

Hlavní město Praha
RADA HLAVNÍHO MĚSTA PRAHY

U S N E S E N Í

Rady hlavního města Prahy

číslo 2225
ze dne 21.10.2024

k možnosti využití geotermální energie z metra I.D ve stanici Nové Dvory

Rada hlavního města Prahy

I. bere na vědomí

1. "Studii využití geotermální energie při výstavbě metra I.D v Praze" zadanou Dopravním podnikem hl.m. Prahy, akciová společnost, která identifikuje potenciál využití geotermální energie získané z metra I.D pro možnost zásobování teplem a chladem nové výstavby v lokalitě Nové Dvory a je přílohou č. 1 tohoto usnesení
2. konsolidaci teplárenského majetku ve vlastnictví HMP formou společnosti Teplo pro Prahu, a.s
3. projektové záměry Pražské developerské společnosti, p.o. v transformačním území Nové Dvory
4. doporučení Komise Rady hl.m. Prahy pro klima

II. konstatuje, že

podle článku 7 odstavce 1. písm. a), směrnice Evropského parlamentu a Rady 2024/1275 o energetické náročnosti budov musí být od 1.1.2028 nové budovy vlastněné veřejnými subjekty budovami s nulovými emisemi

III. schvaluje

záměr využití geotermální energie z metra I.D v lokalitě Nové Dvory

IV. ž á d á

1. společnost Teplo pro Prahu a.s., v rámci koncernu Pražská plynárenská, a.s., o využití možnosti zásobování nové výstavby v lokalitě Nové Dvory teplem případně chladem získaným z geotermální energie stanice metra I.D Nové Dvory
2. Pražskou developerskou společnost, p.o. o prověření možnosti zásobování připravovaných projektů pro výstavbu v lokalitě Nové Dvory teplem případně chladem z geotermální energie
3. Dopravní podnik hl.m. Prahy, akciová společnost zajistit pro společnost Teplo pro Prahu, a.s. úpravu projektové dokumentace a realizaci podzemní části týkající se metra I.D

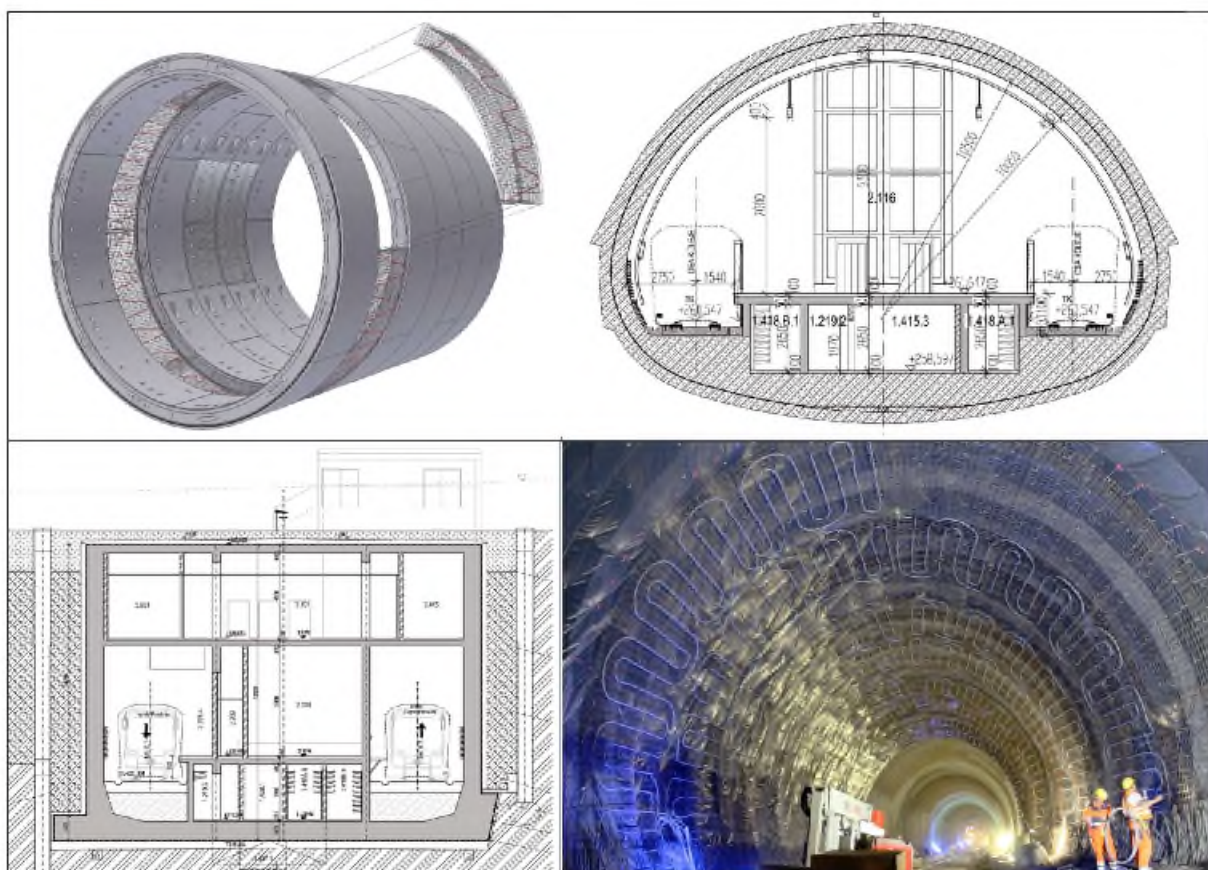
doc. MUDr. Bohuslav Svoboda, CSc. v. r.
primátor hl.m. Prahy

MUDr. Zdeněk Hřib v. r.
I. náměstek primátora hl.m. Prahy

Předkladatel: primátor hl.m. Prahy, náměstkyně primátora Ing. Jana Komrsková
Tisk: R-52701
Provede:
Na vědomí: odborům MHMP



STUDIE VYUŽITÍ GEOTERMÁLNÍ ENERGIE PŘI VÝSTAVBĚ METRA I.D V PRAZE



Praha 08/2023

OBSAH

1. IDENTIFIKAČNÍ A KONTAKTNÍ ÚDAJE.....	6
1.1. Identifikační údaje stavby.....	6
1.2. Kontaktní údaje	7
1.2.1. Objednatel.....	7
1.2.2. Zpracovatel	7
1.3. Projektový tým.....	8
1.3.1. SAGASTA.....	8
1.3.2. SEVEN7 Energy	8
2. ÚVOD	9
3. PŘEDMĚT DOKUMENTACE	9
4. PŘEHLED VÝCHOZÍCH PODKLADŮ	11
4.1. Projektová dokumentace	11
4.2. Normy a předpisy.....	11
4.3. Literatura	11
5. ZÁKLADNÍ ÚDAJE.....	13
5.1. Řešené stavební oddíly Metra D	13
6. TEORETICKÉ PŘEDPOKLADY	14
6.1. Základy využití geotermální energie	14
6.2. Požadavky uživatele	14
6.2.1. Instalace v budově	14
6.2.2. Typy použití.....	14
6.2.3. Charakteristiky spotřeby	14
6.3. Geologické a hydrogeologické poměry.....	16
6.4. Koncepce založení a geometrické parametry objektu.....	16
6.5. Systémy absorpčních prvků.....	16
6.6. Technické a ekonomické požadavky	17
7. NÁVRH GEOTERMÁLNÍCH ZAŘÍZENÍ V TUNELECH.....	18
7.1. Obecné.....	18
7.2. Faktory ovlivňující návrh zařízení	19
7.2.1. Uživatel geotermálního systému.....	20
7.2.2. Umístění geotermálního systému.....	20
7.2.3. Metody výstavby podzemních děl.....	20
7.2.4. Stav horninového masivu a režim podzemní vody	22

7.2.5. Teplota horninového masivu a vzduchu v tunelu	22
7.2.6. Typy absorpčních prvků v tunelových konstrukcích.....	22
7.2.7. Postup výstavby	28
7.2.8. Provozní režim	28
7.2.9. Typ média pro odběr/ přenos tepla	28
7.3. Faktory ovlivňující provoz zařízení	28
7.3.1. Provozní režim	29
7.3.2. Umístění geotermálních absorbérů.....	29
7.3.3. Teplonosné médium/absorpční kapalina	29
7.3.4. Tepelná čerpadla a chladicí jednotky.....	30
7.4. Rizika selhání	30
7.4.1. Obecně	30
7.4.2. Poškození absorpčního vedení	30
7.4.3. Zamrzání půdy	30
8. VYUŽITÍ GEOTERMÁLNÍ ENERGIE – ZAHRANIČNÍ PRAXE	31
8.1. Otevřené systémy.....	31
8.1.1. Silniční tunel St. Gotthard (Švýcarsko)	31
8.1.2. Silniční tunel Mappo-Morettina (Švýcarsko).....	31
8.1.3. Silniční tunel Velký St. Bernhard	32
8.1.4. Silniční hraniční tunel Füssen	33
8.1.5. Silniční tunel Rennsteig (Německo)	34
8.1.6. Železniční bázový tunel Furka (Švýcarsko)	34
8.1.7. Železniční bázový tunel Lötschberg (Švýcarsko).....	34
8.1.8. Železniční tunel Ricken (Švýcarsko).....	35
8.1.9. Železniční tunel Hauenstein (Švýcarsko).....	35
8.2. Uzavřené absorpční systémy	36
8.2.1. Silniční tunel Nanori-Toge (Japonsko)	36
8.2.2. Silniční tunel Linchang (Čína)	37
8.2.3. Silniční tunel Rosenstein B10 (Německo).....	37
8.2.4. Železniční tunel Seochon (Jižní Korea)	38
8.2.5. Železniční tunely Crossrail (Velká Británie)	38
8.2.6. Železniční tunel Lainzer (Rakousko).....	39
8.2.7. Železniční tunel Stuttgart-Fasanenhof U6 (Německo).....	40
8.2.8. Železniční tunel Jenbach (Rakousko).....	41
8.2.9. Železniční bázový tunel Brenner (Rakousko-Itálie).....	42

8.2.10. Metro Turín, linka č. 1 (Itálie)	43
8.2.11. Metro Vídeň, linka U2 (Rakousko).....	43
8.2.11.1. Stanice Taborstrasse.....	43
8.2.11.2. Zpráva Kontrolního úřadu města Vídně z roku 2011.....	44
8.2.11.3. Využití geotermální energie na vídeňské lince metra U2	45
9. ÚSEKY TRASY METRA D	47
9.1. Traťový úsek Olbrachtova – Nádraží Krč (SOD14)	47
9.1.1. Popis technického řešení – všeobecně	47
9.1.2. Popis technického řešení – jednokolejné ražené tunely	47
9.1.3. Popis technického řešení – propojky	49
9.1.4. Popis technického řešení – hloubené tunely	50
9.1.5. Geotechnické podmínky	51
9.1.6. Možný zisk geotermální energie	53
9.1.7. Možnosti využití geotermální energie	53
9.2. Stanice Nádraží Krč (SOD15).....	53
9.2.1. Popis technického řešení.....	53
9.2.2. Geotechnické podmínky	55
9.2.3. Možný zisk geotermální energie	55
9.2.4. Možnosti využití geotermální energie	55
9.3. Traťový úsek Nádraží Krč – Nemocnice Krč (SOD16)	57
9.3.1. Popis technického řešení.....	57
9.3.2. Geotechnické podmínky	59
9.3.3. Možný zisk geotermální energie	59
9.3.4. Možnosti využití geotermální energie	60
9.4. Stanice Nemocnice Krč (SOD17)	60
9.4.1. Popis technického řešení.....	60
9.4.2. Geotechnické podmínky	62
9.4.3. Možný zisk geotermální energie	63
9.4.4. Možnosti využití geotermální energie	63
9.5. Traťový úsek Nemocnice Krč – Nové Dvory (SOD18)	65
9.5.1. Popis technického řešení.....	65
9.5.2. Geotechnické podmínky	66
9.5.3. Možný zisk geotermální energie	67
9.5.4. Možnosti využití geotermální energie	67
9.6. Stanice Nové Dvory (SOD19).....	67

9.6.1. Popis technického řešení	67
9.6.2. Geotechnické podmínky	71
9.6.3. Možný zisk geotermální energie.....	72
9.6.4. Možnosti využití geotermální energie.....	72
9.7. Traťový úsek Jáma Rezerva – Nové Dvory (SOD20)	74
9.7.1. Popis technického řešení	74
9.8. Traťový úsek Nové Dvory – Libuš (SOD21).....	76
9.8.1. Popis technického řešení	76
9.8.2. Geotechnické podmínky	76
9.8.3. Možný zisk geotermální energie.....	77
9.8.4. Možnosti využití geotermální energie.....	77
9.9. Stanice Libuš (SOD22).....	77
9.9.1. Popis technického řešení	77
9.9.2. Geotechnické podmínky	79
9.9.3. Možný zisk geotermální energie.....	80
9.9.4. Možnosti využití geotermální energie.....	80
9.10. Traťový úsek Libuš – Písnice (SOD 23).....	81
9.10.1. Popis technického řešení	81
9.10.2. Geotechnické podmínky	81
9.10.3. Možný zisk geotermální energie.....	82
9.10.4. Možnosti využití geotermální energie.....	82
9.11. Stanice Písnice (SOD 24).....	82
9.11.1. Popis technického řešení	82
9.11.2. Geotechnické podmínky	85
9.11.3. Možný zisk geotermální energie.....	86
9.11.4. Možnosti využití geotermální energie.....	86
9.12. Traťový úsek Písnice – Depo Písnice (SOD 25).....	87
9.12.1. Popis technického řešení	87
9.12.2. Geotechnické podmínky	88
9.12.3. Možný zisk geotermální energie.....	88
9.12.4. Možnosti využití geotermální energie.....	88
9.13. Stanice Depo Písnice (SOD 26).....	89
9.13.1. Popis technického řešení	89
9.13.2. Geotechnické podmínky	90
9.13.3. Možný zisk geotermální energie.....	91

9.13.4. Možnosti využití geotermální energie	91
10. VYHODNOCENÍ A ZÁVĚRY	92
10.1. Celková energetická bilance – vyhodnocení	92
10.2. Předběžné ekonomické hodnocení	96
10.2.1. Investiční náročnost (CAPEX)	96
10.2.2. Provozní náklady (OPEX)	98
10.2.3. Intenzita využití zařízení	99
10.2.4. Celková nákladovost výroby tepla	99
10.3. Doporučení	100
10.4. Závěr	100

1. IDENTIFIKAČNÍ A KONTAKTNÍ ÚDAJE

1.1. Identifikační údaje stavby

Název stavby:	Výstavba trasy I.D metra v Praze
Stupeň dokumentace:	Studie
Charakter stavby:	Liniová stavba, novostavba
Odvětví:	Stavba dopravní infrastruktury – metro
Místo stavby:	Praha

1.2. Kontaktní údaje

1.2.1. Objednatel

Objednatel:

METROPROJEKT Praha a. s.

