

## Studie proveditelnosti a využitelnosti geotermální energie v lokalitě Karvinsko – Pohornická krajina (POHO) – oblast Smart park

### Autorský tým:

RNDr. Vladimír Opletal PhD., Ing. Gitta Wahl, Dr. Jörg Baumgärtner  
Ing. Petr Kopečný, Ing. Jan Duroň, Mgr. Jan Juříček, Mgr. Jitka Petřelková

## Obsah

Obsah .....	1
<b>Manažerské shrnutí</b> .....	<b>3</b>
<b>Geologické posouzení hlubší geologické stavby lokality Pohornické krajiny Karvinska (POHO) – oblast Smart park pro studii hydrotermálního využití tohoto území</b> .....	<b>5</b>
1. Úvod .....	5
2. Zhodnocení dat dostupných v archivu Geofondu a zhodnocení dalších zdrojů informací o studované oblasti – zjištění dostupnosti zdrojů geologických dat .....	6
3. Zhodnocení hluboké geologické stavby oblasti na základě dříve publikovaných dat .....	11
3.1 Neogenní sedimenty .....	12
3.2 Paleozoické sedimenty .....	14
3.2.1 Uhlonosný karbon .....	14
3.2.2 Spodní karbon .....	19
3.2.3 Karbonátový vývoj devonu a spodního karbonu .....	21
3.2.4 Paleozoická bazální klastika .....	22
3.3 Krystalinikum .....	22
3.4 Odhad hlubší geologické stavby v oblasti POHO na základě extrapolace dat z oblasti jihovýchodních svahů ČM a dalších relevantních částí východního okraje ČM .....	22
4 Teplotní profily vrtů v širší oblasti a geotermální gradient oblasti .....	28
4.1 Tepelný tok .....	28
4.2 Archivní údaje o teplotních profilech vrtů a geotermálním gradientu oblasti zjištěné z vrtného průzkumu oblasti .....	30
4.3 Teplotní měření v průzkumných vrtech v důlním díle Dukla .....	36
4.4 Tepelný tok v hornoslezské uhelné pánvi .....	38
5 Potencionální kolektorské horniny pro hydrotermální využití zastížené v karvinské oblasti vrtným a důlním průzkumem (výběr a zhodnocení základních parametrů) .....	41
5.1 Geochemické složení ložiskových vod oblasti .....	42
6 Potencionální kolektorské horniny, pro které nejsou přímá data ve studované oblasti s extrapolací dat z oblastí analogických na Jižní Moravě (zhodnocení základních parametrů) ..	43
6.1 Chemismus vod v karbonátech spodního karbonu až devonu v oblasti JVSČM .....	47
7 Regionální napěťové pole .....	48
8 2D seismické měření v oblasti .....	51
9 Souhrn hodnocení dostupných geologických dat a hlubší geologické stavby lokality Pohornické krajiny Karvinska .....	53
9.1 Vrty - Stratigrafie – Litologie .....	53
9.2 Potencionální kolektorské horniny .....	53
9.3 Vlastnosti kolektorských hornin (porozita, propustnost, intenzita přítoku) .....	53
9.4 Tepelný tok a teplotní data oblasti .....	54
9.5 2D seismické měření .....	54
9.6 Měření napětí .....	54

9.7	Chemie ložiskových vod .....	54
10	Legislativní aspekty geotermálního projektu v ČR .....	55
10.1	Úvod .....	55
10.2	Přípravná fáze .....	56
10.3	Realizační fáze .....	60
10.4	Závěr .....	60
	<b>Zpracování koncepčního modelu pro přípravu geotermálního projektu .....</b>	<b>61</b>
11	Úvod .....	61
12	Shrnutí části Geologické posouzení Geologické posouzení hlubší geologické stavby lokality Pohornické krajiny Karvinska (POHO) – oblast Smart park pro studii hydrotermálního využití tohoto území.....	62
13	Zpracování koncepčního modelu .....	66
13.1	Koncepce využití včetně variant.....	66
13.2	Posouzení technických variant.....	69
13.3	Výměník tepla pro jeden vrt .....	75
13.4	Ekonomické posouzení technických variant .....	78
13.5	Návrh konstrukce vrtu.....	81
13.5.1	Cíle.....	81
13.5.2	Předběžné schéma vrtu.....	83
13.5.3	Požadavky na vrtné pracoviště.....	86
13.5.4	Požadavky na vrtnou soupravu .....	88
13.5.5	Výplachový systém .....	88
13.6	Odhad nákladů na odvrtání vrtu .....	90
13.7	Časový harmonogram .....	93
13.8	Analýza rizik.....	94
13.8.1	Obecná rizika spojená s geotermální technologií .....	94
13.8.2	Specifická rizika související s vrtáním .....	96
13.9	Analýza seismických rizik .....	98
14	Závěr a doporučení pro další kroky.....	106
15	Seznam obrázků: .....	109
16	Seznam tabulek: .....	112
17	Seznam zkratk .....	113
18	Literatura:.....	114

## Manažerské shrnutí

Pro vyhodnocení geologických podmínek pro hlubinné využití geotermální energie v zájmové lokalitě jihozápadně od města Karviná bylo provedeno detailní hodnocení dat z dostupných zdrojů.

Na základě rozsáhlé studie příslušných dostupných geologických údajů (část I studie) se zdá, že devonské až spodnokarbonské karbonáty v hloubkách pod cca 3150 m vykazují určitý potenciál pro geotermální využití. Vzhledem k tomu, že hluboké vrty ve zkoumané oblasti na Karvinsku obecně nedosahují dostatečné hloubky, a tak nedosáhly a přímo neprokázaly tento paleozoický karbonátový systém v hloubkách pod 1800 m (což jsou hloubky, které dosahují nejhlubší vrty ve zkoumané oblasti), byla geologie v tomto hlubším úseku extrapolována za pomoci výsledků z jiných částí variského orogenního systému při okraji Českého masivu na jižní a střední Moravě. Je však zjevné, že takováto extrapolace stratigrafie, mocností a také kolektorských vlastností zájmových geologických jednotek může být velmi nepřesná. Tato skutečnost se odráží v poměrně vysokém riziku úspěchu potenciálního průzkumného vrtu, i když regionální geologická data naznačují existenci standardní paleozoické sekvence včetně devonského a spodnokarbonského karbonového systému pod svrchnokarbonskými ložisky hornoslezské uhelné pánve (Dopita 1997, Chlupáč 2002). Extrapolace teplotních dat získaných z regionálních studií a ze závěrečných zpráv průzkumných vrtů a důlních děl v oblasti do hloubek kolem 4,5 km indikuje mírně nadprůměrný tepelný gradient. Pro výrobu elektrické energie z geotermálních zdrojů se doporučují teploty vyšší než 120°C. Údaje o potenciální teplotě z literatury se poměrně liší. Konzervativní přístup k teplotním datům z Karvinska lokalizuje teploty nad 120°C přibližně v hloubce 3,5 až 4 km.

Nutno podotknout, že k dnešnímu dni neexistují žádná potvrzená geologická nebo geotermální data z hlubšího podloží (> 3 km) na Karvinsku, neboť hloubky stávajících vrtů dosahují maximálních hloubek cca 1800 m.

V rámci této studie je představen předběžný návrh konstrukce vrtu pro 4 km hluboký průzkumný vrt. Z hlediska návrhu by se tento vrt mohl dále využít a stát se jedním z vrtů budoucího geotermálního projektu. Související analýza rizik identifikovala jako hlavní rizikové faktory existenci neznámých opuštěných těžebních struktur, možnost nedostatečně produktivního vrtu, riziko vyvolání mikroseizmických událostí, finanční riziko a riziko udržitelnosti. Pro každé z těchto rizik jsou uvedeny opatření k jejich zmírnění. Kromě toho bylo provedeno první vyhodnocení možných nákladů na takový projekt. Dále bylo provedeno posouzení různých možností využití geotermální energie v jejich různých formách. Z předloženého ekonomického hodnocení docházíme k závěru, že na základě současných poznatků o hlubší stavbě karvinského území je třeba uvažovat o dvou různých geotermálních systémech:

- a) o geotermálním vrtu s připojeným systémem dálkového vytápění
- b) pokud to teploty a průtoky umožňují, o kombinované výrobě tepla a elektřiny (CHP) v paralelní konfiguraci, což umožňuje maximální flexibilitu při přechodu mezi výrobou energie a tepla.

V případě, že by první vyvrtaný průzkumný vrt byl suchý, je prezentována varianta instalace výměníku tepla v takovém vrtu jako záložní plán pro další využití.

Doporučení pro další kroky geotermálního projektu v Karviné se zaměřují na hloubkovou geofyzikální průzkumnou kampaň včetně 2D nebo 3D seismické kampaně k prokázání přítomnosti paleozoického karbonátového systému a ke zmírnění rizik nepřesnosti v extrapolaci hloubky uložení a celkové mocnosti této jednotky. Výsledkem této průzkumné kampaně by měl být vylepšený geologický model podložních jednotek a také lepší poznání hluboké tektonické

stavby oblasti s důrazem na výskyt zlomů nebo zlomových zón, které mohou výrazně navýšit celkové propustnosti daného horninového celku. Ve studii je představeno a diskutováno několik geofyzikálních metod vhodných pro další průzkum oblasti.

# Geologické posouzení hlubší geologické stavby lokality Pohornické krajiny Karvinska (POHO) – oblast Smart park pro studii hydrotermálního využití tohoto území

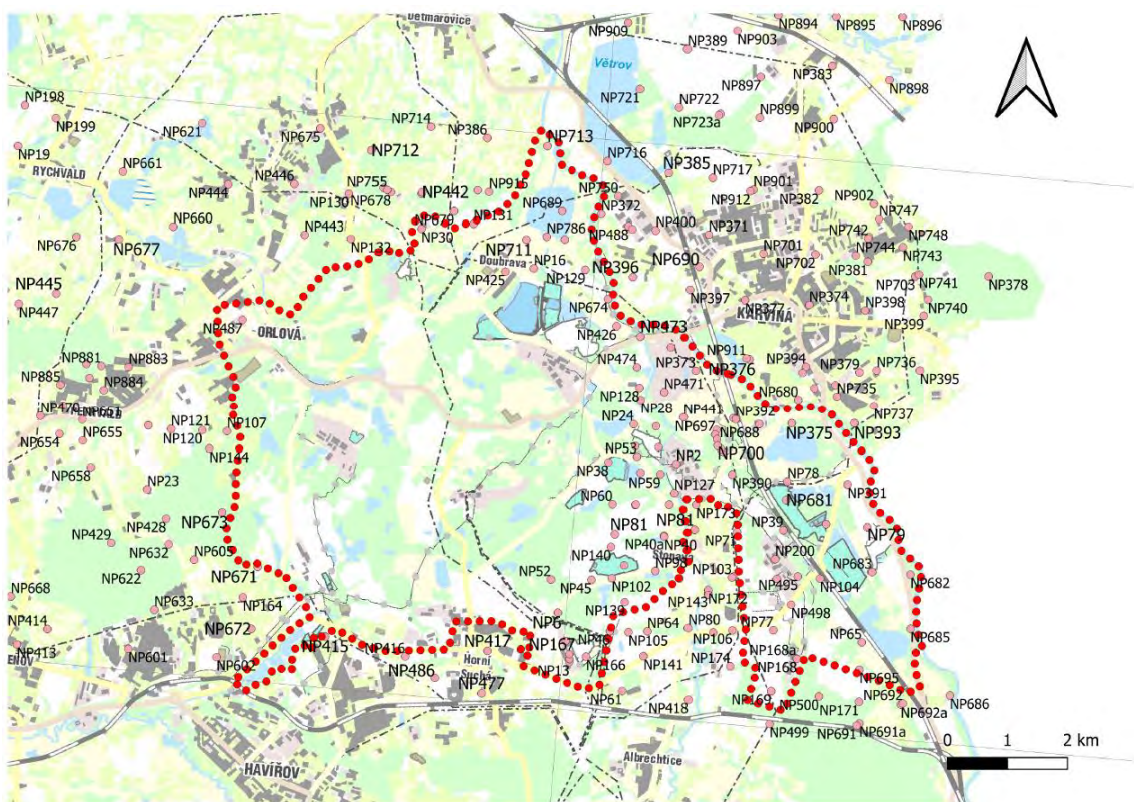
## 1. Úvod

Cílem první dílčí zprávy zhodnocení geotermálního potenciálu v oblasti pohornické krajiny (POHO) v okolí Karviné je zejména zhodnocení dostupných geologických dat oblasti. Z tohoto datového souboru je hodnocena hluboká geologická stavba oblasti, vymezení kolektorských hornin potenciálně vhodných pro geotermální využití a také zhodnocení teplotních poměrů celé oblasti, které je pro budoucí využití hydrotermální energie klíčové. Pro výsledné odhadované hloubky stratigrafických profilů v oblasti byla použita veřejně dostupná data a data extrapolovaná z ostatních částí východního okraje Českého masivu, jelikož data z hlubší části paleozoického patra nejsou v oblasti známa. Lokální detailní tektonická stavba nebyla s ohledem na její komplexnost v této dílčí zprávě zpracována, ale doporučuje se v případě návržení průzkumného vrtu vzít ji v potaz při tvorbě projektu geologických prací zvláště v součinnosti s vyhodnocením případného nového seismického měření zaměřeného na hlubší stavbu oblasti.

## 2. Zhodnocení dat dostupných v archivu Geofondu a zhodnocení dalších zdrojů informací o studované oblasti – zjištění dostupnosti zdrojů geologických dat

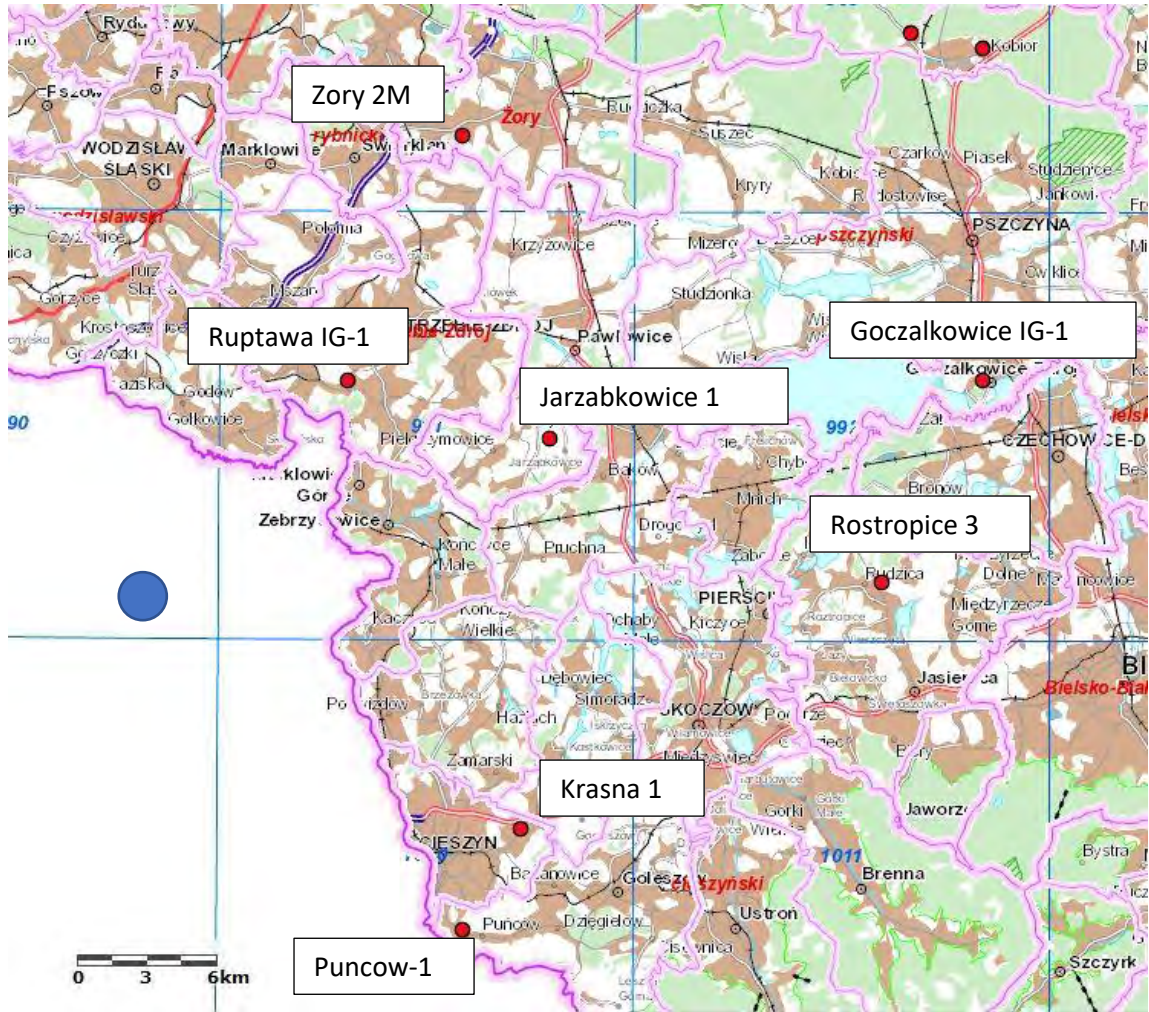
Veškerá data ke studované oblasti byla získána z veřejně dostupných publikací a z archivu Geofondu ČGS (Česká geologická služba). Data obsažená v archivu geofondu byla získána z několika dostupných zdrojů. 1. On-line mapové vrstvy dostupné na webových stránkách ČGS ([www.geology.cz](http://www.geology.cz)); 2. Archivní zprávy v digitální podobě dostupné v on-line verzi databáze archivu zpráv a posudků (<http://www.geology.cz/app/asgi/>); 3. Složky vrtů a archivní zprávy dostupné fyzicky v archivu Geofondu v Praze.

Z webového rozhraní byla získána většina dat týkající se lokalizací průzkumných území a průzkumných vrtů. Většinou zde v kombinaci s archivními vrtnými zprávami byla získána také data o litologii na jednotlivých vrtech v okolí zpracovávané oblasti (Obr. 1 - Vrty v okolí studované oblasti).



**Obr. 1 - Hluboké průzkumné vrty ve studované oblasti s vyznačením POHO území (vyznačeno červenou tečkovanou čarou). (<http://www.geology.cz/app/asgi/>)**

Jelikož vrty v okolí Karviné jsou odvrtny spíše do menších hloubek do cca 1900 m (NP 910) byly studovány také hlubší vrty na polském území. Výsledky polských vrtů byly získány z mapového serveru Polského geologického institutu a jsou shrnuty v Tabulce 1. Jejich pozice jsou potom znázorněny na Obr. 2. V tabulce jsou kromě hloubek, konečné stratigrafie a roku vrtání také uvedena interní čísla CBDG (centrální geologická databáze) a archivní číslo CAG PIG.



Obr. 2 - Mapa s vyznačením hlubokých průzkumných vrtů na polské straně  
(<http://otworywiertnicze.pgi.gov.pl/>)



Mapový list	Název vrtu	Konečná hloubka vrtu	Hloubky báze [m]	Litostratigrafie	Stratigrafie
Karviná	NP 374	1470,50	773	slín	baden sp,
			916,5	bazální klastika	baden sp,
			947,7	báze zvětralinového pláště	
			983,65	karvinské s,	namur B - vestfal A
			1103,9	sušské v,	namur C - vestfal A
			1361,7	sušské v,	namur C - vestfal A
Karviná	NP 382	1600,1	1470,5	produktivní karbon	namur A - vestfal A
			832,8	slín	baden sp,
			984	bazální klastika	baden sp,
			1089	báze pestrých vrstev	
			1021	karvinské s,	namur B - vestfal A
			1146,5	sušské v,	namur C - vestfal A
Karviná	NP 396	1757,20	1180	pokles	
			1344,8	sušské v,	namur C - vestfal A
			1600,1	produktivní karbon (obecně)	namur A - vestfal A
			454,5	jíl	baden sp,
			487,9	bazální klastika	baden sp,
			956,4	karvinské s,	namur B - vestfal A
Karviná	NP 902	1775,80	1049,8	sušské v,	namur C - vestfal A
			1297,25	sušské v,	namur C - vestfal A
			1589,78	sedlové v,	namur B
			1589,78	vrstvy sloje Prokop	namur A
			1757,2	ostravské s,	namur A
			1012	bazální klastika	baden sp,
Petrovice u K.	NP 891	1795,30	1018,7	báze pestrých vrstev	baden
			1033,9	báze zvětralinového pláště	namur B - vestfal A
			1018,7	karvinské s,	namur B - vestfal A
			1071	karvinské s,	namur B - vestfal A
			1183,5	sušské v,	namur C - vestfal A
			1455,1	sušské v,	namur C - vestfal A
			1490	pokles	
			1725,7	sedlové v,	namur B
			1725,7	vrstvy sloje Prokop	namur A
			1775,8	ostravské s,	namur A
			Petrovice u K.	NP 895	1847,7
965,9	karvinské s,	namur B - vestfal A			
755	karvinské s,	namur B - vestfal A			
1073,6	vrstvy sloje Prokop	namur A			
1215	pokles				
1680	pokles				
Petrovice u K.	NP 910	1900,1	1682	porubské v,	namur A
			1795,3	ostravské s,	namur A
			790,5	báze zvětralinového pláště	
			825	karvinské s,	namur B - vestfal A
			945	pokles	
			1098	vrstvy sloje Prokop	namur A
Petrovice u K.	NP 910	1900,1	1650	pokles	
			1715,8	porubské v,	namur A
			1740	pokles	
			1847,7	ostravské s,	namur A
			853,8	bazální klastika	baden sp,
			909,1	karvinské s,	namur B - vestfal A
Petrovice u K.	NP 910	1900,1	980	pokles	
			1173,7	vrstvy sloje Prokop	namur A
			1830	pokles	
			1833	porubské v,	namur A
			1900,1	ostravské s,	namur A

Tabulka 1 - Vybrané vrty z české části studované oblasti s hloubkami litostratigrafických rozhraní (<http://www.geology.cz/app/asgi/>)

Název vrtu	Hloubka	Stratigrafie v konečné hloubce	Rok vrtání	Č. CBDG	Archivní číslo vrtu
GOCZAŁKOWICE IG-1	3353	Ediacaran	1973	110742	118472
JARZĄBKOWICE 1	4028	Devonian	1993	23808	133734
KRASNA 1	2892	Lower Paleozoic	1992	23807	133226
PUŃCÓW-1	2326	Devonian	1955	111320	61579
ROZTROPICE 3	2121	Paleozoic	1996	119758	134029
RUPTAWA IG-1	2485	Namurian	1987	23782	131376
ŽORY 2M	2099	Carboniferous	1997	119838	134108

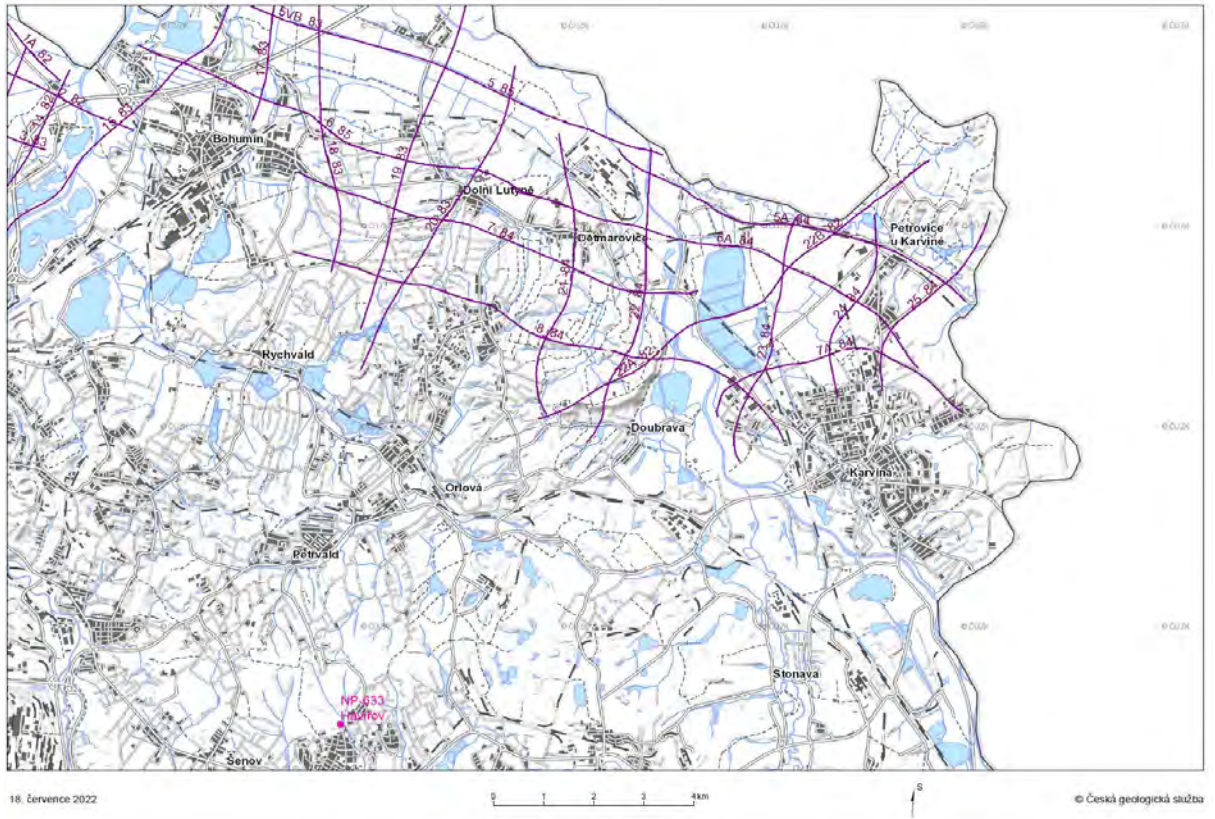
**Tabulka 2 - Polské vrty s hloubkou větší než 2000 m v blízkosti studované oblasti**  
[\(http://otworywiertnicze.pgi.gov.pl/\)](http://otworywiertnicze.pgi.gov.pl/)

2D Seismická data jsou dostupná v blízkém okolí studované oblasti pouze pro průzkumné území Dětmárovice – Petrovice (Zpráva o reflexně-seismickém průzkumu OKR (Ostravsko – karvinský revír) – oblast Dětmárovice – Petrovice (Suchomelová et al. 1986 v papírové podobě). Mapa dostupných seismických profilů je na Obr. 3. Byla získána tištěná forma v časové doméně zpracovaných seismických profilů č. 5A/84, 6A/84, 7/84, 7A/84, 8/84, 21/84, 22/84, 23/84, 24/84, 25/84, 22A/84 a 22B/84 a v hloubkové doméně zpracovaných profilů č. 5A/84, 6A/84, 7/84, 7A/84, 8/84, 21/84, 22/84, 23/84, 24/84, 25/84.

Hlavními archivními zprávami obsahujícími informace o teplotních poměrech geologických jednotek oblasti, stratigrafii a hydrogeologii jsou následující zprávy:

- Výpočet zásob černého uhlí dolu Dukla, O.Z. Havířov, dobývací prostor dolní Suchá, stav k 1.1.1989 (Burel et al. 1989) – GF FZ006295
- Likvidační výpočet zásob černého uhlí v dobývacích prostorech Dolní Suchá a Petřvald I č. 2/0032 OKD a.s. Dukla – útlum ložiska, stav k 1.1.2007 (Nevlud 2007) – GF FZ007106
- Výpočet zásob černého uhlí dolu 1.Máj. K.P. Karviná, závod (Mír) k 1.1.1986 (Burel et al. 1986) – GF FZ006187
- Výpočet zásob černého uhlí v dobývacím prostoru Karviná – Doly II, část Gabriela, OKD a.s., Důl Darkov, stav k 1.1.2010 (Filip et al. 2010) – GF FZ007109
- Výpočet zásob černého uhlí dolu 1. Máj (Barbora) k 1.1.1985 (Burel et al. 1985) – GF FZ006133
- Výpočet zásob hořlavého zemního plynu na ložiscích české části hornoslezské pánve. Stav k 1.1.2010 (Nevlud 2010) – GF FZ007074
- Doplněk k výpočtu zásob černého uhlí v DP Karviná doly I se stavem k 1.1.2005, hodnotící zásoby na ložisku v hloubkovém vymezení – 1000 m Bpv až -1400 m Bpv se stavem k 1.7.2008 (Nevlud 2008) – GF FZ007057
- Výpočet zásob průzkumného pole Dětmárovice – Petrovice (Prokop I. a Strakošová O. 1967) GF FZ004986
- Řádný výpočet uhelných zásob se stavem k 1.1.1974 OKD Důl Československá armáda, národní podnik v Karviné 2 – doly (Švábík C. 1974) – GF FZ005255
- Výpočet zásob Nového Pole ČSA. Surovina – černé uhlí. Etapa – předběžná (Strakošová 1981) – GF PO024743
- Výpočet zásob černého uhlí v dobývacím prostoru Karviná Doly I hodnotící zásoby na ložisku do hloubky -1000 Bpv. Se stavem k 1.1.2005 (Filip et al. 2005)
- Nové pole ČSA, etapa předběžná, surovina černé uhlí (Strakošová O. 1981) – GF FZ005836

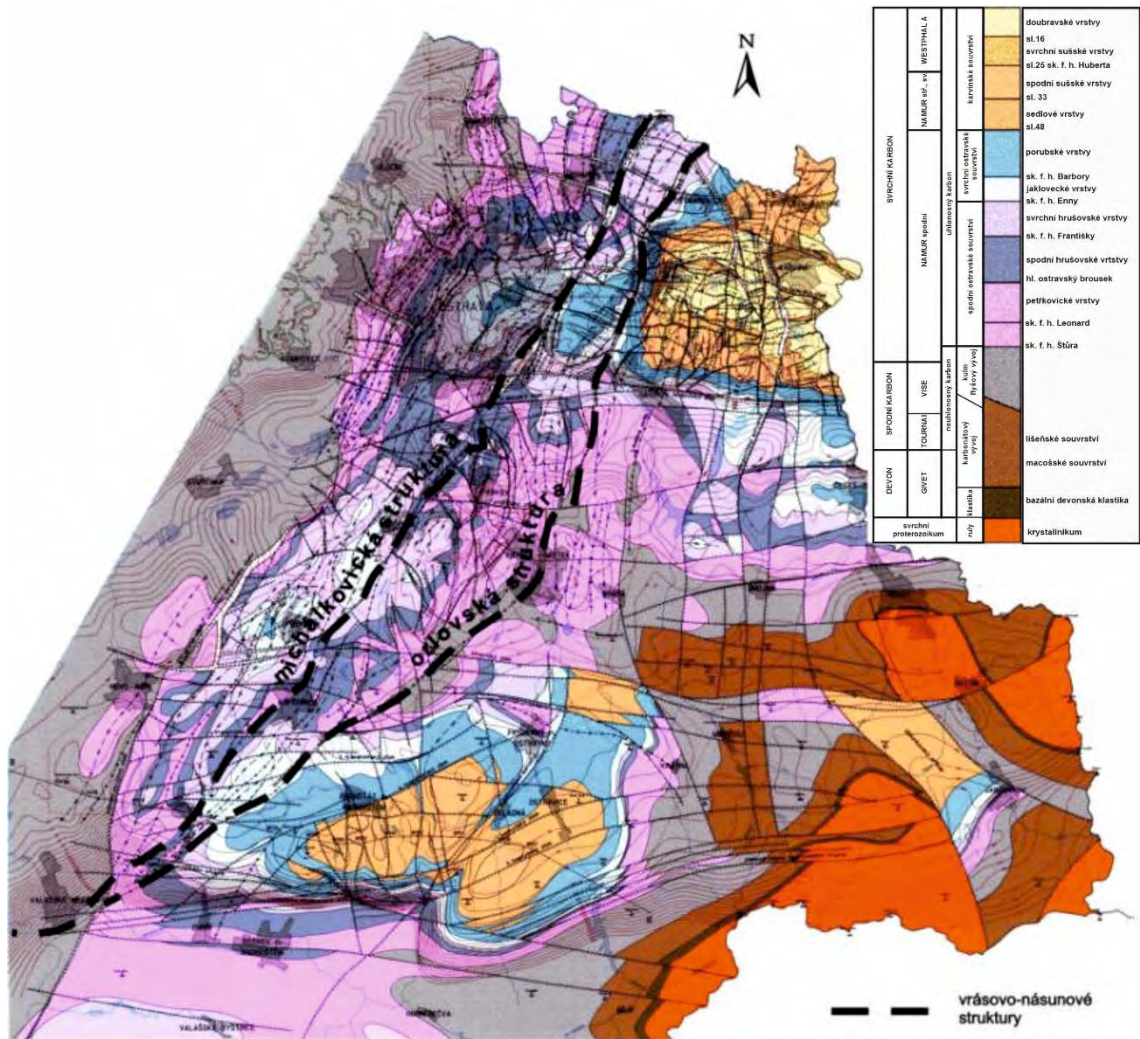
Další datové zdroje a publikace použité v této zprávě jsou řádně citovány na jejím konci.



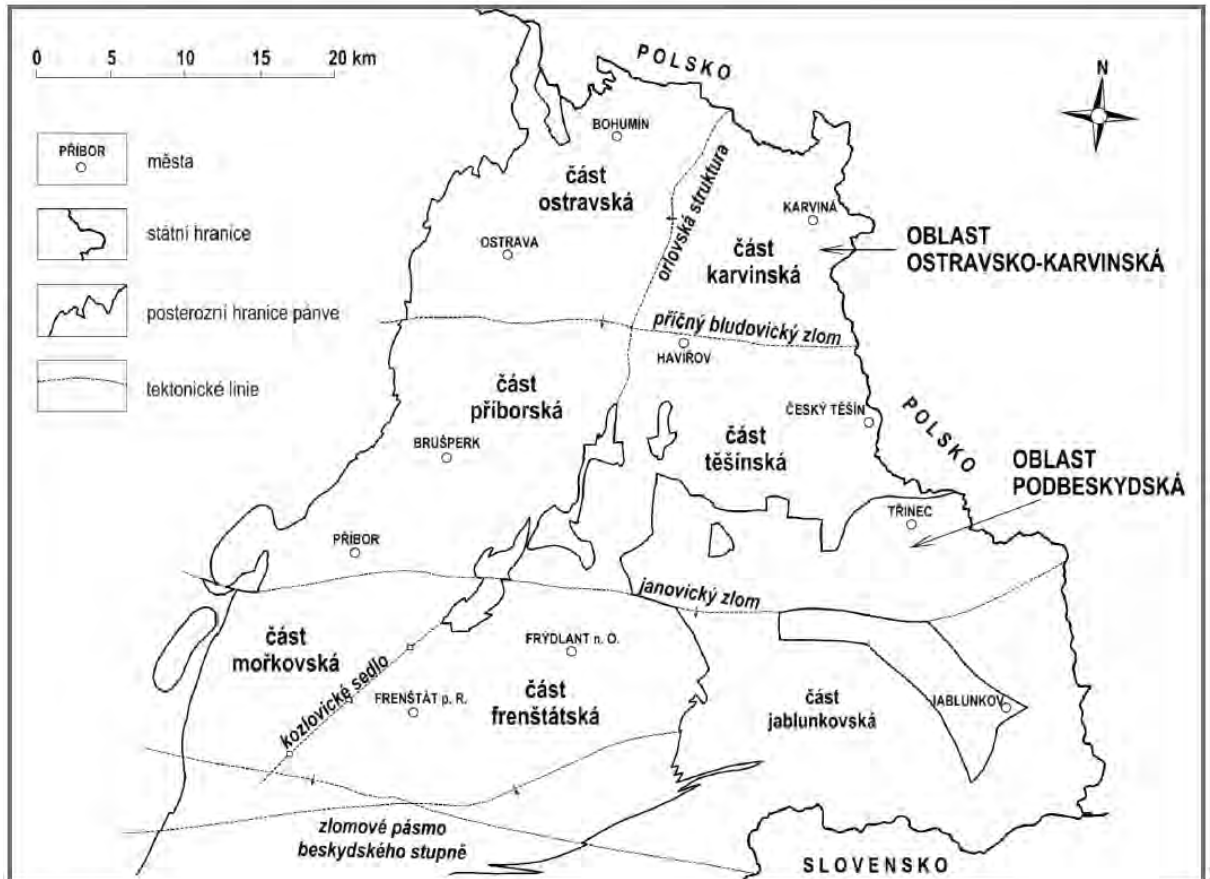
**Obr. 3 – Mapa s vyznačením 2D seismických profilů severně od studované oblasti POHO (www.geology.cz)**

### 3. Zhodnocení hluboké geologické stavby oblasti na základě dříve publikovaných dat

Studovaná oblast náleží převážně ke karvinské části hornoslezské uhelné pánve, která tvoří sedimentační prostor přibližně trojúhelníkového tvaru, který svým JZ výběžkem zasahuje z Polska na naše území. Podloží pánve je tvořeno brunovistulíkem s paleozoickým pokryvem. Samotná výplň pánve je tvořena klastickými svrchnokarbonskými sedimenty s hojným výskytem uhelných slojí. Jedná se o sedimenty paralické a kontinentální molasy prostorově se částečně překrývající s nejmladšími flyšovými jednotkami. Směrem od čela variské deformační fronty, která je zde tvořena michálkovickou a orlovskou strukturou (Obr. 4) mocnost pánve prudce klesá na první stovky metrů. Studovaná oblast náleží do karvinské části hornoslezské pánve vymezené na východě orlovskou strukturou a na jihu oddělené od oblasti těšínské příčným bludovickým zlomem (Obr. 5). Jednotlivé sedimentární sledy jsou v následujícím textu popsány od hornin nadložních tvořených převážně neogenními sedimenty směrem do hlubších částí s vyššími očekávanými teplotami až do krystalinického podloží celé pánve. Lokální tektonická stavba s ohledem na její komplexnost, lokální proměnlivost a také nedostatek dat k hlubší části paleozoického patra nebyla detailně studována.



Obr. 4 – Odkrytá geologická mapa české části hornoslezské pánve (Dopita et al. 1997)

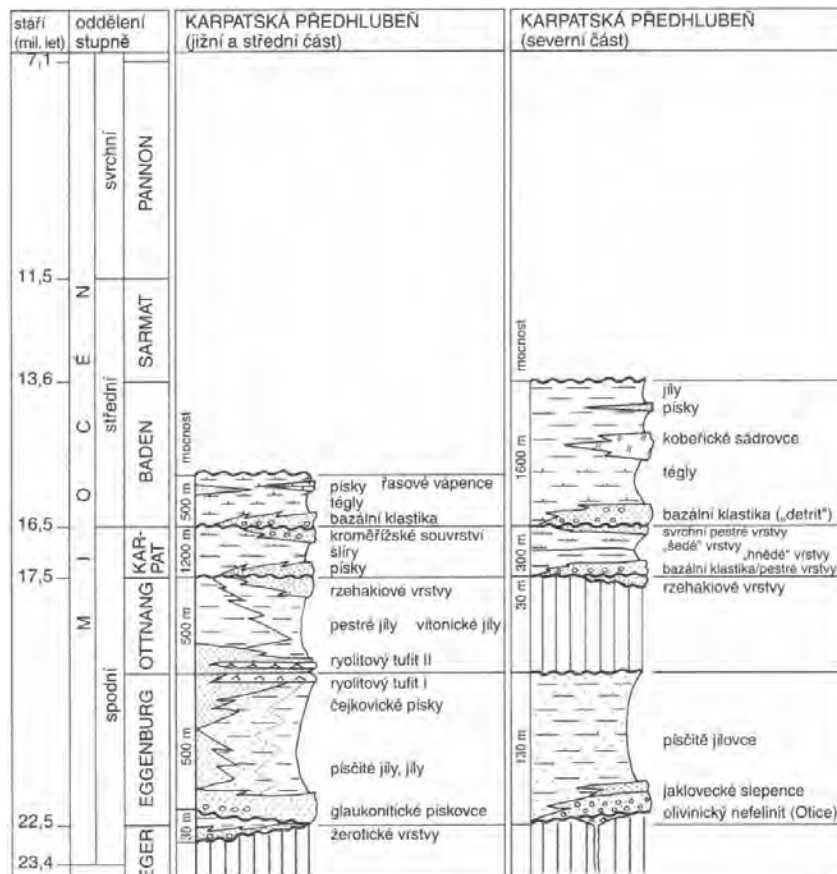


Obr. 5 - Územní členění české části hornoslezské pánve (Beneš et al. 2013)

### 3.1 Neogenní sedimenty

Geologie nejsvrchnější části litostratigrafického profilu (horniny miocenního stáří v nadloží sedimentů namuru) v oblasti východně od Karviné byla zpracována v několika zprávách a publikacích (Chlupáč et al. 2002, Pícha et al. 2006, Francírek a Nehyba 2011). Hydrogeologie této mělké části oblasti zahrnující sedimenty miocenního stáří je dobře zpracována zejména v práci S. Klíra a J. Zemana z roku 1997 - Geologická a hydrogeologická studie pro stanovení ochranných pásem přírodních léčivých zdrojů lázeňského místa Karviná, která také tvoří informační základ této studie o mělčí části zpracovávaného území. Nejsvrchnější část horninového sledu v oblasti tvoří sedimenty karpatské předhlubně, která se vyvíjela na flexurně prohnutém pasivním okraji Evropské platformy. Spodnobádenské sedimenty jsou v oblasti nejčastěji zastoupeny v rámci výplně karpatské předhlubně. Sedimentace začíná usazením hrubozrnných klastických sedimentů v oblasti velmi dynamického reliéfu, kde byla sedimentace klastik výrazně morfologicky ovlivněna a je vázána převážně na oblasti s výraznějším sklonem, což svědčí o významné roli gravitačních proudů a dominantním terestrickém prostředí (Francírek a Nehyba 2011). Celá předpokládaná sedimentace ve spodním bádenu zde probíhala ve výrazné regionální depresi V-Z směru, která je rozdělena na dvě dílčí deprese (bludovická a dětmarovická vymýtiny) dílčím ostravsko – karvinským hřbetem a započala ukládáním bazálních nebo okrajových klastik označovaných jako “detrit” (Brzobohatý a Cícha 1993). Dle Eliáše et al. 2002 jsou tato klastika srovnatelná s debowickým slepencem v Polsku. Z hydrogeologického hlediska tato nejspodnější klastika ležící na svrchnokarbonských vrstvách tvoří významný kolektor studovaný zejména jako potenciální zdroj jodobromových léčivých vod. Tato bazální klastika jsou pak překryta pelitickým komplexem spodnobádenského stáří dosahujícím mocnosti až 1 km a ležícím většinou subhorizontálně na klastickém podloží. Litologicky se jedná o zelenavě šedé vápnité jílovce až slínovce, které se při okrajích dětmarovického výmolu střídají s vrstvičkami a laminami

jemnozrnných vápnitých písků až slabě zpevněných pískovců se značným podílem jílovité a prachové frakce. Písčité frakce je tvořena materiálem ze zvětralých karbonských hornin (Klír a Zeman 1997). Celé souvrství se označuje v literatuře jako „šlír“ kdy písčité laminy dosahují mocností několika milimetrů až centimetrů a sdružují se v různě mocné komplexy dosahujících místy mocností až desítek metrů. Z vrtného průzkumu v oblasti dětmarovické vymýtiny byl vyčleněn jediný korelovatelný stálý písčité horizont v tomto pelitickém komplexu. Tento je označován jako hlavní písčité obzor a jeho mocnosti se pohybují od 0,5 do 4 m v rámci celé oblasti obou vymýtín. Z hlediska hydrogeologického v případě písčité poloh v rámci pelitického vývoje se jedná o hydraulicky oddělené a s povrchem nespojené horizonty. Jedinými možnými místy komunikace fluid mezi těmito kolektory navzájem, případně s diskontinuitami v karbonských vrstvách a zvodnělých částí sedimentů svrchního karbonu je jižní svah dětmarovického výmolu (Klír a Zeman 1997). Sedimenty bazálních klastik, které mají v ose výmolu minimální mocnost 200 m se považují také za uzavřený litologický systém, který se stal hydrogeologicky izolovanou strukturou bez výměny a dotace s napojením pouze na zvětralý povrch karbonu ve svazích výmolu a puklinově porézními tektonicky porušenými pásmy Z-V a SSV-JJZ směru. V oblasti Karviné se k porézním obzorům přidávají ještě fosilní zvětraliny karbonu, které postihují i uhelné sloje - tzv. „pestré vrstvy“ (Klír a Zeman 1997). Někteří autoři zmiňují také denudační zbytky eggenburgských klastik zjištěné na ostravsko – karvinském hřbetu a v dětmarovickém výmolu, které však nejsou nijak významně plošně rozšířeny. Pod bazálními klastiky badenu jsou uloženy také sedimenty karpátu tvořené čtyřmi základními faciemi (pestré bazální prachovce, hnědé vrstvy, šedé vrstvy, pestré vrstvy se sádrovci), psamitické sedimenty jsou však vyvinuty na bázi karpátu pouze lokálně.



Obr. 6 - Litostratigrafický profil sedimenty karpatské předhlubně v její jižní a severní části (Chlupáč et al. 2002)

## 3.2 Paleozoické sedimenty

### 3.2.1 Uhlonosný karbon

Celá geologie uhlonosného karbonu je velmi dobře zpracována v publikaci Geologie české části hornoslezské pánve (Dopita et al. 1997), která byla spolu se závěrečným zprávami dostupnými v archivu Geofondu hlavním podkladem pro tuto zprávu. Litostratigrafické členění karbonu hornoslezské černouhelné pánve je vyobrazeno na Obr. 7 upraveného podle Dopity et al. (1997) Kandarechovou (2011). Sedimentace svrchního karbonu v oblasti začala po stabilizaci rytmu variských tektonických pohybů, kdy mořská neuhlonosná molasa hradecko-kyjovických souvrství postupně přešla do sedimentace paralické uhelné molasy ostravského souvrství a později do kontinentální uhlonosné molasy karvinského souvrství (Obr. 7). Zatímco ostravské, spodnonamurské souvrství zahrnuje časté sedimenty mořských ingresí a jsou zde vyvinuty uhelné sloje pouze menších mocností, karvinské, paralické souvrství je tvořeno kontinentálními sedimenty, které obsahují uhelné sloje větších mocností.

