoru HÚ (m.s ⁻¹)	2,2.10 ⁻⁹	2,8
K5d	Sestupná vertikální složka proudění (% plochy HÚ)	58	3,2
K5e	Maximální propustnost poruchových zón do 500 m od hranice HÚ (m.s ⁻¹)	1,6.10 ⁻⁸	2,3
K5f	Specifický průtok v prostoru HÚ (l.s ⁻¹ .km ⁻²)	1,8.10 ⁻²	2,3
K5g	Poměr ředění (%)	0,2	1,3
K6	Kritérium: Identifikace a umístění drenážních bází		
K6a	Počet drenážních toků	2	4,3
K6b	Zastoupení drenáže z plochy HÚ v jediném toku (% plochy HÚ)	51	2,0
K6c	Zastoupení drenáže z plochy HÚ v jediném povodí (% plochy HÚ)	100	5,0
K6d	Horizontální vzdálenost HÚ od drenáže (m)	0	5,0

6 Kritérium K7 Seismická a geodynamická stabilita

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

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

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

Zhodnocení stability území lokalit Čihadlo se skládá z vyhodnocení tří oblastí (i) seismické stability, (ii) geodynamické stability a (iii) postvulkanické stability.

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 není indikována aktivita zlomu v období posledních 2,6 milionu. 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 fluvialních sedimentů, uvádějí rychlosti zahlubování v průběhu pleistocénu $0,02\text{--}0,86\text{ mm.rok}^{-1}$. Tyráček et al. (2004), korelací labských a vltavských teras, odhadují průměrnou rychlost výzdvihu centrální části Českého masivu ve spodním pleistocénu na $0,04\text{ mm.rok}^{-1}$ a během středního a svrchního pleistocénu až $0,15\text{ mm.rok}^{-1}$.

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

6.1.3 Postvulkanické jevy

Lokalita se nachází mimo oblasti kenozoického vulkanizmu spojeného s vývojem oherského riftu a rozptýleného alkalického magmatizmu 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; Dudíková-Schulmannová et al. 2011; Mixa et al. 2019). **Z hlediska post-vulkanických jevů nejsou na PÚPP nalezeny střety s žádným z vylučujících kritérií.**

6.2 Kritéria pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ

6.2.1 Indikátor K7a Hodnota maximálního horizontálního zrychlení

Studie seismické stability, zahrnuje výsledky pravděpodobnostního hodnocení seismického ohrožení vypracované Málkem et al. (2018). Seismické ohrožení lokality je dáno zvláště vzdáleností od prvních dvou významných zón a četností slabých blízkých zemětřesení. V rámci studie byl zkompileován katalog historických zemětřesení pro region do vzdálenosti 300 km od PÚPP s dolním magnitudovým limitem 3,9. Rovněž byly uvažovány paleoseismologické studie. 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} . Součástí výpočtu byla deagregace seismického ohrožení. Seismické ohrožení lokality je dáno zvláště vzdáleností od prvních dvou významných zón a četností slabých blízkých zemětřesení. Výpočty byly prováděny pomocí programu OpenQuake.

Hodnota maximálního horizontálního zrychlení získaná z pravděpodobnostní metody pro 50% pravděpodobnost a dobou opakování 10^5 let činí **1,59 m.s⁻²**.

6.2.2 Indikátor K7b Výškový gradient

Lokalita Čihadlo leží při rozvodí 4. řádu, od jihu je území odvodňováno do řeky Nežárky Kamenicí (Radouňský potok a Lodhéřovský potok) a Řečicí. Na území jsou vyvinuty 2 úrovně paleoreliéfu: vyšší úroveň okolo 600 m n. m. se zachovala na relativně rezistentnější poloze masivu monolitického granitu a nižší úroveň paleoreliéfu okolo 450–500 m n. m. je vyvinuta především na povrchu tvořeným metamorfovanými horninami moldanubika. Místy jsou na této úrovni zarovnaného povrchu zachovány reliktů písků a štěrků, jejichž stáří je neznámé, ale litologicky odpovídající zřejmě nejvyššímu členu výplně třeboňské pánve – ledenickému souvrství pliocenního stáří. Výškový rozdíl mezi průměrnou nadmořskou výškou zarovnaného povrchu 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). **Erozní báze** odpovídá povrchu třeboňské pánve, tj. nadmořské výšce cca 450 m, což je cca **150 m pod úrovní vyšší úrovně zarovnaného povrchu** a 40 až 90 m pod nižší úrovní zarovnaného povrchu.