Argentinská 1621/36
170 00 Praha 7 - Holešovice
IČ: 45271895
DIČ: CZ45271895

Zástupce ve věcech smluvních:

Ing. Vladimír Seidl
Předseda představenstva

Ing. Petr Vyskočil
Místopředseda představenstva

1.2.2. Zpracovatel

Zpracovatel dokumentace

SAGASTA s.r.o.

Novodvorská 1010/14
142 00 Praha 4 - Lhotka
IČ: 04598555
DIČ: CZ04598555

SEVEN Energy s.r.o.

Americká 17/579
120 00 Praha 2
IČ: 27876829
DIČ: CZ27876829

Zástupce ve věcech smluvních:

Ing. Jiří Čurda
Generální ředitel SAGASTA s.r.o.

Odpovědný projektant:

Ing. Libor Mařík
SAGASTA s.r.o.
Novodvorská 1010/14
142 00 Praha 4 – Lhotka
Báňský projektant dle zák. 61/1988 Sb. - §3 c), d), e), f), h), i)
Odborný znalec ČBÚ
ČKAIT Geotechnika 0007841
mob. +420 605 707 767
e-mail: libor.marik@sagasta.cz

1.3. Projektový tým

1.3.1. SAGASTA

Titul, jméno, příjmení	E-mail	Mobil	Profesní specializace
Ing. Libor Mařík	libor.marik@sagasta.cz	605 707 767	Odpovědný projektant Báňský projektant Odborný znalec ČBÚ ČKAIT Geotechnika
Ing. Martin Svoboda	martin.svoboda@sagasta.cz	607 090 022	Zástupce vedoucího projektu Konstrukce a geotechnika
Ing. Petr Lapiš	petr.lapis@sagasta.cz	608 864 384	Konstrukce a geotechnika CAD - BIM
Ing. Vladimír Prajzler	vladimir.prajzler@sagasta.cz	602 138 858	ČKAIT Geotechnika
Ing. Jakub Vladík	jakub.vladik@sagasta.cz	720 988 023	Konstrukce a geotechnika
Bc. Jozef Kostúrik	jozef.kosturik@sagasta.cz	-	Konstrukce a geotechnika

1.3.2. SEVEN7 Energy

Titul, jméno, příjmení	E-mail	Mobil	Profesní specializace
Ing. Tomáš Voříšek	tomas.vorisek@svn.cz	724 361 339	Energetika, obnovitelné zdroje
Ing. Bohuslav Málek	bohuslav.malek@svn.cz	602 244 490	Energetika, obnovitelné zdroje

2. ÚVOD

Využití geotermální energie pro vytápění a chlazení objektů pomocí tepelných čerpadel se úspěšně uplatňuje již několik desetiletí, a to zejména při výstavbě rodinných domů. Výroba geotermálních absorbérů, jako jsou ploché kolektory nebo geotermální sondy, je však poměrně nákladná, protože tyto komponenty je třeba postavit pouze za účelem výroby energie. U technologie geotermálních zařízení využívajících stavební konstrukce v kontaktu se zemínou nebo horninou lze tuto nákladovou nevýhodu výrazně snížit, protože komponenty, které se stejně musí postavit, jako jsou základové desky, podzemní stěny nebo vrtané piloty, jsou nutné z konstrukčních důvodů a mohou být navíc využity jako konstrukce absorbéru. Tímto způsobem lze s relativně nízkými náklady vytvořit velké absorpční plochy, které lze využít pro vytápění a klimatizaci budov. Tato technologie se již ve stavebnictví osvědčila a byla nebo je realizována v mnoha stavebních projektech.

Přibližně od roku 2004 se tato technologie geotermálních zařízení používá také u dopravních tunelů, které mohou díky masivním betonovým prvkům a uložení do země aktivovat velké zásoby geotermální energie. Ve Vídni (Hadersdorf-Weidlingau) byl v tomto ohledu zřízen pilotní projekt na úseku LT 24 tunelu Lainzer, který vytápí školní budovu v blízkosti tunelu pomocí tepla získaného z podzemí. Obdobný projekt se týká čtyř stanic metra na lince U2 ve Vídni, nebo železničního tunelu Jenbach, ve kterém byla geotermální energie čerpána z prefabrikovaného ostění tunelu raženého tunelovacím strojem, což bude případ i traťových tunelů trasy metra D. Na základě úspěchu tohoto systému byly realizovány další aplikace. Patří mezi ně železniční tunely a tunely podzemních drah, především v Rakousku a v některých případech také v Německu nebo ve Švýcarsku.

V rámci přípravy pilotních projektů je třeba shromáždit a vyhodnotit možná řešení otázek geotermálního průzkumu, provedení technických detailů a návrhu technického řešení konkrétních stavebních projektů. V České republice není získávání geotermální energie neznámou technologií, v sektoru podzemních staveb však nebyla dosud použita. Cílem studie je poukázat na možnosti použití geotermální energie na již realizovaných příkladech ze zahraničí a na konkrétní stavbě trasy D pražského metra. Může však být inspirací a prvním krokem k širšímu využívání geotermální energie i pro další podzemní stavby v naší republice.

3. PŘEDMĚT DOKUMENTACE

Stavba metra D má, respektive může mít pro hlavní město Prahu kromě svého hlavního účelu rovněž ještě jednu další užitečnou funkci. Při vhodně provedeném stavebně-technickém řešení dokáže „zachycovat“ tepelný tok, který se v mělkých hloubkách zemského povrchu vyskytuje a umožnit tak jeho využití pro výrobu tepla či chladu za pomoci tepelného čerpadla.

Tepelná čerpadla využívající různé zdroje nízkopotenciálního tepla patří k osvědčeným způsobům, jak snižovat energetickou náročnost a tzv. uhlíkovou stopu nejrůznějších staveb. Na jednu kilowatthodinu spotřebované elektřiny jsou schopna vyrobit několik (typicky 3 až 5) kilowatthodin tepelné energie či chladu případně obojí současně, což snižuje spotřebu primární energie i emise oxidu uhličitého (CO₂)

oproti konvenčním řešením o desítky procent. I přes dnešní energetický mix lze tak prohlásit, že tepelná čerpadla realizovaná ve stanicích metra lze označit za investice, které jsou v souladu s požadavky Taxonomie EU, tedy schopná vyrábět užitečnou energii s měrnými emisemi CO₂ do 100 kg v přepočtu na 1 MWh vyrobeného tepla či chladu.

Právě z těchto důvodů je využívání (takto účinných) tepelných čerpadel namísto spalovacích zdrojů tepla či na fosilních palivech závislých soustav zásobování teplem součástí Klimatického plánu hl. m. Prahy do roku 2030. Stejný postoj dnes začínají zaujímat i institucionální investoři do nových – nebytových – staveb, jelikož si uvědomují míru nároků vyplývajících z požadavků ESG.

U nových budov se tak před samotnou výstavbou objektu pod základovou desku umísťují podzemní vrty či do betonových základů stavby instalují potrubní smyčky, které slouží jako primární okruhy tepelných čerpadel, a to i přesto, že pořizovací náklady jsou podstatně (násobně) vyšší, než když je zvolen systém s tradičním zdrojem tepla v podobě plynové kotelny či přípojky na místní soustavu zásobování teplem. Největšími stavbami, které toto řešení využívají, je např. nové sídlo ČSOB na Radlické (viz např.: <https://www.gerotop.cz/nova-budova-csob-shq>) či budova Nejvyššího kontrolního úřadu v Holešovicích (viz např.: <https://www.gerotop.cz/tepelna-cerpadla-u-specialnich-aplikaci>)

V případě metra je přitom výhodou fakt, že není potřeba provádět účelové vrtací či výkopové práce pro umístění primárního okruhu tepelného čerpadla, protože jsou nezbytnou součástí dodávky samotné stavby. Investiční náklady primárního okruhu jsou přitom významné a dosahují v dnešních cenách desítky tisíc Kč na instalovaný kilowatt tepelného výkonu tepelného čerpadla, v němž typicky ¼ reprezentuje elektřina potřebná pro chod kompresoru a primární smyčky a zbytek je právě nízkopotenciální zemské teplo.

V praktické rovině však takto vysoká úspora není pravděpodobná, zatímco vrty jsou čistě automatizovanou prací, u pokládky primárního okruhu do betonových prvků stavby metra lze čekat manuální práci, a to při pokládce do základových desek a obvodových stěn hloubených stanic, do ostění konvenčně ražených tunelů nebo stanic či prefabrikovaného ostění traťových tunelů tažených tunelovacími stroji.

Předkládaná studie s využitím především zahraničních zkušeností kvantifikuje energetický potenciál části stavby Metra I.D, která je teprve v přípravě, tj. od traťového úseku SOD 14 Olbrachtova - Nádraží Krč až po Depo Písnice (SOD 26). Tím vytváří prostor pro představu, o jak významný energetický zdroj se může jednat.

Studie je zpracována na základě dostupných podkladů, tj. projektové dokumentace DSP z let 2014, resp. 2019 a v ní obsažených informací o geotechnických podmínkách zájmových lokalit. Vzhledem k tomu, že dosud prováděný geotechnický průzkum nebyl zaměřen na získávání relevantních geotechnických parametrů pro možnost získávání geotermální energie, jsou ve studii uvedené kalkulace prováděny na základě odborného odhadu s využitím dostupné literatury a zkušeností s prováděním staveb v obdobných geotechnických podmínkách.

4. PŘEHLED VÝCHOZÍCH PODKLADŮ

4.1. Projektová dokumentace

- ▣ Relevantní textová a výkresová dokumentace provozního úseku Pankrác - Nové Dvory ve stupni DSP 06/2019 s aktualizací 12/2019 (zpracování připomínek DOOS). SOD 14 až SOD 20
- ▣ Relevantní textová a výkresová část dokumentace provozního úseku Pankrác – Depo Písnice ve stupni DSP 10/2013 s aktualizací 06/2014. SOD 22, SOD 24 a SOD 26
- ▣ Stavební oddíly Vytápění ve stupni DSP – SOD 11 Stanice Pankrác, SOD 13 Stanice Olbrachtova, SOD 15 Stanice Nádraží Krč, SOD 17 Stanice Nemocnice Krč a SOD 19 Stanice Nové Dvory
- ▣ Provozní úsek I.D metra, Náměstí Míru – Depo Písnice, Podrobný geotechnický průzkum pro projekt stavby (DSP), II. etapa, tabulky č. 2, 3 a 4 a příloha č. 1 Přehledná situace trasy.GeoTec 04/2013.

4.2. Normy a předpisy

- ▣ ČSN EN 15450 Tepelné soustavy v budovách – Navrhování tepelných soustav s tepelnými čerpadly
- ▣ VDI 4640-1 Thermische Nutzung des Untergrunds - Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte
- ▣ VDI 4640-2 Thermische Nutzung des Untergrundes - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen
- ▣ VDI 4640-3 Thermische Nutzung des Untergrundes - Unterirdische Thermische Energiespeicher

4.3. Literatura

- ▣ Abschlussbericht GEO.Cool Kühlung mit oberflächennaher Geothermie - Möglichkeiten, Grenzen, Innovation, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, Baden-Württemberg, 10/2020
- ▣ Energetisches Potential geschlossener Tunnelgeothermiesysteme, Patrik Buhmann, Institut für Geotechnik der Universität Stuttgart, 11/2019
- ▣ "ENERGIE DER ZUKUNFT, Publizierbarer Endbericht - GEO-Pot, Seichtes Geothermie Potenzial Österreichs. Überregionale, interdisziplinäre Potenzialstudie zur Erhebung und Darstellung des oberflächennahen
- ▣ Geothermischen Anwendungspotenzials auf Grundlage eines regelmäßigen Bearbeitungsrasters, Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG), 08/2010"
- ▣ Energiegewinnung aus städtischen Tunneln; Systemevaluation, Forschungsauftrag FGU 2008/006 auf Antrag der Fachgruppe Untertagebau (FGU), Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Amberg Engineering AG, Geowatt AG, VersuchsStollen Hagerbach AG, 10/2010
- ▣ Energy diaphragm walls for Turin metro, Ch. Cornelio, A. D. Donna, M. Barla, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino, Turin, Italy, European Geothermal Congress Strasbourg, France 2016

