

HODNOCENÍ LOKALIT Z HLEDISKA KLÍČOVÝCH KRITÉRIÍ DLOUHODOBÉ BEZPEČNOSTI

LOKALITA MAGDALÉNA

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

Praha, 2020

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

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 (1.7.5 / č.j. ESS: SURAO-2019-3183)

Bibliografický zápis:

HAVLOVÁ V., PERTOLDOVÁ J., MIXA P., ČERNÝ M., POLÁK M., MILICKÝ M., HROCH T., ŠTĚDRÁ V., BAIER J., BUKOVSKÁ Z., DUDÍKOVÁ B., DUDKOVÁ I., DUŠEK K., FRANĚK J., GVOŽDÍK L., HOLEČEK J., JANKOVEC J., JELÉNEK J., JELÍNEK J., KACHLÍKOVÁ R., KUČERA R., KUNCEOVÁ E., PACHEROVÁ P., PETYNIAC O., RAPPRICH V., RUKAVIČKOVÁ L., ŠÍR P., ŠVAGERA O., UHLÍK J., VOJTĚCHOVÁ H. (2020): Hodnocení potenciálních lokalit HÚ z hlediska klíčových kritérií dlouhodobé bezpečnosti. Lokalita Magdaléna. – MS SÚRAO, TZ 455/2020

ŘEŠITELÉ:

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

AUTORSKÝ KOLEKTIV: Havlová V.¹, Pertoldová J.², Mixa P.², Černý M.³, Polák M.³, Milický M.³, Hroch T.², Štědrá V.², Baier J.³, Bukovská Z.², Dudíková B.², Dudková I.², Dušek K.², Franěk J.², Gvoždík L.³, Holeček J.², Jankovec J.³, Jelének J.², Jelínek J.², Kachlíková R.², Kučera R.², Kunceová E.², Pacherová P.², Petyniak O.², Rapprich V.², Rukavičková L.², Šír P.², Švagera O.², Uhlík J.³, 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.....	20
4.1.4	Indikátor K3c Stupeň duktilní deformace	20
4.2	Kritérium K4 Variabilita geologických vlastností.....	21
4.2.1	Indikátor K4a Prostorová variabilita horninového prostředí.....	21
4.2.2	Indikátor K4b Petrologická variabilita hornin.....	22
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	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.....	38
5.3.1	Nejistoty spojené s hodnocením hydrogeologických kritérií	38
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 lokalit pro umístění HÚ	39
6	Kritérium K7 Seismická a geodynamická stabilita.....	42

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)	43
6.1.3	Postvulkanické jevy	43
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	44
6.2.3	Indikátor K7c Procentuální podíl plochy reliéfu postiženého a přetvořeného mladými cykly zpětné eroze a svahovými deformacemi	44
6.2.4	Indikátor K7d Výskyt vulkanických hornin paleogenního až holocenního stáří a kyselek	44
6.3	Expertní zhodnocení	45
6.3.1	Nejistoty spojené s hodnocenou oblastí	45
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	46
7	Kritérium K8 Charakteristiky, které by mohly vést k narušení úložiště budoucími aktivitami člověka	47
7.1	Vylučující kritéria	47
7.1.1	Poddolovaná území a stará a opuštěná důlní díla	47
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 a poddolování	51
7.3	Expertní zhodnocení lokality Magdaléna	51
7.3.1	Nejistoty spojené s hodnocenou oblastí	51
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 HÚ	52
8	Celkové zhodnocení lokality Magdaléna 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).

1. Geologické charakteristiky lokality
2. Hydrogeologické charakteristiky lokality
3. Seismická a geodynamická stabilita
4. Charakteristiky, které by mohly vést k narušení úložiště člověkem

Klíčová slova

Hlubinné úložiště, výběr lokalit, dlouhodobá bezpečnost, středočeský pluton, moldanubikum, Magdaléna

Abstract

This report summarizes the available data from Magdaléna site based on 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 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. Seismic and geodynamic stability of the site
4. Characteristics, that could be a reason for future human intrusion into the repository

Keywords

Deep geological repository, siting, long term safety, Central Bohemian pluton, Moldanubian zone, Magdaléna

1 Úvod

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

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

Výběr lokalit pro umístění hlubinného úložiště je třeba, v souladu s doporučeními IAEA a směrnicí Rady EU pro nakládání s VJP a RAO, provádět postupnými kroky směřujícími ke snížení počtu 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 jedné 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 (Vondrovic et al. 2020);

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

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

2 Vstupní předpoklady hodnocení

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

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

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

Kritérium K3 Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků

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

Kritérium K4 Variabilita geologických vlastností

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

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

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

- vylučující kritérium *Zemětřesení a přítomnost potenciálně aktivních zlomů pro období statisíců let (seismická stabilita)* bylo zhodnoceno následovně: *Zemětřesení byla posouzena* v rozsahu dle požadavku vyhlášky č. 378/2016 Sb. na základě dat seismotektonického modelu vycházející z metodiky PSHA (Málek et al. 2018). Pro vyhodnocení přítomnosti potenciálně aktivních zlomů na konkrétní lokalitě nejsou k dispozici relevantní data o stáří a aktivitě studovaných tektonických poruch;
- vylučující kritérium *Pokles nebo výzdvih povrchu území (vertikální pohyby zemské kůry)* je hodnoceno v rozsahu regionálních dat dle zprávy Hrocha a Pačese (2015);
- vylučující kritérium *Postvulkanické jevy* je zhodnoceno v rozsahu odpovídajícím požadavku vyhlášky č. 378/2016 Sb.
- indikátor *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 PÚPP pro výskyt vulkanických hornin, resp. do vzdálenosti 25 km od PÚPP pro výskyt kyselek.

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

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

- X 1108494 Y 744660;
- X 1110710 Y 745097;
- X 1111041 Y 743373;
- X 1114298 Y 743998;
- X 1113223 Y 749596;
- X 1108804 Y 748748;
- X 1108246 Y 748642.

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

Magdaléna-jihovýchod

- X 1110736 Y 745136;
- X 1110987 Y 743826;
- X 1111842 Y 744012;
- X 1111853 Y 744738;
- X 1111780 Y 746704;
- X 1110723 Y 745214.

Magdaléna-severozápad

- X 1111141 Y 746777;
- X 1108376 Y 747270;
- X 1108508 Y 745216;
- X 1108756 Y 744750;
- X 1109525 Y 744897.

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 magnitudy a hodnoty zrychlení kmitů půdy s četností mohou být použity pro porovnání lokalit.	Vyhl. č. 378/2016, § 6 (2) a)	V rozsahu odpovídající požadavku vyhlášky č. 378/2016 (v okruhu do 5 km od PÚPP)
2.3.2	Pokles nebo výzdvih povrchu území (vertikální pohyby zemské kůry)	Umístění úložiště je vyloučeno v lokalitách, kde pohyby zemské kůry jsou větší než 1 mm·rok.	Vyhl. č. 378/2016, § 18 (2) g	V rozsahu regionálních dat dle zprávy Hrocha a Pačese (2015)
2.3.3	Postvulkanické jevy	Budou vyloučeny lokality s postvulkanickými jevy (výrony plynů, horké vody atd.).	Vyhl. č. 378/2016, § 9 (3) a) 2.	V rozsahu odpovídající požadavku vyhlášky č. 378/2016 (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 (Tab. 1), 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 klíčová 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, hodnocená pro danou lokalitu s cílem vyhodnocení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ (Vondrovic et al. 2019)

ID	Název kritéria	ID	Název indikátoru	Charakter požadavku
K3	Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků	K3a	Stupeň křehkého porušení masivu – zlomové struktury	Vylučující/porovnávací
		K3b	Stupeň křehkého porušení masivu – puklinové systémy	Vylučující/porovnávací
		K3c	Stupeň duktilní deformace	Vylučující/porovnávací
K4	Variabilita geologických vlastností	K4a	Prostorová variabilita horninového prostředí	Vylučující/porovnávací
		K4b	Petrologická variabilita hornin	Vylučující/porovnávací
K5	Charakteristika proudění vody v okolí HÚ a transportní charakteristiky	K5a	Doba dotoku z HÚ do oblasti drenáže	Porovnávací
		K5b	Rychlost proudění v úrovni úložiště (m.rok ⁻¹)	Porovnávací
		K5c	Propustnost v prostoru HÚ (m.s ⁻¹)	Porovnávací

ID	Název kritéria	ID	Název indikátoru	Charakter požadavku
		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

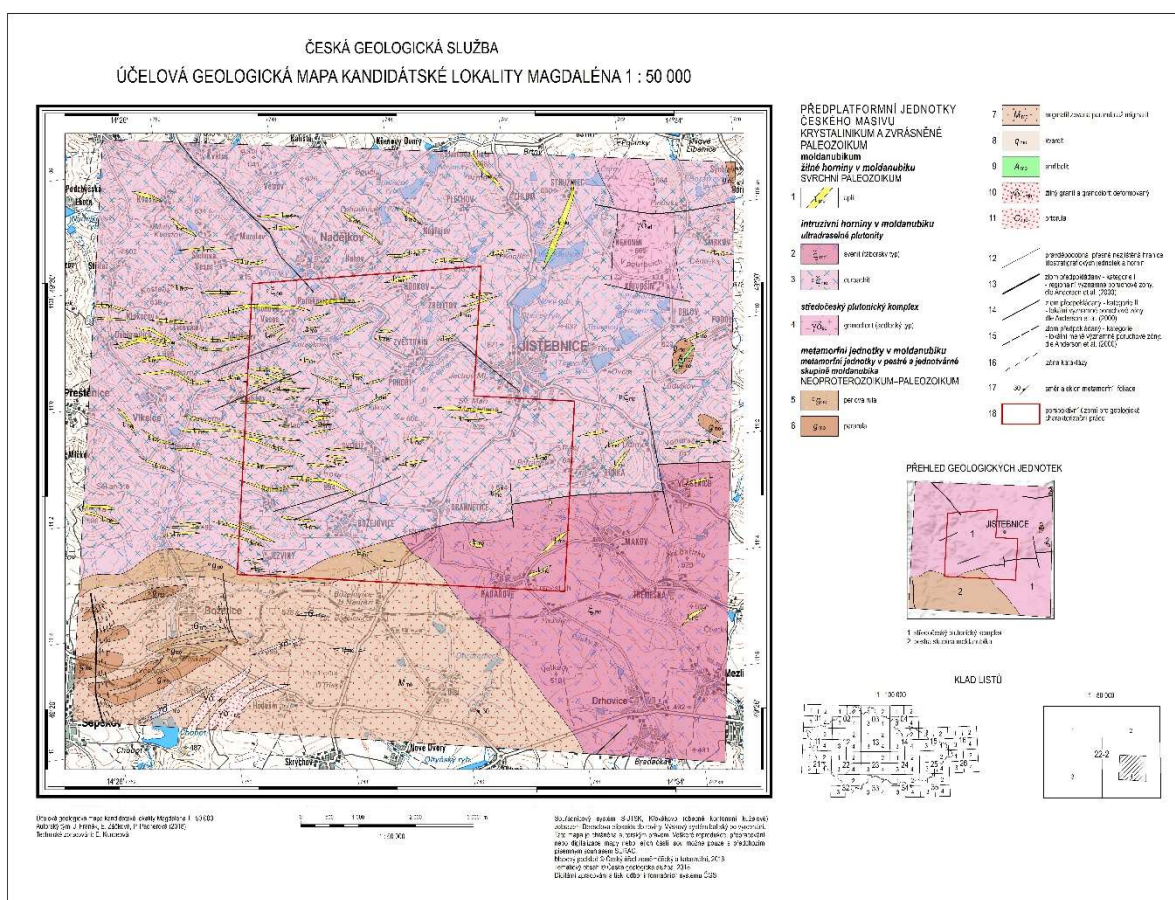
4.1.1 Regionálně geologická stavba území

Na základě platného regionálně geologického členění Českého masivu (Mísař et al. 1983) horninové komplexy v území lokality Magdaléna patří k regionálnímu celku moldanubika, respektive k jednotkám moldanubika jižních Čech. Geologické podloží lokality Magdaléna tvoří převážně granitoidy středočeského plutonického komplexu (milevský a táborský pluton), který je na jihu lemován metamorfovanými horninami pestré a jednotvárné skupiny moldanubika. Celý tento komplex je následně intrudován četnými magmatickými žilami leukogranitového složení (Obr. 1). Sedimenty pokryvných útvarů jsou omezeny jen na kvartérní uloženiny ve formě svahových a říčních sedimentů.

Popis geologické stavby

Tektonometamorfně nejstarší jednotku představují horniny moldanubika. Moldanubikum je zde tvořeno pestrou skupinou, pravděpodobně se zavrásněnými partiemi jednotvárné skupiny a gföhlské jednotky, které však od sebe nelze v zájmovém území jednoznačně odlišit vzhledem ke společnému intenzivnímu metamorfnímu a deformačnímu přetisku. Moldanubikum je budováno biotitickou a sillimanit-biotitickou pararulou, migmatitizovanou pararulou místy s granátem a cordieritem a v zóně přiléhající k j. okraji středočeského plutonického komplexu částečně také perlovou rulou. Z vložek, které lze sledovat ve zvrásněných pružích, převládají leukokratní metamorphy. Menším podílem je zastoupen amfibolit, kvarcit a grafitické horniny (rula i kvarcit). Převažující pestrá skupina je součástí tzv. sušicko-votického pruhu (Suk et al. 1970; Tomas et al. 1986). Jednotvárná skupina je budována částečně migmatitizovanou biotitickou a sillimanit-biotitickou pararulou, která tvoří jižní část území (Suk et al. 1970).

Stáří regionální metamorfozy a tavení hornin moldanubika na tomto území a v jeho nejbližším okolí je pravděpodobně obdobné jako krystalizační stáří granitoidů středočeského plutonického komplexu, který je ve vztahu k regionálnímu vývoji částečně syntecktonický, tedy cca 345–335 Ma (Žák et al. 2005). Dílčí litologie metamorfovaných hornin jsou výrazně protaženy paralelně s regionální metamorfní foliací, která napříč mapovanou jednotkou upadá pod mírnými až středními úhly k ZSZ až S.



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

Do těchto vysoce metamorfovaných hornin intrudovaly před cca 340 Ma granitoidy středoevropského plutonického komplexu (např. Holub 1997), konkrétně durbachity milevského plutonu (někdy též nazývaného pluton či typ Čertova břemene) a tzv. sedlecký granodiorit. Následně proběhlo vmístění syenitů tábořského plutonu (strukturní charakteristika viz Žák et al. 2005). Na lokalitě Magdaléna převládají porfyrické amfibol-biotitické melagranity až melasyenity (durbachity) typu Čertova břemene. Tato hornina je tmavošedá až šedočerná s porfyrickými vyrostlicemi K-živce a se středně zrnitou základní hmotou složenou zejména z biotitu, amfibolu a plagioklasu. Jeho facií je výrazněji usměrněná drobnozrnná porfyrická varieta typu Čertova břemene, označovaná jako typ Dehetník, která tvoří zónu poblíž kontaktu s moldanubikem. Poblíž jižního kontaktu s moldanubikem se dále vyskytuje středně zrnitá neporfyrická varieta durbachitů. Typ Čertova břemene obsahuje místy dosti hojné mafické enklávy centimetrových až metrových rozměrů a vzácně také částečně asimilované xenolity okolních metamorfovaných hornin moldanubika o rozměrech několika centimetrů až stovek metrů. Hranice s rulovými horninami moldanubika je intruzivní, místy však je druhotně zlomově tektonizována (Mixa et al. 2019).

Sedlecký granodiorit tvoří menší tělesa uvnitř milevského plutonu v sv. části území. Bližší popis této litologie není v dostupných archivních materiálech k dispozici. Dle nových terénních prací (Mixa et al. 2019) se jedná o středně zrnitou šedou horninu bez porfyrických vyrostlic. Tento granodiorit dle úlomkového mapování pravděpodobně tvoří několik těles protažených v ssv-jjz. směru, které zřejmě představují subparalelní žíly. Jejich hranice s okolním durbachitem jsou

pravděpodobně neostře, na několika místech byly pozorovány pozvolné přechody spojené s míšením obou magmat.

Táborský pluton minerálním složením rovněž představuje melasyenity až melagranity s minerální asociací K-živec, plagioklas, biotit, křemen a pyroxen. Hornina se vyznačuje absencí porfyrických vyrostlic. Těleso tábořského plutonu ukazuje strmé stavby subkoncentrické orientace, které jsou paralelní s intruzivními kontakty tělesa a diskordantní orientace vůči regionálním stavbám v okolních horninách moldanubika (Žák et al. 2005).