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

Na základě geomorfologické charakteristiky většina území není postižena mladšími cykly zpětné eroze, která vytváří strmé erozní svahy s hlubokými erozními údolími (Hroch a Pačes 2015; Kopačková et al. 2017). Erozní údolí mají charakter mírně zahloubených struktur tvaru U. Projevy dnes neaktivní hloubkové eroze jsou zřetelné pouze v údolí Dírenského potoka, který na území vytváří erozní údolí hluboké cca 20–25 m, zařízlé do nižší úrovně zarovnaného povrchu. Říční systém Dírenského potoka má v současnosti meandrující charakter s převahou laterální složky eroze, tzn., nedochází k prohlubování údolí a zahlubování říčního systému. V přilehlých svazích jsou vyvinuty erozní strže hluboké v řádu prvních metrů. V těchto stržích

také nejsou zřejmé projevy aktivní hloubkové eroze, uzávěry erozních strží nemají vyvinuta výrazná čela zpětné eroze a jejich dna jsou vyplněna aluviálními sedimenty. **Celková plocha území pokrývající reliéf přetvářený zpětnou erozí činí cca 11 % celkového území.**

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

Na základě dostupných dat (např. Chlupáč a Štorch 1992; Cháb et al. 2007; Dudíková Schulmannová et al. 2011; 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 (Kolářová 1978).

6.3 Expertní zhodnocení

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

6.3.1 Nejistoty spojené s hodnocenou oblastí

- Pro vyhodnocení potenciálně aktivních zlomů nejsou k dispozici relevantní data o stáří a aktivitě tektonických struktur. Pro další 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 Čihadlo ve vztahu k legislativním požadavkům je uvedeno v Tab. 9.

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

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

6.3.3 Hodnocení vybraných kritérií pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ

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

Vyhodnocení vybraných parametrů indikátorů pro oblast Stabilita lokality Čihadlo je uvedeno v Tab. 9.

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

ID	Indikátor kritéria	Hodnota indikátoru	Známka
K7a	Hodnota maximálního horizontálního zrychlení získaná z pravděpodobnostní metody pro 50% pravděpodobnost a dobou opakování 10^5 let	1,59 m.s ⁻²	3,3
K7b	Výškový rozdíl mezi úrovní jednotlivých zarovnaných povrchů a úrovní lokální erozní báze (čím menší výškový rozdíl, tím příznivější hodnota tohoto porovnávacího kritéria)	150 m	1,6
K7c	Procentuální podíl plochy reliéfu postiženého a přetvořeného mladými cykly zpětné eroze a svahovými deformacemi (menší podíl rozlohy těchto povrchů k celkové ploše lokality představuje příznivější hodnotu porovnávacího kritéria)	cca 11 %	1,3
K7d	Výskyt vulkanických hornin paleogenního až holocenního stáří a kyselek	jev se nevyskytuje	1

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

Kapitola hodnotí **perspektivní území pro geologické charakterizační práce** (PÚGChP) pro lokalitu Čihadlo 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 Čihadlo 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 jsou připraveny pro využití během následných etap hodnocení lokalit a jejich výběru.

7.1 Vylučující kritéria

7.1.1 Poddolovaná území a stará a opuštěná důlní díla

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

Starší zprávy po r. 1950 registrovaly průzkumy a vyhledávání zaměřené na výskyty uranu, okrajově též Sn-W suroviny, vše až vmimo všechna stanovená perspektivní území. Jediné rozsáhlejší poddolované území leží mimo PÚGChP, v území podél uranového rudního pásma u Okrouhlé Radouně. Několik ojedinělých starých důlních děl mezi Jarošovem a Jindřichovým Hradcem, která souvisí s pokusy o těžbu železných a polymetalických rud, představují pozůstatky povrchových jam a kutišť. Rešerše ložiskových průzkumů a geologického mapování pro PÚGChP Čihadlo je uvedena v Technické zprávě pro SÚRAO 10/2015 (Švagera et al. 2015). Z této rešerše starých báňských map z archivu ČGS–Geofondu vytvořených před r. 1900 vyplývá absence indikací významnějšího zrudnění nebo registrace starších ložiskových průzkumů v tomto území.

7.1.2 Přítomnost zásob nerostných surovin

7.1.2.1 Ložisková území

Geologickým a ložiskovým průzkumem docházelo v průběhu doby k vymezení ložisek a prognózních zdrojů nerostných surovin. Stanovení kontur kategorizovaných zásob a ložisek, případně prognózních zdrojů nerostných surovin, bylo pak závislé na jejich potřebě, kvalitě, dostupnosti a na technických možnostech těžby. Některé zásoby a ložiska byly později přehodnoceny (zrušeny) nebo odepsány. Pro účely této zprávy jsou uvedeny i tyto zdroje nerostů, protože byly zpravidla dříve těženy a mohou i do budoucna představovat bilanční zásobu nebo představují významný zdroj ložiskových či jiných informací. Zásoby a prognózní zdroje nerostných surovin jsou na PÚGChP Čihadlo přítomny v jednom ložisku a ve třech prognózních zdrojích. Jde pouze o suroviny stavební – drcené kamenivo a kámen pro hrubou a ušlechtilou kamenickou výrobu. K sestavení ložiskové části kapitoly byly využity údaje SurlS a elaboráty geologického průzkumu.