- ☞ Energy Tunnel Segmental Lining: an Experimental Site in Turin Metro, Marco Barla and Alessandra Insana, Dept. of Structural, Building and Geotechnical Engineering, Politecnico di Torino, 04/2018
- ☞ Energy tunnels: concept and design aspects, A. D. Donna, M. Barla, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino, Turin, Italy, 03/2018
- ☞ Entwurf von hydrogeothermischen Anlagen an deutschen Straßentunneln, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken- und Ingenieurbau Heft B 141, 10/2017
- ☞ Experimentelle und numerische Untersuchungen zur Tunnelgeothermie, M. Schneider, Chr. Moormann, P. A. Vermeer, Institut für Geotechnik, Universität Stuttgart, 01/2012
- ☞ Geothermal Potential of the Brenner Base Tunnel—Initial Evaluations, Geisler, T.; Voit, K.; Burger, U.; Cordes, T.; Lehner, F.; Götzl, G.; Wolf, M.; Marcher, T. , 05/2022
- ☞ Geothermische Anlagen bei Grund-und Tunnelbauwerken Einsatzmöglichkeiten und wirtschaftlicher Nutzen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken- und Ingenieurbau Heft B 96, 11/2013
- ☞ Innovative energy-related use of shallow and deep groundwaters – Examples from China and Switzerland, Rybach L., Institute of Geophysics ETH, Zürich, Switzerland, 01/2015
- ☞ Innovative Systeme der Erdwärmenutzung – regenerative Energie aus dem Untergrund, Adam D., TU Wien, Institut für Geotechnik, Expertenforum Beton „Energiespeicher Beton“ in St. Pölten, 2010
- ☞ Investigations into thermal resistance of tunnel lining heat exchangers, Shafagh I., Rees S., Loverige F., School of Civil Engineering, University of Leeds, LS2 9JT, Leeds, UK, 2020
- ☞ Klimatisieren mit Erdwärme aus U-Bahn-Tunneln, Geothermische Anlagen lassen sich in neue Tunnelbauwerke in Innenstädten integrieren, Stricker R. Forschungszentrum Jülich GmbH, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), BINE Projektinfo 09/2013
- ☞ Langzeiterfahrungen zur geothermischen Nutzung der U-Bahn-Station Taborstraße in Wien, A. Brunner, R. Markiewicz, J. Pistrol, D. Adam, Technische Universität Wien, Institut für Geotechnik, BAUINGENIEUR BD. 97 (2022) NR. 07-08
- ☞ Massivabsorbertechnologie zur Erdwärmenutzung bei der Wiener U-Bahnlinie U2, H. Brandl, D. Adam, R. Markiewicz, W. Unterberger, H. Hofinger, Österr. Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, 155. Jg., Heft 7-9/2010 und Heft 10-12/2010
- ☞ Nutzung der Erdwärme, WIENER LINIEN GmbH & Co KG, KA V - GU 230-3/11, KONTROLLAMT DER STADT WIEN, Tätigkeitsbericht 2011
- ☞ Nutzung der Geothermie mittels Erdwärmeabsorber und Grundwasserbrunnen, D. Adam, R. Markiewicz, TU Wien, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft , Springer-Verlag, 2010
- ☞ Technische und ökonomische Entwicklungen in der Tunnelgeothermie, M. Schneider, Chr. Moormann, Institut für Geotechnik, Universität Stuttgart, VEGAS-Kolloquium 2011 Fläche Geothermie - Perspektiven und Risiken, 2011

- ☐ ThePoTun Machbarkeitsstudie: Thermisches Potential urbaner Tunnelinfrastruktur in Lockergesteinsgrundwasservorkommen, J. Epting, P. Huggenberger, Angewandte und Umweltgeologie Departement Umweltwissenschaften, Universität Basel, 12/2021
- ☐ Thermal and structural performance of energy tunnels, A. Insana, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino, Turin, Italy, 06/2020
- ☐ Tunnel geothermics – International experience with renewable energy concepts in tunnelling, Ch. Mnoormann, P. Buhmann, S. Homuth, W. Friedemann, N. Pralle, Geomechanics and Tunnelling 9, No. 5, 2016
- ☐ Turning segmental tunnels into sources of renewable energy, J. N. Franzius, N. Pralle, Züblin AG in Germany, ICE Proceedings Civil Engineering, 02/2011
- ☐ Zur energetischen Nutzung von Tunnelbauwerken -Messungen und numerische Berechnungen am Beispiel Fasanenhofunnel, M. Schneider, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften der Universität Stuttgart, 06/2013
- ☐ "Zur thermischen Nutzung des Untergrunds mit flächigen thermo-aktiven Bauteilen am Beispiel thermo-aktiver Abdichtungselemente (Dissertation), S. Kürten, Der Fakultät für Bauingenieurwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 2014"

5. ZÁKLADNÍ ÚDAJE

5.1. Řešené stavební oddíly Metra D

Stav. oddíl	Úsek/stanice	Od km	Do km	Délka [m]
SOD 14	Traťový úsek Olbrachtova – Nádraží Krč	43,189925	43,933628	743,703
SOD 15	Stanice Nádraží Krč	43,933628	44,157812	224,184
SOD 16	Traťový úsek Nádraží Krč – Nemocnice Krč	44,157812	44,916460	758,648
SOD 17	Nemocnice Krč	44,916460	45,124172	207,712
SOD 18	Traťový úsek Nemocnice Krč – Nové Dvory	45,124172	46,119457	995,285
SOD 19	Stanice Nové Dvory	46,119457	46,518513	399,056
SOD 20	Traťový úsek Jáma Rezerva – Nové Dvory	Zahrnuje traťové tunely přes více SOD		
SOD 21	Traťový úsek Nové Dvory – Libuš	46,518513	47,191513	673,000
SOD 22	Stanice Libuš	47,191513	47,394854	203,341
SOD 23	Traťový úsek Libuš – Písnice	47,394854	48,452234	1 057,380
SOD 24	Stanice Písnice	48,452234	48,672019	219,785
SOD 25	Traťový úsek Písnice – Depo Písnice	48,672019		
SOD 26	Stanice Depo Písnice			

Tab. 1 Přehled stavebních oddílů, jejich rozhraní a délek

6. TEORETICKÉ PŘEDPOKLADY

6.1. Základy využití geotermální energie

Funkce geotermálních zařízení je založena na fyzikálním principu výměny tepla mezi systémem využití energie (budovy, zařízení) a systémem dodávky energie (absorpční systém, podzemní voda, podzemí). Systém využití energie se při plánování systému přizpůsobuje požadavkům uživatele a lze jej určit pomocí vstupních údajů, jako je typ a velikost budovy, způsob využití, systém rozvodu tepla, meteorologické podmínky a podmínky související s místem atd. podle platné normy. Systém dodávky energie by měl být schopen splnit časově a prostorově definované požadavky systému využití energie.

Je třeba vzít v úvahu hlavní rozdíl mezi geotermálními systémy a konvenčními zdroji energie, jako jsou fosilní paliva nebo biomasa: V konvenčních systémech závisí celkové množství energie, které lze dodat za dobu dodávky, pouze na množství dodaného paliva (při definovaném a konstantním špičkovém výkonu). Geotermální systémy mají naproti tomu víceméně dynamické chování systému, protože teplota zdroje tepla v zemi, a tím i výkon systému se obvykle mění v závislosti na předchozí výměně tepla. Díky přesné znalosti základních parametrů konstrukce absorbéru však lze vybudovat spolehlivé systémy zásobování energií s nízkými nároky na údržbu, stejně jako u konvenčních zdrojů energie, avšak s výhodou, že jsou bezemisní a mají příznivé provozní náklady.

6.2. Požadavky uživatele

6.2.1. Instalace v budově

Využití geotermální energie by mělo být prozkoumáno a zohledněno v co nejranější fázi plánování budovy, protože systém rozvodu tepla musí být důsledně navržen pro nízké teploty, aby bylo možné tento zdroj energie hospodárně využívat. To je nezbytné, aby potřebná tepelná čerpadla a/nebo chladicí jednotky mohly pracovat v příznivém rozsahu účinnosti.

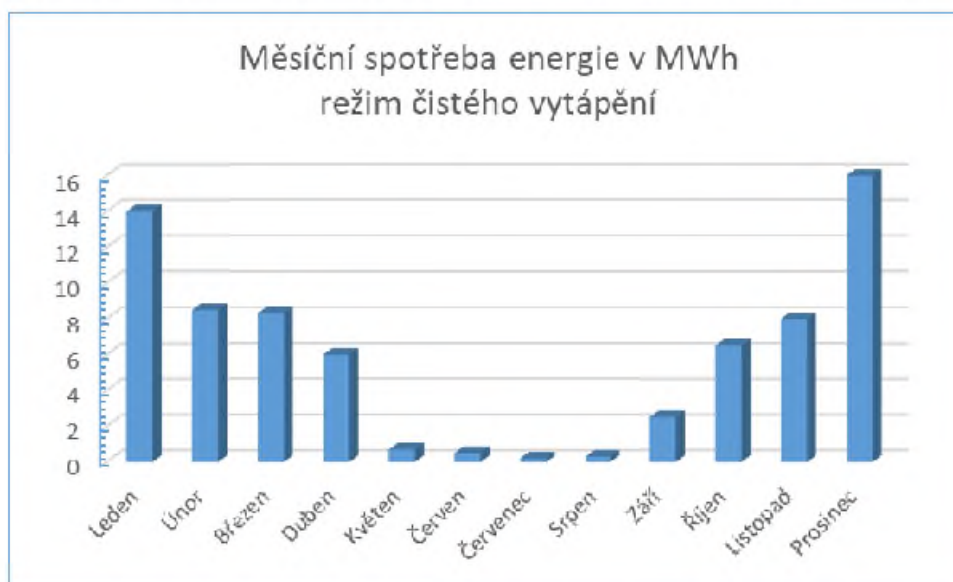
6.2.2. Typy použití

Geotermální energii lze využít k vytápění i chlazení. Aplikace vytápění zpravidla vyžaduje instalaci tepelného čerpadla, které zvýší teplotu primární energie (geotermální energie) na úroveň využitelnou pro sekundární systém (topné médium). V případě chladicích aplikací se často používá systém "volného chlazení", protože zde je zapotřebí pouze energie pro cirkulaci zemského chladného teplotního média. Pokud tato teplota země není (nebo již není) dostatečná, lze mezi ně připojit chladicí stroj.

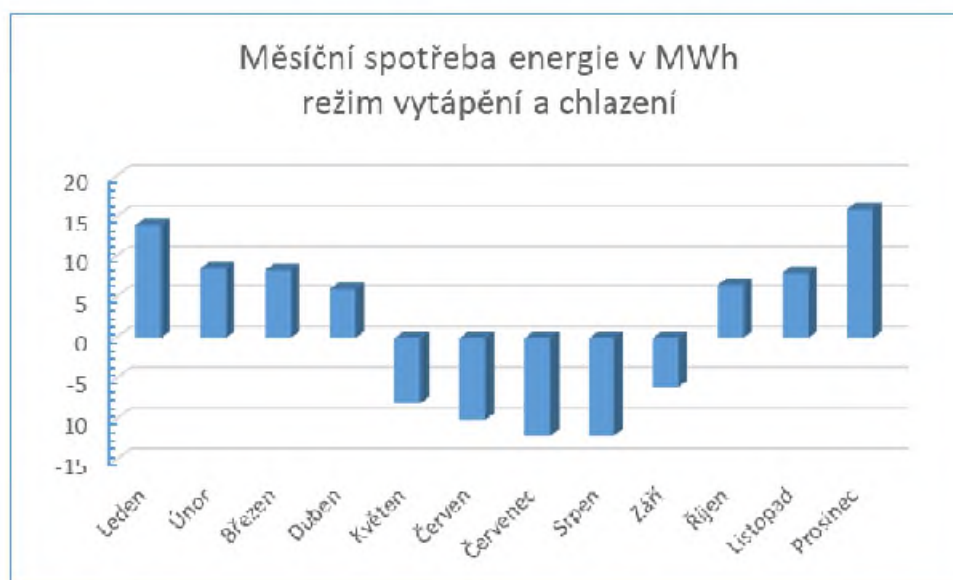
6.2.3. Charakteristiky spotřeby

Různé budovy a typy využití mají také různé spotřebitelské charakteristiky. Například obytné budovy, jako jsou bytové domy, obvykle potřebují pouze energii na vytápění a žádnou energii na chlazení (Obr. 1). Naproti tomu však například kancelářské budovy mohou vyžadovat více energie na chlazení než na vytápění. V každém případě je pro geotermální systém výhodné, aby měl v průběhu roku vyrovnanou

energetickou bilanci energie na vytápění a chlazení (Obr. 2). To má za následek dlouhou dobu provozu systému, a tím i lepší ekonomickou efektivitu a do značné míry konstantní teplotní poměry v zemi i po mnoha letech provozu (tepelná regenerace). Pro spolehlivé vyjádření o chování systému je obecně nutné mít k dispozici co nejpřesnější informace o energetické potřebě uživatele (alespoň průměrné měsíční hodnoty energetické potřeby a špičkové výkony vytápění a chlazení).



Obr. 1 Příklad nevyrovnané energetické bilance – režim vytápění



Obr. 2 Příklad vyrovnané energetické bilance – režim vytápění a chlazení

Pro zvýšení ekonomické efektivnosti geotermálního systému může mít smysl pokrýt geotermální energii pouze základní potřebu energie a špičkové zatížení – pokud je k dispozici – pokrýt konvenčními zdroji energie (bivalentní koncepce systému). To vede k ještě vyšší míře využití geotermálního systému, protože základní zatížení se vyskytuje v delších časových obdobích.

6.3. Geologické a hydrogeologické poměry

Podmínky v podzemí a podzemní voda mají rozhodující vliv na výběr způsobu využití a výkonnost geotermálního systému.

Podzemní voda přítomná v podzemí vede vždy k vyšším měrným výkonům systému ve srovnání s relativně suchými podmínkami. Pokud je však žádoucí akumulovat teplo v podzemí i během provozu systému, může mít proudění podzemní vody i negativní účinky, protože akumulované teplo je podzemní vodou opět odváděno pryč.