		ČR		PR				
				Západní část	Východní část			
PENNSYLVAN	STEPHAN			ARKOZA KWACZALSKA				
	WESTPHAL			D	HIÁT ————— sloj 110			
				C	WARSTWY LIBIAŃSKIE ————— sloj 119			
				B	HIÁT ————— sloj 201			
	A			SOUVRSTVÍ KARVINSKÉ svrchní	VRSTVY DOUBRAVSKÉ vyšší doubravské s. s. sloj 962 sloj 901 sloj 876 sloj 804 sloj 747	SERIA MULLOWCOWA KRAKOWSKA SERIA PIASKOWCOWA	WARSTWY ŁAZISKIE ————— sloj 218	
							slaj 301 (Jaworzna 303)	
							WARSTWY ORZESKIE s. s.	
							tuftický horizont ————— sloj 326	
							slaj 327 (Wesoła)	
	MISSISSIP			NAMUR	SOUVRSTVÍ OSTRAVSKÉ spodní	SERIA PARALICZNA spodní	WARSTWY ZAŁESKIE ————— sloj 354	
górne ————— sloj 401								
dolne ————— sloj 406								
slaj 407								
sk. f. h. st. 407								
G	SOUVRSTVÍ KARVINSKÉ svrchní	VRSTVY SUŠSKÉ svrchní ————— slaj 703 spodní ————— slaj 686	SERIA PIASKOWCOWA GORNOSLASKA SERIA PIASKOWCOWA	WARSTWY RUDZKIE s. s. ————— slaj 420				
				slaj 501				
				WARSTWY SIOŁOWE = WARSTWY ZABRSKIE s. s. ————— slaj 510				
				HIÁT				
				WARSTWY JEJKOWICKIE ————— slaj 601				
F	SOUVRSTVÍ OSTRAVSKÉ spodní	VRSTVY HRUŠOVSKÉ svrchní ————— slaj 201 spodní ————— slaj 169 sk. f. h. Frantšky (XII)	SERIA PARALICZNA spodní	WARSTWY POREBSKIE ————— slaj 630				
				sk. f. h. Barbory (V) ————— slaj 701				
				WARSTWY GRODZIECKIE				
				WARSTWY JAKŁOWECKIE ————— slaj 723				
				sk. f. h. Enna (VII) ————— slaj 801				
E	SOUVRSTVÍ OSTRAVSKÉ spodní	VRSTVY HRUŠOVSKÉ svrchní ————— slaj 201 spodní ————— slaj 169 sk. f. h. Frantšky (XII)	SERIA PARALICZNA spodní	WARSTWY FŁOROWSKIE				
				GRUSZOWSKIE				
				brousek ————— slaj 848				
				sk. f. h. Nanetta (XI) ————— slaj 901				
				WARSTWY PIETRZKOWICKIE ————— slaj 915				
D	SOUVRSTVÍ OSTRAVSKÉ spodní	VRSTVY HRUŠOVSKÉ svrchní ————— slaj 201 spodní ————— slaj 169 sk. f. h. Frantšky (XII)	SERIA PARALICZNA spodní	WARSTWY SARNOWSKIE				
				sk. f. h. Stur (XVI)				
				WARSTWY MALINOWICKIE = WARSTWY ZALASKIE górne ————— slaj 915				
				dolne				
				sk. f. h. Štúra				
C	SOUVRSTVÍ OSTRAVSKÉ spodní	VRSTVY HRUŠOVSKÉ svrchní ————— slaj 201 spodní ————— slaj 169 sk. f. h. Frantšky (XII)	SERIA PARALICZNA spodní	WARSTWY MALINOWICKIE = WARSTWY ZALASKIE górne ————— slaj 915				
				dolne				
				sk. f. h. Štúra				
				WARSTWY MALINOWICKIE = WARSTWY ZALASKIE górne ————— slaj 915				
				dolne				
B	SOUVRSTVÍ OSTRAVSKÉ spodní	VRSTVY HRUŠOVSKÉ svrchní ————— slaj 201 spodní ————— slaj 169 sk. f. h. Frantšky (XII)	SERIA PARALICZNA spodní	WARSTWY MALINOWICKIE = WARSTWY ZALASKIE górne ————— slaj 915				
				dolne				
				sk. f. h. Štúra				
				WARSTWY MALINOWICKIE = WARSTWY ZALASKIE górne ————— slaj 915				
				dolne				
A	SOUVRSTVÍ OSTRAVSKÉ spodní	VRSTVY HRUŠOVSKÉ svrchní ————— slaj 201 spodní ————— slaj 169 sk. f. h. Frantšky (XII)	SERIA PARALICZNA spodní	WARSTWY MALINOWICKIE = WARSTWY ZALASKIE górne ————— slaj 915				
				dolne				
				sk. f. h. Štúra				
				WARSTWY MALINOWICKIE = WARSTWY ZALASKIE górne ————— slaj 915				
				dolne				
G	SOUVRSTVÍ KRADEČKO-KYJOVICKÉ spodní	VRSTVY KYJOVICKÉ sk. f. h. Štúra	SERIA PARALICZNA spodní	WARSTWY MALINOWICKIE = WARSTWY ZALASKIE górne ————— slaj 915				
				dolne				
				sk. f. h. Štúra				
				WARSTWY MALINOWICKIE = WARSTWY ZALASKIE górne ————— slaj 915				
				dolne				

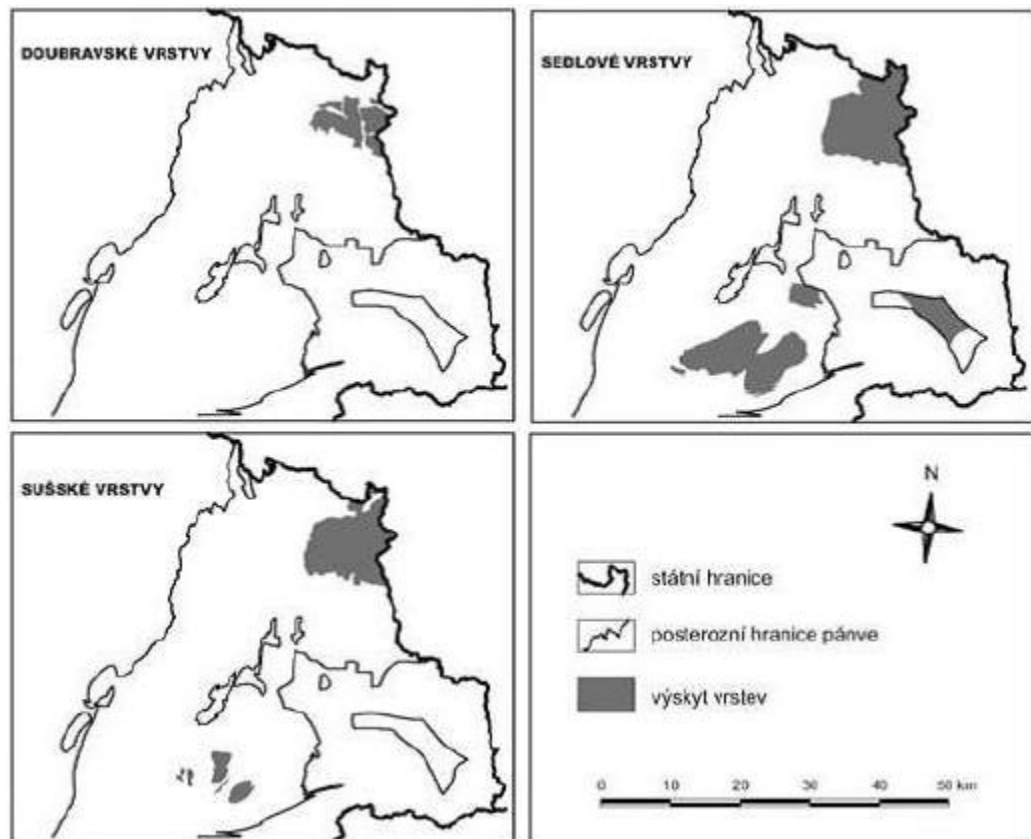
Obr. 7 - Litostratigrafické členění karbonu hornoslezské uhelné pánve (Kandarechová 2011)

## Karvinské souvrství

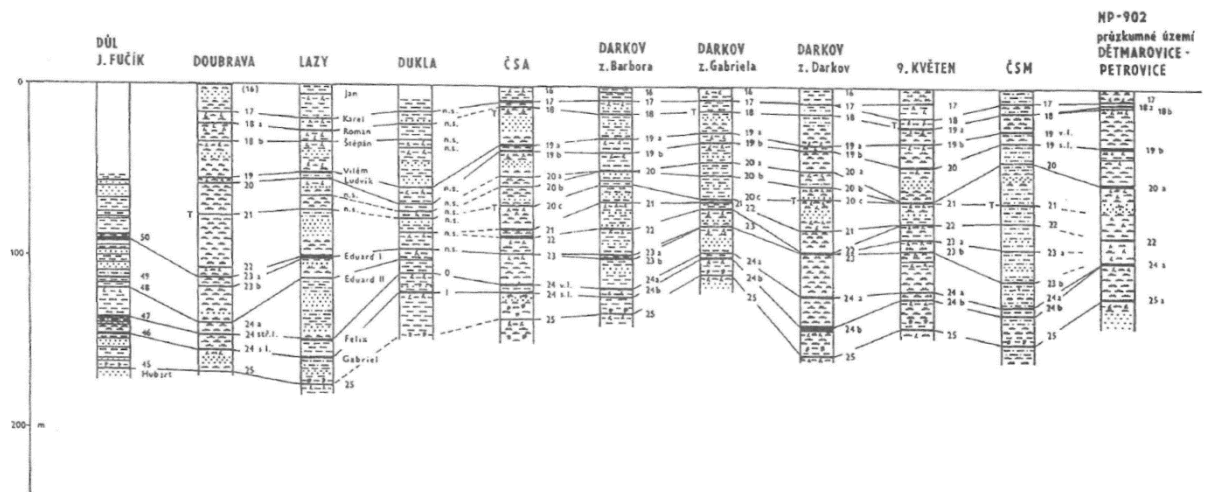
Ve studovaném území na povrchu předneogenního reliéfu popsaného výše vystupují převážně vrstvy produktivního karbonu karvinského souvrství. Toto je tvořeno komplexem sedimentů rozloženým mezi bází hrubozrnných uloženin místy erodujících ostravské souvrství a stykem karbonu s neoidním nadložím. Tyto sedimenty se ukládaly po intranamurském hiátu a mají znaky limnického souvrství. Podrobnější stratigrafické členění se opírá většinou o provozní členění podložené hlavně nálezy tonsteinů, sladkovodních faunistických horizontů a floristických a palynologických studií (Fialová 1995). Karvinské souvrství se člení na tři litostratigrafické jednotky, vrstvy sedlové, sušské a doubravské s.l.. Obrázek č. 8 znázorňuje mapy s rozšířením jednotlivých vrstevních jednotek karvinského souvrství v české části HP (hornoslezská pánev) (Sivek et al. 2011, Ličmanová 2019) Nejvýše položenou jednotkou karvinského souvrství v oblasti jsou vrstvy doubravské. Svrchní hranice souvrství je erozní. Doubravské vrstvy se vyvíjejí plynule jako jezerně aluviální komplex s výraznou cyklickou stavbou ze svrchní sušských vrstev. Biostratigraficky náleží doubravské vrstvy westphalu A (Dopita et al. 1997). **Doubravské vrstvy** se dělí dále na vyšší doubravské vrstvy a doubravské vrstvy s.s, kdy vyšší doubravské vrstvy představují denudační zbytky původního sedimentárního sledu. Největší mocnost je známá z tektonicky zakleslé kry z dolu ČSA – 340 m. V dole Doubrava je zachován erozní zbytek o mocnosti 45 m, v dole Darkov 247 m a v dole ČSM 214 m. Geologická stavba vyšších doubravských vrstev je cyklická a podobá se doubravským vrstvám s.s (mocnosti 220–260 m). Je v nich vyvinuto celkem cca 55 slojí a slojek s mocností > 10 cm, které jsou všeobecně málo mocné, nestálé, často vyklíňující a velmi nepravidelně se štěpí a spojují (Dopita et al. 1997). **Sušské vrstvy** jsou uloženy v podloží doubravských vrstev. Jejich spodní hranice je kladena do počvy sloje 605 a svrchní do počvy sloje 804. Podobně jako celé karvinské souvrství jsou poměrně chudé na faunistické nálezy a ty se omezují na sladkovodní faunu s relativně monotónním vývojem. Dělí se na spodní sušské vrstvy a svrchní sušské vrstvy. Litostratigrafická hranice mezi spodními a svrchními sušskými vrstvami tvoří sladkovodní f. h. Huberta (sloj 686), která odpovídá přibližně hranici mezi namurem a westphalem (Dopita et al. 1997). Spodní sušské vrstvy se nalézají v DP všech dolů karvinské oblasti a v PU (průzkumné území) Fryštát, Dětmárovice a Dětmárovice-Petrovice. Obecně v těchto vrstvách převládají pískovce, zejména v jejich spodní části, kde se objevují také slepence. Prachovce a jílovce se objevují a jsou zřetelněji zastoupené v jejich svrchní části. Svrchní sušské vrstvy jsou v dolech a PU karvinské oblasti vyvinuty v plném rozsahu kromě dolu J. Fučík a Dukla, kde jsou reprezentovány jenom denudačním reliktem své spodní části a dolu František, kde se nevyskytují vůbec. Litologicky převládají písčité prachovce, prachovce, prachovité jílovce, jejichž mohutné komplexy jsou vyvinuty především ve spodní a svrchní části jednotky. Ve střední části jsou relativně četnější polohy jemnozrnných pískovců (Fialová 1995). Standardní profily spodních a svrchních sušských vrstev v dolech v karvinské oblasti a PU Dětmárovice – Petrovice jsou znázorněny na obr. 9 a obr. 10 včetně měřítká mocnosti a označení jednotlivých slojí. **Sedlové vrstvy** byly vyčleněny v severní části HP, kde byly těženy mocné uhelné sloje uzavřené v lavicích slepenců a pískovců v lokálních sedlech v blízkosti povrchu (Dopita et al. 1997). Sloje sedlových vrstev tvořily hlavní základnu těžby uhlí v OKR. Na území české části HP jsou tyto vrstvy známy z oblasti karvinské, frenštátské a jablunkovské. Na Karvinsku vystupují v orlovské struktuře (obr. 11) a v území ležícím východně od ní až po česko-polské státní hranice. Mocnosti sedlových vrstev se snižují směrem na SZ karvinské oblasti směrem o orlovské struktuře. Mocnost těchto vrstev je v závodu Žofie dolu J. Fučík snížena na 180 m i méně. V JZ sektoru Karvinska v dole Dukla převládá mocnost 230 m, v centrální části dukelského areálu dosahuje mocnost až 250–280 m. V centru karvinské oblasti vykazují sedlové vrstvy na velké ploše mocnost 200–230 a tato mocnost směrem k J klesá. Ve východní části dolu ČSA se mocnost sedlových vrstev zvyšuje až na 270 m a v dále k S v PU Dětmárovice – Petrovice vzrůstá až na 320 m. V JV části karvinské oblasti se dá pozorovat zmenšování mocnosti až pod 150 m (Dopita et al. 1997). Litologicky jsou sedlové vrstvy tvořeny slepenci a pískovci, které reprezentují více než 50 % mocností a objemu této



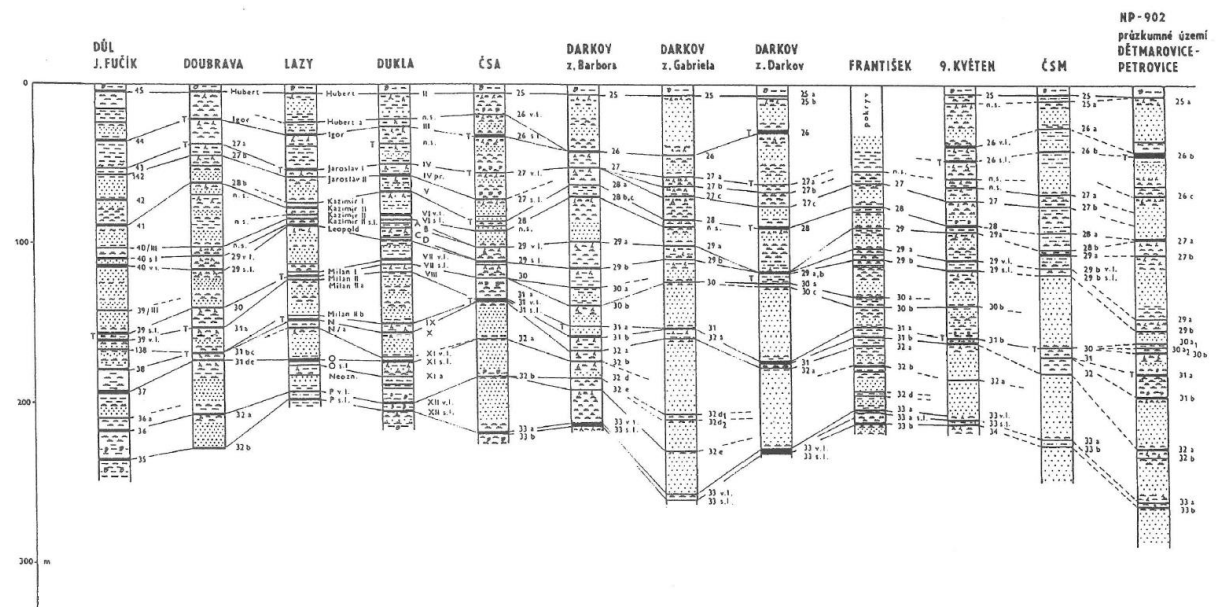
jednotky. Obvykle se jejich podíl pohybuje na průměrné hodnotě 75 %. Na JZ a JV Karvinska dosahuje potom zastoupení slepenců až 29 % při zastoupení pískovců až přes 50 %. Na SV karvinské oblasti činí podíl slepenců jen přes 13 % a pískovců až 66,5 %. Detailní litologický popis slepenců a pískovců lze najít např. v publikaci Dopita et al. 1997. Z uhlonosného hlediska lze v karvinské oblasti rozlišit dva úseky kdy spodní úsek (sloje 504–530) s průměrnou mocností okolo 90 m je podstatně bohatší na uhelnou substanci. Svrchní úsek s průměrnou mocností přes 135 m obsahuje 3 až 10 slojí převážně nižších mocností (průměrná mocnost slojí je zde 1,1 m).



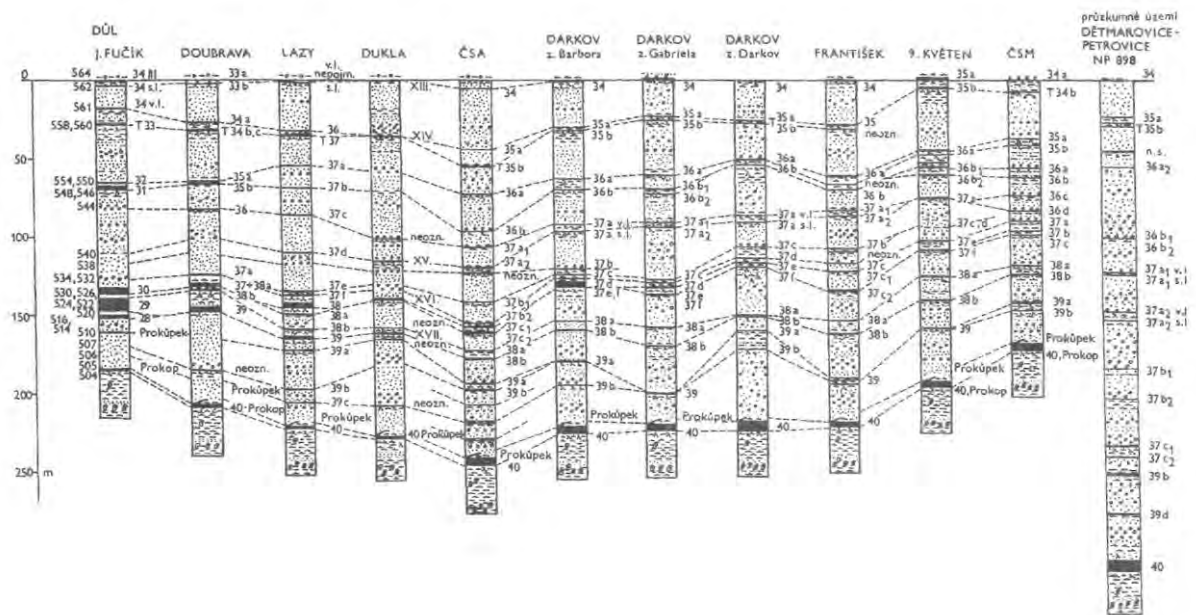
**Obr. 8 - Rozšíření jednotlivých vrstevních jednotek karvinského souvrství v české části HP (Ličmanová 2019)**



Obr. 9 - Standardní profily a mocnosti svrchních sušských vrstev v dolech karvinské oblasti a v PÚ Dětmárovice – Petrovice (Dopita et al. 1997)



Obr. 10 - Standardní profily a mocnosti spodních sušských vrstev v dolech karvinské oblasti a PÚ Dětmárovice – Petrovice (Dopita et al. 1997)



Obr. 11 - Standardní profily sedlových vrstev v dolech karvinské oblasti a PÚ Dětmárovice – Petrovice (Dopita et al. 1997)

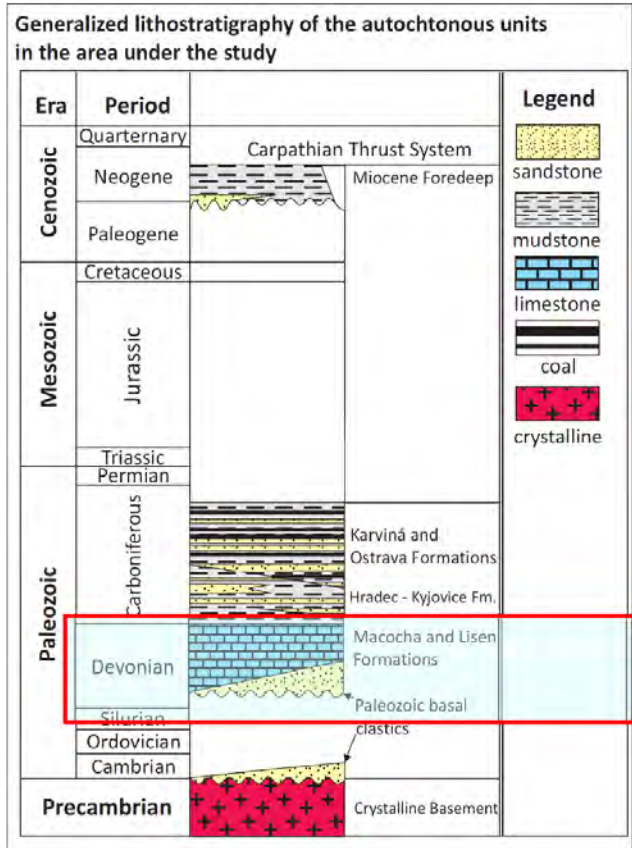
#### Ostravské souvrství

Ostravské souvrství se na základě nálezů fauny a flóry řadí ke spodnímu namuru a plošným rozsahem tato paralická molasa HP naprosto převažuje jak plošným rozsahem na povrchu epivariské platformy, tak mocností i když její dnešní rozsah představuje jenom menší denudační zbytek původně rozsáhlé výplně paralické uhlonosné molasy (Dopita a Kumpere 1993). Z litologického hlediska je vrstevní sled spodního namuru v české části hornoslezské pánve velmi pestrý. Velká variabilita sedimentačních prostředí, od mořského přes různé typy přechodného až po převládající čistě terigenní, je pro tyto sedimenty typická (Beneš et al. 2013). Obecně se dá prostor hornoslezské pánve ve spodním namuru charakterizovat jako rozsáhlá, dlouhodobě klesající, přímořská akumulací plošina, v níž se uplatňovala rozdílná dynamika ve vertikálním i horizontálním sedimentárním prostoru (Kedzior et al. 2007). Ostravské souvrství se dělí na čtyři stratigrafické členy: petřkovické, hrušovské, jaklovecké a porubské vrstvy. V oblasti Karviné jsou tyto sedimenty uloženy poměrně hluboko pod karvinským souvrstvím. Především na průzkumných vrtech je v celé ploše popsán vývoj nejvyšších **vrstev porubských**. Jejich pravá mocnost je odvozená z průzkumných vrtů, v nichž byly zastiženy v úplném sledu a pohybuje se v oblasti Dětmárovice – Petrovice kolem 690 m. Více západně od této oblasti se mocnost pohybuje kolem 700 m. Jejich větší redukce je známa z oblasti Dolu ČSM, kde se pohybuje v rozmezí 400–440 m (Fialová 1995). Litologický vývoj ukazuje na značně tektonicky neklidné prostředí jejich sedimentace. Typicky se během jejich depozice vyvinulo 5–6 úseků na jejichž bázi se vyskytují cykly s většími mocnostmi hrubozrnějších psamitů. V jejich svrchní části pak převládají prachovité a jílovité sedimenty, často se zbytky sladkovodní či mořské fauny. V oblasti Dětmárovice – Petrovice v nich bylo ověřeno 35 využitelných slojí, mnohdy však zčásti, či zcela nebilančních. **Vrstvy jaklovecké** jsou vyvinuty nejspíše v celém území. Vrtnými pracemi byly zastiženy v Z a S části území Dětmárovice – Petrovice, kde je jejich mocnost srovnatelná s petřvaldskou kotlinou kde dosahují mocnosti 360–385 m. V dobývacím prostoru Louky (Důl ČSM) dosahují vrstvy mocnosti jen 250–270 m (Fialová 1995). Dopita 1997 uvádí redukci mocností těchto vrstev v karvinské oblasti oproti ostravské oblasti o 35 % s jejich dokumentací vrtem SV 2 v DP dolu 9. květen. Lze také pozorovat redukci mocnosti vrstev V směrem z 375 m na dolu Lazy na 260 m v DP dolu ČSM. V rámci sedimentace je charakteristický vyrovnaný průměr

uloženin pelitů a psamitů. Průměrný obsah psamitů v rámci sedimentů jakloveckých vrstev je 40,7 % (Fialová 1995). V celém regionu je cyklická stavba těchto sedimentů méně výrazná ve spodní části jednotky, v níž převládají neúplné základní cykly typu kořenová půda – uhelná slaj – prachovec s faunou, nebo flórou. Ve střední části vrstev se objevují úplné základní cykly s mocnou písčitou bazální částí a ve svrchní části se objevuje několik cyklů paralického typu s převahou prachovito-jílovitých sedimentů (Dopita 1997). **Hrušovské vrstvy** začínají svrchní plochou hlavního ostravského brousku a končí svrchní plochou sk. f. h. sloje 255. Svrchní plocha sk. f. h. sloje 163 člení hrušovské vrstvy na spodní a svrchní. Hrušovské vrstvy tvoří v ostravské oblasti podstatnou část uhlonosného karbonu v místech synklinálních struktur v podloží jakloveckých a porubských vrstev. V antiklinálních strukturách byly zčásti denudovány a na povrch epivariské platformy vystupují z jejich podloží vrstvy petřkovické (Dopita 1997). V karvinské oblasti se nachází tato jednotka již ve značných hloubkách a její celý vrstvení sled je známý pouze z jediného vrtu SV 2 v mocnosti 397 m. Ve srovnání s mocností v ostravské části zde dochází k 60 % redukci mocností. Toto souvrství bylo v karvinské oblasti ve své nejsvrchnější části zastiženo také vrty NP 724, NP 905 a NP 906. Cykly hrušovských vrstev lze litologickým charakterem pískovců, prachovců a jílovců přirovnat k cyklům porubských vrstev. Na rozdíl od nich se v hrušovských vrstvách vyskytují jen 4 úseky (označované jako litostratigrafické zóny H1 až H4) a nalézá se v nich méně mořských horizontů. V provrtané části hrušovských vrstev činí písčitost 21,7 % (Dopita et al. 1997). **Petřkovické vrstvy** tvoří nejstarší a nejhlubší litostratigrafickou jednotku ostravského souvrství. Na bázi jsou vymezeny konvenčně proti kyjovickým vrstvám stropem sk. f. h. Štůra, jejich povrch je vymezen svrchní plochou hlavního ostravského brousku. Dělí se dále na svrchní a spodní petřkovické vrstvy, kde jejich dělící plochou je svrchní plocha mořského horizontu Leonarda. V karvinské oblasti je tato jednotka ověřena a popsána vrtem SV 2 a má zde mocnost 387 m. Oproti ostravské oblasti jsou zde tedy petřkovické vrstvy redukovány o cca 50 %. V S části karvinské oblasti nejsou petřkovické vrstvy již vrtně doloženy. Petrograficky jsou vrstvy charakteristické převahou pískovců, kdy tento tvoří až 65 % sedimentární výplně (Fialová 1995).

### 3.2.2 Spodní karbon

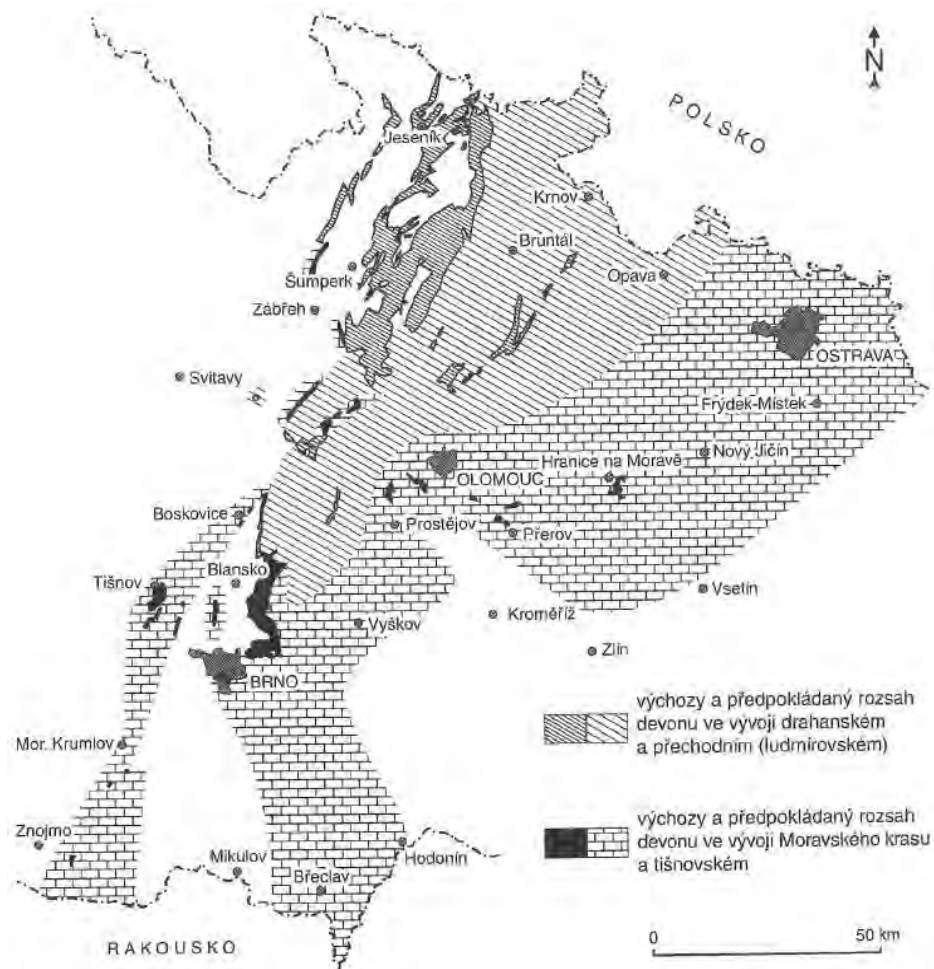
Podloží produktivního uhlonosného karbonu je tvořeno sedimenty spodního neproduktivního karbonu stáří visé až spodní namur (namur A) (Obr. 12). Ten v oblasti vystupuje převážně v kulmském vývoji a je znám jednak z výchozů na západním okraji HP a také z hlubinných vrtů. Vrstvy spodního a svrchního karbonu jsou uloženy konkordantně, takže jejich vzájemné vymezení je podloženo výskytem faunistického horizontu tzv. Štůrova mořského patra. U těchto sedimentů již v ostravsko – karvinské části pánve nejsou známy úplné litostratigrafické profily, jelikož většina technických prací končí na jejich svrchním omezení sk. f. h. Štůrova mořského patra. Jejich stratigrafické zařazení bylo tedy možné provést jen ve vrtech SV 1, NP 522 a NP 339 (Dopita et al. 1997). Z těchto dat vyplývá, že převážně kulmský vývoj spodního karbonu odpovídá v J části české části HP svrchní části moravického souvrství a hradecko-kyjovickému souvrství. Litologické rozlišení těchto jednotek není v oblasti české části HP možné (Dopita 1997), blíží se však nejvíce hradecko – kyjovickým vrstvám známým z rozsáhlých výchozů v Nížkém Jeseníku a Oderských vrších. Kumpera (1983) shrnul celý kulmský sled pod označení beskydský vývoj. Sedimenty kulmu se v celé širší oblasti ukládají na karbonáty jako jemnozrnné, rytmicky se střídající pískovce a tmavé prachovce laminované jílovcí či pískovci. Rytmy jsou decimetrové až metr mocné. Flyšový ráz je však často potlačen a převládají jílovce s laminami prachovců kdy celý sled má charakter mořské molasy (Dopita et al. 1997).



**Obr. 12 - Předpokládané stratigrafické schéma oblasti s vyznačením spodnokarbonských a devonských vápenců (upraveno podle Nehyba a Opletal 2016)**

### 3.2.3 Karbonátový vývoj devonu a spodního karbonu

Přímé podloží kulmu spodního karbonu tvoří karbonátový vývoj devonu a spodního karbonu. Stejně jako horniny spodního karbonu nebyl tento horninový sled v oblasti vrtně ověřen. Tento karbonátový vývoj nasedá na terestrické sedimenty bazálních klastik devonu a kambria po regionální mořské transgresi, která podnítila vznik karbonátových platforem a ramp na kontinentálním svahu Brunovistulika (Pícha et al. 2006). V celé moravskoslezské oblasti byl tento celý sled rozdělen do čtyř faciálních vývojů. Vývoj Dražanský (pánevní), vývoj Moravského krasu (platformní), Ludmírovský vývoj (přechodný) a Tišnovský vývoj (okrajový). V oblasti Karviné se dle několika autorů dá očekávat zejména vývoj Moravského krasu (Chlupáč et al. 2002; Dopita et al. 1997), (Obr. 13). Stratigrafie tohoto faciálního vývoje byla definována Zukalovou a Chlupáčem (1982) dle platné mezinárodní stratigrafické škály. Autory byly ve vývoji Moravského krasu vyčleněny tři jednotky. Při bázi jsou devonská bazální klastika, nad nimi je uloženo macošské souvrství tvořené tmavými, nebo světle šedými karbonáty a dolomity reprezentující útesový komplex a v jejich nadloží pak leží líšeňské souvrství tvořené komplexní asociací nečistých vápenců s rychle se měnícím množstvím jílovité příměsi.



**Obr. 13 - Schéma předpokládaného rozšíření hlavních facií moravskoslezského devonu s vyznačením povrchových výskytů (Chlupáč et al. 2002)**

Macošské souvrství se dále dělí na josefovské, lažánecké a vilémovické vápence. Líšeňské souvrství se dále dělí na křtinské vápence, hádko-říčské vápence, hněvotínské vápence, dražovické vápence a grygovské břidlice (Zukalová a Chlupáč 1982). Rozdělení těchto souvrství na jednotlivé vrstvy v české části HP nebylo možné dosud hodnověrně provést, především pro nedostatek údajů z poměrně řídké sítě vrtů (Dopita 1997). V karvinské oblasti pak není výskyt

těchto karbonátových souvrství vrtně ověřen a je pouze předpokládán v její hlubší části pod sedimenty spodního a svrchního karbonu. Jejich rozšíření se však očekává ve velké části české HP, kdy mocnosti a litologický charakter ovlivnil zejména paleotektonický režim jednotlivých ker. Devon v karbonátovém vývoji byl vrtně prověřen vrtem H. Žukov – NP 339 poblíž Českého Těšína a na polské straně potom vrtem Puncow.

#### 3.2.4 Paleozoická bazální klastika

Tyto sedimenty stáří kambrium až devon tvoří nejspodnější část paleozoického sedimentačního cyklu. Předpokládá se u nich analogicky se stejnými sedimenty na jižní Moravě terestrický (fluviální) a marinní (příbřežní a mělkomořský) typ sedimentace (Mikuláš a Nehyba 2001, Gilíková 2003). Tato klastika byla uložena přímo na erozní povrch krystalinika a jsou tvořena většinou špatně vytríděnými horninami typu drobnozrnných slepenců, pískovců, prachovců a jílovců velmi pestrého zbarvení převážně v hnědých, červených a zelených odstínech (Dopita et al. 1997). Maximální mocnost 154 m v širší oblasti české části HP byla zjištěna na vrtu Jablunkov 1. Mocnosti kolem 100 m byly zjištěny ve vrtech v oblasti Krásná. Ve vrtech v SZ části oblasti SV 1 a SV 4 byly mocnosti 72,7 a 78 m. K redukci mocností, případně i k jejich úplné absenci pak dochází i při V okraji české části HP (Dopita et al. 1997).

### 3.3 Krystalinikum

Podloží paleozoických sedimentů je v celé oblasti tvořeno zřejmě horninami Brunovistulika, reprezentovanými zde proterozoickými rulami (v karvinské části pánve nebylo krystalinikum dosud vrtně ověřeno) (Strakošová et al. 1981). Dopita et al. 1997 zmiňují v širší oblasti výsledky studia vrtů, které ukazují, že celý komplex Brunovistulika je tvořen převážně metamorfovanými flyšoidními sedimenty. Z hlavních typů jsou na českém území zastoupeny biotitické nebo muskoviticko-biotitické plagioklasové pararuly, velmi často magmatitizované, přecházející až do migmatitů. Intenzita metamorfózy odpovídá facií granátických amfibolitů. Magmatity jsou ve fundamentu slezského bloku zastoupeny výrazně méně. Vrtnými pracemi byly dosud zastiženy pouze při JV okraji pánve.

### 3.4 Odhad hlubší geologické stavby v oblasti POHO na základě extrapolace dat z oblasti jihovýchodních svahů ČM a dalších relevantních částí východního okraje ČM

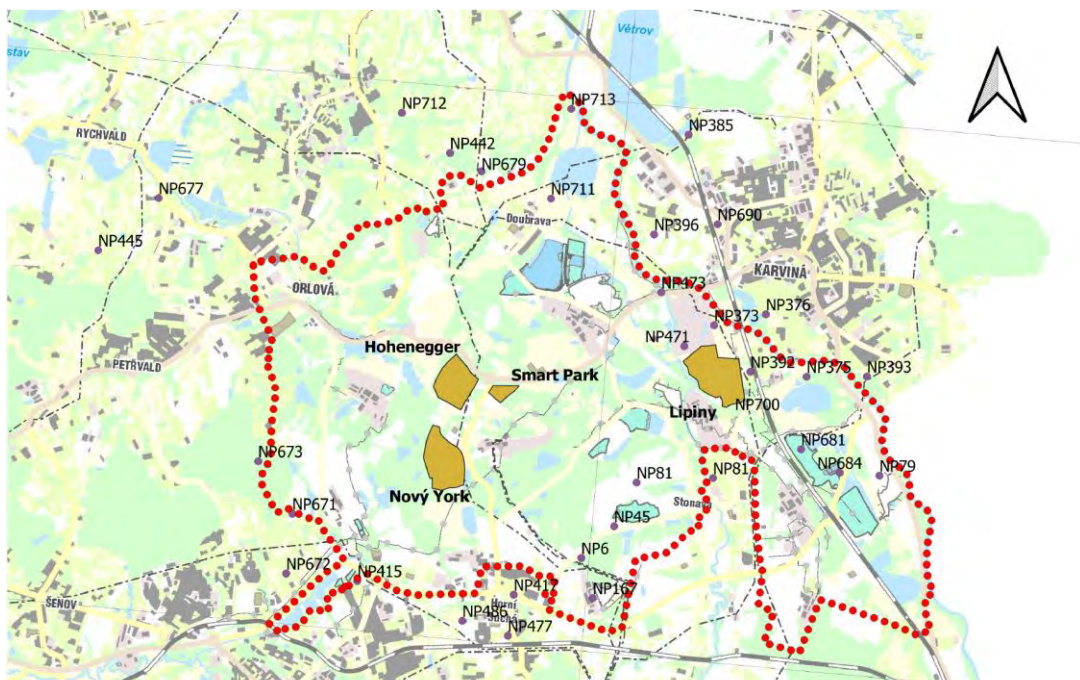
Jelikož v celé studované oblasti, jak již bylo zmíněno v podkapitolách 3.1 -3.3 vrty ani důlní díla nedosahují hloubek dostatečných pro zajištění dostatečných teplot pro hydrotermální využití (cca 3500 – 4000 m pro dosažení teploty horninového prostředí 120°C při teplotním gradientu zjištěném v oblasti – viz. podkapitola 4.2) byl stratigrafický profil podložních paleozoických a prekambriických hornin oblasti odhadnut za pomoci dat o mocnostech sedimentů zastižených nejhlubšími vrty v oblasti (viz. podkapitola 3.1 -3.3) a za pomoci extrapolace mocností spodní části paleozoika z území jižní Moravy, kde byly tyto horniny zastiženy v plných mocnostech na hlubokých vrtech pro vyhledávání a průzkum uhlovodíků.

Za pomoci vrtů dostupných (Obr. 14) přímo v zájmové oblasti a v jejím blízkém okolí byla při tvorbě stratigrafického profilu nejprve odhadnuta hloubka povrchu ostravského souvrství a dále, ve větších hloubkách bylo přistoupeno k výše zmíněné extrapolaci dat z dostupných zdrojů (vrtů) ať už na severní Moravě, nebo u nejhlubší části paleozoického patra na Moravě jižní.

Je zřejmé, že obzvláště ve větších hloubkách (pod cca 1900 m) než které byly dosaženy vrty v okolí studované oblasti se jedná o extrapolaci, a **tudíž míra nepřesnosti může být velmi vysoká**. Jelikož přesná data o větších hloubkách nejsou známa, **může zde dokonce dojít k úplné absenci z jiných oblastí extrapolovaných horninových celků spodně karbonského a**

devonského stáří. Pro ověření navrženého stratigrafického profilu bude nezbytné provést hluboký průzkumný vrt, který bude mít za cíl ověření a případně potvrzení paleozoických sedimentů a jejich mocností v celé širší oblasti. Stratigrafický profil je sestaven s ohledem na nejistotu ve dvou provedeních.

Poměrně problematické je už stanovení povrchu reliéfu karbonu, který je v oblasti tvořen severovýchodním svahem ostravsko – karvinského hřbetu, který se v oblasti dolu Darkov štěpí na dva výběžky, a to darkovský a stonavský. Přibližně severně od ostravsko-karvinského hřbetu je vyvinuta dětmarovická, jižně potom bludovická vymýtina (Obr. 16). Reliéf karbonu dle Filipa et al. 2010 je znázorněn na Obr. 15, kde je také znázorněna hloubka SSTVD (vertikální hloubka od mořské hladiny) povrchu karbonu. Zdá se, že v oblasti poblíž lokality Smart Park lze očekávat povrch karbonských hornin velmi blízko povrchu, kdy u kóty 145 dosahuje až k výšce 200 m n.m. což znamená velmi omezenou mocnost hornin spodního miocénu, který zde v nejvyšších místech ostravsko – karvinského hřbetu může dosahovat mocností cca 50-100 m v závislosti na lokalizaci na povrchu. Povrch ostravského souvrství se dá dle mocností karvinského souvrství na jednotlivých dolech a na základě výsledků vrtů v okolí zájmového území odhadovat v hloubkách 750–1400 m od povrchu v závislosti na přesné pozici ve studované oblasti. Dle dokumentace slojí porubských vrstev nafáraných na několika místech na překopech ve výškové úrovni -500 m na dolu Barbora (Burel et al. 1986) lze očekávat bázi karvinského souvrství v hloubkách nejméně kolem 750 m od povrchu, což by odpovídalo hloubkové úrovni povrchu ostravského souvrství spíše v jižní části oblasti POHO, kdy na vrtech NP 167, NP 6 a NP 45 byly navrtány vrstvy sloje Prokop v hloubkách 591,5 m, 661,3 m a 786 m, případně JZ části oblasti POHO kde na vrtu NP671 byly vrstvy sloje Prokop navrtány v hloubce 628,2 m. Dle vrtů v ostatních částech oblasti POHO a jeho okolí jsou hloubky povrchu ostravského souvrství tvořené většinou bází vrstev sloje Prokop ve větších hloubkách (až přes 1400 m na vrtech NP 396, NP385, NP 700, NP 385, NP 442, NP 679 a NP 673 (Obr. 16). Tomu odpovídají celkové mocnosti karvinského souvrství publikované Dopitou et al. 1997 a detailně popsané v podkapitole 3.2.1, kde např. na dole Darkov je udávána celková mocnost karvinského souvrství 1091 m, na dole ČSA, kde jsou ve větší mocnosti zachovány svrchní doubravské vrstvy může být celková mocnost karvinského souvrství až 1240 m, což by v oblasti Smart park znamenalo hloubku povrchu ostravského souvrství na úrovni až 1300 m. Z pozice oblasti Smart park se dá odhadnout, že mocnosti zde budou spíše



Obr. 14 - Vrtů v okolí zájmové oblasti se známou hloubkou povrchu ostravského souvrství (<http://www.geology.cz/app/asgi/>)



bližší jižní části území POHO a povrch ostravského souvrství bude uvažován v hloubce 970 m pod povrchem. Přesnější hodnoty by snad šly vyčíst z podrobných map a řezů jednotlivých dolů, které však v rámci této studie nebyly k dispozici.

Další odhad hloubek jednotlivých vrstev podložního ostravského souvrství je založen na výsledcích průzkumných vrtů a odhadech z jednotlivých důlních děl v okolí studované oblasti. Vrstvy **porubské** dle Fialové (1995) dosahují mocností až 700 m, a to v oblasti PÚ Dětmarovice – Petrovice severně od oblasti POHO. Na lokalitě Gabriela v dobývacím prostoru Karviná – Doly II (Filip et al. 2010) uvádí předpokládanou mocnost těchto vrstev na 490–520 m. Jejich největší redukci předpokládá Fialová (1995) v oblasti dolu ČSM v rozmezí 400–440 m. Vrstvy **jaklovecké** byly zastiženy v Z a S části území Dětmarovice – Petrovice, kde je jejich mocnost srovnatelná s petřvaldskou kotlinou kde dosahují mocnosti 360–385 m. V dobývacím prostoru Louky (Důl ČSM) dosahují vrstvy mocnosti jen 250–270 m (Fialová 1995). Dopita et al. 1997 uvádí redukci mocností těchto vrstev v karvinské oblasti oproti ostravské oblasti o 35 % s jejich dokumentací vrtem SV 2 v DP dolu 9. květen. Lze také pozorovat redukci mocnosti vrstev V směrem Z 375 m na dolu Lazy na 260 m v DP dolu ČSM. V lokalitě Gabriela předpokládá Kotlík (2010) mocnost jakloveckých vrstev 290 m. **Hrušovské vrstvy** – V karvinské oblasti se nachází tato jednotka již ve značných hloubkách a její celý vrstevní sled je známý pouze z jediného vrtu SV 2 v mocnosti 397 m. Ve srovnání s mocností v ostravské části zde dochází k 60 % redukci mocností. Toto souvrství bylo v karvinské oblasti ve své nejsvrchnější části zastiženo také vrty NP 724, NP 905 a NP 906. **Petřkovické vrstvy** - V karvinské oblasti je tato jednotka ověřena a popsána vrtem SV 2 a má zde mocnost 387 m. Oproti ostravské oblasti jsou zde tedy petřkovické vrstvy redukovány o cca 50 %. Na V karvinské oblasti nejsou petřkovické vrstvy již vrtně doloženy.

**Spodní karbon – Kulm** - U těchto sedimentů již v ostravsko – karvinské části pánve nejsou známy úplné litostratigrafické profily, jelikož většina technických prací končí na jejich svrchním omezení sk. f. h. Štůrova mořského patra. Jejich stratigrafické zařazení bylo tedy možné provést jen ve vrtech SV 1, NP 522 a NP 339 (Dopita et al. 1997). Z těchto dat vyplývá, že převážně kulmský vývoj spodního karbonu odpovídá v J části české části HP svrchní části moravického souvrství a hradecko-kyjovickému souvrství. Litologické rozlišení těchto jednotek není v oblasti české části HP možné (Dopita et al. 1997), blíží se však nejvíce hradecko – kyjovickým vrstvám známým z rozsáhlých výchozů v Nížkém Jeseníku a Oderských vrších. Kumpera (1983) shrnul celý kulmský sled pod označení beskydský vývoj. Údaje o mocnostech hornin kulmu se většinou velmi liší dle studovaného území. **Proto je tuto mocnost velmi těžké odhadnout a pravděpodobně bude spolu s mocnostmi karbonátů spodního karbonu až devonu tvořit jedno z největších rizik případného průzkumu hydrotermálního potenciálu těchto karbonátových hornin.** Hradecko-kyjovické souvrství tvoří lavicovité desky až deskovité droby s vložkami prachovitých rytmitů. Na bázi souvrství převažují lavice drob, následují laminované břidlice střídající se s tenkými, karbonatickými, jemně zrnitými drobami. Mocnost je odhadována Mísařem et al. (1983) na 1500 m. Pod nimi mohou být uloženy horniny moravického, které je dokumentováno ve východní části Nížkého Jeseníku a kde je velmi proměnlivá mocnost odhadována maximálně na 2000 m. Na jižní Moravě tvoří kulmské horniny mocné polohy převážně myslejovického souvrství a jsou zde na vrtech dokumentovány velmi proměnlivé mocnosti od desítek metrů (např. vrty Nemčičky 6, Nemčičky 1, Nemčičky 3) až po více než 1000 m např. na vrtech v osní části nesvačilského příkopu (Těšany 1, Újezd 1). Na vrtu NP 339 jižně od Českého Těšína je dokumentován nerozlišený vývoj kulmu spodního karbonu o celkové mocnosti 557 m. Jelikož se jedná o nejbližší dokumentovaný údaj o mocnostech kulmských hornin, bude k tomuto údaji přihlíženo při stanovení stratigrafického profilu v oblasti POHO.

**Devonské a spodnokarbonské karbonáty** – jelikož mocnosti devonských karbonátů z oblasti nejsou známy a hlavním opěrným vrtem je zde vrt NP 339, který navrtal devonské karbonáty o mocnosti 116 m s tím, že nebyla dovrtnána jejich báze, opírá se stratigrafický profil vrtů pro průzkum geotermálního potenciálu zejména o vrtně doložené údaje z vrtů na jižní Moravě. Jako

vzor pro jejich kolektorské vlastnosti a celkové mocnosti potom sloužila zejména oblast nikolčicko – kurdějovského hřbetu a nesvačilského příkopu, kde byl již dříve konstruován 3D geologický model zaměřený na tyto karbonátové horniny. Mocnosti těchto hornin na vybraných vrtech na jižní Moravě jsou následující – Němčičky 5–527 m, Němčičky 6–693 m, Němčičky 3–570 m, Němčičky 2a – 624 m, Těšany 1–1097 m.

Nejspodnější část vrtaného profilu tvoří horniny stáří kambrium až devon. Tvoří nejspodnější část paleozoického sedimentačního cyklu a jsou označovány jako **paleozoická bazální klastika**. Předpokládá se u nich analogicky se stejnými sedimenty na jižní Moravě terestrický (fluviální) a marinní (příbřežní a mělkomořský) typ sedimentace (Mikuláš a Nehyba 2001, Gilíková 2003). Maximální mocnost 154 m v širší oblasti české části HP byla zjištěna na vrtu Jablunkov 1. Mocnosti kolem 100 m byly zjištěny ve vrtech v oblasti Krásná. Ve vrtech v SZ části oblasti SV 1 a SV 4 byly mocnosti 72,7 a 78 m. K redukci mocností, případně i k jejich úplné absenci pak dochází i při V okraji české části HP (Dopita 1997). Pod tímto sedimentárním komplexem leží již **krystalinické horniny** prekambriického stáří tvořící podloží celé oblasti.

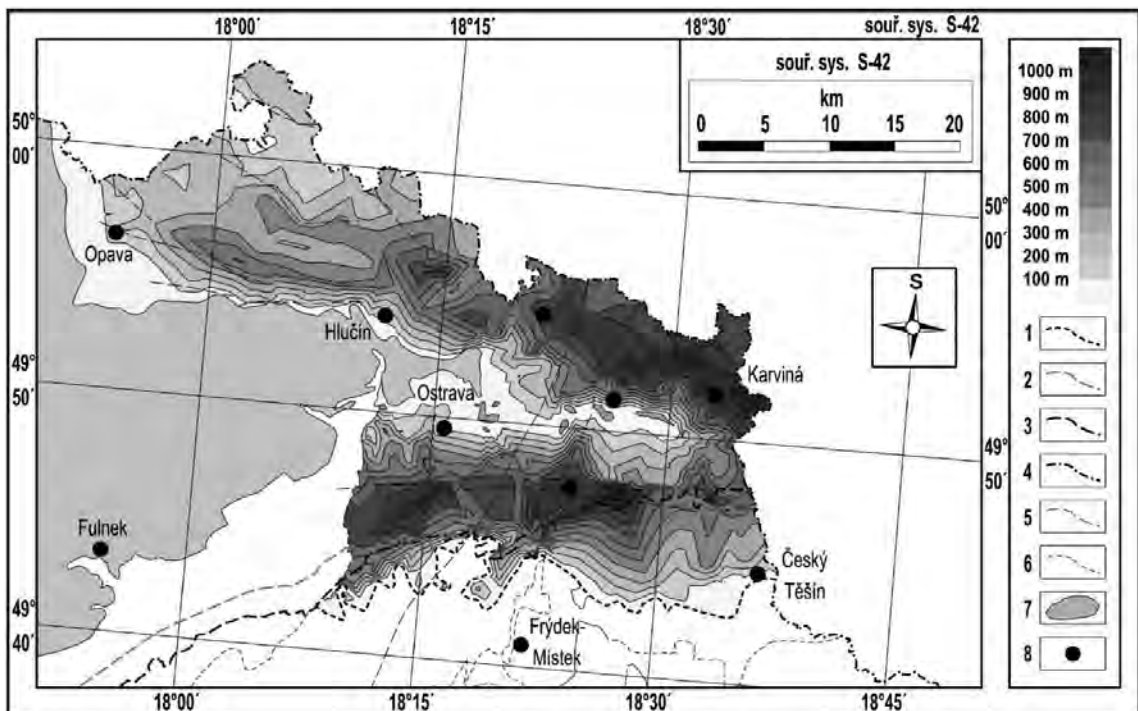
Stratigrafické profily pro oblast POHO byly sestrojeny ve dvou variantách. První je varianta, která počítá spíše s nižšími mocnostmi jednotlivých litostratigrafických jednotek. Druhá potom počítá s velkými mocnostmi hlavně u hornin spodního karbonu a u paleozoických karbonátů. Bohužel v tomto případě s ohledem na nedostatek dat zejména o hlubší části paleozoika nelze jednoznačně upřednostnit ani jednu z variant a může se také stát, že u kulmských hornin spodnokarbonského stáří bude jejich mocnost ještě vyšší než mocnost uvedená ve druhé hlubší variantě. Jediným způsobem jak tyto mocnosti a následně i reálné kolektorské vlastnosti hornin ověřit je realizace hlubokého průzkumného vrtu v této oblasti.

Litostratigrafie	Hloubka od [m]	Hloubka do [m]
Spodní miocén a kvartér	0	70
Svrchní karbon - karvinské souvrství	70	970
Svrchní karbon - ostravské souvrství	970	2550
- vrstvy porubské	970	1470
- vrstvy jaklovecké	1470	1760
- vrstvy hrušovské	1760	2160
- vrstvy petřkovické	2160	2550
Spodní karbon - kulm	2550	3150
Karbonátový vývoj devonu až spodního karbonu	3150	3750
Bazální klastika devonu	3750	3850
Krystalinikum	3850	4000

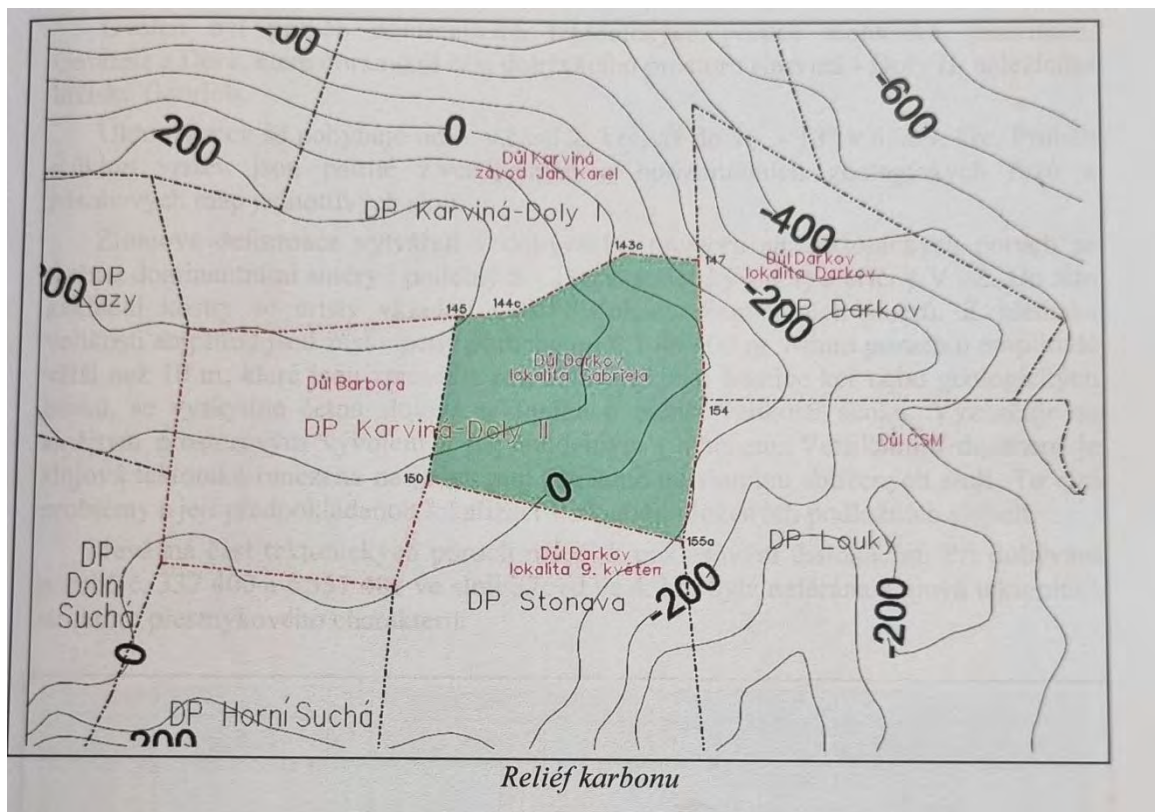
**Tabulka 3 – Varianta 1 litostratigrafického profilu v zájmové oblasti (vlastní zpracování)**

Litostratigrafie	Hloubka od [m]	Hloubka do [m]
Spodní miocén a kvartér	0	70
Svrchní karbon - karvinské souvrství	70	1270
Svrchní karbon - ostravské souvrství		
- vrstvy porubské	1270	1770
- vrstvy jaklovecké	1770	2145
- vrstvy hrušovské	2145	2595
- vrstvy petřkovické	2595	3095
Spodní karbon - kulm	3095	4500
Karbonátový vývoj devonu až spodního karbonu	4500	5600
Bazální klastika devonu	5600	6000
Krystalinikum	6000	6100

**Tabulka 4 - Varianta 2 litostratigrafického profilu v zájmové oblasti (vlastní zpracování)**



**Obr. 15 - Mocnost autochtonního bádenského pokryvu. 1 – hranice rozšíření autochtonního báden; 2 – hranice štýrských přikrovů; 3 – hranice mladostýrských přikrovů; 4 – státní hranice; 5 – hlavní tektonické linie; 6 – posterovní hranice české části hornoslezské pánve; 7 – povrchové výchozy karbonu; 8 – města (Wlosok et al. 2012)**



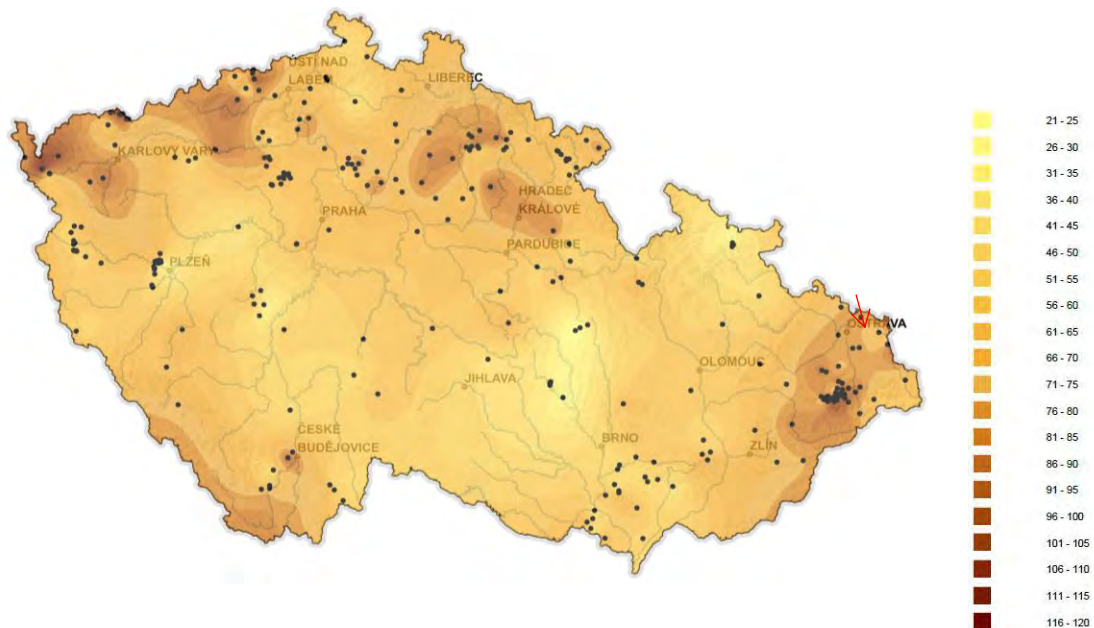
Obr. 16 – Reliéf karbonu v oblasti DP Karviná Doly II (Filip et al. 2010)

## 4 Teplotní profily vrtů v širší oblasti a geotermální gradient oblasti

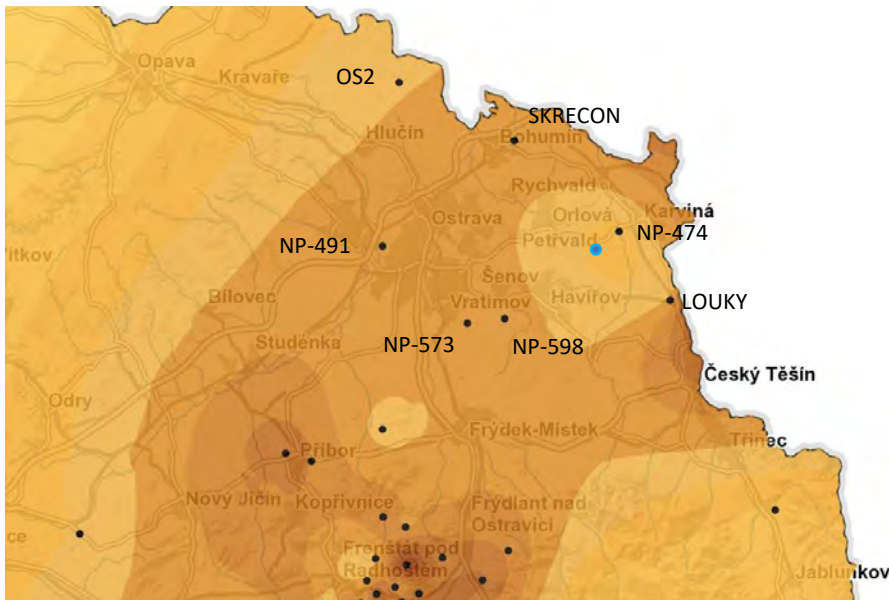
### 4.1 Tepelný tok

Aktuální data o tepelném toku publikoval Dědeček et al. (2022) a výsledné mapy jsou dostupné na webových stránkách ČGS (Obr. 17): ([https://mapy.geology.cz/geotermalni\\_potencial/](https://mapy.geology.cz/geotermalni_potencial/)) v interaktivní mapě geotermálního potenciálu ČR.