Ložisko Deštná (surovina stavební kámen)

Podle § 15 odst. 1 písm. g) vyhlášky č. 378/2016 Sb. existuje v perspektivním území kolize s dobývacím prostorem (DP). Při sz. okraji lokality, asi 230 m od z. ohraničení a 560 m od jeho s. ohraničení, je situován DP 70845 Deštná. Rozkládá se na k. ú. 625 744 Deštná u Jindřichova Hradce a k. ú. 661 481 Jižná. Dobývací prostor byl stanoven pro výhradní ložisko stavebního kamene B 3157100 Deštná. Jeho max. rozměr ve směru V–Z činí cca 660 m, ve směru S–J cca 610 m. Centrální část DP leží na přibližných souřadnicích X = 1 139 800, Y = 719 330. Výměra DP podle údajů v SurlS činí 0,3083735 km². Uvnitř DP jsou vymezeny zásoby výhradního ložiska B 3157100 Deštná, které jsou v současné době rozpojovány za použití trhavin. Předpokládaný hloubkový dosah ovlivnění horninového prostředí je max. 30 m od dnešní báze lomu, neboť báze zásob je v hlubší sz. části výhradního ložiska stanovena v 530 m n. m.

LOKALITA ČIHADLO

Map showing the Čihadlo locality area, including settlements like Děstná, Světec, and Čihadlo. The map displays topographic features, roads, and geological structures. A legend indicates symbols for abandoned surface mines (black triangle), exclusive deposit (red square), mining area (pink square), abandoned deposit (orange square), and perspective area for geological characterization (black outline). The scale is 1:50,000.

Legend:

- ▲ opuštěné povrchové těžebny
- ložisko výhradní
- dobývací prostor těžebný
- ložisko zrušené
- perspektivní území pro geologické charakterizační práce

Scale: 1:50 000

© Česká geologická služba - Praha, listopad 2019
 Datový podklad MŽP © ČÚZK - ZM 50

Obr. 10 Situace ložiskových objektů v PÚGChP Čihadlo

Geologická charakteristika ložiska Deštná

Výhradní ložisko stavebního kamene B 3157100 Deštná leží uvnitř DP 70845 Deštná. Podle údajů ze SurlS jeho max. rozměr ve směru V–Z je asi 490 m, ve směru S–J asi 350 m. Rozkládá se na zalesněném vrchu mírně protáhlém ve směru V–Z, v jehož centrální části je

otevřeno stěnovým lomem. Nejvyšší těžbou dotčená část je nyní v úrovni cca 590 m n. m., dnešní dno lomu je v úrovni asi 558 m n. m. Báze zásob je v jz. části ložiska 545 m n. m., v sv. části 530 m n. m. Pokud dojde k těžbě na tyto úrovně, pak bude dno lomu ležet oproti okolnímu nejnižšímu původnímu terénu o cca 25–30 m níže. Průměrná mocnost ložiska kolísá podle morfologie terénu v rozmezí cca 25–50 m. Ložisko je součástí klenovského plutonu a leží při jeho sz. okraji blízko styku s migmatizovanými pararulami až migmatity a s tělesy ortorul. Vlastní granitový pluton je tvořen dvojslídovým drobně až středně zrnitým granitem (typ Klenov), místy i drobně porfyrickým (typ Dívčí Kopy). Ložisko má jednoduché hydrogeologické poměry, neboť leží vysoko nad místní erozivní bází a lomový prostor je odvodňován samospádem. Při geologickém průzkumu ložiska byly uvnitř DP Deštná provedeny ložiskové vrty, které byly většinou ukončeny okolo úrovně 255 m n. m., výjimečně dosáhly 225 a 230 m n. m.

7.1.2.2 Drobné těžebny a ložiskové indicie

V souvislosti s § 18 odst. 2 písm. o) vyhlášky č. 378/2016 Sb. byla zjišťována i další místa zdrojů nebo dřívější těžby nerostných surovin. Na PÚGChP Čihadlo se dle Tichého (1970) nalézají min. šest lomů, z nichž jeden je výše popsaným výhradním ložiskem. Zbýlých pět lokalit představuje lokální, dávno opuštěné stěnové lomy v granitoidech klenovského plutonu. Jejich délky jsou 20–100 m, výšky stěn činí 7–12 m. Ložiskové poměry se příliš neliší od ložiska Deštná.