K dalším vlastnostem podloží, které jsou potřebné pro návrh systému, patří zejména průměrná tepelná vodivost půdy, její hustota a měrná tepelná kapacita. U menších zařízení se tyto parametry často určují z údajů uvedených v literatuře nebo dostupných zdrojů na základě klasifikace půdy v místě podzemní stavby. Pro větší zařízení o výkonu přibližně 50 kW a více se staly standardem zkoušky tepelné odezvy. Při těchto zkouškách se na speciálně vyrobených geotermálních sondách, které lze následně použít v provozu, stanoví průměrná tepelná vodivost půdy a průměrná teplota půdy v místě instalace.

6.4. Koncepce založení a geometrické parametry objektu

Při použití technologie pevných absorpérů je volba absorpčního systému určena především typem základu. V případě hlubokého založení stavby je možné použít energetické piloty nebo energetické podzemní stěny, zatímco v případě mělkého založení lze použít energetickou základovou desku. To je případ budov a tunelů postavených v otevřené konstrukci. Pro ražené tunely nebo hloubené tunely byla vyvinuta speciální řešení (viz kapitola 7.2.3).

Geometrie stavební konstrukce určuje především uspořádání jednotlivých absorpčních prvků. Kromě toho je třeba zohlednit také začlenění konstrukce do podloží, protože to může změnit přirozené proudění podzemní vody. V neposlední řadě je třeba vzít v úvahu možné tepelné zkratové účinky mezi interiérem stavebního prvku a pevným absorpčním systémem, zejména v případě pevných absorpčních systémů.

6.5. Systémy absorpčních prvků

Přenos tepla v podzemí probíhá různými mechanismy, přičemž v půdách s nízkou propustností převažuje vedení tepla (kondukce) spolu s dalšími mechanismy přenosu, zatímco ve vysoce propustných vrstvách půdy s podzemní vodou je pro přenos tepla rozhodující proudění tepla (konvekce).

Pro přenos tepelné nebo chladné energie je nutný rozdíl teplot mezi substrátem, který se používá k využití, a transportním médiem. V zásadě se rozlišují dva systémy:

- uzavřené systémy (absorpční okruh),
- otevřené systémy (přímý odběr podzemní vody).

V uzavřených systémech cirkuluje teplotnosné médium v trubkách absorberu a při průtoku se buď ohřívá, nebo ochlazuje.

V otevřených systémech se podzemní voda odebírá z vodné vrstvy a přímo se využívá, poté se ohřívá nebo ochlazená voda vrací zpět do vodné vrstvy. Otevřenými systémy se v rámci tohoto výzkumného projektu dále nezabýváme.

Pokud jde o provoz absorpčních prvků, lze zásadně rozlišovat mezi dvěma různými možnostmi hospodaření s geotermální energií:

- jednoduché odebírání případně dodávka geotermální energie,
- sezónní provoz s ukládáním tepla a chladu.

Při jednoduchém geotermálním provozu, tj. kdy se buď z půdy pouze odebírá energie nebo se do půdy pouze vnáší, tok energie probíhá pouze jedním směrem, v sezónním provozu se využívá termodynamické setrvačnosti půdy k ukládání energie v půdě, takže tato energie je v půdě uložena a může být v požadovaném čase opět odebrána. Se systémem sezónního skladování je tedy možné zajistit vyrovnanou energetickou bilanci v průběhu roku. Půdy s vysokou propustností jsou obzvláště vhodné pro jednoduchý provoz pro využití tepla nebo chladu, protože proudění podzemní vody průběžně regeneruje ohřívání nebo ochlazené zóny půdy. Půdy s nízkou propustností jsou naproti tomu obzvláště vhodné pro sezónní akumulaci, protože nedochází k výraznému proudění, a teplotní podmínky tak zůstávají do značné míry stejné.

6.6. Technické a ekonomické požadavky

Plánování a provádění geotermálních zařízení přirozeně podléhá technickým limitům použití. Ty jsou dány především maximálními teplotami v absorpčním systému (vliv na statiku absorpčních stavebních dílů) nebo minimálními teplotami ve staticky účinných komponentách (tvorba ledových čoček). Tepelné ztráty způsobené příliš dlouhým kolektorovým potrubím nebo nadměrnými tlakovými ztrátami v dlouhých absorpčních okruzích mohou rovněž omezovat použití. Důležitá je také volba teplotnosného média. Obvykle se v absorpčních systémech používá teplotnosné médium chráněné před mrazem (směs 1,2-propylenglykolu a vody). Pokud je však systém navržen a naplánován tak, že lze jako teplotnosné médium použít vodu bez přídavku nemrznoucí směsi, nabízí se ve srovnání s teplotnosným médiem chráněným proti mrazu následující výhody:

- nižší náklady na plnění systému, protože odpadají náklady na nemrznoucí směs (1,2-propylenglykol nebo ekvivalent),
- nižší provozní náklady, protože viskozita vody je nižší a tepelná kapacita vyšší než u nemrznoucí směsi a vody, a proto stačí nižší čerpací výkony,
- lepší přenos tepla v absorpčním systému ve srovnání s nemrznoucí směsí a vody,
- vnější povrchy stavebních základových prvků se stejně nesmí ochladit pod 0 °C, aby se zabránilo tvorbě ledových čoček,

- žádné škodlivé účinky na životní prostředí v případě úniku z potrubí.

Ekonomické limity zahrnují dobu návratnosti nebo anuitu ve srovnání s jinými formami dodávek energie. Tyto limity jsou obvykle definovány konkrétně pro daný projekt zadavatelem, takže výpočet rentability by měl být pevnou součástí plánování. Geotermální systémy se obvykle vyznačují vyššími investičními náklady a často velmi nízkými provozními náklady ve srovnání s konvenčními zdroji energie.

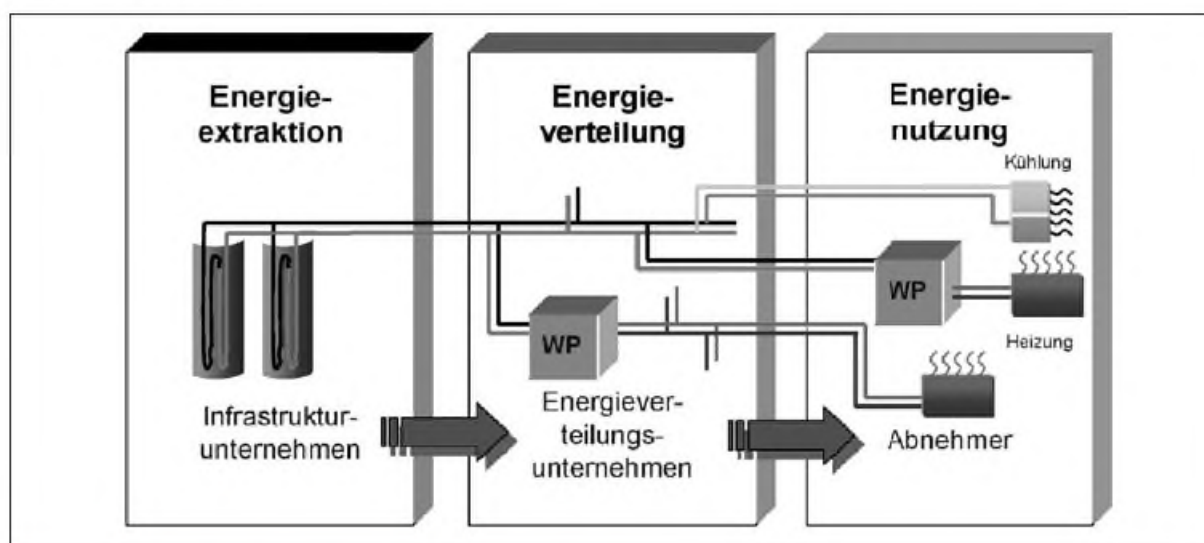
7. NÁVRH GEOTERMÁLNÍCH ZAŘÍZENÍ V TUNELECH

7.1. Obecné

Tzv. tunelové tepelné zařízení se v zásadě skládá z následujících komponent:

- absorpční systém, který je integrován do stavební konstrukce tunelu,
- sběrné potrubí nebo rozvody energie, které se táhnou od napájecích bodů v tunelu k tepelným čerpadlům/chladicím zařízením spotřebitele,
- uživatelský systém, který zahrnuje výrobu tepla/chladu a distribuci tepla/chladu v budově uživatele.

Obr. 3 ukazuje obecnou strukturu tunelového geotermálního zařízení (tunelový tepelný systém). Obecně lze rozlišovat, zda energii získanou ze stavby využívá sám vlastník, nebo zda je cílem tuto energii prodat. Zásah energetické distribuční společnosti je nutný pouze tehdy, pokud má být energie dále prodávána a mezi vlastníkem infrastrukturní stavby a odběratelem energie nemají být uzavírány přímé smlouvy. Tato energetická distribuční společnost může rovněž převzít údržbu systému až po uživatelský systém.



Obr. 3 Schematická struktura tepelného využití tunelu

V souvislosti s přípravou smlouvy mezi vlastníkem infrastrukturní stavby a spotřebitelem energie je třeba zohlednit zejména časové hledisko, neboť energie z tunelu je obvykle k dispozici až krátce před dokončením tunelu.

Spotřebitel energie (např. výšková budova na povrchu) potřebuje energii v dřívějším okamžiku (po dokončení stavby budovy). Odklady, které jsou možné zejména v případě tunelů, mohou smluvní ujednání ještě více ztížit.

Aby bylo možné učinit prohlášení o ekonomické životaschopnosti těchto zařízení, musí být náklady srovnatelné se standardními tržními cenami energie. Geotermální zařízení vyžadují vyšší počáteční investice než konvenční energetické systémy kvůli výstavbě absorbérů, potrubí a případně vyšším pořizovacím nákladům na tepelná čerpadla, které mohou být kompenzovány nižšími provozními náklady v přiměřené době návratnosti.

7.2. Faktory ovlivňující návrh zařízení

Výroba absorbérů představuje nejvyšší náklady v poměru k celkovým nákladům na výstavbu geotermálního systému, a proto má optimalizace v této oblasti podstatný vliv na ekonomickou efektivitu celého systému. Aby bylo možné provést optimalizace, je třeba prozkoumat a stanovit okrajové podmínky pro možné optimalizační kroky. Je zřejmé, že existuje velké množství faktorů, které ovlivňují absorpční systém, který je třeba optimalizovat.

Vedle dalších ovlivňujících faktorů (obecná úroveň cen energie, úspory emisí atd.) je pro hospodárný energetický systém zásadní plánování technologie budov. To se musí orientovat na rámcové podmínky pro nízkoenergetickou výstavbu včetně nízkoteplotních rozvodů energie (podlahové a stěnové vytápění, aktivace prvků, řízené větrání obytných prostor atd.)

Obecně lze uvést následující faktory ovlivňující plánování absorpčního systému, které jsou nezbytné pro hospodárný provoz zařízení:

- uživatel geotermálního zařízení,
- umístění geotermálních absorbérů,
- způsob výstavby tunelu,
- stav základové půdy a podzemní vody,
- teploty základové půdy a vzduchu v tunelu,
- absorpční prvky v tunelových konstrukcích,
- postup výstavby,
- režim provozu,
- typ média pro odběr/ přenos tepla.

V následujících odstavcích jsou tyto ovlivňující faktory podrobněji popsány a je vysvětlen jejich dopad na ekonomickou efektivnost, by měly být zkoumány a hodnoceny individuálně pro každý projekt. Složitost vzájemných vztahů stěží umožňuje plánování "na způsob kontrolního seznamu", ale vyžaduje celkový pohled na okrajové podmínky se zvážením významných pozitivních a negativních účinků systémových rozhodnutí.

7.2.1. Uživatel geotermálního systému

V zásadě lze rozlišovat mezi scénáři interního použití a scénáři externího použití.

Scénáře interního použití zahrnují:

- klimatizace (vytápění, chlazení) provozních budov,
- odstraňování náledí z vozovek v oblasti portálů tunelů, ramp, mostů atd.

Scénáře externího použití zahrnují:

- klimatizace budovy (vytápění, chlazení),
- průmyslové procesy,
- odstraňování námrazy z chodníků a jiných než komunikací než v tunelu.

Z hydraulického a tepelného hlediska je třeba poznamenat, že zákazníci by se měli nacházet v bezprostřední blízkosti geotermálního zařízení v tunelu. Doporučuje se kontaktovat potenciální uživatele/zákazníky co nejdříve po identifikaci externích scénářů využití a definovat rámcové smluvní podmínky. V této fázi plánování může být uživatel ještě zapojen do procesu plánování, což následně přispěje k optimalizaci geotermálního zařízení v tunelu.

7.2.2. Umístění geotermálního systému

Geotermální zařízení v tunelu by mělo být umístěno co nejbližší uživatelskému zařízení, aby se zabránilo dlouhým potrubním trasám. V závislosti na velikosti zařízení by délky potrubí neměly přesáhnout několik 100 m (doporučuje se max. 500 m), protože náklady na potrubí (výkopové a pokládací práce) vstupují do nákladů na pořízení a snižují tak dobu amortizace a přímo ovlivňují provozní náklady (způsobené ztrátami třením v potrubí a případně tepelné ztráty). Systém by také neměl být umístěn v bezprostřední oblasti portálu tunelu, aby se zabránilo příliš silnému vlivu teploty venkovního vzduchu. To znamená, že je vhodnější umístit geotermální absorbéry tepla do středu tunelu.

7.2.3. Metody výstavby podzemních děl

Obecně lze metody výstavby rozdělit na provádění tunelů a stanic v otevřené stavební jámě, cyklické (NRTM) nebo kontinuální (TBM) ražení tunelů a cyklické ražení stanic nebo atypických profilů metra pomocí NRTM. Metoda výstavby podzemní stavby přímo ovlivňuje typ absorbérů a způsob jejich instalace v podzemním díle.

