

# ***Executive summary***

-

## ***Lokalita Frenštát***

Objednatel: DIAMO, státní podnik  
odštěpný závod DARKOV  
Stonavská 2179, Doly  
735 06 Karviná

Zhotovitel: GEOtest, a.s  
Šmahova 1244/112  
627 00 Brno

WATRAD, spol. s r.o.  
S.K.Neumanna 1316  
532 00 Pardubice

Brno 3/2022

Výtisk č. ...

Název	FS – Executive summary – Lokalita Frenštát
Objednatel	DIAMO, státní podnik odštěpný závod DARKOV Stonavská 2179, Doly 735 06 Karviná
Důvěrnost informací, autorská práva a reprodukce:	
Č.:	
Název souboru	<i>FS_executive_summary_Frenstat_opr.docx</i>
Číslo zprávy	01
Stav zpracování	Finální verze
Zhotovitel	GEOtest, a.s Šmahova 1244/112 627 00 Brno  WATRAD, spol. s r.o. S.K.Neumanna 1316 532 07 Pardubice

	Jméno	Podpis	Datum
Zpracoval	Mgr. Michal Vaněček, EurGeol Mgr. Petr Novák, EurGeol Mgr. Jana Michálková Ing. Dana Vágnerová Prof. Ing. Mirko Vaněček, DrSc. Mgr. Hana Semíková Mgr. Jarmila Skálová Mgr. Zdeněk Železný		
Schválil	Mgr. Michal Vaněček		

### Rozdělovník

Výtisk č.	Držitel	Formát
1-6	Objednatel/investor	Digitální a tištěná verze
7	GEOtest, a.s.	Digitální a tištěná verze (firemní archiv)
8	Watrad, spol. s r.o.	Digitální a tištěná verze (firemní archiv)

## Obsah

Seznam obrázků.....	4
Seznam tabulek.....	4
Použité zkratky.....	5
1. Úvod.....	6
2. Technologie a technické řešení využívání potenciálu geotermální energie.....	6
2.1 Technologie pro využívání tepelného potenciálu důlních vod.....	6
2.2 Zařízení a projekty ve světě.....	9
3. Popis důlních děl a úroveň TPL.....	11
4. Zhodnocení hg. problematiky v zájmovém území pro potřeby geotermální energie.....	12
5. Bilance potenciálu geotermální energie.....	12
6. Návrh technického řešení pro zájmové lokality resp. oblasti.....	14
6.1 Návrh technického řešení pro zájmové lokality.....	14
6.1.1 Uzavřený okruh – výměník typu „U“.....	14
6.1.2 Otevřený okruh s reinjektáží s využitím dvou jam.....	16
7. Stanovení základních požadavků na povrchové objekty.....	18
8. Zhodnocení možností využití tepelné energie on-site a off-site.....	18
9. Dopad projektu na životní prostředí.....	19
10. Finanční plán a analýza projektů pro zájmové lokality resp. oblasti.....	21
11. Hodnocení efektivity a udržitelnosti projektu.....	24
11.1 Hodnocení ekonomické efektivity projektu.....	26
12. Analýza a řízení rizik (citlivostní analýza).....	26
13. Závěrečné shrnující hodnocení projektu.....	28
14. Reference.....	28

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Geotermální systém s otevřeným okruhem a vypouštěním mimo systém - do vodoteče (vlevo) a reinjektáží do důlního díla (vpravo), V – výměník nebo tepelné čerpadlo, upraveno podle [6].	8
Obrázek 2 Systémy s uzavřeným okruhem, vlevo výměník umístěný v jámě, vpravo výměník umístěný v odkalovací nádrži na povrchu, V – výměník nebo tepelné čerpadlo, upraveno podle [6].	8
Obrázek 3 Přehled geotermálního využití důlních vod v Evropě (vlevo) a Severní Americe (vpravo) - v provozu O, vyřazené z provozu $\diamond$ , ve výstavbě/plánování/studie $\Delta$ , podle [4].	9
Obrázek 4 Významné těžební oblasti a instalace využívající teplo důlních vod v Sasku [12].	10
Obrázek 5 Schéma instalace geotermálního systému pro vytápění zámku Freudenstein (Freiberg) [13].	10
Obrázek 6 Technické schéma řešení instalace s výměníkem typu U (uzavřený okruh) instalovaným do jámy v průběhu její likvidace.	15
Obrázek 7 Technické schéma otevřeného systému s reinjektáží využívajícího dva čerpací vrty pro extrakci teplých důlních vod a dva vtláčecí vrty pro jejich reinjektáž po jejich ochlazení.	17
Obrázek 8 Vymezení ekonomického dosahu zdroje tepla kolem jam F4 a F5 na lokalitě Frenštát (modrá linie 100 m, červená linie 250 m).	19
Obrázek 9 Vývoj konečného zůstatku finančních prostředků v průběhu realizace projektu (UO – systém s uzavřeným okruhem, OOR - systém s otevřeným okruhem a reinjektáží)	24

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Výhody a nevýhody jednotlivých variant přístupu k důlním vodám [5].	6
Tabulka 2 Tepelný potenciál instalace a výkon tepelného čerpadla pro jednotlivé lokality karvinské dílčí pánve při instalaci zdvojeného výměníku typu U do jámy při její likvidaci.	13
Tabulka 3 Tepelný potenciál instalace a výkon tepelného čerpadla pro jednotlivé lokality karvinské dílčí pánve při instalaci výměníku do nejhlubšího patra před likvidací jámy.	13
Tabulka 4 Stanovení objemu pracovní části důlního díla pro stanovení tepelného výkonu systému s otevřeným okruhem s reinjektáží na lokalitě Frenštát.	14
Tabulka 5 Optimalizace čerpaného množství pro dobu setrvání důlních vod v díle $t=90$ dní a stanovení tepelného potenciálu a výkonu tepelného čerpadla pro instalaci tepelného čerpadla s otevřeným okruhem a reinjektáží na lokalitě Frenštát.	14
Tabulka 6 Kontrolní stanovení tepelného potenciálu instalace s otevřeným okruhem a reinjektáží na lokalitě Frenštát.	14
Tabulka 49 Porovnání požadavku na odběr tepla a výkonu instalace na lokalitě Frenštát, *kvalifikovaný odhad na základě zastavěné plochy podle [16].	19
Tabulka 8 Odborný investiční odhad pro systém s uzavřeným okruhem (UO) a charakteristiky instalace na lokalitě Frenštát.	22
Tabulka 10 Cash Flow (výkaz peněžních toků) projektu - UO Frenštát.	23
Tabulka 9 Odborný investiční odhad pro systém s otevřeným okruhem s reinjektáží a charakteristiky instalace s otevřeným okruhem s reinjektáží – Frenštát.	23
Tabulka 11 Cash Flow (výkaz peněžních toků) projektu - OOR Frenštát.	24

Tabulka 12 SWOT analýza projektu systému s otevřeným okruhem a reinjektáží na lokalitě Frenštát..... 25

## Použité zkratky

B.p.v.	Balt po vyrovnání
EPA	Environmental Protection Agency
HG	Hydrogeologický/á
OBÚ	Obvodní báňský úřad
TČ	Tepelné čerpadlo
TPL	Technický plán likvidace
TUV	Teplá užitková voda

## 1. Úvod

Důlní díla ostravsko-karvinského regionu představují či budou v budoucnosti představovat významné nízkoteplotní geotermální reservoáry. Studie [1] odhadla minimální tepelný potenciál důlních vod v ostravsko-karvinském regionu na 50 GWh. Téma využití geotermálního potenciálu důlních vod bylo v poslední době rovněž řešeno v rámci přeshraničního česko-saského projektu VODAMIN II [2]. Toto shrnutí má za cíl nejen uvedený odhad zpřesnit, ale zejména zvážením konkretizovaných technologických řešení pro vybrané lokality regionu posoudit technickou a ekonomickou proveditelnost využití geotermálního potenciálu důlních vod na lokalitě Frenštát.

Využití důlních vod jako zdroje tepelné energie doposud naráželo na relativní novost této koncepce. V roce 2014 dokumentovala americká EPA (Environmental Protection Agency) přibližně 20 projektů geotermálních tepelných čerpadel provozovaných s využitím důlní vody [3]. Souhrn [4] provedený v roce 2021 dokumentuje 42 projektů. Při takto malém počtu etablovaných projektů byl rozvoj dalších, zejména v prostředí konzervativních a řadou socioekonomických potíží sužovaných, hornických regionů velmi pomalý. V druhé polovině 20. let 21. století, spolu se silícím tlakem na dekarbonizaci zdrojů energie i celé ekonomiky, geopolitickými změnami a růstem cen energií, jsou téměř současně rozvíjeny výzkumné, demonstrační i komerční projekty v řadě zemí.

## 2. Technologie a technické řešení využívání potenciálu geotermální energie

### 2.1 Technologie pro využívání tepelného potenciálu důlních vod

Pro využití tepla důlních vod je nezbytné:

1. zabezpečit přístup k důlním vodám (jako zdroji tepla),
2. převést tepelnou energii důlních vod na tepelnou energii topného média (tj. ohřát topné médium na požadovanou teplotu),
3. přivést teplo ke spotřebiteli.

Prvním předpokladem využití geotermálního potenciálu důlních vod je zabezpečení přístupu k důlní vodě, jako teplotněmu médiu v odpovídajícím množství a teplotě. Přístup k důlní vodě lze realizovat třemi hlavními cestami:

- vrtáním do důlních děl,
- původními důlními šachtami a
- z výtoků a čistíren důlních vod.

Výhody a nevýhody jednotlivých variant přístupu k důlním vodám shrnuje Tabulka 1.

*Tabulka 1 Výhody a nevýhody jednotlivých variant přístupu k důlním vodám [5].*

Způsob přístupu	Popis	Výhody a nevýhody
Navrtání důlních děl	Přístup k důlním vodám obvykle zahrnuje vyvrtání 2–3 vrtů. Proces začíná buď pilotními nebo průzkumnými vrty. Pokud se podaří cílový rezervoár důlní vody zastihnout, je možné na základě stanovení hydraulických parametrů systému a teploty prostředí, kalkulovat technickou i ekonomickou udržitelnost projektu.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umožňuje přístup k teplu v blízkosti místa odběru.</li> <li>• Vyšší cena instalace (v závislosti na hloubce).</li> <li>• Vyšší riziko, posouzení ekonomické udržitelnosti projektu vyžaduje realizaci vrtu.</li> </ul>

Způsob přístupu	Popis	Výhody a nevýhody
Jáma nebo šachta	Přístup k důlním vodám je realizován přes jámy nebo šachty. Lze s výhodou provést pouze do likvidace důlních děl. Po provedení likvidace lze teoreticky některé znovu otevřít, takový postup ale bude pravděpodobně velmi nákladný.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pokud jsou poloha i stav jámy nebo šachet vhodné, lze očekávat nižší náklady (snazší přístup) a nižší riziko, než schémata založená na vrtech.</li> <li>• Jámy a šachty nemusí být umístěny v blízkosti spotřebitele.</li> <li>• Po likvidaci v podstatě nepoužitelné.</li> </ul>
Výtoky a čistírny důlních vod	Výtoky z důlních děl (čištěné i nečištěné) představují stabilní zdroj vody o konstantní teplotě. Teplo, které je možné využít je v současnosti bez využití vypouštěno do okolního prostředí.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Varianta s nejnižšími náklady, protože teplo je dostupné přímo na výtok.</li> <li>• Omezený počet lokalit.</li> <li>• Výtoky nemusí být umístěny v blízkosti spotřebitele.</li> </ul>

Systémy, které využívají otevřený okruh odebírají teplou důlní vodu z prostředí a po ochlazení ji vrací zpět do systému nebo mimo něj (Obrázek 1). Výhodou otevřených systémů je jejich relativně snadná škálovatelnost. Navýšení výkonu může být relativně snadno provedeno přidáním dodatečné kapacity pro tepelnou výměnu (navýšení čerpaného množství důlních vod). Množství tepla, které lze odebírat, je limitováno objemem odebírané důlní vody a rozdílem teplot na vstupu a výstupu z výměníku. Nevýhodou je zejména riziko zanášení technologie sraženinami [6], [7], [8] a komplikace spojené s čištěním a likvidací využitě důlní vody.

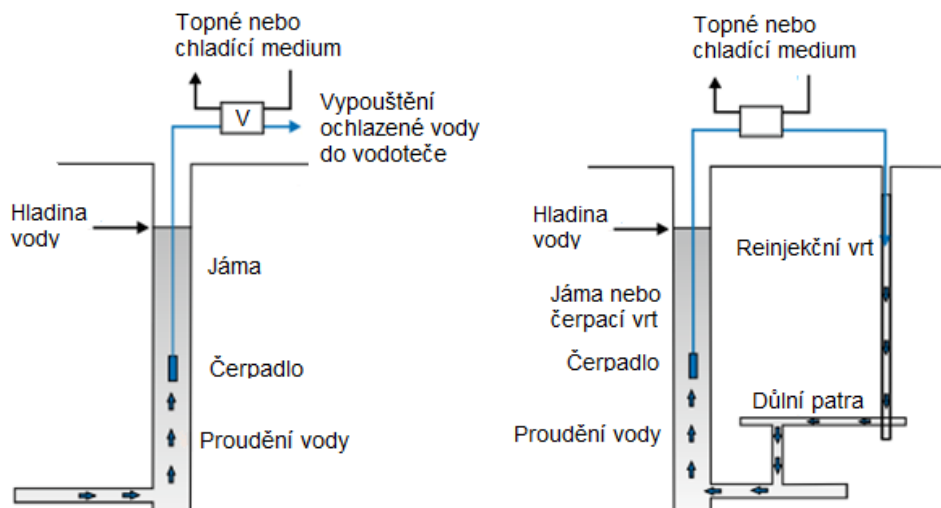
Nejvhodnější se proto jeví použití otevřených systémů v lokalitách, kde důlní vody:

- jsou již čerpány (např. z důvodu udržování stanovené hladiny podzemní vody) a před vypuštěním do životního prostředí čištěny (tj. nevznikají žádné dodatečné náklady na čerpání nebo čištění) nebo
- mají dostatečnou kvalitu, aby mohly být přímo vypouštěny do povrchových vod nebo
- mají redukční charakter a nejsou v nich přítomné oxidované okrové a jiné částice, které komplikují reinjektáž [6].