Mapa vychází v karvinské oblasti nejspíše zejména z výsledků vrtů označených v této mapě jako NP 474, NP 598, Louky a Skřečoš s extrapolací teplot do hloubek pomocí tepelných vodivostí jednotlivých předpokládaných hornin. Teplotní gradient a teploty jednotlivých hloubkových úrovní se z tohoto mapového podkladu zdají být spíše nižší, a proto bylo přistoupeno k vyhledání detailních údajů ve zprávách z vrtného průzkumu v okolí oblasti POHO. Zvýšený tepelný tok se zde jeví jako výsledek kontaktu Českého masivu a Západních Karpat, který je doprovázen oblastí menších mocností zemské kůry (Myslil et al. 2005). Obr. 18 znázorňuje regionální mapu znázorňující distribuci tepelného toku na SV Moravě. Podle interaktivní mapy je hodnota tepelného toku v zájmovém území  $68 \text{ mW/m}^2$ .

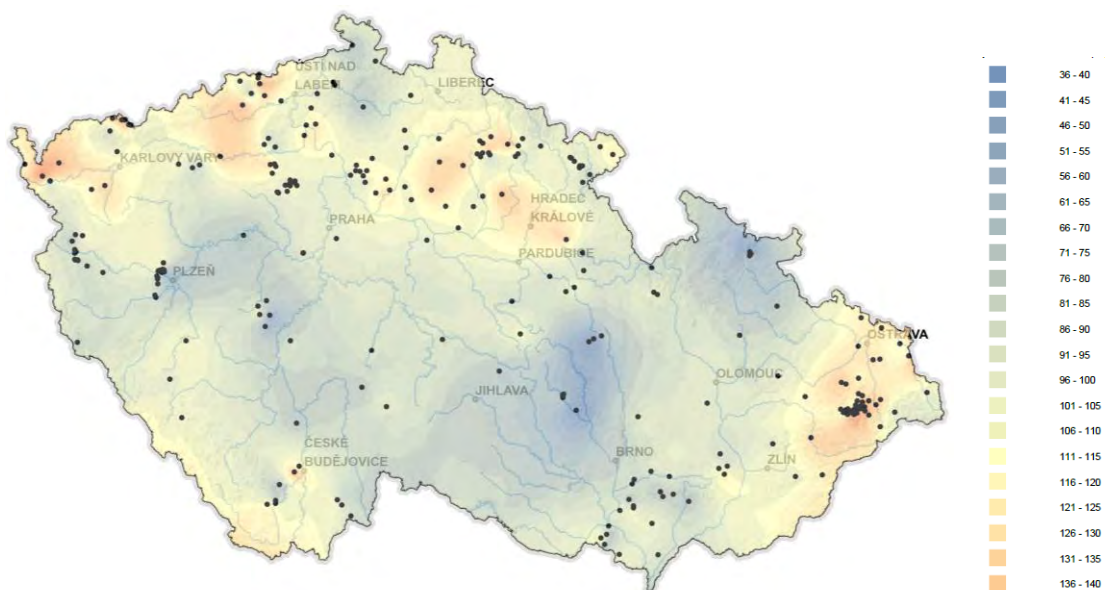


**Obr. 17 - Tepelný tok na území České republiky (Dědeček et al. 2022). Červeně je vyznačeno studované území**



**Obr. 18 - Tepelný tok v SV části Moravy (Dědeček et al. 2022). Černé body vyznačují pozice vrtů s měřeným tepelným tokem. Modrý bod znázorňuje pozici studovaného území.**

V Tabulce 6 jsou shrnuty výsledné hodnoty tepelného toku v okolí vrtů v blízkosti zájmového území, kde byl měřen teplotní profil. V tabulce je také znázorněna vzdálenost jednotlivých vrtů od studovaného území. Distribuce teplot v mapě pro hloubku 4000 m je znázorněna na Obr. 19. Maximální hloubka vrtů, ve kterých proběhla měření je 1600 m (hloubka na vrtu Skřečoch není potvrzena). Teploty ve větších hloubkách, než jsou konečné hloubky vrtů uvedené v tabulce 5, je extrapolována.



**Obr. 19 - Předpokládaná distribuce teplot v hloubce 4000 m (Dědeček et al., 2022)**

Název vrtu	NP-474	LOUKY	NP-598	NP-573	NP-491	SKRECON	OS2
Vrt (Původní název)	GDO 346817	?	GDO 349130	GDO 349137	GDO 325571	(GDO 321572, NP- 752)	GDO 320772
Hloubka vrtu	1176 m		1371 m	1565 m	1500 m	(1912 m)	802 m
Vzdálenost od zájmového území	2.9 km	9.0 km	10.0 km	12.8 km	18.1 km	11.3 km	22 km
Tepelný tok [mW/m <sup>2</sup> ]	68	79	78	80	80	78	75
Teplota 400 m	21	22	23	23	22	22	21.5
Teplota 600 m	26	29	29	30	29	28	27.5
Teplota 1000 m	37	41	41.5	42	41	41	39.5
Teplota 1500 m	51	57	57	58	57	56	54.5
Teplota 2000 m	64.5	73	72.5	74	73	72	69.5
Teplota 3000 m	87.5	99	98.5	101	100	98	94.5
Teplota 4000 m	110.5	125.5	124.5	127.5	126.5	124	119.5
Teplota 5000 m	133.5	152	150.5	154	153	150	144.5

**Tabulka 5 - Tepelný tok a hodnoty teplot v měřených a extrapolovaných hloubkách v okolí Karviné. Data z interaktivní mapy tepelného toku ([https://mapy.geology.cz/geotermalni\\_potencial/](https://mapy.geology.cz/geotermalni_potencial/))**

#### 4.2 Archivní údaje o teplotních profilech vrtů a geotermálním gradientu oblasti zjištěné z vrtného průzkumu oblasti

Teplotní údaje měřené na vrtech poskytují nejlepší dostupný zdroj teplotních informací. V archivních zprávách dostupných v archivu Geofondy bylo vyhledáno poměrně významné množství údajů o teplotních gradientech v průzkumných vrtech v blízkém okolí studované oblasti. Tyto údaje obsahují také informace o lokálním geotermálním gradientu oblasti. Nejvýznamnějšími zdroji dat o teplotách jsou pak zejména zprávy obsahující složky jednotlivých průzkumných vrtů a závěrečné zprávy průzkumu, případně výpočty zásob důlních děl:

- Výpočet zásob průzkumného pole Dětmárovice – Petrovice (1967). I. Prokop a O. Strakošová. Složky vrtů NP. Geofond Praha - GF FZ004986.
- Dětmárovice – Petrovice – Geologické zhodnocení s výpočtem zásob (1995). Žídková et al. Geofond Praha GF FZ006489.
- Nové Pole ČSA, Etapa předběžná, surovina černé uhlí (1981). Strakošová et al. Geofond Praha – GF FZ005836.
- Likvidační výpočet zásob černého uhlí v dobývacích prostorech Dolní Suchá a Petřvald I č. 2/0032 OKD, a.s. Dukla – útlum, stav k 1.1.2007 (2007). P. Nevlud. Geofond Praha – GF FZ007106.

Podrobný výpis hodnot měření teplotních karotáží na jednotlivých vrtech v průzkumném území Dětmárovice – Petrovice je uveden v tab. 6. s vymezením klidové stabilizační doby a hloubek

měření na jednotlivých vrtech. Na Obr. 20 je vyznačeno umístění jednotlivých vrtů v okolí zájmového území.

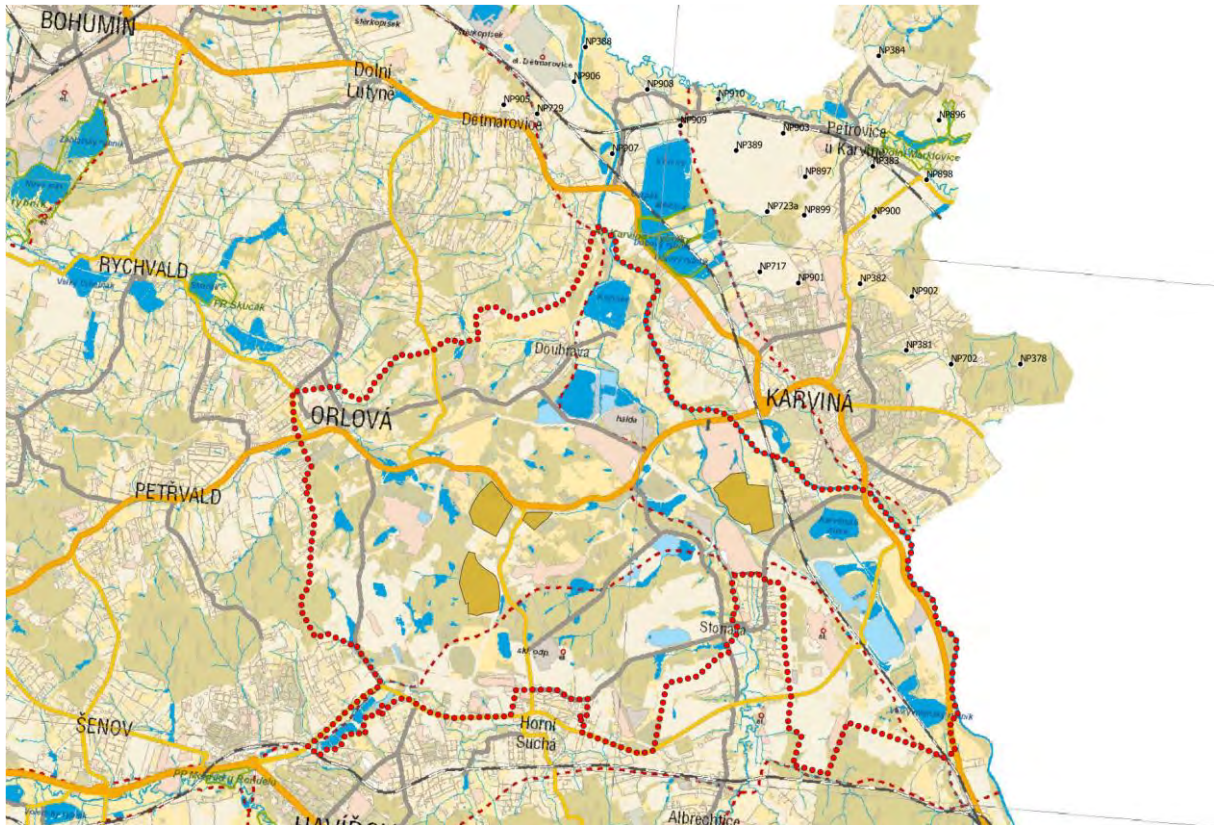
Vrt	Teplotní měření	Počáteční hloubka měřeného úseku [m]	Konečná hloubka měřeného úseku [m]	Klidová doba	Střední geotermický stupeň	Poznámka
NP 891	I. TM	4	1790	51 hod.	29	
	II. TM	4	1085	14 dní	28,3	vrt dále neprůchodný
	III. TM	23	789	204 dní	27,1	vrt dále neprůchodný
NP 892	I. TM	1	1560	40 hod.	27,3	
	II. TM	1	1565	168 hod.	28,1	
	III. TM	1	877	172 dní	23,9	vrt dále neprůchodný
NP 893	I. TM	0	1550	33 hod.	34,7	
NP 894	I. TM	0	1544	41 hod.	28,6	
	II. TM	154	1542	539 hod.	27,2	
	III. TM	0	865	43 dní	30,5	vrt dále neprůchodný
NP 895	I. TM	4	1516	25,5 hod.	30,7	
	II. TM	5	1845	12 dní	29	
	III. TM	1	1260	67 dní	28,9	vrt dále neprůchodný
NP 896	I. TM	2	1552	24 hod.	29,9	
	II. TM	4	1552	4 dny	29,5	
NP 897	I. TM	4	1650	30 hod.	28,7	
	II. TM	4	1486	10 dní	31,2	vrt dále neprůchodný
NP 898	I. TM	1	1493	27 hod.	32,3	
	II. TM	2	1110	24 dní	27,8	
	III. TM	0	830	63 dní	24,8	
NP 899	I. TM	2	1449	20 hod.	29,7	
NP 900	I. TM	4	1600	25 hod.	29,8	
	II. TM	5	1152	9 dní	29,2	
	III. TM	0	260	180 dní	30,6	
NP 901	I. TM	3	1570	26 hod.	32,7	
	II. TM	10	1570	132 hod.	31,1	
NP 902	I. TM	0	1043	36,5 hod.	33,2	vrt dále neprůchodný
	II. TM	0	1777	172 hod.	31,3	
NP 903	I. TM	0	1380	12 hod.	N/A	
	II. TM	0	1380	7 dní	N/A	
NP 905	I. TM	0	1547	24,5 hod.	28,7	
	II. TM	0	1555	7 dní	28	
NP 906	I. TM	0	1600	12 hod.	30,2	
	II. TM	0	1600	303 hod.	32,2	
NP 907	I. TM	0	1600	24 hod.	31,2	
	II. TM	0	1600	13 dní	30,1	vrt dále neprůchodný
	III. TM	0	920	162 dní	27	vrt dále neprůchodný
NP 908	I. TM	4	1647	43 hod.	28,4	
	II. TM	4	1640	165 hod.	27,2	



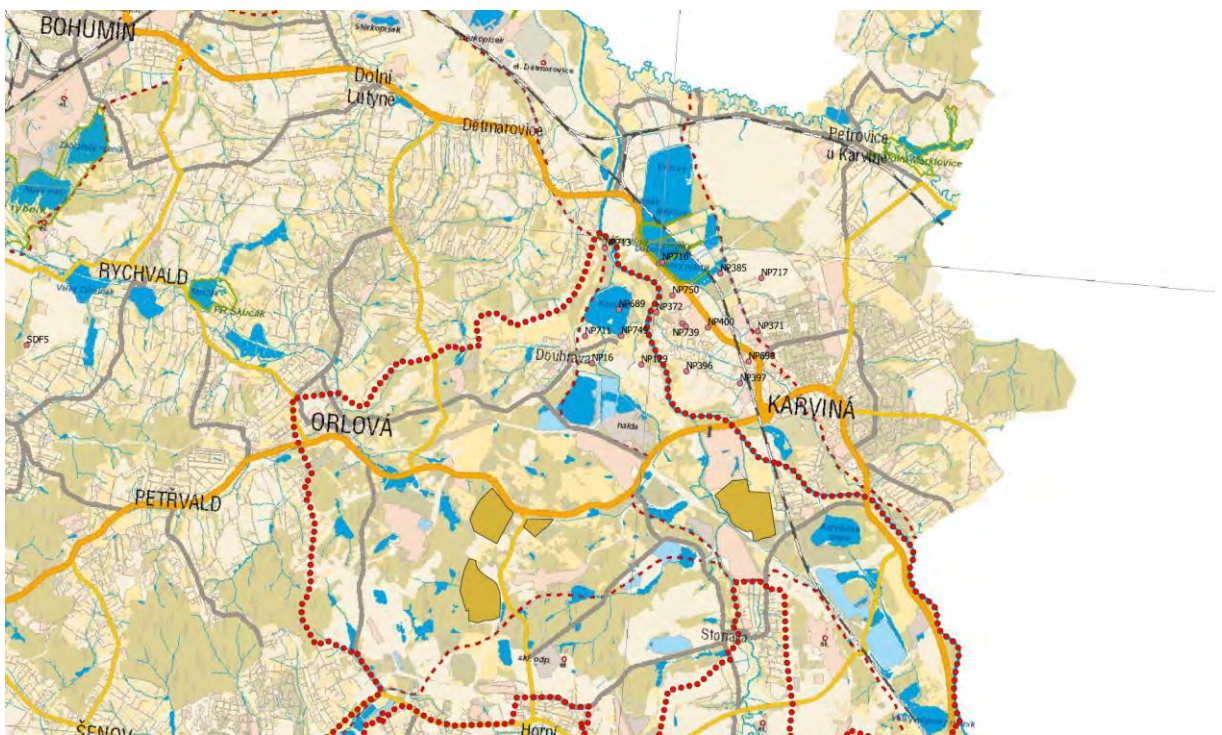
NP 909	I. TM	10	1550	24,5 hod	31,1	
	II. TM	3	1112	3 dny	29,4	vrt dále neprůchodný
	III. TM	5	885	158 dní	26,3	vrt dále neprůchodný
NP 910	I. TM	10	1900	36,5 hod.	29,2	
	II. TM	0	1690	7 dní	30,6	vrt dále neprůchodný
	III. TM	7	1610	53 dní	28,2	vrt dále neprůchodný
NP 378		200	1400		32	
NP 381		200	1300		31	
NP 382		100	1500		35	
NP 383		100	1200		29	
NP 384		100	1450		35	
NP 388		100	1200		42	nelze využít - klidová doba n. d.
NP 389		100	1200		27,2	
NP 702		200	1500		28,7	
NP 717		100	935		33,1	
NP 723a		100	1200		32,6	
NP 729		100	1000		33,3	
NP 731		200	1350		29,5	

**Tabulka 6 – Měření teplotních karotáží ve vrtech v PÚ Dětmorovice – Petrovice (Prokop a Strakošová 1967)**

Podrobný výpis hodnot měření teplotních karotáží na jednotlivých vrtech v oblasti nového pole ČSA je uveden v tab. 7. Na Obr. 21 je vyznačeno umístění jednotlivých vrtů v této oblasti.



Obr. 20 - Mapa znázorňující pozice vrtů s údaji teplotní karotáže z oblasti PÚ Dětmarovice – Petrovice. Červenou přerušovanou čarou je znázorněno území POHO, černé body znázorňují vrtů v oblasti PÚ Dětmarovice - Petrovice (<http://www.geology.cz/app/asgi/>)



Obr. 21 - Mapa znázorňující pozice vrtů s údaji teplotní karotáže z oblasti nového pole ČSA. Červenou přerušovanou čarou je znázorněno zájmové území POHO. Červené body znázorňují vrtů v oblasti nového pole ČSA (<http://www.geology.cz/app/asgi/>)

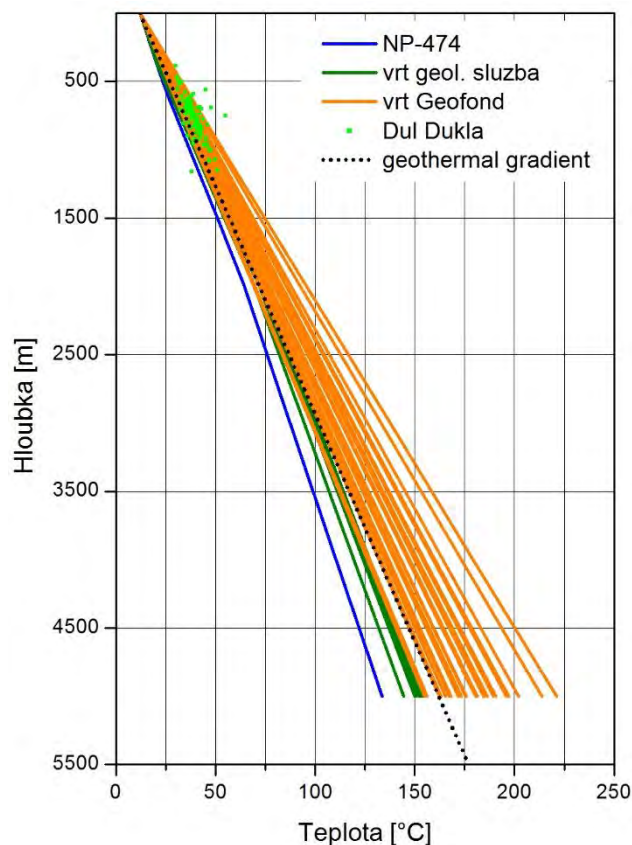
Vrt/well	nadmořská výška ústí/z well head	Měřeno/Measured od/from	Měřeno/Measured hloubka/teplota/hloubka depth/temperature/depth	Střední geotermický stupeň/geot. average geothermal grade	+0			-100			-200			-300			-400			-500				
					hloubka	teplota	geoter.grad.	hloubka	teplota	geoter.gr	hloubka	teplota	geoter.gr	hloubka	teplota	geoter.gr	hloubka	teplota	geoter.gr	hloubka	teplota	geoter.gr	hloubka	teplota
NP16	218,81	200	1100	9,2	45,9		220,71	10	320,71	14	4	420,71	17,9	3,9	520,71	21,8	3,9	620,71	25,5	3,7	720,71	29,6	4,1	
NP12	221,45					měřeno																		
NP29	220,31	200	1000	11,2	39,2	18,57	120,71	11,5																
NP371	230,14	100	1500	11,8	56,8	31	20,82	116,57	11,5															
NP385	220,42	100	1500	11,8	56,8	31	20,82	126,82	11,5	218,76	14	2,5	318,8	16,3	2,3	418,87	19,2	2,9	518,98	21,2	2	619,04	24	2,8
NP396	221,65	200	1740	16,2	69,4	28,9	22,05	122,05	16,9	220,83	14,1	1,8	320,84	16,9	2,8	420,87	20,1	3,2	520,94	23,2	3,1	621,02	26,7	3,5
NP397	224,37	200	1300	15,8	51,8	31	24,77	124,77	17	220,08	17	3,3	322,1	20,3	3,3	422,24	24	3,7	522,24	28	4	622,82	31,4	3,4
NP400	221,99	200	1345	11,4	52,2	32,6	22,39	122,39	11,8	224,78	16,7	3	324,81	19,7	3	424,84	22,6	2,9	524,91	25,8	3,2	625,21	29,3	3,5
NP488	220,07	200	1300	13,4	52,2	30,9	22,39	123,39	11,8	229,39	11,8	2,6	329,42	14,4	2,6	429,45	17	2,6	529,48	20,7	2,7	629,51	23,4	3,1
NP689	216,4	20	1305	14,9	50,3	34,2	16,4	116,4	16,3	220,48	17,1	2,7	320,51	19,9	2,8	420,54	23,9	4	520,59	26,2	3,7	620,68	28,8	2,8
NP690	223,39	0	806	5,5	36,1	36,2	23,39	8,2	123,39	11,8	3,6	223,39	16	4,2	323,39	23	3,8	423,42	26,3	3,3	523,45	30	3,7	
NP711	221,15	80	1400	10	56	29	21,25	121,25	10,7	221,25	13,3	2,6	321,25	16,3	3	421,25	19,6	3,3	521,25	23,1	3,5	621,25	26,7	3,6
NP713	213,58	200	1200	13,2	47,5	29,7	13,98	114	11,4	214,02	13,7	2,6	314,07	17,6	3,9	414,16	21,5	3,9	514,24	25,2	3,7	614,33	29,2	4
NP716	217,93	200	1500	13,2	51,8	34,2	18,33	118,33	11,8	218,33	13,7	3	318,38	16,6	2,9	418,47	20	3,4	518,55	23,5	3,5	618,64	26,8	3,3
NP717	231,2	100	995	15	38,3	33,3	31,6	131,6	15,1	231,6	20	3,1	331,6	23	3	431,6	29	3	531,6	26,6	3,6	631,69	29,7	3,1
NP739	220,29					hydrogeologický vrstvení																		
NP749	219,03	0	1296	11,5	49,9	30,3	19,03	10,2	119,03	12,2	2	219,03	14,8	2,6	319,03	17,4	3,2	419,03	20,6	3,6	519,03	24,2	2,7	
NP750	219,73	40	1293	13,1	51,2	29,5	19,73	11,8	119,73	11,8	2,5	219,73	14,4	2,6	319,73	16,9	3,1	419,82	20	3,4	519,91	23,4	3,2	

600			-700			-800			-900			-1000			-1100			-1200			-1300			-1400		
hloubka	teplota	geoter	hloubka	teplota	geoter	hloubka	teplota	geoter	hloubka	teplota	geoter	hloubka	teplota	geoter	hloubka	teplota	geoter	hloubka	teplota	geoter	hloubka	teplota	geoter			
820,71	33,4	3,6	920,71	37,7	4,3	1020,71	42,1	4,4																		
819,1	30,1	2,7	919,12	33,2	3,1	1019,15	35,8	2,6	1119,15	38	2,2															
821,24	33,1	2,8	921,61	36,8	3,7	1022,09	40,1	3,3	1122,72	43,8	3,7	1223,47	47,2	3,4	1324,28	50,6	3,4	1425,04	53,8	3,2						
823,14	38,5	3,6	923,29	42,6	4,1	1023,45	47,3	4,7	1123,69	51,4	4,1	1224,01	55	3,6	1324,37	57,8	2,8	1424,59	60,1	2,3	1524,73	63,5	3,4			
826,24	36,3	3,8	927,25	39,9	3,6	1028,25	43,3	3,4	1129,43	46,7	3,4	1230,87	50,3	3,6												
823,36	29,7	3,3	923,97	33,5	3,8	1024,9	37,3	3,8	1126,02	41,3	4	1337,37	43,9	2,6	1329,3	47,4	3,5	1431,27	49,8	2,4	1532,65	51,6	1,8			
820,92	35,2	3,6	921,03	38,2	3	1021,16	41,7	2,5	1121,32	45,2	3,5	1221,52	49,7	4,5												
816,54	34,8	3	916,54	38,5	3,7	1016,64	42,2	3,7	1116,73	45,3	3,1	1216,77	47,7	2,4												
821,29	33,6	3,6	921,33	37,4	3,8	1021,37	41,9	4,5	1121,45	45,4	3,5	1221,58	48,5	3,1	1321,7	51,6	3,1									
814,53	37,4	4	914,56	39,5	2,1	1014,71	42,6	3,1	1115,13	45,2	2,6	1215,57	47,8	2,6												
820,69	32,6	2,5	921,48	34,9	2,3	1022,32	38,2	3,3	1123,31	41,7	3,5	1224,4	44,7	3	1325,43	47,4	2,7	1426,59	49,6	2,2	1527,72	52	2,4			
831,68	36,2	3,3																								
819,25	33,3	3,3	919,3	37,4	4,1	1019,37	42	4,6	1119,43	45,2	3,2	1219,52	47,4	2,2												
820,76	33,2	3,4	921,01	36,8	3,6	1021,22	40,6	3,8	1121,44	44,2	3,6	1221,65	48,4	4,2												

Tabulka 7 - Měření teplotních karotáží ve vrtech v oblasti nového pole ČSA (Strakošová et al. 1981)

Teplotní data uvedená v Tabulce 5 byla dále zpracována do podoby teplotních křivek (Obr. 22), přičemž data v hloubkách větších než cca 1600 m byla lineárně extrapolována. Data na interaktivní mapě tepelného toku (Dědeček et al. 2022, kapitola 4) jsou zobrazena v zelených, případně modrých barvách. Modrá křivka odkazuje k nejbližšímu vrtu NP 474, který je od území Smart park vzdálen cca 2,9 km. Data získaná z geofondu jsou zobrazena na obr. 19 jako oranžové křivky, přičemž vrt NP 388 nebyl brán v potaz s ohledem na nejistotu měření. Teplotní gradienty na vrtu byly extrapolovány z měřených hodnot do hloubek s přihlédnutím k průměrné povrchové teplotě 12°C. Pokud bylo k dispozici více měření, byla brána v potaz pouze měření poslední. Na obrázku 22 jsou zvlášť zobrazeny také výsledky teplotních měření z dolu Dukla, které potvrzují teplotní trend ze zpracovaných vrtů.

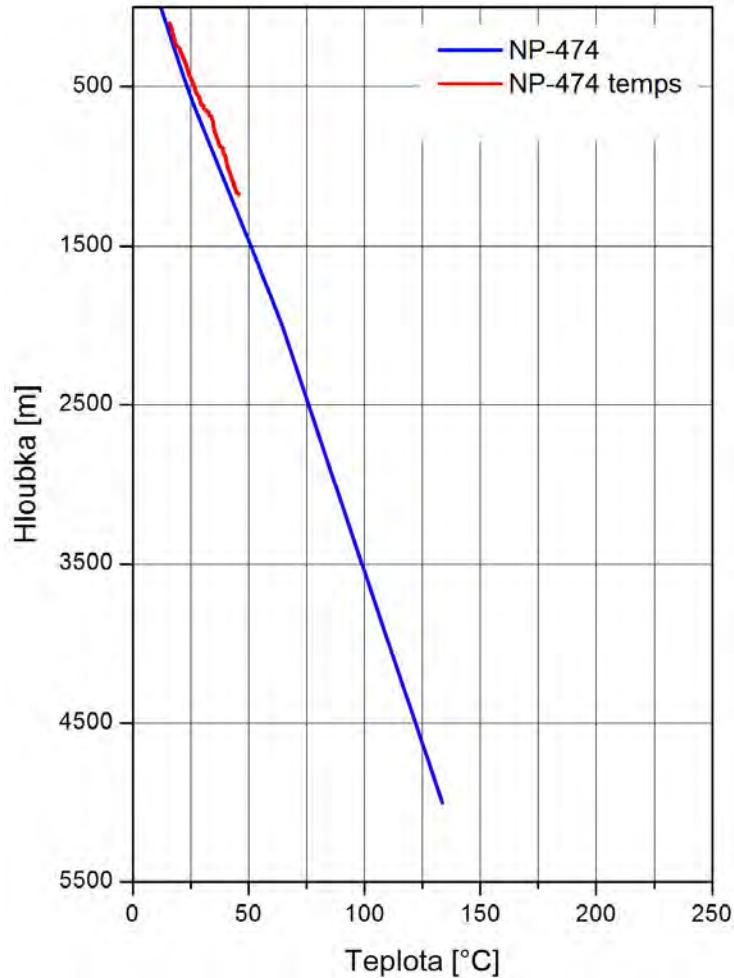
Shromážděné údaje o tepelném toku ukazují, že v oblasti je geotermální gradient o něco málo vyšším, než je průměrně udávaný gradient 30 °C/km. Nicméně je třeba vzít v úvahu, že v blízkosti zájmového území se nachází také „chladnější“ vrty (např. NP-474), a proto byl použit konzervativnější přístup pro stanovení teploty 120°C. Extrapolace teplotních hodnot ukazuje, že k dosažení teplot 120 °C (minimální požadovaná teplota pro výrobu elektrické energie) může být dosažena v hloubkových intervalech od 3500 do 4000 m.



**Obr. 22 - Distribuce teplot v závislosti na hloubce extrapolovaná z teplotních měření na vrtech v oblasti Karviná a z vrtů provedených na dole Dukla. Teploty ve větších hloubkách, než dosažených dostupnými vrty jsou extrapolovány. Černá tečkovaná linie znázorňuje průměrný teplotní gradient (tabulkové hodnoty - tab. 5,6,7,8), (vlastní zpracování).**

Jelikož data z vrtu NP 474 z interaktivní mapy tepelného toku ČGS vykazují nejnižší hodnoty teplotního gradientu v oblasti a zároveň se jedná o nejbližší vrt k zájmové oblasti, byla data z tohoto vrtu znovu podrobena studiu. Obr. 23 ukazuje srovnání původních dat z teplotní karotáže vrtu NP 474 poskytnuté pracovníky ČGS a data odečtená z interaktivní mapy ČGS pro tuto oblast. Je zjevné, že se teploty původních dat a zpracovaných dat mírně liší z důvodu použití výpočtu tepelného toku v jednotlivých horninových celcích v hornoslezské pánvi při novém výpočtu. Z

důvodů této nejistoty v odhadu teplot ve větších hloubkách přistupujeme v další studii k datům z vrtu NP 474 se zvýšenou mírou opatrnosti.



**Obr. 23 - Srovnání rozdílných teplotních měření na vrtu NP 474 (vlastní zpracování).**

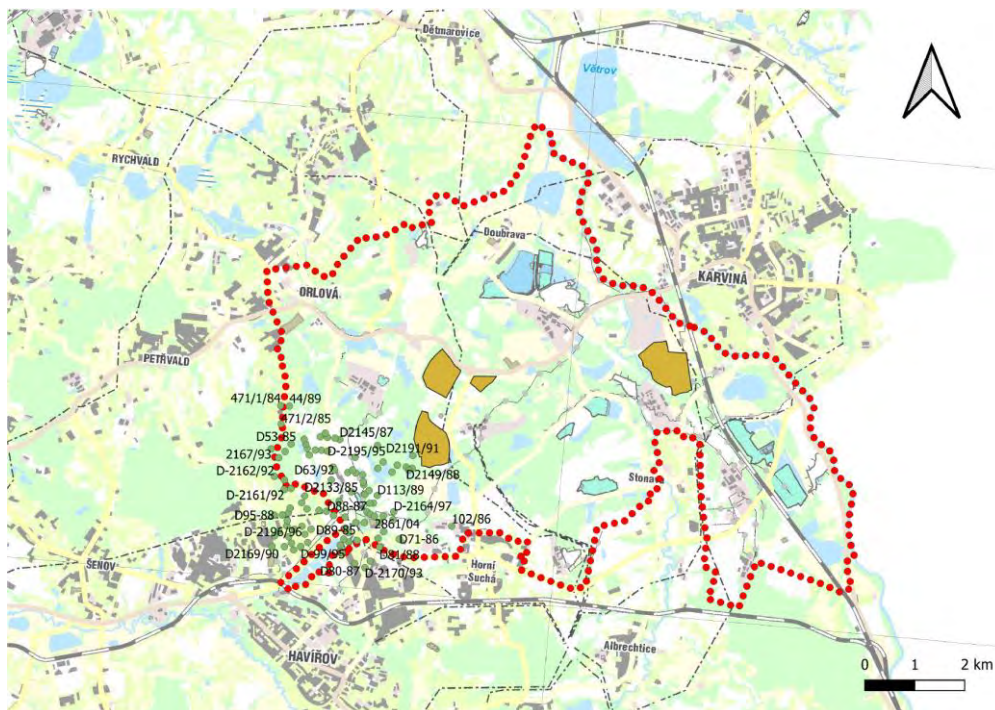
#### 4.3 Teplotní měření v průzkumných vrtech v důlním díle Dukla

Dalším poměrně dobrým zdrojem hodnotícím teplotní poměry oblasti je likvidační výpočet zásob v dobývacích prostorech Dolní Suchá a Petřvald dolu Dukla (Nevlud 2001) v jižní části oblasti POHO. Zde bylo teplotní měření provedeno u 114 důlních vrtů a u jednoho vrtu z povrchu. Jednotlivá měření maximálních teplot v důlních průzkumných vrtech jsou zpracována v tab. 8. Všechna měření byla provedena maximálními rtuťovými teploměry s rozsahem 0 – 100 °C a s možností odečtu teploty na 0,5 °C. V drtivé většině měření byla prováděna ve vrtech zapažených ocelovými trubkami. Zjištěné max. teploty, přes ovlivnění pažením a proplachováním vrtu mohou sloužit k relativnímu srovnání teplot v měřených hloubkových úrovních (Nevlud 2001). Z naměřených hodnot je patrné, že geotermální stupeň v DP Dolní Suchá a DP Petřvald je 23,5 °C. Odhadem byly rovněž stanoveny teploty pro jednotlivé hloubkové úrovně -875 m (44 °C); -100 m (50 °C); -1400 m (67 °C). V tabulce 8 jsou uvedeny hodnoty měření v jednotlivých vrtech a na Obr. 24 jsou zobrazeny pozice jednotlivých vrtů.

Název vrtu	Nadmořská výška měření	Rok měření	Teplota °C	Název vrtu	Nadmořská výška měření	Rok měření	Teplota °C
D88-87	-1074,1	1984	47	D2175/90	-465,5	1990	31
D2133/85	-711	1985	36	D2171/90	-486,1	1990	31
D2132/85	-703,4	1985	32,5	D109/90	-512,2	1990	32
D53-85	-959,7	1985	46	D-2174/90	-522,2	1990	32
D92-85	-997,6	1985	47	D2198/90	-679,3	1990	35
471/1/84	-704	1985	38,5	D2191/91	-654,3	1991	37
471/2/85	-1160	1986	38	D2203/81	-796	1991	40
D89-85	-1005,4	1986	47,5	D2154/91	-652,7	1991	38
D71-86	-995,8	1986	47	D2155/91	-692,3	1991	38
D2134/86	-653,9	1986	37	D2156/91	-692,3	1991	35
D-2135/86	-674,5	1986	36,8	D2157/91	-652,3	1991	38
NP164	-915,4	1987	39,3	D2158/92	-965	1992	46
D2138/87	-778	1987	40,5	D63/92	-1070,3	1992	50
D2138/87	-755	1987	40	D-2159/92	-960	1992	44
D2139/87	-776	1987	41	D-2160/92	-723	1992	38
D2140/87	-643	1987	34	D-2161/92	-803,2	1992	40
D-2141/87	-722	1987	37	D-2162/92	-803,4	1992	41
D2142/87	-703	1987	37	D-2163/93	-804,5	1993	36,5
D80-87	-925	1987	45	D-2164/97	-732,3	1993	38,5
D2143/87	-692	1987	48	D2165/93	-807,3	1993	41
D2145/87	-729	1987	37	2167/93	-719,1	1993	36
D2146/87	-826	1987	40,5	2168/93	-740,2	1993	42
D2147/87	-719	1987	38	D2166/93	-819,4	1993	41
D2144/87	-684	1987	35	D-2170/93	-687,3	1993	42
D81/88	-891	1988	43	D-2179/93	-861,7	1993	42
D2149/88	-642	1988	36	D-2180/93	-829,9	1993	39
D2148/88	-645	1988	37	D-83/94	-970,5	1994	45
D2151/88	-646	1988	37	D-2184/94	-883,9	1994	42
D2150/88	-629	1988	36	D-2186/94	-652,3	1994	36,5
D2152/88	-702	1988	43	D-2188/94	-614,8	1994	37
D2153/88	-705	1988	37	D-86/94	-804,8	1994	40
D2181/88	-686	1988	36	2190/94	-601,6	1994	38
D95-88	-653	1988	38	2189/94	-591,1	1994	39

D2182/88	-668	1988	37,5	102/86	-950,1	1994	39
D2183/88	-752	1988	55	D96/94	-875,9	1994	40
D2173/88	-751	1988	38	D2194/95	-897,6	1995	36
D113/89	-853	1988	43	D-97/95	-922,7	1995	42
D100/89	-643	1989	36	D-2195/95	-717,5	1995	37
D-2192/89	-658,6	1989	36	D-98/95	-813	1995	40
D2172/89	-746,5	1989	40	D-2196/96	-730,8	1995	39
D2185/89	-738,2	1989	35	D-99/95	-773,7	1995	38
D112/89	-849,4	1989	41	D-2197/95	-714,5	1995	36
D2187/89	-651,3	1989	32	D2199/96	-578,3	1996	35
D101/89	-691,1	1989	41	D-2200/96	-809,5	1996	34
D111/89	-818,5	1989	46	D-121/01	-777,7	2001	44
D-2193/89	-503,4	1989	33	D-122/02	-923,7	2003	40
D-2178/89	-557,1	1989	31	D-123/03	-840,5	2003	37
D-2177/89	-611,1	1989	33	2860/04	-911,9	2004	45
D114/89	-1082,9	1989	47	2858/04	-826,9	2004	43
44/89	-1150	1989	51	2861/04	-871,1	2004	42
D2169/90	-385,5	1990	30	D-124/05	-560,9	2005	45

Tabulka 8 - Výsledky teplotního měření v dole Dukla (Nevlud 2001)



Obr. 24 – Pozice vrtů s hodnotami měření teplot v dole Dukla (Nevlud 2001)

#### 4.4 Tepelný tok v hornoslezské uhelné pánvi

V širší oblasti hornoslezské pánve byl tepelný tok zpracován v publikaci (Kubík a Čermák 1986). Na tuto práci poté navázal Čermák a Šafanda (2001) sumarizací těchto dat. Ve shrnutí práce

Čermák a Šafanda (2001) konstatují, že tepelný tok v oblasti je okolo  $70 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ , což je o  $10\text{-}20 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$  více než v jižní části karpatské předhlubně. Vrtý použité pro tuto studii a hodnoty jejich tepelné vodivosti jsou shrnuty v Tabulce 9. Tyto vrtý byly primárně zaměřeny na uhelný průzkum a je tedy třeba brát v úvahu fakt, že největší pozornost byla věnována horninám karbonského stáří. Mladší jednotky pokryvu jsou mnohem méně prozkoumané stejně jako jednotky hlubší geologické stavby, které nebyly vrtným průzkumem vůbec zastiženy. V Tabulce 10 jsou uvedeny průměrné hodnoty tepelné vodivosti jednotlivých horninových typů podle Kubíka a Čermáka 1986, které reprezentují vodivosti vodou nasycených hornin. Vyšší teploty pozorované v karvinské části pánve lze uspokojivě vysvětlit nižší tepelnou vodivostí, a tudíž vyšším teplotním gradientem v karvinském souvrství v důsledku vyššího relativního zastoupení uhlí v litologickém profilu.

Vrt	Tepelná vodivost
NP-532 Kunčice	pískovec $2.41 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , prachovec $2.30 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
NP-533 Frenštát	pískovec $2.38 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , prachovec $2.16 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
NP-687 Louky	pískovec $2.60 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , prachovec $2.22 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
NP-725 Skřečoň	pískovec $2.45 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , prachovec $2.15 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
NP-541 Kozlovice	pískovec $3.33 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , prachovec $2.27 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
NP-542 Trojanovice	pískovec $2.76 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , prachovec $2.20 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
NP-547 Kunčice	pískovec $3.18 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , prachovec $2.23 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
NP-550 Trojanovice	pískovec $3.02 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , prachovec $2.14 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
SV-4 Kozlovice	pískovec $3.62 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , prachovec $2.27 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , jílovec $2.05 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ vápenec $2.87 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , dolomit $2.96 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , slepenec $3.98 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
SV-1 Kozlovice	pískovec $2.99 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , prachovec $2.31 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
SV-2 Stonava	hrubo- a střednězrnný pískovec $4.18 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , jemnozrnný pískovec $3.19 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ prachovec $2.15 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
SH-1A Staré Hamry	pískovec $2.82 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , jílovec $2.23 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
K-1 Krásná	pískovec $3.00 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , jílovec $2.23 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , vápenec $2.78 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , dolomit $3.6 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
NP-543 Trojanovice	pískovec $2.80 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , prachovec $2.11 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
NP-544 Kunčice	pískovec $3.04 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , prachovec $2.53 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
NP-545 Trojanovice	pískovec $2.87 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , prachovec $2.53 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
NP-546 Trojanovice	pískov. $3.04 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , prachov. $2.00 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , jílov. $2.05 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
NP-548 Věřovice	pískovec $3.09 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , prachovec $2.28 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , jílovec $2.05 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
NP-551 Trojanovice	pískovec $3.06 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , prachovec $2.17 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
SV-6 Čeladná	pokryv/karbon pískovec $5.00/3.52 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , prachovec $2.27/1.88 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , jílovec $2.20/2.05 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
NP-552 Čeladná	pískovec $3.07 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , prachovec $2.14 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , tufit $2.05 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
NP-553 Kunčice	pískovec $3.22 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , prachovec $2.14 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
NP-554 Pstruží	pískovec $2.82 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , prachovec $2.14\text{-}2.67 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
NP-555 Rožnov	pískovec $2.81 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , prachovec $2.27 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , jílovec $2.05 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
NP-556 Trojanovice	pískovec $2.95 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , prachovec $2.44 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
NP-800 Trojanovice	jílovec $2.17 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
NP-801 Trojanovice	pískovec $3.52 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , prachovec $2.27 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$



NP-803 Trojanovice	pískovec 3.14 Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> , prachovec 2.27 Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
NP-804 Trojanovice	jílovec 2.20 Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
NP-824 Ostravice	pískovec 2.82 – 3.75 Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> , prachovec 1.98-2. Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> , vápenec 2.73-2.97 Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> dolomit 3.72 Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
NP-822 Malenovice	pískovec 3.23 Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> , prachovec 2.34 Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
CHO-9 Choryně	vápenec 2.86 Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
RU-1 Rusava	pískovec + prachovec 2.50 Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> , jílovec 2.25 Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>

**Tabulka 9 – seznam vrtů s výsledky měření teploty a tepelné vodivosti v oblasti hornoslezské pánve (Čermák a Šafanda 2001)**

	pískovce	prachovce	jílovce	vápence	dolomity
Pokryv	2.90 ± 0.64	2.03 ± 0.15	1.88 ± 0.17		
počet vzorků	13	3	13		
Karbon	2.96 ± 0.71	2.11 ± 0.34	1.90 ± 0.25	2.78 ± 0.26	
počet vzorků	253	98	4	3	
Devon				2.76 ± 0.23	3.60 ± 0.48
počet vzorků				24	9

**Tabulka 10 - Průměrné vodivosti ± směrodat. odchylka ve Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> (počet vzorků) (Čermák a Šafanda 2001)**

## 5 Potencionální kolektorské horniny pro hydrotermální využití zastižené v karvinské oblasti vrtným a důlním průzkumem (výběr a zhodnocení základních parametrů)

V severovýchodní části ostravsko karvinské části hornoslezské pánve se obecně rozlišují následující hydrogeologické systémy kolektorských hornin (Žídková 1995).

**1 . Hydrogeologický masiv epivariské platformy**, kam náleží horniny karbonského stáří a jeho podloží. Zde se většina prací shoduje, že v samotných horninách **produktivního karbonu** (stáří spodní namur až westphal) je zvodněné pásmo velmi málo významné a je vázáno na propustná puklinová pásma a propustné úseky zvětralinového pláště jednotlivých útvarů (Žídková 1995). Hydrogeologický průzkum v těchto jednotkách byl prováděn pouze výjimečně. Také Strakošová (1981) uvádí, že s výjimkou přípovrchové zvětralé části se jedná v případě hornin produktivního karbonu o horninové prostředí s převážně puklinovou propustností pouze obtížně sledovatelnou vrty z povrchu. Nevlud (2010) uvádí, že horniny svrchního karbonu prakticky postrádají průlinovou propustnost s ohledem na vysoký stupeň zpevnění hornin, úměrný tlakům v hloubce jejich uložení a přítomnost základní hmoty i u hrubě klastických typů sedimentů (na základě výsledků čerpacích pokusů z karbonátů paleozoika z větších hloubek je však zřejmé, že u těchto karbonátových hornin průlinová propustnost není ovlivněna tak výrazně ani ve větších hloubkách). Funkci kolektorů tedy přejímají pouze rozpukané partie obou typů hornin. Koeficient hydraulické vodivosti v těchto horninách uvádí Nevlud (2010) v těchto hodnotách: koeficient propustnosti neporušené horniny =  $n \cdot 10^{-8}$  až  $n \cdot 10^{-12}$  m/s (hydraulická vodivost), z toho koeficient propustnosti pro pelity –  $<< n \cdot 10^{-11}$  m/s; porušené horniny potom mají koeficient propustnosti (hydraulické vodivosti) =  $n \cdot 10^{-6}$  až  $n \cdot 10^{-8}$  m/s. Zvýšené propustnosti v přípovrchové zóně karbonu podmiňují především primární puklinové systémy rozvolnění, které nejsou litostatickým tlakem sevřeny. Od hloubky cca 400 m pod povrchem, pokud nejsou druhotně vyhojeny, jsou již natolik sevřeny, že jsou hydraulicky neaktivní i při vysokém hydraulickém spádu vyvolaném snížením hladiny podzemních vod na úroveň důlních vod čerpáním (Nevlud 2010). Dle Žídkové 1995 je především ze zkušeností získaných při těžbě uhlí prokázán pouze malý význam zvodnění karbonských hornin, které jsou tvořeny zpevněnými převážně relativně nepropustnými horninami s chaoticky vyvinutými většinou puklinovými kolektory. Jako takové se jeví pro hydrotermální využití jako nepříliš vhodné, a proto s nimi nelze uvažovat jako s vhodnou kolektorskou horninou pro intenzivní, úspěšné a komerční využití pro hydrotermální účely. V těchto horninách, obzvláště pak v uhelných slojích se objevují také polohy syčené zemním plynem, které jsou hodnoceny v závěrečných zprávách o výpočtech zásob zemního plynu v oblasti (např. Nevlud 2010).

**2. Sedimenty pokryvných útvarů** zahrnují převážně klastika pokrývající povrch epivariské platformy, která jsou místním souhrnným názvem označována jako "detrit". Tyto sedimentární horniny v rámci dětmarovického a bludovického výmolu zasahujících do karvinské oblasti (viz. kap. 3.1) zahrnují následující kolektorské horniny:

1. Propustné úseky sutí karbonských hornin
2. Relikty klastik staršího miocenního cyklu, patrně eggenburgského stáří
3. Bazální klastika spodního badenu, která tvoří převážnou část detritu
4. Propustné písčité polohy v pelitické facii spodního badenu s regionálně rozšířeným tzv. hlavním písčítým obzorem a v severní části s kolektorem zemního plynu
5. Kvartérní klastické sedimenty, tvořené většinou fluviálními a glacigenními štěrky a písky

Většina studovaného území se nachází v oblasti ostravsko – karvinského hřbetu s redukovanými mocnostmi miocenních hornin. Dětmarovická a Bludovická vymýtina nabývá na mocnostech pouze při jižním a severním okraji studované oblasti. Jelikož se u hornin miocenního stáří počítá s hloubkami do 600 – 800 m, nepočítá se při daném teplotním gradientu (viz. kapitola 4) oblasti s jejich využitím jako zdroje pro hydrotermální energii. Tyto miocenní horniny navíc slouží jako zdroj jodobromových léčivých vod na karvinsku což omezuje jejich další využití pro jiné účely.