A. Konvenčně (cyklicky) ražené podzemní stavby pomocí NRTM

Ražení podzemního díla probíhá buď na plný profil nebo pomocí dílčích výrubů s horizontálním nebo vertikálním členěním výrubu. Stabilita výrubu je zajištěna primárním ostěním ze stříkaného betonu, vyztužením nosného horninového prstence v okolí výrubu pomocí systémového kotvení, případně dalšími doprovodnými opatřeními k zajištění bezpečného provádění výrubu. Tunelové ostění je zpravidla navrženo jako dvouplášťové, přičemž sekundární ostění je navrženo z monolitického betonu. Mezi primárním a sekundárním ostěním je mezilehlá izolace, která zajišťuje

požadovanou vodonepropustnost podzemního díla. Při tomto způsobu výstavby absorber tvoří tzv. „energetická rohož“, která se jako systém potrubí upevněný na geotextilii vkládá mezi primární a sekundární ostění. Postup instalace absorberu je ovlivněn postupem výstavby sekundárního ostění. Potrubí pro vedení média pro získání geotermální energie je možné vkládat do horní klenby tunelu, nebo v případě tunelových profilů uzavřených spodní klenbou i do jejich dna.

Zvláštní metodou konvenční výstavby je ražení pod zastropením, které kombinuje prvky konvenční ražby a prvků používaných u hloubených tunelů se zajištěním boků stavebních jam pomocí podzemních nebo pilotových stěn. Z předvýkopu se provede zajištění budoucího výrubu podzemními nebo pilotovými stěnami, na upravený povrch se provede betonáž stropní desky nebo klenby tunelu a po obnovení povrchu terénu probíhá pod stropní konstrukcí ražení prostoru mezi stěnami budoucího tunelu. Potrubí s médiem pro získání geotermální energie může být v tomto případě instalováno do podzemních stěn, stropní i základové desky tunelu, a to i v případě, že se z hlediska jejich statického působení jedná o dočasné konstrukce. Zásadní je umístění potrubí co nejblíže k horninovému masivu a co nejdále od vzdušné strany podzemního díla.

B. Strojně (kontinuálně) ražené tunely pomocí tunelovacích strojů TBM

Ražení pomocí tunelovacích strojů je primárně určeno pro ražení traťových tunelů. Jedná se o plnoprofilovou kontinuální ražbu pomocí tunelovacích strojů nebo štítů, při které je stabilita výrubu zajištěna železobetonovým ostěním z prefabrikovaných dílců, tzv. tybinků. Potrubí pro vedení média odnímající geotermální energii z horninového masivu je do prefabrikátu instalováno při jeho výrobě a napojovací prvky jsou zaústěny do speciálních nik tak, aby bylo možné v rámci prstence ostění potrubí po sestavení prstence erektorem jednoduše propojit. Takto upravené tybinky je možné v zahraniční literatuře najít pod pojmem „Energietübbing“. V případě dvouplášťového ostění strojně ražených tunelů, kdy primární ostění tvoří prstence sestavené z tybinků a sekundární ostění monolitický beton, platí pro instalaci energetického roury stejné zásady, jako u konvenčně ražených tunelů a je vkládáno mezi primární a sekundární ostění. U strojně ražených tunelů se zpravidla využívá horní část kruhového profilu tunelu cca do úrovně povrchu jízdní dráhy.

C. Hloubené tunely a stanice

Výstavba těchto typů konstrukcí probíhá v otevřené stavební jámě, jejíž boky mohou být buď svahované, nebo zajištěné podzemními nebo pilotovými stěnami. Ty mohou být buď dočasné, nebo mohou být součástí nosné konstrukce hloubeného tunelu nebo stanice. Potrubí pro vedení média pro získání geotermální energie se do těchto konstrukcí instalují blíže k rozhraní se zásypem (u svahovaných stavebních jam) nebo horninovým masivem (u zajištění boků stavebních jam podzemními nebo pilotovými stěnami). Ke konstrukcím, do kterých je instalováno potrubí s médiem pro získání geotermální energie patří jak dočasné podzemní nebo pilotové stěny, piloty pro založení hloubených objektů nebo jejich nadzemních částí, boční stěny a základové desky hloubených tunelů a stanic.

7.2.4. Stav horninového masivu a režim podzemní vody

Horninový masiv by měl mít co nejvyšší tepelnou vodivost a schopnost akumulace tepla. To platí vždy pro tunely umístěné pod hladinou podzemní vody.

Akumulace tepla je v geotermálním systému v tunelové konstrukci obecně možná pouze v omezené míře, protože vzduch v tunelu vždy proudí kolem komponentů, což vede ke zvýšenému vyrovnávání teplot. Pro (sezónní) ukládání tepla jsou mnohem vhodnější geotermální sondová pole nebo skupinové uspořádání energetických pilot. Tunely se však dobře hodí pro odběr nebo přívod tepla, zejména pokud stav horninového masivu umožňuje vyšší rychlost proudění podzemní vody a pokud je teplota vzduchu v tunelu po celý rok pokud možno konstantní.

7.2.5. Teplota horninového masivu a vzduchu v tunelu

Teplota horninového masivu a vzduchu v tunelu mají významný vliv na teplotu teplotonosného média při výměně tepla. Vyšší teploty horninového masivu a vzduchu v tunelu jsou příznivé pro odběr tepla v období vytápění, ale v období chlazení by měly být co nejnižší, aby se zlepšil přívod tepla. Pokud se vzduch v tunelu v zimě příliš ochladí, měla by se poloha trubek absorbéru posunout směrem k zemi, aby se zabránilo přímému vlivu vzduchu v tunelu na teplotu absorbéru. V případě vysokého chladicího zatížení a nízké teploty vzduchu v tunelu v létě však může být výhodnější umístit trubky absorbéru blízko ke straně vzduchu v tunelu, aby se umožnilo rychlejší ochlazení stavebního prvku.

7.2.6. Typy absorpčních prvků v tunelových konstrukcích

Z hlediska použití jednotlivých typů absorbérů geotermální energie je nutné rozlišovat, zda jsou instalovány v ražených nebo hloubených tunelech, případně u ražených tunelů, zda se jedná o ražbu pomocí NRTM nebo tunelovacími stroji.

Konvenčně (cyklicky) ražené tunely

- Energetické rohože (geotextilie, rouno)

Energetické rouno je nově vyvinutý prvek, kde jsou absorpční trubky vloženy mezi dvě sešité rohože. Energetické rohože lze použít všude tam, kde se geotextilie používají v zemních pracích, zakládání a tunelech pro oddělení, filtraci, odvodnění, vyztužení či zpevnění. Jejich první použití bylo při stavbě tunelu Lainzer ve Vídni, kde byla v pilotním provozu provedena separace mezi vnitřním a vnějším ostěním pomocí energetických rohoží (Obr. 4).



Obr. 4 Instalace energetické rohože v testovacím úseku raženého tunelu Lainzer ve Vídni

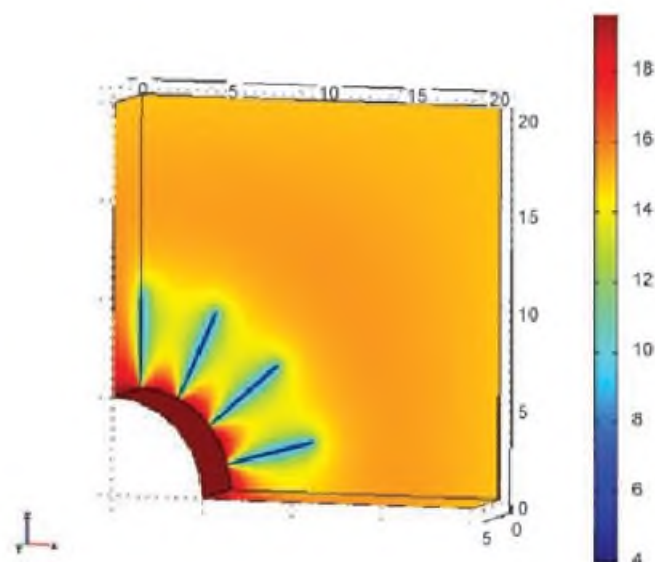
Další vývoj proběhl v rámci zřízení geotermálního zkušebního zařízení v tunelu Fasanenhof podzemní dráhy U6 ve Stuttgartu (Obr. 5), kde bylo místo paralelního spojení absorpčních trubek provedeno sériové spojení a jako nosná podložka byla použita pouze jedna vrstva rohože.



Obr. 5 Instalace energetické rohože ve zkušebním úseku tunelu Fasanenhof ve Stuttgartu

- Energetické kotvy

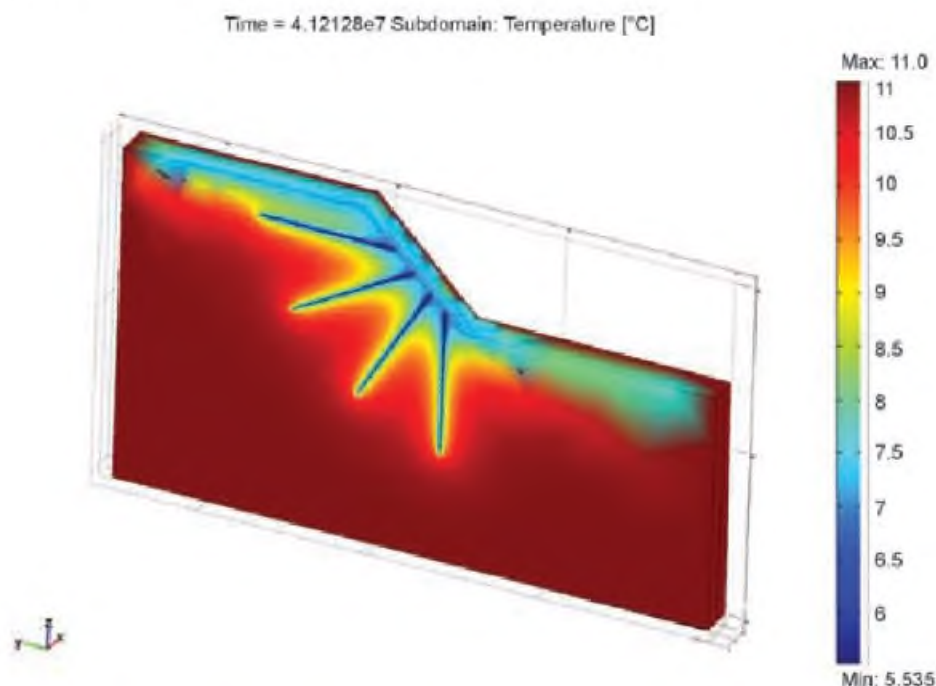
Kotvy se používají ke stabilizaci svahů a náspů a k zajištění tunelových konstrukcí. Kotvy zasahují hluboko do masivu a pokrývají jeho velké objemy (viz Obr. 6), které lze využít pro geotermální energii.



Obr. 6 Využití geotermických kotev v raženém tunelu

V závislosti na vnitřním průměru jsou trubkové kotvy buď vybaveny uzavřenými koaxiálními trubkami, nebo samotná kotevní trubka slouží jako absorbér, přičemž do kotvy je vložena pouze otevřená trubka. V tomto případě je třeba věnovat zvláštní pozornost těsnění v oblasti patky kotvy.

Energetické kotvy byly poprvé použity při zkušební instalaci na náspe (Obr. 7) při stavbě tunelu Lainzer ve Vídni.



Obr. 7 Využití geotermických kotev při stabilizaci náspe při stavbě tunelu Lainzer

- Energetické dno

Pro aktivaci tunelových úseků postavených konvenční metodou při nízkých nákladech je vhodnou metodou využití spodní klenby, které do značné míry odpovídá využití základové desky hloubených tunelů. Protože v oblasti dna tunelu často existuje toleranční oblast, lze ostění provádět v této toleranční oblasti. Délka tunelu, kterou lze využít, do značné míry závisí na přípustné délce absorpčního okruhu (viz Obr. 8).



Obr. 8 Příklad instalace absorpčního okruhu ve dně raženého tunelu

Hloubené tunely

- Přehled

U hloubených tunelů lze v závislosti na pořadí výstavby použít následující absorpční prvky:

Stavba pod zastropením – metoda shora dolů:

- energetické podzemní stěny,
- energetické piloty,
- energetické základové desky,
- energetické studny/vrty.

Otevřený výkop – metoda zdola nahoru:

- energetické základové desky,
- energetické studny/vrty,
- energetické podzemní stěny,
- energetické podzemní stěny.

- Energetické podzemní stěny,

Pro stavbu energetických podzemních stěn jsou obvykle nutné výztužné koše, které mohou v pozdějším výkopu absorbovat tahové síly v konstrukční části. Do těchto výztužných klecí se instalují absorpční vedení, a tím jsou vedení chráněna během spouštění koše do rýhy.

Případně je možné ponechat část armokoše bez vedení, aby se zabránilo jeho poškození při čerpání betonu do rýhy. V závislosti na zvoleném systému může být připojovací bod umístěn v horní části podzemní stěny nebo ve spodní části v oblasti základové desky. V případě košů se dvěma částmi koše je poměrně snadné provést spoj mezi trubkami absorbéru. Koše mohou být vybaveny absorpčním vedením již v armaturce nebo na staveništi. Překážky při výstavbě jsou velmi malé (Obr. 9).



Obr. 9 Příklad použití absorpčního okruhu v konstrukci energetické podzemní stěny

- Energetické piloty

Umístění absorpčního vedení do armokošů je obdobné jako u podzemních stěn. Možné jsou spoje v pilotě, přípojná místa jsou na hlavě piloty nebo v oblasti spodní desky. Obtížnost stavebního procesu je rovněž nízká (Obr. 10).