Po intruzi středočeského plutonického komplexu došlo k vmístění hornin jeho žilného doprovodu, které složením a texturou patří mezi leukogranity, méně aplity až pegmatity. Tyto žíly vytvářejí hustou suitu převážně směru V–Z v milevském plutonu a zhruba směru VSV–ZJZ v tábořském plutonu, ale v menší míře se objevují i v moldanubiku ve v.–z. až sv.–jz. směrech. Frekvence žil značně kolísá, vyšší hustota žil lemuje kontakt hornin typu Čertova břemene s pestrou skupinou moldanubika. Mladší jsou křemenné žíly, které vystupují na křehkých strukturách s.–j. až ssv.–jz. směru a dle nových terénních prací (Mixa et al. 2019) jsou obvykle provázeny výraznými hydrotermálními alteracemi.

Neogenní a kvartérní sedimenty mají na tomto území malý rozsah a jsou zpravidla vázány na plošně omezené výskyty v podobě denudačních reliktů. Dle Suka et al. (1970) a Tomase et al. (1986) jsou kvartérní sedimenty zastoupeny svahovými uloženinami, sprašovými hlínami, splachovými a fluvialními sedimenty. Mají však na území jen malý rozsah v podobě denudačních reliktů. Novými terénními pracemi (Mixa et al. 2019) ve spojení s výsledky geofyzikálních měření (Nikl a Gürtler 2019) byly určeny rozsahy hlubokého zvětrání v jižní části území, které dosahuje hloubek až několika desítek metrů. Tento fenomén je plošně omezen na jižní část území, tedy moldanubikum, tábořský pluton a nejjižnější část milevského plutonu. Poblíž kontaktu milevského a tábořského plutonu byly dále identifikovány erozní relikty kvartérních aluviálních vějířů.

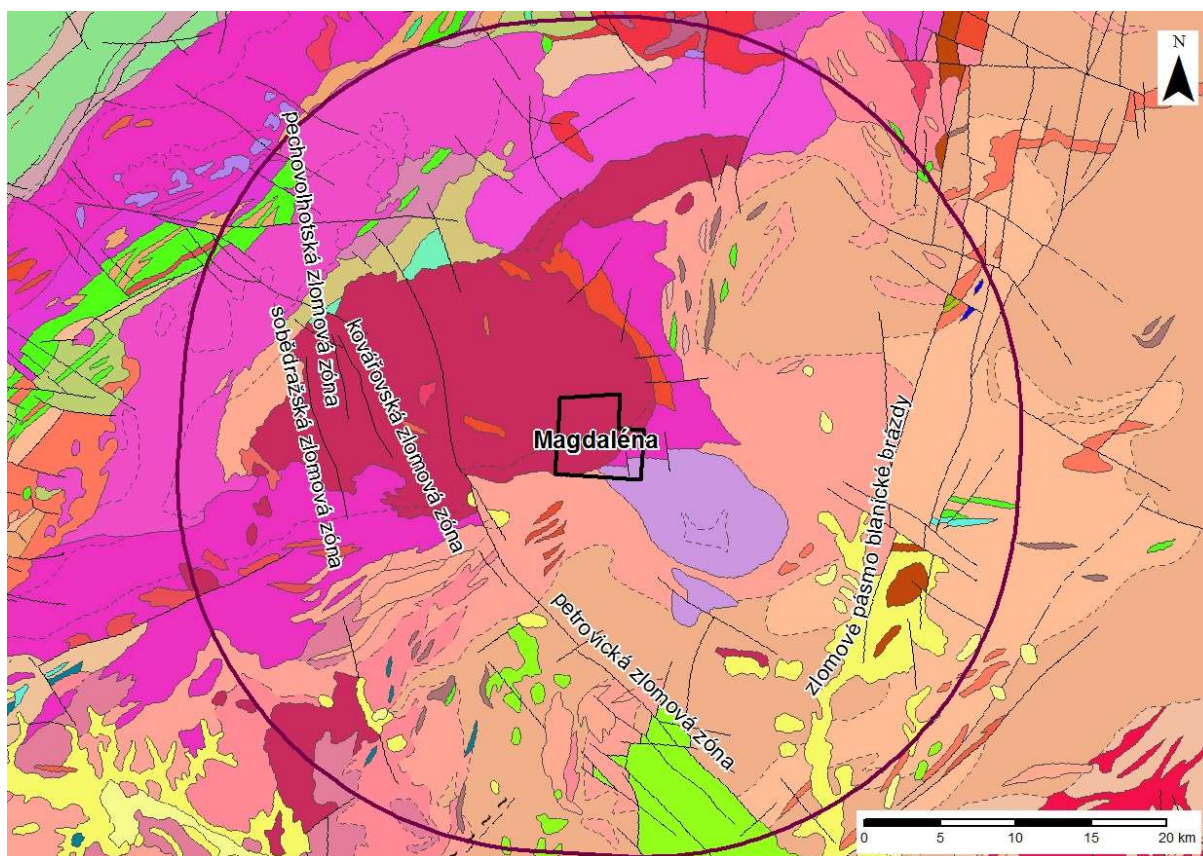
4.1.2 Indikátor K3a Stupeň křehkého porušení masivu – zlomové struktury

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.

Z regionálního hlediska se zájmové území lokality Magdaléna nachází v horninách relativně málo postižených křehkou tektonikou, s úplnou absencí regionálně významných zlomových zón. V širším regionu (okruh 25 km od lokalizace zájmového území, Obr. 2) se vyskytují křehké deformační zóny, které odrážejí lokalizovanou tektonickou aktivitu v závěrečném období variských orogenních procesů a následném rozpadu vzniklého orogénu, a v období mezozoika až terciéru během alpinské orogeneze. Mezi nejvýraznější strukturu patří zlomové pásmo blanické brázdy (strmý sklon v průběhu ~SSV–JJZ), které probíhá podél východního okraje vymezeného okruhu 25 km (v linii Soběslav – Mladá Vožice – Vlašim). Jedná se o pásmo zlomů s doprovodem nízkoteplotních mylonitů a kataklazitů v šířce cca 4 km. Druhou skupinou výrazného křehkého porušení v regionálním měřítku jsou zlomy a zlomové zóny severního tektonického omezení třeboňské pánve (v průběhu SZ–JV až SSZ–JJV), které se nacházejí

v linii Soběslav – Milevsko – Krásná Hora. Ve vymezeném okruhu se od V k Z konkrétně jedná o tzv. petrovickou, kovářovskou, pechovolhotskou a sobědražskou zlomovou zónu.



Obr. 2 Mapa zlomových struktur v širším okolí lokality Magdaléna (okruh 25 km od lokalizace zájmového území je vyznačen kruhem černé barvy), menší černý polygon – lokalita Magdaléna (perspektivní území pro geologické charakterizační práce)

Morfotektonické zhodnocení území regionálního 3D geologického modelu

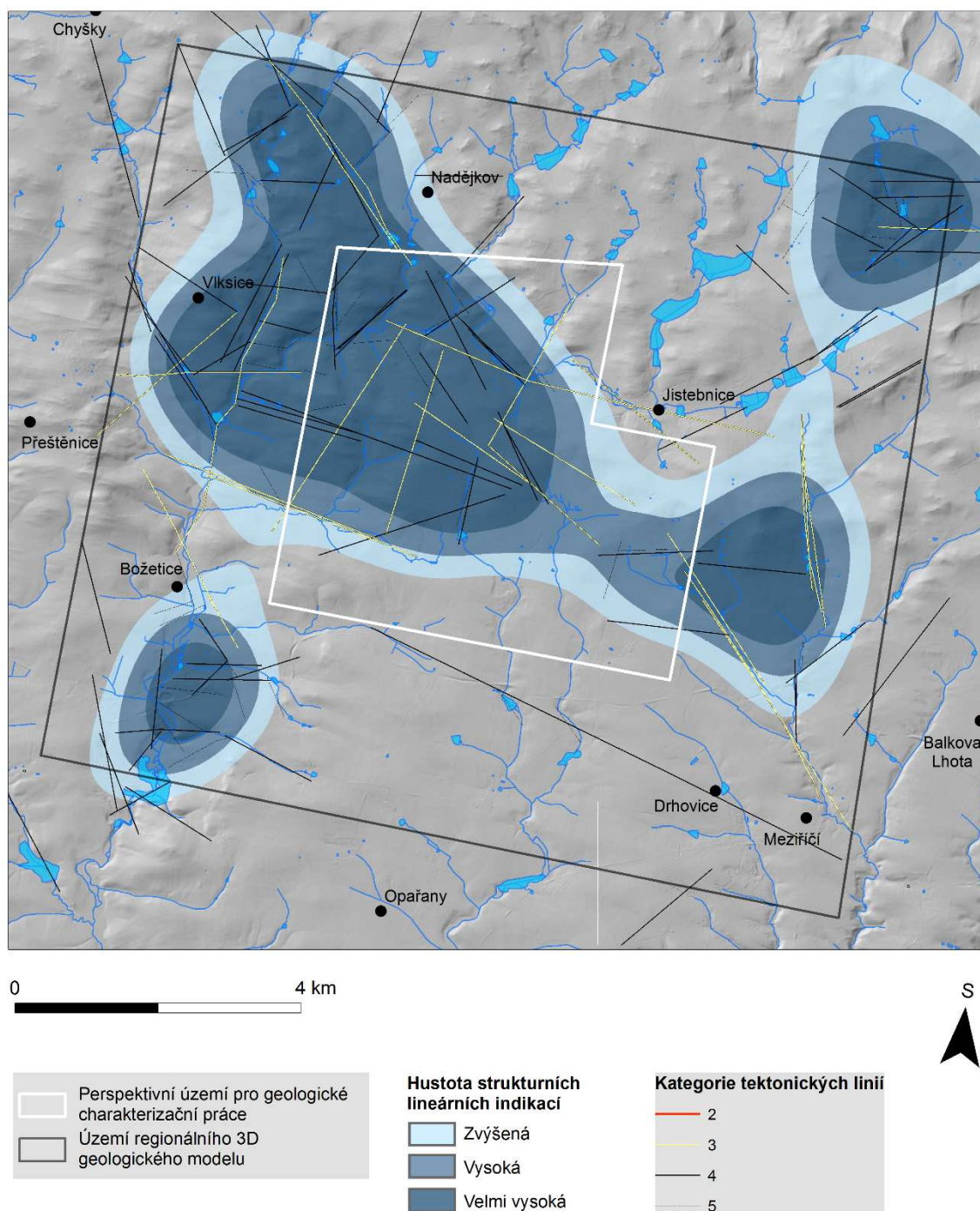
V rámci hodnocení indikátoru K3a Stupeň křehkého porušení masivu je morfotektonické zhodnocení zájmové lokality pomocnou metodou posouzení křehkého porušení horninového masivu – především zlomových struktur. Identifikované strukturní lineární indikace jsou členěny do jiných kategorií (Marek et al. 2005; 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, studiím DMR – morfolineamentů, letecké geofyziky atd., který má genetickou vazbu na geologické struktury (zlomy, litologická rozhraní, foliace či puklinové zóny). Tektonická linie je chápána jako lineární strukturní prvek s vazbou na zlomy nebo puklinové

zóny. Nelze v této fázi poznání určit, zda se jedná o zlom nebo o puklinovou zónu. Zlomové struktury jsou zlomy s různým smyslem a velikostí pohybu na zlomové ploše.

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

Rozložení strukturních lineárních indikací je nerovnoměrné a odpovídá pozici hustotních maxim. Vyskytují se zde čtyři maxima s velmi vysokou hustotou. Největší maximum zaujímající prakticky celou severozápadní část zájmového území je propojené přes detailní území s druhým maximem na východě. Zbývající samostatná maxima se nacházejí v jihozápadním a severovýchodním rohu studovaného území.

Nebyla zde detekována jediná strukturní lineární indikace 1. ani 2. kategorie (Marek et al. 2005; Woller 2006). Ze 3. kategorie lineárních indikací jsou pro úložiště nejzajímavější indikace směru SZ–JV a SSV–JJZ probíhající jihozápadně od Jistebnice.



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

Detekované strukturní lineární indikace směrů SSV–JJZ a ZSZ–VJV odpovídají průběhům puklin a drobných dislokací, popř. orientacím četných aplitových žil v tělese durbachitu. Pouze lineární indikace 3. kategorie směru SZ–JV západně od Nadějkova má vazbu na zjištěný regionální zlom ID 1.

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.

Interpretace zlomové tektoniky, hodnocená zde v rozsahu území systematicky pokrytého výzkumnými geofyzikálními profily (Mixa et al. 2019) pro zlomy 1. a 2. kategorie, vychází primárně ze syntézy všech geofyzikálních dat a terénních geologických dat (profily MAG-01 až MAG-13 s výjimkou MAG-09A+B – viz Nikl a Gürtler 2019 a Mixa et al. 2019). Při zpracování křehké tektoniky bylo přihlédnuto ke zlomům z detailních 3D strukturně – geologických modelů (Franěk et al. 2018) a k morfologii terénu. Gamaspektrometrie v případě lokality Magdaléna neposkytla využitelné indikace křehké tektoniky na rozdíl od indikací litologických rozhraní, kde vhodně doplňovala ostatní metody výzkumu. 7 z celkových 14 zlomů uváděných z tohoto území v archivních materiálech se nepodařilo užítými geofyzikálními metodami ani terénním geologickým mapováním potvrdit, naopak bylo interpretováno 13 zlomů nových, neuváděných v archivních materiálech (Obr. 4).

Odhadované sklony a mocnosti zlomů vycházejí téměř výhradně z interpretace geofyzikálních dat, konkrétně metod ERT, MRS a místy DOP. Sklony byly v této fázi výzkumů určeny pouze kvalitativně, vzhledem k malému hloubkovému dosahu obou těchto metod (jen první desítky metrů), kde jsou indikace úklonů zlomů velmi pravděpodobně silně ovlivněny intenzitou a hloubkou zvětrání horninového masivu a případně dalšími exogenními procesy.

V oblasti lokality Magdaléna byly identifikovány zlomové struktury tří odlišných orientací (Obr. 4). Jedná se vždy o relativně drobnější struktury bez prostorové vazby na struktury regionálního měřítka v okruhu 25 km (viz výše). Ve všech třech případech se pravděpodobně jedná o projevy pozdně variské lokalizované deformace nebo raně povariské extenze s polyfázovou reaktivací v čase křídové extenze a alpské tektonické aktivity:

- zlomy průběhu ~SV–JZ jsou zastoupeny několika výraznými strukturami, které nebyly popsány v archivních materiálech. Přesto je jejich přítomnost dostatečně doložena kombinací geologických, hydrogeologických, geofyzikálních a archivních vrtných dat. Z těchto údajů lze usuzovat, že se jedná o mocnější zlomové zóny vyplněné hydrotermálně alterovanou podrcenou horninou. Lokálně jsou vyplněny žilníky křemene;
- zlomy průběhu ~S–J jsou dokumentovány ve východní a jihozápadní části území, poblíž hranice milevského plutonu. Ve východní části území nejsou k dispozici bližší údaje o jejich sklonu ani o charakteru jejich výplně. V jihozápadní části jsou tyto zlomy vyplněné žilným křemenem a provázené intenzívními hydrotermálními přeměnami okolních hornin. Jejich mocnost je zde zřejmě velmi proměnlivá;

- zlomy průběhu ~SSZ–JJV, zhruba paralelní s petrovickou zlomovou zónou, výraznou zlomovou linií nadregionálního významu probíhající 6,5 km západně od lokality Magdaléna. Nejsou k dispozici bližší údaje o jejich sklonu ani o charakteru jejich výplně.

Zlom **ID 1** – Zlom byl ověřen geofyzikou a HG mapováním a předpokládaná mocnost je okolo 40 m. Orientace tohoto zlomu je předpokládána ~ 48/90 (směr sklonu / sklon).

Zlom **ID 6** – Archivní zlom podpořený morfologickou indikací, novým geofyzikálním výzkumem a hydrogeologickým mapováním, avšak bez opory v geologickém mapování. Jeho mocnost je odhadována na 170 m.

Zlom **ID 13** – Tento archivní zlom nebyl předmětem nových geofyzikálních výzkumů, je však přesvědčivě ověřený geologickým mapováním (Franěk et al. 2018). Nepravidelná hydrotermální křemen-turmalínová žilná výplň dosahuje mocnosti až 160 m.

Zlom **ID 16** – Zlom předpokládáný na základě archivních materiálů a nových geofyzikálních výzkumů.

Zlom **ID 28** – Archivní zlom doložený četnými geofyzikálními anomáliemi. Geologickým ani hydrogeologickým mapováním se tento zlom však i přes relativně dobré terénní podmínky nepodařilo ověřit. Jeho mocnost je odhadována na 10 m.

Zlom **ID 29** – Zlom byl ověřen geofyzikou a geologickým mapováním, jeho předpokládaná mocnost je okolo 15 m.