### 5.1 Geochemické složení ložiskových vod oblasti

Geochemické složení vod v oblasti POHO a blízkém okolí bylo studováno na vybraných vrtech zejména u vod bazálních klastik spodního bádenu (detrit) a vod propustných písčitéch poloh v pelitické facii spodního bádenu, zejména v tzv. hlavním písčitém horizontu. V Tabulce 11 jsou uvedeny geochemické parametry vod obsažených v bazálních klastikách bádenu (detrit) a v Tabulce 12 jsou uvedeny geochemické parametry vod v hlavním písčitém obzoru pelitické facie spodního bádenu. Nebylo hodnoceno složení plynů získaných ať už z odplynů z ložiskové vody, nebo přímo z těžby.

Vrt	Hloubka báze pod terénem (strop)		Perforace v hloubce (m)	Mineralizace (mg/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	Br (mg/l)	I (mg/l)	Cl/Br	Cl/I	Cl/L	F	Ps/Pk(rok) (Mpa)
	baz. Klastika	detrit											
NP892	(754,0)760,50	760,5	753,5-761	49781	30349	15800	147,45	27,92	206	206	1087	0,58	3,19/5,58(1990)
NP894	(840,5)898,50	921,5	840,5-890,5	48496	29926	14600	139,73	20,73	214	214	1444	0,46	2,75/4,33(1990)
NP898	(759,5)765,00	765	759,5-765,5	51211	31145	16400	111,71	29,93	279	279	1041	0,37	3,02/4,78(1987)
NP899	(834,0)909,50	969	835,5-886	46950	28934	14600	143,59	21,78	202	202	1328	0,71	4,09/4,07(1990)
NP901	(827,0)988,00	1066	819-1072	61649	37641	18400	180	22,41	209	209	1680	0,53	3,27/4,03(1990)
NP902	(861,5)974,80	1012	983-1004	58804	35872	18100	167,49	28,27	214	214	1269	0,53	3,46/4,01(1990)
NP903	(870)914,30	914,3	870-914	48679	30773	14000	143,24	21,27	215	215	1447	0,38	2,41/3,76(1993)
NP905	(835,0)843,00	843	835-843	41814	25826	13200	114,94	25,67	225	225	1006	0,55	3,44/3,12(1990)
NP907	(832,5)877,50	877,5	833,5-877,5	51449	31500	16000	107,21	33,18	294	294	949	0,21	2,38/3,90(1987)
NP909	(834,2)857,00	857	834,2-855	47903	29506	14700	136,25	17,89	217	217	1649	0,46	2,88/3,63(1991)
NP910	(826,8)851,10	855,4	826,8-838	47669	29153	15100	129,33	24,03	225	225	1213	0,47	2,82/3,63(1991)
NP912	(826,0)985,50	1065,5	818,21-1069,54	59083	36482	17900	156,25	20,91	233	233	1745	0,58	3,46/4,00(1990)
NP911	(629,8)693,00	700	622,73-702,9	18509	11169	6450	55,54	3,31	201	201	1200	0,81	3,63/2,38(1989)
NP690	(723,5)751,25	758,5	716,15-763,23	23664	14345	7977	66,8	10,9	215	215	1316	0,62	2,90/4,20(1979)

**Tabulka 11 – Přehled chemismu detritové vody. Ps – tlak nasycení vody plyny, Pk – kolektorový tlak u stropu detritu, F – plynový faktor (plyn: voda) (Žídková 1995)**

Vrt	Hloubka báze pod terénem (m)	Hloubka perforace (m)	Mineralizace (mg/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	Br (mg/l)	I (mg/l)	Cl/Br	Cl/I	F	Ps/Pk(rok) (Mpa)
NP891	624,6	621,70-624,70	55258	33973	17200	126,01	36,8	270	923	0,677	3,61/5,63(1988)
NP893	647,5	645,50-647,50	54254	33585	16300	168,48	87,57	199	384		
NP906	608,7	605,70-608,70	51852	31830	16500	136,8	75,45	233	422	0,706	3,84/5,37(1990)
NP742	595,75	585-599	46888	28683	15736	62,6	34,6	458	829		
NP744	575	562,53-583,57	42858	26199	14215	67,8	31,7	386	826		
NP747	600,75	594,95-605,29	39427	23948	13243	99,9	43,5	240	551		
NP748	607,75	602-612,10	39887	24364	13186	79,9	44,4	305	549		

**Tabulka 12 – Přehled chemismu v hlavním písčitém obzoru pelitického vývoje bádenu. Ps – tlak nasycení vody plyny, Pk – kolektorový tlak, F – plynový faktor (plyn: voda) (Žídková 1995)**

## 6 Potencionální kolektorské horniny, pro které nejsou přímá data ve studované oblasti s extrapolací dat z oblastí analogických na Jižní Moravě (zhodnocení základních parametrů)

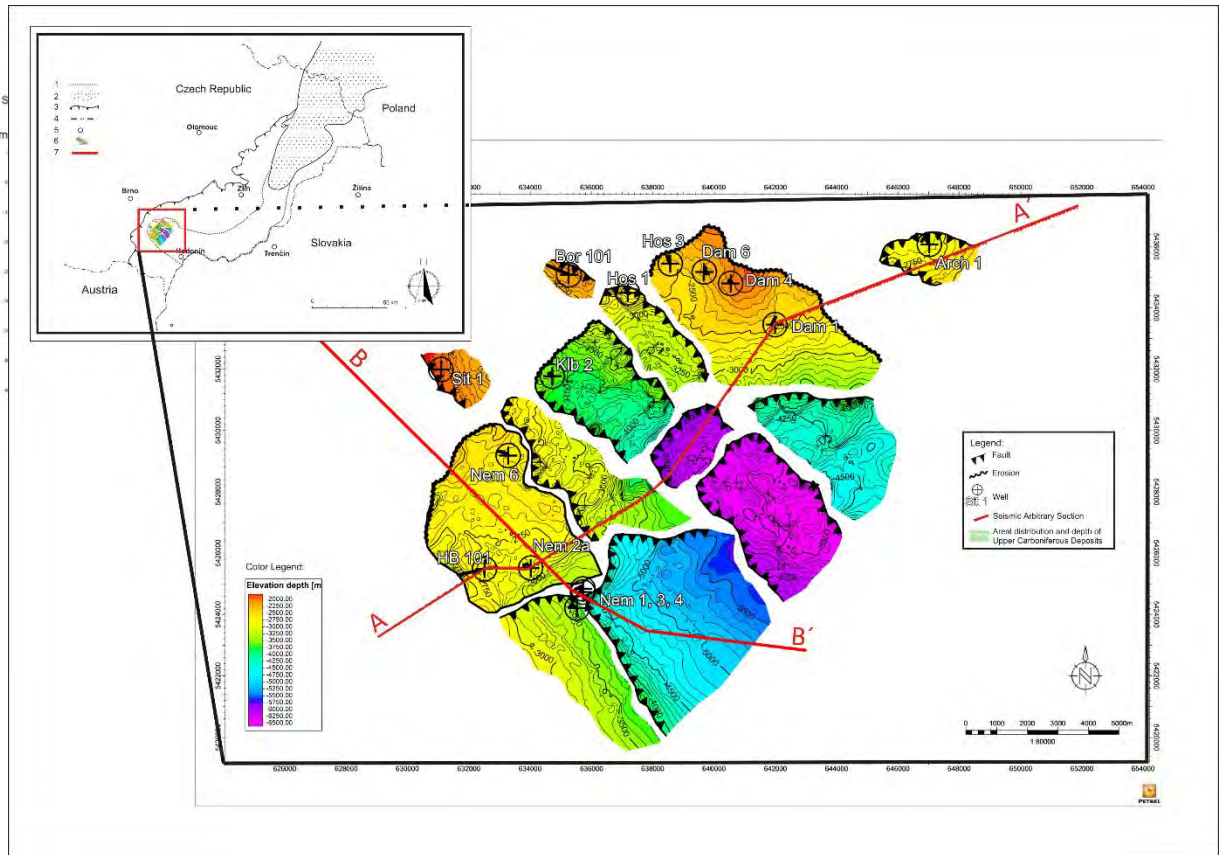
Nejnadhřejší kolektorskou horninou v podloží klastických sedimentárních sledů svrchního a spodního karbonu se jeví karbonátová facie devonu a spodního karbonu. Tato sice není v zájmové oblasti přímo vrtně doložena, ale její přítomnost se zde dá předpokládat na základě regionální geologické stavby. Dá se předpokládat, že pokud budou tyto karbonátové sedimenty skutečně potvrzeny v podloží mladších paleozoických hornin, budou v již dostatečných hloubkách, kde se dají očekávat teploty vhodné pro hydrotermální využití podzemních vod. Před vrtáním průzkumného vrtu je však třeba zvážit také další geofyzikální práce pro snížení rizika negativního výsledku průzkumného vrtu.

Zvodnění devonu v širší oblasti hornoslezské pánve bylo ověřeno např. Vrtu v oblasti Raškovic a Kozlovic. Devonské karbonáty s převažující puklinovou propustností v hloubce cca 1690 m zde vyznačovaly kalcium-chloridové vody o celkové mineralizaci 132,5 g/l (0,36 Br; 0,018 I); vrtem SV-1 u Kozlovic byly ověřeny v hloubce 2281 m (MD) sodno-chloridové vody s mineralizací 56,3 g/l až 68,7 g/l (0,2 br, 0,018 I), v hloubce 1927 m (MD) sodno-chloridové vody s mineralizací 26 g/l (Dopita et al. 1997).

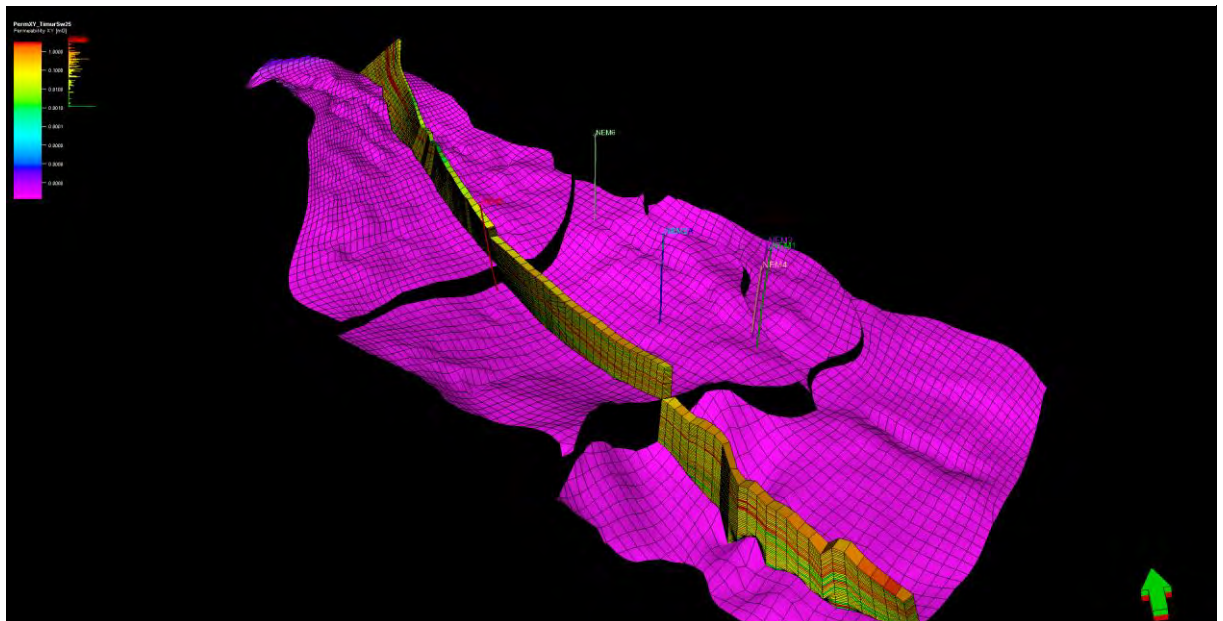
Jelikož nejsou dostupné žádné bližší údaje o petrofyzikálních vlastnostech těchto karbonátových hornin devonského až spodnokarbonského stáří přímo v hornoslezské pánvi je nutné pro zhodnocení těchto vlastností použít data ze stejného horninového celku, který je poměrně dobře vrtně prozkoumán na jižní Moravě v oblasti jihovýchodních svahů českého masivu, kde probíhá intenzivní průzkum na ropu a zemní plyn. Propojení obou oblastí JVSCM (jihovýchodní svahy Českého masivu) a české části HP minimálně ve svrchním karbonu dokládají četné nálezy uhelných slojí v horninách svrchního karbonu v hlubokých vrtech pro průzkum uhlovodíků v JVSCM (Obr. 25 - Opletal et al. 2019). Stejně tak se předpokládá propojení sedimentární pánve devonských a spodnokarbonských vápenců v oblasti JVSCM (jihovýchodní svahy Českého masivu) a v české části HP (Dopita 1997, Chlupáč 2002, Obr. 13). Jako hornoslezské pánvi typologicky podobná oblast s hlubokým uložením devonských karbonátů se jeví struktura nikolčicko-kurdějovského hřbetu mezi nesvačilským a vranovickým příkopem v oblasti jihovýchodních svahů Českého Masivu. Karbonátové sedimenty devonu jsou zde dobře podloženy interpretací 3D seismického měření a také četnými hlubokými vrty. Obr. 26 ukazuje hluboce uložený sled devonských až spodnokarbonských vápenců pod horninami spodního a svrchního karbonu v celé oblasti JVSCM s vyznačením nikolčicko-kurdějovského hřbetu a nesvačilského příkopu. Na rozdíl od karvinské oblasti hornoslezské pánve zde není vyvinuto karvinské souvrství, a proto je celá mocnost svrchněkarbonských sedimentů redukována. V nadloží sedimentů svrchního karbonu se zde nicméně vyskytují ještě horniny jurského a křídového stáří, překryté karpatskou předhlubní a v jižní části karpatskými příkrovy. Celkové hloubky uložení devonského sledu tedy v některých místech mohou být velmi podobné hloubkám, kde se očekává tento karbonátový sled v prostoru karvinské části hornoslezské pánve.

Pro extrapolaci kvality kolektorských vlastností paleozoických karbonátů lze pro další studie využít hodnoty porozit a permeabilit ze 3D statického modelu, který byl vytvořen pro účely vtlačení CO<sub>2</sub> do horninového prostředí v oblasti nikolčicko-kurdějovského hřbetu. Na obr. 27 je rozsah 3D statického modelu a na přiložených histogramech je vidět porozita a propustnost použitá v tomto modelu na základě statistické distribuce porozit a permeabilit z vyhodnocení karotážního měření na vrtech a s přihlédnutím k výsledkům měření petrofyzikálních vlastností na jádrech a výsledkům čerpacích pokusů na vrtech v této oblasti (Obr. 28).

Porozity získané z měření na jádrech z hlubokých vrtů a výsledky čerpacích pokusů z vrtu Němčičky 5 z oblasti JVSCM jsou v Tabulkách 13 a 14. V Tabulce 14 je také výsledek z čerpacího pokusu na vrtu JABV 1, kde byl paleozoický karbonátový sled také zastížen a který leží k hornoslezské pánvi podstatně blíže než zbytek vrtů v klasické oblasti JVSCM.

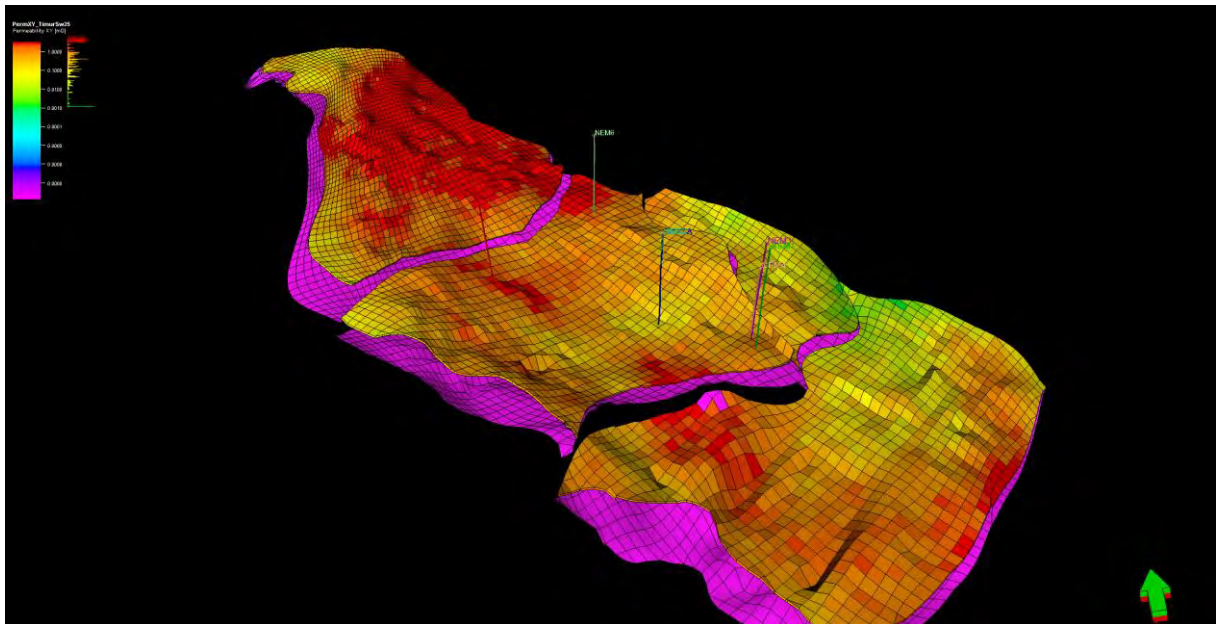


Obr. 25 – Pozice paleozoika na jižní Moravě a jeho napojení na hornoslezskou pánev v období namuru A (Opletal et al. 2019)

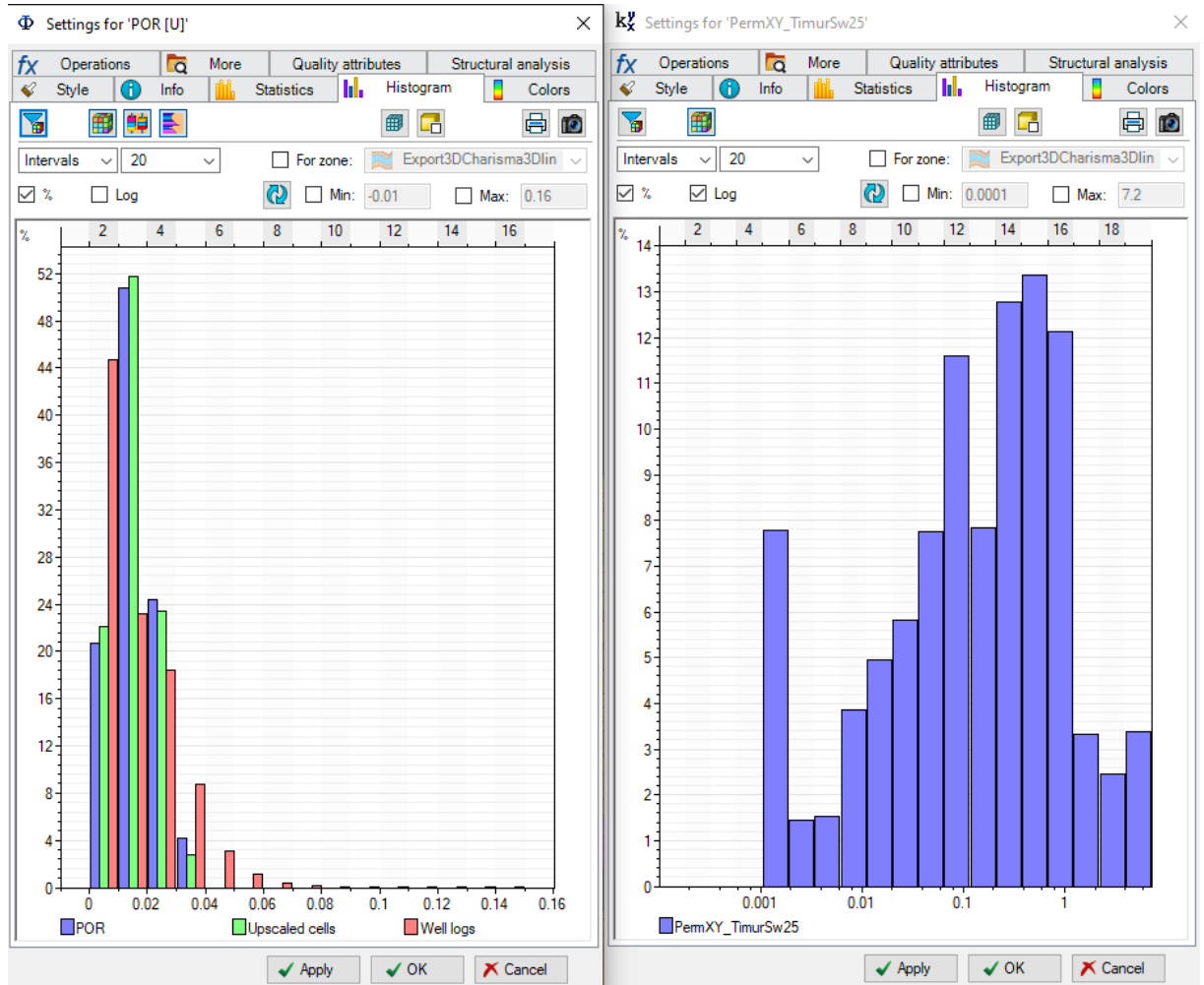


Obr. 26 – interpretace 3D seismického měření v oblasti nikolčicko-kurdějovského hřbetu a nesvačilského příkopu na jižní Moravě. Níže na obrázku je znázorněna poloha interpretovaných profilů přibližně mezi Brnem a Hodonínem. Oblast vrtů NEM2A, MORK1, KRU2A, DAM1 a UH10 na seismickém profilu A-A' je oblastí samotného nikolčicko-

kurdějovského hřbetu a nesvačilského příkopu s doloženými karbonáty devonského stáří  
(interpretace MND a.s.)



Obr. 27 – Rozložení permeabilit v 3D dynamickém modelu paleozoických karbonátů v oblasti nikolčicko – kurdějovského hřbetu – vrty Nem5, Nem6, Nem2, Nem2a, Nem3, Nem1 (interpretace MND a.s.)



**Obr. 28 - Histogramy s rozložením porozit v m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> (vlevo) a permeabilit v mD (vpravo) ve 3D modelu paleozoických karbonátů v oblasti nikolčicko – kurdějovského hřbetu (MND a.s.)**

NEM 6 – Porozita – měření na jádrech – hloubka měření	Porozita
Jádro č. 30 – 5183.6 - 5183.7 m –	porozita – 0.8 %
Jádro č. 27 – 5025 – 2027.7 m -	porozita – 2.3 %
Jádro č. 25 – 4950 – 4953 m -	porozita – 1.8 %
Jádro č. 24 – 4895 – 4898 m -	porozita – 1.8 %
Jádro č. 23 – 4801 – 4804 m -	porozita – 2.1 %
Jádro č. 22 – 4716.4- 4720 m -	porozita – 2.5 %
Nem 3 – Porozita – měření na jádrech – hloubka měření	
Jádro č. 5 – 4876 – 4879 m -	porozita – 3.7 %
Jádro č. 8 – 5270 – 5273 m -	porozita – 0.4 %
Nem 5 – Porozita – měření na jádrech – hloubka měření	
1252 – 5074 m interval	porozita mezi hodnotami 0,1 – 1 %

**Tabulka 13 - Hodnoty porozity naměřené na jádrech z vrtů v oblasti kurdějovského hřbetu (archiv MND a.s.)**

NEM 5 – Čerpací pokusy – Devonské karbonáty v intervalu 4152 – 5074 m	
ČP č. 1 –	4500 – 4557 m – přítok vody <u>11 m<sup>3</sup> / 24 h</u>
ČP č. 2 –	4613 – 4645 m – <u>bez přítoku</u>
ČP č. 3 –	5024 - 5074 m – přítok vody s rozpuštěným plynem - <u>13.85 m<sup>3</sup> / 24 h</u>
ČP č. 4 -	4694 – 4780 m – <u>bez přítoku</u>
ČP č. 5 –	4352 – 4385 m – přítok vody - <u>236.4 m<sup>3</sup> / 24 h ?</u>
ČP č. 6 -	4257 - 4290.5 a 4300 – 4320 m – přítok vody <u>35 m<sup>3</sup> / h ?</u>
JABV 1 – Čerpací pokusy – Devonské karbonáty v intervalu 2345 – 3002 m	
ČP č. 4 –	2924 – 2895 m – přítok vody <u>17.5 m<sup>3</sup> / 24 h</u>
ČP č. 5 –	2810 – 2787 m – přítok vody <u>9.2 m<sup>3</sup> / 24 h</u>
ČP č. 6 –	2605 – 2590 m – slabý přítok vody 4 m <sup>3</sup> / 24 h
ČP č. 7 –	2566.5 – 2548 m – přítok vody <u>9 m<sup>3</sup> / 24 h</u>
ČP č. 8 –	2490 – 2465 m – slabý přítok vody - <u>5.25 m<sup>3</sup> / 24 h</u>
ČP č. 9 –	2440 – 2424 m – slabý přítok vody <u>3,5 m<sup>3</sup> / 24 h</u>
ČP č. 10 –	2365 – 2345 m – slabý přítok vody <u>7 m<sup>3</sup> / 24 h</u>

**Tabulka 14 -Výsledky čerpacích pokusů z devonských karbonátů na vrtech Nēmčičky 5 a Jablunkov 1 (archiv MND a.s.)**

### 6.1 Chemismus vod v karbonátech spodního karbonu až devonu v oblasti JVSČM

Chemismus vod v horninách devonských až spodnokarbonských karbonátů na průzkumném území SCM (svahy Českého masivu) pro vyhledávání ropy a zemního plynu na jižní Moravě byl získán při analýzách vod z čerpacích pokusů na hlubokých vrtech, které zastihly tyto horniny. Základní parametry odebraných vod jsou shrnuty v Tabulce 15.

Vrt	Číslo vrtu	Datum odběru	Hloubka od m	Hloubka do m	Stratigrafie	pH	Elektrická vodivost mS/cm	Celková mineralizace mg/l	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Cl mg/l	Br mg/l	I mg/l	Sířany mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l
Nēmčičky	1	1.7.1977	4827	4870	karbon spodní devon	8,2	129	113907	44076	143	356	29,2	67709	13,6		1251	317
Nēmčičky	1	10.7.1974	4997	5026	devon	6,9	24,2	18749	5127	139	1550	130	10564	37	21,6	367	505
Nēmčičky	1	10.12.1974	4997	5192	devon	6,7		21830	6628	227	881	339	12195	51,3	24,1	401	781
Nēmčičky	3	2.5.1986	5096	5120	devon	6,7	25,4	20438	6522	660	480	82,6	10263	24,7	22,8	835	1464
Nēmčičky	3	11.1.1986	5153	5201	devon	6,4	27,3	21691	6548	325	884	325	12039	53,6	21,6	517	766
Nēmčičky	5	14.9.1987	5024	5074	frasn	6,2	71,7	59752	17293	373	4432	498	35450	151	22,8	470	734
Nēmčičky	2	14.11.1971	5282	5494	basální klasitika devonu	7,4		37434	10920	247	2960	85,4	21383	65,7	25,4	771	976
Nēmčičky	6	19.4.1986	4777	4812	devon	7,5	61,6	54246	14967	652	4584	452	32295	129	19	469	678
Nēmčičky	6	5.4.1986	4965	4985	devon	6,3	67,6	55081	15337	545	4758	465	32408	129	19	463	725
Nēmčičky	6	25.3.1986	5025	5045	devon	6,3	67,6	45655	12463	718	3626	447	26375	98	15,2	723	1083
Uhřice	1	6.1.1978	3632	3575	devon	7,2	42,7	32250	9437	253	2348	158	18505	80,3	55,8	432,5	902,8
Uhřice	2	30.10.1978	3045	3065	devon-karbonáty	7,4	27,1	25087	7718	545	1038	165	13294	53,8	44,4	698	1498
Uhřice	2	17.10.1978	3195	3220	basální klasitika devonu	6,7	48,8	46952	11985	720	4440	549	27864	141	99	378	610
Uhřice	3		2195	2220	devon	7,4	23,9	20876	6646	316	316	134	9047	60,7	53,3	677,3	3270
Uhřice	3	1.9.1977	2470	2480	devon	6,6	38	33768	8244	300	3080	695	19213	107	53,3	904	893
Uhřice	3	27.8.1977	2483	2540	devon	6,4		32736	8005	253	2912	712,5	18718	101	54,3	900	678
Těšany					vody ovlivněné technickými kapalinami nebo kyselinováním, nereprezentativní												

**Tabulka 15 - Chemické složení vod získaných při čerpacích pokusech z hlubokých vrtů z paleozoických karbonátů na jižní Moravě (archiv MND a.s.)**



## 7 Regionální napěťové pole

Základní data o orientaci a intenzitě napěťového pole v oblasti Karviná umožňuje náhled do mapy „World Stress Map“ (Heidbach et al. 2016). Tato data jsou velmi důležitá, jelikož využívání geotermální energie je závislé na pohybech kapalin v hluboce uložených horninových celcích, které jsou kontrolovány právě napěťovým polem.

Na obrázku 29 jsou zobrazeny orientace napětí v okruhu 25 km od studované oblasti. Podle „World Stress Map“ je zde detekováno 6 indikátorů napětí. Na obrázku jsou popsány čísla 1-6, přičemž číslo 1 je nejbližší studované oblasti a číslo 6 nejdále od ní.

Linie reprezentují orientaci hlavního horizontálního napětí  $S_{Hmax}$ , které se dá zjistit za využití lokálních napěťových indikátorů jako jsou: dobře známé zemětřesené fokální mechanismy, analýzy dat z borcení stěn hlubokých vrtů a/nebo vrtnou činností indukovaný vznik puklin, napětí vzniklé při hydraulickém štěpení. V oblasti Karviné jsou všechna napěťová pole odhadnuta z vrtných dat.

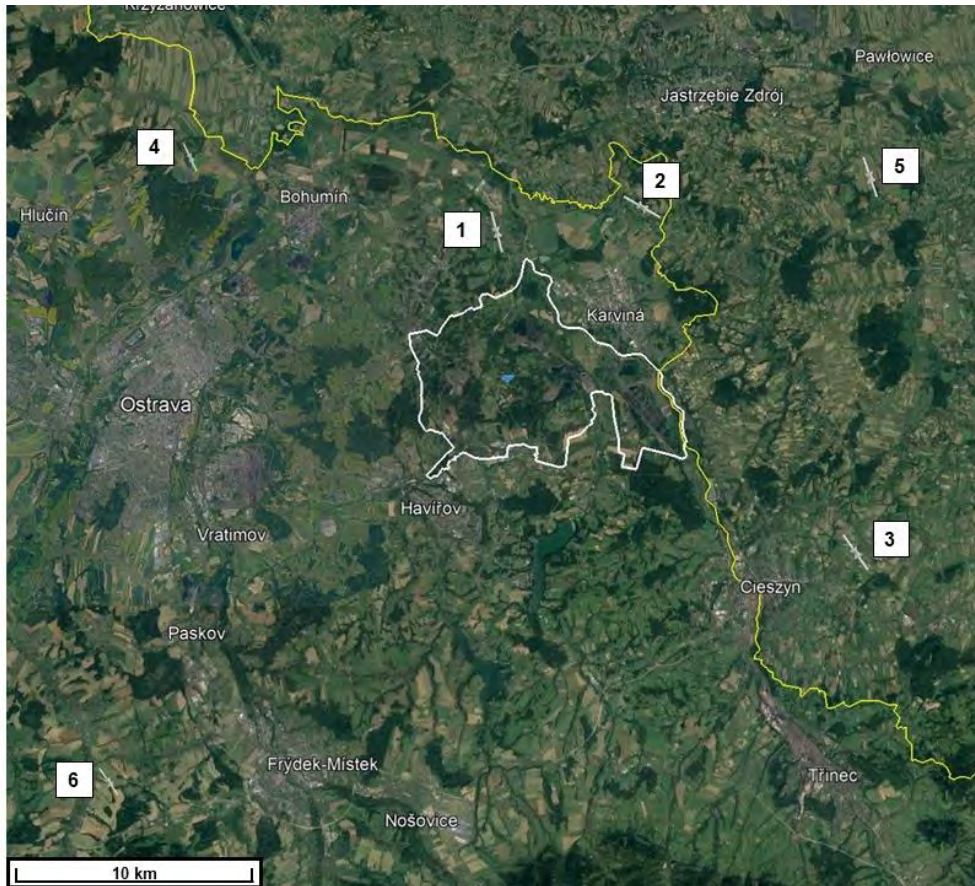
Indikátory napětí  $S_{Hmax}$  vykazují poměrně konzistentní hodnoty orientace ve směrech SZ-JV s rozsahem azimutů od  $145^\circ$  do  $165^\circ$ . Jedinou výjimkou je napěťový indikátor č.2, který vykazuje orientaci ZSZ-VJV s azimutem  $120^\circ$ .

V Tabulce 16 jsou sumarizována změřená napěťová měření. Níže jsou potom uvedeny detailnější popisy měření.

Č.	Vzdálenost	$S_{Hmax}$ azimut	Indikátor napětí	Kvalita	Hlubkový rozsah	Poznámka
1	~6.5 km	$165^\circ \pm 3^\circ$	Borehole breakouts (cross sectional shape)	A	840 – 1720 m	17 pozorování
2	~9.7 km	$120^\circ \pm 7^\circ$	Borehole breakouts (cross sectional shape)	A	740 – 1613 m	37 pozorování
3	~17 km	$145^\circ \pm 11^\circ$	Borehole breakouts (individual)	A	1840 – 2870 m	
4	~17.2 km	$155^\circ \pm 3^\circ$	Borehole breakouts (televiewer)	C	479 – 1294 m	9 pozorování
5	~18.5 km	$161^\circ \pm 12^\circ$	Borehole breakouts (cross sectional shape)	A	950 – 3983 m	40 pozorování
6	~24.5 km	$145^\circ \pm 9^\circ$	Borehole breakouts (televiewer)	C	494 – 1900 m	9 pozorování

**Tabulka 16 – Souhrn měření napětí v okolí Karviné (Heidbach et al. 2016)**

Indikátory napětí zjištěné v relativně malých hloubkách mohou být hodnoceny jako indikace zvýšeného horizontálního napětí v oblasti. Tento fakt je také podpořen existencí seismicity indukované důlní činností (Zedník et al. 2001).



**Obr. 29 – Orientace napětí v blízkosti Karviné na základě “World Stress Map” projektu (Heidebach et al. 2016)**

**Napěťový indikátor č. 1 (Česká republika)**

Vzdálenost od ohniska: ~6,5 km

Indikátor napětí: analýza borcení stěny vrtu z měření jeho průběhu

SHmax azimut:  $165^{\circ} \pm 3^{\circ}$  (Kvalita A podle WSM, průměr pozorování ze dvou vrtů v blízkém okolí)

Založeno na 17 pozorováních orientace, podél celkové délky zborcení 89 m, vzorkováno mezi 840 a 1720 m

Neznámý napěťový režim

**Napěťový indikátor č. 2 (Česká republika)**

Vzdálenost od ohniska: ~9,7 km

Indikátor napětí: analýza borcení stěny vrtu z měření jeho průběhu.

SHmax azimut:  $120^{\circ} \pm 7^{\circ}$  (kvalita A podle WSM, průměr pozorování z šesti vrtů v blízkém okolí)

Založeno na 37 pozorováních orientace, podél celkové délky zborcení 100 m, vzorkováno mezi 740 a 1613 m

Neznámý napěťový režim

**Napěťový indikátor č. 3 (Polsko)**

Vzdálenost od ohniska: ~17 km

Indikátor napětí: analýza borcení stěny vrtu z měření jeho průběhu.

SHmax azimut:  $145^{\circ} \pm 11^{\circ}$  (kvalita A podle WSM)

Neznámý počet měření, podél celkové délky zborcení 366 m, vzorkováno mezi 1840 a 2870 m

Neznámý napěťový režim

**Napětový indikátor č. 4 (Česká republika)**

Vzdálenost od ohniska: ~17,2 km

Indikátor napětí: analýza borcení stěny vrtu z měření jeho průběhu.

SHmax azimut:  $155^\circ \pm 3^\circ$  (kvalita C podle WSM, průměr pozorování ze dvou vrtů v blízkém okolí)

Založeno na 9 pozorováních orientace, podél celkové délky zborcení 14 m, vzorkováno mezi 479 a 1294 m

Neznámý napětový režim

**Napětový indikátor č. 5 (Polsko)**

Vzdálenost od ohniska: ~18,5 km

Indikátor napětí: analýza borcení stěny vrtu z měření jeho průběhu.

SHmax azimut:  $161^\circ \pm 12^\circ$  (kvalita A podle WSM)

Založeno na 40 pozorováních orientace, podél celkové délky zborcení 363 m, vzorkováno mezi 950 a 3983 m

Neznámý napětový režim

**Napětový indikátor č. 6 (Česká republika)**

Vzdálenost od ohniska: ~24,5 km

Indikátor napětí: analýza borcení stěny vrtu z měření televizoru.

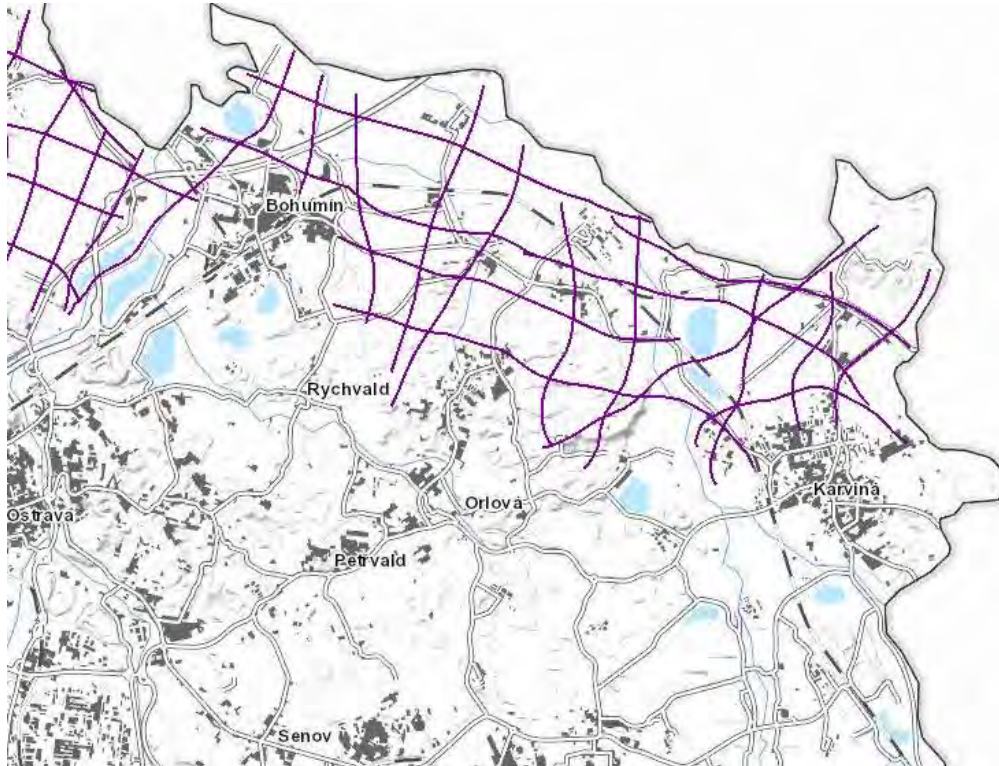
SHmax azimut:  $145^\circ \pm 9^\circ$  (kvalita A podle WSM)

Založeno na 9 pozorováních orientace, podél celkové délky zborcení 15 m, vzorkováno mezi 494 a 1900 m

Neznámý napětový režim

## 8 2D seismické měření v oblasti

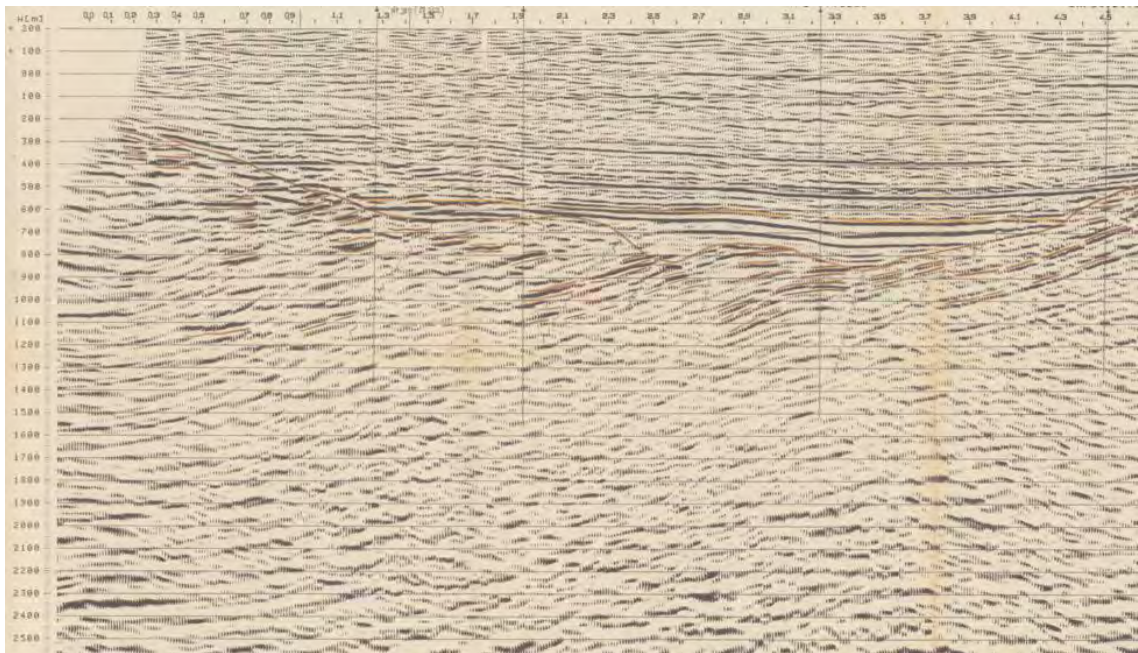
2D seismické měření v blízkosti studované oblasti bylo provedeno pouze v průzkumném území Dětmárovice – Petrovice. Seismická měření jsou obecně důležitá pro zhodnocení geotermálních systémů, protože obsahují informace o stratigrafických rozhraních a také o přítomnosti a orientaci případných zlomových a puklinových systémů (tyto pak slouží jako cesty proudění fluid v horninovém prostoru). Na Obr. 30 jsou vyobrazeny pozice měřených 2D seismických linií severně od studované oblasti z online mapového portálu ČGS ([www.geology.cz](http://www.geology.cz)).



**Obr. 30 – Pozice jednotlivých 2D seismických profilů severně od studovaného území – oblast průzkumného území Dětmárovice – Petrovice**  
([https://mapy.geology.cz/geophysical\\_measurements/?locale=en](https://mapy.geology.cz/geophysical_measurements/?locale=en))

Jak již bylo zmíněno v úvodní části studie, 2D seismická data jsou dostupná v blízkém okolí studované oblasti pouze pro průzkumné území Dětmárovice – Petrovice (Zpráva o reflexně-seismickém průzkumu OKR – oblast Dětmárovice – Petrovice (Suchomelová et al. 1986) v papírové podobě). Byla získána tištěná forma v časové doméně zpracovaných seismických profilů č. 5A/84, 6A/84, 7/84, 7A/84, 8/84, 21/84, 22/84, 23/84, 24/84, 25/84, 22A/84 a 22B/84 a v hloubkové doméně zpracovaných profilů č. 5A/84, 6A/84, 7/84, 7A/84, 8/84, 21/84, 22/84, 23/84, 24/84, 25/84. Tato měření se s ohledem na jejich původ dají použít pouze pro zobrazení a základní průzkum. Příklad neupřesněné 2D seismické linie je uveden na Obr. 31. Jedná se o profil konvertovaný z časové do hloubkové domény se základní interpretací povrchu paleozoika (červená interpretace) s indikací diskordantního rozhraní mezi horninami miocenního (do hloubky cca -500 - -700 m) a paleozoického stáří. Jelikož tato seismická data byla získána zejména pro hodnocení mělkých geologických struktur (miocén, svrchní část paleozoických hornin), pod strukturní hloubkou cca 1200 m dochází i výraznému útlumu energie, a tudíž i užitečného seismického signálu a bohužel na těchto datech není možná interpretace hlubších paleozoických rozhraní spodního karbonu, devonu a krystalinického podloží. Z tohoto důvodu není možné použít tato 2D seismická měření pro odhady hloubek jednotlivých stratigrafických rozhraní ani pro indikaci zlomů, případně puklin v potenciálně zájmových horninách devonského stáří.

Pravděpodobně by bylo možné provést nové zpracování polních dat získaných profilů s důrazem na signál ve větších hloubkách, výrazné zlepšení však nelze očekávat, s ohledem na parametry polního měření s cílem v relativně mělkých hloubkách do 1500 m.



**Obr. 31 – Příklad 2D seismického profilu severně od studované oblasti – PÚ Dětmarovice - Petrovice. Hloubková škála je na ose Y v metrech. (Suchomelová et al. 1986)**

## 9 Souhrn hodnocení dostupných geologických dat a hlubší geologické stavby lokality Pohornické krajiny Karvinska

Hlavním cílem této dílčí zprávy bylo ověření dostupnosti veřejně dostupných zdrojů o geologických a geofyzikálních datech v širší oblasti zpracovávané lokality a získání informací o zejména hlubší geologické stavbě s ohledem na budoucí geotermální využití hluboce pohřbených geologických jednotek.

### 9.1 Vrtý - Stratigrafie – Litologie

Nejhlubší vrtý v okolí Karviné dosahují maximálních hloubek kolem 2000 m. V bližším okolí studované oblasti nejsou dostupná data o hlubší stavbě paleozoika tvořeného zde nejspíše karbonátovými faciemi devonského a spodnokarbonského stáří.

Veřejně dostupná nejsou bohužel ani data z hlubokých vrtů na území Polska, kde byly navrtány hloubky až do 4000 m. Získání dat o stratigrafii, litologii, petrofyzikálních vlastnostech hornin a teplotách na těchto vrtech bude předmětem další fáze studie.

### 9.2 Potencionální kolektorské horniny

Cílem tohoto posouzení byly zejména horniny v hloubkách kde teploty dosahují hodnot 100 °C až 120°C. Byla provedena důkladná studie dostupných geologických dat s cílem vymezení potencionálních kolektorských hornin pro hydrotermální využití. Na základě publikovaných dat je zřejmé, že většina neogenních a karbonských sedimentů oblasti má s ohledem na velmi malé hloubky svého uložení pouze limitované možnosti využití jako zdroj termální energie. Horniny svrchně karbonského stáří (namur A) tvořící výplň samotné hornoslezské pánve navíc nevykazují regionálně příznivé kolektorské vlastnosti, a kromě nízkých očekávaných teplot také většinou postrádají potřebné hodnoty petrofyzikálních vlastností pro efektivní hydrotermální využití.

Jako nejvhodnější kolektorská hornina oblasti pro hydrotermální využití se tedy jeví devonské a spodnokarbonské karbonátové sedimenty, které však v této lokalitě nejsou přímo potvrzeny. Na základě regionálních dat se dá odhadnout, že tyto horniny by se mohly v oblasti vyskytovat v hloubkách 3100 – 4500 m (Tabulka 3 , 4) kde s ohledem na zjištěný lokální geotermální gradient 32°C – 34°C /1000 m mohou dosahovat teplot 100°C – 150°C. Pokud budeme předpokládat, že zde tyto horniny budou mít dostatečně příznivé kolektorské vlastnosti (porozita, propustnost, intenzita přítoku) tak při výše zmíněných odhadnutých teplotách mohou sloužit jako zdroj vytápění, případně i pro výrobu energie.

Další potencionální kolektorskou horninou v oblasti, která však s ohledem na absenci informací nebyla v této studii hodnocena, jsou hluboce uložené ruly krystalinického podloží. Bez dalšího geofyzikálního průzkumu však momentálně nelze spolehlivě odhadnout ani hloubku těchto podložních hornin a tato je pouze extrapolována s předpokladem kolem 3800 do 6000 m.

### 9.3 Vlastnosti kolektorských hornin (porozita, propustnost, intenzita přítoku)

Na základě vrtných dat dostupných z jižní a střední Moravy byly zhodnoceny tak základní informace o petrofyzikálních vlastnostech karbonátových horninách devonského a spodnokarbonského stáří. Tyto informace jsou většinou z čerpacích pokusů a testerů provedených na hlubokých vrtech s intervaly perforace max. 50 – 100 m. Na základě výsledků čerpacích pokusů ze dvou vybraných vrtů se produkční schopnosti tohoto kolektoru jeví spíše nižší (< 1l/s) s potvrzením přítoků vod/solanek z kolektorské horniny. Z výsledků těchto a dalších vrtů vychází také dynamický model s rozložením porozit a propustností této horniny v lokalitě nikolčicko – kurdějovského hřbetu, kde se nachází v autochtonní pozici a ze kterého může vycházet odhad petrofyzikálních vlastností i ve studované oblasti. Další podrobná data o potencionálních intenzitách přítoků z těchto hornin budou studována v další fázi projektu, ale je

zřejmé, že přímo v oblasti bude potřebný další geofyzikální průzkum a jeho důkladné propojení s detailními informacemi o tektonické stavbě mělké části ve stávajících důlních dílech.

#### 9.4 Tepelný tok a teplotní data oblasti

Tepelný tok oblasti na základě publikovaných dat se pohybuje mezi hodnotami 65 – 75 mW/m<sup>2</sup>. Teplotní gradient vypočtený na základě teplotních karotáží z více než 30 hlubších vrtů v širší oblasti a na základě teplotních měření dostupných z dolu Dukla vykazuje hodnoty o něco vyšší, než je průměrný regionální teplotní gradient 30°C/1 km. Většina teplotních dat v oblasti je dostupná maximálně do hloubky 1600 m, která je limitována hloubkou průzkumných vrtů. Proto byla provedena extrapolace těchto teplot a bylo zjištěno, že k dosažení teplot 120°C je potřeba dosáhnout hloubek 3500 – 4000 m.

#### 9.5 2D seismické měření

Jelikož přímá seismická data přímo z oblasti Karviná nejsou dostupná, bylo přistoupeno k vyhodnocení seismických profilů z průzkumné oblasti Dětmárovice – Petrovice severně od zájmové oblasti. Tato data byla zjevně měřena s ohledem na cílové hloubky cca 1200 m pro průzkum uhelných slojí a neumožňují tedy relevantní interpretaci struktur ve větších hloubkách, nicméně znázorňují základní informaci o mělkém podloží severně od zájmového území. Seismická data indikují přítomnost několika zlomů do hloubek cca 1200 m, pod nimiž již není možné data spolehlivě interpretovat.

Ke zhodnocení tektonické stavby a hloubky stratigrafických rozhraní hlubšího podloží by bylo potřebné provést geofyzikální seismické měření s ohledem na lokální specifika této oblasti. Výsledky tohoto měření by potom mohly sloužit jako podklad pro řešení hluboké tektonické stavby území a pro přesnější odhad hloubek a přítomnosti očekávaných horninových celků.

#### 9.6 Měření napětí

V oblasti Karviné byla vyhodnoceny také údaje o napětí z dat projektu “World Stress Map”. Všechny napěťové režimy jsou odhadnuty z napěťových měření v hlubokých vrtech. Indikátory napětí vykazují poměrně konzistentní rozsah hodnot  $S_{Hmax}$  s orientací SZ – JV a s azimuty od 145° do 165° na většině měřených bodů. Přítomnost borcení stěn vrtů v relativně malých hloubkách mohou být interpretovány jako indikace zvýšeného horizontálního napětí v celé oblasti.

#### 9.7 Chemie ložiskových vod

Analýzy vod získaných z vrtů v oblasti Karviná ukazují poměrně výrazně mineralizované solanky s mineralizací od 50 g/l do 135 g/l. Solanky mají zvýšený obsah NaCl a vykazují také zvýšené obsahy bromu a jodu.

## 10 Legislativní aspekty geotermálního projektu v ČR

### 10.1 Úvod

S ohledem na skutečnost, že geotermální projekty v České republice jsou v počáteční fázi, dá se říci, že ve fázi „porodní“, je níže uvedený předpoklad legislativního postupu a rámce v oblasti geotermie zpracován na podkladě minimálního počtu odborných článků v této oblasti a na základě zkušeností zpracovatele v oblasti „oil & gas“ (nikoliv české legislativy z oblasti geotermie), jakožto oblasti z hlediska legislativního rámce velmi podobné a současně v souladu se zkušenostmi, které zpracovatel nabyl při realizaci geotermálních projektů v zahraničí. Nelze však využít odkaz na skutečný precedent v oblasti využití geotermální energie v České republice. V mnoha ohledech pak vlastní postup bude záviset na konkrétních jednáních s příslušnými dotčenými správními orgány; v současné přípravné fázi projektu však dotčené orgány nebudou ochotny předběžně diskutovat jednotlivé postupy; tato možnost bude nastolena až v průběhu realizace projektu, kdy budou úřady osloveny s konkrétními požadavky na realizaci projektu.