Obr. 10 Příklad upevnění absorpčního okruhu k výztuži energetické piloty

- Energetické základové desky

Jako poměrně jednoduchý systém se osvědčila instalace pod vlastní základovou desku. Pro zjednodušení prací je třeba na dno výkopu uložit vyrovnávací vrstvu (o tloušťce cca 5 cm v závislosti na půdních podmínkách), na kterou se na upevňovací pomůcky (např. armovací rohože, systémové lišty apod.) pevně přichytí absorpční vedení. Pokud je tunel budován pod zastropením a jsou použity také energetické podzemní stěny nebo energetické piloty, mohou být tyto absorpční prvky připojeny na úrovni základové desky. Spojovací vedení, která jsou k tomu zapotřebí, mohou být položena společně s osazením základové desky.

Pokud mají být absorpční trubky vedeny do vnitřku tunelu (rozdělovač umístěný uvnitř tunelu), musí být v závislosti na stávajícím tlaku vody v konečném stavu vytvořen vodotěsný průchod základovou deskou. Poté lze na absorpční potrubí aplikovat ochrannou betonovou vrstvu, aby se zabránilo poškození při následných armovacích pracích základové desky. Během výstavby je třeba v závislosti na ploše, kterou pokrývá, počítat s minimálně několika dny na instalaci absorpčních trubek. Výhodné jsou co největší úseky základové desky, které lze vyrobít v jednom kuse.

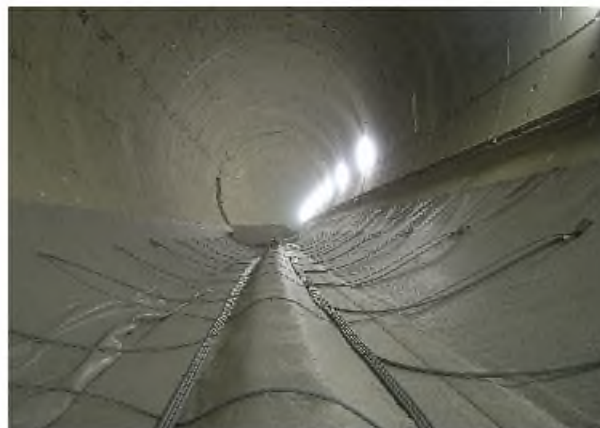
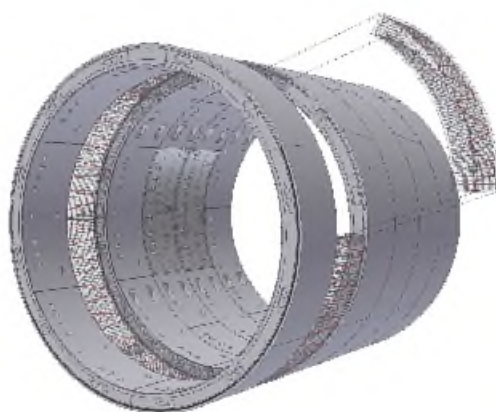
- Energetické studny/vrty

Řada projektů tunelů vyžaduje vrty nebo studny pro snížení hladiny podzemní vody. Tato většinou dočasná opatření mohou být také použita k vytápění a/nebo chlazení sousedních staveb, a to jak dočasně, tak trvale. Takové energetické vrty lze realizovat vedle tunelových staveb.

Strojně (kontinuálně) ražené tunely pomocí tunelovacích strojů

- Energetické tybinky

Energetické tybinky (Obr. 11) vyvinuly společnosti Ed. Züblin AG a Rehau AG + Co a souběžně také PSP Consulting Engineers. To znamená, že geotermální energii lze nyní získávat i z tunelů ražených tunelovacími stroji, v nichž se jako plášť tunelu používají prefabrikované betonové prvky (segmenty). Po úspěšných laboratorních a terénních zkouškách byl v železničním tunelu Jenbach v tyrolském Unterinntalu poprvé vybaven energetickými tybinkami úsek tunelu o délce 54 m, aby bylo možné zásobovat teplem z tunelu nebo jeho okolní horniny blízký stavební dvůr obce Jenbach.



Obr. 11 Použití energetických tybinků na tunelu Jenbach v Rakousku

7.2.7. Postup výstavby

Postup výstavby geotermálního zařízení v tunelu vychází z velké části ze způsobu výstavby tunelu. Obecně je výhodné, pokud lze absorpční systém vybudovat v co nejmenším počtu pracovních kroků, aniž by byl závislý na jiných stavebních činnostech, a pokud jej lze až do zahájení provozu dobře chránit, aby nedošlo k jeho poškození. Výstavbu geotermálního zařízení lze v zásadě rozdělit do několika stavebních fází, přičemž je třeba dbát na to, aby práce v tomto ohledu probíhaly současně s běžnými stavebními pracemi v tunelu (např. betonáží sekundárního ostění).

7.2.8. Provozní režim

V našich zeměpisných šířkách a při převládajících teplotách v horninovém masivu nebo vzduchu v tunelu u mělkých silničních tunelů je technicky proveditelný jak čistě topný provoz, tak čistě chladicí provoz a sezónně se střídající topný a chladicí provoz. Čím vyšší je však doba využití během roku (roční počet provozních hodin), a tedy roční součet odebraného a uvolněného tepla, tím kratší je doba amortizace systému.

7.2.9. Typ média pro odběr/ přenos tepla

Aby bylo možné využít teplo uložené ve stavebních prvcích, je třeba do nich položit absorpční potrubí. Fyzikálně výhodné by bylo husté uložení velmi tenkých trubek (kapilárních trubek) v mnoha vrstvách, což však není možné z mechanických, kladečských a také ekonomických důvodů. V praxi se proto jako absorpční trubky používají téměř výhradně trubky PE-HD o průřezu 25 x 2,3 mm nebo 32 x 2,9 mm (vnější průměr x tloušťka stěny), protože nabízejí dobrý kompromis mezi snadností pokládky, náklady na běžný metr a tlakovou ztrátou způsobenou prouděním v trubce.

Jako teplotnosné médium lze použít buď čistou vodu, nebo směs vody a nemrznoucí směsi. Zvláštní pozornost je třeba věnovat slučitelnosti s životním prostředím, protože systém často obsahuje několik tisíc litrů. V tomto případě je vhodným nemrznoucím prostředkem 1,2-propylenglykol. Směs nemrznoucí kapaliny a vody má poněkud vyšší viskozitu než čistá voda, což je třeba zohlednit při dimenzování oběhového čerpadla a jeho spotřeby energie.

Bylo by také možné použít přímé odpařování chladiva v absorpčním zařízení, ačkoli by se tím znatelně zvýšil koeficient výkonu systémů tepelných čerpadel, nebylo by možné provozovat chlazení a jako materiál potrubí by se kvůli vyšším tlakům musely použít mnohem dražší měděné nebo podobné trubky. U tohoto systému by také byly mnohem větší problémy s úniky plynu.

7.3. Faktory ovlivňující provoz zařízení

Velká část faktorů ovlivňujících plánování má v zásadě významný vliv i na provoz, a tím i na provozní náklady geotermálního systému, protože následné úpravy vlastností systému (teploty absorbéru v závislosti na výkonu a době provozu) již nejsou bez dalšího možné. Zásadní systémová rozhodnutí a jejich účinky na provoz a další provozní vlivy jsou následující:

- provozní režim,

- umístění geotermálních absorbérů,
- teplotnosné médium/absorpční kapalina,
- tepelná čerpadla a chladicí jednotky.

Tunelová geotermální zařízení obecně vyžadují jen velmi malou údržbu. Stejně jako u každého systému výroby energie však mohou neoptimální provozní režimy a nesprávná nastavení vést ke zbytečným dodatečným provozním nákladům.

7.3.1. Provozní režim

Pro příznivé provozní náklady je nutné, aby se provozní teploty topných a chladicích systémů uživatele blížily absorpčním teplotám, aby bylo nutné dodávat co nejméně externí energie. Proto jsou pro rozvod tepla v prostorách uživatele vhodné zejména velkoplošné výměníky tepla, jako jsou stropy s aktivovaným betonovým jádrem, podlahové nebo stěnové vytápění. Kromě toho by v ideálním případě měly být požadavky na vytápění i chlazení přítomny v rámci jednoho provozního roku.

7.3.2. Umístění geotermálních absorbérů

Umístění geotermálních absorbérů má významný vliv na provoz. Čím dále jsou geotermální absorbéry od uživatele, tím větší jsou ztráty třením v potrubí při cirkulaci teplotnosného média. V případě sběrných potrubí uložených v zemi může docházet ke ztrátám energie v důsledku odvedení tepla do země, pokud je například teplota země v zimě nižší než teplota absorbéru. V přechodném období však může sběrné potrubí také absorbovat energii podél trasy potrubí, a tím zvětšovat plochu absorbéru. Aby však nedošlo k tepelnému zkratu mezi přívodem a zpětným vedením sběrného potrubí, mělo by potrubí být buď izolováno, nebo uloženo v zemi ve vzdálenosti alespoň 50 cm.

7.3.3. Teplotnosné médium/absorpční kapalina

V závislosti na minimální požadované teplotě se jako teplotnosné médium zpravidla používá čistá voda nebo směs vody a nemrznoucích směsí kompatibilních s životním prostředím. Výhodou čisté vody jsou nižší náklady na plnění systému a nižší viskozita při cirkulaci teplotnosného média v absorpčním systému, což přímo ovlivňuje energetické výdaje na oběhová čerpadla. Kromě toho je měrná tepelná kapacita čisté vody větší. Tlak v systému by se měl kontrolovat častěji (např. každý měsíc) na začátku provozu a poté každý rok. Důležité je také zajistit, aby všechny okruhy na rozdělovačích měly stejný průtok, což je patrné z vyvažovacích ventilů s ukazateli průtoku (tzv. „TopMeter“). Pokud je průtok okruhy při následných kontrolách horší než na začátku provozu, může to být způsobeno odplyněním a tvorbou vzduchových bublin v absorpčních okruzích. Tyto okruhy lze při revizích opět individuálně odvzdušnit. V každém případě se doporučuje, aby byly v rozdělovačích instalovány odvzdušňovací otvory. Pokud dojde k selhání obvodů, což se může stát pouze během provozu v důsledku znečištění nebo poškození součástí absorbéru, lze tyto obvody uzavřít v rozdělovačích.

U směsí vody a nemrznoucí směsi je třeba pravidelně kontrolovat bod mrazu (např. každých 5 let), aby nedošlo k poškození výměníků tepelných čerpadel.

7.3.4. Tepelná čerpadla a chladicí jednotky

Tepelná čerpadla a chladicí jednotky je třeba pravidelně kontrolovat. V případě potřeby je třeba přizpůsobit regulační techniku změněným provozním podmínkám. Pro větší zařízení se doporučuje instalace vícestupňových oběhových čerpadel pro absorpční systém nebo čerpadel s regulovaným počtem otáček, která umožňují lepší přizpůsobení výkonovým požadavkům spotřebitelů energie a snižují provozní náklady. V systémech s rizikem znečištění (např. v důsledku pozdějšího rozšíření zařízení) by měly být ve sběrných potrubích instalovány lapače nečistot, které je třeba pravidelně kontrolovat a čistit.

7.4. Rizika selhání

7.4.1. Obecně

Použití vrtaných pilot nebo podzemních stěn a základových desek jako absorpčních konstrukcí pro získávání geotermální energie je již léta testováno a vědecky zkoumáno v mnoha konstrukcích. Přesto se v diskusích o možném využití geotermálního zařízení opakovaně objevují otázky týkající se možného poškození absorpčních trubek během instalace nebo provozu a toho, co dělat, pokud celé zařízení selže v důsledku vnějších vlivů.

Z tohoto důvodu se zde těmito otázkami zabýváme podrobněji.

7.4.2. Poškození absorpčního vedení

V současné době je běžné, že během procesu betonáže absorpčních prvků jsou absorpční trubky udržovány pod tlakem nejméně 2 barů pomocí stlačeného vzduchu, aby se vyrovnal tlak betonu. Po dokončení procesu tuhnutí se každý jednotlivý okruh kontroluje na těsnost při tlaku 8 barů. Zkušenosti ukázaly, že méně než 3 % všech absorpčních trubek je během výrobního procesu poškozeno, a proto tyto okruhy nelze použít pro odběr tepla. Zbývající okruhy, u nichž byla zkontrolována těsnost a spojitost, se naplní teplotnosným médiem. Zabetonované absorpční trubky jsou před poškozením nejlépe chráněny betonem, což znamená, že poškození absorpčního vedení lze po skončení stavební fáze prakticky vyloučit. Pokud by hypoteticky došlo k neúmyslnému úniku teplotnosného média (např. směsi vody a nemrznoucí směsi), nelze očekávat žádné negativní účinky na beton, půdu nebo podzemní vodu, protože voda i 1,2-propylenglykol jsou látky vhodné pro potravinářské účely a slučitelné s životním prostředím. Kromě toho by uniklé množství bylo malé, protože výskyt netěsnosti v potrubí by vedl k okamžitému poklesu tlaku a následně k vypnutí tepelného čerpadla. Jedinou hnací silou pro únik teplotnosné látky by pak byla gravitace. V důsledku toho by díky hadovitě položeným absorpčním trubkám mohlo unikat pouze malé množství teplotnosné látky.

7.4.3. Zamrzání půdy

Pro provoz zařízení je důležité, aby povrchová teplota součástí absorberu v žádném okamžiku neklesla pod bod mrazu, aby nedošlo k zamrznutí půdy a vzniku ledových čoček. Toho se dosáhne správným návrhem zařízení, a navíc automatickým vypnutím tepelného čerpadla, když teplota teplotnosného média klesne pod bod mrazu.