Zlom **ID 35** – Zlom je pouze indikován geofyzikou a geomorfologií. Sклон tohoto zlomu nelze, dle aktuálních dat, ani zhruba odhadnout. Orientace zlomu je tedy konvenčně uvažována ~ 356/90.

Zlom **ID 58** (sloučen se zlomem **ID 43**) – Zlom byl ověřen geofyzikou a geologickým mapováním, jeho předpokládaná mocnost je odhadována na 100 m. Orientace tohoto zlomu je předpokládána ~ 25/90.

Zlom **ID 59** – Zlom byl ověřen geofyzikou.

Zlom **ID 60** – Zlom byl ověřen geofyzikou. Orientace tohoto zlomu je předpokládána ~ 341/85.

Zlom **ID 61** – Zlom byl indikován geofyzikou.

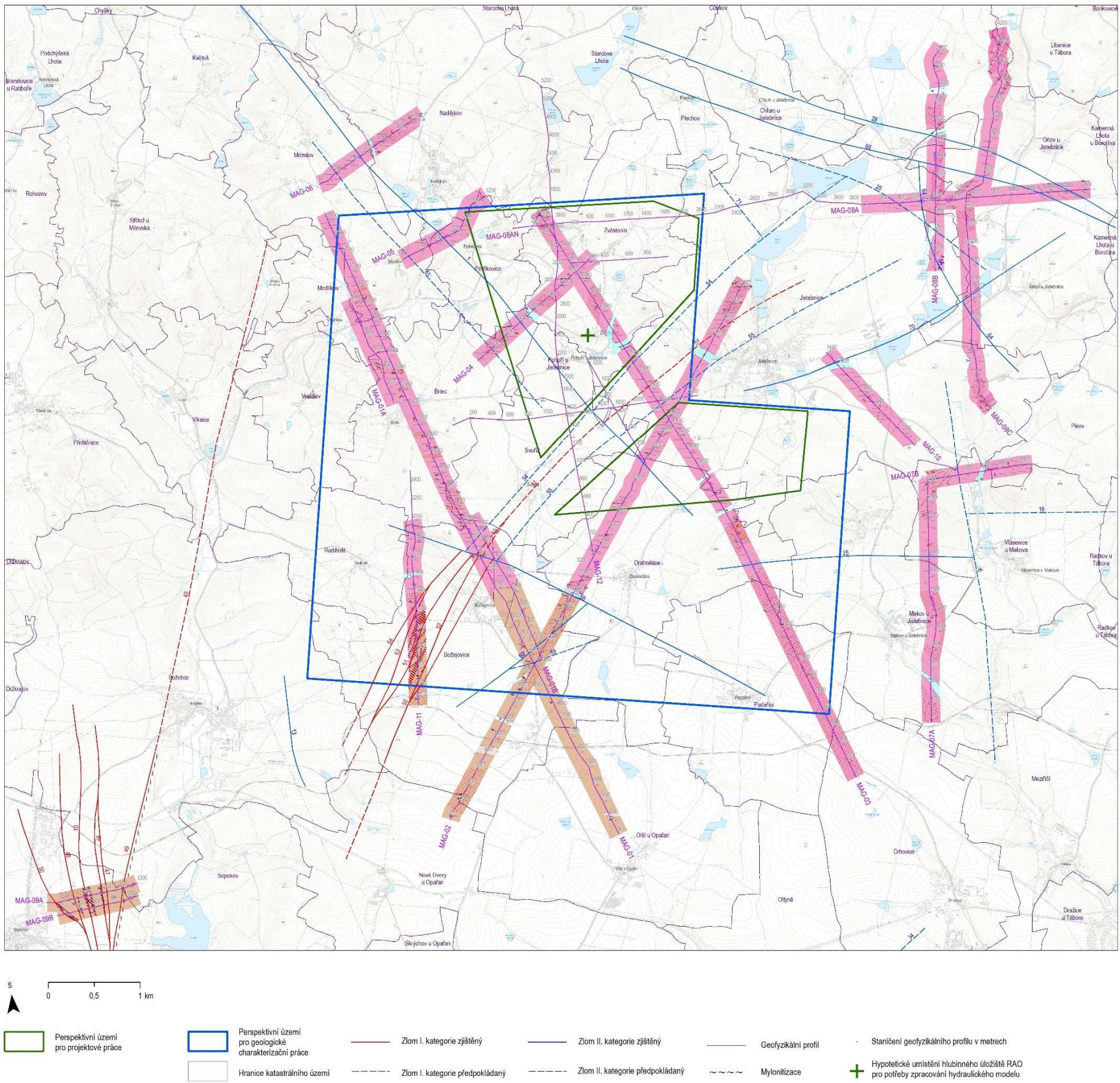
Zlom **ID 64** – Zlom byl ověřen geofyzikou a geologickým mapováním.

Zlom **ID 66** – Zlom byl ověřen geofyzikou a geologickým mapováním.

Zlom **ID 70** (sloučen se zlomem **ID 65**) – Zlom byl ověřen geofyzikou, geologickým a hydrogeologickým mapováním. Projevy indikují vyšší mocnost minimálně desítek metrů.

Zlom **ID 71** – Zlom byl ověřen geofyzikou a geomorfologií.

Božejovická zlomová zóna směru SSV–JJZ (ID 51, 52, 53, 54 a 55) – Zlomová zóna byla ověřena geofyzikou, geologickým a hydrogeologickým mapováním. Mocnost této zóny dosahuje až 500 m s tím, že menší subparalelní struktury s obdobnou křemennou výplní se dle geologického mapování vyskytují i ve vzdálenosti stovek metrů od této zóny. Předpokládán je strmý úklon pod durbachitový masiv, tedy generelně ~ 300/80.



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

4.1.3 Indikátor K3b Stupeň křehkého porušení masivu – puklinové systémy

Na základě terénních měření (Kabele et al. 2018 a Franěk et al. 2018) byly identifikovány hlavní směry puklinové sítě. Dle prostorové orientace byly identifikovány jednotlivé puklinové systémy. Nejčastěji se na lokalitě Magdaléna vyskytují strmé a středně ukloněné pukliny (sklon 70–90° a 60°–40°) probíhající ve směrech SV–JZ a SZ–JV, případně pukliny subhorizontální (sklon 30–0°), bez puklin exfoliačních ukloněné k S s v.–z. průběhem.

Dle geofyzikálních dat (Mixa et al. 2019) byly zjištěny slabé indikace křehkého porušení v sumárním rozsahu 4,2 km v rámci dokumentovaných geofyzikálních profilů. Jedná se o interpretované geofyzikální indikace křehkého porušení bez prokazatelné/předpokládané přítomnosti zlomových struktur zejména 1. kategorie. Není možné jednoznačně odlišit projevy případných rozsáhlejších puklinových zón od projevů menších zlomů 2. a 3. kategorie. Morfotektonické indikace na této lokalitě rovněž významněji nepřispívají k identifikaci puklinových systémů vzhledem k selektivní erozi durbachitů proti velmi četným leukokratním žilným horninám. Výjimku by mohl tvořit pouze jv. úsek zlomu **ID 1**, který představuje jv. zakončení jinak významného zlomu. Toto zakončení bylo interpretováno jen na základě morfotektonických indikací. Je pravděpodobné, že zlom ID 1 se zde v místě svého ukončení rozmršťuje do řady drobnějších zlomů a posléze puklinových zón, které není možné v mapě konkrétněji vyčlenit. Druhým případem jsou zlomy **ID 67**, **68** a **69** 3.kategorie ve zprávě Mixa et al. (2019) jv. od obce Jistebnice, které vzhledem ke své velmi omezené délce, slabým geologickým i geofyzikálním projevům a zároveň výrazným hydrogeologickým projevům mohou představovat pukliny nebo puklinové zóny. Posledním a plošně nejvýznamnějším výskytem puklin zjištěným těmito výzkumy je křehké porušení horninového masivu lokalizované do četných žil leukokratních granitů až aplopegmatitů a poblíž jejich kontaktu s okolními horninami. Toto litologicky predisponované puklinové porušení bylo systematicky dokumentováno na nečetných výchozech (Franěk et al. 2018, Mixa et al. 2019) a také geofyzikálními pracemi (Mixa et al. 2019).

Pro zhodnocení intenzity puklinové sítě je použito tzv. parametru P_{21} , který udává hodnoty souhrnné délky puklin na jednotku plochy výchozu (m/m^2) a který přímo odpovídá terénním pozorováním na jednotlivých výchozech v horninovém prostředí perspektivním pro budování HÚ (granity středočeského plutonického komplexu). Tento celkový dataset puklinových struktur byl získán jednotnou metodikou napříč 7 lokalitami dokumentovanými rámci DFN modelů (Kabele et al. 2018). Vypočtené hodnoty byly váženy relevancí výhozů s rozptylem hodnot 1 – drobný nevýznamný erodovaný výchoz až 10 – významný lom. Hodnota parametru P_{21} je u této lokality 0,92 m/m^2 . Tato hodnota je velmi podobná hodnotám získaným z dat na lokalitách Horka, Hrádek a Březový potok.

4.1.4 Indikátor K3c Stupeň duktilní deformace

Vzhledem k velmi špatné odkrytosti území lokality Magdaléna lze duktilní struktury interpretovat jen omezeně. V horninách typu Čertovo břemeno je velice nápadná porfyrická struktura, přičemž se většinou dá pozorovat slabé až velmi výrazné usměrnění vyrostlic draselného živce, zatímco tmavá základní hmota horniny zůstává makroskopicky všesměrně zrnitá. Pokud jsou v durbachitech přítomny tzv. mafické mikrogranulární enklávy, pak jsou často zploštělé paralelně s tímto usměrněním. Foliace daná usměrněním vyrostlic draselného

živce kolísá ve střední části území cca ve směru V–Z (80–100°) s mírným sklonem v rozmezí 30–65° k S, paralelně s foliací sousedních moldanubických pararul. Zhruba v souladu s těmito závěry uvádí Žák et al. (2005), že stavby v milevském plutonu, definované přednostním uspořádáním vyrostlic K-živce, se uklánějí pod mírnými úhly generelně k ~SZ a mají magmatický až submagmatický charakter, což dokládá jejich syntektonický vývoj. Tato pozorování potvrzují i výsledky reflexní seismiky nově realizované napříč kontaktem durbachitů – moldanubikum u Božejovic (Nikl a Gürtler 2019), která jsou interpretována ve smyslu středních úklonů kontaktu pararul a durbachitů zhruba k severu, na základě odlišného charakteru reflexí v těchto dvou dominantních horninových typech.

Leukokratní žilné granity až aplity místy vykazují slabé kompoziční páskování paralelní s kontaktem dané žíly s okolní horninou. To bylo dle pozorování na výchozech vytvořeno buď epizodickým otevíráním prostoru pro vmístění žíly následované vždy intruzí leukokratních magmat, nebo mechanickou segregací krystalů v tavenině v důsledku toku magmatu během jeho vmístění. Bez ohledu na mechanismus vzniku tato místa se vyskytující slabá planární stavba nezpůsobuje prakticky žádnou mechanickou anizotropii těchto hornin.

4.2 Kritérium K4 Variabilita geologických vlastností

Expertně posouzená variabilita vlastností udává množství, prostorovou distribuci a charakter horninových těles. Petrologická variabilita ukazuje na stupeň homogenity horninového prostředí v rozsahu horninových typů, které jsou definovány pro danou lokalitu. Míra nejistoty určení litologických rozhraní či určení existence drobnějších petrograficky odlišných těles v hloubce je na podobné úrovni jako v případě indikátoru K3a.

4.2.1 Indikátor K4a Prostorová variabilita horninového prostředí

V perspektivním území pro projektové práce a jeho blízkém okolí na lokalitě Magdaléna bylo shromážděno relativně dostatečné množství povrchových geologických dat, hloubková geologická data bohužel téměř úplně chybí. Také není možné v terénu ověřit průběh a šířku řady důležitých dislokací. Nově provedené terénní práce (Franěk et al. 2018, Mixa et al. 2019, Nikl a Gürtler 2019) vedly k výraznému zpřesnění údajů o jednotlivých horninových tělesech a zejména tektonických zónách. Zároveň přispěly k homogennějšímu pokrytí území terénními daty.

Prostorové uspořádání horninových těles v perspektivním území pro projektové práce a jeho blízkém okolí na lokalitě Magdaléna zahrnuje výhradně prostředí durbachitů milevského plutonu, které jsou petrograficky homogenní. Jedinou litologií, která zde utváří tento pluton, je porfyrický amfibol-biotitický melagranit až melasyenit, tzv. durbachit typu Čertova břemene. Tato litologie obsahuje jen malé a nepříliš četné uzavřeniny mafičtějších magmat, tzv. mafické mikrogranulární enklávy, dosahující obvykle rozměru centimetrů až prvních decimetrů. Lokálně se v měřítku výchozů často vyskytují ve skupinách, avšak v měřítku popisovaného území jejich prostorová distribuce nevykazuje žádnou systematickou zákonitost. Durbachity jsou protínány četnými žilami a žilníky leukokratních granitů až aplopegmatitů délky od jednotek metrů do ~1 km. Dle dostupných dat se toto území jeví na horninové žíly chudší než okolní partie milevského durbachitového plutonu. Intruzivní kontakty žil leukokratních granitů až aplopegmatitů jsou dle pozorování na výchozech často tektonizovány ve formě drobných puklin a střížných puklin. V popisovaném území bylo novým geologickým a geofyzikálním

výzkumem nalezeno jen malé množství větších žilných těles těchto hornin. Většina žil uváděných v archivních geologických mapách byla na základě nových dat buď zrušena, nebo reinterpretována jako plošně rozsáhlejší žilníky složené pouze z drobných žil až žilek. Tyto drobné žilníky a žíly o mocnostech jednotek centimetrů až jednotek metrů jsou však v tomto území dle nových prací velmi časté (viz podrobné geologické mapy profilů v Mixa et al. 2019).

Novými výzkumy (Mixa et al. 2019) byla zjištěna výrazná sv.–jz. zlomová zóna probíhající napříč tímto územím, která místy obsahuje mocnou výplň hydrotermálního křemene, velmi pravděpodobně doprovázenou výraznou hydrotermální alterací okolních durbachitů. Podrobnější popis této tzv. Božejovické zóny je uveden v kapitole 4.1.2.

Omezené množství povrchových strukturně-geologických dat z důvodu absence výchozových partií, naprostá absence hlubších vrtných dat a nemožnost vytvoření věrohodného gravimetrického modelu zájmového tělesa milevského plutonu vylučují exaktní odhad hloubkového průběhu tohoto plutonu.

4.2.2 Indikátor K4b Petrologická variabilita hornin

V perspektivním území pro projektové práce a jeho blízkém okolí na lokalitě Magdaléna je dominantní horninou porfyrický amfibol-biotitický melagranit až melasyenit (durbachit), který dle syntézy Tomase et al. (1986) v horninách milevského plutonu zcela převládá. Základní hmota je tvořena biotitem (s vysokým zastoupením flogopitové komponenty), amfibolem (převážně o složení aktinolitu až magneziohornblendu) spolu s reliktním pyroxenem, K-živcem, plagioklasem a křemenem. Obsah křemene je velmi variabilní (0,2–35 mod. %). Draselný živec (30–45 mod. %) téměř vždy převládá nad plagioklasem. Draselný živec tvoří až 4 cm dlouhé perthitické vyrostlice, často s mikroklinovým mřížováním. Chemické složení plagioklasu (7–20 mod. %) se pohybuje mezi oligoklasem až andezínem. Z tmavých minerálů zpravidla převládá biotit (13–41 mod. %) nad amfibolem (0–18 mod. %). Hojně jsou akcesorické minerály, zejména apatit a zirkon, dále thorit a titanit. Nelze vyloučit, že chemické a mineralogické složení této horniny napříč popisovaným územím pozvolně a mírně kolísá, avšak jen pod rozlišovací schopností makroskopického vzhladu horniny na základě úlomkového mapování. V jihovýchodním rohu popisovaného území se místy vyskytly úlomky neporfyrické variety durbachitů, které však nebylo možno vymapovat a pravděpodobně zde tvoří jen drobné výskyty. Tato hornina je šedohnědá, středně zrnitá, téměř bez vyrostlic, živce tvoří drobná nepravidelná zrnka velikosti kolem 2 mm.

V základním typu durbachitu, tzv. typu Čertova břemene, se místy vyskytují enklávy melanokratických hornin centimetrových až téměř metrových rozměrů. Jedná se o útržky mafičtějších magmat, které byly do durbachitů vmístěny ještě ve viskózním neutuhlém stavu a byly s okolním durbachitem během následného chladnutí a tuhnutí obou magmat „svařeny“. Z mechanického hlediska se chovají mírně odlišně než samotné durbachity, ale vzhledem k magmatickým kontaktům nepředstavují významné riziko z pohledu stability horninového masivu. Složení těchto enkláv nebylo vzhledem k jejich zanedbatelnému objemovému podílu v durbachitech podrobněji studováno, lze však předpokládat, že bude mírně variabilní v rozsahu složení dioritů až gaber.