Z platné legislativy České republiky je možno vyčíst následující legislativní postup pro využití geotermální energie ze suchého horninového prostředí (metodou HDR/HFR).

**V případě, že by mělo dojít k využití geotermální energie vyvedením termální vody na povrch, legislativní rámec bude odchylný; dílo bude považováno za vodní dílo a bude se postupovat v souladu se zákonem č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů, (vodní zákon), v platném znění (dále jen „vodní zákon“) a zák. č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu v (stavební zákon, který bude zrušen k 1.7.2023) v platném znění (dále jen „stavební zákon“).** Domníváme se, že pokud by se postupovalo podle vodního a stavebního zákona, nebude se jednat o důlní díla a projekt tedy nebudou zpracovávat bánštit projektanti.

Dále bude tedy práce zaměřená výhradně na legislativní postup využití geotermální energie metodou HDR s průmyslovým využitím, jak je metoda definována níže. Pro posouzení není významné, zda se jedná o hluboký nebo mělký vrt. Z hlediska aplikace níže uvedeného legislativního postupu je rozhodujícím faktorem skutečnost, že získávaná geotermální energie je vázána na teplo hornin (suché zemské teplo) nikoliv na zdroj podzemní vody a že bude využívána průmyslovým způsobem.

Zařízení, které má sloužit k využívání geotermální energie průmyslovým způsobem, se v českých právních předpisech označuje jako „zařízení pro průmyslové využívání geotermální energie“.

Podle zákona č. 44/1988 Sb., ochraně a využití nerostného bohatství (horní zákon), v platném znění, dále jen jako „horní zákon“, se provedení geotermálního vrtu pro účely zřízení zařízení pro průmyslové využívání geotermální energie považuje za „zvláštní zásah do zemské kůry“ a je důlním dílem.

Zvláštním zásahem do zemské kůry ale není průmyslové využívání tepelné energie vody vyvedené na povrch! (tedy laicky řečeno, pokud se najde termální voda, která bude průmyslově využívána například k vytápění). Aby se tedy jednalo o zvláštní zásah do zemské kůry, tedy důlní dílo, musí se jednat o **geotermální systém v suchých horninách** (HDR), tedy v horninách bez zvodnělého horninového prostředí; geotermální energie tedy není vázána na zdroj podzemní termální vody ani na využívání původně zvodnělého horninového prostředí.

V rámci celého projektu je nezbytné zpracovat velké množství dokumentace, provést geologický průzkum a zajistit si řadu povolení/vyjádření/stanovisek, a to zejména v přípravné fázi projektu.

Samotná realizace pak již není z hlediska administrativy náročná. Realizaci je nezbytné provést podle dokumentace zpracované v přípravné fázi.



Legislativní část se zaměřuje na legislativní postup, odpovídající získávání geotermální energie v suchých horninách, a to jednak s ohledem na nedostatečný počet fakticky proběhlých geotermálních projektů v České republice, a tedy nedostatečné zkušenosti s legislativními postupy při schvalování geotermálních projektů a jednak s ohledem na skutečnost, že tento legislativní postup považujeme v realizační fázi za nejpravděpodobnější. Jako vzor legislativního postupu posloužil geotermální projekt v Litoměřicích, realizovaný od roku 2020 dosud, jakožto jediný zástupce hlubokého geotermálního vrtání v České republice. Tento projekt byl legislativně řešen postupem v souladu s horní legislativou a rozhodování správních orgánů v této věci je v podstatě precedentem legislativního postupu v oblasti geotermie. Bližší popis tohoto postupu je pak uveden dále v této kapitole.

Pokud by se pak případně v realizační fázi projektu nepostupovalo metodou HDR systému a jednalo by se o hydrotermální geotermii, pak legislativně by bylo možno postupovat obdobně jako u hydro-geotermálního projektu v Děčíně, který využívá geotermální vodu vyvedenou na povrch k vytápění města (vrt 520 metrů). Legislativní postup tohoto vrtu není v dostupné odborné literatuře blíže rozepsán; pokud by se tedy měla energie získávat jinak než pomocí HDR systému, byly by kontaktovány příslušné správní orgán s žádostí o sdělení, jak v předmětné věci postupovaly, aby bylo postupováno jednotně.

## 10.2 Přípravná fáze

V rámci přípravné fáze projektu je nutné zajistit, případně zjistit:

- **soulad s územně plánovací dokumentací**
- **vyjádření vodoprávního úřadu**
- **PROVEDENÍ GEOLOGICKÉHO PRŮZKUMU (včetně provedení průzkumného vrtu), který se stává ze:**
  - Stanovení průzkumného území = licence
  - Vypracování projektu geologického průzkumu
  - Provedení samotného geologického průzkumu pro zvláštní zásahy do zemské kůry + provedení průzkumného vrtu
  - Vypracování geologické dokumentace činnosti prováděné hornickým způsobem
  - Pokud budou výsledky geologického průzkumu pozitivní, bude Ministerstvo životního prostředí požádáno o stanovení chráněného území pro zvláštní zásahy do zemské kůry
- **STANOVENÍ CHRÁNĚNÉHO ÚZEMÍ PRO ZVLÁŠTNÍ ZÁSAHY DO ZEMSKÉ KŮRY**
- **ZÍSKÁNÍ POVOLENÍ KE ZVLÁŠTNÍM ZÁSAHŮM DO ZEMSKÉ KŮRY, v rámci kterého je nutné dále zajistit:**
  - Dokumentaci zvláštních zásahů do zemské kůry
  - Souhlas vodoprávního úřadu
  - EIA
  - Povolení nakládání s povrchovými nebo podzemními vodami
  - Povolení k hornické činnosti zvláštních zásahů do zemské kůry
- **Plán minimalizace těžebního odpadu**

## **BLIŽŠÍ CHARAKTERISTIKA JEDNOTLIVÝCH KROKŮ**

### **Zjištění souladu s územně plánovací dokumentací - poskytnutí územně plánovací dokumentace**

Předně je nutné zažádat příslušný stavební úřad o poskytnutí územně plánovací informace o podmínkách využívání území a změn jeho využití.

Požadované informace dle § 21 stavebního zákona vydá příslušný úřad bez zbytečných odkladů, nejpozději do 30 dní.

Poskytnutá územně plánovací informace platí 1 rok ode dne jejího vydání.

Obsahové náležitosti jsou uvedeny v § 2 vyhlášky č. 503/2006 Sb.

O vydání žádá právnická osoba, která hodlá zařízení pro průmyslové využívání geotermální energie realizovat a provozovat (V metodice, je tato osoba označována jako „organizace“ a uvádí se, že je to osoba s oprávněním k hornické činnosti.).

Příslušným úřadem je územně příslušný stavební úřad.

Předmětná činnost musí být v souladu s územně plánovací dokumentací.

### **Vyjádření vodoprávního úřadu**

Dále je vhodné požádat o vyjádření vodoprávní úřad ve smyslu § 18 odst. 1 vodního zákona, zda je záměr z hlediska zájmů chráněných podle vodního zákona uskutečnitelný, zejména zda je v souladu s plány povodí a plány pro zvládnutí povodňových rizik a plány rozvoje vodovodů a kanalizací, schválenými pro dané území, popřípadě za jakých podmínek.

Podrobnosti upravuje vyhláška Ministerstva zemědělství č. 183/2018 Sb.

Žádost se podává dle formuláře v příloze č. 13 uvedené vyhlášky.

O vyjádření žádá právnická osoba, která hodlá zařízení pro průmyslové využívání geotermální energie realizovat a provozovat.

Příslušným úřadem je příslušný vodoprávní úřad.

### **Žádost o stanovení průzkumného území - licenci**

Dle § 11 horního zákona, je vyhledávání a průzkum ložisek vyhrazených nerostů a výhradních ložisek nevyhrazených nerostů možné provádět pouze na průzkumném území. To je stanoveno podle zvláštních právních předpisů (Zákon ČNR č. 62/1988 Sb., o geologických pracích a o Českém geologickém úřadu, ve znění zákona ČNR č. 543/1991 Sb.). Je tedy nutné požádat o stanovení průzkumného území pro zvláštní zásahy do zemské kůry.

Žádost se podává u Ministerstva životního prostředí České republiky. Náležitosti žádosti jsou uvedeny v zákoně č. 62/1988 Sb. (zákon o geologických pracích).

O stanovení průzkumného území žádá právnická osoba, která hodlá zařízení pro průmyslové využívání geotermální energie realizovat a provozovat.

Příslušným úřadem je Ministerstvo životního prostředí České republiky, které vydá rozhodnutí o stanovení průzkumného území pro zvláštní zásahy do zemské kůry a vymezí tak území, pro které se průzkumné území pro zvláštní zásahy do zemské kůry stanoví, dobu platnosti území a podmínky pro prováděcí práce.

## **Vypracování projektu geologického průzkumu pro zvláštní zásahy do zemské kůry**

Následně je nutné vypracovat projekt geologických prací (geologického průzkumu), jehož výsledky jsou nezbytným podkladem pro:

- vydání povolení pro zvláštní zásahy do zemské kůry;
- stanovení chráněného území pro zvláštní zásahy do zemské kůry;
- EIA
- upřesnění samotného projektu

Geologické práce jsou definovány v zákoně č. 62/1988 Sb.

Obsahové náležitosti projektu geologických prací jsou uvedeny ve vyhlášce 369/2004 Sb.

Součástí projektu geologických prací je i projekt technických prací.

Obsahové náležitosti projektu technických prací jsou uvedeny ve vyhlášce 369/2004 Sb.

Projekt geologického průzkumu vypracovává zhotovitel geologických prací, který splňuje podmínky stanovené v § 3 odst. 1 zákona č. 62/1988 Sb. a u nichž tyto práce řídí a za jejich výkon odpovídá fyzická osoba s osvědčením odborné způsobilosti geologické práce projektovat, provádět a vyhodnocovat.

Projekt geologických prací se předkládá ke schválení organizaci, které bylo stanoveno průzkumné území.

### **Provedení samotného geologického průzkumu**

Samotný geologický průzkum se rozděluje do tří fází/etap – vyhledávání, průzkum a podrobný průzkum.

Cílem fáze vyhledávání je zjistit pravděpodobný výskyt a rozsah geologických struktur nebo podzemních prostorů vhodných pro zásah do zemské kůry.

Údaje získané ve vyhledávací fázi se pak ověřují v druhé etapě – průzkumu, kdy již dochází k provedení průzkumného vrtu. Takto ověřené informace a údaje jsou pak použity pro zpracování dokumentace pro povolení hornické činnosti dle zák. č. 44/1988 Sb.

Následující, poslední fáze, tzv. podrobný průzkum, pak probíhá při samotné realizaci.

Součástí průzkumných prací je rovněž zajištění podkladů pro vyhodnocení technické a ekonomické proveditelnosti projektu.

Výsledkem průzkumných prací je jejich vyhodnocení ve formě geologické dokumentace. Geologická dokumentace je upravena ve vyhl. 368/2004 Sb. Závěrečná zpráva se předkládá České geologické službě k trvalému uchování.

### **Geologická dokumentace činnosti prováděné hornickým způsobem.**

Geologickou dokumentaci ve smyslu § 4 odst. 3 vyhlášky 368/2004 Sb. je dle § 11 uvedené vyhlášky povinen pořídit zhotovitel.

Obsah a náležitosti jsou upraveny v části druhé shora uvedené vyhlášky.

### **Návrh na stanovení CHRÁNĚNÉHO ÚZEMÍ PRO ZVLÁŠTNÍ ZÁSAHY DO ZEMSKÉ KŮRY**

Závěrečná zpráva z průzkumných prací se pak spolu s návrhem hranic chráněného území dokládá k žádosti o stanovení chráněného území pro zvláštní zásahy do zemské kůry.

Na chráněná území pro zvláštní zásahy do zemské kůry se přiměřeně vztahují ust. § 16-18 horního zákona.

Procesně se pak na stanovení, změnu, zrušení a evidenci chráněného území pro zvláštní zásahy do zemské kůry aplikují ust. § 1-5 vyhl. 364/1992 Sb. (o chráněných ložiskových územích).

Řízení se zahajuje na návrh právnické osoby, která hodlá zařízení pro průmyslové využívání geotermální energie realizovat a provozovat.

Chráněné území stanoví Ministerstvo životního prostředí (po projednání s orgánem kraje v přenesené působnosti České republiky). Ministerstvo životního prostředí vydává rozhodnutí, kterým stanoví chráněné území v součinnosti s Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR, Obvodním báňským úřadem a po dohodě s orgánem územního plánování a stavebním úřadem.

### **Získání POVOLENÍ KE ZVLÁŠTNÍM ZÁSAHŮM DO ZEMSKÉ KŮRY**

Po splnění shora uvedeného (předchozí hlavní postupové kroky) je nutné získat Povolení ke zvláštním zásahům do zemské kůry.

Povolení vydává Obvodní báňský úřad, v jehož obvodu působnosti má právnická osoba sídlo. Není-li takové místo, tak se příslušnost řídí podle místa zamyšlené činnosti.

K žádosti se předkládá dokumentace dle vyhl. 104/1988 Sb.

Pro získání povolení je dále (kromě výše uvedeného) nutné vypracovat/získat:

#### **a) Dokumentace zvláštních zásahů do zemské kůry**

Kromě splnění shora uvedených dílčích kroků je k úspěšnému získání povolení nutné vypracovat dokumentaci zvláštních zásahů do zemské kůry.

Dokumentaci zajišťuje báňský projektant a zpracovává se podle příloh 9,10,11 a 12 vyhlášky č. 104/1988. Součástí dokumentace by měl být i projekt vrtných prací dle přílohy č. 1 vyhl. 239/1988 Sb.

#### **b) Souhlas vodoprávního úřadu**

Dalším předpokladem je souhlas vodoprávního úřadu dle § 17 odst. 1 písm. g) a odst. 2, odst. 3 č. 254/2001 Sb. vodního zákona.

Formulář žádosti je v příloze č. 12 vyhlášky.

Může být vyžadováno předložení vyjádření osoby s odbornou způsobilostí v oboru hydrogeologie.

#### **c) Povolení k nakládání s povrchovými nebo podzemními vodami**

O povolení je nutné zažádat, pokud je součástí projektu odběr povrchových nebo podzemních vod.

#### **d) EIA**

Posouzení vlivu na životní prostředí je dalším předpokladem pro vydání povolení. EIA je upravena v zákoně č. 100/2001 Sb. (o posuzování vlivu na životní prostředí).

Oznámení záměru se předkládá Ministerstvu životního prostředí.

Předkladatelem oznámení je právnická osoba, která hodlá zařízení pro průmyslové využívání geotermální energie realizovat a provozovat.

Řízení se ukončuje do 30 dnů ode dne zveřejnění informace o oznámení.

## Plán minimalizace těžebního odpadu

Po vydání povolení je nutné vypracovat a nechat si schválit plán minimalizace těžebního odpadu. Schválení vykonává Obvodní báňský úřad.

Plán minimalizace těžebního odpadu zpracovává právnická osoba, která hodlá zařízení pro průmyslové využívání geotermální energie realizovat a provozovat.

### 10.3 Realizační fáze

V rámci realizační fáze dochází k vybudování samotného zařízení pro průmyslové využívání geotermální energie od okamžiku povolení hornické činnosti pro zvláštní zásahy do zemské kůry do vlastního zahájení provozu zařízení pro průmyslové využívání geotermální energie.

Je nutné Obvodnímu báňskému úřadu dle § 10 vyhl. 104/1988 Sb. ohlásit **zahájení a ukončení hornické činnosti a činnosti prováděné hornickým způsobem** a to nejméně 8 dní předem. Dále je nutné vést **geologickou dokumentaci** a v rámci samotného provádění prací získávat potřebné geologické údaje. Získávání údajů je součástí poslední průzkumné fáze, která se provádí až při samotné realizaci vrtů – tzv. podrobný průzkum.

Nejméně jednou ročně se pak předkládá Obvodnímu báňskému úřadu **písemná zpráva o výsledcích monitorování a provozu úložného místa** ohledně nakládání s těžebním odpadem.

Samozřejmostí je zajištění ochrany jednotlivých složek životního prostředí.

### 10.4 Závěr

Na přípravné fázi se podílí jak organizace, která hodlá zařízení pro průmyslové využívání geotermální energie realizovat a provozovat, tak zhotovitel, který je držitelem patřičných oprávnění (báňský projektant, oprávnění k hornické činnosti) a vyžaduje se vydání několika rozhodnutí různých orgánů (viz v textu).

Vyvrtání průzkumného vrtu probíhá v rámci geologického průzkumu na základě „licence“ Ministerstva životního prostředí České republiky (stanovení průzkumného území). **Získání povolení ke zvláštním zásahům do zemské kůry nastupuje až ve fázi, kdy je geologicky potvrzena pravděpodobnost využitelného ložiska, případně rezervoáru, vhodného pro zvláštní zásahy do zemské kůry.**

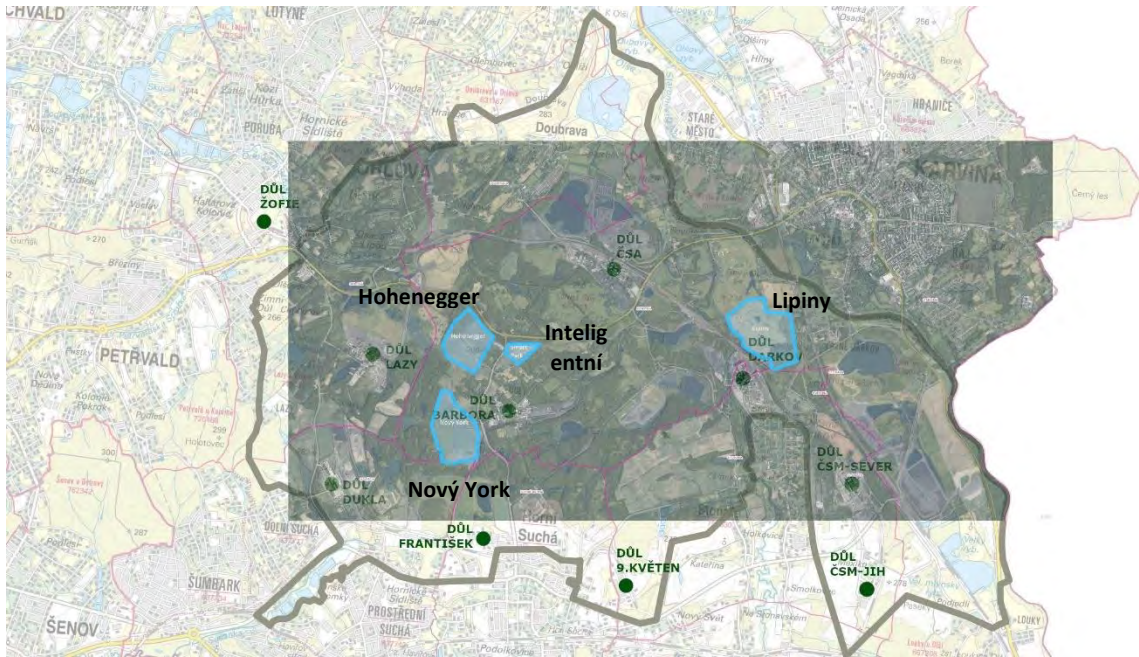
Samotné provedení vrtu po průzkumu pak vyžaduje splnění všech podmínek přípravné fáze a vydání povolení ke zvláštním zásahům do zemské kůry.

# Zpracování koncepčního modelu pro přípravu geotermálního projektu

## 11 Úvod

Cílem této studie proveditelnosti je posoudit, zda je získávání geotermální energie v zájmové oblasti možné a ekonomicky smysluplné a má sloužit jako podklad pro rozhodování o rozvoji hlubinné geotermální oblasti na Karvinsku .

Obrázek 32 ukazuje čtyři potenciální lokality pro geotermální rozvoj jihozápadně od města Karviná. Studie proveditelnosti se zaměřuje na lokalitu "Smart Park".



**Obr. 32 - Mapa znázorňující potenciální lokality vrtů pro geotermální rozvoj (ohrazené modře). Preferovaný projektový lokalita "Smart Park" a alternativní lokality "Lipiny", "Hohenegger" a "Nový York" se nacházejí jihozápadně od města Karviná.**

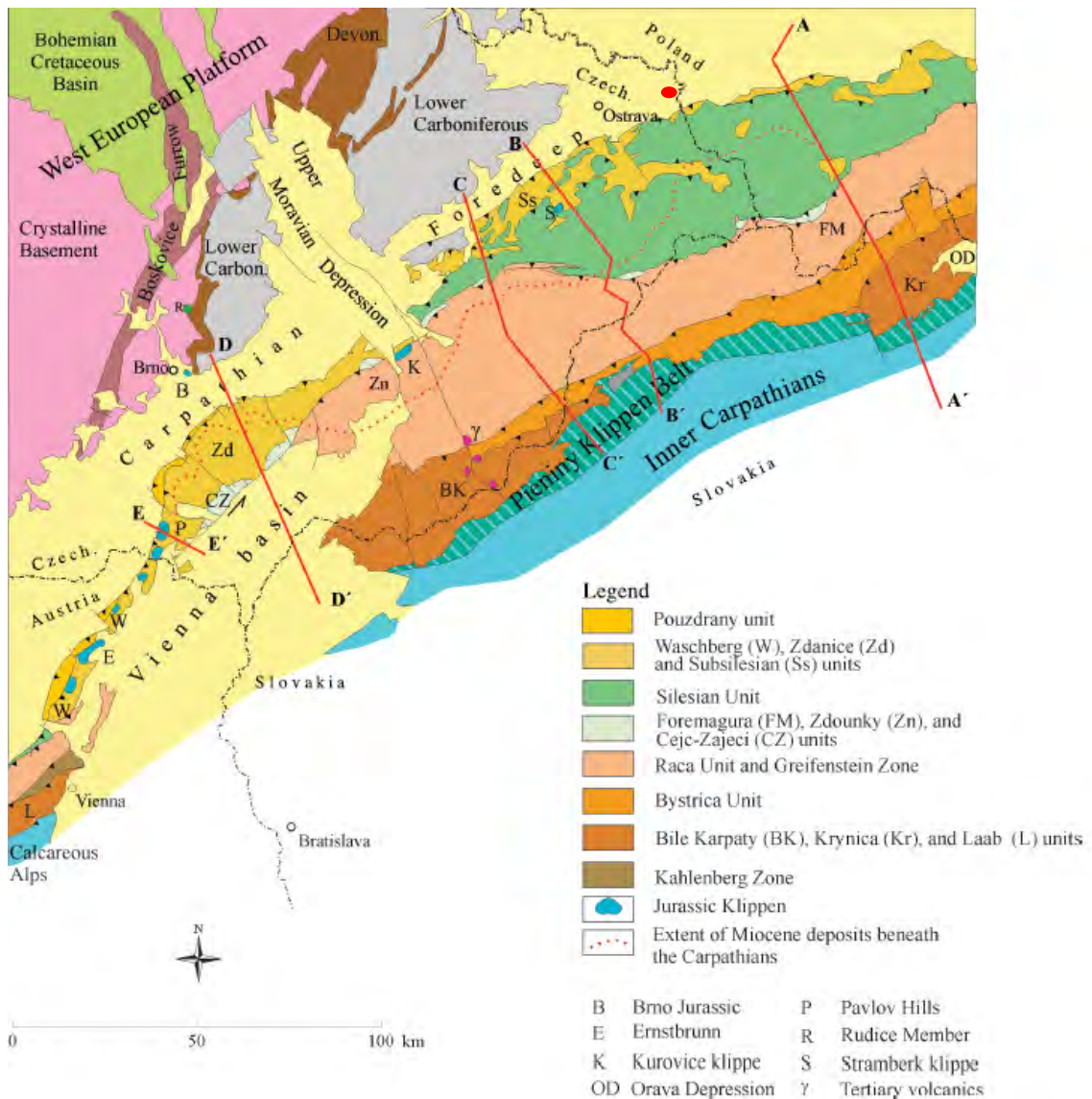
Druhá část studie proveditelnosti zpracovává koncepční model pro přípravu geotermálního projektu v okolí Karviné. Po krátkém shrnutí geologických nálezů části I této studie je rozsah prací II části definován takto:

- Koncept průzkumných prací včetně variant.
- Posouzení technických variant.
- Ekonomické posouzení technických variant.
- Návrh konstrukce vrtu.
- Odhady nákladů na odvrtání vrtu.
- Časový harmonogram.
- Analýza geologických a technických rizik, základní studie seismologických rizik.
- Doporučení pro další kroky.

## 12 Shrnutí části Geologické posouzení Geologické posouzení hlubší geologické stavby lokality Pohornické krajiny Karvinska (POHO) – oblast Smart park pro studii hydrotermálního vyu- žití tohoto území

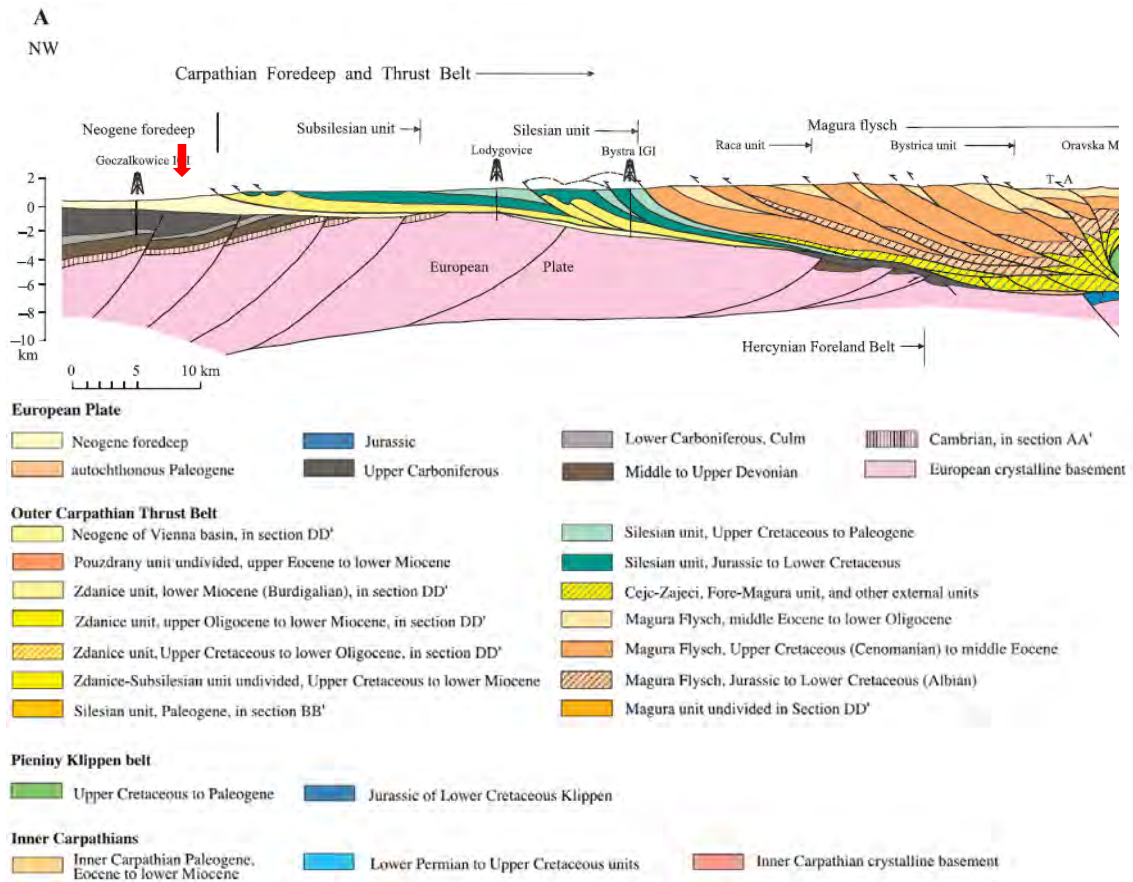
Krátké shrnutí obecné geologické oblasti a podrobné geologické posouzení uvažované oblasti uvedené v I části studie proveditelnosti je uvedeno níže.

Obrázek 33 znázorňuje umístění areálu projektu Karviná na severovýchodní Moravě v blízkosti polských hranic.



**Obr. 33 - Povrchová geologická mapa Západních Karpat a jejich předpolí (západoevropská platforma) v severovýchodním Rakousku, na Moravě (východní část České republiky) a v západním Polsku (zdroj: Picha et al., 2006). Červená tečka označuje polohu lokality geotermálního projektu Karviná.**

Geologicky se lokalita nachází v Karpatské předhlubni těsně před čelem Karpatských příkrovových jednotek. Geologický řez na obrázku 34 poskytuje obecný přehled o strukturní situaci hlubokého podloží pod plánovaným místem projektu.



**Obr. 34 - Regionální geologický řez příkrovovými jednotkami Západních Karpat a jejich předpolím podél linie AA' – Bielsko Biala – Nízke Tatry (přímka AA' viz obrázek 2; zdroj: Picha et al., 2006). Červená šipka označuje celkovou polohu lokality geotermálního projektu Karviná v Karpatské neogenní předhlubni.**

Krystalinické podloží je pokryto poměrně mocným sedimentárním sledem paleozoického a neogenního stáří. Tabulka 1 níže ukazuje velmi zjednodušený přehled stratigrafické a litologické sekvence pro lokalitu projektu, která byla odvozena z geologické analýzy uvedené v I. části studie. Mocnosti vrstev jsou uvedeny ve dvou variantách; varianta 1 předpokládá minimální mocnosti jednotlivých litostratigrafických celků, zatímco varianta 2 je založena na jejich maximálních mocnostech.

Rozdíl obou variant ilustruje rostoucí nejistotu s hloubkou zejména pod vrtně a důlně doloženými (uhelnými) vrstvami Karvinského souvrství.

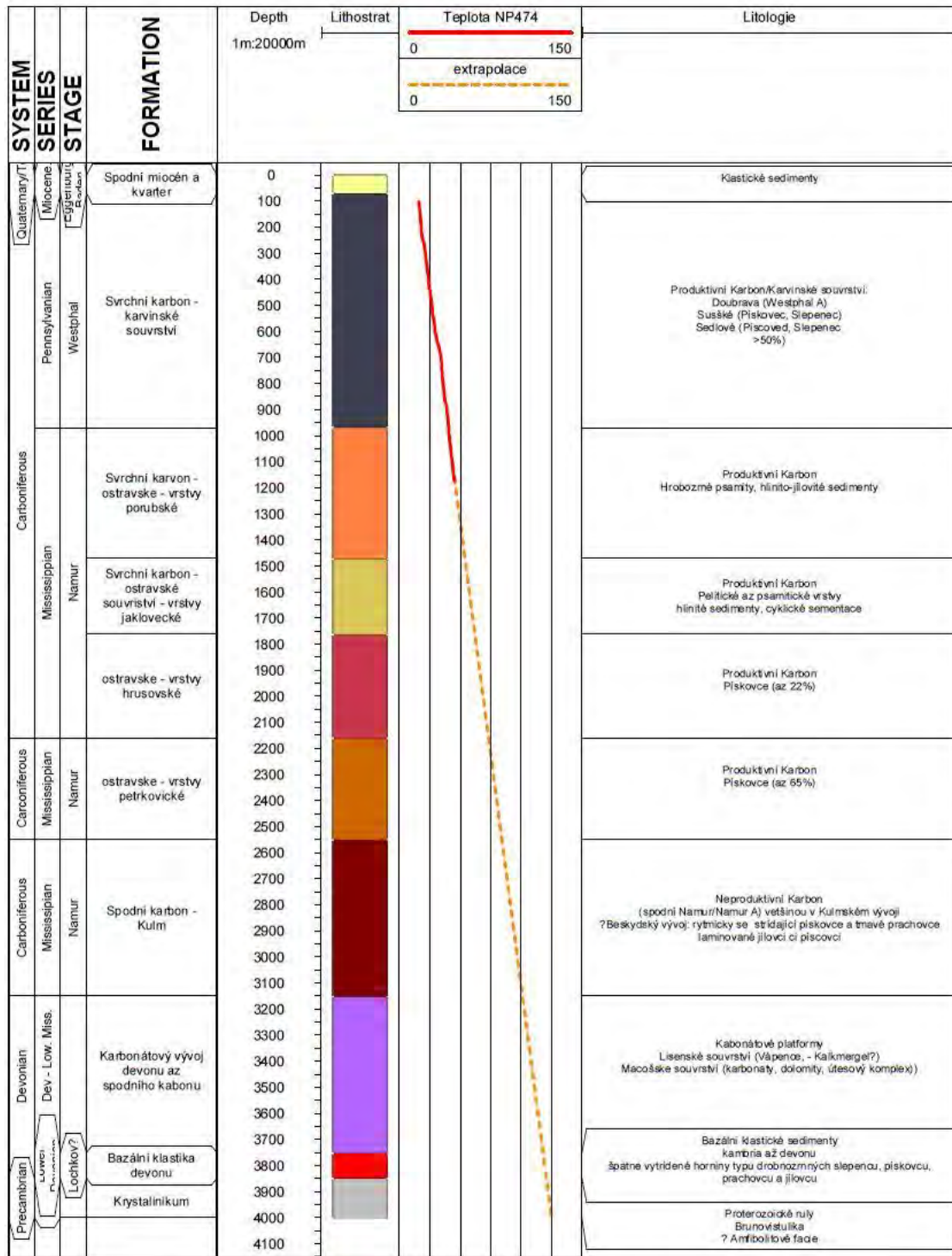


	Stratigrafie	Litologie	Varianta 1: Hloubka povrchu (mocnost)	Varianta 2: Hloubka povrchu (mocnost)
Neogén	Spodní miocén a kvartér	Klastické sedimenty	0 (70m)	0 (70m)
Paleozoikum	Svrchní karbon - karvinské souvrství	Sedimenty kontinentální uhlonosné molasy	70 (900m)	70 (900m)
	Svrchní karbon - ostravské souvrství	Sedimenty paralické uhlonosné molasy	970 (1580m)	1270 (1825 m)
	Spodní karbon - Kulm	Flyš, pískovce, opuky, jílovce	2550 (600m)	3095 (1405m)
	Karbonátový vývoj devonu až spodního karbonu	Karbonáty, dolomity, slinité vápence	3150 (600m)	4500 (1100m)
	Bazální klastika ? -devonu	Klastické sedimenty konglomeráty, pískovce	3750 (100m)	5600 (400m)
Proterozoikum	Krystalinikum	Rula?	3850 (-)	6000 (-)

**Tabulka 17 - Zjednodušený přehled stratigrafie, litologie a mocnosti vrstev uvedený v I. části studie (MND a.s.).**

Níže uvedený geologický profil (Obrázek 35) vychází z varianty 1 stanovené stratigrafie. Na tomto obrázku je navíc zobrazen teplotní profil nejbližšího vrtu NP-474. Od hloubky 500 m jsou hodnoty teploty extrapolovány.

Pro inženýrské účely a účely projektování vrtů, které jsou řešeny v následujících kapitolách, se uvažuje s pořadím a mocnostmi formací dle tohoto profilu. Geologické nejistoty diskutované v i části studie nelze vzít pro návrh konstrukce vrtu v úvahu, ty budou muset být ověřeny dalším geofyzikálním průzkumem.



Obr. 35 - Předběžný geologický profil lokality projektu Karviná (na základě varianty 1) s teplotním profilem (MND a.s.).

## 13 Zpracování koncepčního modelu

### 13.1 Koncepce využití včetně variant

Geotermální energii lze nalézt po celém světě. Geotermální energie, která je k dispozici 24 hodin denně, 7 dní v týdnu, nabízí širokou škálu možných aplikací. Jak možné je její využití a k čemu může být použita, závisí na hloubce zdroje, zjištěné teplotě, geologickém prostředí, typu zdroje, mineralizaci geotermální vody a v neposlední řadě na vzdálenosti geotermálního zdroje od poptávky po energii.

Dnes je geotermální energie využívána převážně buď při výrobě elektřiny nebo přímo ve formě tepla (tzv. "přímé využití"). Existuje však mnohem více aplikací, včetně chlazení pomocí geotermálního tepla. Typ zdroje, teplota a poptávka zákazníka definují způsob využití tepla nacházejícího se pod povrchem. Hlavní oblasti použití jsou uvedeny níže:

#### **Výroba elektrické energie**

Pro výrobu elektrické energie jsou k výrobě elektřiny tradičně nutné teploty 120 °C nebo vyšší. Existují však nové technologie, které dokážou vyrábět elektřinu s využitím geotermálních zdrojů o teplotách nižších než 100 °C. Jak je to ekonomicky proveditelné, závisí však na (místních) obecných tržních podmínkách.

#### **Vytápění prostor**

Vedle výroby elektřiny je to zdaleka nejběžnější využití geotermálního tepla. Asi tři čtvrtiny instalací by spadaly do kategorie "dálkového vytápění". Ve skutečnosti bylo nejstarší známé komerční využití geotermální energie v Chaudes-Aigues Cantal ve Francii, kde byl ve 14. století postaven systém dálkového vytápění. I když jsou obecně vyžadovány teploty přesahující 50 °C, lze za určitých okolností použít zdroje až 40 °C.

Pokud jsou použita geotermální tepelná čerpadla, tak vytápění prostor prostřednictvím takzvaného systému tepelných čerpadel se zemním zdrojem může být životaschopnou alternativou k jiným formám vytápění při teplotách výrazně pod 10 °C.

#### **Kombinovaná výroba elektřiny a tepla**

Konvenční systémy dálkového vytápění často trpí nedostatečným počtem hodin plného zatížení v průběhu roku. V letních obdobích není potřeba teplo. Geotermální dálkové systémy nabízejí řešení k překonání tohoto poklesu v zátěžové křivce, pokud je paralelně instalována jednotka na výrobu energie. Během přechodových období mohou být oba systémy dokonce provozovány paralelně při různých zatíženích. V každém případě je před instalací takového integrovaného systému vyžadován pečlivý podrobný průzkum trhu.

#### **Chlazení / dálkové chlazení**

Dálkové chlazení se stává stále důležitější službou v mnoha částech světa. Ve Spojených státech vývoj systémů dálkového chlazení zdaleka předběhl vývoj nových systémů dálkového vytápění. Nedávný pokrok v absorpční technologii (především systémy bromidu lithného) umožňuje mnohem větší využití geotermálních zdrojů s nízkou až střední teplotou (110 - 150 °C) v aplikacích dálkového chlazení. Absorpční technologie může být použita prostřednictvím výroby chlazení v centrálním místě s následnou distribucí pro více spotřebitelů nebo, pokud již systémy dálkového vytápění existují, prostřednictvím využití těchto stávajících systémů.

#### **Hybridní technologie**

Využití hybridních technologií může přispět k tomu, aby byl flexibilní provoz geotermálních elektráren komerčně životaschopný a mohlo by také pomoci stabilizovat elektrickou síť. Geotermální elektrárny mohou pracovat v konfiguraci sledující zatížení; omezení geotermální

výroby v obdobích nadměrné výroby nebo poptávky mimo špičku však může vést ke ztrátě příjmů a dopadům na výkonnost, jakož i na dlouhodobé tepelné řízení geotermálního rezervoáru. Hybridizace může být schopna tyto dopady zmírnit; například začlenění výroby solární elektřiny v kombinaci se skladováním tepelné energie do systému geotermální elektrárny může umožnit časový posun jak solární, tak i geotermální výroby (například zařízení Stillwater společnosti ENEL v USA).

#### ***Přímé vytápění skleníků***

Geotermální teplo může být použito k dodávce tepla do skleníků jako náhrada za plyn, uhlí nebo ropu jako zdroje tepla. Ve většině případů je ekonomickou volbou geotermálního vytápění skleníků teplo o nízkých teplotách (< 50 °C), protože nabízí rozumnou návratnost, někdy deset let nebo méně, v závislosti na konstrukci systému a ceně nahrazeného fosilního paliva. Doporučuje se zavést opatření na úsporu energie, jako je snížení infiltrace vzduchu, instalace energetických clon, izolace bočních stěn a obvodu základů, dobré využití rostoucího prostoru a instalace elektronických kontrol prostředí. Tato opatření mohou výrazně snížit tepelné ztráty, a tím zmenšit velikost geotermálního topného systému potřebného k ohřevu skleníku.

#### ***Výroba vodíku s využitím geotermálního zdroje***

Vzhledem k tomu, že existují různé metody elektrolýzy pro výrobu vodíku a geotermální metody typicky používané k výrobě elektřiny, je zřejmé, že výroba geotermální energie může být použita ve dvoustupňovém procesu spojením s metodami elektrolýzy k výrobě vodíku. Tento proces se však v minulosti potýkal s velmi vysokými náklady. Rychle rostoucí náklady na energii pravděpodobně tyto výpočty výrazně změní.

#### ***Chov ryb / zpracování potravin***

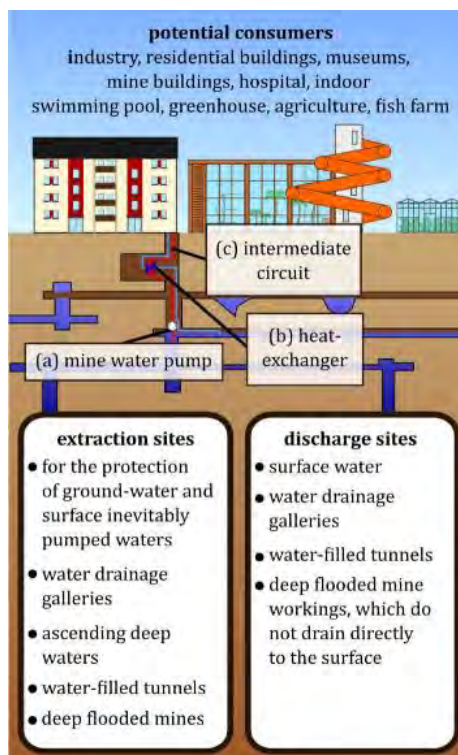
Geotermální teplo lze použít v různých aplikacích v zemědělském a potravinářském průmyslu. Nové energetické politiky, jako je „European Green Deal“, zde nabízejí nové možnosti využití:

- Akvakultura nebo chov ryb (20 – 40 °C)
- Pěstování řas (35 – 3°C)
- Pasterizace mléka (70 – 100°C).
- Odpařování a destilace (80 – 120 °C) pro zpracování mléka a přípravu lihovin
- Sterilizace (> 105°C)
- Chlazení (> 120°C)
- Ohřev půdy (20 – 40 °C) pro pěstování plodin, jako je mrkev, zelí, jahody a chřest
- Sušení potravin nebo plodin (40 – 100°C)

#### ***Využití geotermální energie z důlních vod***

Další geotermální aplikace se nabízí v tradičních těžebních oblastech, resp. v oblastech po těžbě. V budoucnu mohou opuštěné doly nabídnout využití geotermální energie z důlních vod. V závislosti na podmínkách lokality musí být vhodně zváženy různé varianty těžby a vypouštění vod (Obr. 36).

V Severní Americe a Evropě je již ve výstavbě řada pilotních elektráren (Oppelt et al., 2022).

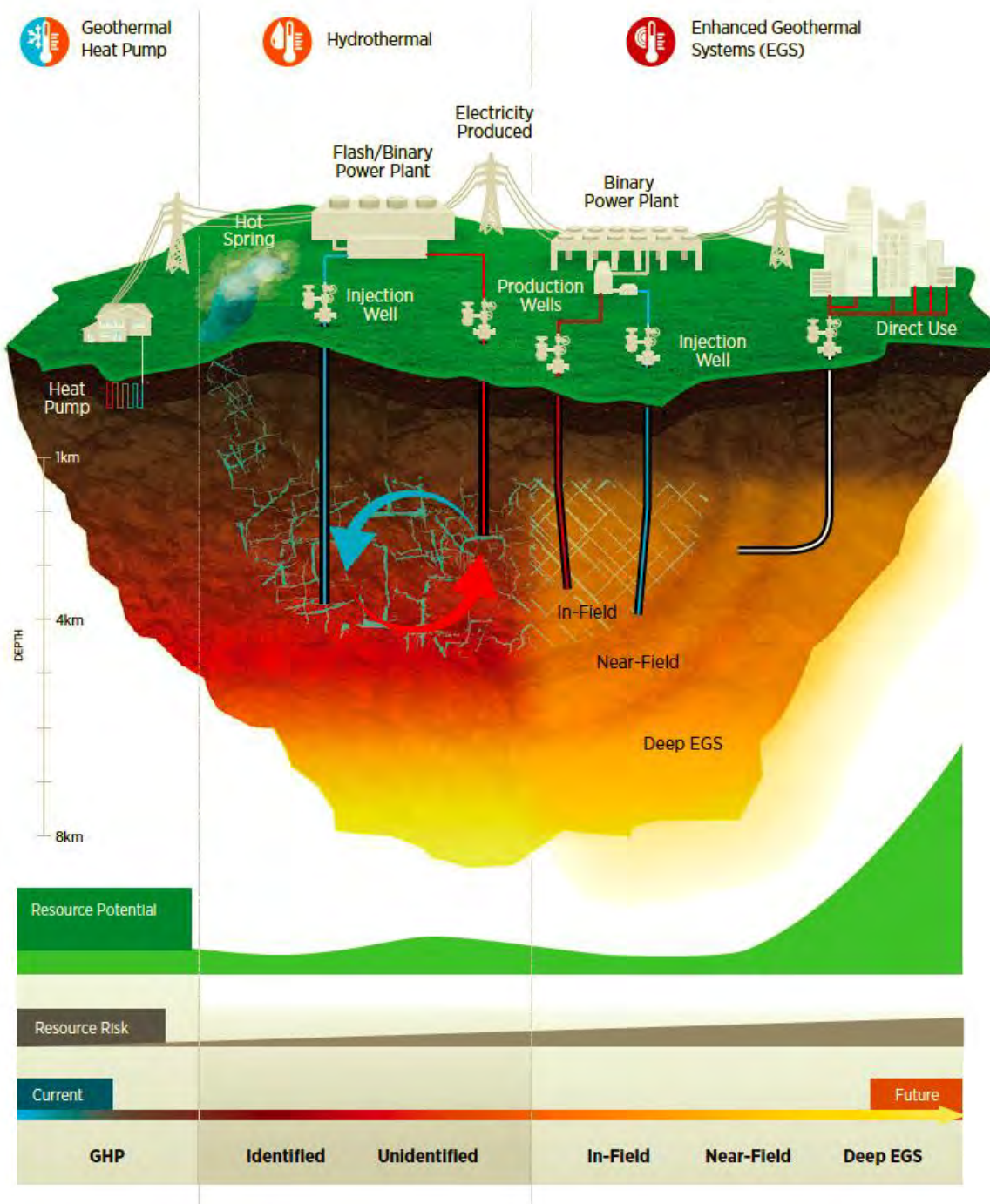


**Obr. 36 - Základní principy zařízení na využití geotermální energii důlních vod, míst těžby a vypouštění, jakož i možných potenciálních uživatelů (Zdroj: Oppelt et al., 2022)**

### **Lázeňské využití**

Aby byl seznam úplný, geotermální teplo je samozřejmě ideální pro vytápění lázní, bazénů a podporu všech druhů wellness aktivit. V České republice lze nalézt řadu příkladů tohoto využití.

Vynikající přehled o současném stavu vývoje geotermálních zdrojů a jejich využití je uveden na obrázku 37, viz níže. Vezměte prosím na vědomí, že elektrárny se stimulovaným geotermálním systémem (EGS) byly mezitím úspěšně realizovány v Soultz-sous-Forêts (F), Insheim (D), Landau (D) a Rittershoffen (F).



**Obr. 37 - Klasifikace geotermálních zdrojů, potenciál zdrojů a související hodnocení fází vývoje (Zdroj: zpráva US DoE GeoVision, 2019)**

### 13.2 Posouzení technických variant

Geotermální technologie obecně a konkrétněji hluboké geotermální technologie jsou komplexní technologie s širokou škálou problémů od geologie přes inženýrství až po geochemii. Posouzení možností využití geotermální energie, vyžaduje, aby investor plně porozuměl důvodům, nabízeným šancím a omezením, kterým čelí při realizaci geotermálního projektu.

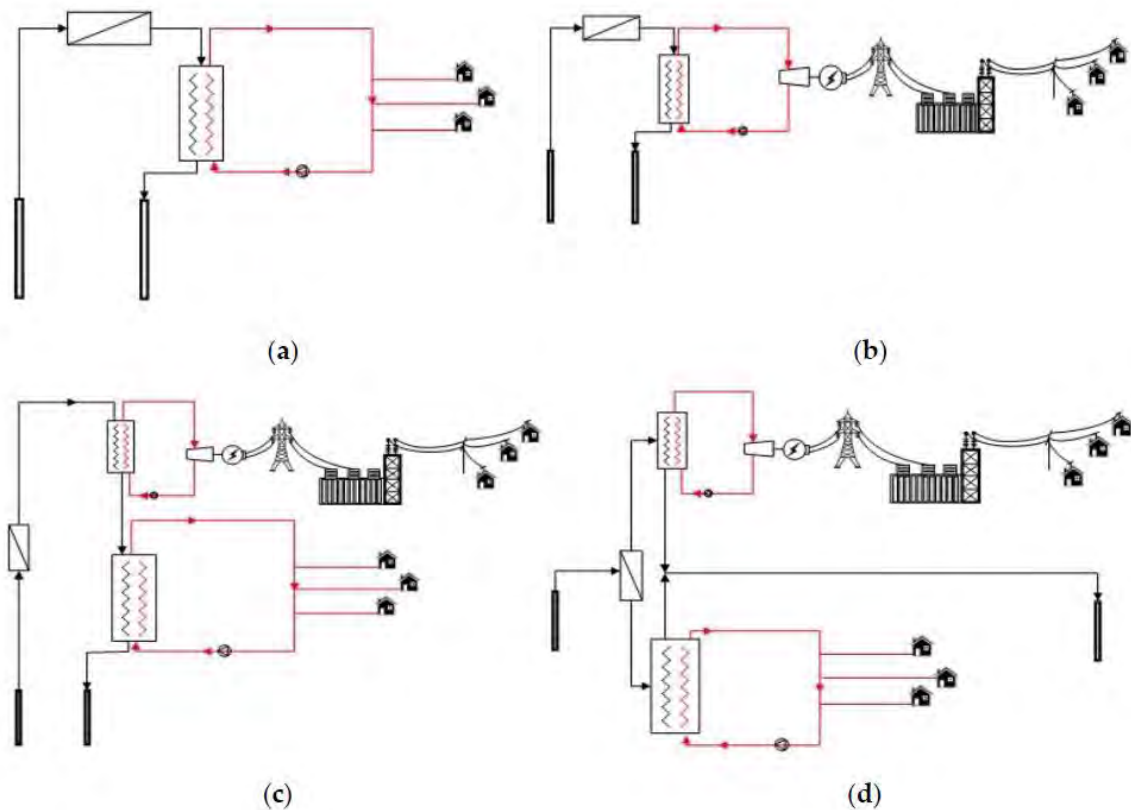
Rostoucí obavy ze zvyšujících se nákladů na energie, závislosti na fosilních palivech a dopadu dodávek energie na životní prostředí vedou k nutnosti hledat ekonomické a ekologické alternativy. Geotermální energie představuje velký nevyužitý potenciál obnovitelných zdrojů a nabízí nízký dopad na životní prostředí, zejména pokud jde o emise skleníkových plynů. Navzdory mnoha dalším výhodám, jako je spolehlivá výroba elektřiny s konstantním základním zatížením nebo přímé využití tepla a malý zábor půdy, je geotermální energie v dnešní době stále malým příspěvatelem ke spotřebě primární energie. Hlavní důvody jsou především rizika a nejistoty trvalého zásobování geotermální vodou z rezervoáru a poměrně vysoké počáteční náklady spojené s průzkumem, realizací vrtů a rozvojem ložisek. Kromě toho tradiční hydrotermální systémy, založené na vyspělých a dobře známých technologiích, umožňují využívání převážně rezervoárů s vysokým tepelným obsahem (entalpie), zatímco obrovský geotermální potenciál přítomný v rozpukaném, nízko porézním a nízko až středně „entalpickém“ podloží je stále široce nevyužitý. Proto, aby bylo možné překonat tuto překážku a zvýšit produktivitu rezervoáru v nízkopropustných horninách, byla vyvinuta technologie Enhanced Geothermal Systems (EGS). Technika EGS spočívá ve využití přirozeného puklinového systému v cílové geologické formaci, jeho posílení a zajištění cirkulace geotermální vody. Díky této technologii pak dodatečně existují další možnosti pro optimální využití geotermálního zdroje.

Posouzení možností využití geotermální energie se musí zaměřit na několik hlavních aspektů, **technické posouzení a posouzení vlivů na životní a sociální prostředí**. Ekonomické posouzení, resp. hodnocení, bude probráno v kapitole 13.4 této zprávy.

Jakékoli posouzení využití geotermální energie bude muset zahrnovat místní geologické, ekonomické, sociální a environmentální podmínky. Cílem této kapitoly je nastínit kritéria a vysvětlit jejich důvody pro přípravu rozhodovacího procesu na místní úrovni. Vzhledem k tomu, že projekt je označen jako "hluboký geotermální", zaměříme se na tato využití a nebudeme v této diskusi brát v úvahu mělké nízkoteplotní (<< 50 °C) geotermální aplikace.