Tři níže popsané lokality byly sledovány při geologickém průzkumu a došlo na nich k odhadu prognózních zásob (Samek 1972; Tichý 1970), s nimiž se v současnosti nepočítá. V rámci zpracování této zprávy nebyl současný stav těchto těžeb zjišťován. Nutno též dodat, že nelze vyloučit budoucí snahy o ověření a využití známých míst s bývalou těžbou kamene, popř. nových míst k tomuto záměru geologicky a morfologicky vhodných. Zrušený prognózní zdroj Z 9133900 Lodhéřov 1 leží asi 1,5 km od obce Najdek a 1,1 km v. od Lodhéřova pod vrcholem kóty Čertův kámen; na lokalitě Čihadlo, cca 150 m od její hranice. Zdejší granit byl příležitostně těžben ručně z výchozu a v mělkých jamách ke stavebním účelům a pro hrubou kamenickou výrobu. Další zrušený prognózní zdroj Z 9133800 Lodhéřov představuje areál opuštěného lomu asi 600 m ssv. od kostela v Lodhéřově. Pro vyšší rozpukání je granit vhodný jako kamenivo. Překážkou v dalším využití je blízkost zástavby obce. Zrušený prognózní zdroj Z 9133600 Mostečný představuje areál opuštěného lomu asi 400 m jv. od kaple v Mostečném. Dvě opuštěné těžebny kamene, z nichž jedna je popsána jako významná geologická lokalita ID 3351, se nacházejí u Studnice v jz. části perspektivního území.

Charakter dosavadní těžby a vymezené zásoby na ložisku Deštná, a na ostatních lokalitách stavebního kamene, 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 stavební kámen a kámen pro hrubou a ušlechtilou kamenickou výrobu nedosáhne hloubky pod zemským povrchem, v níž se předpokládá umístění HÚ. 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 v této zprávě dva základní parametry jako vstupní hodnoty pro porovnání specifík každé lokality – tepelný tok na povrchu a teplota v hloubce 500 m pod povrchem.

Pro lokalitu Čihadlo je možné dle výpočtů možné za základní pozadí považovat předpokládat v hloubce 500 m teplotu okolo 17-22 °C v granitech (Dědeček et al. 2020). V případě hornin s nejvyšší tepelnou vodivostí $3,3 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, která byla naměřena v migmatitech ve směru foliace, byly nejvyšší teoretické teploty vypočteny až 30 °C. Takto vysoké hodnoty jsou ale spíše nereálné. Výpočty ukazují velký rozptyl teplot v migmatitech díky jejich výrazné anizotropii tepelné vodivosti závislé na směru foliace. Lokalita Čihadlo leží v území s nadprůměrným tepelným tokem okolo 80 mW.m^{-2} na povrchu a v hloubce 500 m okolo 77 mW.m^{-2} . To jsou hodnoty v rámci území České republiky průměrné, z čehož lze usuzovat, že riziko konfliktu s využíváním geotermální energie pro průmyslové využití je na této lokalitě minimální.

Je však ale nutné zdůraznit, že uvedená interpolovaná hodnota tepelného toku vychází z omezeného počtu vrtů. Prezentované poznatky o tepelných vlastnostech lokality Čihadlo jsou zatíženy značnou mírou nejistoty a pro jejich zásadní upřesnění bude třeba provést nová, doplňující měření, zejména v předpokládaných vrtech.

Dle certifikované metodiky Mixy et al. (2015) „Metodika stanovení podmínek ochrany při využívání tepelné energie zemské kůry“ je zdrojem geotermální energie akumulace tepelné energie v horninovém prostředí, v podzemní nebo důlní vodě, kterou je možné využívat aktuálně dostupnými technickými prostředky a technologiemi.

V českém legislativním rámci pojem „zdroj geotermální energie“ není zakotven. Do budoucna je nutno stanovit kritéria, co je za zdroj geotermální energie považováno. Při relativním posouzení významu možných zdrojů geotermální energie v lokalitě Čihadlo je nutno vyjít z platných definic pojmů a legislativy, pravděpodobnost střetu je nízká.

Nově byly horniny na lokalitě Čihadlo studovány z pohledu tepelné produkce Hanákem et al. (2017). Byly rozlišeny dvě základní skupiny hornin s rozdílnou tepelnou produkcí: migmatity s nízkou tepelnou produkcí mezi $1,4\text{--}2,3 \text{ μW.m}^{-3}$ a granity, které mají naopak zvýšenou tepelnou produkci $4,1\text{--}5,6 \text{ μW.m}^{-3}$. Ačkoliv je tepelná produkce granitů zvýšená, potenciál pro výskyt významného geotermálního zdroje je pro cílovou hloubku potenciálního HÚ (500–600 m) nulový.