Žilné horniny jsou výhradně kyselého složení, avšak z petrografického hlediska vykazují variabilní zařazení od nejběžnějších leukokratických granitů, často biotitických a/nebo turmalinických, přes méně četné aplity až po pegmatity. Větší žíly těchto hornin navíc často

vykazují vnitřní zonální stavbu s hrubnutím zrn směrem do centra žíly. Z mineralogického hlediska se i v centrech těchto nejvíce diferencovaných těles jedná o jednoduché pegmatity, složené vždy jen ze základních minerálů křemene, K-živce, plagioklasu, muskovitu, případně biotitu a /nebo černého turmalínu. Nejobvyklejší leukokratní žilné granity, někdy turmalinické, obsahují křemen (25–33 mod. %), K-živec (14–33 mod. %), plagioklas (34–45 mod. %), turmalín (0–5 mod. %), dále akcesoricky muskovit, biotit, granát, apatit a rudní minerály.

4.3 Expertní zhodnocení lokality

V následujícím textu jsou shrnuty pouze hlavní argumenty expertního týmu využitě 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), Nikl a Gürtler 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 Magdaléna je jednoduchá stran hlavního litotypu uvažovaného pro umístění HÚ, kterým je intruze durbachitu milevského plutonu (někdy též nazývaného pluton či typ Čertova břemene). Nicméně v rámci území 3D modelu nově dokumentovaná hustá suita žil a žilníků leukogranitů, aplitů a křemene mění pohled na homogenitu celkové lokality.

Indikátor K3a: Stupeň křehkého porušení masivu – zlomové struktury

Známka 3,5 řadí lokalitu Magdaléna (spolu s lokalitou Březový potok) na střed v intervalu 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.

V ploše 3D modelu se vyskytují dvě významná tektonická pásma, tvořená zlomy 1. kategorie. Jedná se o s.-j. tzv. sepekovskou zlomovou zónu tvořenou zlomy 1. kategorie ID 10, 46, 47, 48, 49 a 50, rozmršťující se a vyklíňující v jz. cípu studované oblasti a dále o mocnou strukturu SSV--JJZ směru zvanou božejovická zlomová zóna, tvořená zlomy 1. kategorie ID 51, 52, 53, 54 a 55 v kombinaci se zlomy 2. kategorie, dělicí perspektivní území pro geologické charakterizační práce na dvě poloviny.

Obě zmíněné tektonické zóny vytváří anastomózní struktury mocné cca 500 m výrazně se projevující v řadě geofyzikálních metod (ERT, DOP, MRS). Zlomová pásma jsou doprovázena intenzivními alteracemi, mylonitizací, tvorbou mocných křemen-turmalínových žil a žilníků a zjívováním hostitelské horniny. Upadání obou struktur je subvertikální, jejich dosah je neznámý, nicméně vzhledem k intenzitě projevů v dnešním erozním řezu se dá předpokládat jejich významně hluboký dosah. Hydraulickou funkci obou pásem nebylo možno ověřit s ohledem na neobyčejně hustou síť odvodňovacích meliorací, která zastřela přirozený hydrogeologický režim podzemních vod v přípovrchové zóně v okolí zlomových zón.

Krom zmíněných dvou tektonických zón je na lokalitě Magdaléna dokumentováno komplexem geofyzikálních metod celkem 15 zlomů 2. kategorie, z nichž 8 se vyskytuje uvnitř území pro geologické charakterizační práce. Jedná se zejména o systém zlomů směru SZ až ZSZ – Z až VJV směru (např. ID 1, 28, 29, 58, 61, či 66), jež jsou dobře ověřeny geofyzikálními metodami a v geologické mapě jsou převážně zřesleny jako zlomy zjištěné. Často se na těchto zlomech objevuje katakláza, někdy křemen-kalcitové výplně s pyritizací a chloritizací hostícího durbachitu. Všechny tyto zlomy jsou dle anomálií ERT a MRS interpretovány jako subvertikální.

Je možno konstatovat, že lokalita Magdaléna je poměrně intenzivně zlomově porušena (což před geofyzikálním výzkumem nebylo známo) a že charakter zlomů je podobný např. lokalitě Březový potok (proto stejná známka 3,5) a jen nevýznamně menší než např. lokalit Čihadlo (3,8) nebo Na Skalním (EDU-západ) (3,9). Četná přítomnost zlomů a rovněž nesmírné množství žil leukogranitů, aplitů a křemene (často s drcenými okraji systémy extenzních a střížných puklin a patrně i malých lokálních zlomů) byl hlavním důvodem, proč byly na lokalitě Magdaléna vymezeny pouze dva relativně malé polygony pro projektové práce (4,2 a 2,1 km²), oba při severní hranici perspektivního území pro geologické charakterizační práce, které představují relativně homogennější část studované plochy, byť i zde se vyskytují zlomy 2. kategorie.

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 sice lokalitu Magdaléna do středu rozptylu hodnot parametru, zároveň bylo přihlédnuto k zjištěním geologických a geofyzikálních výzkumů. Informace zjištěné terénními pracemi potvrdily průměrné postižení puklinovými systémy v rámci lokalit. Důvody pro toto hodnocení jsou následující.

Lokalita Magdaléna je tvořena zarovnaným, intenzivně zemědělsky využívaným terénem, s minimem výchozů – počet proměřených výchozů byl na lokalitě Magdaléna nejmenší ze všech měřených lokalit. Proto u parametru P_{21} panuje větší míra nejistoty stran jeho vypovídací schopnosti než u jiných lépe geologicky odkrytých lokalit. Nicméně výsledky geofyzikálních měření poskytly poměrně dobrý obraz o puklinovém porušení lokality, které potvrdily střední puklinové postižení.

Významným nově zjištěným fenoménem během geologického a geofyzikálního výzkumu je přítomnost neobyčejně četných V-Z orientovaných subvertikálních drobných žil a žilníků leukogranitů, aplitů a křemene, tvořícího obvykle tělesa mocná cm – dm, méně často metry až desítky metrů, délky až ~1 km. Jen na dokumentovaných profilech lze hovořit o počtu žil v řádu tisíců. Žíly jeví primárně intruzivní kontakty s durbachitem, nicméně někdy bývají jejich okraje následně křehce reaktivovány extenzními i střížnými puklinami, které často hrají roli hydraulických vodičů a představují preferenční cesty podzemní vody v takto oslabeném horninovém masívu. Tento fenomén byl dobře dokumentován zejména elektrickými, ale i seismickými geofyzikálními metodami. Takové postižení se nevyskytuje u všech žil, nicméně se jedná o fenomén, který nelze pominout.

Puklinové systémy dokumentované geofyzikálními anomáliemi (zejména zvýšenými rychlostmi v elektrických metodách a sníženými v seismických metodách) jsou lokalizovány pouze jako doprovod zlomů a zmíněných okrajů žil a žilníků. Plošné porušení masivu není geofyzikou prokázáno, jediná mocnější zóna, vázaná patrně na zvýšené puklinové porušení vedoucí k hlubšímu zvětrání durbachitu do cca 40 m, je indikována jen v severní části perspektivní plochy pro geologické charakterizační práce.

Posouzením parametru P_{21} , slabě dokumentovaných puklinových systémů na povrchu během geologického mapování a dokumentací křehkého porušení ve vazbě na zlomy a okraje některých aplitových žil byla expertně posouzena lokalita jako středně puklinově postižená, a proto jí byla stanovena známka 3,0. Jak bylo uvedeno, puklinové porušení je vázáno především na okolí zlomů a žil, obdobně jako na lokalitě Čertovka (známka 2,4), která ale neobsahuje žilné roje a žilníky a vykazuje lepší parametr P_{21} , proto má i lepší známku. Lokality Horka, Na Skalním (EDU-západ) a Hrádek mají dokumentované pukliny především v širokých, ale málo mocných zónách svědčících o mělkém a extenzivním charakteru puklinového porušení - zde bylo přihlédnuto k indikaci parametru P_{21} , kdy Horka (známka 3,0) vykazuje totožnou hodnotu s Magdalénou a Hrádek má parametr horší (1,12), a proto získal známku 3,3, obdobně jako u Březového potoka (P_{21} - 1,15), kde se expertní tým shodl též na známce 3,3.

Indikátor K3c: Stupeň duktilní deformace

Stupeň duktilní deformace durbachitů v hodnocené ploše území perspektivního pro projektové práce a blízké okolí je slabý. Durbachity typu Čertovo břemeno mají sice velice nápadnou porfyrickou strukturu, většinou se dá ale dokumentovat jen slabé až střední usměrnění vyrostlic draselného živce magmatického až submagmatického charakteru, zatímco tmavá základní hmota horniny zůstává obvykle makroskopicky všesměrně zrnitá. Z tohoto důvodu byla lokalita Magdaléna stanovena známka 1,5 ekvivalentní lokalitě Čertovka, která tak jako Magdaléna vykazuje slabé leč dobře dokumentovatelné magmatické foliace, méně intenzivní než např. dvě generace jasně mapovatelné magmaticko/deformační foliace na lokalitách Na Skalním (EDU-západ) (známka 2) či Horka (známka 2) a zároveň poněkud intenzivnější

než obvykle jen doménově vyvinutá slabá magmatická foliace na lokalitách Hrádek a Čihadlo (známka 1,0).

Indikátor K4a: Prostorová variabilita horninového prostředí

Hodnocené území – tj. perspektivní území pro projektové práce a blízké okolí – se jeví jako málo homogenní, a proto byla lokalitě pro kritérium K4a stanovena známka 3,7. Definované území je tvořeno jednou hlavní litologií, a sice durbachitem (resp. melagranitem až melasyenitem) typu Čertovo břemeno. V této hornině se vyskytují bezvýznamné drobné (cm-dm) mafické mikrogranulární enklávy, ale zejména se vyskytují ve velkém množství výše popisované V-Z leukokratní granitové žíly a žilníky. Žil leukogranitů sice není v perspektivním území pro projektové práce a blízké okolí tolik jako v jiných částech studovaného území (ostatně mj. i proto zde bylo toto území vymezeno), nicméně přesto se jedná o řádově stovky, možná tisíce drobných těles, narušujících prostorovou homogenitu durbachitu. Malá prostorová variabilita vlastního durbachitu lokality Magdaléna je společná všem třem durbachitovým lokalitám (Na Skalním (EDU-západ) známka též 2, Horka 1,2) a je rovněž podobná – v rámci relativně malých ploch tvořících perspektivní území pro projektové práce – i homogenním granitům Březový potok a Čihadlo (2,1 a 2,0), které také vykazují jen nehojnou přítomnost xenolitů, žil, enkláv a dalších cizorodých těles. Nicméně hustá síť leukogranitových a aplitových žil byla důvodem pro expertní stanovení známky 3,7, která řadí lokalitu Magdaléna na předposlední místo mezi lokalitami, před extrémně prostorově pestrout lokalitu Kraví hora (známka 5).

Indikátor K4b: Petrologická variabilita hornin

Známka pro indikátor K4b řadí lokalitu Magdaléna na spíše lepší pozici mezi posuzovanými lokalitami. Durbachit představuje jen minimálně proměnlivou litologii. Zmíněné mafické enklávy jsou sice petrologicky odlišné, ale díky svému minimálnímu výskytu bezvýznamné. Jediným horninovým typem zvyšujícím petrologickou variabilitu tak jsou ve skutečnosti žíly leukokratních granitů, často s akcesorickým turmalínem a muskovitem. Žíly leukogranitů představují výraznou prostorovou nehomogenitu, nejsou ovšem mineralogicky významně odlišné od melagranitů až melasyenity Čertova břemene. Tento fakt byl hlavním důvodem pro přidělení známky 2,0 pro velikost variability petrologické.

Lokalita Horka (známka 1) má perspektivní území pro projektové práce a blízké okolí tvořené výhradně monotónním durbachitem (ač v širším okolí perspektivního území se vyskytují granitové intruze, xenolity migmatitů a aplitové žíly). Durbachity v definovaném území lokality Na Skalním (EDU-západ) (známka 2,5) naopak obsahují zvýšené množství žil granodioritů a intruzí granitů, a i samy horniny Třebíčského masivu na studovaném území lokálně plynule přechází z dominantní variety porfyrického melasyenitu do světlejších melagranitů, případně neporfyrických durbachitů. Lokality Březový potok, Čertovka a Čihadlo se známkami 2,1 resp. 2,2 resp. 2,0 vykazují podobně homogenní prostředí granitů, narušované pouze xenolity cizorodých hornin, případně žilami aplitů a pegmatitů.

4.3.1 Nejistoty spojené s hodnocenou oblastí

Hodnocení lokalit HÚ představuje komplexní úlohu, která vyžaduje celou řadu vstupních dat zatížených různou mírou nejistoty. V prostorovém kontextu lze nejistotu interpretovat s ohledem na posuzovanou oblast jako množství chybějících informací (Wellmann a Regenauer-Lieb 2012). Při hodnocení lokalit je důležité identifikovat a kvantifikovat různé zdroje nejistot.

Za současného stavu omezeného poznání horninového prostředí zájmových lokalit však 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 geologických prací včetně realizace hlubokých vrtů.

Lokalita Magdaléna je dominantně tvořena porfyrickým amfibol-biotitickým melagranitem až melasyenitem (durbachitem), velmi často s přítomností v.–z. subvertikálních žil leukokratních granitů až aplopegmatitů. Nejistota ve vztahu k homogenitě daného území je zřejmá z neznalosti hloubkového rozšíření a rozměrů těchto leukokratních žil v durbachitech. Podrobné mapovací práce na polích (Mixa et al. 2019) a data z geofyzikálních výzkumů (Nikl a Gürtler 2019) naznačují, že tyto žíly jsou v celém zájmovém území velmi četné a často mají složitější vývoj žilníků namísto jednoduchých žil. Dále jsou primárně magmatické kontakty těchto žil s okolními horninami často reaktivovány drobnou křehkou tektonikou.

Stanovit přesnou míru rozpukání horninového masivu v hloubce plánovaného HÚ je obtížné. Strukturní data pořízená na povrchu a jejich matematická extrapolace nicméně přináší reálný obraz o podobě a hustotě puklinových systémů v přípovrchové zóně zkoumaného masivu.

Strukturním výzkumem, geofyzikálními a mapovacími pracemi byly odlišeny tři hlavní systémy zlomových struktur. Nejistota spojená s hodnocením oblasti spočívá v neznalosti úhlů a směrů upadání zlomů a dále v mocnosti a charakteru jejich výplně a jejich hydraulických a geomechanických parametrů. Pro převážnou většinu zlomů dosud evidovaných na lokalitě Magdaléna je sklon jen odhadnutý na základě nepřímých geofyzikálních dat, nebo není známý vůbec. Skutečný sklon zlomů může být výrazně odlišný. Pro převážnou většinu zlomů jsou mocnosti jen odhadnuty na základě geofyzikálních dat. V převážné většině není znám charakter výplně, a pro žádný zlom není známa jeho hydraulická vodivost a geomechanický význam. Tyto parametry nelze bez technických prací a následných terénních testů stanovit.

V zájmovém území není možné na základě expertního odhadu dle stávajících dat věrohodně odhadnout mocnost durbachitového plutonu. Hloubkový dosah granitů je pravděpodobně největší v sv. části zájmového území, kde dle Dobeše a Pokorného (1988) dosahuje mocnosti cca 3 km. Míru pravdivosti tohoto odhadu je nutno ověřit podrobnými geofyzikálními a vrtnými pracemi a minimalizovat tak nejistotu spojenou s hodnocením oblasti, založenou jen na strukturním povrchovém výzkumu a geofyzikálních výzkumech relativně mělkého dosahu.

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.

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

Vyhodnocení vylučujících geologických kritérií (Tab. 1) ve vztahu k legislativním požadavkům na prokázání vhodnosti lokality pro umístění HÚ je uvedeno v Tab. 5. Pokud vyhodnotíme všechna výše zmíněná fakta charakterizující lokalitu z hlediska geologických charakteristik, pak nebyl zjištěn důvod pro vyloučení lokality z dalšího výběru pro umístění úložiště.

Geologická situace lokality je relativně dostatečně prozkoumaná tak, aby bylo možné přepokládat průběh důležitých zlomových linií a vytvořit 3D geologický model.