Nejpozději v okamžiku, kdy bude dokončeno testování vrtu a bude plně známa energetická výstupní kapacita geotermálního systému, bude třeba rozhodnout, jaký druh technologie bude instalován na povrchu. Zde lze v zásadě volit mezi 4 různými konfiguracemi (příslušná schémata jsou uvedena na Obr. 38 níže).

- (a) Zařízení pro přímé použití.
- (b) Elektrárna pouze pro výrobu elektřiny.
- (c) Elektrárna pro kombinovanou výrobu tepla a elektřiny (CHP) v sériové konfiguraci, kde k odběru tepla dochází na nízkoteplotní straně elektrárny před opětovným vtlačáním vody.
- (d) Elektrárna pro kombinovanou výrobu tepla a elektřiny (CHP) v paralelní konfiguraci. V této konfiguraci mohou být teplo a energie vyráběny střídavě a také paralelně, přičemž zdroj tepla je sdílen. Tato konfigurace nabízí největší flexibilitu.



**Obr. 38 - Hlavní konfigurace pro geotermální využití: a) přímé využití, b) výroba elektřiny, c) kombinovaná výroba tepla a elektřiny (CHP) v sérii, d) kombinovaná výroba tepla a elektřiny (CHP) v paralelní konfiguraci (zdroj: Raos et al., 2019).**

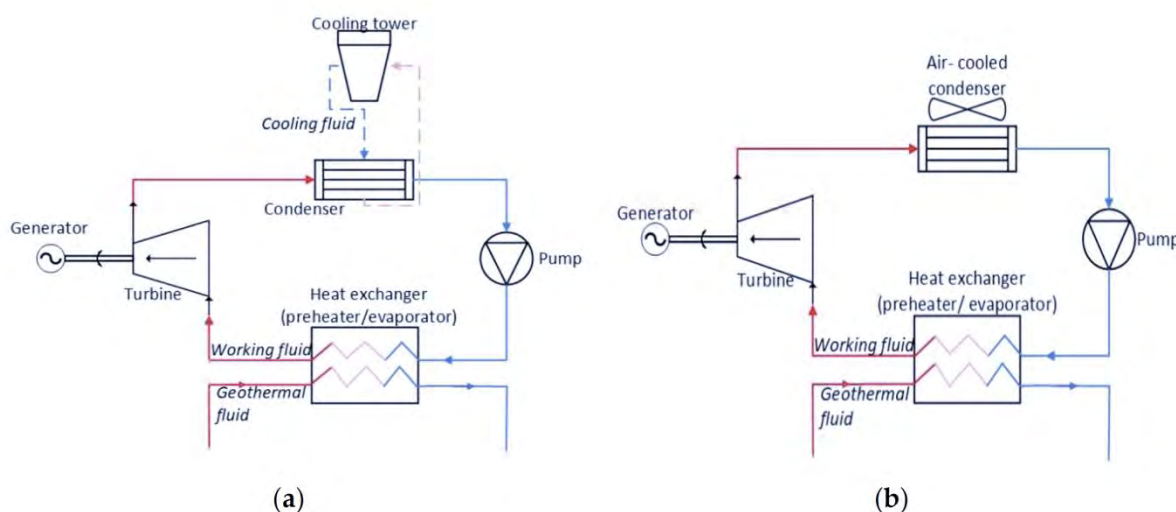
Pokud se přijaté rozhodnutí bude týkat i výroby elektřiny, je třeba dále rozhodnout o typu chladicího systému. V podmínkách severní Evropy se výroba energie zaměřuje na - Organic Rankine Cykles (ORC). Geotermální zdroje v naší části kontinentu neobsahují dostatek energie pro napájení elektráren typu Flash. Navíc jsou geotermální vody ve většině případů silně mineralizovány, což při odpařování způsobuje usazeniny na lopatkách turbín atd

Volba, která má být učiněna ohledně jednotek ORC, se týká typu chladicího systému. Na výběr jsou dvě techniky, vodní chlazení a vzduchové chlazení (Obr. 39 **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**). Obě techniky mají výhody a nevýhody.

Chlazení vzduchem je jednoduché, čisté, tiché (nízkootáčkové ventilátory) a robustní řešení a je implementováno v elektrárnách po celém světě. Jeho hlavní nevýhodou je závislost na okolní teplotě, a tedy nízká účinnost v horkých letních týdnech. Naopak vyniká vynikajícími hodnotami účinnosti v chladných zimních dnech.

Vodní chlazení nabízí poměrně homogenní podmínky výkonu. Zejména v létě překoná chlazení vzduchem. Bude však vyžadovat větší údržbu ve srovnání s chlazením vzduchem, protože chladicí voda bude muset být upravena a chladicí věže udržovány čisté. Jeho největší nevýhodou je obrovské množství potřebné vody, které lze uspokojit pouze tehdy, pokud lze použít jako zdroj vody řeku nebo existuje-li velmi produktivní vodonosná vrstva. V praxi tato technologie často nezíská potřebná povolení místních orgánů pro životní prostředí.





**Obr. 39 - Chladicí technologie pro elektrárny s „organickým hodnocením“ (ORC): a) vodní chlazení, b) chlazení vzduchem (zdroj: Raos et al., 2019).**

Kromě technických otázek je třeba vzít v úvahu také **sociální a environmentální dopad** geotermálních technologií při posuzování jejich možného využití.

Udržitelný rozvoj energetiky je nově vznikajícím paradigmatem. Jeho úkoly zahrnují snížení negativních dopadů na životní prostředí a současně zvýšení přístupu k energiím, cenové dostupnosti, bezpečnosti a účinnosti využívání energií. Tyto projekty mohou vést k pozitivním sociálním dopadům, jako je zvýšení místního bohatství prostřednictvím vytváření nových pracovních míst, zlepšení zdraví nahrazující "špinavé" technologie nebo zlepšení komunitních služeb prostřednictvím placení místních daní. Každý takový projekt by se měl vyvarovat nebo zmírnit znečištění ovzduší nebo voda měla by být také chráněna biologická rozmanitost. Současně musí být ekonomicky a finančně životaschopný. Z toho vyplývá, že je třeba pečlivě sledovat všechny environmentální, sociální a hospodářské dopady spojené s rozvojem geotermální energie.

Seznam různých druhů dopadů je uveden níže v Tabulce 18.

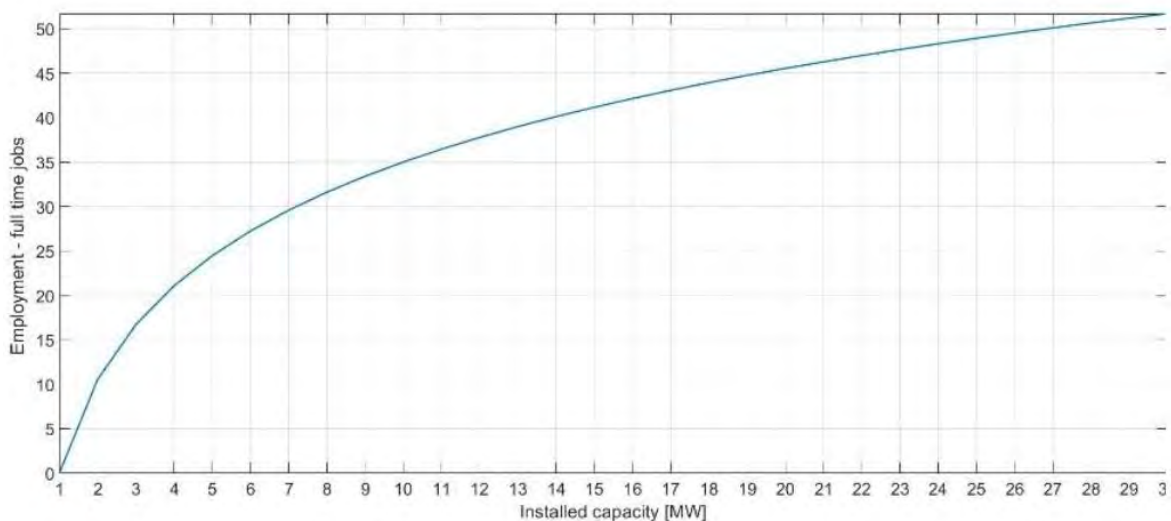
Předmět	Pozitivní dopady	Negativní dopady
Bohatství Společnosti	Zvýšený příjem na obyvatele. Iniciativy sociálního rozvoje Bezpečné a cenově dostupné dodávky energie. Lepší kvalita života, pokud má komunita vyšší příjmy. Zvyšuje cestovní ruch.	Rostoucí ceny nemovitostí.
Zdraví	Nižší znečištění ovzduší. Zlepšení zdravotnických zařízení, pokud má komunita vyšší příjmy. Terapeutické využití.	Riziko hlukové zátěže. Riziko znečištění půdy v případě úniku.
Vzdělávání	Lepší zařízení, pokud má komunita vyšší příjmy.	

Přírodní nebezpečí		Indukovaná seismicita.
Biologická rozmanitost	Minimalizovaný dopad díky malým rozměrům.	Narušení stanoviště (ztráta?) .?
Země/půda	Malé požadavky na půdu ve srovnání s jinými zdroji energie.	Zhutnění půdy. Konflikt s ostatními uživateli půdy / sousedé
Ekonomický rozvoj	Zvýšená energetická bezpečnost. Nízká závislost na počasí. Vysokokapacitní faktor. Přímá, nepřímá a indukovaná činnost a zaměstnanost.	Omezený počet dlouhodobých pracovních míst.
Vzorce spotřeby a výroby	Odpadní teplo může být kaskádové a / nebo zachycené.	Odpadní teplo může způsobit problémy s životním prostředím. Riziko nadměrného využívání (pokles teploty).

**Tabulka 18 - Možné dopady geotermální technologie podle předmětu (vlastní zpracování).**

Pokud jde o místní zaměstnanost, existuje zajímavý graf publikovaný Raos et al. (2015), který ukazuje počet pracovních míst na plný úvazek v geotermální elektrárně ve srovnání s počtem megawattů (elektrických) instalovaného výkonu. Tento graf (Obr. 40) odkazuje na mezinárodní zkušenosti po celém světě.

Ačkoli tato čísla nejsou působivá, vzhledem k tomu, že každé pracovní místo v elektrárně vytváří alespoň 2 další pracovní místa v rámci místních dodavatelů a služeb, lze místní dopad považovat za nezanedbatelný.



**Obr. 40 - Pracovní místa na plný úvazek vytvořená v závislosti na instalované (elektrické) kapacitě geotermálního projektu.**

Detailní posouzení projektu zahrnující všechny výše uvedené technické, sociální a environmentální aspekty lze provést po dalším získání informací a znalostí o parametrech geotermálního zdroje v lokalitě Karviná a plány dalšího rozvoje.

### 13.3 Výměník tepla pro jeden vrt

V případě, že by první vyvrtaný průzkumný vrt byl suchý, je instalace výměníku tepla pro jeden vrtu možným záložním řešením pro další využití tohoto vrtu. Níže následuje krátký nástin možného využití a některé příklady výpočtů tepelného výkonu takového systému.

Výměník tepla pro jeden vrt vyžaduje, aby byla do cílové hloubky instalována izolovaná stupačková kolona s otevřenou patou. Kapalina se pak obvykle zatláčí/injektuje přes mezikruží, kde se zahřívá, jak se dostává hlouběji. Objem mezikruží je větší než objem stupačkové kolony, proto je průtok pomalý a je dostatek času na to, aby tekutina absorbovala teplo z okolní horniny. Těžba kapaliny probíhá přes tepelně izolovanou stupačkovou kolonu. Průtok touto kolonou je rychlejší než v mezikruží mezi stupačkovou kolonou a pažnicí, protože objem na metr délky je malý. Proto se horká kapalina rychle dostává na povrch s minimálním ochlazením. Cirkulace kapalin může být zahájena nuceným ztláčením kapaliny z povrchu do vrtu, aby se vytvořila uzavřená cirkulační smyčka zpět do stupačkové kolony, přičemž samotný vrt musí být hermetický s dobrou cementací či pomocí mechanického mostku nad patou pažnicové kolony. Alternativně se může cirkulovat pomocí ponorného čerpadla instalovaného ve vrtu, které čerpá kapalinu ze stupačkové izolované kolony. Tohoto ponorného čerpadla lze i použít k cirkulaci přes výměníky tepla a k opětovnému ztláčení ochlazené kapaliny. V této konfiguraci není nutné utěšňovat dno vrtu, ložisková voda se může se podílet na zvýšeném průtoku a tím i tepelném výkonu.

V každém případě je rozumné cementovat prvních 500 m úvodní kolony těžebního vrtu tepelně izolačním cementem, jestliže má být použit pro výměník tepla pouze jeden vrt. Pokud se tak nestane, tak znovu ztláčená tekutina se v tomto intervalu více ochlazuje, protože horniny v blízkosti povrchu jsou chladnější, což vede ke ztrátě tepla a tím i energie.

Výměník tepla začne pracovat při zvýšené povrchové teplotě a poté se postupně asymptoticky ochladí na cílovou minimální teplotu. Je zřejmé, že rychlost ochlazení ve vrtu je závislá na počtu ročních provozních hodin plného zatížení. U standardních tepelných projektů se toto číslo pohybuje v rozmezí 1 800 až 2 400 hodin. Hluboké, „jedno-vrtové“ výměníky tepla s tepelným čerpadlem mohou pracovat s koeficienty výkonu (COP nebo poměr energetické účinnosti) až do COP = 20. To znamená, že jsou zhruba 5krát účinnější než standardní systém pozemního nebo vzduchového tepelného čerpadla.

#### Tepelný výkon výměníku tepla pro jeden vrt

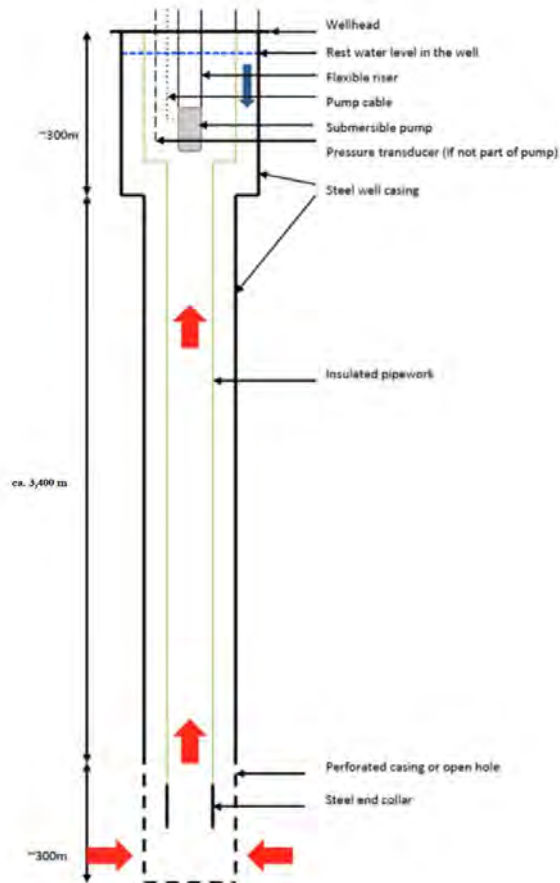
Dva různé scénáře se zdají být možné, Při instalaci výměníku tepla v systému jednoho vrtu lze uvažovat o dvou scénářích:

##### **Scénář 1: OTEVŘENÝ SYSTÉM**

V tomto případě se počítá také s příspěvkem průtoku z formace. Mezi studenou vtláčenou a horkou těženou kapalinou jsou ve vrtu a kolem něj vytvořeny konvekční smyčky (obrázek 41). V tomto případě bude tepelný výkon zvýšen, ale bez znalosti parametrů vrtu není možné předpovědět asymptotický výkon. Pokud předpokládáme asymptotickou výrobní teplotu 80 °C a reinjekci při 20 °C, tepelný výkon by mohl vypadat následovně:

$$\text{Tepelný výkon (MW}_{\text{therm}}) = 5 \text{ kg/s (průtok)} \times 4.182 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times 60^\circ\text{C (dT)} = 1.254 \text{ KW(therm)}$$

$$4,182 \text{ J/kg}^\circ\text{C} = c_p = \text{měrná tepelná kapacita sladké vody}$$



**Obr. 41 – Výměník tepla ve vrtu – otevřený systém. (Feasibility Report of a Deep Geothermal Single Well, Aberdeen, Scottish Government, 2016).**

### **Scénář 2:UZAVŘENÝ SYSTÉM**

Vrt je plně uzavřen a těsný, nepočítá se se žádným přítokem z existujících formací. V tomto případě je výroba závislá na tepelné vodivosti okolních hornin. Jako příklad je zde uveden výpočet pro neporušenou, kompaktní horninu:

Průměrná tepelná vodivost:  $2,57 \text{ W/m} \cdot \text{K} \pm 0,38$

rozsah:  $1,81 \text{ až } 3,94 \text{ W / m} \cdot \text{K}$  (**všimněte si širokého rozsahu!**)

To odpovídá rychlosti tepelné extrakce v rozmezí  $55 \text{ až } 85 \text{ W/m}$  v závislosti na ročních provozních hodinách.

Pro tento případ předpokládáme, že vnitřní izolovaná trubka je usazena někde kolem hloubky 3 000 m (pata 9 5/8" pažnicové kolony). Odběr tepla začne v hloubce, kde teplota „in situ“ překročí  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Tuto teplotu můžeme očekávat v hloubce kolem 290 m za předpokladu mírně zvýšeného teplotního gradientu (gradient  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  u povrchu +  $3,5 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ ). K odběru tepla tedy dochází podél vrtu v intervalu 2 710 m. Teoretické teplo, které lze trvale odebírat bez chlazení vrtu, lze vypočítat takto:

$$55 \text{ W/m} \times 2.710 \text{ m} = 150 \text{ kW}_{\text{tis}}$$

$$85 \text{ W/m} \times 2.710 \text{ m} = 230 \text{ kW}_{\text{tis}}$$

Nicméně, fyzika systému je bohužel složitější. Nejen, že se rychlost odběru tepla mění s počtem hodin plného zatížení, kdy tepelná vodivost závisí na teplotě a tlaku, ale obecně výše uvedený přístup má tendenci poněkud podceňovat odběr tepla výměníku tepla vrtu, protože nebere v úvahu skutečnost, že objem horniny kolem vrtu se neustále ochlazuje. To má za následek rostoucí tepelnou difuzivitu a tím i zvyšující se tepelnou vodivost (Wagner & Clauser, 2001).

Kromě tepelné difuzivity je třeba vzít v úvahu podpovrchové hydrologické podmínky. Za předpokladu, že existují zlomy a trhliny naplněné formační kapalinou, lze očekávat, že cirkulace a ochlazování vrtu bude mít za následek lokální konvektivní pohyb kapalin, což pravděpodobnělepší odběr tepla.

#### **Techniky pro zlepšení tepelného výkonu a využití tepla systému:**

- a) Na základě asymptotické teplotní bilance, která se nakonec dosáhne při cirkulaci přes výměník tepla s jedním vrtem, bude muset provozovatel pravděpodobně zahrnout ně-  
která velkokapacitní tepelná čerpadla, aby zvýšila výrobní teplotu a tím i energetický výkon na své cílové hodnoty. Celková investice do tepelného čerpadla včetně infrastruktury, armatur, ovládacích prvků apod. se obvykle odhaduje na 1 000 €/kW instalovaného výkonu tepelného čerpadla. Takové tepelné čerpadlo by mohlo být dvoustupňové vysokoteplotní čerpadlo s nezávislými okruhy. Příklad je uveden níže. Hlavním bodem však je, že to vše lze vypočítat až poté, co byl vrt otestován a potrubí instalováno a cirkulováno. Všechny ostatní návrhy se nemusí shodovat a interagovat! V důsledku toho by kroky, které je třeba učinit, měly být provedeny otestováním formace před instalací potrubí a během prvních fází provozu koaxiálního systému:
  - \* Definice typu systému, se kterým se setkáváme (viz výše).
  - \* Definice hloubky cirkulace a průměru stupačkové kolony.
  - \* Logistika instalace stupačkové kolony.
  - \* Počáteční cirkulační test a vyhodnocení primárních dat.
  - \* Návrh a objednání systému tepelného čerpadla na základě výše uvedeného postupu.
- b) Tepelný výkon systému může být podporován řadou dalších mělkých vrtů (100 – 200 m) s výměníky tepla s uzavřenou smyčkou, které opět pracují v kombinaci s tepelnými čerpadly. Jedná se o zavedenou a osvědčenou technologii, která může být použita zejména k uspokojení špičkové poptávky nebo může být použita jako chladič pro skladování přebytečného tepla z hlavního vrtu.
- c) Ekonomika takového systému výroby tepla velmi závisí na počtu hodin plného zatížení za rok nebo na poptávce po teple.
- d) V neposlední řadě lze instalovat další obnovitelný zdroj tepla v kombinaci s výměníkem tepla pro jeden vrt. Takový systém by byl využíván jako záložní systém v případě oprav a údržby, vypadnutí geotermálního zdroje tepla z technických důvodů a jako dodatečný zdroj tepla pro pokrytí špiček. Mohlo by se jednat o bioplynový systém využívající místní zdroje ze zemědělství.



**Obr. 42 – Povrchová stanice hlubokého výměníku tepla v Prenzlau (Německo). (Bestec GmbH).**

#### 13.4 Ekonomické posouzení technických variant

Obsahový seznam této studie vyžaduje ekonomické hodnocení různých typů využití geotermální energie. V tomto bodě projektu, bez jakýchkoli potvrzených geologických nebo geotermálních dat z podzemí, je to téměř nemožný úkol.

Tuto kapitolu proto píšeme na základě našich více než 12letých zkušeností s hlubokým zapojením do provozu a řízení geotermálních elektráren v Německu a Francii, včetně všech obchodních aspektů takového provozu. Naše doporučení jsou založena na těchto zkušenostech. Opět se zaměříme na aspekt "hluboké geotermie" této studie.

Chápeme, že vzhledem k současnému dynamickému trhu s energiemi nemusí být některé z našich zkušeností již platné, protože úroveň cen a nákladů se v posledních několika týdnech výrazně zvýšila. Rádi bychom však vyjádřili varování, že tento trh se zdá být velmi volatilní, poháněný krátkodobými obavami a že se věci mohou za několik měsíců opět uklidnit. Mějte prosím na paměti, že rozhodnutí pro geotermální elektrárnu je vždy dlouhodobým rozhodnutím, protože tyto elektrárny existují desetiletí.

Nejprve bychom chtěli zdůraznit, že je důležité počkat s návrhem povrchového systému, dokud nebudou známy všechny parametry podzemního systému. To znamená, že bude existovat předběžný návrh povrchového systému, ale konečná rozhodnutí budou přijata až poté, co je vyvrtán druhý vrt (za předpokladu, že je jeden produkční a jeden vtačný vrt) a ložisko bylo testováno a cirkulováno po delší dobu. Příliš často investoři nečekají tak dlouho a objednají povrchovou elektrárnu dříve, než dokončí testování vrtu. Výsledkem je elektrárna, která neodpovídá podzemnímu systému a pracuje se sníženou účinností.

Jakmile je první vrt řádně otestován, může být učiněno první důležité rozhodnutí. Pokud budou zjištěny teploty nižší než 120 °C a objem těžené vody nebude nadprůměrné (< 100 l/s, takové průtoky jsou pozorovány například v krasovém prostředí), bude se projekt muset zaměřit pouze

na výrobu tepla. Důvodem je, že energetický výkon není dostatečný pro efektivní a hospodárnou výrobu elektřiny. Energetický výkon lze snadno odvodit z:

$$Q = (C_p \times \text{Průtok} \times (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}))/1000$$

Kde:

Q = tepelný výkon v MW poznámka: 1 MW = 1 000 000 J/s

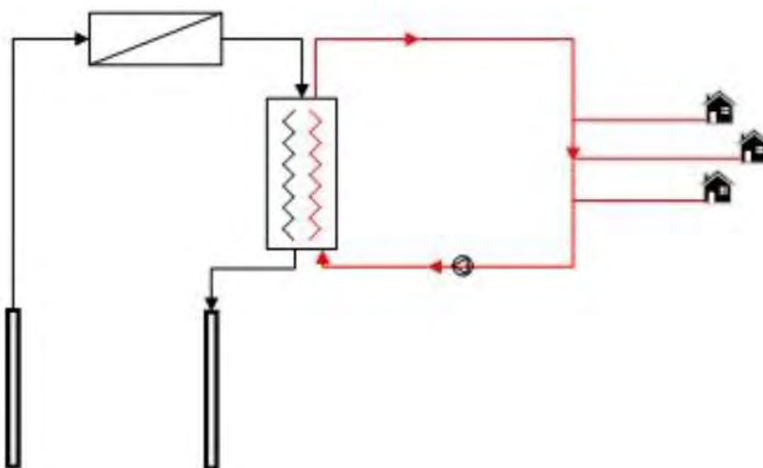
C<sub>p</sub> = měrná tepelná kapacita kapaliny v kJ/(kg K), c<sub>p</sub> sladká voda = 4. 184 kJ/(kg K)

Průtok = hmotnostní průtok v kg/s

T<sub>out</sub>, T<sub>in</sub> = teplota kapaliny při těžbě, teplota kapaliny při vtláčení

Preferovanou možností využití v tomto případě pak bude dálkové vytápění. Jiné, "exotičtější" koncepty využití, které jsou uvedeny v kapitole "Koncepty využití včetně variant", jsou samozřejmě také možné, ale závisí svou ekonomikou na velmi specifických místních podmínkách.

Obrázek 43 znázorňuje nastavení geotermální dublety s připojeným systémem dálkového vytápění. V tomto systému je umístěn výměník tepla, aby chránil skutečnou síť dálkového vytápění před (pravděpodobnou) mineralizovanou geotermální vodou, aby se zabránilo jakýmkoli minerálním usazeninám v tomto okruhu.



**Obr. 43 - Geotermální dubleta s připojeným systémem dálkového vytápění (zdroj: Raos et al., 2019).**

Pokud se teplota geotermální vody přiblíží nebo překročí 120 °C, výroba elektřiny se stane životaschopnou možností. V tomto případě je binární ORC systém, vhodnou, technicky správnou a osvědčenou možností. Tento systém by měl používat vzduchové chlazení, protože se jedná o jednoduchou, robustní a vyspělou technologii s velmi nízkými nároky na údržbu. Je však třeba mít na paměti, že účinnost výroby elektřiny při těchto teplotách je poměrně nízká. Teoretické maximum je dáno Carnotovou rovnicí:

$$\text{účinnost } h = 1 - T_{\text{za studena}}/T_{\text{za tepla}}, T \text{ v Kelvinech}$$

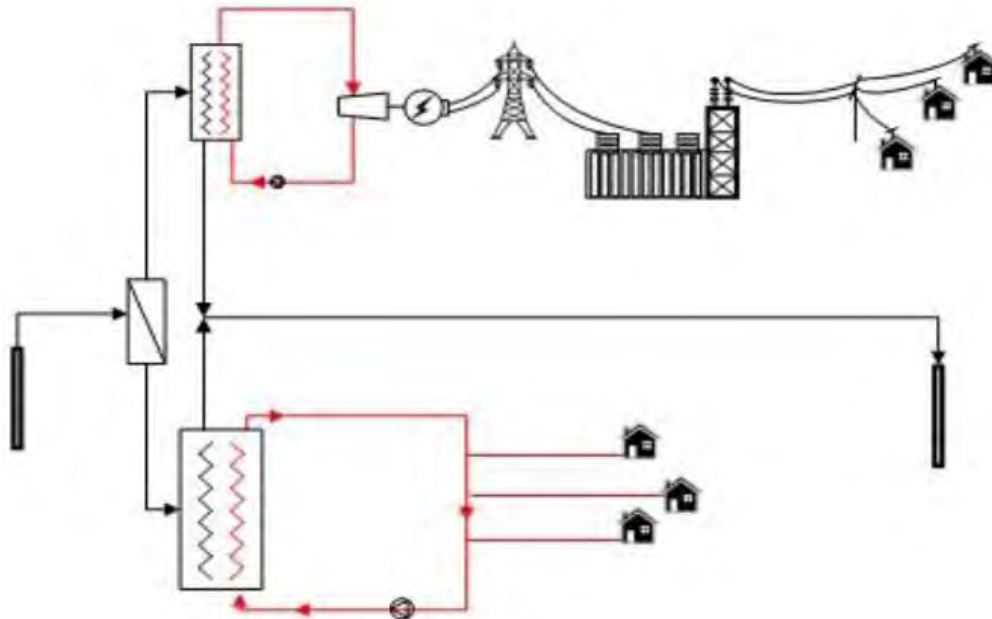
V praktických aplikacích však není nikdy dosaženo ideální Carnotovy účinnosti, protože dochází ke ztrátám při přenosu tepla a při mechanické přeměně. U jednotek ORC ve středoevropských



podmínkách se účinnost výroby elektřiny pohybuje - v závislosti na technologii elektrárny a teplotě vody - mezi 9 % až 15 %.

Vzmemme-li také v úvahu závislost účinnosti výroby elektrické energie na okolních teplotách (chladicí výkon) a sezónní proměnlivou poptávku po teple v systému dálkového vytápění, z našeho pohledu se zdá, že nejflexibilnějším a nejekonomičtějším proveditelným uspořádáním je kombinovaná výroba tepla a elektřiny (CHP) v paralelní konfiguraci (Obr. 44).

V této konfiguraci se operátor může kdykoli rozhodnout, jak chce rozdělit tepelnou energii z podzemí: pouze teplo, pouze elektřina nebo obojí paralelně, všechny kombinace jsou možné.



**Obr. 44 - Kombinovaná výroba tepla a elektřiny (CHP) v paralelní konfiguraci (zdroj: Raos et al., 2019).**



**Obr. 45 - Vrtná souprava MND Bentec 450 (MND Drilling & Services a.s.)**

### 13.5 Návrh konstrukce vrtu

Aktuální záměr v Karviné počítá se strategií průzkumu a využití geotermálního zdroje v hloubce 3 až 4 kilometry u města Karviná v Moravskoslezském kraji v České republice. Karviná je známá jako průmyslové město s tradicí těžby uhlí.

Proto je plánován první průzkumný vrt KG-1, který by měl být proveden do maximální hloubky přibližně 4000 metrů. Tento vrt může být později využit buď jako těžební, nebo injektážní vrt, v závislosti na výsledku hydraulických zkoušek.

Vzhledem k tomu, že se bude jednat o první hluboký vrt v této oblasti, která se vyznačuje složitou tektonikou, musí plánování tohoto vrtu od hloubky cca 1000 m spoléhat na zjištění a výsledky hlubokých vrtů, z nichž se většina nachází několik desítek kilometrů od Karviné. V okolí Karviné neexistují žádné informace o hlubinné stavbě této oblasti.

#### 13.5.1 Cíle

Cílem této fáze záměru je odvrtnat (případně usměrněný) vrt do maximální hloubky cca 4000 m TVD (True Vertical Depth), a přitom provrtat devonské a spodně karbonové karbonáty, které v některých stávajících vrtech prokázaly potenciál pro těžbu vody.

Je zřejmé, že při vrtání dalších vrtů v budoucnu může být využito vrtání usměrněných vrtů s cílem zasáhnout konkrétní tektonické struktury.

Hlavními cíli tohoto návrhu vrtu jsou:

- 1) Očekávaný průtok, který by se mohl pohybovat v rozmezí 50 až 70 l/s při teplotách do 120 °C až 130 °C.

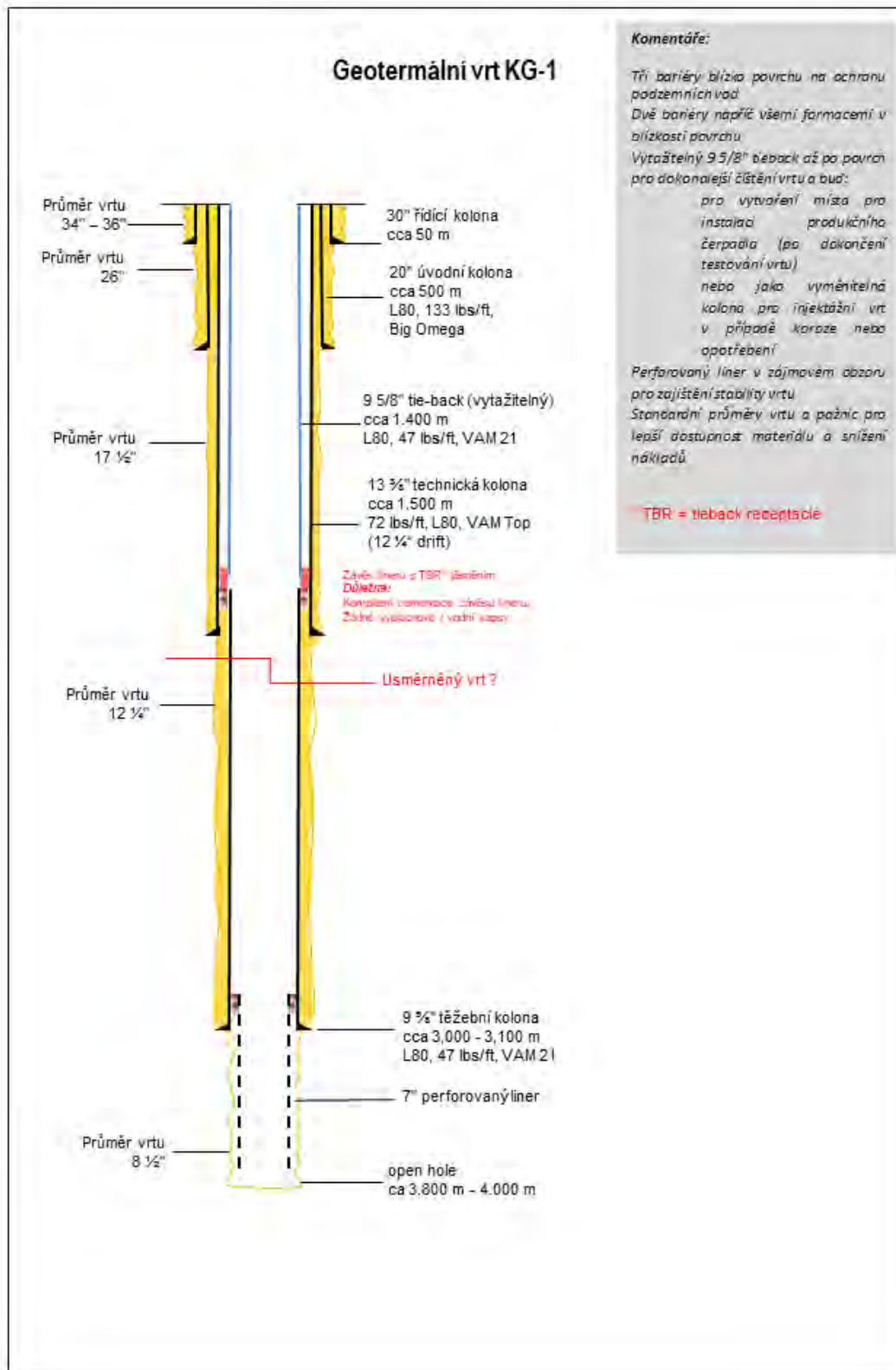
Upozornění: Těžba z geotermálního vrtu je popsána indexem produktivity PI. Jeho jednotkou je l/s/bar, a udává, kolik litrů za sekundu toku lze získat, pokud se deprese ve vrtu zvýší o jeden bar (snížení hladiny o asi 10 metrů). Zvýšení deprese lze dosáhnout buď zvedáním sloupce kapaliny pomocí vzduchu nebo dusíku, nebo pomocí ponorného čerpadla. V komerčních elektrárnách jsou deprese na úrovni několik set metrů běžné. Různé hodnoty těženého množství vody uváděné v literatuře (jako u některých českých vrtů) jsou pouze indikátorem existence vody v podzemí. Nelze je použít k odvození jakýchkoli informací o vydatnosti vrtu. To by vyžadovalo podrobnou analýzu přítoků při různých úrovních deprese.

- 2) Návrh pažnicových kolon bude muset počítat s tepelným namáháním (roztahností a smršťováním) v celém rozsahu teplot od teploty okolí na povrchu až po teplotu vrtu v konečné hloubce.
- 3) Návrh pažnicových kolon musí být proveden s ohledem na snadno dostupné a standardní materiály s cílem dodržení krátkého časového průběhu projektu.
- 4) Horní část těžební pažnicové kolony je navržena tak, aby bylo možné po čerpacích zkouškách vrtu vytáhnout část pažnic, a umožnit tak v případě potřeby instalaci těžebního čerpadla s větším průměrem.

Lokalita vrtu	Karviná v Moravskoslezském kraji v České republice
Konečná hloubka	Přibližně 4000 m (TVD)
Odhadovaná teplota ložiska	Cca. 120 – 130°C
Trajektorie vrtu	Vertikální, < 10° (případně úklon ≤ 30°)
Kapalina v horninové formaci	Mineralizovaná
Hydraulika	Podle výsledku hydraulického testování (těžební nebo vtlačný)
Těžené množství / Vtláčené množství	180 m <sup>3</sup> /h - 252 m <sup>3</sup> /h (cca 50 - 70 l/s)
Průměr vrtu v zájmovém obzoru	8,5" (pro minimalizaci tlakových ztrát kapaliny)
Ochrana proti tlaku plynu	34,4 MPa (5,000 psi)
Maximální tlak kapaliny při vtlačení	20,6 MPa (3,000 psi) na ústí vrtu
Protikoroziční ochrana	Je třeba zajistit (minimalizace odplynění z ložiskové kapaliny, zabránění přítomnosti kyslíku)
Rizika	Stabilizace vrtu v jílovitých a nezpevněných horninách

**Tabulka 19 - Základní informace o navrhovaném vrtu KG-1 (vlastní zpracování).**

13.5.2 Předběžné schéma vrtu



Obr. 46 - Schéma vrtu navržené pro průzkumný geotermální vrt v Karviné (vlastní zpracování).

Vystrojení tohoto vrtu je plánováno pomocí těžební pažnicové kolony o průměru 9 5/8", která by se skládala ze dvou pažnicových sekcí spojených v tiebacku, a jejíž pata by byla zapažena do očekávaného povrchu zájmového obzoru v hloubce 3000 – 3100 m.

Vystrojení navrhovaného vrtu nabízí:

- tři bariéry v blízkosti povrchu k ochraně podzemních vod
- dvě bariéry napříč všemi formacemi v blízkosti povrchu
- vytažitelný 9 5/8" tieback až po povrch pro dokonalejší čištění vrtu a buď:

pro vytvoření místa pro instalaci produkčního čerpadla (po dokončení testování vrtu) nebo jako vyměnitelná kolona pro injektážní vrt v případě koroze nebo opotřebení

- perforovaný liner v zájmovém obzoru pro zajištění stability vrtu
- standardní průměry vrtu a pažnic pro lepší dostupnost materiálu a snížení nákladů

Příslušné údaje o pažnicích jsou uvedeny níže:

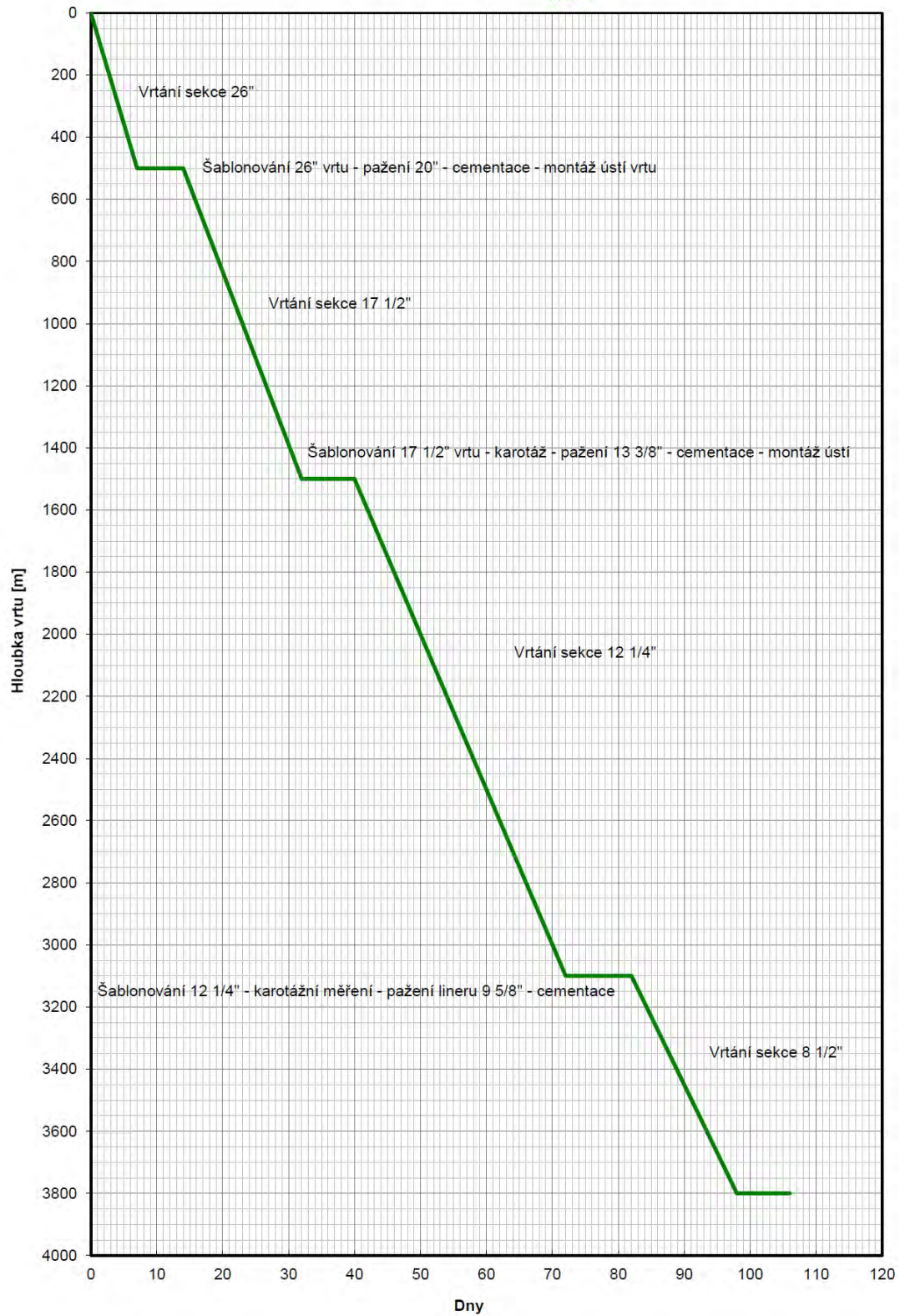
Sekce	Průměr vrtu	Průměr pažnic	Hloubka vrtu	Popis
1	34-36"	30"	cca 50 m	Řídící kolona
2	26"	20"	cca 500 m	Úvodní kolona
3	17 ½"	13 ⅜"	~1,500 m	Technická kolona
4	12 ¼"	9 ⅝"	3 000 – 3 100 m	Těžební kolona tieback v hl. 1 400 m
5	8 ½"	7"	max 4000 m	Open hole s necementovaným perforovaným linerem

**Tabulka 20 - Návrh pažnic průzkumného vrtu (vlastní zpracování).**

Průměr pažnice	Vnitřní průměr	Hmotnost	Délka	Obsah	Pevnost na kolaps	Pevnost na roztržení	Pevnost těla na mezi kluzu	Váha na vzduchu	Váha v kapalině
Materiál	(inch)	(lb./ft.)	(m)	(l/m) (m <sup>3</sup> )	(bar)	(bar)	(ton)	(ton)	(ton)
20" K-55	18,73	133	500	177,76 88,88	103,4	211	963	99,05	86,43
13 3/8" L-80	12,347	72	1500	77,2 115,80	184,1	370,9	753,4	160,87	140,37
9 5/8" L-80	8,681	47	1700	38,18 64,91	328	473,7	492,6	119,01	103,85
9 5/8" L-80 (tieback)	8,681	47	1400	38,18 53,45	328	473,7	492,6	98,01	85,52
7" L-80 (perf.)	6,276	26	1100	19,95 21,95	373	499,2	274	42,60	37,17

**Tabulka 21 - Parametry navrhovaných pažnic průzkumného vrtu (vlastní zpracování)..**

**PŘEDPOKLÁDANÝ ČASOVÝ PRŮBĚH VRTÁNÍ**  
**KG-1**



**Obr. 47 – Předpokládaný časový průběh vrtání (vlastní zpracování).**

### 13.5.3 Požadavky na vrtné pracoviště

Vrtné pracoviště je vybudované pro dočasné používání, kdy doba využívání obvykle nepřesahuje 4 až 10 měsíců. Při plánování tohoto místa je třeba zohlednit bezpečnostní, environmentální a technologické požadavky.

Je důležité poznamenat, že vstup na vrtné pracoviště musí být takový, aby byl v případě nebezpečí možný přístup do všech míst pracoviště. Únikové cesty musí být vyznačeny. Všechna vozidla musí být parkována tak, aby z parkoviště vyjížděla směrem dopředu.

Vrtné pracoviště je plocha s mírným sklonem pro odvodnění. Střední část plochy, na které bude umístěna vrtná souprava a související zařízení, musí být rovná. Pracovní plocha (s výjimkou těsnících povrchů) může být pokryta ztuhnutým štěrkem. Podloží včetně všech přístupových cest musí být připraveno tak, aby uneslo těžké náklady o hmotnosti až 80 tun, a to i za vlhkého počasí.

Střed pracovní plochy musí být zpevněn betonem a přizpůsoben konstrukčním požadavkům vrtné soupravy vybrané na základě výběrového řízení.

Při vrtných pracích se používají nebo uskladňují různé druhy kapalin, které jsou nebezpečné pro podzemní vody. Aby nedošlo ke kontaminaci podzemí a horizontů podzemních vod, musí být všechny plochy, na nichž jsou uloženy nádrže, průtočná potrubí nebo nádoby s těmito kapalinami, řádně izolovány. Pokud se k odizolování použije beton, musí se jednat o speciální vodotěsný beton.

Střední část vrtného pracoviště je ohrazena obrubníkem k prevenci nekontrolovaného úniku kontaminované vody. Povrchová voda z této střední části pracovní plochy (utěsněný povrch) se shromažďuje ve vrtném sklepe, a poté se přečerpává do retenční nádrže se separátorem výplachu a olejových látek, a obvykle se odváží do čistírny odpadních vod.

Z preventivních důvodů se kolem celého pracoviště buduje odvodňovací kanál, který by měl zadržet případné úniky kontaminované povrchové vody. Také tato voda se shromažďuje v retenční nádrži.

Podzemní průtočná potrubí slouží jako drenážní potrubí, popř. jako přepravní potrubí mezi jednotlivými nádržemi. Tato průtočná potrubí musí být provedena z trubek vhodných pro těžkou dopravu.

V případě, že se plánuje vypouštění povrchové vody z vrtného pracoviště do místních zavlažovacích příkopů, musí být retenční nádrž vybavena:

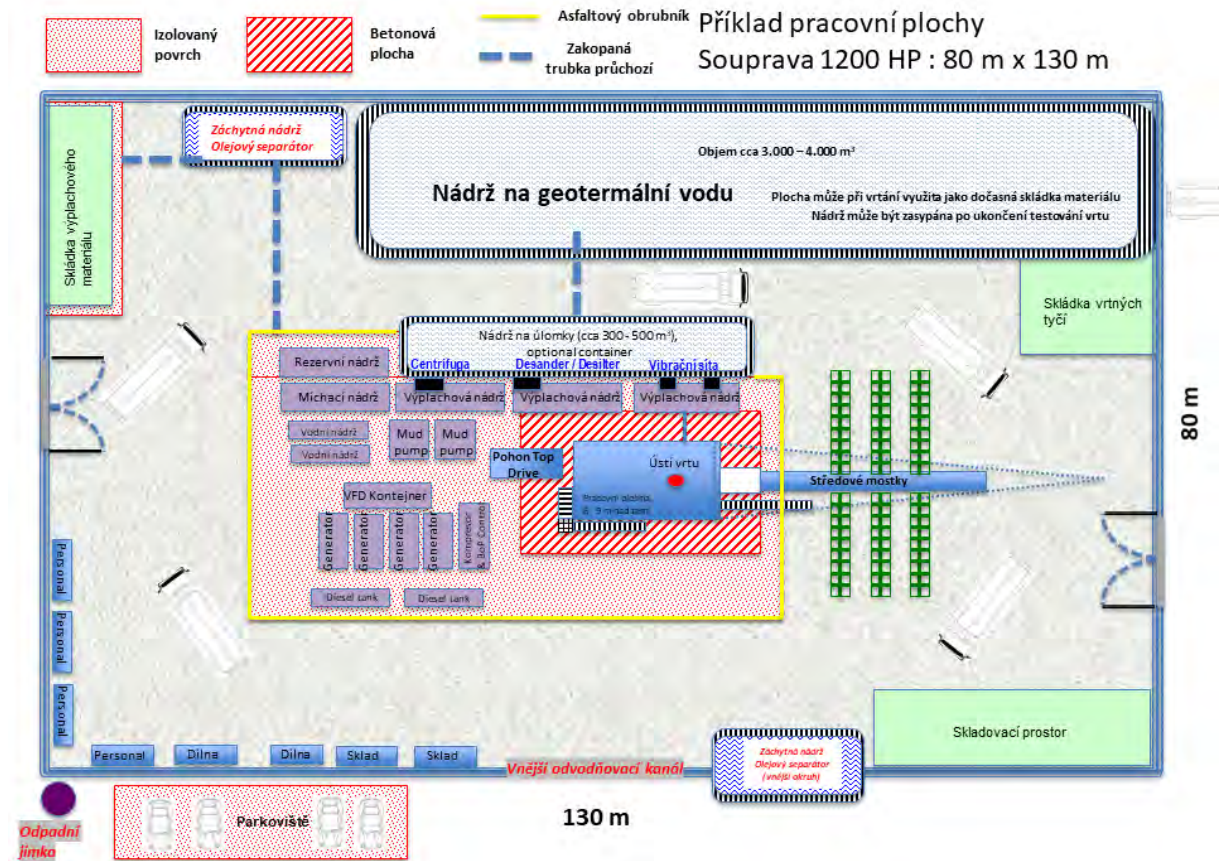
- separátorem ropných látek a výplachu
- jednotkou s automatickým měřením pH
- ventilovým systémem pro regulaci objemu odtoku

Dále je třeba provádět pravidelné vizuální kontroly odtékající vody, aby nedošlo k úniku kontaminované vody do těchto příkopů.

Veškerá odpadní voda a voda ze sprch se shromažďuje v samostatném uzavřeném systému nádrží, které pravidelně vyváží specializovaná společnost do čistírny odpadních vod.

Nádrže vybudované na pracovní ploše – úlomková nádrž a nádrž na vodu vytěženou při čerpací zkoušce - budou opatřeny dvojitou vrstvou (přednostně) PP-H k prevenci jakéhokoli úniku do země. Tento materiál se ukázal jako poměrně odolný vůči UV záření.

Vzhledem k tomu, že výplachová/úlomková nádrž bude muset být pravidelně vyprazdňována pomocí těžké techniky (obvykle bagru), je třeba dno a alespoň boční stěnu směrem k vrtné soupravě ochránit betonem. Alternativou je samozřejmě postavit výplachovou/úlomkovou nádrž celou z betonu. Tato výplachová/úlomková nádrž by měla mít objem přibližně 500 m<sup>3</sup>.



**Obr. 48 - Příklad uspořádání pracovní plochy s vrtnou soupravou o výkonu 1200 HP (vlastní zpracování).**

Po ukončení vrtných prací je třeba výplachovou jímku kompletně vyčistit a zkontrolovat, zda nedošlo k poškození nebo netěsnosti těsnící vrstvy. Vytěžené termální vody (nebo stimulační kapaliny) lze skladovat také ve vyčištěné výplachové/úlomkové jímce, nebo v testovací nádrži. Úložný objem testovací nádrže by se měl pohybovat v řádu 3000 - 4000 m<sup>3</sup>. Vybudování testovací nádrže je možné odložit až do doby, kdy bude započata těžební pažnicová kolona, a tuto plochu do té doby využít na skladování pažnic.

Obrázek 48 ukazuje příklad uspořádání pracovní plochy pro vrtnou soupravu o výkonu 1200 HP. Je třeba si uvědomit, že různé vrtné soupravy mají zcela odlišné rozmístění na pracovní ploše. Z těchto důvodů toto schéma znázorňuje pouze příklad rozmístění vrtné soupravy na pracovní ploše. Finální návrh uspořádání pracovní plochy a rozmístění vrtné technologie bude možný až po výběru vrtné soupravy na základě výběrového řízení.



Uvažujeme-li vrtné pracoviště s testovací nádrží o objemu 4000 m<sup>3</sup>, předpokládáme, že pracovní plocha bude mít plochu přibližně 9000 m<sup>2</sup>.

#### 13.5.4 Požadavky na vrtnou soupravu

Tato kapitola odkazuje na výše uvedenou předběžnou konstrukci vrtu.