8. VYUŽITÍ GEOTERMÁLNÍ ENERGIE – ZAHRANIČNÍ PRAXE

V zásadě existují dva různé typy využívání geotermální energie v tunelech: (1) otevřené systémy – přímé hydrotermální využívání teplé podzemní vody (převážně ve Švýcarsku) a (2) uzavřené systémy – s absorpčními trubkami integrovanými do nosného betonového ostění ražených tunelů/stanic nebo betonových konstrukcí hloubených částí tunelů/stanic (podzemní stěny, piloty, základové desky, stěny tunelů/stanic).

8.1. Otevřené systémy

8.1.1. Silniční tunel St. Gotthard (Švýcarsko)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Gotthard-Strassentunnel>

Využití drenážní vody k získávání geotermální energie v silničním tunelu St. Gotthard uvedeném do provozu v roce 1979 je v literatuře popisováno jako nejstarší známý tunelový hydrogeotermální systém. Silniční tunel St. Gotthard je s délkou 16,9 km nejdelším silničním tunelem v Alpách a spojuje město Göschenen v kantonu Uri s městem Airolo v kantonu Ticino. Tunel nejprve prochází krátkou zónou nepevněné horniny, po níž následují vrstvy Aarského granitu. Poté následují ruly, vrstvy permokarbonu a sericitových břidlic, než se tunel zahlubí do granitů a pararul masivu Aar, aby se po průchodu vrstvami břidlic vynořil u Airolo. Maximální výška nadloží tunelu je přibližně 1000 m. V Airolo, u jižního portálu tunelu, kde se nachází provozní budova Gotthardského silničního tunelu, se drenážní voda z tunelu tepelně využívá k vytápění a chlazení. Výtok u jižního portálu dosahuje přibližně 112 l/s a má průměrnou výstupní teplotu 17 °C. Díky tomuto geotermálnímu potenciálu je prostřednictvím provozu 4 tepelných čerpadel k dispozici tepelný výkon 720 kW.

8.1.2. Silniční tunel Mappo-Morettina (Švýcarsko)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Mappo-Morettina-Tunnel>

Tunel Mappo Morettina je 5,5 km dlouhý silniční tunel na dálnici A13 ve švýcarském kantonu Ticino byl uveden do provozu v roce 1996. Tunel byl ražen v převážně metamorfovaných horninách metodou mechanizovaného ražení tunelů. O geologických a hydrogeologických podmínkách tunelu nejsou k dispozici žádné další informace. Průtok tunelové drenážní vody v tomto tunelu je přibližně 16 l/s při teplotě přibližně 16 °C. V rámci studie zadané Federálním energetickým úřadem pro využití vody z tunelů Mappo-Morettina pro tepelné účely obec Minusio návrh uvítala a rozhodla se nainstalovat systém tepelného čerpadla pro vytápění a výrobu teplé vody. Provedená instalace pokrývá kalorickou a tepelnou potřebu teplé vody servisní budovy v novém sportovním a rekreačním centru Mappo, které se nachází v bezprostřední blízkosti severovýchodního portálu galerie Mappo-Morettina. Je dimenzován i pro případné vytápění budoucího objektu restaurace. V letech 2000–2001 byl poměr energetické účinnosti (JAZ) přibližně 4.



Obr. 12 Portál silničního tunelu Mappo-Morettina

8.1.3. Silniční tunel Velký St. Bernhard

<https://de.wikipedia.org/wiki/Grosser-St.-Bernhard-Tunnel>

Tunel velký St. Bernard je 5,8 km dlouhý silniční tunel spojující Martigny ve švýcarském kantonu Valais s italskou Aostou. Byl uveden do provozu 19. března 1964 jako první silniční tunel, který překonává Alpy. Severní portál tunelu leží v nadmořské výšce 1 850 m n.m. Geotermální energie se nezískává z tepla drenážní vody, jako v ostatních tunelech popsanych v této kapitole, ale využíváním vzduchu z tunelu v technologii tepelného čerpadla vzduch-voda. Za tímto účelem se tunelový vzduch odebírá ve vzdálenosti 1500 m od severního portálu tunelu ve vrcholu klenby. Pro řízení provozu byla postavena nová administrativní budova, v níž jsou umístěny nové systémy řízení provozu, řídicí a bezpečnostní prostory. Budova se skládá ze tří podlaží o hrubé podlahové ploše 748 m².

Potřeba tepelné energie uvnitř budovy je rozložena následovně:

- Statické vytápění prostor: 22,50 kW
- Větrání a ohřev vzduchu: 13,30 kW.
- Celkový instalovaný výkon: 35,80 kW

Celkové zařízení na výrobu tepla je v provozu od roku 1999. Od uvedení do provozu funguje systém ke spokojenosti provozního oddělení tunelu. Za účelem úspory nákladů na údržbu se v současné době zkoumá řešení výměny syntetických filtrů odpařovacího monobloku za regenerovatelné kovové filtry, protože se zanášejí rychleji, než se očekávalo, zejména v důsledku nárůstu provozu v tunelu. Naměřený výkon (COP) systému se v ročním průměru blíží hodnotě 3,5 a překračuje prognózy provedené v předprojektové fázi. Po získání energie tepelným čerpadlem je ochlazený vzduch přiváděn zpět do tunelu.



Obr. 13 Ražený silniční tunel Velký St. Bernhard s instalovaným zařízením pro geotermální energii

8.1.4. Silniční hraniční tunel Füssen

https://de.wikipedia.org/wiki/Grenztunnel_F%C3%BCssen

Hraniční tunel Füssen o celkové délce 1,2 km spojuje spolkovou dálnici A7 u Füssenu s rakouskou silnicí B 179. Obousměrně provozovaná dvoupruhová turelová trouba se nachází ze 73 % na německém území a 27 % na rakouském území. Tunel Füssen prochází horským pásmem severních vápencových Alp, které jsou v této oblasti tvořeny zvodnělým hlavním dolomitem Burkenbichl, takzvanými Raiblerskými vrstvami (střídající se vrstvy vápence, dolomitu, pískovce, jílovitého slínovce) a wettersteinským vápencem Vilser Berg. Maximální výška nadloží tunelu dosahuje cca 210 m. Odvodnění Füssenského tunelu je výhradně k severnímu portálu na německé straně. Odpadní vody jsou odváděny odděleně od odvodnění pláň vozovky a podzemní, drenážní vody. Odvodnění pláň a drenážní voda zajišťují téměř konstantní průtok cca 11 l/s při minimální teplotě vody 8,3 °C. Drenážní voda z tunelu vykazuje mírně zvýšenou hodnotu volné kyseliny uhličitě pro provoz TGTA (Tunnelgeothermieranlage, tunelová geotermální zařízení); kromě toho je sintrování drenážní vody z tunelu potlačeno použitím stabilizátorů tvrdosti. Pro severní portál hraničního tunelu Füssen bylo v rámci výzkumného projektu naplánováno pilotní zařízení pro klimatizaci vlastních provozních prostor tunelu a pilotní zařízení pro testování systému přenosu tepla pro udržování volných ploch bez sněhu a ledu (realizace byla plánována v roce 2019). Geotermální potenciál pro tyto aplikace byl odhadnut na 152 kW a pro chlazení 438 kW.

8.1.5. Silniční tunel Rennsteig (Německo)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Rennsteigtunnel>

Rennsteig je s délkou přibližně 7,9 km nejsložitější stavbou hřebenového přechodu Duryňského lesa a je nejdelším silničním tunelem v Německu. Tunel Rennsteig se skládá ze dvou samostatných, směrově rozdělených ražených tunelových trub šířkové kategorie T-7,5. Tubusy jsou vzájemně propojeny 25 příčnými tunelovými propojkami v rozestupech 300 metrů. Do provozu byl uveden v roce 2003.

Horninový masív v okolí tunelu je tvořen vulkanickými horninami, převážně křemenným porfyrem, které jsou podloženy sedimentárním souvrstvím tvořeným různě rozloženými konglomeráty, pískovci, slínovci a jílovcí. Maximální nadloží tunelu Rennsteig dosahuje cca 205 m. Tunel Rennsteig byl vybudován s deštníkovým hydroizolačním systémem. Pro tunel Rennsteig byl vyvinut nový odvodňovací systém pro odvádění drenážních vod z tunelu, který se v podstatě vyznačuje zvětšenou šířkou štěrbin odvodňovacích trubek. Drenážní trubky jsou uloženy ve filtračním štěrku a obaleny geotextilií. Odvodnění se provádí v závislosti na podélném sklonu tunelu k severnímu nebo jižnímu portálu. U severního portálu tunelu Rennsteig vytéká drenážní voda z tunelu s průtokem přibližně 13,0 l/s a minimální teplotou 7,7 °C, u jižního portálu s průtokem přibližně 6,3 l/s a minimální teplotou 7,0 °C. Na severním portálu byla v dubnu 2018 zahájena výstavba TGTA, která slouží ke klimatizaci místností technologického vybavení tunelu. Geotermální potenciál tohoto systému je cca 147 kW pro vytápění a 589 kW pro chlazení.

8.1.6. Železniční bázový tunel Furka (Švýcarsko)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Furka-Basistunnel>

Tunel Furka je přibližně 15 km dlouhý železniční tunel spojující města Oberwald v kantonu Valais a Realp v kantonu Uri. Od západu k severu prochází nejprve sedimentárními horninami permokarbonu (chlotiticko-sericitické fylity) a poté se noří do krystalického gotthardského masivu tvořeného pararulami, ortorulami, rotondským granitem a sérií tälligratských rul. Poté opět prochází severní zónou pararul gotthardského masivu. Maximální výška nadloží tunelu Furka je přibližně 1600 m. U západního portálu dosahují odtoky drenážních vod přibližně 90 l/s a průměrné teploty 16 °C, které se tepelně používají od roku 1991. Drenážní voda je přiváděna přibližně 1 km dlouhým potrubím do studené místní topné sítě, která zásobuje tepelnou energií 209 bytů, 1 hotel, školu, hasičskou stanici, nádražní bufet a recepci Matterhorn Gotthardské dráhy (stav ke konci roku 2014). Celkový instalovaný tepelný výkon dosahuje 1372 kW.

8.1.7. Železniční bázový tunel Lötschberg (Švýcarsko)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Lötschbergtunnel>

Bázový tunel Lötschberg je 34,6 km dlouhý železniční tunel spojující Bernské pohoří s Valais. Ve směru od severu k jihu tunel nejprve prochází břidlicemi a pískovci série Taveyannaz, oblastí příkrovu Wilhorn, aby se ponořil do granitů příkrovu Doldenhorn a masivu Aar. Jižně od gasternského granitu překračuje zónu vápenců, dolomitů a anhydritů, než následuje staré krystalinikum Aarského masivu a sedimenty autochtonu. Maximální nadloží bázového tunelu Lötschberg je přibližně 2000 m.

U infrastrukturního tunelu, který byl uveden do provozu v roce 2007, činí odtok drenážní vody u severního portálu cca 100 l/s při teplotě 20 °C. Drenážní voda vystupující u portálu tunelu je nejprve přiváděna přímo do rybí farmy, což umožňuje produkci 45 t jesetera sibiřského, 20 t okouna říčního a 2–3 t jeseteřího kaviáru ročně. Poté je další teplo odebíráno prostřednictvím výměníku tepla, který předává energii do okruhu tepelného čerpadla. Tepelná energie se pak využívá ke klimatizaci tropického domu a k zásobování místní tepelné sítě.

8.1.8. Železniční tunel Ricken (Švýcarsko)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Rickentunnel>

Tunel Ricken je 8,6 km dlouhý železniční tunel, který je součástí důležitého železničního spojení St.Gallen–Rapperswil ve východním Švýcarsku. Tunel Ricken prochází spodním sladkovodním molasem (třetihory), který se skládá z měkkých pískovcových vrstev (granitický molas) střídajících se s tvrdými a měkkými šedohnědými mramory. Přimo na okraji obce Kaltbrunn se nachází jižní portál tunelu Ricken, z něhož vytéká drenážní voda o rychlosti cca 11 l/s a teplotě 12,3 °C. Od roku 1998 se v tomto místě odebírá tepelná energie o výkonu 156 kW, která slouží nejprve k vytápění víceúčelové haly a dále také ke klimatizaci haly civilní obrany a mateřské školy pomocí dvou střídavých tepelných čerpadel. K tomuto účelu je voda z odvodňovacího tunelu ochlazována na teplotu minimálně 4 °C a po tepelné úpravě přiváděna do recipientu. V rámci studie proveditelnosti byl zkoumán chemismus drenážní vody z tunelu. Byla zjištěna nízká hodnota volného CO₂, což vedlo k instalaci dávkovacího systému pro stabilizaci vody. V tomto systému se vápno váže přidáním komplexotvorných činidel (např. nitrilo-tri-acetátu nebo polyfosforečnanů) a rovnováha tvrdosti se nastavuje přidáním kyseliny. Za účelem posouzení energetické účinnosti zařízení bylo prováděno intenzivní monitorování zařízení. Z období měření 1998–2000 vyplývá, že průměrná energetická účinnost TGTA v tunelu Ricken je přibližně 3,26.