Mezi výskyty současné a budoucí lidské aktivity, která je způsobilá narušit izolační vlastnosti úložného systému, je též přítomnost zdrojů geotermální energie (odst. 4c § 18 vyhlášky č. 378/2016 Sb.). S ohledem na současný stav poznání nebyla přítomnost průmyslově využitelného zdroje geotermální energie na lokalitě Čihadlo prokázána a 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 Čihadlo

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

Pokud vyhodnotíme všechny výše uvedené podklady, lze konstatovat, že na základě všech dostupných dat zpracovaných v kapitole 7 věnované charakteristikám, které by mohly vést k narušení úložiště budoucími aktivitami člověka, nebyla na základě dostupných dat zjištěna vylučující kritéria pro umístění HÚ.

Shrnutí výsledků hodnocení kategorie „Charakteristiky, které by mohly vést k narušení úložiště budoucími aktivitami člověka“ pro porovnávací kritérium K8a je uvedeno ve finální tabulce (Tab. 12) se zavedením vyhodnocení dle bodové škály (1–5).

7.3.1 Nejistoty spojené s hodnocenou oblastí

Nejistoty pro sledované tři parametry na lokalitě Čihadlo nejsou definovány ani odůvodněny. Nejistoty ohledně nebezpečí průniku člověka do hlubinného úložiště spadají spíše do okruhu otázek spojených s parametry diskutovanými nyní v rámci jiných kapitol (např. s hydrogeologickými poměry a dosahem zdrojů podzemních vod). Určitá nejistota je spojená s případnou změnou či novým vymezením chráněných ložiskových území a změnou hloubkového dosahu ložiska Deštná, případně s upřesněním legislativního vymezení pojmu „zdroj geotermální energie“.

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

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

Vyhodnocení kritéria „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 Čihadlo. 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.

ID	Kritérium	Hodnocení
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

Vyhodnocení vybraných parametrů indikátorů pro oblast charakteristik zvyšujících pravděpodobnost narušení hlubinného úložiště člověkem na lokalitě Čihadlo je uvedeno v Tab. 12. Ve sledovaných parametrech ložiskové situace a poddolování jsou indicie jednoznačně nevýznamné a negativní.

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

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

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

Charakterizace a vyhodnocení lokality Čihadlo 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 tuto lokalitu. Vyhodnocení vylučujících kritérií je prvním krokem pro další hodnocení a porovnání lokalit na základě definovaných kritérií a jejich indikátorů. Hodnocení jednotlivých indikátorů kritérií pro vzájemné porovnání lokalit je shrnuto v každé relevantní kapitole této zprávy.

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

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

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