Tab. 5 Vyhodnocení vylučujících kritérií pro oblast Geologické charakteristiky pro lokalitu Březový potok. 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 Magdaléna 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) na stupnici 1 – nejnižší až 5 – nejvyšší (viz zpráva Vondrovic et al. 2019). Následně bylo provedeno vzájemné porovnání daného hodnocení napříč všemi devíti lokalitami a vyhodnocení geologických indikátorů na základě dohody expertního týmu. Proto bylo zvoleno porovnání formou expertního odhadu na základě diskuze specialistů a jejich shody.

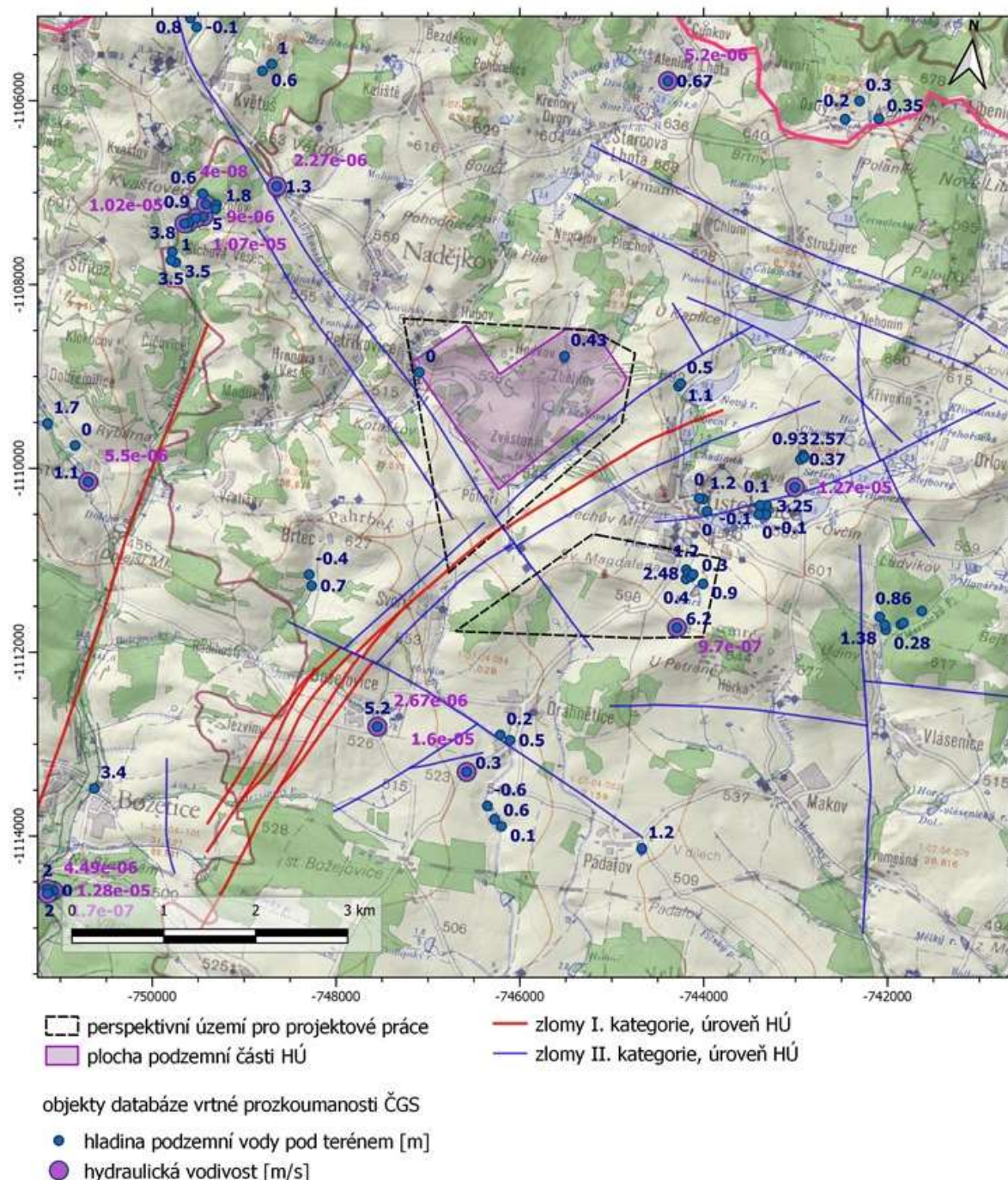
Popis výběru jednotlivých indikátorů a metodiky jejich vyhodnocení je uveden ve zprávě Vondrovic et al. (2019).

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

ID	Indikátory kritérií	Známka
K3a	Stupeň křehkého porušení masivu – zlomové struktury (1 – nejnižší až 5 – nejvyšší)	3,5
K3b	Stupeň křehkého porušení masivu – puklinové systémy (1 – nejnižší až 5 – nejvyšší)	3,0
K3c	Stupeň duktilní deformace (1 – nejnižší až 5 – nejvyšší)	1,5
K4a	Prostorová variabilita horninového prostředí (1 – nejnižší až 5 – nejvyšší)	3,7
K4b	Petrologická variabilita hornin (1 – nejnižší až 5 – nejvyšší)	2,0

5 Hydrogeologické charakteristiky

Oblast regionálního hydrogeologického modelu lokality Magdaléna leží v hydrogeologickém rajonu 6320 Krystalinikum v povodí střední Vltavy (vyhláška č. 5/2011 Sb.).



Obr. 5 Hydrogeologické údaje v databázi vrtné prozkoumanosti ČGS

Větší část území je tvořena moldanubickými magmatity, zastoupené durbachity a syenity. Na území tvořeném moldanubickými magmatity se také nachází většina zlomů. Pouze v jižní části zasahují na území lokality metamorfní jednotky moldanubika, tvořené zejména pararulami a migmatity.

Většina prací a posudků v této oblasti se zabývá především zhodnocením vrtů pro jejich využívání k odběru pitné vody pro soukromé účely, obecní zásobování a pro zásobování zemědělských družstev. Tyto práce poskytují hydrogeologické informace o horninách do hloubek několika desítek metrů, informace o horninovém prostředí v hloubce plánovaného úložiště nejsou žádné. Ve vrtné databázi ČGS je v oblasti regionálního modelu k dispozici celkem 129 vrtů. Hloubka většiny vrtů se pohybuje v rozmezí od 10 do 30 metrů, těchto vrtů je celkem 73. Vrtů hlubších než 30 metrů je pouze 16, z toho je pak 5 vrtů hlubších než 50 metrů. Hloubka nejhlubšího vrtu v oblasti je 76 metrů.

Hladina podzemní vody ve většině vrtů je blízko pod terénem, hydraulické vodivosti se pohybují v rozmezí řádu 10^{-5} m.s⁻¹ do řádu 10^{-7} m.s⁻¹ (Obr. 5). Vrtý jsou situovány v přípovrchové zóně rozvolnění puklin s aktivním oběhem podzemních vod a s výrazně vyšší hydraulickou vodivostí (ve srovnání s horninovým prostředím v hloubce HÚ).

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

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

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

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

Zdrojem podzemní vody na lokalitě je srážková infiltrace, ke které dochází v celé ploše území. Rozložení efektivní infiltrace je prostorově variabilní, průměrná velikost je 2,5 l.s⁻¹.km⁻² (Krásný et al. 1982). Do hlubších oblastí masivu, vzhledem k malé propustnosti, přetékají z přípovrchové vrstvy pouze první jednotky procent celkového množství vody infiltrovaného ze srážek. Infiltrační oblasti pro plochu podzemní části HÚ, stanovené modelem, vychází v oblasti ležící severně od HÚ na regionální rozvodnici a ve vrcholových částech přírodního parku Jistebnická vrchovina (cca 650 m n. m.). Menší část podzemní vody procházející plochou HÚ je infiltrována ve vrcholových partiích hřbetu, který spojuje vrcholy Smrčí, Magdaléna a Pahrbek (627 až 644 m n. m.).

K drenáži svrchních částí zvodně dochází do nejbližších toků, hladiny podzemní vody do velké míry korespondují s terénem. Nejvyšší úroveň dosahuje hladina na severním okraji modelového území (přes 645 m n. m.), nejnižší úroveň hladiny (pod 380 m n. m) se vyskytuje podél toku Lužnice (jv. okraj modelu). K odvodnění hlubších částí zvodně dochází na bázi hlavních vodotečí, většinou skrytě do kvartérních sedimentů. Častá je také drenáž prostřednictvím vodivých tektonických poruch.

5.1 Vylučující kritéria

5.1.1 Přítomnost zvodní v izolační části úložiště

Pro zhodnocení hydraulických vlastností hlubších částí krystalinických hornin v hloubkách projektovaného HÚ nejsou aktuálně k dispozici žádná data, je ale velmi pravděpodobné, že v hloubce 500 m pod zemským povrchem bude hydraulická vodivost hornin mimo poruchová pásma (izolační část masivu) o tři až pět řádů nižší než v přípovrchové zóně rozvolnění puklin (expertní odhad ČGS) a nebude zde přítomna souvislá zvodeň. V hlubších částech krystalinika dochází k postupnému svírání puklin a hydraulická vodivost horninového prostředí se postupně snižuje. Proudění podzemní vody probíhá výhradně po výrazných puklinách, zlomových pásmech a poruchových zónách. V evidenci odběrů a vypouštění ISVS – VODA (<https://voda.gov.cz/>) jsou pro širší oblast perspektivního území 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 Magdaléna byl vytvořen aktualizovaný detailní hydrogeologický model (Černý et al. 2020), který reprezentuje aktuální znalost poměrů proudění podzemní vody v lokalitě ve vztahu k hlubinnému oběhu. Využita jsou v něm primárně všechna dostupná archivní data a neinvazivní metody průzkumu z terénu, která jsou dostačující pro realizaci komplexního hydraulického modelu. Vývoj hydrogeologických poměrů v lokalitě úzce souvisí s vývojem klimatu a průběhem budoucího antropogenního ovlivnění horninového masivu v posuzované lokalitě, oba faktory lze v realizovaném hydraulickém modelu lokality Magdaléna zohlednit. Vyhodnocení kritéria je uvedeno v kapitole 5.3.2.

5.2 Kritéria pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ

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

5.2.1.1 Indikátor K5a Doba dotoku z HÚ do oblasti drenáže

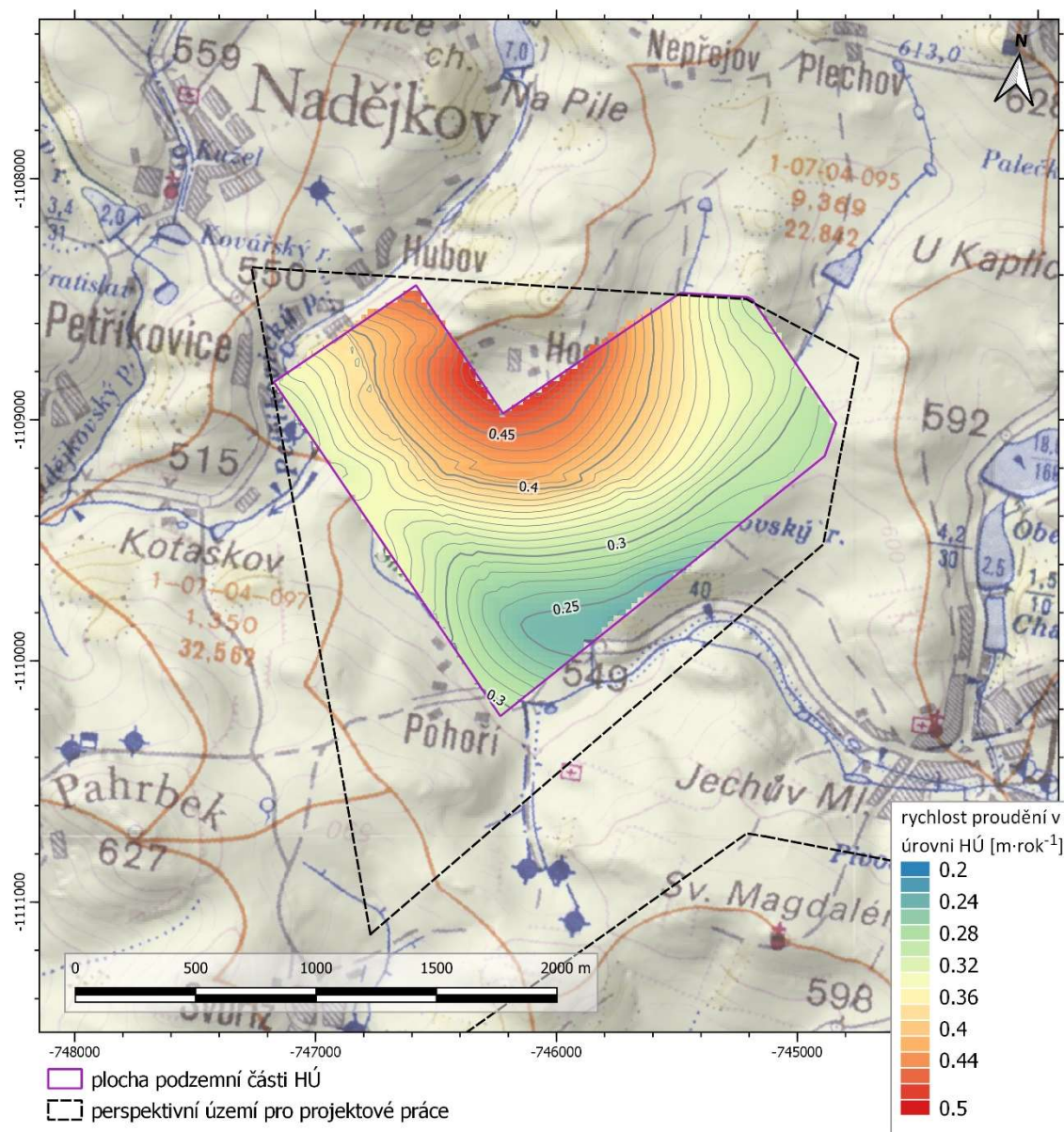
Doby dotoku podzemní vody z prostoru HÚ k drenáži jsou v modelových simulacích proudění podzemní vody stanoveny metodou particle tracking (Muffels et al. 2014).

Rychlost proudění mezi prostorem potenciálního úložiště (-1 m n. m.) a drenáží v přípovrchové zóně se liší v závislosti na hydraulickém odporu prostředí a hydraulickém gradientu. Proudění v přípovrchové zóně dosahuje rychlostí řádově stovek metrů za rok, zatímco ve větších hloubkách horninového masivu dosahují rychlosti proudění maximálně desítek centimetrů za rok. Hydraulickou souvislost prostoru projektovaného HÚ s drenážními bázemi charakterizuje parametr doby zdržení (doby dotoku). První kvartil doby dotoku podzemní vody z HÚ k drenážním bázím byl modelem v lokalitě Magdaléna vypočten na hodnotu 1 222 roků

(indikátor K5a, Tab. 8). Rozsah dob dotoku se z prostor HÚ v lokalitě Magdaléna pohybuje v rozmezí 1 004 až 4 103 let (mezidecilové rozpětí intervalu výsledků $Q_{0,1} - Q_{0,9}$).

5.2.1.2 Indikátor K5b Rychlost proudění v úrovni úložiště

Rychlost proudění podzemní vody v úrovni úložiště ovlivňuje dynamiku potencionálního odtoku kontaminace z prostor HÚ. Rychlost proudění v úrovni HÚ souvisí s hydraulickým gradientem, který je ovlivněn morfologií terénu a její propagací do tlakových poměrů podzemní vody. Rozložení rychlostí proudění v úrovni a prostoru HÚ vypočtených modelem proudění je uvedeno na Obr. 6. Rozsah vypočtených rychlostí proudění v prostoru potencionálního HÚ vychází 0,24 – 0,49 m.rok⁻¹. Jako hodnota indikátoru je zvoleno maximum (Indikátor K5b, Tab. 8).