Vrtná souprava bude muset splňovat následující základní požadavky:

- » Musí splňovat požadavky současných technologií vrtání
- » Musí být vhodná pro tento projekt a musí být řádně udržovaná
- » Musí splňovat všechny příslušné předpisy, certifikace a standardy
- » Musí mít označení CE a musí splňovat požadavky na vrtání v ČR

#### **Maximální zatížení při pažení** (při dopažování pažnic 13 3/8" do hloubky 1500 m)

Celková hmotnost 13 3/8" pažnicové kolony (72 lbs/ft) na vzduchu = 161 tun  
161 tun mínus faktor nadlehčení ve vodě = 141 tun hmotnosti s nadlehčením  
141 tun x bezpečnostní faktor 1,5 = 211 tun požadované nosnosti vrtné soupravy

#### **Maximální zatížení při vrtání**

Při použití vrtných tyčí 5", 19,50 lb/ft a se zátěžkami o délce 100 m a hmotností 25 tun by v hloubce 3100 m byla celková hmotnost vrtné kolony s 50 tunovou tahovou rezervou a s nadlehčením ve výplachu na úrovni 142 tun. Toto je hmotnost, se kterou se bude běžně manipulovat při vrtání spodní části vrtu. Pokud se při vrtání v ukloněné části vrtu vyskytnou problémy, může být zapotřebí i vyšší tahová rezerva, než uvažovaných 50 tun.

Doporučujeme povýšit maximální zatížení na háku, a tedy i nosnost vrtné soupravy na 250 tun pro první vrt, dokud nebudou známy podmínky ve vrtu.

#### **Požadavky na výplachová čerpadla**

K dosažení dostatečné vzestupné rychlosti v mezikruží pro dobré čištění vrtu při vrtání sekce 17 1/2" bude kromě viskózního výplachu zapotřebí litráž minimálně 3400 litrů za minutu.

V každém případě bude vrtání sekcí 26" a 17 1/2" vyžadovat maximální výkon obou výplachových čerpadel a výplach bude muset být upraven pro dokonalé čištění vrtu.

Pokud předpokládáme, že pro optimální čištění počvy vrtu při vrtání potřebujeme minimálně 3,5 hhp (hydraulic horse power) na čtvereční palec průměru vrtu, odpovídá to hodnotám 842 hhp pro 17 1/2" sekci, 412 hhp pro sekci 12 1/4" sekci a 199 hhp v profilu 8 1/2".

#### 13.5.5 Výplachový systém

Hlavní cíle výplachového systému, který bude uplatněn ve vrtu KG-1, jsou následující:

- 1) Ochrana životního prostředí
- 2) Výnos vrtných úlomků z vrtu
- 3) Dokonalé očišťování počvy vrtu k dosažení efektivního vrtání
- 4) Minimalizace nákladů na úpravu, očišťování a likvidaci výplachu
- 5) Minimalizace kolmatace zájmového obzoru

Předběžný program vrtných kapalin pro jednotlivé sekce vrtu lze nastínit takto:

**Vrtný průměr 34” – 36” (interval 0 – 50 m)**

Tento úsek vrtu bude odvrtný jinou soupravou před nastěhováním těžké vrtné soupravy. Ochrana podzemních vod v této oblasti bude pravděpodobně vyžadovat nutnost použití vysoce viskózní bentonitové suspenze, a zapažení a zacementování 20“ řídicí kolony.

V tomto intervalu bude potřeba věnovat mimořádnou pozornost tomu, aby nebyly používány toxické materiály, které by mohly potenciálně kontaminovat podzemní vodu.

**Vrtný průměr 26” (interval 50 – 500 m)**

V tomto úseku vrtu bude zapotřebí viskózní vrtné kapaliny, aby byl zabezpečen výnos vrtných úlomků na povrch. Flokovaná bentonitová vrtná kapalina by neměla být finančně náročná, je ekologicky bezpečná a dostatečná pro tuto sekci.

„Spud mud“ je název pro vrtnou kapalinu používanou v horních úsecích vrtu. Při vrtání těchto úseků vrtu vzniká obrovské množství vrtného materiálu v důsledku vysokých rychlostí vrtání a velkého průměru vrtu. V případě nižšího hydraulického výkonu čerpadel jsou výnosové schopnosti výplachu prioritou, a je nutný vysoký poměr YP/PV. Spud mud obvykle obsahuje 40-60 kg/m<sup>3</sup> bentonitu rozpuštěného ve vodě. Hodnota pH se udržuje na úrovni 9-10 přidáním kaustické sody. Někdy je třeba přidávat ještě polymery pro zvýšení viskozity.

Při vrtání úvodních sekcí vrtu se někdy stává, že nastanou totální ztráty výplachu. V takových případech se jako vrtná kapalina používá voda a k občasnému vyčištění vrtu se cirkulují zátky namíchané z hydratovaného bentonitu s Marsch viskozitou 100 – 120 sec/qt.

**Vrtný průměr 17 ½” (interval 500 – 1500 m)**

Jako vrtná kapalina pro tento úsek je navrhován polymerový výplach na bázi KCl. Do výplachu budou přidávány aditiva, která fungují jako ochranné koloidy. Bez těchto aditiv ve výplachovém systému by vodní složka začala reagovat s jílovitými horninami, což by způsobilo problémy s vrtem, jako např. závaly vrtu, bobtnání jílu, přicpávání vrtu vrtnými úlomky atd. S těmito aditivy ve výplachovém systému se však těmto závažným problémům ve vrtu předejde, neboť tato aditiva vytvoří pružnou nepropustnou slupku kolem reaktivních břidelic. Díky tomuto chemickému mechanismu nedochází k rozpouštění vrtných úlomků do výplachu na vodní bázi. Hodnoty pH by měly být udržovány v rozmezí 9,0 – 10,0, aby byla zajištěna ochrana pažnic a vrtné kolony proti korozi.

**Vrtný průměr 12 ¼” (interval 1500 – 3100 m)**

Tento úsek vrtu bude pokračovat s polymerovým vrtným výplachem na bázi KCl. Hodnota pH bude udržována v rozmezí 9,0 až 10,0.

**Vrtný průměr 8 ½” (interval 3100 – 4000 m)**

Tento úsek vrtu bude pokračovat s polymerovým vrtným výplachem na bázi KCl. Hodnota pH bude udržována v rozmezí 9,0 až 10,0. K zabránění negativních účinků na zájmové horniny bude muset být vrtný výplach dokonale přečištěn, případně i naředěn, a hustota výplachu musí být co nejnižší.

Po ukončení vrtných prací musí být výplachová kůrka v zájmovém obzoru odstraněna ze stěny vrtu, aby byly zpřístupněny horninové póry a pukliny. K tomuto účelu lze použít například abrazivní předlázeň, která se používá při cementacích. Dalším způsobem odstranění polymerů ze stěny vrtu jsou organické kyseliny, které z polymerů extrahují vodu. Dále lze použít i enzymy, které ničí polymerní řetězce (tzv. „rozbíječe“). Teplotní odolnost těchto enzymů je však velmi omezená a před použitím se musí pečlivě otestovat. Vybraná výplachová servisní společnost bude muset tento proces před zahájením vrtání pečlivě naplánovat.

### **Ztráty cirkulace**

Ztráty cirkulace jsou jedním z nejdražších problémů při vrtání s možností ztráty velkého množství vrtné kapaliny, než se podaří ztráty odstranit, nebo snížit na rozumnou úroveň.

Ztráta cirkulace nemusí nutně znamenat, že dochází k totálním ztrátám do horninové formace, ale může zahrnovat i částečné nebo průsakové ztráty. Obecně ke ztrátě cirkulace dochází proto, že pukliny v hornině jsou větší, než je velikost aditiv ve vrtné kapalině. K odstranění těchto problémů lze do vrtné kapaliny přidat těsnicí protiztrátové materiály. V závislosti na dostupnosti a ceně lze použít širokou škálu protiztrátových materiálů. Lze je klasifikovat jako vločky, granule, vlákna a směsi. Jako protiztrátové materiály se používají různé slídy, celofán, skořápky ořechů, dřevěné hobliny, peří, textilní vlákna atd. a jejich účinnost bude záviset na velikosti otvorů v hornině. Často se používají směsi těchto materiálů, aby byla pokryta široká škála velikostí protiztrátových částic. Poté, co protiztrátový materiál puklinu utěsňuje (často i hluboko v hornině), může se na stěně vrtu vytvořit výplachová kůrka.

### **Diferenciální příchvaty**

Tenká a nepropustná výplachová kůrka na stěně vrtu je nezbytná pro prevenci diferenciálních příchvatů. Diferenciální příchvat je způsoben rozdílem mezi hydrostatickým tlakem vrtné kapaliny a pórovým tlakem v propustné hornině. Když se vrtná kolona nepohybuje, může být tímto tlakovým rozdílem přisáta ke stěně vrtu a zatlačena do filtrační výplachové kůry.

K překonání těchto sil je pak zapotřebí velmi vysokých tahových sil, než se nářadí uvolní, často jsou však tyto síly tak velké, že se nářadí uvolnit nepodaří. Jakmile dojde k diferenciálnímu příchvatu, je třeba rychle jednat, protože filtrační kůrka v místě příchvatu dehydratuje, a situace se s ubíhajícím časem zhoršuje. Prvním krokem by mělo být snížit tlakový rozdíl co nejvíc je to bezpečně možné. Často se do vrtu zatlačí olejové zátky s cílem snížit třecí síly. Dále se používají směsi mazacího oleje a povrchově aktivních látek (aditivum Pipe Lax atd.), které navíc rozpouštějí filtrační kůrku.

## **13.6 Odhad nákladů na odvrtání vrtu**

Následující kapitola shrnuje všechny informace o nákladech, které jsme mohli odvodit buď z naší interní databáze, nebo které jsme získali shromažďováním informací o cenách od různých možných dodavatelů a servisních společností.

Abychom porozuměli a vyhodnotili následující tabulky, je třeba poznamenat několik bodů:

- Tyto náklady odkazují na rok 2021 jako na nákladovou základnu. Nedávné nákladové turbulence způsobené válkou na Ukrajině jsou zvažovány.
- V těchto údajích o nákladech je samozřejmě poměrně velká míra nejistoty, která odráží nejistotu v geologické předpovědi pro lokalitu Karviná.
- Úrovně nákladů se vychází z nedávných projektů ve Francii, Německu a Spojeném království.

Položka	Popis	Přípravný rozpočet v €	Poznámky
<b>Celkem</b>	<b>Projektová příprava a průzkum</b>	<b>2.250.000</b>	
1.1	Projektový management	50.000	osobní náklady, 12 měsíců
1.2	Poradenství	400.000	
1.3	Průzkum (2D seismické, tepelné proudění, MT, Rezistivita)	550.000	
1.4	Získání pozemků pro vrtné místo (8.000 – 10.000 m <sup>2</sup> )	350.000	
1.5	Příprava vrtného pracoviště	900.000	

**Tabulka 22 – Odhady nákladů – příprava a průzkum (vlastní zpracování).**

Položka	Popis	Vrtání Rozpočet v €	Poznámky
<b>Celkem</b>	<b>Dokončení</b>	<b>811.750</b>	
2.1	Pažnice 30" včetně instalace	30.000	
2.2	Pažnice 20" – 525 m	125.000	250 €/m v průměru
2.3	Pažnice 13 3/8" – 1550 m	217.500	145 €/m v průměru
2.4	Pažnice 9 5/8" – 3150 m	299.250	95 €/m v průměru
2.5	Závěs lineru 9 5/8" a TBR včetně servisu	65.000	
2.6	Pažnice 7" – 1000 m	75.000	75 €/m v průměru
<b>Celkem</b>	<b>Vrtání</b>	<b>4.424.490</b>	
3.1	Denní sazba (celkem dnů x 17.000 €) (250 tunová vrtná souprava)	1.802.000	Denní sazba soupravy
3.2	Nafta (celkem dnů x 1,90 € x 4100 l)	825.740	Průměr v celkovém počtu dnů
3.3	Vrtná dláta	630.000	
3.4	Řízení vrtání a supervize (celkem dnů x 2000 €)	212.000	Celkový počet dnů
3.5	Geologická supervize (celkem dnů x 750 €)	54.750	Pouze provozní dny
3.6	Servis usměrněného vrtání	900.000	provozní dny
<b>Celkem</b>	<b>Karotážní měření a servisy</b>	<b>1.356.500</b>	
4.1	Inspekce	35.000	
4.2	Chemikálie a materiál na výrobu výplachu, centrifugy, flokovací jednotka (100.000 € + 5.000 € x provozní dny)	630.000	
4.3	Výplachový servis (celkem dní x 750 €)	79.500	
4.4	Geologický servis vrtání (celkem dní x 2000 €)	212.000	senzory a personál
4.5	Karotážní měření vrtu (na kabelu)	400.000	
<b>Celkem</b>	<b>Cementační práce</b>	<b>340.000</b>	
5.1	Úvodní kolona	90.000	
5.2	Technická kolona	120.000	
5.3	Těžební kolona	110.000	
5.4	Paty, vsuvky	20.000	
<b>Celkem</b>	<b>Likvidace odpadů</b>	<b>400.000</b>	Závisí na lokalitě
6.1	Likvidace odpadů	400.000	

Položka	Popis	Vrtání Rozpočet v €	Poznámky
<b>Celkem</b>	<b>Služby – obecné</b>	799.900	
7.1	Přeprava	70.000	závisí na lokalitě
7.2	Pronájem nářadí, stabilizátorů, servis šroubování pažnic, různé (100.000 € + 3.333 € x provozní dny)	453.000	
7.3	Poškození vrtného nářadí	100.000	
7.4	Zjištění HSE pracovníka (celkem dnů x 500 €)	53.000	
7.5	Provozní náklady na vrtné pracoviště (650 € x celkem. Dny)	68.900	
7.6	Jeřáby	55.000	
<b>Celkem</b>	<b>Ústí vrtu</b>	<b>180.000</b>	
8.1	Ústí vrtu 20“	<b>180.000</b>	
<b>Celkem</b>	<b>Mobilizace/demobilizace vrtné soupravy</b>	<b>1.000.000</b>	závisí na vzdálenosti od místa
9.1	Mobilizace	500.000	závisí na vzdálenosti od místa
9.2	Demobilizace	500.000	
<b>Součet KG-1</b>		<b>9.312.640</b>	
<b>nepředpokládaných 15%</b>		<b>1.396.896</b>	
<b>Vrtné operace včetně nepředvídaných nákladů</b>		<b>10.709.536</b>	
volitelné	Pojištění technických rizik	<b>600.000</b>	volatilní trh, silně se mění

Tabulka 23 – Odhady nákladů – vrtné operace (1. vrt). Celkem 106 dnů (vlastní zpracování).

Položka	Popis	Testovací rozpočet v €	Poznámky
<b>Celkem</b>		<b>575.000</b>	
10.1	Hydraulický test a sběr dat	<b>400.000</b>	
10.2	Produkční karotážní měření	<b>100.000</b>	
10.3	Vyhodnocení dat a závěrečná zpráva	<b>75.000</b>	

Tabulka 24 – Odhady nákladů – testování vrtu (vlastní zpracování).

### 13.7 Časový harmonogram

Úkol	Odhadovaná doba trvání
Plánování průzkumu (2D seismická kampaň atd.)	2 měsíce
Schválení/povolení	2 měsíce
Geofyzikální průzkum, 2D seismická měření (terénní práce)	2 – 3 měsíce
Interpretace dat / tvorba 3D geologického modelu	2 – 3 měsíce
<b>Milník</b>	
<i>Potvrzuje vodonosné vrstvy v přiměřené hloubce a dostatečné tloušťce: Rozhodnutí o vrtání průzkumného vrtu / o dalších průzkumných pracích / o zastavení projektu</i>	
Plánování průzkumného vrtu / detailní návrh průzkumného vrtu	1 – 2 měsíce
Schválení/povolení	3 měsíce ??
Výběrové řízení na vrtnou soupravu / servisní společnosti	3 měsíce
Plánování vrtného pracoviště	2 měsíce
Výstavba vrtného pracoviště	3 měsíce
Vrtání průzkumného vrtu	4 měsíce
Hydraulické zkoušky, karotážní měření vrtu	1 měsíc
Analýza / vyhodnocení	1 měsíc
<b>Milník</b>	
<i>Splňuje vrt kritéria stanovená pro úspěšný průzkum (zejm. výnos, teplota): Rozhodnutí o vrtání druhého vrtu / pro stimulaci rezervoáru / zastavení projektu</i>	

**Tabulka 25 – Časový harmonogram (vlastní zpracování).**

## 13.8 Analýza rizik

Zaměříme-li se na realizaci geotermálního projektu a prozkoumáme související rizika, musíme oddělit „obecná“ rizika související s geotermální technologií a „specifická“ rizika související s vrty.

### 13.8.1 Obecná rizika spojená s geotermální technologií

#### 1) Rizika související s umístěním

Jednou z nevýhod geotermální energie je, že je spíše místně specifická. Ve většině případů je rezervoár spojen se specifickou formací nebo geologickou strukturou. Geotermální elektrárny proto musí být budovány na místech, kde jsou tyto geologické struktury přístupné.

- V konkrétním případě Karviné, která se nachází v srdci tradičního uhelného revíru, to znamená, že výběr poloh ústí vrtů bude třeba věnovat zvláštní pozornost. Konvenční vrtné operace se nemohou (nebo pouze s obrovským finančním dopadem) vypořádat s **opuštěnými otevřenými důlními šachtami nebo kavernami** podél trajektorie vrtu. Zejména tradiční těžební oblasti se v minulosti ukázaly jako „problémové zóny“, protože historické záznamy nemusí být úplné a v mělké hloubce existují neznámé a neregistrované pozůstatky hornické činnosti.
- Na povrchu musí být ústí vrtu v takové poloze, aby bylo možné dosáhnout geologických cílů s přijatelným úsilím. Vrtání usměrněných vrtů je zavedená technologie, ale zvyšuje náklady na vrtání a přináší další rizikový prvek do vrtných operací.
- Jasný geologický cíl musí být identifikován na základě pečlivého vyhodnocení místní geologie.

#### Zmírnění:

Důkladným průzkumem a vyhodnocením by se měly řešit dva hlavní cíle:

- Předem snížit riziko opuštěných šachet a chodeb pro těžbu uhlí pomocí moderních geofyzikálních technologií, jako je Radar pronikající do země (GPR), samo-potenciálový tomografický průzkum (šachta / chodba, ať už otevřená nebo vyplněná, vytvoří anomálie v elektrické vodivosti), měření elektrického odporu nebo seismické techniky pro hlouběji ležící strukturu.
- Zvýšit pravděpodobnost úspěchu při identifikaci a označení cílového rezervoáru prostřednictvím pečlivého geofyzikálního průzkumu pomocí geofyzikálních metod, jako jsou 2D / 3D seismické, magnetotelurické pozorování (MT) a gravimetrické a odporové průzkumy.

Dalším rizikem souvisejícím s lokalitou je **mělký plyn**. Z těžby uhlí je dobře známo, že metan se vyskytuje v uhelných ložiskových formacích v nezanedbatelném množství.

#### Zmírnění:

Pokud jde o projevy „mělkých plynů“, nejčastější příčinou je ztráta hydrostatického tlaku kapaliny ve vrtu, a to může být důsledkem několika problémů: expanze navrtného plynu přetíží mezikruží, špatné doplňování vrtu při tažení nářadí, ztráty výplachu přetížením mezikruží vrtnými úlomky.

Riziko lze minimalizovat tím, že předem připravíte soupravu a osádku na riziko, snížíte rychlost vrtání a vždy pečlivě sledujete vrt a vrtné operace.

## 2) Riziko „Suchého vrtu“

Geotermální průzkum má mnoho podobností s průzkumem ropy a zemního plynu. Geofyzikální průzkumné techniky mohou vymezit podzemí, lokalizovat struktury a hranice vrstev. Geofyzika však stále nemůže prokázat přítomnost vody nebo ji dokonce kvantifikovat. Existuje riziko, že vrt, i když je zastihne předem vybranou část rezervoáru, může produkovat méně, jak se očekávalo, nebo dokonce žádnou horkou vodu.

### Zmírnění:

Existují tři způsoby, jak tento problém vyřešit:

- Kombinujte různé geofyzikální metody. Techniky, které jsou nejcitlivější na tekutiny v podzemí, jsou metody MT a rezistivita. Obě metody však poskytnou pouze „rozmazaný“ obraz pod povrchem. Kombinace jejich snímků s výsledkem 2D/3D seismických profilů s vysokým rozlišením může pomoci identifikovat struktury naplněné tekutinou.
- Vyhledejte data ze vzdálených vrtů nebo výchozů, která mohou poskytnout další informace o potenciálních hydraulických schopnostech vybraného rezervoáru.
- Pokuste se navrhnout trajektorii vrtu tak, aby zahrnovala minimálně dva nezávislé geotermální cíle, resp. cílové zóny (Multi-Horizon Concept). Kromě pouhého zdvojnásobení pravděpodobnosti úspěchu nabízí tento přístup také další možnost těžit z obou cílových zón v případě, že průtoky jsou omezené (za předpokladu, že neexistují žádné geochemické důvody, proč nemíchat kapaliny z obou zón).

## 3) Environmentální rizika

**Skleníkové plyny:** Ačkoli geotermální energie obvykle neuvolňuje skleníkové plyny, existuje mnoho z těchto plynů uložených pod povrchem země, které mohou být uvolněny do atmosféry během provozu. Je třeba dbát na to, aby se takové uvolňování plynu minimalizovalo, nebo se mu zabránilo.

### Zmírnění:

Pracujte co nejvíce v režimu uzavřené smyčky na povrchu.

**Mineralizované vody:** Mnoho geotermálních rezervoárů obsahuje vysoce mineralizované vody. Nejběžnějším minerálem je sůl (chlorid sodný) ve vysoké koncentraci. Tyto mineralizované vody samy o sobě mohou být nebezpečné pro podzemní vody, jsou korozivní a také mají tendenci se při odpařování měnit (hlavně kalcit, někdy oxid křemičitý). Některé šupiny nalezené v geotermálních elektrárnách, kde cirkulují vysoce mineralizované vody z hlubšího podzemí (solanka), jsou někdy i toxické (těžké kovy, metaloidy atd. ) a můžou být přirozeně radioaktivní (NORM).

### Zmírnění:

Pracujte co nejvíce v režimu uzavřené smyčky na povrchu, vyhněte se únikům, udržujte horkou geotermální vodu pod tlakem, abyste zabránili odplynění. To nemusí být možné během krátké fáze testování vrtu. Významné inkrustace budou omezovat průtok větších objemů tekutin. Použití vhodně navržených chemických inhibitorů, které se přidávají do geotermální vody z vrtu, se ukázalo jako velmi účinné při minimalizaci takových problémů s tvorbou inkrustací (vodního kamene) a koroze během provozu komerční elektrárny.



#### 4) (Mikro) – Zemětřesení

Při využívání geotermální energie, stejně jako při těžbě ropy a zemního plynu, existuje riziko vyvolání malých zemětřesení. To je způsobeno změnami napětí zemského masívu, protože voda bude těžena nebo bude cirkulovat v zemském masívu, čímž se otevírají trhliny pro větší využití zdroje.

##### Zmírnění:

Společnosti vyvinuly různé postupy, které minimalizují mikro-seismické riziko a udržují ho pod prahovou hodnotou, při které je cítit na povrchu. Všechny tyto metody závisí na instalaci a provozu citlivé seismické pozorovací sítě kolem lokality geotermálního vrtu. Tyto metody pomocí systému semaforů doporučují obsluze pomalé náběhy těžby a vypnutí, které zabraňují tlakovým rázům pod povrchem. Další podrobnosti naleznete ve zvláštní kapitole „Seismické riziko“.

#### 5) Nákladové riziko

Geotermální energie závisí na vysoce kvalitním průzkumu a hlubokém vrtání. Obě technologie jsou drahé a vrtání samo o sobě zahrnuje řadu technických rizik.

##### Zmírnění:

Geotermální projekty mají životnost několik desetiletí. Pokud jsou počáteční náklady vysoké, mohou být výdaje vráceny jako součást dlouhodobé investice.

#### 6) Udržitelnost

Zde je zmírnění okamžitou reakcí:

Geotermální energie musí být řádně řízena, aby byla zachována její udržitelnost. Aby byla zachována udržitelnost geotermálního rezervoáru, musí být tekutina zatlačena zpět do podzemí stejným tempem, jakým je vyčerpána. To se provádí za účelem udržení hydraulické rovnováhy v rezervoáru.

Pokud vrtky komunikují (což by měly), musí být vzdálenost mezi těžebním a vtláčným vrtem taková, aby případná chladicí fronta nedorazila do těžebního vrtu během několika desetiletí. To lze v předstihu zajistit vhodným termo-hydraulickým modelováním.

##### 13.8.2 Specifická rizika související s vrtáním

Odhaduje se, že náklady na vrtání představují 35 % až 45 % z celkových kapitálových nákladů průměrného projektu geotermální energie.

Je zde několik způsobů, jak obecně zmírnit riziko vrtání. Historicky populární metodou je vrtání se sdílenými náklady, přičemž vládní agentura a jeden nebo dva developeři sdílejí náklady a rizika. To je zvláště rozumné s ohledem na potřebný kapitál v raných fázích vývoje geotermálního projektu.

Seznam nejčastějších problémů souvisejících s vrtáním a jejich zmírnění je uveden v Tabulce 26 níže.

Problém	Zmírnění
Mělké plyny z uhelných slojí (viz výše)	Snižte rychlost vrtání, přesně monitorujte vrt
Lepení nářadí v důsledku reaktivních břidlic a jílu	Upravte vlastnosti výplachu, inhibice výplachu
Neznámé opuštěné důlní šachty nebo kaverny z historické těžby podél trajektorie vrtu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provádět geofyzikální průzkumy v blízkosti povrchu (viz kapitola 14);</li> <li>• Vyhledávání v archívech informace o historické hornické činnosti</li> </ul>
Nestabilita vrtu	Zvyšte váhu výplachu; eventuálně upravte hloubku paty pažnicové kolony, proveďte analýzu stability vrtu
Nadměrná odchylka vrtu	Snižte nastavení motoru, proveďte více záměrů
Ztráta cirkulace	Protiztrátový materiál (LCM) - snižte hmotnost výplachu, proveďte cementaci ztrátové cirkulace
Kontaminace výplachu	Upravte složení výplachu; pokud je pozorována teplotní degradace výplachu, vyměňte výplach
Příliš vysoká teplota výplachu (> 70°C)	Zapněte chladiče výplachu
Likvidace velkého množství tekutého výplachu a vrtných úlomků	Optimalizujte čištění výplachu a odstraňujte vrtné úlomky pomocí přídavných centrifug a někdy i flokovacích jednotek.
Problémy s čištěním vrtu	Upravte vlastnosti výplachu, zvyšte rychlost proudění výplachu v mezikruží (rychlost čerpadla), snižte rychlost vrtání
Vysoký kroutící moment a tření vrtné kolony	Přidání maziva do výplachového systému
Příchvat vrtné kolony	Vždy pečlivě sledujte vrtné parametry; použijte hydraulické nůžky v sestavě zátěží (BHA)
Havárie vrtného nářadí	Zkontrolujte vrtné trubky před zapuštěním, minimalizujte změny směru vrtu ke snížení cyklického stresu ve vrtné koloně; měňte pozici vrtných trubek v koloně, abyste zabránili opotřebení; kontrolujte pH, aby se zabránilo korozi; kontrolujte vrtné trubky v průběhu prací.
Poruchy související s povrchovým zařízením	Zkontrolujte vrtnou soupravu před mobilizací

**Tabulka 26 - Nejčastější problémy související s vrtáním (vlastní zpracování).**

### 13.9 Analýza seismických rizik

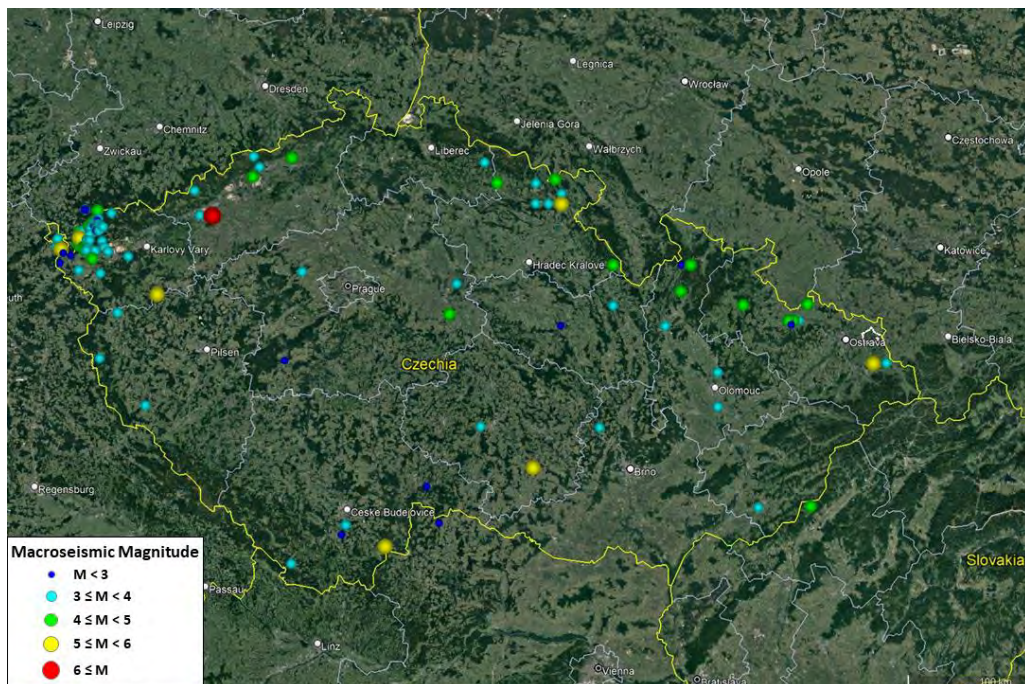
#### **Přehled přirozené seismicity nad českým územím**

Česká republika je považována za oblast s velmi nízkou přírodní seismickou aktivitou. V historickém katalogu zemětřesení pro střední a jihovýchodní Evropu (Shebalin et al., 1998) pokrývající období 342 př. n. l. až 1990 n. l. je v rámci českého teritoria uvedeno pouze 138 zemětřesení v rozsahu velikosti 1,1 až 6,2 (makro-seismické magnitudy odvozené od studií makro-seismicity). Většina zemětřesení uvedených v tomto katalogu vykazuje magnitudy vyšší nebo rovné 3 (101 ze 137, tj. 74%, Tabulka 27). Pouze jedno zemětřesení dosáhlo makro-seismické magnitudy vyšší než 6, a 7 zemětřesení bylo v rozmezí od 5 do 6.

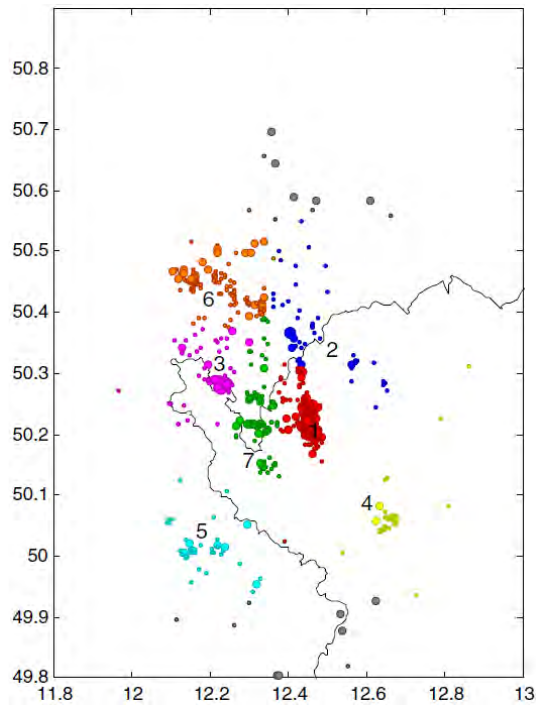
Velikost	Počet
$M < 3$	36
$3 \leq M < 4$	69
$4 \leq M < 5$	24
$5 \leq M < 6$	7
$6 \leq M$	1
<b>Celkem</b>	<b>137</b>

**Tabulka 27 - Rozložení makro-seismické magnitudy v historickém katalogu zemětřesení (Shebalin et al., 1998).**

Obr. 49 představuje prostorové rozložení 137 zemětřesení z historického katalogu. Na území České republiky existují dva hlavní aktivní regiony. Nejméně aktivní oblastí je region SZ-Čechy / Vogtland, který se nachází v severozápadní části země. V této oblasti bylo pravidelně pozorováno několik rojů zemětřesení (viz například Fisher et al, 2013; Zedník et al., 2001). Obrázek 49 ukazuje seismicitu v této oblasti v letech 1991 až 2012, zaznamenanou pomocí specializované seismické sítě WEBNET (Fisher et al, 2013).

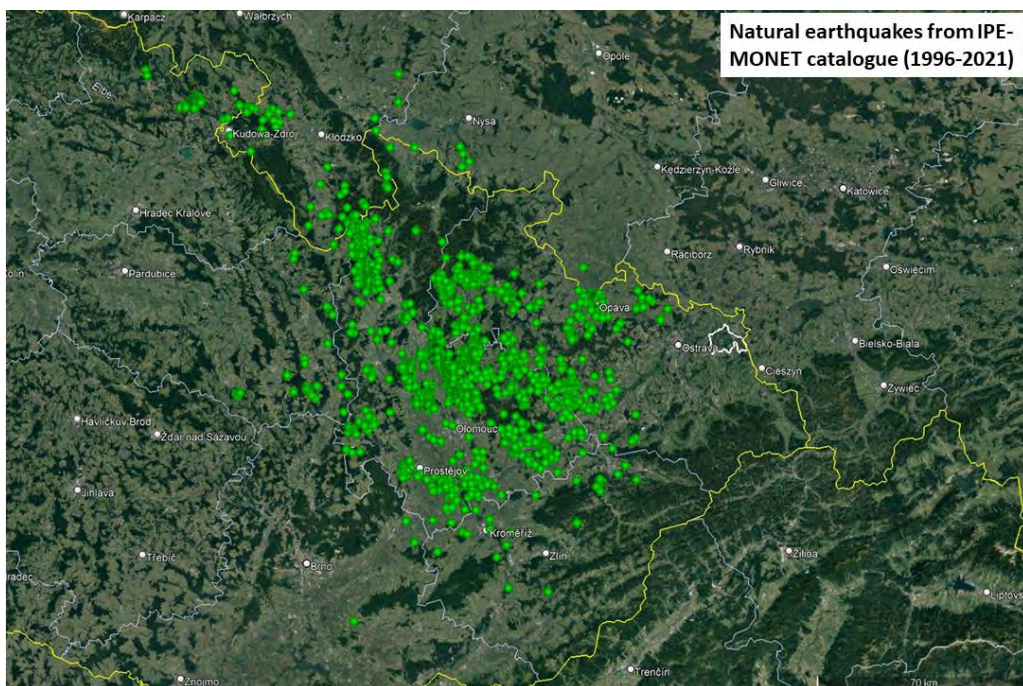


**Obr. 49 - Umístění historických zemětřesení v České republice (Fisher et al, 2013).**



**Obr. 50 - Zemětřesení v oblasti SZ Bohemia / Vogtland v letech 1991 až 2012 (Fisher et al, 2013).**

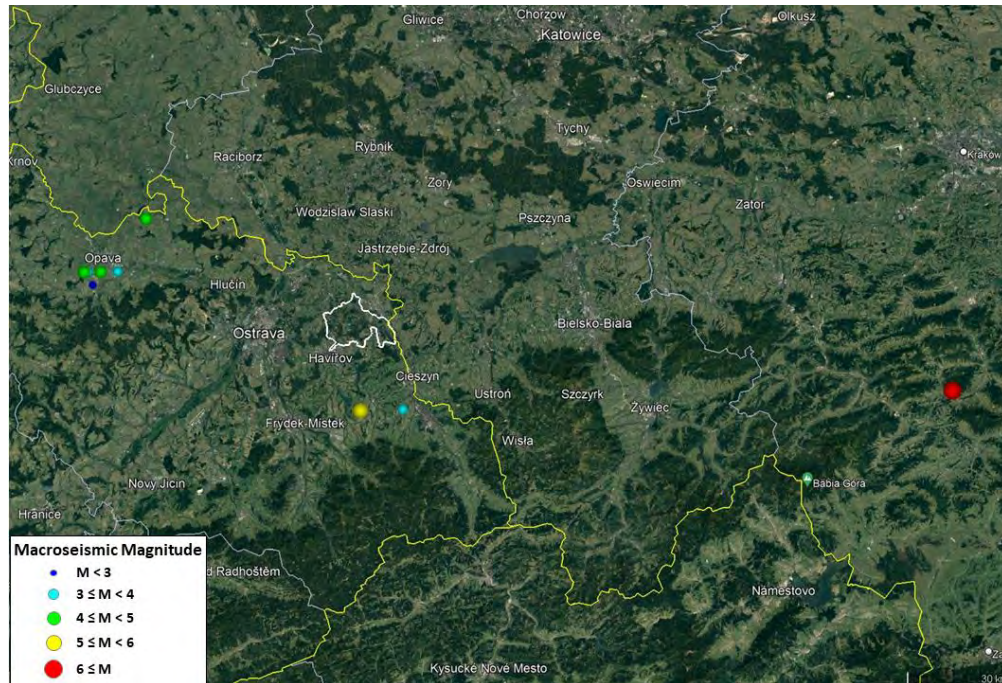
Druhá hlavní aktivní zóna pokrývá oblast Sudet, která se rozprostírá od severní po severovýchodní část českého území (Zedník et al., 2001). Pro monitorování seismické aktivity v oblasti byla také instalována specializovaná seismická síť MONET (Sýkorová et al., 2018). Byl publikován katalog, a pokrývá období 1996–2021 (Obr. 51).



**Obr. 51 - Přirozená seismická záznamovaná v oblasti Sudet se sítí MONET v letech 1996 až 2021 (Fisher et al, 2013).**

### ***Přirozená seismická aktivita v okolí oblasti studie proveditelnosti***

Obrázek 52 představuje pohled na přirozenou historickou seismicitu v okolí předpokládané lokality projektu.



**Obr. 52 - Historická seismická aktivita v okolí uvažované oblasti (vymezená bíle) (Fisher et al, 2013).**

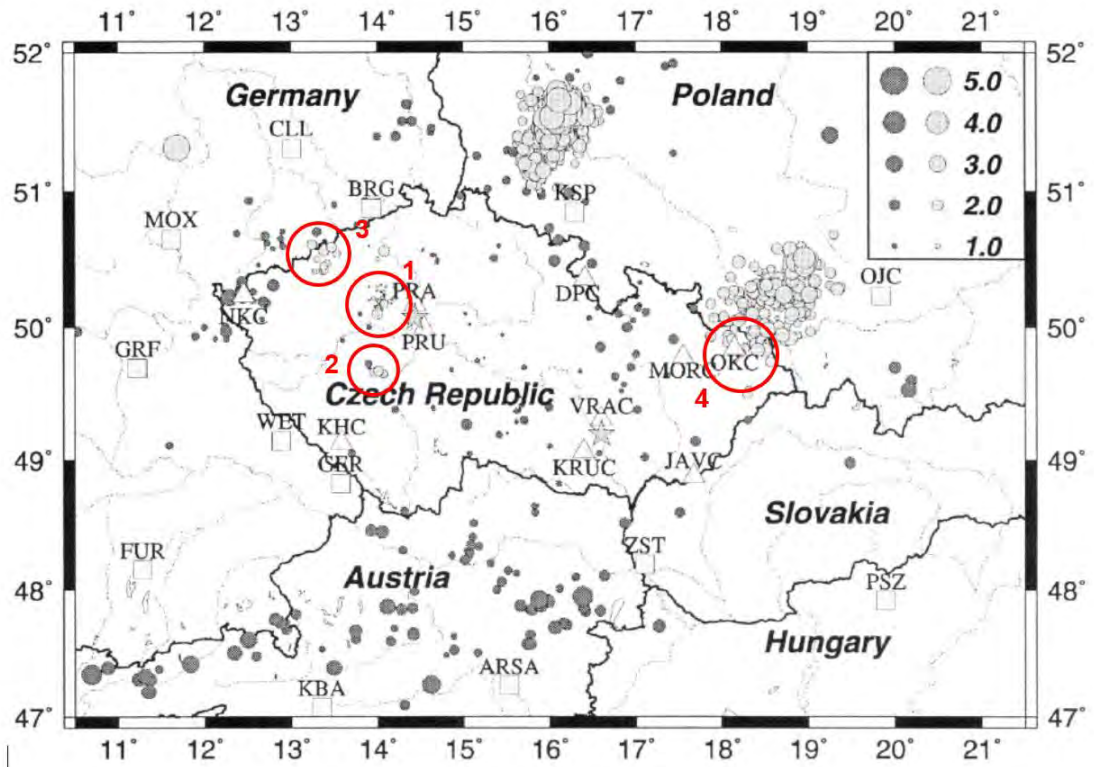
Hlavním výsledkem pozorování je, že v těsné blízkosti předpokládaného místa projektu se nenachází žádné historické zemětřesení. Obrázek 49, který ukazuje novější události pozorované se sítí s vyšší citlivostí, vede ke stejnému závěru.

Z historického katalogu se dvě události příslušné makro-seismické magnitudy 5,8 a 3,5 nacházejí ve vzdálenosti kolem 10 km. Zemětřesení však byla pozorována v letech 1786 a 1855, tedy před instrumentálním obdobím, takže jejich poloha byla určena z makro-seismického pozorování, což znamená, že přesnost umístění může být malá. Navíc největší událost ( $M = 6$ ) v okolí oblasti nastala v roce 1786 a nachází se v Polsku. Nachází se přibližně 100 km východně od oblasti zájmu.

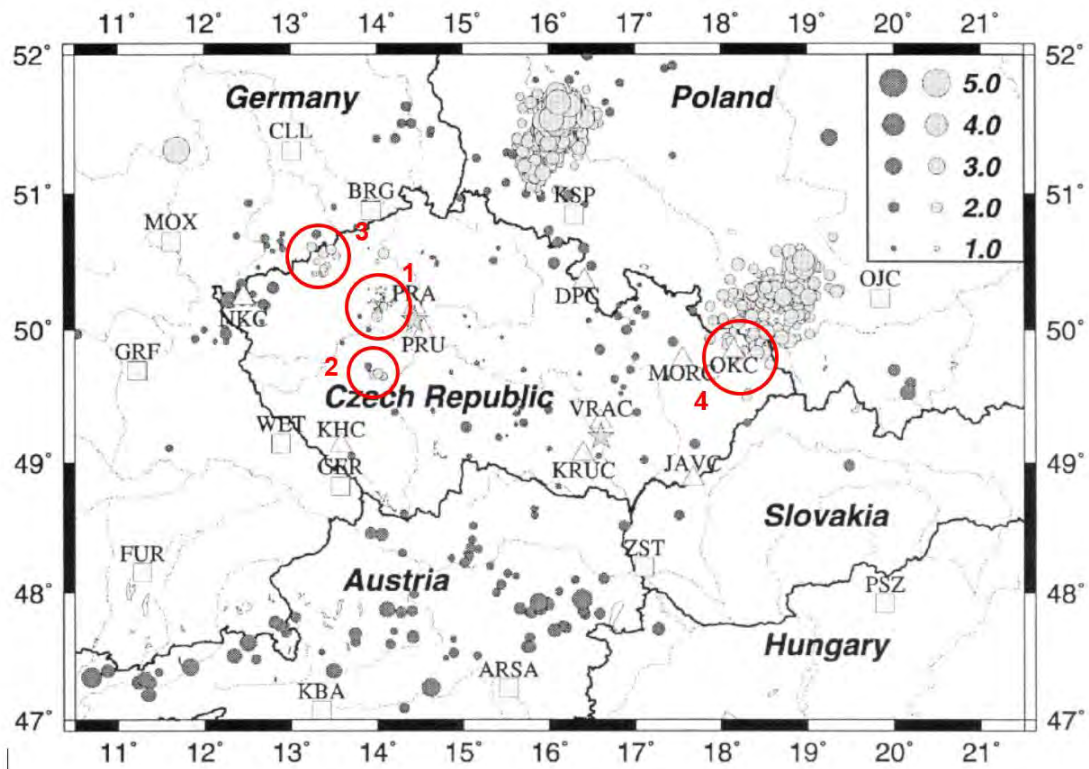
Z katalogu MONET jsou nejbližší projevy umístěny asi 15 km od západní hranice zájmové oblasti. Jedno z nejbližších zemětřesení z prosince 2017 dosáhlo velikosti 3,5 stupně.

### ***Přehled indukované seismicity na českém území***

Zedník a kol. (2001) popsali 3 hlavní regiony na českém území, které vykazují intenzivní, indukovanou seismickou aktivitu v období 1995-1999, ale indukované projevy jsou hlášeny již mnohem delší dobu. Ročně jich lze detekovat několik stovek nebo tisíců.



Obr. 53 - Seismicita v České republice a jejím okolí (Zedník et al., 2001). Tmavě šedé kruhy: přirozená seismicita; Světle šedé kruhy: indukovaná seismicita. Červené kruhy ukazují 4 hlavní oblasti s výskytem indukované seismicity.



**Obr. 53 - Seismicita v České republice a jejím okolí (Zedník et al., 2001). Tmavě šedé kruhy: přirozená seismicita; Světle šedé kruhy: indukovaná seismicita. Červené kruhy ukazují 4 hlavní oblasti s výskytem indukované seismicity.**

4 hlavní regiony jsou:

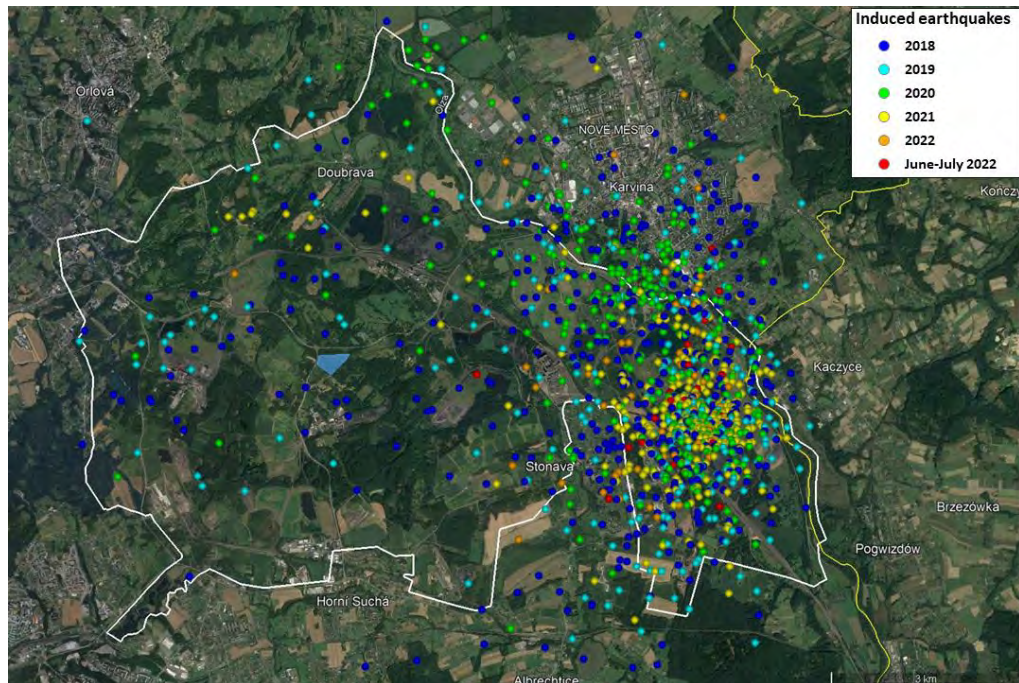
1. Kladenský uhelný revír.
2. Zásobník plynu Příbram.
3. Severozápadní český uhelný revír (povrchové doly, Tobyáš, 1996).
4. Ostravsko-karvinský revír.

#### ***Indukovaná seismicita v ostravsko-karvinském revíru***

Ostravsko-karvinský revír je součástí Hornoslezské uhelné pánve, která se rozprostírá po obou stranách česko-polské hranice. Těžba uhlí vedla k indukované seismicitě, která byla hlášena od roku 1912. Seismicita, původně soustředěná kolem Ostravské pánve, postupně migrovala na východ do Karvinska, kam se přesunula těžba.

Holub et al. (2014) zaznamenali 40 000 – 50 000 událostí ročně v období 1993 - 2013 pomocí podzemních seismických senzorů. Sbírali jsme data ze seismických bulletinů, které od roku 2018 do července 2022 poskytl Fyzikální ústav země v Brně. Obrázek 54 ukazuje zaznamenanou indukovanou seismicitu v Ostravsko-karvinském revíru. Většina nedávno indukované seismicity se nachází jižně od města Karviná, ale projevy se stále nacházejí i v okolí předpokládaného místa projektu. K posledním zemětřesením z června a července 2022 však došlo většinou v blízkosti města Karviná. Tabulka 28 shrnuje počet indukovaných projevů zaznamenaných za rok. V

období od roku 2018 do července 2022 došlo k celkem 1341 událostem, přičemž v roce 2018 jich bylo maximálně 419.



**Obr. 54 - Umístění indukovaných zemětřesení (2018 - červenec 2022) v okolí Karviné. Stínovaný povrch označuje předpokládané místo projektu "Smart park" (Sýkorová et al., 2018).**

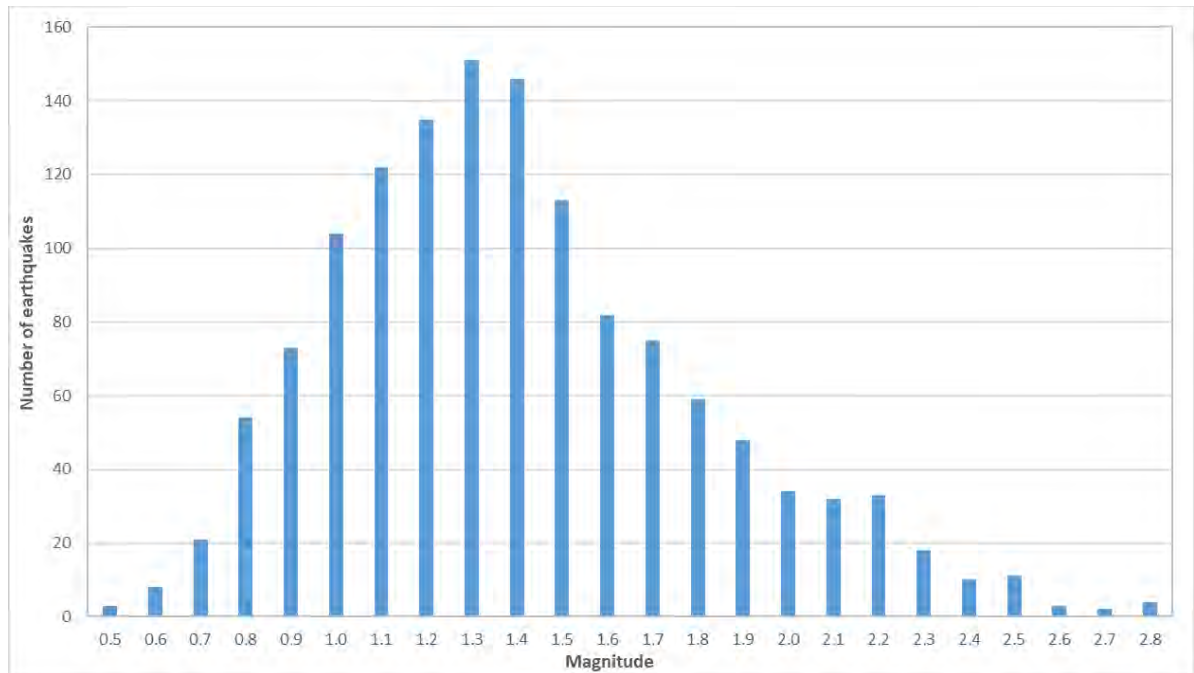
Rok	Indukovaná zemětřesení
2018	419
2019	267
2020	287
2021	280
2022	88
<b>Totální</b>	<b>1341</b>

**Tabulka 28 - Počet indukovaných zemětřesení za rok. (Fyzikální ústav země v Brně).**

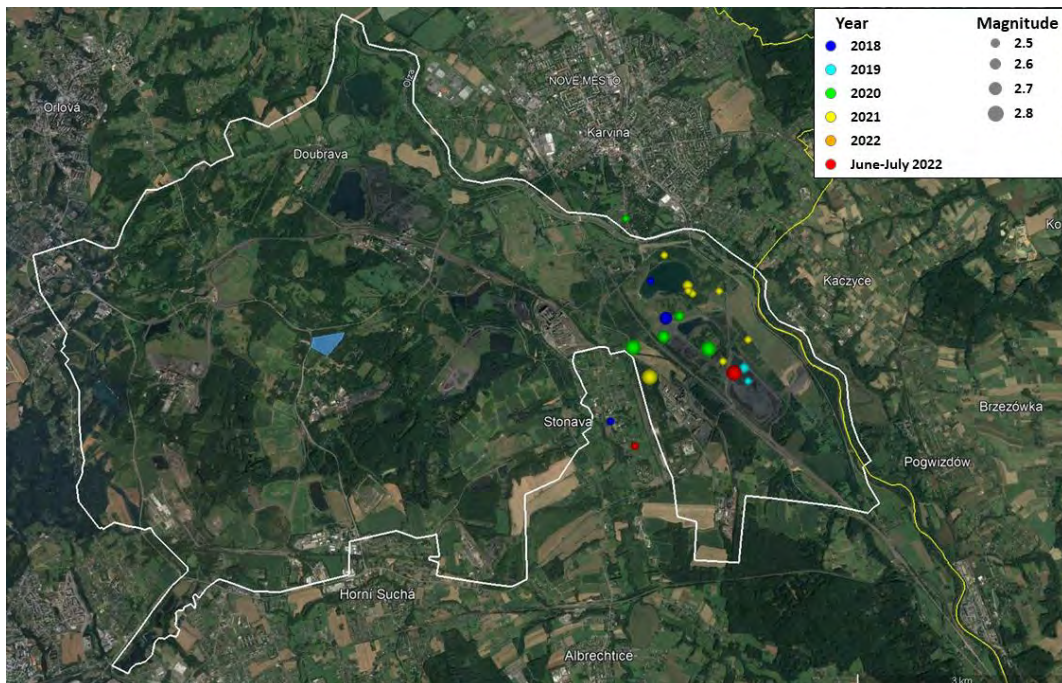
Obrázek 55 ukazuje rozložení zaznamenaných magnitud. Mezi lety 2018 a 2022 jsou pozorovaná zemětřesení v rozmezí 0,5 až 2,8. Většinu z nich (kolem 89 %) lze považovat za málo významné ( $M < 2,0$ ). Za posledních 4,5 roku však 4 události dosáhly magnitudy 2,8, poslední nastala 22. července 2022. V závislosti na hloubce výskytu a na místních geologických podmínkách mohly být tyto události pociťovány v okolí. Zedník et al. (2001) ve své analýze indukované seismicity v letech 1995 - 1999 uváděli události dosahující magnitudy až 3,1. Naznačují také, že na povrchu bylo cítit několik projevů, z nichž některé způsobily mírné poškození objektů. Největší pozorované projevy v oblasti dosáhly magnitudy 3,8 v dubnu 1983 (Holub et al., 2012).