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

Citace a seznam literatury

- ANDERSSON J., STRÖM A., SVEMAR C., ALMÉN K.-E., ERICSSON L. E. (2000): What requirements does the KBS-3 repository make on the host rock? Geoscientific suitability indicators and criteria for siting and site evaluation. – SKB Technical Report TR-00-12, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company, Stockholm, Sweden, 148 s.
- BALATKA B. A KALVODA J. (2008): Evolution of Quaternary river terraces related to the uplift of the central part of the Bohemian Massif. – Geografie – Sbor. Čes. geogr. spol., 113, 3, Praha, 205–222.
- 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 Čihadlo. – MS SÚRAO, TZ 40/2016, Praha.
- CARSWELL D. A. A O'BRIEN P. J. (1993): Thermobarometry and geotectonic significance of high-pressure granulites: examples from the Moldanubian zone of the Bohemian Massif in Lower Austria. – J. Petrol. 34, 427–459.
- DĚDEČEK P., UXA T., HOLEČEK J. (2020): Geotermické zhodnocení potenciálních lokalit HÚ na základě dostupných údajů. – MS SÚRAO, TZ 486/2020.
- DUDÍKOVÁ SCHULMANNOVÁ B., HROCH T., PACLÍKOVÁ J., PERTOLDOVÁ J., SMYČKOVÁ L., VERNER K., VONDROVIC L. (2011): Základní geologická mapa 1 : 25 000, geologická mapa 23–314 Deštná – Česká geologická služba, Praha.
- FRANĚK J., BUKOVSKÁ Z., BURIÁNEK D., DUDÍKOVÁ SCHULMANNOVÁ B., GRUNDLOCH J., HOLEČEK J., JELÉNEK J., JELÍNEK J., KLOMÍNSKÝ J., KRYŠTOFOVÁ E., KUČERA R., KUNCEOVÁ E., KŮRKOVÁ I., NAHODILOVÁ R., PACHEROVÁ P., PERTOLDOVÁ J., PEŘESTÝ V., RUKAVIČKOVÁ L., SOEJONO I., ŠVAGERA O., VERNER K., ŽÁČEK V. (2018): Závěrečná zpráva 3D strukturně – geologické modely potenciálních lokalit HÚ. – MS SÚRAO, TZ 229/2018, Praha, 594 str.
- GUSTAFSON G., LIEDHOLM M. (1989): Groudwater Flow Calculation on a Regional Scale at The Swedish Hard Rock Laboratory. SKB Progress Report 25-88-17, Stockholm.
- HANÁK J., CHLUPÁČOVÁ M., ONDRA P., HROUDA F., SOSNA K., ŽIŽKA J., KAŠPAREC I., DĚDEČEK P. (2017): Stanovení petrofyzikálních charakteristik horninového prostředí pro území potenciálních lokalit HÚ. Závěrečná zpráva. – MS SÚRAO, ZZ 103/2017, Praha, 170 s.
- HAVLOVÁ V., PERTOLDOVÁ J., BUKOVSKÁ Z., HROCH T., ŠTĚDRÁ V., POLÁK M., ŘÍHA J., ČERVINKA R., ČERNÝ M., DUDÍKOVÁ SCHULMANNOVÁ B., DUDKOVÁ I., DUŠEK K., FRANĚK J., GONDOLLI J., GVOŽDÍK L., HOKR M., HOLEČEK J., JANKOVEC J., JELÉNEK J., JELÍNEK J., KACHLÍKOVÁ R., KALÁB Z., KLAJMON M., KLOMÍNSKÝ J., 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 umístění úložiště VJP a RAO z hlediska dlouhodobé bezpečnosti. Lokalita Čihadlo. – MS SÚRAO, TZ 278/2018, 124 s.
- HAVLOVÁ V., PERTOLDOVÁ J., BUKOVSKÁ Z., BAIER J., HROCH T., ŠTĚDRÁ V., ŘÍHA J., ČERVINKA R., ČERNÝ M., DUDKOVÁ I., DUŠEK K., FRANĚK J., GONDOLLI J., GVOŽDÍK L., HOKR M., HOLEČEK J., JELÍNEK J., KACHLÍKOVÁ R., KALÁB Z., KLAJMON M., KOLOMÁ K., KOUŘIL M., KRÁLOVCOVÁ J.,