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

5.2.1.3 Indikátor K5c Propustnost v prostoru HÚ

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

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

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

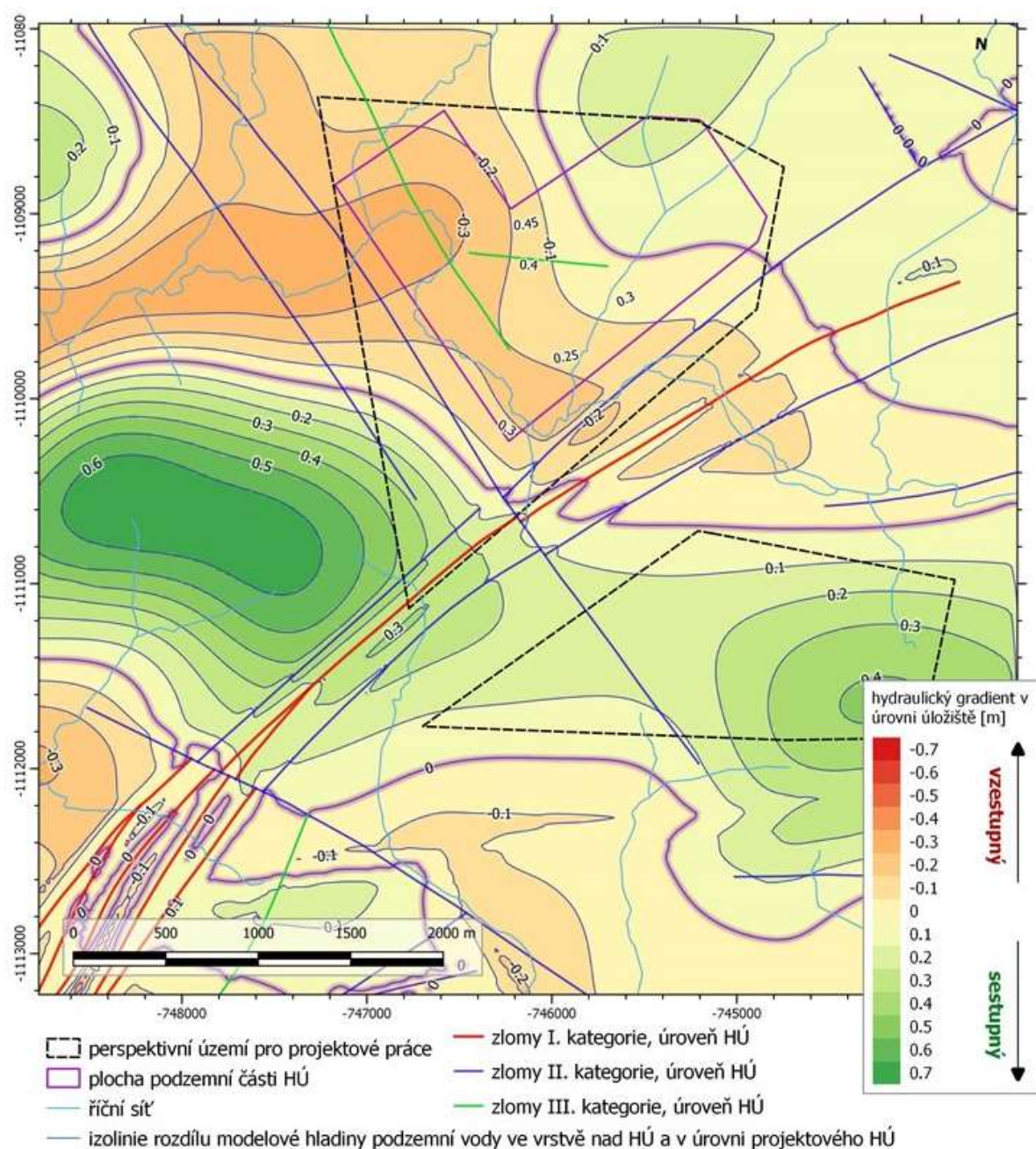
Spodní část profilu tvoří krystalinické horniny, které lze z hydrogeologického hlediska popsat jako heterogenní anizotropní málo propustné puklinové prostředí. Ve zpracovaném hydraulickém modelu využitém pro hodnocení je zadán pokles hydraulické vodivosti v masivu s hloubkou jak v oblastech bez identifikovaných 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 $2,7 \cdot 10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$ až $3,6 \cdot 10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$ (indikátor K5c, Tab. 8).

5.2.1.4 Indikátor K5d Sestupná vertikální složka proudění

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

Rozdíl hladiny podzemní vody v úrovni HÚ a ve vrstvě nad HÚ je dokumentován na Obr. 7. Z obrázku je patrné, že zóny sestupného proudění (kladný rozdíl hladin) jsou lokalizovány do vrcholových partií území (vrcholy Pahrbek, okolí sv. Magdalény). Oblasti s největším záporným vertikálním tlakovým gradientem (a složkou vzestupného proudění) jsou soustředěny do údolí Smutné a jejího přítoku.

V jižní a severovýchodní části perspektivního území pro projektové práce převažuje infiltrace podzemní vody. Drenážní oblast se vyskytuje v centrální a východní ploše území – podél údolí Smutné. Obecně lze usuzovat, že mimo severovýchodní část je oblast podzemní plochy HÚ infiltrační. Sestupné proudění v ploše HÚ v úrovni -1 m n. m. je zastoupeno z 26 % (indikátor K5d, Tab. 8).



Obr. 7 Hydraulický gradient v úrovni HÚ (-1 m n. m.)

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

Koncepce proudění podzemní vody v prostředí hydrogeologického masivu předpokládá existenci pásem zvýšených hydraulických vodivostí vázaných na tektonické poruchové zóny. V hlubších horizontech horninového prostředí má proudění podzemní vody dominantně puklinový charakter. Lze přitom předpokládat, že existence lépe propojené, konduktivní puklinové sítě, zprostředkovávající hydraulické propojení hlubších horizontů s drenážními bázemi na povrchu, je více pravděpodobná v poruchových zónách kolem významných zlomů s hlubinným dosahem. Proudění podzemní vody mezi prostorem HÚ a drenážními bázemi probíhá (a může být tedy ovlivněno) i prostřednictvím puklinových zón.

Na jih a jihovýchod od vymezeného perspektivního území pro projektové práce se nacházejí významné poruchy 1. a 2. kategorie směru SV-JZ, na západ od vymezeného území jsou dva zlomy 2. kategorie a determinující údolí Nadějkovského potoka a část údolí Smutné. Podobně se projevuje zlomové pásmo, východně od perspektivního území pro projektové práce, poblíž Jistebnice, kde jeho průběh rovněž kopíruje údolí Smutné.

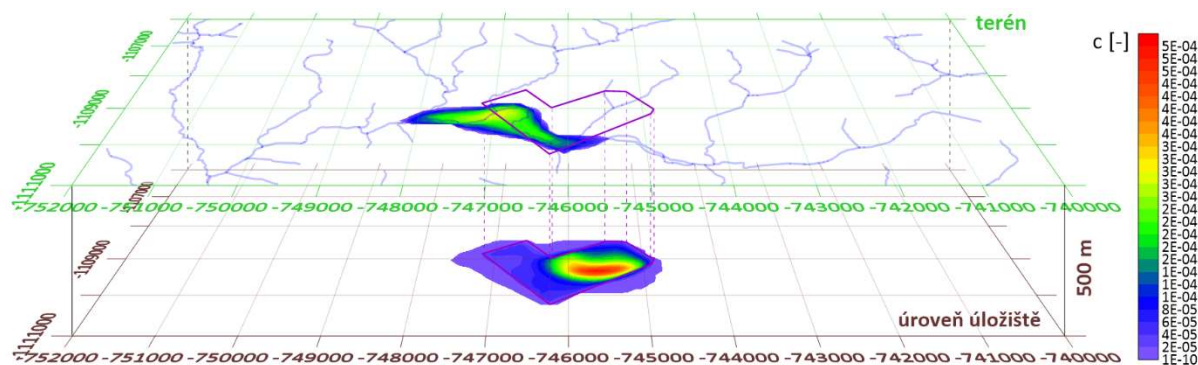
Podzemní voda z prostor HÚ je odváděna přímo v nadloží do drenážního toku Smutné. V ploše úložiště jsou předpokládány dva zlomy 3. kategorie. Jižní hranice HÚ probíhá podél dvou zlomů 2. kategorie. Hydraulická vodivost zlomových pásem druhého řádu dosahuje v úrovni HÚ (a vzdálenosti do 500 m od jeho hranic) maximální hodnoty $8,2 \cdot 10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$. Zlomové pásmo prvního řádu se vyskytuje cca 400 m jihovýchodním směrem od hranice HÚ. V předpokládané úrovni úložiště je maximální propustnost tohoto pásma $1,2 \cdot 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$. Hydraulické vlastnosti pásem mají pro lokalitu Magdaléna značný význam a při stávajících znalostech nelze zcela vyloučit hydraulickou souvislost zlomových pásem s prostředím masivu v prostoru podzemní části HÚ (průběh a charakter zón v hloubce HÚ není možné v současnosti ověřit). Zlomová pásma mají, na základě přijaté koncepce poklesu hydraulické vodivosti porušených pásem s hloubkou, v úrovni projektovaného HÚ předpokládanou hydraulickou vodivost v řádu 10^{-8} m.s^{-1} pro pásma 1. řádu a 10^{-9} m.s^{-1} pro pásma 2. řádu. Maximální hydraulická vodivost na zlomových zónách v úrovni HÚ vzdálených do 500 m od hranice podzemní části HÚ je $1,2 \cdot 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$ (indikátor K5e, Tab. 8).

5.2.1.6 Indikátor K5f Specifický průtok v prostoru HÚ

Bilanční údaje proudění podzemní vody pro lokalitu **Magdaléna** jsou stanoveny z hydrogeologického modelu. Zadané doplňování zásob podzemní vody (efektivní srážková infiltrace) je v ploše modelu proměnlivé a mění se v závislosti na rozložení srážkového normálu. Údaje o plošném rozložení srážkového normálu pro lokalitu **Magdaléna** byly v kilometrové síti poskytnuty ČHMÚ. Průměrná hodnota efektivní modelové infiltrace v lokalitě **Magdaléna** je $2,5 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (Krásný et al. 1982). Z celkově infiltrovaného množství 594 l.s^{-1} proudí 96,7 % podzemní vody pouze v přípovrchové vrstvě zvětralin, rozpojení puklin a kvartéru. Do hlubších oblastí masivu infiltruje (vzhledem k nízkým koeficientům hydraulické vodivosti) pouze $19,6 \text{ l.s}^{-1}$. Suma průtoků přes vymezený prostor HÚ je modelem stanovena na $5,09 \cdot 10^{-2} \text{ l.s}^{-1}$, specifický průtok přes půdorysnou plochu HÚ je $2,3 \cdot 10^{-2} \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (indikátor K5f, Tab. 8).

5.2.1.7 Indikátor K5g Poměr ředění

Pro posouzení vhodnosti lokality Magdaléna z hlediska transportu kontaminace z prostoru podzemní části HÚ do prostoru drenáže podzemní vody byla realizována schematická transportní simulace (pro konzervativní – nereagující a nesorbující stopovač bez možnosti rozpadu). Cílem simulace bylo získat podklady pro hodnocení míry zředění roztoku transportovaného z HÚ advektivním prouděním podzemní vody k drenážní oblasti. Ředění bylo stanoveno v procentech z poměru maximálních koncentrací vypočtených před vstupem do drenážní báze a v prostoru úložiště. Pro HÚ v lokalitě Magdaléna byla nejnižší míra ředění stanovena na 0,4 % (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 (-1 m n. m.) a v přípovrchové vrstvě

5.2.2 Kritérium K6 Identifikace a umístění drenážních bází

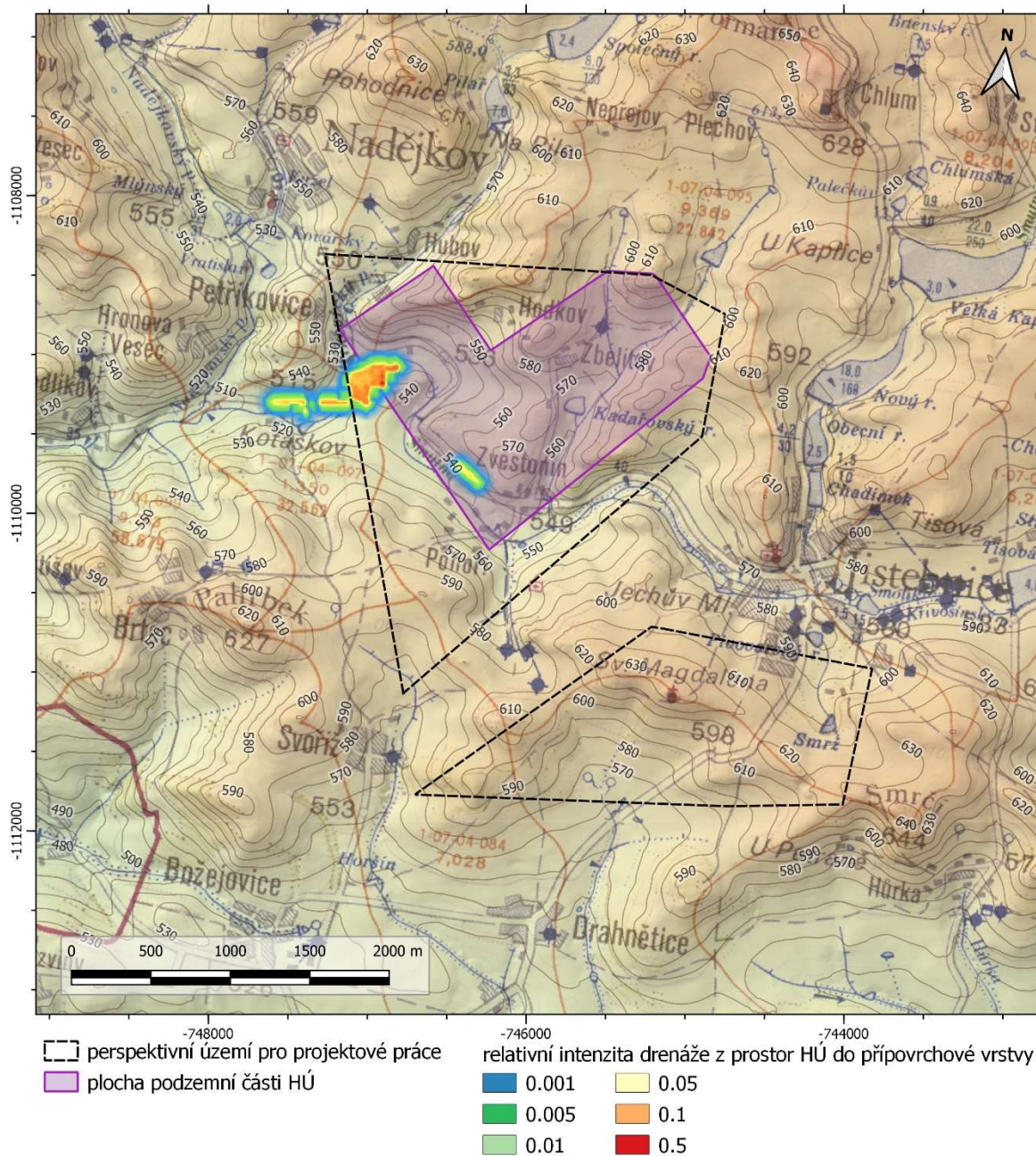
Plocha podzemní části HÚ leží v hydrologickém povodí 1-07-04 Lužnice od Nežárky po ústí do Vltavy. Drenáž podzemní vody z horninového masivu je zprostředkována přípovrchovou vrstvou zvětralin a rozpojení puklin do povrchových toků. Místa drenáže hlubokého proudění podzemní vody závisí na výrazně heterogenních a anizotropních odporových parametrech horninového prostředí. Drenážní oblasti hlubší zóny lze očekávat v korytech tektonicky predisponovaných vodních toků (např. tok Smutné), na křížení těchto toků a významných zlomových zón (také tok Smutné) a v oblastech s vysokou hydraulickou vodivostí svrchní zóny a nízkým hydraulickým potenciálem.

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

Malá část plochy HÚ (necelé 1 %) je drénována v toku Smutné přímo v nadloží podzemní plochy HÚ. Hlavní drenáž je modelem vypočtena o 1 km dále po toku Smutné na jejím křížení se zlomem 2. kategorie. V toku Smutné je tak drénováno 100 % vody protékající plochou HÚ (**indikátor K6b Zastoupení drenáže z plochy HÚ v jediném toku**, Tab. 8). K hlavní drenáži do toku Smutné dochází přibližně na kilometrovém úseku (Obr. 9). Drenáž do konkrétního úseku toku je do značné míry ovlivněna lokálním charakterem přípovrchové vrstvy zvětralin a kvartérních sedimentů podél toků.

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

Drenáž v toku Smutné je vypočtena v úrovni 540 až 548 m n. m. (úsek v nadloží HÚ) a 511 až 525 m n. m (hlavní drenážní úsek). Nejkratší horizontální vzdálenost HÚ od drenáže (**indikátor K6d Horizontální vzdálenost HÚ od drenáže**, Tab. 8) vychází v nadloží plochy HÚ, tj. hodnota indikátoru je rovna 0 m (Obr. 9). Místa nejvzdálenější drenáže vychází 680 m od hranice podzemní části HÚ.