Obrázek 56 ukazuje umístění indukovaných zemětřesení o síle vyšší nebo rovné 2,5 stupně, ke kterým došlo v posledních 4,5 letech. Všechny se nacházejí ve stejné malé oblasti, jižně od Karviné.



**Obr. 55 - Rozložení zaznamenaného rozsahu indukovaných událostí mezi rokem 2018 a červencem 2022. (Fyzikální ústav země v Brně).**



**Obr. 56 - Umístění událostí vyvolaných  $M \geq 2,5$  v letech 2018 až 2022. Předpokládaný projekt "Smart park" je označen šedou barvou (Sýkorová et al., 2018).**

## Závěry

Studovaná oblast se nachází v části českého území, vykazující velmi nízkou přírodní seismicitu. V okolí studované oblasti bylo pozorováno pouze několik přírodních zemětřesení. Oblast se však nachází v Ostravsko-Karvinském uhelném revíru. Těžební operace vedou k velmi intenzivní indukované seismické aktivitě, někdy pociťované na povrchu. Vzhledem k tomu, že zemětřesení vyvolaná těžbou jsou spojena se specifickou kombinací přírodních (přítomnost zlomů, konkrétních geologických vrstev, napětí in situ) a provozních (vývoj dolů, umístění a rozměry bezpečnostních a zbytkových pilířů v galeriích, stresové rušení) faktorů (viz např. Holub, 2015), je obtížné předvídat dopad geotermálního projektu (vrtání, testování vrtů, dlouhodobý provoz) v oblasti s generovanou indukovanou seismicitou. Další podrobná studie posouzení seismických rizik by měla být provedena, jakmile bude známo umístění vrtu, jakož i cíl vrtu.

## 14 Závěr a doporučení pro další kroky

V tomto bodě projektu neexistují žádná potvrzená geologická nebo geotermální data z větších hloubek karvinského okolí. Prvním krokem proto bude muset být pečlivý a **cílený geofyzikální průzkum** geologické stavby v předpokládané lokalitě projektu. Taková geofyzikální průzkumná kampaň zvýší pravděpodobnost úspěchu nalezení rezervoáru a poskytne důležité a komplexní informace, které umožní nejlepší efektivitu využívání.

Výsledkem této kampaně by měl být lepší geologický model oblasti, a nakonec i informace o geologickém cíli, jako je tektonicky porušená nebo zlomová zóna, která nabízí příležitost pro zvýšenou propustnost.

Níže uvádíme řadu geofyzikálních průzkumných metod, které bychom doporučili pro projekt v Karviné. Tepelná měření, magnetotellurická a gravimetrická měření jsou spíše nízkonákladové technologie. Seismické průzkumné kampaně jsou o něco dražší, ale nevyhnutelné pro vymezení podzemí. Pokud je zvolena 2D seismická technologie, bude zapotřebí několik křížových linií, aby se získal realistický, téměř 3D obraz podzemí. To jsme se zahrnuli i do našeho návrhu rozpočtu. Nicméně je třeba říci, že dnes mnoho nových geotermálních projektů v západní Evropě používá 3D seismické průzkumy k získání podrobnějšího obrazu podzemí, i když se jedná o drahou technologii.

V každém případě může být průzkum uzavřen pouze na základě kombinace výsledků několika geofyzikálních průzkumných metod (jak jsou uvedeny), protože každá z těchto metod reaguje na jiné fyzikální parametry.

Souběžně s geofyzikálním průzkumem by mělo být zahájeno hledání několika možných vrtných lokalit. Výsledek geofyzikálního průzkumu určí, které vrtné místo je optimální v případě, že by bylo možné identifikovat geologický cíl, který vyžaduje usměrněné vrtání.

Velmi důležitou otázkou v oblasti Karviné je, že každá vybraná projektová lokalita bude muset být **zkontrolována na absenci historických a opuštěných důlních šachet nebo chodeb** pod vrtným pracovištěm. Zkušenosti bohužel říkají, že umístění zakopaných šachet na starých těžebních mapách je nepřesné. K nalezení těchto pohřbených struktur může být vyžadovány další geofyzikální výzkumy v blízkosti povrchu, jako je Radar pronikající do země (GPR), samopotenciálový tomografický průzkum (šachta / chodba, ať už otevřená nebo vyplněná, vytvoří anomálii v elektrické vodivosti), měření elektrického odporu nebo seismické techniky pro hlouběji ležící struktury.

### Navrhované metody geofyzikálního průzkumu

#### 1) Měření tepelného toku

Tepelný tok je pohyb tepla (nebo energie) z vnitřku země na povrch. Měření tepelného toku slouží k detekci tepelných anomálií v podzemí, a lze je použít k odhadu / ověření lokálního teplotního vs. hloubkového profilu (Cermák, 1975). Tepelný tok se neměří přímo. Vyjadřuje se jako  $\text{mWm}^{-2}$ . Tepelný tok se vypočítá jako součin teplotního gradientu ( $\text{mK}^{-1}$  nebo  $^{\circ}\text{C}$  na km, měřítko odpovídající rozměrům geologických formací) a tepelné vodivosti ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ). Měření tepelného toku lze provádět poměrně rychle pomocí dynamického snímání s integrovanými teplotními senzory, které se umísťují do hloubky 10 m nebo více (za předpokladu, že pozemní podmínky umožňují použití této techniky).

## 2) Magnetotelurická metoda (MT)

Magnetotelurická metoda je metoda přírodního zdroje EM založená na elektromagnetické indukcii v zemi ionosférickými nebo magnetosférickými proudy. Interpretace elektrických a magnetických polí měřených na zemském povrchu v rozmezí period umožňuje 2D a 3D mapování odporu struktur a je zvláště užitečná pro průzkum hlubokých geotermálních cílů. Je důležité si uvědomit, že MT reaguje na kapalinu v podzemí, nicméně vytvořený podzemní obraz není příliš podrobný.

## 3) Gravimetrie

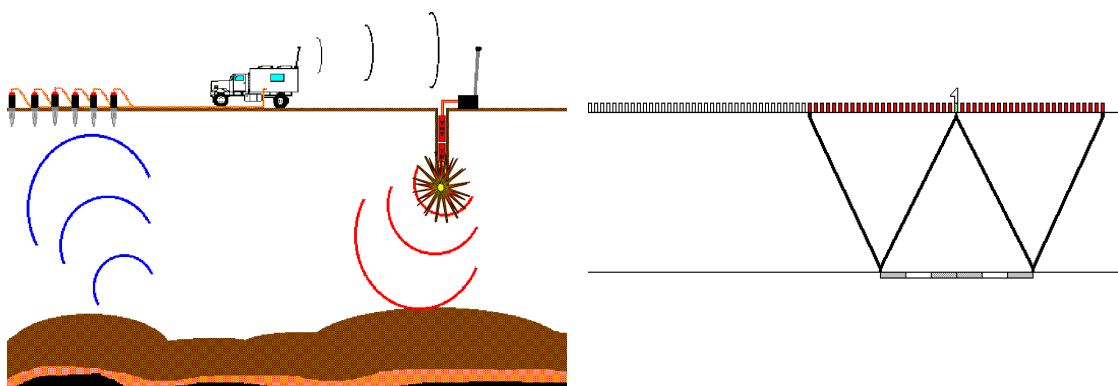
Vzhledem k tomu, že gravitační pole Země závisí na hustotě hornin, změny gravitačního pole (Bouguerovy anomálie) pozorované na povrchu nebo ve vrtu jsou způsobeny změnami hustoty v podloží, které lze interpretovat z hlediska změn ve složení a / nebo geometrii geologických vrstev. Opět platí, že obraz vytvořeného podzemí není příliš podrobný.

## 4) Seismický průzkum

Ze všech geofyzikálních průzkumných metod je seismický průzkum jednoznačně nejdůležitější, především proto, že je schopen detekovat rozsáhlé až malé podpovrchové útvary. Jednoduše řečeno, pomocí seismické metody odhadneme tvary a fyzikální vlastnosti vrstev horninového masivu s využitím zvukových vln, které se šíří masivem.

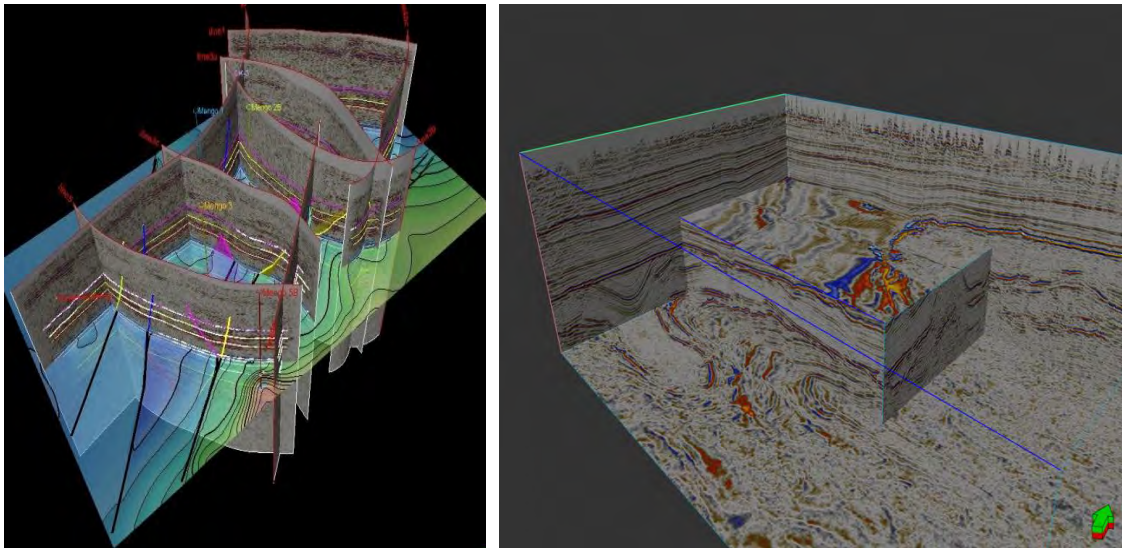
V průzkumné seismologii se seismická metoda používá na zemském povrchu nebo v jeho blízkosti k měření elastických vlastností hornin pod povrchem a k detekci změn v těchto vlastnostech. Změny a diskontinuity v těchto elastických vlastnostech obvykle svědčí o změnách v litologii nebo pórových kapalinách.

Při dvourozměrném (2D) reflexním seismickém průzkumu se jak zdroj zvuku, tak zvukové detektory (o počtu až sto nebo více na výstřel) pohybují po linii. Stejná linie obsahuje záznamové kabely a geofony, jakož i zdrojové body (Obrázek 57). Výsledný obrázek si lze představit jako vertikální zvukový průřez podzemí pod linií průzkumu (Obrázek 58, vlevo). Je to souhrn mnoha odrazů kompresních (tlakových) vln z různých zdrojů zvuku a míst detektorů zvuku v bodech střední dráhy zvuku pod každým místem (stohování společných hloubkových bodů (CDP)).



**Obr. 57 - Princip seismického průzkumu a společná ilustrace hloubkových bodů.**

Při trojrozměrném (3D) reflexním seismickém průzkumu jsou zvukové detektory (v počtu až tisíc kusů a více) rozloženy na ploše, a zdroj zvuku je přesunován z místa na místo přes celou oblast. 3D seismické programy obsahují obecně jednotnou a rovnoměrně rozloženou mřížku linií. Výsledný součin si lze představit jako krychli běžných hloubkových bodových skládaných odrazů (Obr. 58, vpravo). Mezi výhody oproti 2D seismice patří další rozměr, skutečnost, že v každém bodě je k dispozici mnohem více odrazů pro „stohování“, což poskytuje výrazně lepší rozlišení podpovrchových prvků a eliminaci odrazů "duchů" nebo odrazů "boční vlny", ke kterým jsou 2D průzkumy náchylné.



**Obr. 58 - 2D vs. 3D seismika: 2D seismika vytváří řezy (vlevo); 3D seismika ukazuje objemové těleso (vpravo). (MND a.s.)**

## 15 Seznam obrázků:

OBR. 1 - HLUBOKÉ PRŮZKUMNÉ VRTY VE STUDOVANÉ OBLASTI S VYZNAČENÍM POHO ÚZEMÍ (VYZNAČENO ČERVENOU TEČKOVANOU ČAROU). ( <a href="http://www.geology.cz/app/asgi/">HTTP://WWW.GEOLOGY.CZ/APP/ASGI/</a> ).....	6
OBR. 2 - MAPA S VYZNAČENÍM HLUBOKÝCH PRŮZKUMNÝCH VRTŮ NA POLSKÉ STRANĚ ( <a href="http://otworywiertnicze.pgi.gov.pl/">HTTP://OTWORYWIERTNICZE.PGI.GOV.PL/</a> ) .....	7
OBR. 3 – MAPA S VYZNAČENÍM 2D SEISMICKÝCH PROFILŮ SEVERNĚ OD STUDOVANÉ OBLASTI POHO ( <a href="http://www.geology.cz">WWW.GEOLOGY.CZ</a> ).....	10
OBR. 4 – ODKRYTÁ GEOLOGICKÁ MAPA ČESKÉ ČÁSTI HORNOSLEZSKÉ PÁNVE (DOPITA ET AL. 1997) .....	11
OBR. 5 - ÚZEMNÍ ČLENĚNÍ ČESKÉ ČÁSTI HORNOSLEZSKÉ PÁNVE (BENEŠ ET AL. 2013).....	12
OBR. 6 - LITOSTRATIGRAFICKÝ PROFIL SEDIMENTY KARPATSKÉ PŘEDHLUBNĚ V JEJÍ JIŽNÍ A SEVERNÍ ČÁSTI (CHLUPÁČ ET AL. 2002) .....	13
OBR. 7 - LITOSTRATIGRAFICKÉ ČLENĚNÍ KARBONU HORNOSLEZSKÉ UHELNÉ PÁNVE (KANDARECHOVÁ 2011) .....	14
OBR. 8 - ROZŠÍŘENÍ JEDNOTLIVÝCH VRSTEVNÍCH JEDNOTEK KARVINSKÉHO SOUVRSTVÍ V ČESKÉ ČÁSTI HP (LIČMANOVÁ 2019).....	16
OBR. 9 - STANDARDNÍ PROFILY A MOCNOSTI SVRCHNÍCH SUŠSKÝCH VRSTEV V DOLECH KARVINSKÉ OBLASTI A V PŮ DĚTMAROVICE – PETROVICE (DOPITA ET AL. 1997) .....	17
OBR. 10 - STANDARDNÍ PROFILY A MOCNOSTI SPODNÍCH SUŠSKÝCH VRSTEV V DOLECH KARVINSKÉ OBLASTI A PŮ DĚTMAROVICE – PETROVICE (DOPITA ET AL. 1997) .....	17
OBR. 11 - STANDARDNÍ PROFILY SEDLOVÝCH VRSTEV V DOLECH KARVINSKÉ OBLASTI A PŮ DĚTMAROVICE – PETROVICE (DOPITA ET AL. 1997) .....	18
OBR. 12 - PŘEDPOKLÁDANÉ STRATIGRAFICKÉ SCHÉMA OBLASTI S VYZNAČENÍM SPODNOKARBONSKÝCH A DEVONSKÝCH VÁPENCŮ (UPRAVENO PODLE NEHYBA A OPLETAL 2016).....	20
OBR. 13 - SCHÉMA PŘEDPOKLÁDANÉHO ROZŠÍŘENÍ HLAVNÍCH FACIÍ MORAVSKOSLEZSKÉHO DEVONU S VYZNAČENÍM POVRCHOVÝCH VÝSKYTŮ (CHLUPÁČ ET AL. 2002) .....	21
OBR. 14 - VRTY V OKOLÍ ZÁJMOVÉ OBLASTI SE ZNÁMOU HLOUBKOU POVRCHU OSTRAVSKÉHO SOUVRSTVÍ ( <a href="http://www.geology.cz/app/asgi/">HTTP://WWW.GEOLOGY.CZ/APP/ASGI/</a> ) .....	23
OBR. 15 - MOCNOST AUTOCHTONNÍHO BÁDENSKÉHO POKRYVU. 1 – HRANICE ROZŠÍŘENÍ AUTOCHTONNÍHO BÁDEN; 2 – HRANICE STROŠTÝRSKÝCH PŘÍKROVŮ; 3 – HRANICE MLADOŠTÝRSKÝCH PŘÍKROVŮ; 4 – STÁTNÍ HRANICE; 5 – HLAVNÍ TEKTONICKÉ LINIE; 6 – POSTEROZNÍ HRANICE ČESKÉ ČÁSTI HORNOSLEZSKÉ PÁNVE; 7 – POVRCHOVÉ VÝCHOZY KARBONU; 8 – MĚSTA (WLOSOK ET AL. 2012) .....	26
OBR. 16 – RELIÉF KARBONU V OBLASTI DP KARVINÁ DOLY II (FILIP ET AL. 2010) .....	27
OBR. 17 - TEPELNÝ TOK NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY (DĚDEČEK ET AL. 2022). ČERVENĚ JE VYZNAČENO STUDOVANÉ ÚZEMÍ .....	28
OBR. 18 - TEPELNÝ TOK V SV ČÁSTI MORAVY (DĚDEČEK ET AL. 2022). ČERNÉ BODY VYZNAČUJÍ POZICE VRTŮ S MĚŘENÝM TEPELNÝM TOKEM. MODRÝ BOD ZNÁZORŇUJE POZICI STUDOVANÉHO ÚZEMÍ. ....	29
OBR. 19 - PŘEDPOKLÁDANÁ DISTRIBUCE TEPLŮT V HLOUBCE 4000 M (DĚDEČEK ET AL., 2022).....	29
OBR. 20 - MAPA ZNÁZORŇUJÍCÍ POZICE VRTŮ S ÚDAJI TEPLŮTNÍ KAROTÁŽE Z OBLASTI PŮ DĚTMAROVICE – PETROVICE. ČERVENOU PŘERUŠOVANOU ČAROU JE ZNÁZORNĚNO ÚZEMÍ POHO, ČERNÉ BODY ZNÁZORŇUJÍ VRTY V OBLASTI PŮ DĚTMAROVICE - PETROVICE ( <a href="http://www.geology.cz/app/asgi/">HTTP://WWW.GEOLOGY.CZ/APP/ASGI/</a> ).....	33
OBR. 21 - MAPA ZNÁZORŇUJÍCÍ POZICE VRTŮ S ÚDAJI TEPLŮTNÍ KAROTÁŽE Z OBLASTI NOVÉHO POLE ČSA. ČERVENOU PŘERUŠOVANOU ČAROU JE ZNÁZORNĚNO ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ POHO. ČERNÉ BODY ZNÁZORŇUJÍ VRTY V OBLASTI NOVÉHO POLE ČSA ( <a href="http://www.geology.cz/app/asgi/">HTTP://WWW.GEOLOGY.CZ/APP/ASGI/</a> ) .....	33
OBR. 22 - DISTRIBUCE TEPLŮT V ZÁVISLOSTI NA HLOUBCE EXTRAPOLOVANÁ Z TEPLŮTNÍCH MĚŘENÍ NA VRTECH V OBLASTI KARVINÁ A Z VRTŮ PROVEDENÝCH NA DOLE DUKLA. TEPLŮTY VE VĚTŠÍCH HLOUBKÁCH, NEŽ DOSAŽENÝCH DOSTUPNÝMI VRTY JSOU EXTRAPOLOVÁNY. ČERNÁ TEČKOVANÁ LINIE ZNÁZORŇUJE PRŮMĚRNÝ TEPLŮTNÍ GRADIENT (TABULKOVÉ HODNOTY - TAB. 5,6,7,8), (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ). ....	35
OBR. 23 - SROVNÁNÍ ROZDÍLNÝCH TEPLŮTNÍCH MĚŘENÍ NA VRTU NP 474 (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ). ....	36
OBR. 24 – POZICE VRTŮ S HODNOTAMI MĚŘENÍ TEPLŮT V DOLE DUKLA (NEVLUD 2001).....	38

OBR. 25 – POZICE PALEOZOIKA NA JIŽNÍ MORAVĚ A JEHO NAPOJENÍ NA HORNOSLEZSKOU PÁNEV V OBDOBÍ NAMURU A (OPLETAL ET AL. 2019).....	44
OBR. 26 – INTERPRETACE 3D SEISMICKÉHO MĚŘENÍ V OBLASTI NIKOLČICKO-KURDĚJOVSKÉHO HŘBETU A NESVAČILSKÉHO PŘÍKOPU NA JIŽNÍ MORAVĚ. NÍŽE NA OBRÁZKU JE ZNÁZORNĚNA POLOHA INTERPRETOVANÝCH PROFILŮ PŘIBLIŽNĚ MEZI BRNEM A HODONÍNEM. OBLAST VRTŮ NEM2A, MORK1, KRU2A, DAM1 A UH10 NA SEISMICKÉM PROFILU A-A` JE OBLASTÍ SAMOTNÉHO NIKOLČICKO-KURDĚJOVSKÉHO HŘBETU A NESVAČILSKÉHO PŘÍKOPU S DOLOŽENÝMI KARBONÁTY DEVONSKÉHO STÁŘÍ (INTEPRETACE MND A.S.) .....	44
OBR. 27 – ROZLOŽENÍ PERMEABILIT V 3D DYNAMICKÉM MODELU PALEOZOICKÝCH KARBONÁTŮ V OBLASTI NIKOLČICKO – KURDĚJOVSKÉHO HŘBETU – VRTY NEM5, NEM6, NEM2, NEM2A, NEM3, NEM1 (INTERPRETACE MND A.S.) .....	45
OBR. 28 - HISTOGRAMY S ROZLOŽENÍM POROZIT V M <sup>3</sup> /M <sup>3</sup> (VLEVO) A PERMEABILIT V MD (VPRAVO) VE 3D MODELU PALEOZOICKÝCH KARBONÁTŮ V OBLASTI NIKOLČICKO – KURDĚJOVSKÉHO HŘBETU (MND A.S.).....	46
OBR. 29 – ORIENTACE NAPĚTÍ V BLÍZKOSTI KARVINÉ NA ZÁKLADĚ “WORLD STRESS MAP” PROJEKTU (HEIDEBACH ET AL. 2016).....	49
OBR. 30 – POZICE JEDNOTLIVÝCH 2D SEISMICKÝCH PROFILŮ SEVERNĚ OD STUDOVANÉHO ÚZEMÍ – OBLAST PRŮZKUMNÉHO ÚZEMÍ DĚTMAROVICE – PETROVICE (HTTPS://MAPY.GEOLOGY.CZ/GEOPHYSICAL_MEASUREMENTS/?LOCALE=EN) .....	51
OBR. 31 – PŘÍKLAD 2D SEISMICKÉHO PROFILU SEVERNĚ OD STUDOVANÉ OBLASTI – PŮ DĚTMAROVICE - PETROVICE. HLOUBKOVÁ ŠKÁLA JE NA OSE Y V METRECH. (SUHOMELOVÁ ET AL. 1986) .....	52
OBR. 32 - MAPA ZNÁZORŇUJÍCÍ POTENCIÁLNÍ LOKALITY VRTŮ PRO GEOTERMÁLNÍ ROZVOJ (OHRANIČENÉ MODŘE). PREFEROVANÝ PROJEKTOVÝ LOKALITA "SMART PARK" A ALTERNATIVNÍ LOKALITY "LIPINY", "HOHENEGGER" A "NOVÝ YORK" SE NACHÁZEJÍ JIHOZÁPADNĚ OD MĚSTA KARVINÁ.....	61
OBR. 33 - POVRCHOVÁ GEOLOGICKÁ MAPA ZÁPADNÍCH KARPAT A JEJICH PŘEDPOLÍ (ZÁPADOEVROPSKÁ PLATFORMA) V SEVEROVÝCHODNÍM RAKOVSKU, NA MORAVĚ (VÝCHODNÍ ČÁST ČESKÉ REPUBLIKY) A V ZÁPADNÍM POLSKU (ZDROJ: PICH A ET AL., 2006). ČERVENÁ TEČKA OZNAČUJE POLOHU LOKALITY GEOTERMÁLNÍHO PROJEKTU KARVINÁ. ....	62
OBR. 34 - REGIONÁLNÍ GEOLOGICKÝ ŘEZ PŘÍKROVOVÝMI JEDNOTKAMI ZÁPADNÍCH KARPAT A JEJICH PŘEDPOLÍM PODÉL LINIE AA' – BIELSKO BIALA – NÍZKÉ TATRY (PŘÍMKA AA' VIZ OBRÁZEK 2; ZDROJ: PICH A ET AL., 2006). ČERVENÁ ŠIPKA OZNAČUJE CELKOVOU POLOHU LOKALITY GEOTERMÁLNÍHO PROJEKTU KARVINÁ V KARPATSKÉ NEOGENNÍ PŘEDHLUBNI. ....	63
OBR. 35 - PŘEDBĚŽNÝ GEOLOGICKÝ PROFIL LOKALITY PROJEKTU KARVINÁ (NA ZÁKLADĚ VARIANTY 1) S TEPLTNÍM PROFILEM.....	65
OBR. 36 - ZÁKLADNÍ PRINCIPY ZAŘÍZENÍ NA VYUŽITÍ GEOTERMÁLNÍ ENERGII DŮLNÍCH VOD, MÍST TĚŽBY A VYPOUŠTĚNÍ, JAKOŽ I MOŽNÝCH POTENCIÁLNÍCH UŽIVATELŮ (ZDROJ: OPPELT ET AL., 2022) ....	68
OBR. 37 - KLASIFIKACE GEOTERMÁLNÍCH ZDROJŮ, POTENCIÁL ZDROJŮ A SOUVISEJÍCÍ HODNOCENÍ FÁZÍ VÝVOJE (ZDROJ: ZPRÁVA US DOE GEOVISION, 2019) .....	69
OBR. 38 - HLAVNÍ KONFIGURACE PRO GEOTERMÁLNÍ VYUŽITÍ: A) PŘÍMÉ VYUŽITÍ, B) VÝROBA ELEKTŘINY, C) KOMBINOVANÁ VÝROBA TEPLA A ELEKTŘINY (CHP) V SÉRII, D) KOMBINOVANÁ VÝROBA TEPLA A ELEKTŘINY (CHP) V PARALELNÍ KONFIGURACI (ZDROJ: RAOS ET AL., 2019). ....	71
OBR. 39 - CHLADICÍ TECHNOLOGIE PRO ELEKTRÁRNY S „ORGANICKÝM HODNOCENÍM“ (ORC): A) VODNÍ CHLAZENÍ, B) CHLAZENÍ VZDUCHEM (ZDROJ: RAOS ET AL., 2019). ....	72
OBR. 40 - PRACOVNÍ MÍSTA NA PLNÝ ÚVAZEK VYTVOŘENÁ V ZÁVISLOSTI NA INSTALOVANÉ (ELEKTRICKÉ) KAPACITĚ GEOTERMÁLNÍHO PROJEKTU. ....	73
OBR. 41 – VÝMĚNÍK TEPLA VE VRTU – OTEVŘENÝ SYSTÉM. (FEASIBILITY REPORT OF A DEEP GEOTHERMAL SINGLE WELL, ABERDEEN, SCOTTISH GOVERNMENT, 2016).....	76
OBR. 42 – POVRCHOVÁ STANICE HLUBOKÉHO VÝMĚNÍKU TEPLA V PRENZLAU (NĚMECKO). (BESTEC GMBH).....	78
OBR. 43 - GEOTERMÁLNÍ DUBLETA S PŘIPOJENÝM SYSTÉMEM DÁLKOVÉHO VYTÁPĚNÍ.....	79
OBR. 44 - KOMBINOVANÁ VÝROBA TEPLA A ELEKTŘINY (CHP) V PARALELNÍ KONFIGURACI.....	80
OBR. 45 - VRTNÁ SOUPRAVA MND BENTEC 450 (MND DRILLING & SERVICES A.S.) .....	81
OBR. 46 - SCHÉMA VRTU NAVRŽENÉ PRO PRŮZKUMNÝ GEOTERMÁLNÍ VRT V KARVINÉ.....	83
OBR. 47 – PŘEDPOKLÁDANÝ ČASOVÝ PRŮBĚH VRTÁNÍ.....	85

OBR. 48 - PŘÍKLAD USPOŘÁDÁNÍ PRACOVNÍ PLOCHY S VRTNOU SOUPRAVOU O VÝKONU 1200 HP. ....	87
OBR. 49 - UMÍSTĚNÍ HISTORICKÝCH ZEMĚTŘESENÍ V ČESKÉ REPUBLICE.....	98
OBR. 50 - ZEMĚTŘESENÍ V OBLASTI SZ BOHEMIA / VOGTLAND V LETECH 1991 AŽ 2012 (FISHER ET AL, 2013). ....	99
OBR. 51 - PŘIROZENÁ SEISMICITA ZAZNAMENANÁ V OBLASTI SUDET SE SÍTÍ MONET V LETECH 1996 AŽ 2021. ....	99
OBR. 52 - HISTORICKÁ SEISMICKÁ AKTIVITA V OKOLÍ UVAŽOVANÉ OBLASTI (VYMEZENÁ BÍLE).....	100
OBR. 53 - SEISMICITA V ČESKÉ REPUBLICE A JEJÍM OKOLÍ (ZEDNÍK ET AL., 2001). TMAVĚ ŠEDÉ KRUHY: PŘIROZENÁ SEISMICITA; SVĚTLE ŠEDÉ KRUHY: INDUKOVANÁ SEISMICITA. ČERVENÉ KRUHY UKAZUJÍ 4 HLAVNÍ OBLASTI S VÝSKYTEM INDUKOVANÉ SEISMICITY. ....	102
OBR. 54 - UMÍSTĚNÍ INDUKOVANÝCH ZEMĚTŘESENÍ (2018 - ČERVENEC 2022) V OKOLÍ KARVINÉ. STÍNOVANÝ POVRCH OZNAČUJE PŘEDPOKLÁDANÉ MÍSTO PROJEKTU "SMART PARK". ....	103
OBR. 55 - ROZLOŽENÍ ZAZNAMENANÉHO ROZSAHU INDUKOVANÝCH UDÁLOSTÍ MEZI ROKEM 2018 A ČERVENCEM 2022. ....	104
OBR. 56 - UMÍSTĚNÍ UDÁLOSTÍ VYVOLANÝCH $M \geq 2,5$ V LETECH 2018 AŽ 2022. PŘEDPOKLÁDANÝ PROJEKT "SMART PARK" JE OZNAČEN ŠEDOU BARVOU. ....	104
OBR. 57 - PRINCIP SEISMICKÉHO PRŮZKUMU A SPOLEČNÁ ILUSTRACE HLOUBKOVÝCH BODŮ. ....	107
OBR. 58 - 2D VS. 3D SEISMIKA: 2D SEISMIKA VYTVÁŘÍ ŘEZY (VLEVO); 3D SEISMIKA UKAZUJE OBJEMOVÉ TĚLESO (VPRAVO).....	108



## 16 Seznam tabulek:

TABULKA 1 - VYBRANÉ VRTY Z ČESKÉ ČÁSTI STUDOVANÉ OBLASTI S HLOUBKAMI LITOSTRATIGRAFICKÝCH ROZHRAŇÍ ( <a href="http://www.geology.cz/app/asgi/">HTTP://WWW.GEOLOGY.CZ/APP/ASGI/</a> ).....	8
TABULKA 2 - POLSKÉ VRTY S HLOUBKOU VĚTŠÍ NEŽ 2000 M V BLÍZKOSTI STUDOVANÉ OBLASTI ( <a href="http://otworywiertnicze.pgi.gov.pl/">HTTP://OTWORYWIERTNICZE.PGI.GOV.PL/</a> ) .....	9
TABULKA 3 – VARIANTA 1 LITOSTRATIGRAFICKÉHO PROFILU V ZÁJMOVÉ OBLASTI (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ) .....	25
TABULKA 4 - VARIANTA 2 LITOSTRATIGRAFICKÉHO PROFILU V ZÁJMOVÉ OBLASTI (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ) .....	26
TABULKA 5 - TEPELNÝ TOK A HODNOTY TEPLOT V MĚŘENÝCH A EXTRAPOLOVANÝCH HLOUBKÁCH V OKOLÍ KARVINÉ. DATA Z INTERAKTIVNÍ MAPY TEPELNÉHO TOKU ( <a href="https://mapy.geology.cz/geotermalni_potencial/">HTTPS://MAPY.GEOLOGY.CZ/GEOTERMALNI_POTENCIAL/</a> ) .....	30
TABULKA 6 – MĚŘENÍ TEPLOTNÍCH KAROTÁŽÍ VE VRTECH V PÚ DĚTMAROVICE – PETROVICE (PROKOP A STRAKOŠOVÁ 1967) .....	32
TABULKA 7 - MĚŘENÍ TEPLOTNÍCH KAROTÁŽÍ VE VRTECH V OBLASTI NOVÉHO POLE ČSA (STRAKOŠOVÁ ET AL. 1981).....	34
TABULKA 8 - VÝSLEDKY TEPLOTNÍHO MĚŘENÍ V DOLE DUKLA (NEVLUD 2001) .....	38
TABULKA 9 – SEZNAM VRTŮ S VÝSLEDKY MĚŘENÍ TEPLoty A TEPELNÉ VODIVOSTI V OBLASTI HORNOSLEZSKÉ PÁNVE (ČERMÁK A ŠAFANDA 2001) .....	40
TABULKA 10 - PRŮMĚRNÉ VODIVOSTI ± SMĚRODAT. ODCHYLKA VE $WM^{-1}K^{-1}$ (POČET VZORKŮ) (ČERMÁK A ŠAFANDA 2001).....	40
TABULKA 11 – PŘEHLED CHEMISMU DETRITOVÉ VODY. PS – TLAK NASYCENÍ VODY PLYNY, PK – KOLEKTOROVÝ TLAK U STROPU DETRITU, F – PLYNOVÝ FAKTOR (PLYN: VODA) (ŽÍDKOVÁ 1995) ...	42
TABULKA 12 – PŘEHLED CHEMISMU V HLAVNÍM PÍŠČITÉM OBZORU PELITICKÉHO VÝVOJE BÁDENU. PS – TLAK NASYCENÍ VODY PLYNY, PK – KOLEKTOROVÝ TLAK, F – PLYNOVÝ FAKTOR (PLYN: VODA) (ŽÍDKOVÁ 1995).....	42
TABULKA 13 - HODNOTY POROZITY NAMĚŘENÉ NA JÁDRECH Z VRTŮ V OBLASTI KURDĚJOVSKÉHO HŘBETU (ARCHIV MND A.S.) .....	46
TABULKA 14 -VÝSLEDKY ČERPACÍCH POKUSŮ Z DEVONSKÝCH KARBONÁTU NA VRTECH NĚMČIČKY 5 A JABLUNKOV 1 (ARCHIV MND A.S.) .....	47
TABULKA 15 - CHEMICKÉ SLOŽENÍ VOD ZÍSKANÝCH PŘI ČERPACÍCH POKUSECH Z HLUBOKÝCH VRTŮ Z PALEOZOICKÝCH KARBONÁTŮ NA JIŽNÍ MORAVĚ (ARCHIV MND A.S.).....	47
TABULKA 16 – SOUHRN MĚŘENÍ NAPĚTÍ V OKOLÍ KARVINÉ (HEIDEBACH ET AL. 2016).....	48
TABULKA 17 - ZJEDNODUŠENÝ PŘEHLED STRATIGRAFIE, LITOLOGIE A MOCNOSTI VRSTEV UVEDENÝ V I. ČÁSTI STUDIE.....	64
TABULKA 18 - MOŽNÉ DOPADY GEOTERMÁLNÍ TECHNOLOGIE PODLE PŘEDMĚTU. ....	73
TABULKA 19 - ZÁKLADNÍ INFORMACE O NAVRHOVANÉM VRTU KG-1.....	82
TABULKA 20 - NÁVRH PAŽNIC PRŮZKUMNÉHO VRTU. ....	84
TABULKA 21 - PARAMETRY NAVRHOVANÝCH PAŽNIC PRŮZKUMNÉHO VRTU.....	84
TABULKA 22 – ODHADY NÁKLADŮ – PŘÍPRAVA A PRŮZKUM.....	91
TABULKA 23 – ODHADY NÁKLADŮ – VRTNÉ OPERACE (1. VRT). CELKEM 106 DNŮ. ....	92
TABULKA 24 – ODHADY NÁKLADŮ – TESTOVÁNÍ VRTU.....	92
TABULKA 25 – ČASOVÝ HARMONOGRAM. ....	93
TABULKA 26 - NEJČASTĚJŠÍ PROBLÉMY SOUVISEJÍCÍ S VRTÁNÍM. ....	97
TABULKA 27 - ROZLOŽENÍ MAKRO-SEISMICKÉ MAGNITUDY V HISTORICKÉM KATALOGU ZEMĚTŘESENÍ. 98	
TABULKA 28 - POČET INDUKOVANÝCH ZEMĚTŘESENÍ ZA ROK.....	103

## 17 Seznam zkratk

Tento seznam zkratk je platný v rozsahu této studie.

CBDG	Centrální geologická databáze
CHP	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
ČGS	Česká geologická služba
ČM	Český masiv
ČR	Česká republika
DP	Dobývací prostor
EGS	Stimulované geotermální systémy
HDR	Hot dry rock (teplo suchých hornin)
HFR	Hot fractured rock (teplo rozpraskaných hornin)
HP	Hornoslezská pánev
JVSCM	Jihovýchodní svahy Českého masivu
MD	Měřená hloubka
MT	Magnetotelurické pozorování
OKR	Ostravsko – karvinský revír
ORC	Organický Rankinův cyklus
POHO	Pohornická krajina
PU	Průzkumné území
SCM	Svahy Českého masivu
SSTVD	Vertikální hloubka od mořské hladiny
TVD	Skutečná vertikální hloubka
WSM	World Stress Map

## 18 Literatura:

- Beneš, L., Jirásek, J., Hýlová, L., Sivek, M. 2013.** Mocnost svrchních hrušovských vrstev (namur) v české části hornoslezské pánve. Geol. Výzk. Mor. Slez. Brno.
- Brzobohatý, R. a Cícha, I. 1993.** Karpatská předhlubeň. – In: Přichystal et al. (eds.). Geologie Moravy a Slezska. MZM a Sekce geol. Věd PŘF MU. Brno.
- Burel, F. et al. 1989.** Výpočet zásob černého uhlí dolu Dukla, O.Z. Havířov, dobývací prostor dolní Suchá, stav k 1.1.1989. MS archiv Geofond. Praha. – GF FZ006295
- Burel, F. et al. 1986.** Výpočet zásob černého uhlí dolu 1.Máj. K.P. Karviná, závod (Mír) k 1.1.1986. MS archiv Geofond. Praha. – GF FZ006187
- Burel, F. et al. 1985.** Výpočet zásob černého uhlí dolu 1.Máj (Barbora) k 1.1.1985. MS archiv Geofond – GF FZ006133
- Dopita, M., Kumpera, O. 1993.** Geology of the Ostrava-Karviná coalfield, Upper Silesian Coal Basin, Czech Republic and its influence on mining. Inter. J. Coal. Geol. 23, 291-321, Amsterdam.
- Dědeček, P., Šafanda, J., Uxa, T., Holeček, J., Burda, J., Dudková, I., Kachlíková, R., Paleček, M., Kloz, M. & Holečková, P. 2022.** Mapy potenciálu geotermální energie v různých hloubkových úrovních a mapy střetů zájmu na území ČR, [https://mapy.geology.cz/geotermalni\\_potencial/](https://mapy.geology.cz/geotermalni_potencial/).
- Dopita, M. et al., 1997.** Geologie české části hornoslezské pánve. Ministerstvo životního prostředí ČR. Praha.
- Chlupáč, I., Brzobohatý, R., Kovanda, J. a Stráník, Z. 2002.** Geologická minulost České republiky. Praha: Academia Praha, 2002.
- Eliáš, M., Pálenský, P., Růžička, M. 2002.** Litostratigrafie severomoravského miocénu a jeho litostratigrafická korelace s přilehlým miocénem v Polsku (karpatská předhlubeň). Zprávy o geologických výzkumech 35.
- Fialová, V. 1995.** Speciální zhodnocení petrografické a paleontologické, jakostní a technologické charakteristika ložiska. In: Dětmárovice – Petrovice. Geologické zhodnocení s výpočtem zásob. MS Unigeo. Ostrava.
- Filip, L. et al. 2005.** Výpočet zásob černého uhlí v dobývacím prostoru Karviná Doly I hodnotící zásoby na ložisku do hloubky -1000 Bpv. Se stavem k 1.1.2005. MS archiv Geofond. Praha. – GF FZ007058
- Filip, L. et al. 2010.** Výpočet zásob černého uhlí v dobývacím prostoru Karviná – Doly II, část Gabriela, OKD a.s., Důl Darkov, stav k 1.1.2010. MS archiv Geofond. Praha. – GF FZ007109
- Francírek, M. a Nehyba, S. 2011.** Příspěvek k poznání sedimentů spodního badenu v severní části karpatské předhlubně na Moravě. Geol. výzk. Mor. Slez. v roce 2010. MU Brno.
- Gilíková, H., 2007.** Petrografické složení a sedimentární prostředí klastických sedimentů spodního paleozoika (kambrium – devon). MS, PŘF MU Brno, 180 p.
- Heidbach, O., M. Rajabi, X. Cui, K. Fuchs, B. Müller, J. Reinecker, K. Reiter, M. Tingay, F. Wenzel, F. Xie, M. O. Ziegler, M.-L. Zoback, and M. D. Zoback 2016.** The World Stress Map database release 2016: Crustal stress pattern across scales. Tectonophysics, 744, 484-498, doi:10.1016/j.tecto.2018.07.007
- Hufová E. 1984.** Karviná – Hranice, hydrogeologie, GP Ostrava, MS
- Hufová E. 1984.** Dětmárovice – studie, GP Ostrava, MS

- Hufová, E., Arabasz, L. 1991.** Dětmrovický výmol – hydrogeologie. Závěrečná zpráva, Unigeo, Ostrava. MS.
- Kandarechová J. 2011.** Geologie jakloveckých vrstev hornoslezské pánve (ostravské souvrství, namur). MS disertační práce. VŠB TU Ostrava.
- Kędzior, A. Gradziński, R. Doktor, M., Gmur, D. 2007.** Sedimentary history of a Mississippian to Pennsylvanian coal-bearing succession: an example from the Upper Silesia Coal Basin, Poland. – Geological Magazine, 144, 3, 487–496.
- Klír, S., Zeman, J. 1997.** Geologická a hydrogeologická studie pro stanovení ochranných pásem přírodních léčivých zdrojů lázeňského místa Karviná. MS archiv Geofond. Praha.
- Kubík, J., Čermák, V. 1986.** Heat flow in the Upper-Silesian coal basin: re-evaluation of data with special attention to the lithology. Studia geoph.geodet., 30, 376-393.
- Kumpera, O. .1983.** Geologie spodního karbonu jesenického bloku. Knih. ústř. úst. Geol. 59.
- Ličmanová, D. 2019.** Geologická charakteristika sedlových vrstev (karvinské souvrství, hornoslezská pánev). MS diplomová práce. PŘ.F. UPOL. Olomouc.
- Mikuláš, R., Nehyba, S. 2001.** Ichnofosilie v horninách předpokládaného spodnokambrického stáří ve vrtu Měnin–1 na jižní Moravě. Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 2000, 47–50. Brno.
- Mísař, Z., Dudek, A., Havlena, V., Weiss, J. 1983.** Geologie ČSSR 1 – Český masív. Stát. ped. nakl. Praha.
- Mysil, V., Stibitz, M. & Frydrych, V. 2005.** Geothermal Energy Potential of Czech Republic. Proceedings World Geothermal congress 2005, Antalya, Turkey, 24 – 29 April 2005.
- Nehyba, S. and Opletal, V., 2016.** Depositional environment and provenance of the Gresten Formation (Middle Jurassic) on the south eastern slopes of the Bohemian Massif (Czech Republic, subsurface data). Austrian Journal of Earth Sciences, Wien, vol. 109, No 2, 262-276.
- Nevlud, P. 2007.** Likvidační výpočet zásob černého uhlí v dobývacích prostorech Dolní Suchá a Petřvald I č. 2/0032 OKD a.s. Dukla – útlum ložiska, stav k 1.1.200. MS archiv Geofond. Praha. – GF FZ007106
- Nevlud, P. 2008.** Doplněk k výpočtu zásob černého uhlí v DP Karviná doly I se stavem k 1.1.2005, hodnotící zásoby na ložisku v hloubkovém vymezení – 1000 m Bpv až -1400 m Bpv se stavem k 1.7.2008. MS archiv Geofond. Praha – GF FZ007057
- Nevlud, P. 2010.** Výpočet zásob hořlavého zemního plynu na ložiscích české části hornoslezské pánve. Stav k 1.1.2010. MS archiv Geofond. Praha – GF FZ007074
- Opletal, V., Geršlová, E., Nehyba, S., Sýkorová, I., Rez, J., 2019.** Geology and Thermal Maturity of Namurian Deposits in the Němčičky Sub-basin as the South-eastern Continuation of the Upper Silesian Coal Basin (Czech Republic). International Journal of Coal Geology. Amsterdam: Elsevier, vol 216, DEC, P. 1-12.
- Pícha, F. J., Stránil, Z., Krejčí, O. 2006.** Geology and hydrocarbon resources of the Outer Western Carpathians and their foreland, Czech Republic. In: Golonka, J., Pícha, F. J. (eds.), The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources: AAPG Memoir 84, 49–175.
- Prokop, I., Strakošová, O. 1967.** Výpočet zásob průzkumného pole Dětmrovice – Petrovice. MS archiv Geofond. Praha – GF FZ004986
- Sívek, M., Kandarachevová, J., Jirásek, J., Hýlová, L., Dopita, M. 2011.** Vývoj litostratigrafického členění české části hornoslezské pánve od roku 1928. — Acta. Mus. Beskyd. 3.

- Strakošová, O. et al. 1981.** Nové pole ČSA – Upřesnění strukturně tektonických, geologických a hydrogeologických poměrů v nově vymezeném dobývacím prostoru dolu ČSA, k. p. Karviná. MS archiv Geofond – GF FZ005836
- Strakošová, O. et al. 1981.** Výpočet zásob Nového Pole ČSA. Surovina – černé uhlí. Etapa – předběžná. MS archiv Geofond. Praha. – GF PO024743
- Suchomelová, T., Cahelová, J., Havelková, V., Kouřil, M., Žákovský, V. 1986.** Zpráva o reflexně – seismickém průzkumu OKR – oblast Dětmárovice – Petrovice. MS archiv Geofond. Praha. GF PO057328
- Švábík, C. et al. 1974.** Řádný výpočet uhelných zásob se stavem k 1.1.1974 OKD Důl Československá armáda, národní podnik v Karviné 2 – doly. MS archiv Geofond. Praha. – GF FZ005255
- Tallat-Kelpšaitė, J., Brückmann, R., Banasiak, J., Kokkonen, S., Szabo, J., Bauknecht, D., Seebach, D., Vogel, M., Potestio, S. & Chevillard, N. 2021.** Technical support for RES policy development and implementation – Simplification of permission and administrative procedures for RES installations (RES Simplify) – Interim Report. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2022.
- Wlosok, J., Jirásek, J., Sivek, M. 2012.** Metodika sestavení mapy mocností autochtonního bádenského pokryvu na území české části hornoslezské a opavské pánve. Geol. Výzk. Mor. Slez. Brno.
- Zedník, J., Růžnek, R., Jedlička, J., Pospíšil, J., Skácelová, Z., Holub, K., Rušajová, J., Nehybka, V. & Boušková, A. 2001.** Earthquakes in the Czech Republic and surrounding regions in 1995 – 1999. *Studia geoph. et geod.* 45 (2001) 267 – 282, Prague.
- Zukalová, V., Chlupáč, I., 1982.** Stratigrafická klasifikace nemetamorfovaného devonu moravskoslezské oblasti. *Časopis pro mineralogii a geologii* 9, 225-247.
- Bloomquist, G. R. (2019): Ph.D.:** Geothermal Space Heating. Washington State University Energy Program, USDoE GeoVision Report, DoE/EE 1306, May 2019.
- Bulletin of located seismic events. Institute of Physics of the Earth, Masaryk University, Brno, Czech Republic. <https://doi.org/10.48790/XPBH-2A76>.
- Cermák, V. (1975):** Temperature-depth profiles in Czechoslovakia and some adjacent areas derived from heat-flow measurements, deep seismic sounding and other geophysical data, *Tectonophysics*, 1975, volume 26, issues 1-2, Pages 103-119.
- Fisher, T., Horálek, J., Hrubcova, P., Vavryčuk, V., Bräuer, K. & Kämpf, H. (2014):** Intra-continental earthquake swarms in West-Bohemia and Vogtland: A review. *Tectonophysics*, 611, 1-27.
- Holub, K., Holečko, J., Rušajová, J. & Dombková, A. (2012):** Long-term development of seismic monitoring networks in the Ostrava-Karviná coal mine district. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 9(2), 115-132.
- Holub, K., Holečko, J., Rušajová, J. & Heroldová, N. (2014):** Proceedings of the 5<sup>th</sup> international colloquium on geomechanics and geophysics, Czech Republic, June 25-27, 2014.
- Holub, K. (2015):** Overview of Deep Coal Mining in the Czech Republic. In: *Energy Science and Technology Series, Volume 2, Coal energy*, Eds.: Sivakumar, S., Sharma, U. and Prasad, R., ISBN 1-62699-063-8, 91-119.

- Oppelt, L., Grab, T., Wunderlich, T., Storch, T. & Fieback, T. (2022):** Mine water geothermal energy – abandoned mines as a green energy source. Conference Paper, Clima 2022, REHVA 14May 2022, 22<sup>nd</sup> - 25<sup>th</sup> May, Rotterdam, The Netherlands, DOI: 10.34641/clima.2022.55
- Picha, F., Stráník, Z. & Krejčí, O. (2006):** Geology and hydrocarbon resources of the Outer Western Carpathians and their foreland, Czech Republic. In: Golonka, J. & Picha, F. (eds.): The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources. AAPG Memoir 84, p. 49 – 175.
- Raos, S., Ilak, P., Rajšl, I., Bilić, T. & Trullenque, G. (2019):** Multiple-Criteria Decision-Making for Assessing the Enhanced Geothermal Systems. *Energies*, 12, 1597; doi:10.3390/en12091597.
- Shebalin, N. V., Leydecker, G., Mokrushina, N. G., Tatevossian, R. E., Erteleva, O. O. & Vassiliev, V. Yu. (1998):** Earthquake catalogue for Central and Southeastern Europe 342 BC – 1990 AD. European Commission, Report to Contract ETNU - CT 93 – 0087, Brussels.
- Shortallet, R., Davidsdottir, B. & Axelsson, G. (2015):** Geothermal energy for sustainable development: A review of sustainability impacts and assessment frameworks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 44, 391–406.
- Sýkorová, Z., Pazdírková, J., Zacherle, P., Vlach, R. & Špaček, P. (2018):** Catalogue of natural earthquakes in the NE Czech Republic IPE-MONET. <https://doi.org/10.48790/2D3W-4X62>.
- Tobyáš, V. (1996):** Induced seismicity by open pit mining in Northwest Bohemia. *Acta Montana, Series A*, 9(100), 159-168.
- Wagner, R. & Clauser, C. (2001):** Berechnung der Entzugsleistung einer Erdwärmesonde – Einfluss von Diffusivität, ihrer Temperaturabhängigkeit und Grundwasserströmung. In: Proc. Workshop Geothermische Response Tests, 25.–26.10. 2001, EPFL, Lausanne / W. Eugster & L. Laloui, p. 89-99.
- Watson, D., Brittenham, T. and Moore, P. (2003).** *Advanced well control*. 1st ed. Richardson, Tex.: Society of Petroleum Engineers.
- Widiatmo, J.S. & Hendrarsakti, J. (2019):** Process control of milk pasteurization using Geothermal brine under Geothermal brine temperature and flow rate disturbance. Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 254 (2019) 012018.