V případě otevřeného okruhu s vypouštěním ochlazených vod mimo systém (Obrázek 1, vlevo) se důlní voda odebírá ze zatopeného dolu šachtou nebo vrty a prochází přímo tepelným čerpadlem nebo výměníkem tepla spojeným s tepelným čerpadlem. Po tepelné výměně jsou důlní vody odváděny do povrchových vod. Tento typ instalace je používán, pokud je kvalita vody relativně dobrá a nevyžaduje úpravu nebo na vstupu do čistírny důlních vod.

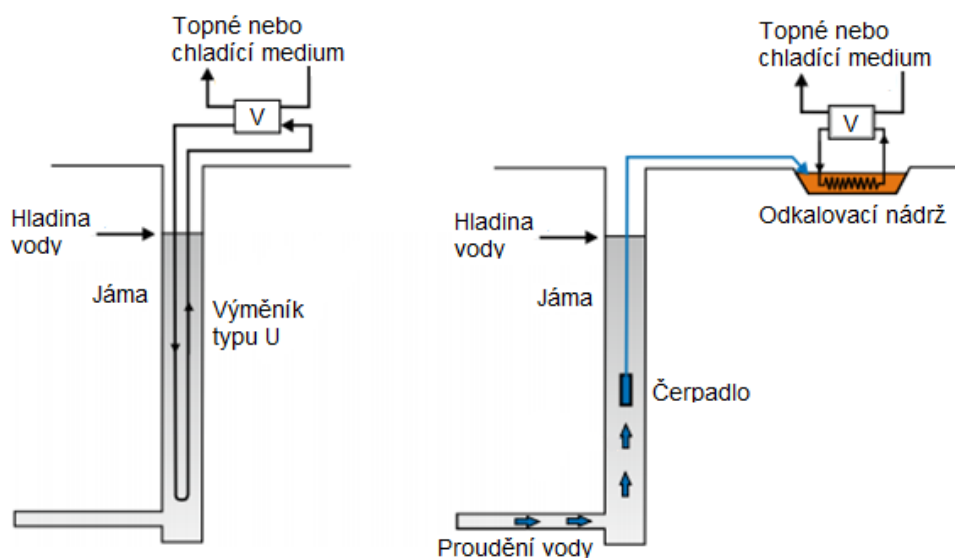
Není-li možné nebo vhodné důlní vody vypouštět nebo čistit, lze vodu po tepelné výměně reinjektovat zpět do důlního díla (Obrázek 1, vpravo), popřípadě jiné zvodně. Výhodou tohoto přístupu je omezení poklesu hladiny podzemní vody a tím i minimalizace vlivu provozu na zdroje podzemní vody, lázeňské zdroje apod. Současně nevznikají náklady na čištění důlních vod. Náklady na likvidaci sraženin z důlních vod budou také výrazně nižší, než v případě čištění důlních vod a jejich vypouštění do povrchových vod. Zvýšené náklady naopak často představují injektážní vrty.

Největším rizikem této koncepce je možnost hydraulického zkratu mezi odběrovým místem a místem reinjektáže. V případě příliš rychlého pohybu vod mezi těmito místy (např. v důsledku existence preferenčních cest nebo příliš velkého hydraulického spádu) může docházet k ochlazení důlních vod ve zdrojové oblasti a tím poklesu výkonu zdroje [6].



Obrázek 1 Geotermální systém s otevřeným okruhem a vypouštěním mimo systém - do vodoteče (vlevo) a reinjektáží do důlního díla (vpravo), V – výměník nebo tepelné čerpadlo, upraveno podle [6].

V systémech s uzavřeným okruhem (Obrázek 2) neprochází teplá důlní voda výměníkem, ale kovový nebo plastový výměník je umístěn do ní. Důlní voda proto není obvykle čerpána ani jinak odváděna. Tepelná výměna může probíhat v zatopeném důlním díle nebo v laguně na úpravu důlních vod.



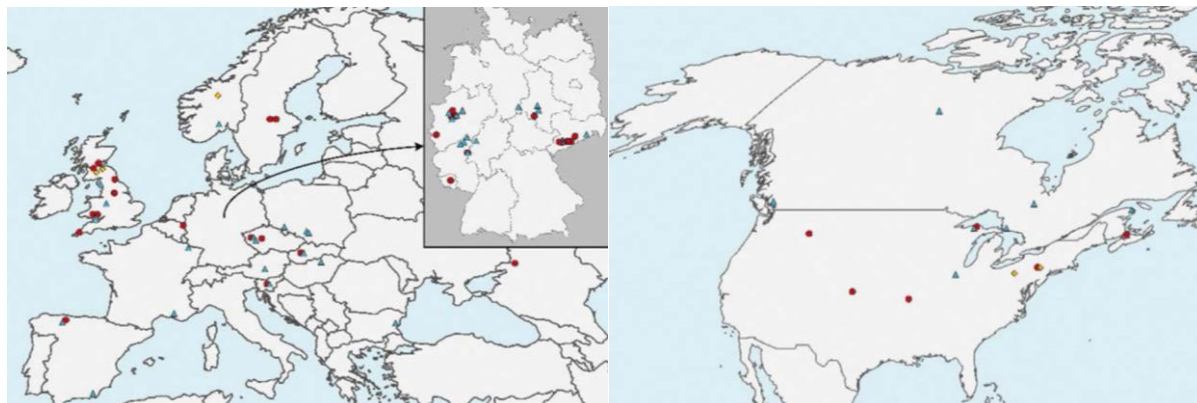
Obrázek 2 Systémy s uzavřeným okruhem, vlevo výměník umístěný v jámě, vpravo výměník umístěný v odkalovací nádrži na povrchu, V – výměník nebo tepelné čerpadlo, upraveno podle [6].

Hlavní výhodou uzavřeného systému je, že nepracuje přímo s důlní vodou, což eliminuje problémy spojené s chemismem a čištěním. Na druhou stranu nejsou ze stejného důvodu důlní vody v rámci systému obvykle mobilizovány čerpáním a k jejich ohřívání okolním horninovým prostředím dochází pomaleji kondukcí a přirozenou tepelnou konvekcí vody v důlním prostoru. Tepelný výnos systémů s uzavřenou smyčkou je tak často nižší než u systémů s otevřenou smyčkou. Současně mají uzavřené systémy pouze omezenou škálovatelnost, která sice může být teoreticky navyšována přidáním dalších výměníků, ty však musí být umístěny tak, aby neovlivňovaly funkci stávajících.



## 2.2 Zařízení a projekty ve světě

Podle [4] představuje 42 v současnosti (2021) provozovaných geotermálních tepláren využívajících důlní vody celkový topný výkon přibližně 195 MW a chladicí výkon 2,5 MW. I přes trend realizace velkých projektů, má většina stávajících projektů kapacitu nižší než 200 kW. Dominantním zdrojem důlních vod jsou přitom opuštěné uhelné doły.



Obrázek 3 Přehled geotermálního využití důlních vod v Evropě (vlevo) a Severní Americe (vpravo) - v provozu O, vyřazené z provozu  $\diamond$ , ve výstavbě/plánování/studie  $\Delta$ , podle [4].

V České republice je tepelné čerpadlo od roku 2006 instalováno na vodní jámě Jeremenko v Ostravě, která slouží jako centrální čerpací stanice důlních vod v ostravské uhelné pánvi [93]. Teplota důlní vody se zde uvádí 26–29 °C. Přibližně od roku 2006 se tepelná čerpadla používají k vytápění administrativních budov a koupelen zaměstnanců na teplotu kolem 55 °C.

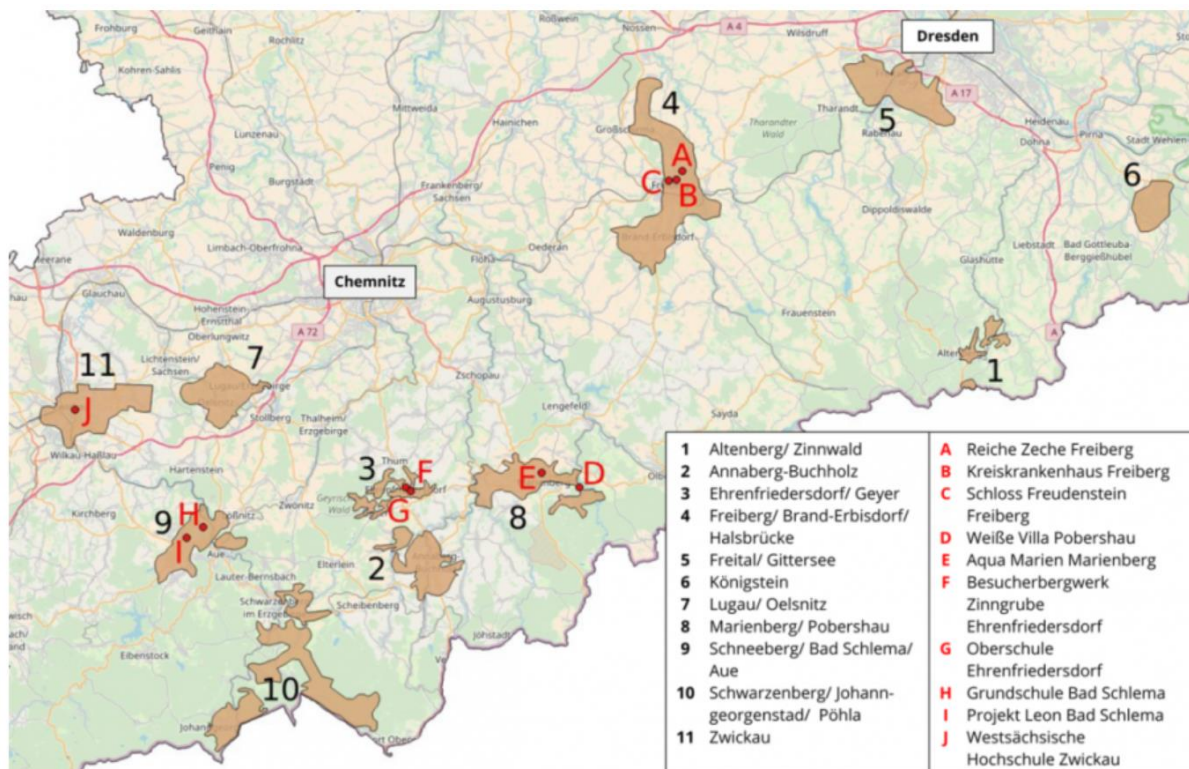
Celkový energetický potenciál čerpané důlní vody je značný (v současnosti cca 170 l/s). Pro výrobu TUV byl v roce 2006 využíván pouze zlomek:

- celkové množství čerpaných důlních vod (07/2006) 415 849 m<sup>3</sup>,
- množství důlních vod využitých v primárním výměníku (07/2006) 12 167 m<sup>3</sup>,
- procento využití čerpaných vod 2,93 %.

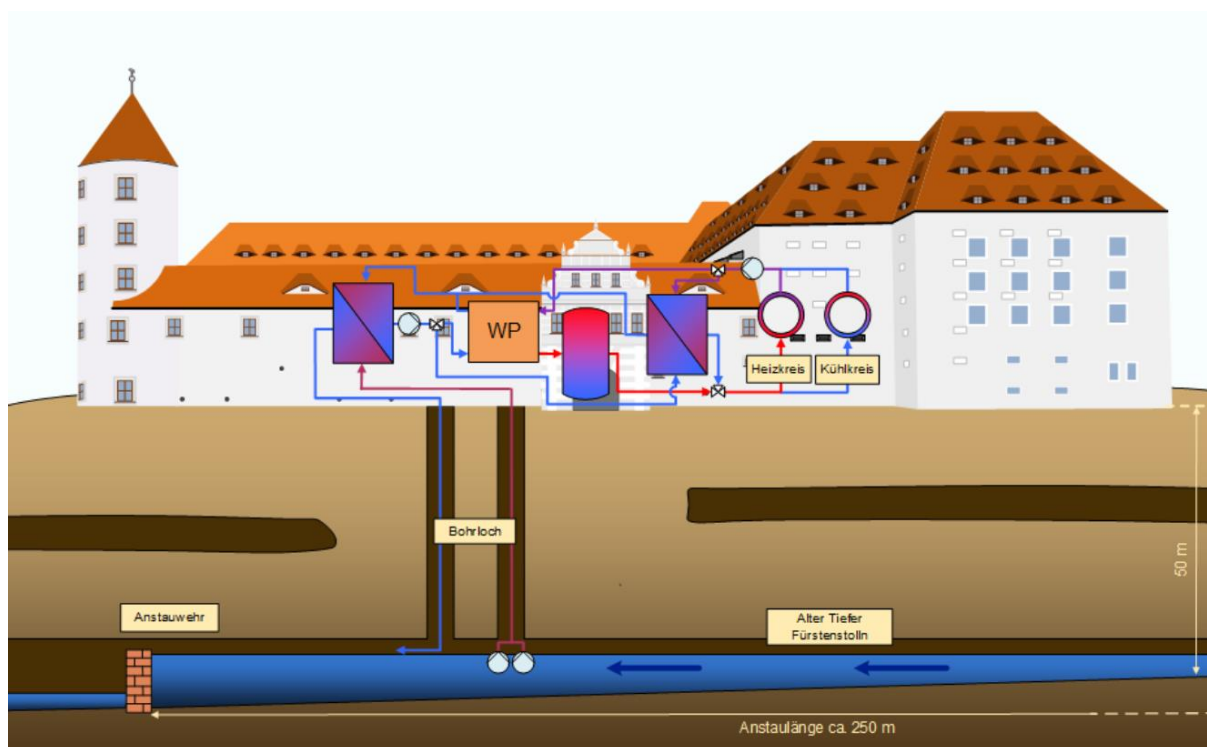
Průchodem přes primární výměník dochází k ochlazení důlní vody o méně než 1 °C, což zakládá možnost dalšího tandemového využití.

Zpráva [9] a [1] uvádí, že malá instalace tepelného čerpadla byla provozována také na dole Svornost v Jáchymově v Krušných Horách [9],[1], který má historii balneologického využití. Studie provedená v rámci projektu VODAMIN II [2] dále zmiňuje instalace tepelných čerpadel provozované na přelomu osmdesátých a devadesátých let minulého století v Příbrami (šachta Prokop) s topným výkonem 500 kW zajišťujícím vytápění školy a Mariánských Lázních (Hachov – Planá) s topným výkonem dokonce 550 kW pro vytápění povrchových provozů dolů [4], [10].