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

5.3 Expertní zhodnocení lokality

5.3.1 Nejistoty spojené s hodnocením hydrogeologických kritérií

Veškerá hydrogeologická data pocházejí z povrchu nebo přípoверхové zóny. Žádný z dosavadních hydrogeologických průzkumů či výzkumů nedosáhl hloubek plánovaného HÚ, kde lze očekávat rozdílné hydraulické vlastnosti hornin. Pro komplexní hydrogeologické zhodnocení chybí data o hlubokých hydrogeologických strukturách, zejména o výskytu, orientaci a hydraulických vlastnostech vodivých zlomů a poruchových zón v hloubkách HÚ. Hodnocení hydrogeologických poměrů v hloubce úložiště může proto vycházet pouze z interpretace povrchových dat, analogie nebo odborného odhadu.

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

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

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

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

5.3.3 Hodnocení vybraných kritérií pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ

Pro hodnocení hydrogeologických poměrů a vybraných kritérií pro posouzení vhodnosti lokality Magdaléna pro situování HÚ byl vytvořen aktualizovaný 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 Magdaléna.

ID	Název kritéria/ Indikátoru	Hodnoty	Známka
	Střední úroveň HÚ (m n.m.)	-1	
	Plocha ukládacích prostor HÚ (km²)	2,195	
K5	Kritérium: Charakteristika proudění vody v okolí HÚ a transportní charakteristiky		
K5a	Doba dotoku z HÚ do oblasti drenáže (roky)	1 222	5,0
K5b	Rychlost proudění v úrovni úložiště (m.rok ⁻¹)	0,49	1,6
K5c	Propustnost v prostoru HÚ (m.s ⁻¹)	3,6.10 ⁻⁹	3,8
K5d	Sestupná vertikální složka proudění (% plochy HÚ)	26	5,0
K5e	Maximální propustnost poruchových zón do 500 m od hranice HÚ (m.s ⁻¹)	1,2.10 ⁻⁸	1,8
K5f	Specifický průtok v prostoru HÚ (l.s ⁻¹ .km ⁻²)	2,3.10 ⁻²	2,9
K5g	Poměr ředění (%)	0,4	1,8
K6	Kritérium: Identifikace a umístění drenážních bází		
K6a	Počet drenážních toků	1	5,0
K6b	Zastoupení drenáže z plochy HÚ v jediném toku (% plochy HÚ)	100	5,0
K6c	Zastoupení drenáže z plochy HÚ v jediném povodí (% plochy HÚ)	100	5,0
K6d	Horizontální vzdálenost HÚ od drenáže (m)	0	5,0

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

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

V porovnání s dalšími lokalitami jsou v rámci kritéria K5 poměry na lokalitě Magdaléna vhodnější k situování HÚ podle indikátorů K5b, K5e a K5g (Tab. 8). Dobré hodnocení rychlosti proudění v úrovni HÚ (K5b) vychází z nízkého hydraulického gradientu v okolí úložiště. Výsledné proudění v prostoru HÚ nepřekračuje rychlosti 50 cm za rok, obdobně jako na dalších čtyřech lokalitách. V hodnocení indikátoru hydraulické vodivosti poruchových zón

(K5e) patří lokalita Magdaléna mezi vhodnější lokality, přestože je v hodnocení zahrnut i zlom první kategorie nacházející se jv. směrem od HÚ. K relativně významnému poměru naředění kontaminace z prostoru úložiště (K5g) přispívá přítok významného množství vody z přípovrchové zóny do oblasti lokální drenážní báze pro prostor projektovaného HÚ.

Nejméně vhodná (známky 5) je lokalita Magdaléna při hodnocení indikátorů doba dotoku z HÚ do oblasti drenáže (K5a) a sestupná vertikální složka proudění (K5d). Vzestupná složka převládá (74 %) z důvodu uložení podzemní části HÚ blízko drenážního toku Smutné, sestupná složka proudění je přítomna pouze ve čtvrtině plochy podzemní části úložiště. Dominance vzestupné složky proudění je důvodem vypočtené nejkratší doby dotoku k drenáži (K5a). I stanovená propustnost v úrovni HÚ (K5c) patří při srovnání lokalit k vyšším hodnotám.

V rámci kritéria K6 je lokalita Magdaléna hodnocena jako nejhorší. Celý prostor úložiště je odvodněn do jediného toku v jediném povodí (indikátory K6a, b, c) a nedochází tak k výhodnějšímu rozdělení drenáže do více povodí. Drenáž plochy HÚ vychází přímo v nadloží HÚ, proto je i indikátor K6d hodnocen známkou 5.

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, b) pro hlubinné úložiště by nemělo být náchylné k poškození budoucími geodynamickými procesy a následnými jevy a jinými faktory (např. změnou klimatu, neotektonickými pohyby, vysokou seizmicitou) do té míry, že by tyto vlivy mohly nepříjemně poškodit bezpečnostní funkce celého úložného systému. Na základě předchozích poznatků (Pačes et al. 2010) plyne, že v ČR mohou být důležité především následující vlivy:

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

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

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

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

6.1 Vylučující kritéria

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

Pro vyhodnocení potenciálně aktivních zlomů na konkrétní lokalitě nejsou k dispozici relevantní data o stáří a aktivitě studovaných tektonických poruch (tektonická síť Mixa et al. 2019). Pro hodnocené území této lokality není indikována aktivita zlomu v období posledních

2,6 milionu let. Pokud není indikována ani prokázána aktivita zlomu v období posledních 2,6 milionu let, předpokládá se, že neexistuje.

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

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

Balatka a Kalvoda (2008), na základě studia výškového rozdílu penneplenizovaných 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 lokality.**

6.1.3 Postvulkanické jevy

Lokalita se nachází mimo oblasti kenozoického vulkanismu 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. Suk et al. 1970, Misař, 1983, Cháb et al. 2007).

Z hlediska postvulkanických jevů nebyl na PÚPP Magdalena nalezen střet 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 lokalit s dolním magnitudovým limitem 3,9. Hodnota byla stanovena pro 50% pravděpodobnost a dobou opakování 10^5 let a byly určeny křivky seismického ohrožení pro kvantily 16 %, 50 %, 84 % a průměr. Spodní hranice roční četnosti byla uvažována 10^{-6} .

Seismické ohrožení lokality je dáno zvláště vzdáleností od prvních dvou významných zón a četností slabých blízkých zemětřesení.

Hodnota maximálního horizontálního zrychlení získaná z pravděpodobnostní metody pro 50% pravděpodobnost a dobou opakování 10^5 let činí **0,97 m.s⁻²** (Málek et al. 2018).

6.2.2 Indikátor K7b Výškový gradient

Území HÚ Magdaléna leží v povodí Smutné, Oltyňského a Pílského potoka odvodňující území do Lužnice jižně od rozvodí se Sedleckým potokem (pravobřežní přítok Vltavy). Oblast se rozkládá na reliktech dvou úrovní zarovnaných povrchů. Vyšší úroveň je vázána na nadmořskou výšku okolo 600 m n. m. a nachází se v severní části území. Nižší úroveň zarovnaného povrchu je umístěna v nadmořské výšce v 450–500 m n. m. a zaujímá jižní část daného území. Obě úrovně zarovnaného povrchu jsou odděleny intenzivně degradovaným ústupovým svahem.

Maximální 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). Na daném území lze vyčlenit 2 lokální erozní báze. Pro povrchy vyšší úrovně zarovnaného povrchu a přilehlé svahy (severní část území) představují erozní bázi povrchy niv vodních toků situované v nižší úrovni zarovnaného povrchu v nadmořské výšce cca 480 až 500 m n. m. Pro nižší úroveň zarovnaného povrchu a přilehlé svahy (jižní část území) odpovídá erozní báze výšce dna říčního údolí Lužnice v nadmořské výšce cca 350 m n. m. Maximální výškový rozdíl mezi průměrnou nadmořskou výškou zarovnaných povrchů a příslušnou erozní bází je **150 m**.

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

Území je postiženo mladými cykly zpětné eroze pouze jen na malé ploše. Erozní reliéf je vázán na svahy říčních údolí Smutné. Výraznější projevy hloubkové eroze se projevují jižně od studovaného území v nižších částech povodí vodních toků odvodňující území do řeky Lužnice. Tyto projevy jsou charakteristické výraznějším zahloubením říčních údolí, přítomností úzkých erozních údolí typu V a erozních strží vázané na boční přítoky větších toků a výraznými čely zpětné eroze v horních uzávěrech erozních údolí a strží (Hroch a Pačes 2015, Kopačková et al. 2017). Celková plocha území pokrývající reliéf přetvářený zpětnou erozí **nepřekračuje 20 %** 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, 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 (Suk et al. 1970, Misař, 1983, 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 Magdaléna ve vztahu k legislativním požadavkům je uvedeno v Tab. 9.

Tab. 9 Vyhodnocení vylučujících kritérií pro oblast Seismická a geodynamická stabilita pro lokalitu Magdaléna. 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

ID	Kritérium	Hodnocení
		(příležitost převažuje nad rizikem), tj. nebyla zjištěna vlastnost lokality, při jejímž překročení je umístění úložiště zakázáno.

6.3.3 Hodnocení vybraných kritérií pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ

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

Vyhodnocení vybraných indikátorů pro kritérium K7 Seismická a geodynamická stabilita lokality Magdaléna je uvedeno v Tab. 10.

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

ID	Indikátor kritéria	Hodnota indikátoru	Známka
K7a	Hodnota maximálního horizontálního zrychlení získaná z pravděpodobnostní metody pro 50% pravděpodobnost a dobou opakování 10^5 let	0,97 m.s ⁻²	1,1
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 20 %	1,8
K7d	Výskyt vulkanických hornin paleogenního až holocenního stáří a kyselek	jev se nevyskytuje	1

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

Kapitola hodnotí **perspektivní území pro geologické charakterizační práce** (PÚGChP) pro lokalitu Magdaléna 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 Magdaléna 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 parametr významný 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 Magdaléna nejsou registrována žádná stará (SDD) ani opuštěná (ODD) důlní díla, a nehrozí tedy střet s vylučujícími podmínkami vyhlášky č. 378/2016 Sb. Ve zprávách

zpracovaných v rešeršní technické zprávě Švagera et al. (2015) jsou uvedeny charakteristiky starších mapovacích, geofyzikálních a průzkumných prací (Tab. 11).

Tab. 11 Přehled mapovacích a průzkumných prací pro lokalitu Magdaléna (zdroj: Švagera et al. 2015, zde jsou uvedeny též charakteristiky jednotlivých prací)

lokalita	mapy	grafické přílohy k mapám	zprávy	vrty
Magdaléna	27	18	46	27

7.1.2 Přítomnost zásob nerostných surovin

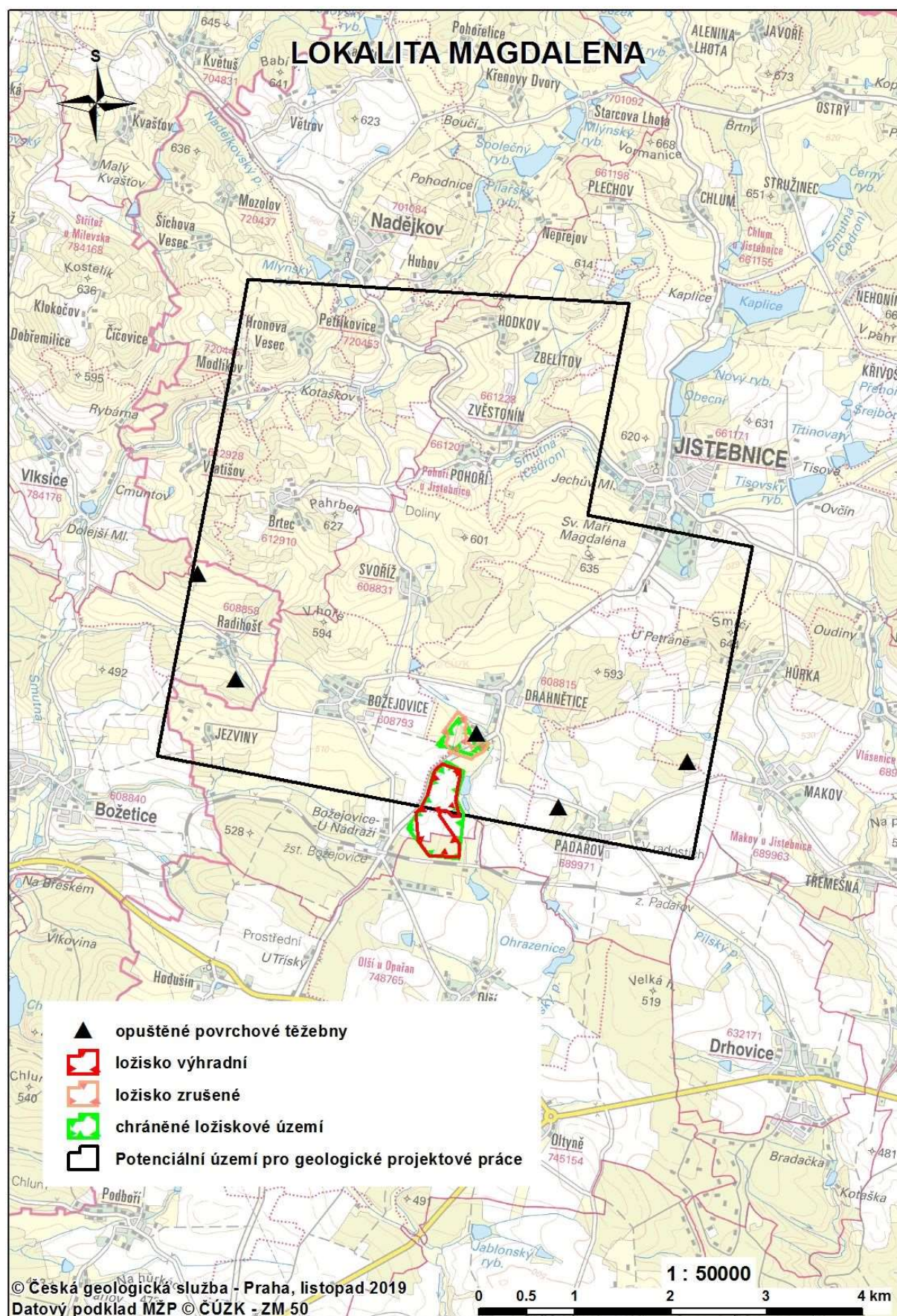
7.1.2.1 Ložisková území

Zdroje nerostů jsou v PÚGChP Magdaléna registrovány ve dvou ložiscích cihlářských surovin (Obr. 10).

Podle § 15 odst. 1 písm. g) vyhlášky č. 378/2016 Sb. existuje v perspektivním území pro geologické charakterizační práce Magdaléna kolize s chráněným ložiskovým územím (CHLÚ). Přes j. okraj tohoto potenciálního území přesahuje asi polovinou plochy CHLÚ cihlářské suroviny **7057200 Drahnětice II.** (stanovené pro výhradní ložisko B 3057200 Drahnětice 2). CHLÚ se rozkládá na k. ú. 608793 Božejovice, 608815 Drahnětice, 748765 Olší u Opařan. Pokrývá prostor zemědělské půdy; jeho výměra je 0,383 km². Má tvar nepravidelného mnohoúhelníku o celkových rozměrech cca 1000×450 m, protaženého generelně ve směru S–J. CHLÚ je stanoveno pro výhradní ložisko B 3057200 Drahnětice 2.

Výhradní ložisko cihlářské suroviny **B 3057200 Drahnětice 2** leží v polích přibližně 1 km jjz. od obce Drahnětice a nebylo dosud využíváno. Má stanoveno CHLÚ 7057200 Drahnětice II. Ložisko je tvořeno kvartérními hlínami uloženými v mírné terénní depresi. Povrch i báze kvartéru má mírně klesající tendenci směrem k V a JV. Mocnosti hlín se pohybují od 2 do 8 m, průměrná mocnost 4,2 m; největší mocnost je ve středu ložiska. Na bázi kvartéru leží v některých částech technologicky nevhodná deluvia podložních pararul a syenitů, která přecházejí pozvolna v jejich eluvia. Hlíny jsou použitelné k výrobě děrovaných, event. i tenkostěnných cihel. Ložiskové vrty nepřesáhly hloubku 10 m, dosáhly na úroveň cca 500 m n. m.

Zrušené ložisko cihlářské suroviny **U 3126500 Drahnětice** se nachází asi 0,5 km jz. od Drahnětic. Ložisko s odepsanými zbytkovými zásobami lemuje opuštěné hliniště a zasahuje i v. přes silnici. Ložisko zaujímá plochu o délce max. 300 m a šířce max. 200 m. Ložisko je tvořeno hlavně kvartérními svahovými hlínami a písčitojílovitými zvětralinami, skrávkou tvoří ornice. Mocnost hlín je nejvyšší v místech bývalé těžebny (až 6 m), směrem do předpolí klesá až na 2 m. Průměrná mocnost v bilančních blocích je 3–4 m. Ložisko je hloubkově omezeno v celém rozsahu prostoru. Podloží je tvořeno silně zvětralými biotitickými pararulami (mocnost zvětralin přes 7,5 m), má generelně úklon od SZ k JV, a na bázi ložiska se vyskytuje poloha písčitojílovitých svahovin. Mocnost kvartéru je nejvyšší v lokálních depresích střední a východní části (4–5 m). Na lokalitě je opuštěné zarostlé stěnové hliniště o rozměrech cca 30×200×4 m. Ložiskové vrty v předpolí hliniště nepřesáhly hloubku 10 m, dosáhly na úroveň cca 519 m n. m.