- KUNCEOVÁ E., MARYŠKA J., MILICKÝ M., NÝVLT D., ONDRA P., POLÁK M., RAPPRICH V., RUKAVIČKOVÁ L., STEINOVÁ J., SVOBODA J., ŠÍR P., ŠVAGERA O., UHLÍK J., 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., JELÍNEK J., JELÍNEK J., KACHLÍKOVÁ R., KALÁB Z., KLAJMON M., KOLOMÁ K., KOUŘIL M., KRÁLOVCOVÁ J., KUNCEOVÁ E., KŮRKOVÁ I., MARYŠKA J., MILICKÝ M., NÝVLT D., ONDRA P., PACHEROVÁ P., POLÁK M., RAPPRICH V., RUKAVIČKOVÁ L., STEINOVÁ J., SVOBODA J., ŠÍR P., ŠVAGERA O., 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., JELÍNEK J., JELÍNEK J., KACHLÍKOVÁ R., KALÁB Z., KLAJMON M., KOLOMÁ K., KOUŘIL M., KRÁLOVCOVÁ J., KUNCEOVÁ E., MARYŠKA J., MILICKÝ M., NÝVLT D., ONDRA P., PACHEROVÁ P., POLÁK M., RAPPRICH V., RUKAVIČKOVÁ L., STEINOVÁ J., SVOBODA J., ŠÍR P., ŠVAGERA O., 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., JELÍNEK J., JELÍNEK J., KACHLÍKOVÁ R., KALÁB Z., KOUŘIL M., KRÁLOVCOVÁ J., KLAJMON M., KOLOMÁ K., KUNCEOVÁ E., MARYŠKA J., MILICKÝ M., NÝVLT D., ONDRA P., PACHEROVÁ P., POLÁK M., RAPPRICH V., RUKAVIČKOVÁ L., STEINOVÁ J., SVOBODA J., ŠÍR P., ŠVAGERA O., 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., HRDLÍČKOVÁ K., JELÍNEK J., JELÍNEK J., KACHLÍKOVÁ R., KALÁB Z., KLAJMON M., KOLOMÁ K., KRÁLOVCOVÁ J., KOUŘIL M., KRYŠTOFOVÁ E., KUNCEOVÁ E., MARYŠKA J., MILICKÝ M., NÝVLT D., ONDRA P., PACHEROVÁ P., POLÁK M., RAPPRICH V., RUKAVIČKOVÁ L., SEDLÁČKOVÁ I., SOEJONO I., STEINOVÁ J., SVOBODA J., ŠÍR P., ŠVAGERA O., VAŠÍČEK R., VAVRO M., VOPÁLKA D., UHLÍK J., ZEMAN J., ZEMAN O. (2018h): Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště. Hodnocení vhodnosti lokality pro umístění úložiště VJP a RAO z hlediska dlouhodobé bezpečnosti. Lokalita EDU-západ. – MS SÚRAO, TZ 279/2018, 122 s.
- HAVLOVÁ V., PERTOLDOVÁ J., HROCH T., ŠTĚDRÁ V., JANKOVEC J., ŘÍHA J., ČERVINKA R., NAHODILOVÁ R., BAIER J., BUKOVSKÁ Z., ČERNÝ M., DUDKOVÁ I., DUŠEK K., FRANĚK J., GONDOLLI J., GVOŽDÍK L., HOKR M., HOLEČEK J., JELÍNEK J., KACHLÍKOVÁ R., KALÁB Z., KOLOMÁ K., KLAJMON M., KRÁLOVCOVÁ J., KRYŠTOFOVÁ E., MARYŠKA J., MILICKÝ M., ONDRA P., PACHEROVÁ P., PEŘESTÝ V., POLÁK M., ŘIHOŠEK J., RUKAVIČKOVÁ L., STEINOVÁ J., SVOBODA J., ŠÍR P., UHLÍK J., VAŠÍČEK R., VAVRO M., VOPÁLKA D., ZEMAN O. (2018i): Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště. Hodnocení vhodnosti lokality pro umístění úložiště VJP a RAO z hlediska dlouhodobé bezpečnosti. Lokalita ETE-jih. Závěrečná zpráva. – MS SÚRAO, TZ 284/2018, 118 s.
- HOLOVKA D., KRIŠTIAK J. (1989): Zpráva o geologickém mapování a vyhledávacím průzkumu na úseku Kostelní Radouň. – Uranový průzkum, Liberec.
- HROCH T., PAČES T. (2015): Erozní stabilita lokalit. – MS SÚRAO, TZ 25/2015, Praha.
- HRUTKA M., NEDVĚD J., SPĚŠNÝ M. (2019): Ověření geologických struktur lokality Čihadlo geofyzikálními metodami. Závěrečná zpráva. – MS SÚRAO, TZ 433/2019, 54 s.
- CHÁB J., STRÁNÍK Z., ELIÁŠ M., ADAMOVIČ J., BABŮREK J., BREITER K., CAJZ V., DOMEČKA K., FIŠERA M., HANŽL P., HOLUB V., HRADECKÝ P., CHLUPÁČ I., KLOMÍNSKÝ J., MAŠEK J., MLČOCH B., OPLETAL M., OTAVA J., PÁLENSKÝ P., PROUZA V., RŮŽIČKA M., SCHOVÁNEK P., SLABÝ J., VALEČKA J., ŽÁČEK V. (2007): Geological map of Czech Republic 1:500 000 (uncovered). – Czech Geological Survey, Prague, ISBN 978-80-7075-699-7.
- CHLUPÁČ I., ŠTORCH P. (1992): Regional division of the Bohemian Massif in Czech Republic. – Report of Committee for Regional Geologic Classification. – Čas. Mineral. Geol. 37: 257–275.
- KABELE P., ŠVAGERA O., SOMR M., NEŽERKA V., ZEMAN J., JELÍNEK J., BUKOVSKÁ Z., SOEJONO I., FRANĚK J. (2018): Mathematical modelling of brittle fractures in rock mass by means of the DFN method. – MS SÚRAO, TZ 286/2018, Praha, 100 str.
- KODYM O. (1966): Moldanubicum. In: Regional geology of Czechoslovakia, Part I: The Bohemian Massif, Svoboda, J., ed. – Geological Survey, Praha, 40–98.
- KOLÁŘOVÁ M. (1978): Minerální vody Středočeského a Jihočeského kraje. – MS Čes. geol. služ. Praha.