V sousedním Německu byla jedna z prvních tepláren využívajících důlní vody uvedena do provozu v Essenu již v roce 1984, kde sloužila k vytápění domova pro seniory. Z aktuálně 18 provozovaných projektů se 10 nachází v Krušných horách ve spolkové zemi Sasko (východní Německo) [11] (viz Obrázek 4). Typickým příkladem je systém instalovaný na zámku Freudenstein v saském Freibergu (Obrázek 5).



Obrázek 4 Významné těžební oblasti a instalace využívající teplo důlních vod v Sasku [12].



Obrázek 5 Schéma instalace geotermálního systému pro vytápění zámku Freudenstein (Freiberg) [13].

### 3. Popis důlních děl a úroveň TPL

Základní řešení koncepce otvírky ložiska vycházelo z „Koncepční studie výstavby Dolu Frenštát – Trojanovice“ z roku 1980, která byla v průběhu dalších let upřesňována vlivem vyjasňování vnitřních i vnějších vazeb výstavby dolu. V roce 1987 byly zahájeny práce v lokalitě budoucího těžebního centra Frenštát - sever. Výstavba dolu probíhala v intencích základní koncepce až do konce roku 1991. V tomto roce bylo vzhledem k makroekonomickým změnám hospodářství státu rozhodnuto nadřazeným orgánem utlumit výstavbu dolu a od roku 1992 začít s přechodem na zajišťovací režim.

Otvírka ložiska byla navržena v rozsahu větrných oblastí závodů Západ a Sever vertikálně po úroveň -600 m. Ložisko bylo otevřeno dvojicí centrálně situovaných jam na závodě Frenštát - západ a následně mělo být otevřeno výstavbou jedné jámy na závodě Frenštát - sever. Oba závody měly být vzájemně propojeny v dole společným patrem -605 m B.p.v. (-590 m na závodě Západ) a spojovacím překopem délky cca 3,5 km (těžní patro), který měl zajistit odbavení surové těžby a hlušiny, protisměrně pak dopravu materiálu a základky. Výdušné patro je založené na kótě -442 m B.p.v. a pro eliminaci rizik je zachována možnost založení pomocného horizontu na kótě -501 m B.p.v.

Od 7. měsíce 1982 započaly práce na zaústění jámy č. 4. Jáma je vyhloubená z kóty +455,0 m B.p.v. na kótu -448,0 m. V úseku od st. 280 m do konce jámy je provedeno zesílení jámového zdiva. Toto muselo být realizováno po devastaci jámy, k níž došlo v důsledku anomálního geomechanického jevu dne 15.11.1989.

Práce na hloubení jámy č. 5 byly zahájeny dne 1.3.1983. Od 4. měsíce 1988 byly prováděny důlně stavební práce na objektu náraží na kótě -442 m B.p.v. a části větrního spojení k jámě č. 4. Od 2. měsíce 1989 byly prováděny práce na nárazišti -501 m B.p.v. Na -590 m B.p.v. bylo realizováno náraziště 1. těžního patra a větrní spojení směrem k jámě č. 4. Jáma byla vyhloubena do konečné hloubky 1088,1 m z kóty +457,6 m B.p.v. na kótu -630,5 m B.p.v.

V současné době (únor 2022) je lokalita Frenštát provozována v konzervačním režimu systémem tzv. „suché konzervace“ (tzn. zabezpečení trvalého větrání dolu, čerpání přítokových vod, prohlídky a údržby jam a obslužných provozů). Tento způsob zajištění důlních děl byl do 31.12.2003 povolen rozhodnutím OBU v Ostravě zn. 6533/1994-511 – Ing.Tf/MI ze dne 13.12.1994 a rozhodnutím OBU v Ostravě zn. 5509/2003-511/16/Ing.Ha/An ze dne 12.8.2003 byl tento režim zajištění důlních děl prodloužen bez omezení [14].

Na základě zápisu č. 05/2021 z jednání porady vedení státního podniku DIAMO konaného dne 9.2.2021 v návaznosti na plnění usnesení vlády ČR č. 949 ze dne 21. září 2020 došlo k rozhodnutí o provedení technické likvidace Dolu Frenštát, jámy č. 4 a jámy č. 5, hlavních důlních děl a děl do nich ústících v dobývacím prostoru Trojanovice v souladu se zpracovaným plánem likvidace. TPL pro lokalitu Frenštát byl zpracován v roce 2021 [14].

Jáma č. 4 a jáma č. 5 budou likvidovány nezpevněným zásypovým materiálem. Technická likvidace vtažné jámy č. 5 a výdušné jámy č. 4 v dobývacím prostoru Trojanovice, DIAMO, státní podnik, odštěpný závod DARKOV, lokalita Frenštát je podrobně řešena v dokumentaci: „Technický projekt likvidace hlavních důlních děl Dolu Frenštát“ (jam F4 a F5 lokality Frenštát - Západ a důlních děl do nich ústících), která je zpracována na základě vyhlášky ČBÚ č. 52/1997 Sb. a na základě zákona č. 44/1988 Sb., zákona č. 61/1988 Sb. a vyhlášky č. 104/1989 Sb. a která je součástí podání žádosti o povolení hornické činnosti.

Likvidace větrního spojení jam č. 4 a č. 5 na -442m a předrážka větrního spojení jámy č. 5 na -590m bude provedena odpisem. Opěrné hráze nebudou realizovány.

## 4. Zhodnocení hg. problematiky v zájmovém území pro potřeby geotermální energie

Poznatky získané v průběhu z hloubení jámy F5 velmi dobře odpovídají hydrogeologickým informacím z průzkumného vrtu NP-800, který byl odvrtán v těsné blízkosti jámy. Shodují se přítoky z kolektorů slezského příkrovu z hloubky kolem -330 m n.m. a -490 m n.m. a také absence přítoků z kontaktu pokryvu a karbonu (karpat, zvětralinový plášť karbonu) se shoduje.

Informace z hloubení jámy F4 konstatují nulový přítok podzemní vody z úrovně bezprostředního nadloží karbonu, tedy z kolektoru č. 1, který je i ve vrtu NP-800 rovněž bez přítoku. Ve zprávě hodnotící průzkum (Dvorský; 2002) se uvádí, že byl registrován slabý přítok, který nezpůsobil při hloubení žádné komplikace a přitékající voda byla odtěžena s horninou, rozvolněnou při hloubení. Při kontrolní prohlídce se nejvýrazněji projevoval přítok z úrovně karpátu (hloubka 870 – 900 m), a to v jámě F4. Jedná se o kolektor č. 4.

Protože zejména jáma F4 komunikuje s kolektorem č. 2, budou se jámy po ukončení čerpání vody během jejich likvidace zatápět až na úroveň ustálené hladiny této struktury, tj. do hloubky cca 15 m pod terénem. Znamená to, že celý objem nezpevněného zásypu, plánovaného od hloubky 30 m pod ohlubní, bude finálně nasycen vodou.

Tím, že s jámou průkazně komunikuje kolektor č. 2, který vykazuje nejvyšší napjatost ze všech dokumentovaných předkvartérních zvodní, je řešení případného průniku vody z ostatních předkvartérních zvodní bezvýznamné. Pouze v případě vyšší propustnosti některé ze struktur s nižší napjatostí, bylo by možno uvažovat o drenážním efektu této struktury pro kolektor č. 2, s následnou nižší úrovní ustálení hladiny vody v zásypu (podle napjatosti nejpropustnějšího z kolektorů).

Jak plyne z výsledků hydrodynamických zkoušek ve vrtu NP-800, rozdíly v propustnosti kolektorů jsou minimální, přičemž jejich hydraulická vodivost je obecně velmi nízká. Kalkulovat s drenáží vody z jednoho kolektoru do druhého prostřednictvím stvolu jámy je za těchto podmínek výrazně spekulativní.

Na základě posouzení situace v hodnoceném území autor odpovídá na otázky v zadání úkolu:

- Do jaké hloubky pod úroveň terénu vystoupí hladina vody z předkvartérních zvodní v jamách Dolu Frenštát po jejich zasypání? Maximálně 15 m pod úroveň terénu.
- Bude při zasypávání jam F4 a F5 docházet k výstupu (vytlačování) důlní vody na úroveň povrchu terénu? NE.
- Ovlivní zasypání jam vodu v prvním zvodněném kolektoru? Krátkodobě (během likvidace lokality) NE, v dlouhodobém časovém výhledu NELZE VYLOUČIT. Tento faktor ale není možno reálně eliminovat preventivně, již v rámci přípravy a postupu likvidace jam.

## 5. Bilance potenciálu geotermální energie

Lokalita Frenštát nebyla nikdy těžena, rozfárání je proto minimální, čemuž odpovídají i relativně malé přítoky na úrovni 0,5 l/s. Na druhou stranu právě absence rozfárání umožňuje poměrně rychlé zatopení důlních děl, v řádu let (cca 10 let podle [15]). Na lokalitě Frenštát tak lze uvažovat tři varianty využívání tepelného potenciálu:

- uzavřený okruh s výměníkem typu U umístěný do jámy při likvidaci,
- uzavřený okruh spojující obě jámy s instalací výměníku do spojovacího překopu a
- otevřený okruh s reinjektáží čerpáním důlních vod z jedné jámy a návratem ochlazených vod do druhé.

Pro instalaci výměníku typu U do jámy byla uvažována hloubka jámy 1 088 m a provoz dvou výměníků současně. Instalace uzavřeného okruhu spojujícího obě jámy potom vychází

z délky pracovního úseku výměníku v jámách 890 m (hloubka překopu) a 384 m v překopu (trojnásobek délky překopu). Výpočet byl proveden opět pro stávající stav, stav +5, +10 let a po úplném zatopení. Předpokládaná doba zatopení byla uvažována 10 let [15]. Hladina důlních vod v mezidobí byla interpolována. Výsledné hodnoty ukazují

Tabulka 2 a Tabulka 3.

Z porovnání obou tabulek plyne, že obě varianty jsou, co do tepelného potenciálu instalace i výkonu tepelného čerpadla rovnocenné. Varianta propojení obou jam s sebou nicméně nese technické potíže spočívající zejména v teplotně indukovaných pohybech přenášených na spoj vertikální a horizontální části instalace a riziko poškození horizontální části v důsledku kolapsu překopu. Výměník typu U se tak jeví jako vhodnější varianta.

*Tabulka 2 Tepelný potenciál instalace a výkon tepelného čerpadla pro jednotlivé lokality karvinské dílčí pánve při instalaci zdvojeného výměníku typu U do jámy při její likvidaci.*

Výměník typu U				
Období	nyní	+ 5 let	+ 10 let	po zatopení
Lokalita	Frenštát			
Jáma	F5			
Tepelný potenciál instalace [kW]	119	134	137	137
Výkon TČ [kW]	167	187	191	191
Spotřeba elektřiny [kW]	48	54	55	55

*Tabulka 3 Tepelný potenciál instalace a výkon tepelného čerpadla pro jednotlivé lokality karvinské dílčí pánve při instalaci výměníku do nejhlubšího patra před likvidací jámy.*

Výměník umístěný na patře				
Období	nyní	+ 5 let	+ 10 let	po zatopení
Lokalita	Frenštát			
Jáma	F5			
Tepelný potenciál instalace [kW]	110	125	132	132
Výkon TČ [kW]	154	175	185	185
Spotřeba elektřiny [kW]	44	50	53	53

Vzhledem k předpokladu rychlého nastoupání důlních vod na zájmové lokalitě, a to až do úrovně 15 m pod úroveň terénu, lze uvážit také využití instalace s otevřeným okruhem. Minimální přítoky do díla (maximálně 0,5 l/s [15]) v podstatě vylučují variantu s vypouštěním mimo systém. Poměrně velká statická zásoba důlních vod v díle nicméně evokuje možnost využití otevřeného okruhu s reinjektáží. V této variantě by byla důlní voda čerpána z relativně malých hloubek (cca 50 m) a po odebrání tepla vypouštěna do druhé jámy. Výhodou této varianty jsou poměrně nízké investiční i provozní náklady.

Čerpané množství musí být optimalizováno tak, aby doba setrvání důlní vody v díle byla dostatečná pro kompenzaci odběru tepla.

Stanovení objemu pracovní části důlního díla ukazuje Tabulka 4. Jako referenční doba setrvání byla stanovena doba 90 dní. Porozita zásypového materiálu byla použita 100 % (volná jáma bez zásypu), 20 %, 10 % a 5 %.

Optimalizované čerpané množství pro jednotlivé porozity a získaný tepelný potenciál instalace i příslušný výkon tepelného čerpadla ukazuje Tabulka 5. Pro ověření stanoveného tepelného potenciálu byla zvolena alternativní empirická metoda (Tabulka 6). Porovnání obou výpočtů velmi dobře koreluje.

**Tabulka 4 Stanovení objemu pracovní části důlního díla pro stanovení tepelného výkonu systému s otevřeným okruhem s reinjektáží na lokalitě Frenštát.**

Úsek	Délka úseku [m]	Průměr [m]	Plocha [m <sup>2</sup> ]	Volný objem [m <sup>3</sup> ]
F4	599	7.5	44.2	26,450
F4	276	8.5	56.7	15,654
překop	128	2.0	4.4	563
F5	855	8.5	56.7	48,492
celkem	1,858			91,159

**Tabulka 5 Optimalizace čerpaného množství pro dobu setrvání důlních vod v díle  $t=90$  dní a stanovení tepelného potenciálu a výkonu tepelného čerpadla pro instalaci tepelného čerpadla s otevřeným okruhem a reinjektáží na lokalitě Frenštát.**

	Čerpané množství [l/s]			
	Volný objem	20%	10%	5%
	11.7	2.4	1.2	0.7
Model				
Tepelný potenciál instalace [kW]	244	50	26	14
Výkon TČ [kW]	342	70	36	19
Spotřeba elektřiny [kW]	98	20	10	5

**Tabulka 6 Kontrolní stanovení tepelného potenciálu instalace s otevřeným okruhem a reinjektáží na lokalitě Frenštát.**

Tepelný potenciál instalace [W/m]	120
Délka úseku	1,858
Tepelný potenciál instalace [kW]	223

Z porovnání čerpaných množství pro jednotlivé porozity zásypového materiálu (Tabulka 5) plyne, že systém s otevřeným okruhem a reinjektáží je na lokalitě Frenštát realizovatelný pouze v případě, že by byla ponechána v mokré konzervaci bez zásypu.