Obr. 10 Situace ložiskových objektů v perspektivním území pro geologické charakterizační práce PÚGChP Magdaléna a v jeho okolí

7.1.2.2 Drobné těžebny

V souvislosti s ust. § 18 odst. 2 písm. o) vyhlášky č. 378/2016 Sb. byla zjišťována i další místa zdrojů nebo dřívější těžby nerostných surovin. V ploše polygonu se nachází pět těžeben, z nichž jedno hliniště je součástí výše popsaného ložiska. Dvě drobné opuštěné těžebny revidoval Vondra (1971). Asi 2 km v. od kaple v obci Vlksice je v polích zašlý příležitostný jámový lůmek založený v žíle aplitu. Asi 1,1 km od kaple v Božejovicích je opuštěné jámové hliniště o rozměrech asi 20×20×2 m. Těžena byla místy značně písčitá jílovitá svahová hlína. Středa (1971) rekognoskoval těžebny na vých. sousedícím mapovém listu, kde leží tři objekty. Stěnové hliniště jz. od Drahnětic bylo opuštěno, zbytkové zásoby ložiska Drahnědice leží v předpolí. Rekultivované zarostlé stěnové hliniště zsz. od Padařova o rozměrech 60×15×1 m využívalo k výrobě cihel svahové jílovité a písčité hlíny. Skupina pískoven o rozměrech 35-50×15–40 m a hlubokých max. 2,2 m leží na mírné elevaci v polích asi 0,9 km z. od kaple v Makově. Pískovny byly založeny v eluvii syenitů, žul a aplitů. Méně kvalitní slídnatá surovina byla určena pro místní potřebu jako maltařský písek. Ve stejném prostoru jsou uváděny i menší zasucené jámové lomy. V rámci zakázky nebyl současný stav těchto těžeben zjišťován.

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

7.1.3 Přítomnost zdrojů podzemní vody či geotermální energie

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

Pro charakteristiku geotermálního potenciálu území jsou uvedeny dva základní parametry jako vstupní hodnoty pro porovnání specifík každé lokality – tepelný tok na povrchu a teplota v hloubce 500 m pod povrchem, doplněné o obsahy radioaktivních prvků a efekt jejich exotermního rozpadu.

Lokalita Magdaléna leží v území s průměrným tepelným tokem okolo 70 mW.m⁻² (Dědeček et al. 2020). Pokud by se do hloubky 500 m vyskytoval uniformní horninový typ, byl by po odečtu vlivu horninového masivu tepelný tok v dané hloubce nižší přibližně o 2,5 mW.m⁻².

Podle mapy izoterem v hloubce 500 m pod povrchem (Čermák 1979) je zřejmé, že v lokalitě Magdaléna by teplota v této hloubce mohla být nižší než 20 °C. Dle numerické simulace teploty na základě známých parametrů prostředí lze očekávat teploty v rozmezí 20-27 °C. Vzhledem k počtu dostupných vrtů použitých a zjednodušení zavedením průměrných hodnot tepelné vodivosti pro regionální geologické celky je třeba počítat při odhadu tepelného toku se značnou mírou nepřesnosti. Vyšší vypočtené predikce teplot oproti mapě Čermáka (1979) jsou způsobeny nízkou hodnotou naměřené tepelné vodivosti syenitu v odebraných horninových vzorcích.

K teplotní bilanci území přispívá přirozená tepelná produkce hornin díky jejich zvýšené přirozené radioaktivitě, která je pro lokalitu Magdaléna spočítána pro syenity a durbachity (melasyenity). Koncentrace přirozených radioaktivních prvků jsou u všech vzorků poměrně vysoká, což odpovídá obdobným horninovým typům v rámci Českého masivu. Průměrné obsahy radioaktivních izotopů jsou s výjimkou thoria relativně homogenní, přičemž v případě

dosahují eU(Ra) 8,6–9,3 ppm, eTh 25–33,2 ppm a K 5,34–5,48 %. Vyšším koncentracím přirozených radioaktivních prvků odpovídá zvýšená vypočtená průměrná tepelná produkce, která se pohybuje v rozmezí 4,9–5,4 $\mu\text{W}\cdot\text{m}^{-3}$.

Lokalita Magdaléna se nachází pravděpodobně v místě s průměrnou hustotou tepelného toku a vzorky syenitu vykazují vysoké hodnoty tepelné produkce. Naměřené hodnoty tepelné vodivosti byly podstatně nižší než preferovaná hodnota pro horninové prostředí HÚ.

Podle certifikované „Metodiky stanovení podmínek ochrany při využívání tepelné energie zemské kůry“ (Mixa et al. 2015) 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 není pojem „zdroj geotermální energie“ zakotven. Do budoucna je nutno stanovit kritéria, co je za zdroj geotermální energie považováno, jinak lze vždy počítat v tomto parametru s určitou mírou nejistoty.

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

7.2 Kritéria pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ

7.2.1 Indikátor K8a Ložiskové poměry na lokalitě a poddolování

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 Magdaléna

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. 13) se zavedením vyhodnocení dle bodové škály (1–5).

7.3.1 Nejistoty spojené s hodnocenou oblastí

Nejistoty pro sledované tři charakteristiky na lokalitě Magdaléna nejsou definovány ani odůvodněny. Nejistoty ohledně charakteristik, které by mohly vést k narušení úložiště budoucími aktivitami člověka, spadají spíše do okruhu otázek spojených s parametry diskutovanými nyní v rámci jiných kapitol (např. s hydrogeologickými poměry a dosahem

zdrojů podzemních vod), nebo vyplývají z nedostatečně legislativně vymezeného pojmu „zdroj geotermální energie“.

Posuzované parametry ložisková situace, přítomnost zásob nerostných surovin, poddolování a přítomnost zdrojů geotermální energie pro „perspektivní území pro geologické charakterizační práce“ lokality Magdaléna, které mohou mít význam pro budoucí nechtěný průnik člověka do hlubinného úložiště, podle dosavadních znalostí a registrovaných jevů neukazují na možné střety nebo nebezpečí. Byla identifikována pouze nevýznamná povrchová ložiska nerostných surovin. Tato skutečnost nepředstavuje vylučující kritérium pro umístění HÚ.

Po vyhodnocení výše uvedených podkladů lze konstatovat, že na základě všech dostupných dat týkajících se registrovaných dat o ložiskových poměrech, staré důlní zátěži, o poddolování a přítomnost zdrojů geotermální energie zpracovaných v této kapitole nebyla na základě dostupných dat zjištěna vylučující kritéria.

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

Vyhodnocení kritérií „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. 12. Přítomnost významných zdrojů vody je hodnocena v práci Krajíčka et al. (2020).

Tab. 12 Vyhodnocení vylučujících kritérií pro oblast Charakteristiky, které by mohly vést k narušení budoucími aktivitami člověka pro lokalitu Magdaléna. ID je zachováno dle zdroje (Vondrovic et al. 2019)

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

7.3.3 Hodnocení vybraných kritérií pro posouzení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ

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

Vyhodnocení vybraných indikátorů pro kritérium K8 „Charakteristiky, které by mohly vést k narušení úložiště budoucími aktivitami člověka“ na lokalitě Magdaléna, je uvedeno v Tab. 13.

Ve sledovaných parametrech přítomnost zásob nerostných surovin a poddolování jsou indicie jednoznačně nevýznamné a negativní.

Tab. 13 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 Magdaléna

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

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

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

V tabulce Tab. 14 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. 14 Výsledné vyhodnocení vylučujících kritérií z hlediska dlouhodobé bezpečnosti pro lokalitu Magdaléna

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 Magdaléna nebyla identifikována žádná vlastnost, které by ji vylučovala pro umístění HÚ.

Citace a seznam literatury

- ANDERSSON J., STRÖM A., SVEMAR C., ALMÉN K.-E., ERICSSON L. E. (2000): What requirements does the KBS-3 repository make on the host rock? Geoscientific suitability indicators and criteria for siting and site evaluation. – SKB Technical Report TR-00-12, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company, Stockholm, Sweden, 148 s.
- BALATKA B., KALVODA J. (2008): Evolution of Quaternary river terraces related to the uplift of the central part of the Bohemian Massif. – *Geografie – Sborník České geografické společnosti*, 113, Praha, 205–222.
- ČERNÝ M., KRÁLOVCOVÁ J., UHLÍK J., MILICKÝ M., GVOŽDÍK L., CHUDOBA J., ŘÍHA J., RUKAVIČKOVÁ L. (2018): Hydrogeologické modely horninového prostředí pro hlubinné úložiště, pasport detailního modelu – lokalita Magdaléna. – MS SÚRAO, TZ 335/2018, Praha.
- ČERNÝ M., UHLÍK J., MILICKÝ M., GVOŽDÍK L. (2020): Pasport aktualizovaného detailního hydraulického modelu. Lokalita Magdalena. – MS SÚRAO, Technická zpráva v přípravě, Praha
- ČERMÁK V. (1979): Geothermal studies and heat flow map of Czechoslovakia. – Čermák V. (ed): *Geodynamic investigations in Czechoslovakia. – Final Report*, Věda, Bratislava, 129–132.
- DĚDEČEK P., UXA T., HOLEČEK J. (2020): Geotermické zhodnocení potenciálních lokalit HÚ na základě dostupných údajů. – MS SÚRAO, TZ 486/2020.
- DOBEŠ M., POKORNÝ L. (1988): Gravimetry applied to the interpretation of the morphology of the Čertovo Břemeno durbachite body in the Central Bohemian Pluton. – *Věst. Ústř. Úst. geol.*, 63, 129–135.
- 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.
- 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., JELÉNEK J., JELÍNEK J., KACHLÍKOVÁ R., KALÁB Z., KLAJMON M., KOLOMÁ K., KRÁLOVCOVÁ J., KOUŘIL M., KRYŠTOFOVÁ E., KUNCEOVÁ E., MARYŠKA J., MILICKÝ M., NÝVLT D., ONDRA P., PACHEROVÁ P., POLÁK M., RAPPRICH V., RUKAVIČKOVÁ L., SEDLÁČKOVÁ I., SOEJONO I., STEINOVÁ J., SVOBODA J., ŠÍR P., ŠVAGERA O., VAŠÍČEK R., VAVRO M., VOPÁLKA D., UHLÍK J., ZEMAN J., ZEMAN O. (2018h): Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště. Hodnocení vhodnosti lokality pro umístění úložiště VJP a RAO z hlediska dlouhodobé bezpečnosti. Lokalita EDU-západ. – MS SÚRAO, TZ 279/2018, 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.
- HOLUB F. V. (1997): Ultrapotassic plutonic rocks of the durbachite series in the Bohemian Massif: Petrology, geochemistry and petrogenetic interpretation. – Sbor. geol. věd, ser. Ložisková geologie, mineralogie, 31, 5–25.
- HROCH T., PAČES T. (2015): Erozní stabilita lokalit. – MS SÚRAO, TZ 25/2015, Praha.
- CHÁB J., STRÁNÍK Z., ELIÁŠ M. (2007): Geologická mapa České republiky 1 : 500 000. – Čes. geol. služba. Praha.
- CHLUPÁČ I., ŠTORCH P. (1992): Regional division of the Bohemian Massif in Czech Republic. – Report of 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.
- 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.
- 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.

- 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.
- MÍSAŘ Z., DUDEK A., HAVLENA V., WEISS J. (1983): Regionální geologie ČSSR I. – Státní pedagogické nakladatelství, 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., SOEJONO I., VERNER K., ŽÁČEK V. (2019): Shrnutí výsledků geologických a geofyzikálních výzkumných prací provedených v období 9/2017–6/2019 pro aktualizaci hodnocení potenciálních lokalit hlubinného úložiště RAO. – MS SÚRAO, TZ 412/2019, Praha, 427 s.
- MUFFELS C., WANG X., TONKIN M., NEVILLE C. (2014): User's Guide for mod-PATH3DU. S.S. Papadopoulos & Associates Inc., Bethesda, Ontario, USA.
- NIKL P., GÜRTLER R. (2019): Ověření geologických struktur lokality Magdaléna geofyzikálními metodami. Závěrečná zpráva. – MS SÚRAO, TZ 437/2019, 68 s.
- NÝVLT D. (2008): Paleogeografická rekonstrukce kontinentálního zalednění Šluknovské pahorkatiny. – Ph.D. teze, Univerzita Karlova v Praze, Praha, 103 str.
- PAČES T., BÁRTA J., BREITER K., DOBEŠ P., HANÁK J., HAVLOVÁ V., HOLEČEK J., KLOMÍNSKÝ J., LAUFEK F., KOPAČKOVÁ V., KRÁLOVCOVÁ J., LUKEŠ J., MÁLEK J., MARYŠKA J., MRÁZOVÁ Š., PROCHÁZKA J., RUKAVIČKOVÁ L., SEDLÁČEK J., SCHENK V., SIDORINOVÁ T., SKARKOVÁ H., ŠAFANDA J., ULRICH S., VESELOVSKÝ F., VOKÁL A., ZÁRUBA J., ZEMAN A. (2010): Výzkum procesů pole vzdálených interakcí HÚ vyhořelého jaderného paliva a vysoce aktivních odpadů. – (arch. č. SÚRAO 32/10), SÚRAO, Praha.
- PERTOLDOVÁ J., MIXA P., BUKOVSKÁ Z., BURIÁNEK D., DUDÍKOVÁ B., FRANĚK J., HRDLÍČKOVÁ K., NAHODILOVÁ R., SOEJONO I., VERNER K., ŽÁČEK V., PETYNIÁK O., KUČERA R., ŽÁČKOVÁ E., FIFERNOVÁ M., ZEMKOVÁ M. (2019): Lokalizace perspektivních území po geologické charakterizační práci a perspektivních území pro projektové práce HÚ. Důvodová zpráva. – MS SÚRAO, TZ 446/2020, Praha.
- SCHALLER M., VON BLANCKENBURG F., HOVIUS N., KUBIK P. W. (2001): Large-scale erosion rates from in situ-produced cosmogenic nuclides in European river sediments. – Earth Planet. Sci. Lett., 188, 441–458.
- STŘEDA J. (1971): Inventarisace ložisek stavebních nerostných surovin. Dílčí zpráva pro území listu mapy 1:50 000 M-33-C (Tábor). – Geoindustria Praha, MS ČGS, Praha.
- SUK M., BERNARD J. H., KODYM O. JUN., LÍBALOVÁ J., MALECHA A., SKOŘEPA J., STŘÍDA M., ŠALANSKÝ K., ŽEBERA, K. (1970): Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1:25 000, list 22–243 Bernartice. – ÚÚG, Praha.

- 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.
- TOMAS J., HOLÁSEK O., HORÁKOVÁ V., JAKEŠ P., LÍBALOVÁ J., MRŇA F., ODEHNAL L., SKOŘEPA J., STŘÍDA M., SUK M., ŠALANSKÝ K., ZIKMUND J. (1986): Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1:25 000, list 22–241 Milevsko. – ÚÚG, Praha.
- TOMAS J. ET AL. (1987): Základní geologická mapa 1 : 25 000, geologická mapa 22–241 Milevsko – Česká geologická služba, 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.
- VONDRA J. (1971): Inventarisace ložisek stavebních nerostných surovin. Dílčí zpráva pro území listu mapy 1:50 000 M-33-89-D (Milevsko). Geoindustria Praha. – MS Čes. geol. služ. – Geofond. 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. – MS SÚRAO, Praha.
- ZAHRADNÍK O. (2019): Doplněk ke studiím umístitelnosti HÚ v kandidátních lokalitách, Závěrečná zpráva. – MS SÚRAO, TZ 442/2019.
- ŽÁK J., HOLUB F. V., VERNER K. (2005): Tectonic evolution of a continental magmatic arc from transpression in the upper crust to exhumation of mid-crustal orogenic root recorded by episodically emplaced plutons: The Central Bohemian Plutonic Complex (Bohemian Massif). – International Journal of Earth Sciences, 94, 385–400.

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 for Radioactive Waste, No. SSG-14, Pub. 1483. – 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)



SÚRAO

SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ
RADIOAKTIVNÍCH
ODPADŮ

NAŠE
BEZPEČNÁ
BUDOUCNOST

info@surao.cz | www.surao.cz