- KOPAČKOVÁ V., JELÍNEK J., ŠVAGERA O., HROCH T., KOUČKÁ 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.
- KOŠLER J., SLÁMA J., BELOUSOVA E., CORFU F., GEHRELS G. E., GERDES A., HORSTWOOD M. S. A., SIRCOMBE K. N., SYLVESTER P. J., TIEPOLO M., WHITEHOUSE M. J., WOODHEAD J. D. (2013): U-Pb detrital zircon analysis – Results of an inter-laboratory comparison. – *Geostandards and Geoanalytical Research*, 37, 243–259.
- KRAJÍČEK L., SKOŘEPA Z., HUBÁČEK O., MAREK P. (2020): Hodnocení potenciálních lokalit HÚ dle klíčových environmentálních kritérií. – MS SÚRAO, TZ 456/2020, Praha.
- KRÁSNÝ J., KNĚŽEK M., ŠUBOVÁ A., DAŇKOVÁ H., MATUŠKA M., HANZEL V. (1982): Odtok podzemní vody na území Československa. Český hydrometeorologický ústav. Praha.
- KRÖNER A., WENDT I., LIEW T. C., COMPSTON W. (1988): U-Pb zircon and Sm-Nd model ages of high-grade Moldanubian metasediments, Bohemian Massif, Czechoslovakia – *Contrib. Mineral. Petrol.*, 99, 257–266.
- LINNER M. (1996): Metamorphism and partial melting of paragneisses of the Monotonous Group, SE Moldanubicum (Austria). – *Mineral. Petrol.*, 58, 215–234.
- MÁLEK J., PRACHAŘ I., VACKÁŘ J., MAZANEC M. (2018): Pravděpodobnostní hodnocení seismického ohrožení lokalit vybraných pro umístění hlubinného úložiště. Expertní posouzení. – MS SÚRAO, TZ 232/2018, Praha.
- MAREK J., SKOŘEPA J., NAVRÁTILOVÁ V., SKOPOVÝ J., SLOVÁK J., TESAŘ M., ČERNÝ J. (2005): Kritéria pro zúžení vybraných lokalit a kategorizace tektonických zón zjištěných v rámci projektu. Technická zpráva – MS SÚRAO, Praha.
- MIXA P., HOLEČEK J., BURDA J., BÍLÝ P., NOVÁK P., SEMÍKOVÁ H. (2015): Metodika stanovení podmínek ochrany při využívání tepelné energie zemské kůry (GEOTHERMAL).
- MIXA P., SKÁCELOVÁ Z., PERTOLDOVÁ J., BUKOVSKÁ Z., BURIÁNEK D., DUDÍKOVÁ B., FRANĚK J., HRDLÍČKOVÁ K., JELÍNEK J., NAHODILOVÁ R., SOJONO I., VERNER K., ŽÁČEK V. (2019): Shrnutí výsledků geologických a geofyzikálních výzkumných prací provedených v období 9/2017–6/2019 pro aktualizaci hodnocení potenciálních lokalit hlubinného úložiště RAO. – MS SÚRAO, TZ 412/2019, Praha, 427 s.
- MUFFELS C., WANG X., TONKIN M., NEVILLE C. (2014): User's Guide for mod-PATH3DU. S.S. Papadopoulos & Associates Inc., Bethesda, Ontario, USA.
- NÝVL D. (2008): Paleogeografická rekonstrukce kontinentálního zalednění Šluknovské pahorkatiny. – Ph.D. thesis, Faculty of Science, Charles University, Praha, 103 s.
- PAČES T., BÁRTA J., BREITER K., DOBEŠ P., HANÁK J., HAVLOVÁ V., HOLEČEK J., KLOMÍNSKÝ J., LAUFER 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., HRDLÍČKOVÁ K., NAHODILOVÁ R., SOJONO I., VERNER K., ŽÁČEK V., PETYNIÁK O., KUČERA R., ŽÁČKOVÁ E., FIFEROVÁ 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.
- PLETÁNEK, Z. (1979): Geologické poměry širšího okolí ložiska Okrouhlá Radouň. – Uranový průzkum. Liberec. Závod Příbram.
- POLÁK M., KRÁLOVCOVÁ J., GRECKÁ M., UHLÍK J., MILICKÝ M., GVOŽDÍK L., ČERNÝ M., CHUDOBA J., ŘÍHA J., TRPKOŠOVÁ D., RUKAVIČKOVÁ L. (2018): Hydrologické modely horninového prostředí pro hlubinné úložiště, pasport detailního modelu – lokalita Čihadlo. – MS SÚRAO, TZ 342/2018, Praha.
- POLÁK M., GVOŽDÍK L., MILICKÝ M., UHLÍK J. (2020): Pasport aktualizovaného detailního hydraulického modelu. Lokalita Čihadlo. – Technická zpráva v přípravě, 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.
- SAMEK J. (1972): Závěrečná zpráva Jindřichohradecko. Surovina: kámen. – MS 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, str. 441–458.
- 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.
- TICHÝ L. (1970): Inventarizace ložisek stavebních nerostných surovin. Dílčí závěrečná zpráva pro území listu mapy 1 : 50 000 M-33-102-A (Soběslav). – MS Čes. geol. služ. – Geofond. Praha.
- TYRÁČEK J., WESTAWAY R., BRIDGLAND D. (2004): River terraces of the Vltava and Labe (Elbe) system, Czech Republic, and their implications for the uplift history of the Bohemian Massif. – *Proceedings of the Geologists Association*, 115, 101–124.
- UHLÍK J., ČERNÝ M., BAIER J., MILICKÝ M., POLÁK M., GVOŽDÍK L., KRÁLOVCOVÁ J., GRECKÁ M., RUKAVIČKOVÁ L. (2018): Detailní hydrogeologické modely lokalit. – MS SÚRAO, TZ 323/2018, Praha.
- 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.
- ZOUBEK V. (1988): Precambrian in Younger Fold Belts, European Variscides, the Carpathians and Balkans. – 485 p. New York. John Wiley & Sons.
- 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 (1–4), 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.

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