## 6. Návrh technického řešení pro zájmové lokality resp. oblasti

### 6.1 Návrh technického řešení pro zájmové lokality

#### 6.1.1 Uzavřený okruh – výměník typu „U“

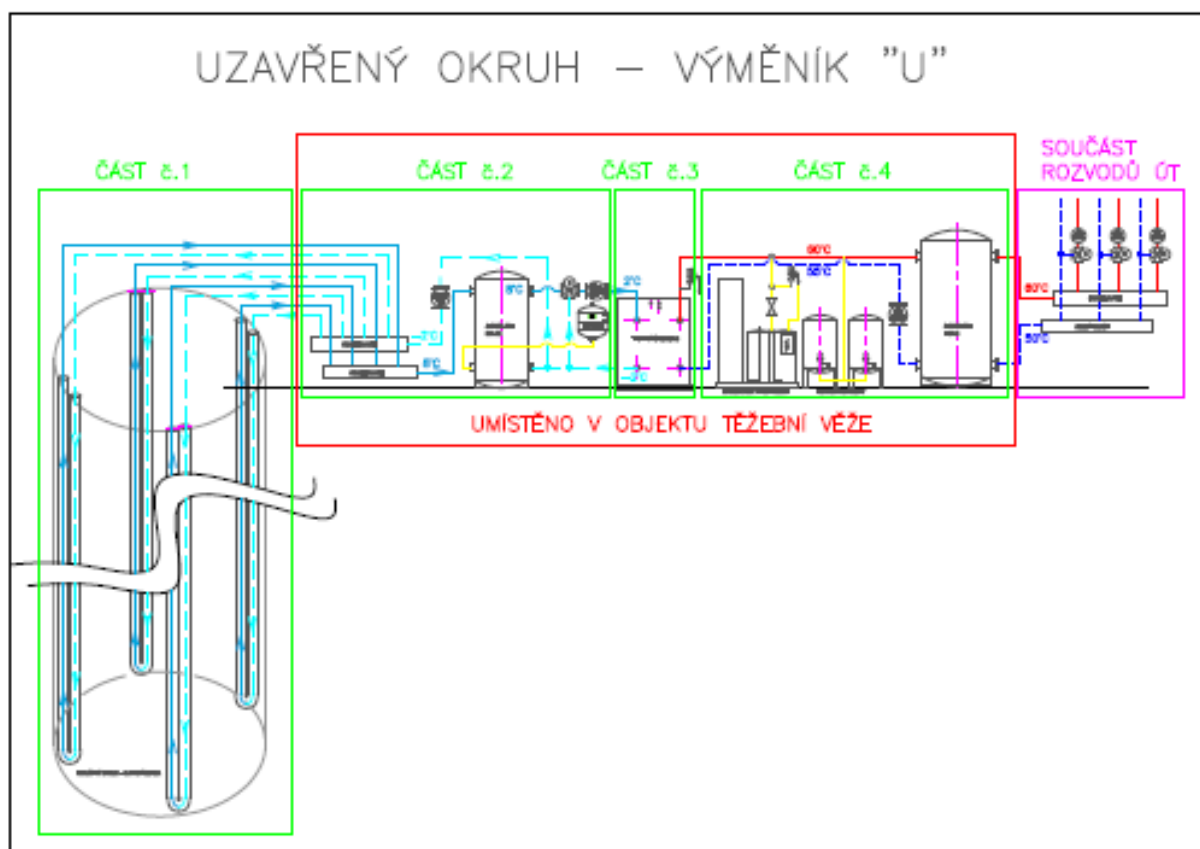
Řešení s uzavřeným výměníkem typu „U“ (Obrázek 6) je realizovatelné na všech dotčených lokalitách tj.: Frenštát – Jáma F5; Staříč – Jáma II/3 okruhem; Lazy – Jáma č.6; ČSA – Jáma ČSA3; Darkov – Jáma Mír 5; ČSM sever – Jáma Výdušná a ČSM jih – Jáma Výdušná jáma.

**Část č.1** – jedná se o uzavřený okruh – 4x vertikální potrubní smyčku umístěnou na stěnu těžební jámy o průměru 7 m. Délka smyčky odpovídá hloubce těžební jámy – 800 m a více. Počet smyček je volen s ohledem na analogii získávání tepelné energie z vrtů pro tepelná čerpadla, kdy vzájemná osová vzdálenost vrtů je volena 10 m. Z těchto důvodů, není vhodné navyšovat počet smyček v těžební jámě, jelikož jejich navýšení již příliš nezvýší odebranou primární energii.

V uzavřené smyčce proudí nemrznoucí směs (teplonosné médium) o předpokládaném teplotním spádu  $-2^{\circ}\text{C}/8^{\circ}\text{C}$ . Toto médium přes stěnu potrubí výměníku U odebírá tepelnou energii okolnímu prostředí, které může být různorodé - zpevněná hornina (stěna těžební

jámy), nesoudrzný zásypový materiál nebo voda. Materiál, který obklopuje potrubí trubkového výměníku záleží, a to zejména z důvodu jímání tepla z celého horninového masivu. Suché nesoudrzné zeminy mají malou tepelnou vodivost, oproti tomu vlhká půda nebo dokonce půdy s výskytem vod mají tepelnou vodivost několikanásobně vyšší a tím vyšší odběry primární energie.

Teplonosným médiem je volena nemrzoucí směs, uvažuje se s její koncentrací z bezpečnostních důvodů (ochrany výparníku čerpadla) na cca  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Předpokládá se, že na konci topné sezóny budou teploty vstupující do primárního výměníku, tj. po ochlazení ve výparníku tepelného čerpadla, několika násobně vyšší  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  a více. Potrubí primární strany je z těžební jámy dovedeno na centrální sběrač/rozdělovač, kde jsou potrubí spojena/rozpojena a dále pokračují centrálním potrubím na primární stranu tepelného čerpadla. Centrální sběrač/rozdělovač bude umístěn v technické místnosti TČ, která je situována do místnosti objektu v nadzemní části těžební jámy.



Obrázek 6 Technické schéma řešení instalace s výměníkem typu U (uzavřený okruh) instalovaným do jámy v průběhu její likvidace.

**Část č.2** – jedná se technologii primární strany strojovny tepelného čerpadla, resp. tepelných čerpadel umístěnou ve vlastní technické místnosti. Velikost technické místnosti je závislá na výkonu zařízení, zejména na počtu instalovaných tepelných čerpadel. Pro dané lokality bude vždy instalován jeden kus tepelného čerpadla. Odhadovaná velikost technické místnosti je  $6 \times 6\text{ m}$ , tj. půdorysně okolo  $36\text{--}40\text{ m}^2$ .

Nucený průtok teplonosného média uzavřeným okruhem zemních sond zajišťuje oběhové čerpadlo, osazené v technické místnosti. Do primárního okruhu v technické místnosti je vsazena průtočná a oddělovací akumuláční nádoba. Za akumuláční nádobou je napojen okruh s výparníkem tepelného čerpadla. Tento okruh je opatřen oběhovým čerpadlem a trojcestnou směšovací armaturou pro korekci náběhové teploty primárního média, tak aby bylo docíleno snížení teplotního spádu na tepelném čerpadle na delta cca  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  a naopak

možnost rozšíření teplotního spádu v primárním okruhu na delta cca 10 °C. Do akumulární nádoby je zapojena expanzní nádoba pro korekci teplotní roztažnosti teplotního média primární strany. Do potrubí jsou dále vloženy všechny potřebné uzavírací a regulační armatury, filtry, pojišťovací ventil, vypouštěcí a odvodušňovací armatury dle platných ČSN, zákonů a vyhlášek a technických požadavků daných konkrétním tepelným čerpadlem. Potrubí primární strany vedené v nadzemní části je z izolováno kaučukovou tepelnou izolací pro zamezení srážení vzdušné vlhkosti na jeho povrchu při teplotách pod rosným bodem.

**Část č.3** – vlastní návrh tepelného čerpadla. Výkon tepelného čerpadla byl zvolen na základě tepelného potenciálu dané lokality v horizontu + 5let. Pro co nejlepší přiblížení reálným parametrům, jak dimenze potrubí, příkonů oběhových čerpadel a vlastního tepelného čerpadla, byl vybrán konkrétní typ. Referenčním výrobcem byl zvolen německý výrobce tepelných čerpadel Waterkotte, jelikož jeho výrobní řada zahrnuje tepelná čerpadla od 5 kW do 900 kW. Na základě konkrétního typu tepelného čerpadla, bylo možné korigovat teoretický topný faktor s reálným, stanovit příkony oběhových čerpadel primární a sekundární strany a tím celkovou spotřebu energie celé strojovny.

**Část č.4** – „kotlový“ topný okruh TČ. Na své topné straně je tepelné čerpadlo zapojeno do tzv. „kotlového“ okruhu s teplotním spádem, resp. průtokem odpovídajícím optimálním požadavkům zařízení. Mezi otopnou soustavu a tento „kotlový“ okruh je vložena akumulární nádoba tepla zajišťující oddělení obou okruhů, co do teplotních, tak průtokových parametrů. Za akumulární nádobou je napojena soustava ústředního vytápění – s rozdělovačem a příslušnými topnými větvemi. Tato soustava je odlišná pro každou dotčenou lokalitu a zahrnuje rozdílné požadavky na distribuci tepla. Soustava není do návrhu zdroje tepla zahrnuta, předpokládáme její zahrnutí do části distribuce tepla v dané lokalitě. Nicméně do návrhu strojovny tepelných čerpadel vstupuje požadavkem na výstupní teplotu topné vody z TČ. Tato teplota se liší dle předložených master-plánů. Zatím co u lokalit – Lazy, ČSA, Darkov, ČSM sever a ČSM jih uvažujeme s využitím stávajících objektů, tj. požadavek na výstupní teplotu je co nejvyšší, aby odpovídal stávající otopné soustavě, na lokalitě Frenštát je uvažováno s vybudováním celé nové občanské zástavby. Master-plán na lokalitě Staříč je kombinací využití stávajících objektů a dostavby nových. Pro lokality Lazy, Darkov, ČSM sever a ČSM jih uvažujeme do výpočtů s výstupní teplotou  $t_{w1}=60$  °C. Pro lokalitu Frenštát a Staříč s výstupní teplotou  $t_{w1}=50$  °C. *Pozn.: Požadovaná výstupní teplota ovlivňuje topný faktor TČ, čím nižší, tím je topný faktor vyšší a naopak. V lokalitě Frenštát a Staříč, nenavrhuje nižší výstupní teploty topné vody kvůli rozsáhlé distribuci topného média mezi objekty.*

Nucený oběh teplotního média kotlovým okruhem zajišťuje osazené oběhové čerpadlo. Do „kotlového“ okruhu je dále zapojen expanzní automat pro korekci teplotní roztažnosti topného média, dále automatické doplňování topné vody a úpravny vody. Dále „kotlový“ okruh obsahuje uzavírací a regulační armatury, filtry, pojišťovací ventily, vypouštěcí a odvodušňovací armatury dle platných ČSN, zákonů a vyhlášek a technických požadavků daných konkrétním tepelným čerpadlem. Potrubí sekundární strany TČ budou tepelně izolována.

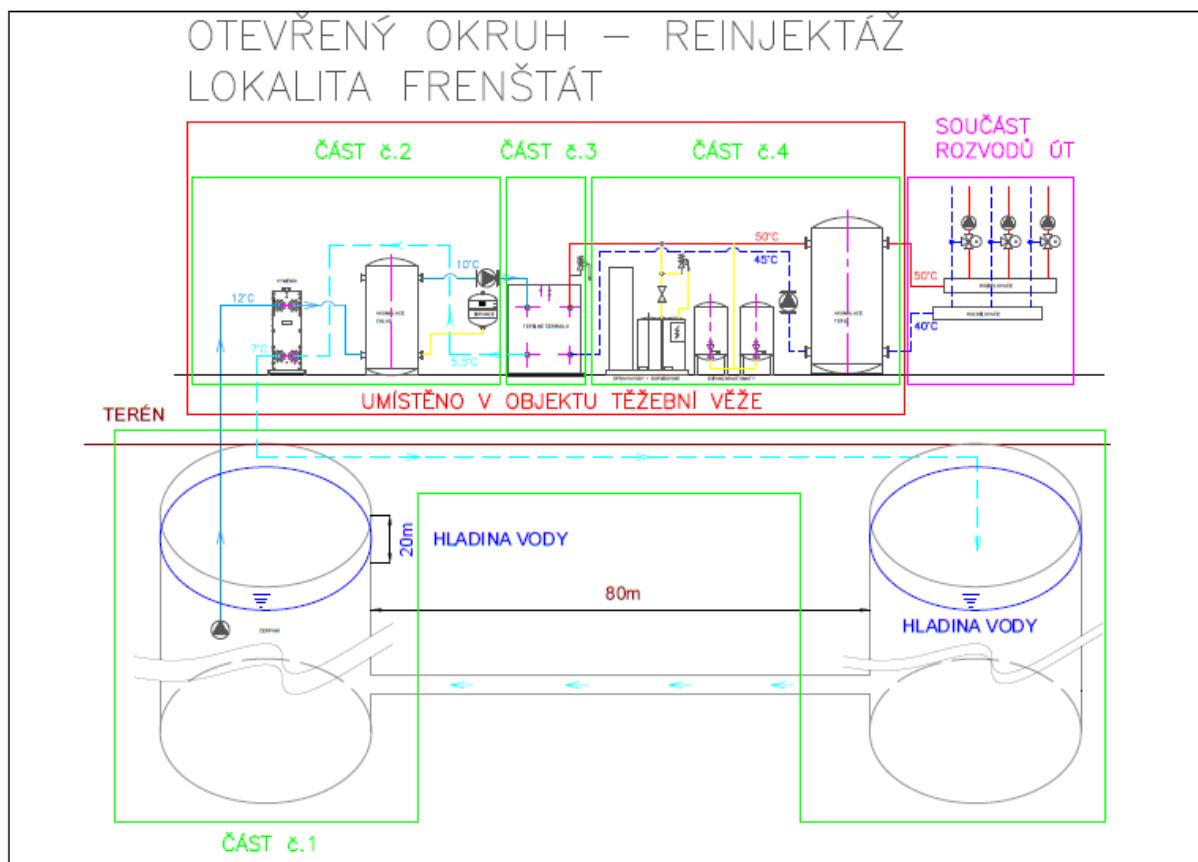
Pro návrhy jednotlivých komponentů, určení tlakových ztrát a cen zařízení byly využity veřejně dostupné firemní materiály výrobců a dodavatelských společností – zejména Getra Libere, GEROtop, Waterkotte, Viessmann, Grundfos, Willo, Reflex, Regulus apod.

### **6.1.2 Otevřený okruh s reinjektáží s využitím dvou jam**

**Část č.1** – na lokalitě Frenštát se jedná o využití dvou těžebních jam vzdálených 80 m od sebe a vzájemně propojených překopem (Obrázek 7). Základní princip funkce je shodný s předchozím řešením reinjektáže. Ze zatopené těžební jámy je důlní voda čerpaná ponorným čerpadlem, která je dopravena na deskový výměník, kde je ochlazená a odvedena ze strojovny TČ a následně navracena do druhé těžební jámy. Tepelný potenciál dané lokality určující velikost TČ je dán schopností znovu-ohřátí ochlazené čerpané důlní vody od zemského masivu. Tento potenciál byl stanoven na 223 kW, tomu odpovídá reálný výkon TČ



279 kW. Podstatný rozdíl je ve výtlačné výšce a umístění ponorného čerpadla. Předpokládá se jeho umístění v hloubkách do 50-ti metrů, rovněž jeho výtlačná výška není vyšší.



Obrázek 7 Technické schéma otevřeného systému s reinjektáží využívajícího dva čerpací vrtvy pro extrakci teplých důlních vod a dva vtláčecí vrtvy pro jejich reinjektáž po jejich ochlazení.

**Část č.2** – jedná se technologii primární strany strojovny tepelného čerpadla, resp. tepelných čerpadel umístěnou ve vlastní technické místnosti. Velikost technické místnosti je závislá na výkonu zařízení, zejména na počtu instalovaných tepelných čerpadel. Pro dané lokality bude instalováno jedno tepelné čerpadlo nebo kaskádní zapojení dvou kusů tepelných čerpadel. Odhadovaná velikost technické místnosti je 8\*6 m, tj. půdorysně okolo 48 - 50 m<sup>2</sup>.

Mezi přímo čerpanou důlní vodou a tepelné čerpadlo je vložen nerezový rozebíratelný deskový výměník oddělující otevřený okruh důlní vody a uzavřený okruh tepelného čerpadla naplněný nemrznoucí směsí z důvodu ochrany výparníku před zamrznutím při nedostatečném průtoku důlní vody. Deskový výměník je osazen v technické místnosti TČ. Čerpaná voda z těžební jámy je před vstupem na výměník zbavena mechanických nečistot na filtračním zařízení, aby nedocházelo k zbytečnému zanesení výměníku a snížení jeho přenosové schopnosti. Výměník je volen rozebíratelný, aby bylo v případě potřeby možné jeho mechanické vyčištění. Na okruhu čerpané podzemní vody je vsazen průtokový spínač, který v případě nedostatečného množství čerpané vody odstaví TČ a zamezí tak jeho poškození. Do potrubí čerpané vody jsou dále vloženy všechny potřebné uzavírací a regulační armatury, vypouštěcí a odvzdušňovací armatury dle platných ČSN, zákonů a vyhlášek a technických požadavků. Potrubí primární strany vedené v nadzemní části je zaizolováno kaučukovou tepelnou izolací, pro zamezení srážení vzdušné vlhkosti na jeho povrchu při teplotách pod rosným bodem.

Nucený průtok teplotního média uzavřeným okruhem primárního okruhu (TČ – výměník) zajišťuje oběhové čerpadlo, osazené v technické místnosti. Do uzavřeného okruhu je vsazena

průtočná akumulční nádoba pro zvětšení objemu primárního okruhu. Do akumulční nádoby je zapojena expanzní nádoba pro korekci teplotní roztažnosti teplotního média primární strany. Do potrubí jsou dále vloženy všechny potřebné uzavírací, regulační, vypouštěcí a odvzdušňovací armatury, filtr, pojišťovací ventil - vše dle platných ČSN, zákonů a vyhlášek a technických požadavků daných konkrétním tepelným čerpadlem. Potrubí uzavřeného okruhu primární strany je zaizolováno kaučukovou tepelnou izolací, pro zamezení srážení vzdušné vlhkosti na jeho povrchu při teplotách pod rosným bodem.

**Část č.3 a část č.4** je principiálně shodná jako v případě varianty s uzavřeným okruhem. Pouze s odlišností v případně kaskádního spojení dvou TČ. Každé z tepelných čerpadel má vlastní kotlový okruh s oběhovým čerpadlem zapojeným do společné akumulace tepla.

## 7. Stanovení základních požadavků na povrchové objekty

Nároky na povrchové objekty, resp. jejich otopné soustavy vyplývají z principu funkce tepelného čerpadla. Je zřejmé, že topný výkon tepelného čerpadla sestává z příkonu kompresoru a chladicího výkonu primárního zdroje tepelné energie (energie odebrané z okolního prostředí). Je nutno si uvědomit, že čím je nižší teplota topné vody v topné soustavě (při dané primární straně), pracuje tepelné čerpadlo efektivněji - dodává větší topný výkon. Příkon kompresoru současně klesá a stoupá odběr energie z okolní přírody. Pro nízkoteplotní otopnou soustavu pracující trvale s teplotou výstupní vody okolo 35 °C je odběr primární energie z okolní přírody o 30 – 40 % vyšší, než pro radiátorovou topnou soustavu dimenzovanou na 55 °C (pro stejný typ tepelného čerpadla).

Z popisu vyplývá, že pro novostavby je potřeba volit nízkoteplotní otopné soustavy, kterými jsou podlahové, stěnové či stropní vytápění. Při nutnosti osazení otopných těles (radiátorů) je potřeba navrhnout jejich teplotní spád co nejnižší – např. 45/35 °C. A shodně tak navrhovat i navazující soustavy připojené na zdroj tepla, kterými mohou být teplovodní výměníky vzduchotechnických zařízení a výměníky ohřevu bazénové vody.

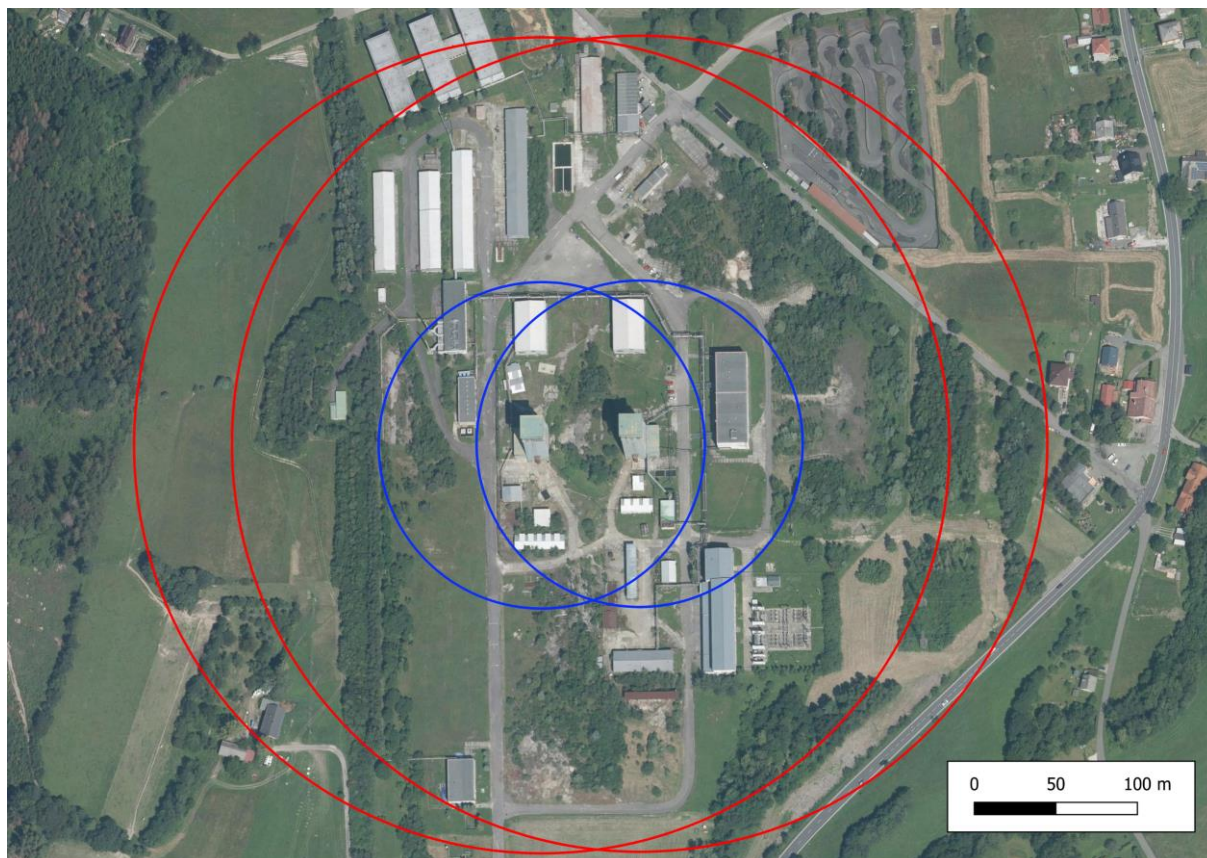
## 8. Zhodnocení možností využití tepelné energie on-site a off-site

Klíčovým předpokladem ekonomického využívání jakéhokoliv zdroje tepla je existence poptávky, resp. spotřebitele v přijatelné vzdálenosti od zdroje. Z analogie s již realizovanými instalacemi i po provedené ekonomické analýze plyne, že pro zdroje této velikosti, je nutné odběratele tepla hledat v jejich blízkém okolí, řádově do 250 m. Při vynesení této vzdálenosti do mapy (viz např. Obrázek 8) je patrné, že jde v podstatě pouze o oblast areálů důlních závodů a popř. jejich bezprostřední okolí. Využití tepelné energie důlních vod nebo důlního prostředí je v současnosti i blízké budoucnosti možné v podstatě pouze v rámci zájmových lokalit (on-site). Pro zájmovou lokalitu Frenštát byla navrženo využití systému s uzavřeným okruhem, jehož výměník bude instalován do jámy v průběhu její likvidace nebo systém s otevřeným okruhem a reinjektáží propojující obě jámy.

Při plánovaném výkonu tepelného čerpadla uzavřeného systému 191 kW dodá instalace 0,382 GWh/rok, což představuje 42,6 % požadavků na dodávky tepla plánovaných pro další aktivity na zájmové lokalitě. Při implementaci otevřeného okruhu s reinjektáží poskytne systém při výkonu tepelného čerpadla 342 kW ročně 0,684 GWh tepla, což tvoří 76,3 % odhadu požadavků na dodávky tepla (Tabulka 7) [16]. Zde je ale nutné připomenout, že výkon systému s otevřeným okruhem reinjektáží na lokalitě Frenštát přímo závisí na objemu statických zásob důlních vod v důlním díle, ze kterého plyne kolik je možné udržitelně čerpat vody. V případě likvidace jam na lokalitě Frenštát zásypem lze předpokládat zhoršení hydraulických podmínek a výrazný pokles výkonu instalace.

V blízkosti lokality Frenštát plánuje obec Trojanovice moderní obytnou zástavbu. Vzhledem k platným termoizolačním požadavkům na stavby a zastavěné plochy konceptu [16] byla

odhadnuta spotřeba tepla v areálu ve výši 0,897 GWh za rok. Z této potřeby je reálné pokrýt přibližně 42,6 %, resp. 76,3 % využitím tepelného potenciálu důlních vod a důlního prostředí. Získané teplo tedy může být primárně použito pro uspokojení potřeby přímo na lokalitě (on-site) a není žádná zásadní potřeba hledat odběratele off-site.



Obrázek 8 Vymezení ekonomického dosahu zdroje tepla kolem jam F4 a F5 na lokalitě Frenštát (modrá linie 100 m, červená linie 250 m).

Tabulka 7 Porovnání požadavku na odběr tepla a výkonu instalace na lokalitě Frenštát, \*kvalifikovaný odhad na základě zastavěné plochy podle [16].

	Výměník typu U	Otevřený okruh s reinjektáží
Celkový roční požadavek na teplo [GWh]	0.897*	0.897*
Roční dodané teplo [GWh]	0.382	0.684
Podíl z celkového ročního požadavku [%]	42.6%	76.3%
Celkový předpokládaný výkon plánovaných zdrojů [MW]	0.449*	0.449*
Plánovaný výkon instalace [kW]	191	342
Podíl z předpokládaného celkového výkonu [%]	42.6%	76.3%

## 9. Dopad projektu na životní prostředí

Možné dopady na životní prostředí vyplývající z vrtání geotermálních vrtů jsou zejména:

- Hluk a vibrace při vrtání,
- Zvýšená prašnost,
- Indukovaná seismicita,

- Vznik pevného odpadu,
- Úniky kapalných a plyných znečišťujících látek,
- Kontaminace podzemní vody,
- Změna režimu podzemní vody.

Významným negativním dopadem na životní prostředí může být tzv. hydraulický zkrat mezi odběrovým místem a místem reinjektáže, který má za následek ochlazení okolní horninové struktury.

Ochlazená použitá voda vtláčená zpět může kontaminovat podzemní vody (bakterie, vzduch ve formě bublin, chemikálie) a může z důvodu přítomnosti různých částic zhoršit propustnost horninového prostředí.

Odběr důlní vody může mít za následek snížení tlaku v pórech horninového prostředí, to může vést k zhutnění a následnému sesedání povrchu. Takové pohyby mohou mít vliv jednak na části technologie, ale také na stavby v blízkém okolí, a dokonce může dojít ke změnám spádu vodních toků.

#### Vlivy na obyvatelstvo a veřejné zdraví

Lokalita Frenštát je situována JZ mimo hustě obydlenou oblast města Frenštát pod Radhoštěm. V okolí se ojediněle nacházejí obytné stavby, menší výrobní projekty a sportoviště. Negativní vliv na obyvatelstvo se může projevit v omezené míře pouze v období výstavby, kdy mohou být občané zatíženi hlukem a výfukovými plyny z vozidel obsluhujících stavbu a z vrtné soupravy. Bude se jednat zejména o občany, kteří žijí v blízkosti přístupových cest do areálu dolu v obci Trojanovice a jeho těsném okolí. Ohrožení veřejného zdraví v tomto případě není předpokládáno. Trvání popsanych vlivů se předpokládá v řádech měsíců. Hladina hluku musí splňovat hygienické limity stanovené nařízením vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně veřejného zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací [17].

V době provozu tepelných čerpadel nebude obyvatelstvo nijak ovlivněno.

Změna vytápění objektů způsobí určité zlepšení kvality ovzduší, nicméně vliv na veřejné zdraví bude zanedbatelný.

#### Vlivy na ovzduší a klima

V průběhu realizace bude lokalita zatížena zhoršením kvality ovzduší – dojde ke zvýšení prašnosti a emisí výfukových plynů z těžké mechanizace dovážející stavební materiál, technologie a z vrtné soupravy.

V době provozu dojde lokálně k mírnému zlepšení ovzduší z důvodu nahrazení tradičních paliv geotermální energií. Je však třeba připomenout, že na provoz čerpadel je nutná elektrická energie, jejíž výroba opět lokálně zatíží místo produkce emisemi (TZL, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>).

#### Vlivy na hlukovou situaci

Během realizace dojde ke zvýšení hladin hluku ze stavebních strojů a vrtné soupravy. V provozní fázi může dojít k mírnému zvýšení hlukové zátěže v závislosti na výkonu topné soustavy, kdy platí přímá úměra – vyšší výkon je provázen vyšší hladinou hluku z oběhových čerpadel.

#### Vlivy na povrchové a podzemní vody

Ovlivnění podzemní vody a povrchové vody se nepředpokládá.

#### Vlivy na půdu

Záměr nebude vyžadovat odnětí půdy ze zemědělského půdního fondu. Většina pozemků v areálu dolu je v katastru nemovitostí vedeno jako ostatní plocha.

Během realizace a provozu se neočekává kontaminace půdy. V případě úniku technických kapalin ve fázi výstavby do okolí budou provedena účinná opatření dle havarijního plánu. S odpady bude nakládáno dle platných legislativních předpisů.

#### Vlivy na přírodní zdroje

Přírodní zdroje nebudou ovlivněny. Důlní voda není ve smyslu horního zákona považována za přírodní zdroj. Na přírodní zdroje jako je zemní plyn a uhlí bude mít využití geotermální energie jako obnovitelný zdroj energie pozitivní vliv.

#### Vlivy na biologickou rozmanitost

V místě výstavby jsou částečně zatravněné plochy a vzrostlé stromy. Biotopy zvláště chráněných živočichů a rostlin se na lokalitě nevyskytují. I když se jedná o lokalitu silně zasaženou hornickou činností může dojít k jistému ohrožení flóry a fauny. Realizací záměru může dojít ke kácení některých dřevin.

#### Vlivy na krajinu a její ekologické funkce

Areál dolu Frenštát se nachází v CHKO Beskydy, zóna IV. Dále zasahuje do soustavy chráněných území NATURA 2000 - ptačí oblast a evropsky významná lokalita. Důl je součástí národního geoparku Podbeskydí.

Výstavba technologie a její provoz nebude mít významný vliv na krajinný ráz a ekologické funkce krajiny.

Chráněné území a NATURA 2000 záměrem nebude ohrožena.

#### Vlivy na hmotný majetek a kulturní dědictví včetně architektonických a archeologických aspektů

Provedení záměru může zhodnotit objekty, které budou vytápěny, zejména ve vztahu k jejich nutným úpravám (snížení ekologických ztrát). Záměr neovlivní technické, kulturní a archeologické památky.

#### *Hodnocení vlivu záměru na životní prostředí*

Lokalita Frenštát se nachází v CHKO Beskydy. Leží v zóně IV., tedy v zóně, která je charakterizována ekosystémy silně pozměněnými člověkem, souvisle zastavěným územím, intenzivně obhospodařovanými velkými celky zemědělských pozemků ap. Dále je součástí soustavy NATURA 2000. Již v přípravné fázi záměru proto bude třeba zohlednit možné požadavky orgánů ochrany přírody.

Dopad záměru na životní prostředí lze hodnotit spíše pozitivně nebo mohou být negativní vlivy nevýznamné. V určitých ohledech, zejména v době realizace (výstavby) projektu bude může být zvýšená hladina hluku a prašnosti.

## **10. Finanční plán a analýza projektů pro zájmové lokality resp. oblasti**

Finanční plán a analýza hraje velmi důležitou roli při rozhodování investora a je důležitou součástí studie proveditelnosti. Finanční analýza projektu je většinou určujícím faktorem pro realizaci projektu. Nicméně lze se v běžné praxi setkat i s projekty, které jsou ekonomicky nevýhodné, ale jejich společenský přínos je pro realizaci projektu zásadní a určující. Jedná se např. o městská sportoviště, kulturní objekty apod. Tyto projekty jsou pak z většiny dotačně podporovány. I v tomto případě bude nutné ze strany investora posoudit jak ekonomickou „výhodnost“, tak společenský přínos analyzovaných projektů.

Pro finanční plán a analýzu byly zvoleny 2 potenciálně vhodné varianty systémů:

- Uzavřený okruh s výměníkem typu U instalovaným di jámy v průběhu její likvidace,

- Otevřený okruh s reinjektáží využívající hydraulické spojení obou jam.

Finanční analýza předpokládá, že 100 % investice bude financováno z vlastních zdrojů investora. Neuvažuje tedy s žádnou formou úvěrování.

V analýze nejsou zahrnuty náklady na nutné úpravy vytápěných objektů jako např. zateplení, výměna tepelných zařízení nebo výstavba nových.

Do finanční analýzy pro projekt realizace systému na lokalitě Frenštát byl použit odborný odhad investičních nákladů uvedený v následující tabulkách (Tabulka 8 a Tabulka 10). Vedle toho jsou představeny také charakteristiky této instalace.

Analýza (Obrázek 9, Tabulka 9, Tabulka 11) ukazuje, že pro lokalitu Frenštát je ekonomicky vyhovující systém s otevřeným okruhem s reinjektáží.

*Tabulka 8 Odborný investiční odhad pro systém s uzavřeným okruhem (UO) a charakteristiky instalace na lokalitě Frenštát.*

Lokalita	Frenštát	Charakteristika	Jednotka	Frenštát
<b>Část - 1</b>		tepelný potenciál *	kW	134
zemní sonda - materiál	6 400 000 Kč	vstupní teplota		
zemní sonda - práce	1 000 000 Kč	primárního média	°C	2
nemrznoucí směs	666 540 Kč	výstupní teplota		
<b>mezisoučet</b>	<b>8 066 540 Kč</b>	topné vody	°C	50
<b>Část - 2</b>		COP		3,5
rozdělovače/sběrače	40 000 Kč	teoretický výkon TČ	kW	188
armatury (uzavírací, regulační filtry)	350 000 Kč	el. Příkon	kW	54
propojovací potrubí - 150m	78 750 Kč	teplotní spád primárního		
akumulační nádoba chladu	47 000 Kč	média	°C	10
oběhová čerpadla	200 000 Kč	výběr TČ např. Waterkotte		5235,5T
expanze	30 000 Kč	výkon TČ	kW	172,5
tepelné izolace - kaučuková	108 000 Kč	COP		3,2
pomocný materiál	229 000 Kč	průtok primární stranou	m3/hod	11,52
ostatní	162 413 Kč	průtok sondou		3,84
montáž		průměr potrubí	DN	50
<b>mezisoučet</b>	<b>1 245 163 Kč</b>	tlaková ztráta	mH2O	19,5
<b>Část - 3</b>		el. příkon oběhových		
<b>výběr TČ např. Waterkotte</b>	<b>5235,5T</b>	čerpadel prim. strana	kW	3,7
Tepelná čerpadla	1 595 376 Kč	el. příkon oběhových		
Elektrické připojení *	200 000 Kč	čerpadel sekundární strana	kW	3
Regulace zařízení	100 000 Kč	dodaná energie TČ	MWh	345
<b>mezisoučet</b>	<b>1 895 376 Kč</b>	el. spotřeba (2000 provozních hodin)	MWh	121
<b>Část - 4</b>		COP vč. čerpadel		2,9
akumulační nádoby tepla	47 000 Kč	vodní objem sondy	m3	4,2
armatury (uzavírací, regulační filtry)	315 000 Kč	vodná objem sond v jámě	m3	16,8
propojovací potrubí - 100m	52 500 Kč	vodní objem nemrznoucí směsi	m3	5,88
oběhová čerpadla	100 000 Kč	průtok primární stranou TČ	m3/hod	38
úpravna vody + doplňování	100 000 Kč	dimenze		DN125
expanzní automat	270 000 Kč	průtok sekundární stranou TČ	m3/hod	41
tepelné izolace s povrchovou úpravou	58 500 Kč	dimenze		DN125
pomocný materiál	55 500 Kč			
ostatní	249 625 Kč			
montáž	256 000 Kč			
projektová dokumentace	379 075 Kč			
<b>mezisoučet</b>	<b>1 504 125 Kč</b>			
<b>SOUČET</b>	<b>12 711 204 Kč</b>			

**Tabulka 9 Cash Flow (výkaz peněžních toků) projektu - UO Frenštát.**

rok	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	
<b>Přítok peněžních prostředků</b>																							
Přijetí úroků z investic	66 910 484	0	0	888 678	933 113	979 769	1 028 717	1 080 195	1 134 205	1 190 915	1 250 461	1 312 984	1 378 633	1 447 564	1 519 943	1 595 940	1 675 737	1 759 524	1 847 500	1 939 875	2 036 968	2 138 712	2 245 647
<b>Útoky peněžních prostředků</b>																							
Kapitálové investice	12 711 204	379 075	12 332 129	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Průvodi náklady	45 249 340	0	0	600 830	630 917	662 028	695 682	730 434	766 956	805 304	845 569	887 848	932 240	979 862	1 027 785	1 079 164	1 133 144	1 189 881	1 249 291	1 311 755	1 377 343	1 446 210	1 518 581
DH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Čistý peněžní tok</b>	-7 614 315	-379 075	-12 332 129	287 748	302 136	317 243	333 035	349 760	367 248	385 611	404 891	425 136	446 393	468 712	492 148	516 755	542 593	569 723	598 209	628 119	659 525	692 692	727 427
<b>Početní zůstatek peněžních prostředků</b>	-138 501 626	0	-379 075	-12 711 204	-12 423 455	-12 121 319	-11 804 076	-11 470 871	-11 121 211	-10 753 962	-10 368 351	-9 963 460	-9 538 324	-9 091 931	-8 623 219	-8 131 071	-7 614 315	-7 071 722	-6 501 999	-5 903 790	-5 275 071	-4 616 145	-3 923 644
<b>Konečný zůstatek peněžních prostředků</b>	-146 115 944	-379 075	-12 711 204	-12 423 455	-12 121 319	-11 804 076	-11 470 871	-11 121 211	-10 753 962	-10 368 351	-9 963 460	-9 538 324	-9 091 931	-8 623 219	-8 131 071	-7 614 315	-7 071 722	-6 501 999	-5 903 790	-5 275 071	-4 616 145	-3 923 644	-3 196 517
<b>úřv peněžních toků</b>	-7 606 501	-348 815	-11 347 715	284 779	278 018	291 919	306 515	321 841	337 933	354 829	372 571	391 199	410 759	431 297	452 882	475 505	499 281	524 245	550 457	577 980	606 879	637 223	669 684

**Tabulka 10 Odborný investiční odhad pro systém s otevřeným okruhem s reinjektáží a charakteristiky instalace s otevřeným okruhem s reinjektáží – Frenštát.**

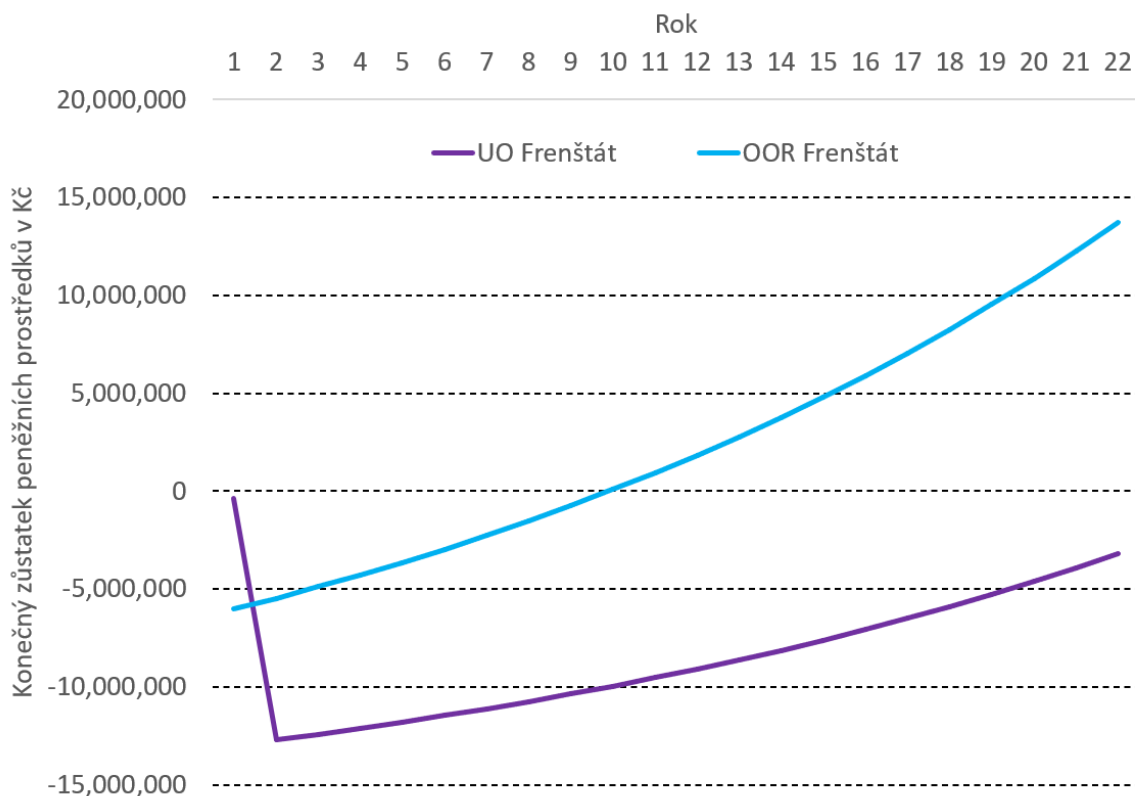
Lokalita	Frenštát	Charakteristika	Jednotka	Frenštát
<b>Část - 1</b>		tepelný potenciál *	kW	223
potrubí PP-R 110*10; PN10 - 250m	177 438 Kč	vstupní teplota	°C	10
ponorné čerpadlo	122 391 Kč	primárního média	°C	50
průtokový spínač	18 500 Kč	výstupní teplota	°C	5
filtrace (3ks Cintropur NW650)	39 000 Kč	topné vody	teoretický COP	279
armatury (uzavírací)	120 000 Kč	teoretický výkon TČ	kW	56
zemní a výkopové práce v. materiálu - 80m	80 000 Kč	el. příkon	kW	
montáž	128 000 Kč	teplotní spád primárního média	°C	4,5
<b>mezisoučet</b>	<b>685 329 Kč</b>	výběr TČ např. Waterkotte		5300.5T
<b>Část - 2</b>		Výkon TČ	kW	266,9
nemrznoucí směs	21 600 Kč	tabulkový COP		3,9
deskový nerezový rozebíratelný výměník 250kW	210 000 Kč	průtok primární stranou	m3/hod	47,5
armatury (uzavírací, regulační filtry)	200 000 Kč	třaková ztráta výparník TČ	mH2O	4,7
propojovací potrubí - 100m	52 500 Kč	PP-R		
akumulační nádoba chladu	47 000 Kč	Ecoplastik;		
oběhové čerpadlo	90 000 Kč	průměr potrubí	PN10	110*10
expanze	30 000 Kč	třaková ztráta potrubí	mH2O	9
tepelné izolace - kaučuková	78 000 Kč	ponorné čerpadlo	Grundfos	SP 46-10
pomocný materiál	139 000 Kč	el. příkon ponorného čerpadla	kW	15
ostatní	126 975 Kč	el. příkon oběhových čerpadel prim. strana	kW	3
montáž	256 000 Kč	el. příkon oběhových čerpadel sekundární strana	kW	3
<b>mezisoučet</b>	<b>1 251 075 Kč</b>	dodaná energie TČ	MWh	533,8
<b>Část - 3</b>		el. spotřeba čerpadel (2000 provozních hodin)	MWh	179
výběr TČ např. Waterkotte	5300.5T	COP vč. čerpadel		3
Tepelná čerpadla	1 783 188 Kč	vodní objem mezoikruhu TČ	m3	1,6
Elektrické připojení *	250 000 Kč	vodní objem nemrznoucí směsi	m3	0,24
Regulace zařízení	200 000 Kč	průtok primární stranou TČ	m3/hod	47,5
<b>mezisoučet</b>	<b>2 233 188 Kč</b>	průtok sekundární stranou TČ	m3/hod	51,5
<b>Část - 4</b>		dimenze		DN150
akumulační nádoby tepla	47 000 Kč	průtok sekundární stranou TČ	m3/hod	51,5
armatury (uzavírací, regulační filtry)	200 000 Kč	dimenze		DN150
propojovací potrubí - 100m	52 500 Kč			
oběhové čerpadlo	120 000 Kč			
úpravná vody + doplňování	100 000 Kč			
expanzní automat	270 000 Kč			
tepelné izolace s povrchovou úpravou	71 500 Kč			
pomocný materiál	62 000 Kč			
ostatní	230 750 Kč			
montáž	256 000 Kč			
projektová dokumentace	446 638 Kč			
<b>mezisoučet</b>	<b>1 856 388 Kč</b>			

**SOUČET 6 025 979 Kč**

\* v rámci technické místnosti

**Tabulka 11 Cash Flow (výkaz peněžních toků) projektu - OOR Frenštát.**

rok	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	
Přírůstek peněžních prostředků																							
Výnosy od třetích stran	104 845 817	0	1 309 529	1 375 005	1 443 756	1 515 943	1 591 740	1 671 328	1 754 884	1 842 839	1 934 771	2 031 509	2 133 084	2 239 739	2 351 726	2 469 312	2 592 778	2 722 416	2 858 537	3 001 464	3 151 537	3 309 114	3 474 570
Úbytek peněžních prostředků																							
Kapitálové investice	6 025 979	6 025 979	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DPH	0	0	756 703	794 597	834 327	876 044	919 246	965 838	1 014 130	1 064 638	1 118 078	1 173 962	1 232 691	1 294 315	1 359 831	1 426 983	1 496 302	1 573 248	1 651 911	1 734 596	1 821 202	1 912 293	2 007 980
Provozní náklady	60 569 008	0	756 703	794 597	834 327	876 044	919 246	965 838	1 014 130	1 064 638	1 118 078	1 173 962	1 232 691	1 294 315	1 359 831	1 426 983	1 496 302	1 573 248	1 651 911	1 734 596	1 821 202	1 912 293	2 007 980
Čistý peněžní tok	4 807 546	-6 025 979	552 769	580 408	609 428	639 900	671 895	705 489	740 754	777 862	816 692	857 527	900 403	945 423	992 695	1 042 329	1 094 446	1 149 168	1 206 626	1 266 958	1 330 306	1 396 821	1 466 682
Počáteční zůstatek peněžních prostředků	-22 460 650	0	-6 025 979	-5 473 210	-4 892 802	-4 283 373	-3 643 474	-2 971 579	-2 266 089	-1 525 325	-747 523	69 169	926 696	1 827 099	2 772 523	3 765 217	4 807 546	5 901 992	7 051 160	8 257 787	9 524 744	10 855 050	12 251 871
Konečný zůstatek peněžních prostředků	-17 661 104	-6 025 979	-5 473 210	-4 892 802	-4 283 373	-3 643 474	-2 971 579	-2 266 089	-1 525 325	-747 523	69 169	926 696	1 827 099	2 772 523	3 765 217	4 807 546	5 901 992	7 051 160	8 257 787	9 524 744	10 855 050	12 251 871	13 718 533
úřV peněžních toků	4 423 783	-5 544 954	588 645	534 077	560 781	588 820	618 261	649 174	681 632	715 714	751 500	789 075	828 526	869 955	913 453	959 125	1 007 081	1 057 436	1 110 307	1 165 823	1 224 114	1 283 319	1 349 585



Obrázek 9 Vývoj konečného zůstatku finančních prostředků v průběhu realizace projektu (UO – systém s uzavřeným okruhem, OOR - systém s otevřeným okruhem a reinjektáží)

## 11. Hodnocení efektivity a udržitelnosti projektu

SWOT analýza je jednoduchý model, který slouží jako základ pro plánování projektů. SWOT analýza by měla identifikovat atributy, které pomohou dosáhnout požadovaných cílů a výsledků plánovaného projektu a identifikovat slabá místa a hrozby, kterých by se měli realizátoři projektu vyvarovat nebo je minimalizovat.

- Silné stránky (Strengths): interní vlastnosti, které poskytují konkurenční výhodu – potenciál, možnosti zdrojů,
- Slabé stránky (Weaknesses): interní vlastnosti, které představují konkurenční nevýhodu ve vztahu k ostatním,
- Příležitosti (Opportunities): externí příležitosti, které lze využít ve prospěch projektu ke splnění cílů projektu,
- Hrozby (Threats): externí okolnosti, které mohou ohrozit realizaci projektu.

Při aplikaci SWOT analýzy je nutné slabé stránky a hrozby minimalizovat, ideálně se jim vyhnout a je žádoucí je postavit do pozice silných stránek a příležitostí. SWOT analýzy projektů na využití tepla důlních vod a důlního prostředí ukazuje Tabulka 12.



**Tabulka 12 SWOT analýza projektu systému s otevřeným okruhem a reinjektáží na lokalitě Frenštát.**

Silné stránky	Slabé stránky
Běžná technologie	Srážení oxidů v technologii
Čerpání z relativně malé hloubky	Riziko přerušení komunikační cesty
Prostorově nenáročné	
Celý systém přístupný pro opravy	
Relativně vysoký tepelný potenciál	
Příležitosti	Hrozby
Integrace zdroje tepla do projektu výstavby	Likvidace jam zásypem
Tepelný potenciál pokryje velkou část spotřeby na lokalitě	Kolaps komunikačních cest mezi jámami
Lokální zdroj	Zastavení projektu výstavby
	Levnější konkurenční zdroje

Na SWOT analýzu navazuje matice IFE (Internal Factor Evaluation – hodnocení vnitřních faktorů), která hodnotí postavení projektu vzhledem k vnitřním faktorům, a matice EFE (External Factor Evaluation – hodnocení vnějších faktorů), která vyjadřuje pozici projektu vůči vnějším faktorům.

Systém s uzavřeným okruhem instalovaným do jámy vykazují vážené skóre interních faktorů 1,7, což znamená, že pozice projektu vzhledem k interním faktorům je velmi slabá. Vážené skóre externích faktorů je 2,1, což znamená, že pozice projektu vzhledem k externím faktorům je rovněž slabá. Získané hodnoty jsou odrazem technických obtíží této varianty jak při instalaci, tak i v provozu.

Využití systému s otevřeným okruhem a reinjektáží na lokalitě Frenštát získalo v analýze IFE vážené skóre interních faktorů je 2,6, což znamená, že pozice projektu vzhledem k interním faktorům je dostatečně silná. Vážené skóre interních faktorů je 2,15, což znamená, že pozice projektu vzhledem k interním faktorům je slabá. Výraznými slabinami projektu přitom jsou předpokládaný způsob likvidace jam F4 a F5 na lokalitě Frenštát a nízký stupeň připravenosti projektu dalšího rozvoje lokality, který de facto předpokládá výstavbu „na zelené louce“.

Z posouzení finančních plánů a SWOT analýzy jednotlivých variant projektu je zřejmé, že ekonomicky udržitelná je pouze varianta s otevřeným okruhem s reinjektáží. Její výhodu je poměrně malá technická náročnost, která je srovnatelná s běžnými instalacemi tepelných čerpadel typu voda-voda. S technickou náročností souvisí i relativně nízké investiční náklady, které pokrývají v podstatě pouze běžná sériově vyráběná zařízení jako tepelné čerpadlo a jeho příslušenství, mělce uložené rozvody nebo čerpadlo pro čerpání z hloubek cca 50 m. Provoz i instalace obou systémů by vycházel z rozšířeného know-how, dostupného prostřednictvím řady společností specializovaných na mělkou geotermální energii.

Jedinou významnější komplikací se zdá být možnost výskytu sraženin v té části systému, kterou mají být vedeny důlní vody (potrubí, výměník). Obvyklou metodou omezení tohoto rizika je zařazení filtrů a pravidelná údržba systému, které ale mohou zvýšit provozní náklady. Vznik sraženin omezuje přenos tepla ve výměníku i průtok důlních vod systémem, což na druhou stranu snižuje výkon systému i jeho ekonomický přínos. Pravidelná kontrola, údržba a průběžná optimalizace systémů je proto nutnou podmínkou udržitelnosti projektu.

Na tomto místě je nezbytné připomenout, že instalaci lze realizovat pouze tehdy, budou-li splněny podmínky pro její provoz. Instalace systému s otevřeným okruhem s reinjektáží na lokalitě Frenštát je založena na statických zásobách vody v důlním díle (přítoky do díla jsou v podstatě marginální). Druhou podmínkou udržitelnosti je zachování hydraulické komunikace mezi čerpacím a reinjektážním objektem. Statická zásoba i hydraulická propustnost přitom rostou s porozitou zásypového materiálu. V ideálním případě (z pohledu využívání tepla důlních vod) by jámy na lokalitě Frenštát neměly být zasypány vůbec a pro lokalitu použita tzv. mokrá konzervace, pouze s překrytím jámy dostatečné nosnou a odolnou krycí deskou.

Jistou roli hraje i časové hledisko, protože systém může být zapojen až po úplném zatopení obou jam, které by mělo podle odhadů nastat po cca 10 letech.

### 11.1 Hodnocení ekonomické efektivity projektu

Z posouzení finančních plánů a SWOT analýzy jednotlivých variant projektu je zřejmé, že ekonomicky udržitelná je pouze varianta s otevřeným okruhem s reinjektáží. Její výhodu je poměrně malá technická náročnost, která je srovnatelná s běžnými instalacemi tepelných čerpadel typu voda-voda. S technickou náročností souvisí i relativně nízké investiční náklady, které pokrývají v podstatě pouze běžná sériově vyráběná zařízení jako tepelné čerpadlo a jeho příslušenství, mělce uložené rozvody nebo čerpadlo pro čerpání z hloubek cca 50 m. Provoz i instalace obou systémů by vycházel z rozšířeného know-how, dostupného prostřednictvím řady společností specializovaných na mělkou geotermální energii.

Jedinou významnější komplikací se zdá být možnost výskytu sraženin v té části systému, kterou mají být vedeny důlní vody (potrubí, výměník). Obvyklou metodou omezení tohoto rizika je zařazení filtrů a pravidelná údržba systému, které ale mohou zvýšit provozní náklady. Vznik sraženin omezuje přenos tepla ve výměníku i průtok důlních vod systémem, což na druhou stranu snižuje výkon systému i jeho ekonomický přínos. Pravidelná kontrola, údržba a průběžná optimalizace systémů je proto nutnou podmínkou udržitelnosti projektu.

Na tomto místě je nezbytné připomenout, že instalaci lze realizovat pouze tehdy, budou-li splněny podmínky pro její provoz. Instalace systému s otevřeným okruhem s reinjektáží na lokalitě Frenštát je založena na statických zásobách vody v důlním díle (přítoky do díla jsou v podstatě marginální). Druhou podmínkou udržitelnosti je zachování hydraulické komunikace mezi čerpacím a reinjektážním objektem. Statická zásoba i hydraulická propustnost přitom rostou s porozitou zásypového materiálu. V ideálním případě (z pohledu využívání tepla důlních vod) by jámy na lokalitě Frenštát neměly být zasypány vůbec a pro lokalitu by měla být použita tzv. mokrá konzervace, pouze s překrytím jámy dostatečně nosnou a odolnou krycí deskou. Jistou roli hraje i časové hledisko, protože systém může být zapojen až po úplném zatopení obou jam, které by mělo podle odhadů nastat po cca 10 letech.

## 12. Analýza a řízení rizik (citlivostní analýza)

Kvalitativní metoda hodnocení rizik je založena na vztahu mezi pravděpodobností výskytu rizika a závažností dopadů rizika. V rámci analýzy jsou jednotlivé rizikové faktory hodnoceny podle pravděpodobnosti výskytu a potenciálních dopadů na projekt.

Pro systém s otevřeným okruhem a reinjektáží na lokalitě Frenštát představují značná rizika:

- nedostatek poptávky po produktu (teple),
- nedostatek důvěry spotřebitelů,
- neočekávané hydraulické vlastnosti a chování důlního prostředí,
- snižování schopnosti čerpat nebo vtlačet důlní vody,
- vznik hydraulického zkratu mezi čerpacími a reinjektážními objekty,
- levnější konkurenční zdroj tepla,
- růst ceny elektřiny.

Riziko nedostatku poptávky vyplývá z nízkého stavu připravenosti projektu výstavby, kdy není zřejmé, zda bude projekt realizován, z čeho bude financován ani nejsou známy detaily technického provedení včetně způsobu vytápění. Běžným problémem inovativních projektů je nedůvěra spotřebitelů, která může vyústit až v odmítnutí projektu nebo vzniku lokální opozice.

Přestože systém je z hydraulického pohledu poměrně jednoduchý, existují nejistoty hydraulického chování, které spočívají zejména v kolapsu překopu mezi jámami nebo případně vzniku krátkého hydraulického spojení mezi čerpacím a vtlačecím objektem v mělkém horizontu. Kolaps překopu může způsobit zpomalení komunikace mezi jámami, kdy

nemusí stačit kompenzace čerpání. Pro snížení tohoto typu rizik je vhodné provést před instalací hydrodynamickou a stopovací zkoušku.

Z obecného pohledu je rizikem levnější konkurenční zdroj, kterým byl do poloviny roku 2021 zejména zemní plyn. Za současné geopolitické situace se pokles ceny plynu spíše neočekává. Protože hlavní část nákladů využití tepla důlních vod prostřednictvím otevřeného okruhu s reinjektáží představují náklady investiční, lze předpokládat, že po instalaci systému ztrácí toto riziko na významu.

Rizikem je jistě také růst ceny elektřiny. Lze nicméně předpokládat, že v důsledku růstu ceny elektřiny poroste i cena tepla. Vzrůst provozních nákladů by tak mohl být kompenzován růstem na příjmové stránce (resp. úspory).

Závažná rizika představují:

- nejistota dostupnosti a udržitelnosti zdroje,
- nedostatek odborných znalostí,
- regulační a legislativní rizika,
- vznik sraženin v technologii,
- nutnost čištění důlních vod před jejich vypouštěním,
- obtíže při údržbě a opravě systému,
- změny chemismu důlních vod,
- nárůst nákladů na čištění důlních vod.

Nejistota udržitelnosti zdroje a informací rovněž vyplývá ze stavu díla a je proto vhodné před instalací systému realizovat hydrodynamickou a komunikační zkoušku.

Rizika technického charakteru vyplývají především z chemismu důlních vod a jeho vývoje. Vznik sraženin, které omezují průtok i přenos tepla, jsou běžným problémem otevřených systémů, lze je řešit kombinací technických (např. filtry) a režimních (pravidelná kontrola a údržba) opatření. S chemismem důlních vod souvisí také možné legislativní potíže spojené s nutností čistit důlní vody před reinjektáží a obtíže při údržbě systému.

Citlivostní analýza ukázala, které faktory mohou hrát významnou roli v ekonomice projektu. Zatímco růst investičních nákladů do 20 % ekonomiku projektu nezvrátí, většina položek, kterými se navyšují provozní náklady, má vysoký potenciál negativního dopadu na projekt. Další zhoršení výhledu lze předpokládat při souběhu více faktorů.

Mírný nárůst provozních nákladů (do 50 %), např. v důsledku opakovaného čištění, popř. výměny částí technologie (filtry, výměník) lze považovat za přijatelný. Vyšší nárůst, např. v důsledku roční inflace by ale již mohl návratnost investic výrazně prodloužit.

Vliv růstu ceny elektřiny by pro projekt byl fatální, pokud by růst nákladů na vstupu nebyl kompenzován také růstem příjmů. Rostoucí cenu elektřiny bude tedy nutné kompenzovat zdražením produktu. Vazba mezi cenou elektřiny a tepla je i vzhledem k energetickému mixu ČR patrná a lze předpokládat, že bude pravděpodobně fungovat i nadále.

Citlivostní analýza také ukázala, že i zavedení poplatku za odběr tepla, pokud bude poplatek v řádu maximálně prvních desítek Kč za GJ tepla ekonomiku projektů ovlivní přijatelně a není se jej třeba obávat.

Obě poslední dvě zkoumané položky mají opět vysoký potenciál ohrozit ekonomickou životaschopnost projektů. Pokles vydatnosti zdroje, ať již způsobený snížením čerpání nebo poklesem tepelného potenciálu spojeným s hydraulickou vazbou může obě analyzované varianty posunout do „červených“ čísel. Stejně tak může zapůsobit, pokud by bylo nutné důlní vody v rámci projektu čistit.

### 13. Závěrečné shrnující hodnocení projektu

Posouzení báňsko-hydrogeologických podmínek ukázalo, že na lokalitě Frenštát lze pro využití tepelné energie důlních vod a důlního prostředí technicky aplikovat:

- systém s uzavřeným okruhem,
- otevřený okruh s reinjektáží.

Finanční analýza ukázala, že varianta systému s uzavřeným okruhem není ekonomicky výhodná. Naopak varianta systému s otevřeným okruhem s reinjektáží vychází pozitivně. Výhodou této varianty je poměrně malá technická náročnost, která je srovnatelná s běžnými instalacemi tepelných čerpadel typu voda-voda s relativně nízkými investičními i provozními náklady. Současně má instalace poměrně málo potenciálních rizik, z nichž nejvýznamnější je možnost výskytu sraženin v čerpadle, potrubí a výměníku. Tato komplikace je ale technicky a technologicky řešitelná.

Instalaci lze realizovat pouze budou-li splněny podmínky pro její provoz. Využití systému s otevřeným okruhem s reinjektáží na lokalitě Frenštát je založeno na statických zásobách vody v důlním díle. Druhou podmínkou udržitelnosti provozu je zachování hydraulické komunikace mezi čerpacím a reinjektážním objektem. Z pohledu využívání tepla důlních vod by proto jámy na lokalitě Frenštát neměly být zasypany vůbec a pro lokalitu použita tzv. mokrá konzervace. Využívání systému může být přitom zahájeno až po úplném zatopení obou jam (tj. cca po 10 letech). Nutnou podmínkou realizace projektu je také poptávka po teple v lokalitě Dolu Frenštát, např. v důsledku výstavby areálu podle představ obce Trojanovice (projekt CERKA). Bez spotřebitele tepla nemá samozřejmě projekt žádné ekonomické opodstatnění.

Pokud by byl do ekonomiky projektu započten rozvoj know-how, resp. nové podnikatelské příležitosti pro regionální firmy, lze za jistých podmínek považovat za proveditelnou i instalaci s uzavřeným okruhem, například formou pilotního projektu nebo vědecko-výzkumného záměru. V takovém případě je vhodné z důvodů ponížení investičních nákladů zvážit instalaci systémů s uzavřeným okruhem do jámy v redukované délce.

Možnosti připojení nových zdrojů tepla (tepelných čerpadel) na stávající rozvody tepla v budovách jsou velmi omezené. V rámci plánované výstavby (projekt CERKA) je nutné s požadavky s připojovacími podmínkami nízkoteplotního zdroje tepla pracovat již ve fázi projekce a navrhnout odpovídající nízkoteplotní otopné soustavy.

### 14. Reference

- [1] NOVÁK, Petr, Michal VANĚČEK a Jana KASÍKOVÁ. *Atlas tepelného potenciálu důlních vod v České republice*. 2011.
- [2] DIAMO S.P. ODŠTĚPNÝ ZÁVOD PKÚ. *Vodamin II* [online]. 2022. Dostupné z: <https://vodamin2.pku.cz/cs/vodamin-ii-potencialy-nebezpeci-a-vyuziti-dulnich-vod-pro-zkvalitneni-preshranicni-ochrany-vod-1/>
- [3] WINKLER, Richelle, Adrienne MASTERTON, Andrew GARROD, David ANNA, Deanna OCCHIETTI, Edward LOUIE, Eric MACLEOD, Jay MELDRUM, Kayla WARSKO, Krist BLUMBERG, Melissa MICHAELSON, Nicolette SLAGLE, Sana SAVAGE a Theresa TRAN. *Final Report: Developing a Guide for Harnessing Low-grade Geothermal Energy from Minewater for Heating and Cooling Buildings* [online]. 2015. Dostupné z: [https://cfpub.epa.gov/ncer\\_abstracts/index.cfm/fuseaction/display.abstractDetail/abstract\\_id/10270/report/F](https://cfpub.epa.gov/ncer_abstracts/index.cfm/fuseaction/display.abstractDetail/abstract_id/10270/report/F)
- [4] OPPELT, Lukas, Thomas GRAB, Sebastian POSE, Thomas STORCH a Tobias FIEBACK. Mine water geothermal energy as a regenerative energy source - status quo and results from five years of monitoring. *Oil Gas European Magazine* [online]. 2021, 47, 14–19. Dostupné z: doi:10.19225/2103054

- [5] KIRKUP, Bill, Alison CAVEY, Dave LAWRENCE, Martin CRANE, Jon GLUYAS a Wayne HANDLEY. *The Case for Mine Energy – unlocking deployment at scale in the UK, A mine energy white paper* [online]. 2020. Dostupné z: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwja3o336PvzAhUjuqQKHZERBf8QFnoECAMQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.northeastlep.co.uk%2Fwp-content%2Fuploads%2F2021%2F05%2FMine-Energy-White-Paper\\_FINAL.pdf&usg=AOvVaw15Cx0i0](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwja3o336PvzAhUjuqQKHZERBf8QFnoECAMQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.northeastlep.co.uk%2Fwp-content%2Fuploads%2F2021%2F05%2FMine-Energy-White-Paper_FINAL.pdf&usg=AOvVaw15Cx0i0)
- [6] BANKS, David, Anup ATHRESH, Amin AL a Habaibeh NEIL. Water from abandoned mines as a heat source : practical experiences of open- and closed-loop strategies , United Kingdom. *Sustainable Water Resources Management* [online]. 2017, **5**(1), 29–50. ISSN 2363-5045. Dostupné z: doi:10.1007/s40899-017-0094-7
- [7] BAILEY, Matt, Moorhouse L a Ian WATSON. *Heat Extraction from Hypersaline Mine Water at the Dawdon Mine Water Treatment Site* [online]. 2013. Dostupné z: doi:10.36487/ACG\_rep/1352\_47\_Bailey
- [8] GRZEGORZ GZYL, Marcin GŁODNIOK, Ewa JANSON, Paweł ŁABAJ, Małgorzata MARKOWSKA, Łukasz SIODŁAK, Anna SKALNY, Paweł ZAWARTKA, Aleksandra ZGÓRSKA, Covadonga LOREDO, Jorge LOREDO, Nieves ROQUEÑÍ, Adrián Peña FERNÁNDEZ, Albino González GARCÍA, David BANKS, Adrian BOYCE, Neil BURNSIDE, Paul YOUNGER, Keith PARKER, Amin AL-HABAIBEH a Anna HYRIA. *Low-Carbon After-Life: sustainable use of flooded coal mine voids as a thermal energy source - a baseline activity for minimising post-closure environmental risks (LoCAL)* [online]. 2019. Dostupné z: doi:10.2777/715020
- [9] JIRAKOVA, H., M. STIBITZ, V. FRYDRYCH a M. DURAJOVA. Geothermal Country Update for the Czech Republic. In: *Proceedings of the World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia*. 2015, s. 7.
- [10] WOLF, P. a K. LAGERPUSCH, K.H. HOFMANN. *Zur geothermischen Nutzung von Grubenwässern in Sachsen*. 2007
- [11] RAMOS, Esmeralda, Katrin BREEDE a Gioia FALCONE. Geothermal heat recovery from abandoned mines: a systematic review of projects implemented worldwide and a methodology for screening new projects. *Environmental earth sciences* [online]. 2015, **73**. Dostupné z: doi:10.1007/s12665-015-4285-y
- [12] FIEBACK, Tobias a Thomas GRAB. Grubenwassergeothermie in Sachsen. *Lehrstuhl für Technische Thermodynamik* [online]. 2021. Dostupné z: <https://geothermie.iwtt.tu-freiberg.de/energetische-nutzung.html>
- [13] TUBAV. *Lehrstuhl für Technische Thermodynamik* [online]. 2022. Dostupné z: <https://geothermie.iwtt.tu-freiberg.de>
- [14] BARTÍK, Petr a Matěj FUKA. *Plán likvidace hlavních důlních děl - jámy č. 4 a jámy č. 5 a děl do nich ústících ve výhradním ložisku v dobývacím prostoru Trojanovice, DIAMO, státní podnik, odštěpný závod DARKOV, lokalita Frenštát*. 2021.
- [15] MALUCHA, Pavel, Martin ŠMOLKA, Václav HOTÁREK a Monika ŘÍČNÁ. *ŘEŠENÍ HYDROGEOLOGICKÝCH POMĚRŮ PO UZAVŘENÍ ČINNÝCH DOLŮ OKD, a.s. AKTUALIZOVANÁ STUDIE*. 2015.
- [16] NOVOTNÝ, Jiří, Kamil MRVA, Filip CIAHOTNÝ, Marián ŽÁRSKÝ a Lenka NOVOTNÁ. *Transformace frenštátského regionu postiženého hornickou činností, část II. Projekt CERKA*. 2021.
- [17] *Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně veřejného zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací* [online]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-272>