8.1.9. Železniční tunel Hauenstein (Švýcarsko)

https://de.wikipedia.org/wiki/Hauensteinstrecke#Der_Hauenstein-Scheiteltunnel

Bázový tunel Hauenstein je 8,1 km dlouhý železniční tunel a jedna z nejrušnějších železničních tratí ve Švýcarsku. Tunel, který vede severojižním směrem, spojuje Tecknau v kantonu Basel-Landschaft s Trimbachem v kantonu Solothurn. U Tecknau tunel Hauenstein nejprve prochází tabulovou jurou, která zahrnuje triasový geologický útvar (barevný pískovec, mušlový vápenec, keuper), jurský útvar (černá jura neboli lias, hnědá jura neboli dogger, bílá jura neboli malm) a třetihorní útvar. Po stolní juře následuje řetězová jura. Řada sedimentárních hornin leží na podloží ze zvrásněné ruly nebo granitu, tzv. podložní horniny. Maximální nadloží tunelu činí přibližně 750 m. Průtok drenážní vody u jižního portálu je přibližně 42 l/s s průměrnou výstupní teplotou 19 °C. Geotermální systém tunelu byl uveden do provozu v roce 1999 a od té doby zásobuje 4 bytové domy tepelnou energií pomocí bivalentního tepelného čerpadla. Kromě tepelného čerpadla jsou k dispozici dva olejové kotle o výkonu 129 kW a 820 kW. Tepelné čerpadlo, které je umístěno centrálně v suterénní garáži, přispívá k pokrytí pouze 60 % požadované potřeby tepla s průměrnou účinností využití tepla 3,0. Důvodem jsou částečně vysoké

absolutní teploty sekundárních okruhů, které se kvůli staré technologii radiátorů pohybují kolem 70 °C. V bazovém tunelu TGTA Hauenstein jsou problematické fyzikální vlastnosti odvodňovací vody z tunelu. Drenážní voda obsahuje znečištění v podobě hrubých částic, jako jsou zbytky gumy nebo myši, ale také jemné usazeniny, jako je brzdový prach, otěr kolejnic atd., které způsobují znečištění filtrů, a vedou tak k častým odstávkám systému. Zkušenosti z provozu ukazují, že každé dva dny je nutné provést cca 1 hodinu čištění.

8.2. Uzavřené absorpční systémy

Na světě existuje 10 TGTA (Tunnelgeothermieranlage, tunelová geotermální zařízení; viz násl. tabulka z roku 2018), které využívají uzavřené absorpční systémy k získávání energie pro vytápění a chlazení. Kromě toho existuje neznámý počet dalších duo-hybridních systémů v oblasti tunelových úseků, které jsou tvořeny aktivací prvků těžkého speciálního stavebního inženýrství (podzemní stěny, vrtané piloty, základové desky). Patří k nim například zkušební systém v tunelu Lainzer (Rakousko), geotermálně aktivované staniční konstrukce linky metra U2 (Rakousko) a stanice Tottenham Court Road Crossrail (Velká Británie).

Tunel	Země	V provozu od r.	Délka tunelu [km]	Termální výkon [W/m²]*	Způsob využití geotermální energie
Silniční tunel Nanori-Toge	Japonsko	2003	1,0	150–170	Temperování povrchu vozovky
Silniční tunel Linchang	Čína		2,5	Není známo	Testovací zařízení
Silniční tunel Rosenstein B10	Německo	2022	1,0	17**	Zásobování zoo a botanické zahrady
Železniční tunel Seocheon	Jižní Korea	2010	0,2	6–36	Testovací zařízení
Železniční tunely Crossrail	Velká Británie		21,6	5–50**	Zásobování obytné budovy
Železniční tunel Lainzer	Rakousko	2012	9,4	14–30	Testovací zařízení
Železniční tunel Stuttgart-Fasanenhof U6	Německo	2011	0,4	0,4 5–30 (70**)	Testovací zařízení
Železniční tunel Jenbach	Rakousko	2012	3,5	12,5	Zásobování provozní budovy
Metro Turín linka 1	Itálie	(2017) 2021	13,4	49	Testovací zařízení
Metro Vídeň linka U2	Rakousko	2008	17,2	-	-

* Vztaheno k poloze absorpčního vedení
 ** Prognóza

Tab. 2 Přehled TGTA s uzavřeným absorpčním systémem

8.2.1. Silniční tunel Nanori-Toge (Japonsko)

Tunel Nanori-Toge v prefektuře Fukušima je přibližně 1 km dlouhý silniční tunel. Uprostřed tunelu je v celkové délce 250 m v hloubce 1,20 m pod povrchem vozovky rozmístěno 20 horizontálních výměníků tepla. Každý výměník tepla je tvořen trubkami o průměru 40 mm, z nichž každá má tvar

písmene U s délkou konců 50 m. má. Tepelná energie odebraná ze středu tunelu je dopravována potrubím k portálu tunelu, kde je přes výměník tepla o ploše 175 m^2 s průměrným objemovým průtokem $0,7 \text{ l/min}$, použita k temperování vozovky. Systém je teplotně řízen prostřednictvím naměřené teploty vozovky v oblasti portálu. Výměník tepla v oblasti portálu je tvořen ocelovými trubkami o průměru 15 mm v rozstupech 10 cm, které jsou umístěny přibližně 70 mm pod povrchem vozovky. Geotermální systém v tunelu Nanori-Toge je v provozu od roku 2003. Četná měřicí čidla poskytují informace o hustotách tepelného toku dosažených v zimách 2003 a 2004. Při povrchové teplotě temperované plochy $4 \text{ }^\circ\text{C}$ tak bylo možné dosáhnout hustoty tepelného toku $150\text{--}170 \text{ W/m}^2$.

8.2.2. Silniční tunel Linchang (Čína)

Silniční tunel Linchang se nachází ve městě Jakeši v autonomní oblasti Vnitřní Mongolsko. Má dvě tunelové trouby, každá o délce přibližně 2,5 km a maximální nadloží 100 m. Průměr tunelu je 7,5 m a má dva pláště s vnějším pláštěm ($d = 15 \text{ cm}$) a vnitřním pláštěm ($d = 45 \text{ cm}$). Dno tvoří mírně zvětřalý pískovec. Tepelně aktivovaný prostor o délce 200 m se nachází ve vzdálenosti 600 m od portálu. Tepelná aktivace tunelu Linchang se provádí pomocí 20 absorpčních okruhů, z nichž každý má trubku o délce 300 m (trubka $25 \times 2,3 \text{ mm}$) s roztečí ramen 50 cm, které jsou prolévány nemrznoucím prostředkem. TGTA je vybaven teplotními čidly mezi absorpčními trubkami a také teplotními měřicími lany, která měří teplotu země až do hloubky 2,0 m. Měří se také hustota tepelného toku dosažená těmito absorpčními okruhy. Hustota tepelného toku dosažená tímto TGTA není zdokumentována.

8.2.3. Silniční tunel Rosenstein B10 (Německo)

Rosensteinský tunel ve Stuttgartu je silniční tunel délky 1,05 km se dvěma samostatnými tunelovými troubami byl uveden do provozu v březnu 2022 spojuje křižovatku Pragsattel na západě s oblastí Leuze na východě. Tunel prochází pod parkem Rosenstein a částí zoologické a botanické zahrady. Ražené tunelové trouby mají délku $2 \times 740 \text{ m}$. V severní i jižní tunelové troubě bylo vybudováno 7 tunelových bloků s celkem cca 6 720 m absorpčních trub (vnější průměr 25 mm), který geotermálně aktivuje plochu tunelu $3\,330 \text{ m}^2$. Absorpční trubky jsou umístěny v oblasti stropu a na bocích tunelu mezi stříkaným betonem vnějšího ostění a monolitickým vnitřním ostěním. V každém tunelovém bloku jsou 4 samostatné hydraulické okruhy, každý se 120 m potrubí, které jsou na bocích tunelu spojeny v tzv. modulovém rozdělovači. Původně se počítalo s využitím geotermální energie pro klimatizaci provozních prostor tunelu, novější plány počítají s dodávkou tepelné energie do nového pavilonu slonů v zoo a asijského domu v botanické zahradě. Celkový výkon geotermálního systému pro vytápění nebo chlazení se předpokládal $56 \text{ kW}_{\text{th}}$, což odpovídá hustotě tepelného toku přibližně 17 W/m^2 .



Obr. 14 Instalace hydraulických obvodů v tunelu Rosenstein

8.2.4. Železniční tunel Seocheon (Jižní Korea)

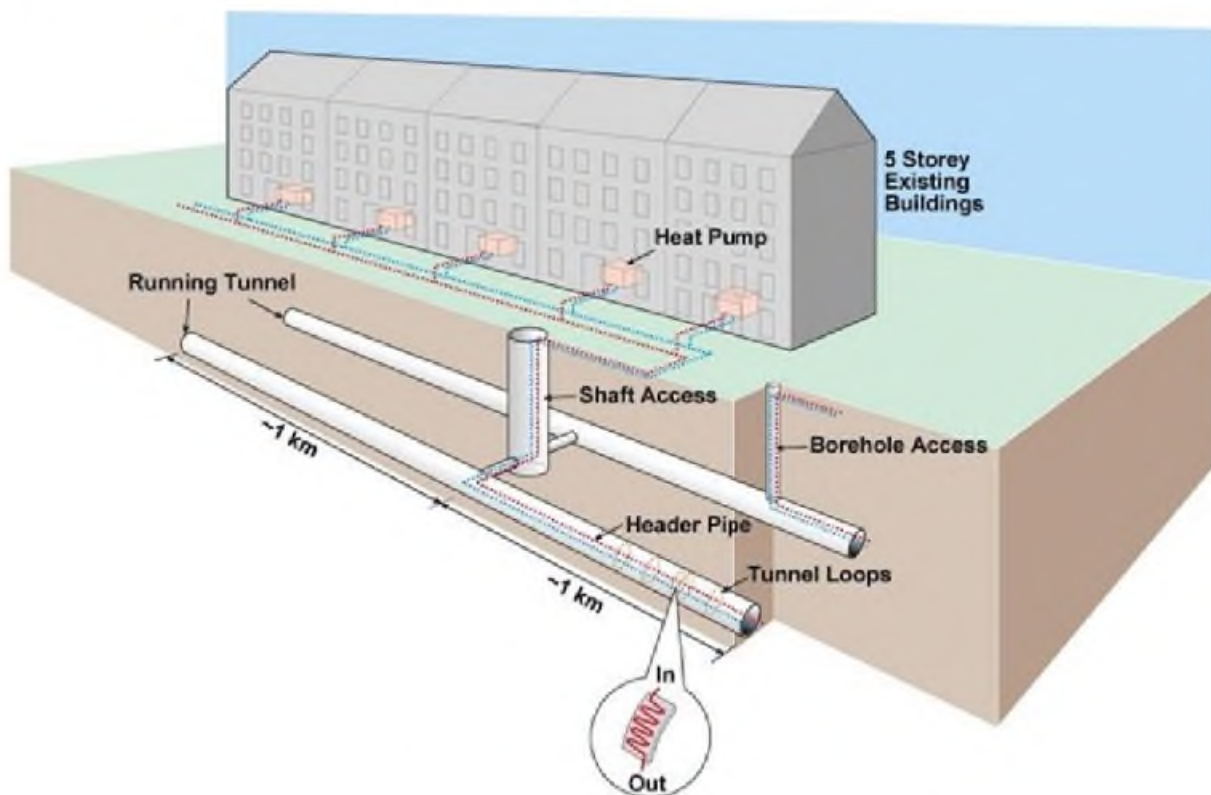
Tunel Seocheon v Jižní Koreji je 200 m dlouhý opuštěný železniční tunel, ve kterém jsou pro výzkumné účely uspořádány 3 různé vzory absorpčních trubek v 6 samostatných zkušebních polích o rozměrech 10,0 x 1,5 m. Zkušební pole jsou uspořádána vertikálně před stávajícím pláštěm tunelu. Instalovaná potrubí mají vnější průměr 15 mm a tloušťku stěny 2,5 mm. U instalovaného systému byla nejprve provedena zkouška geotermální odezvy (GRT, Geothermal Response Test) a poté byly na podzim 2010 po dobu přibližně 3 měsíců zkoumány různé provozní režimy vytápění a chlazení. Vyhodnocení zkušebního provozu ukázalo silný vliv teploty vzduchu v tunelu na výkon odběru tepla, který je uveden přibližně 40–46 W/m². V následujícím roce byla provedena další dlouhodobá šetření s cílem kvantifikovat rychlosti odběru energie v režimu ohřevu nebo chlazení v závislosti na teplotě vzduchu v tunelu. Výsledky ukazují, že instalované výměníky tepla mají vyšší účinnost v létě v režimu chlazení (přibližně 36 W/m²) než v zimě v režimu vytápění (přibližně 6 W/m²).

8.2.5. Železniční tunely Crossrail (Velká Británie)

<https://learninglegacy.crossrail.co.uk/documents/the-design-of-thermal-tunnel-energy-segments-for-crossrail/>

V britském hlavním městě Londýně se od roku 2009 stavěl jeden z největších železničních projektů v Evropě. Centrální trať se skládá z pěti samostatně budovaných tunelových úseků o celkové délce 21,6 km, které vedou až 40 metrů pod úroveň terénu. Dvě samostatné tunelové trouby byly raženy tunelovacími stroji s průměrem řezného kola 7,1 m a rozšířeny o segmenty tunelového ostění. Plánovaná intenzita dopravy v tunelu je uvedena 24 jízdy vlaků za hodinu a směr. Za předpokladu toku odpadního tepla z vlaků o výkonu 1,1 MW je hustota tepelného toku z tunelu k povrchu tunelu Q_{TL} obecně 13 W/m². V tunelových tybincích je umístěno absorpční vedení s vnitřním průměrem 20 mm a vzdáleností ramen od sebe 30 cm. Hydraulický okruh tvoří 5 tunelových prstenců, každý s přibližně 385 m absorpčních trubek. Celkem bylo instalováno 31 absorpčních okruhů, které při šířce prstence

1,6 m geotermálně aktivují tunel v délce cca 250 m je. Na základě výsledků numerických výpočtů se pro projekt Crossrail předpokládá hustota tepelného toku 5–50 W/m². Předpokládá se, že teplo z tunelů bude napojeno na síť dálkového vytápění, která bude dodávat tepelnou energii podél trasy tunelu. Příjmy z prodeje tepla teplárenským společnostem poskytnou provozovateli tunelu zdroj příjmů pro financování instalace a provozu TGTA. Hlavní část linky Elisabeth byla otevřena pro cestující v květnu 2022, celá linka by měla být uvedena do provozu v květnu 2023.

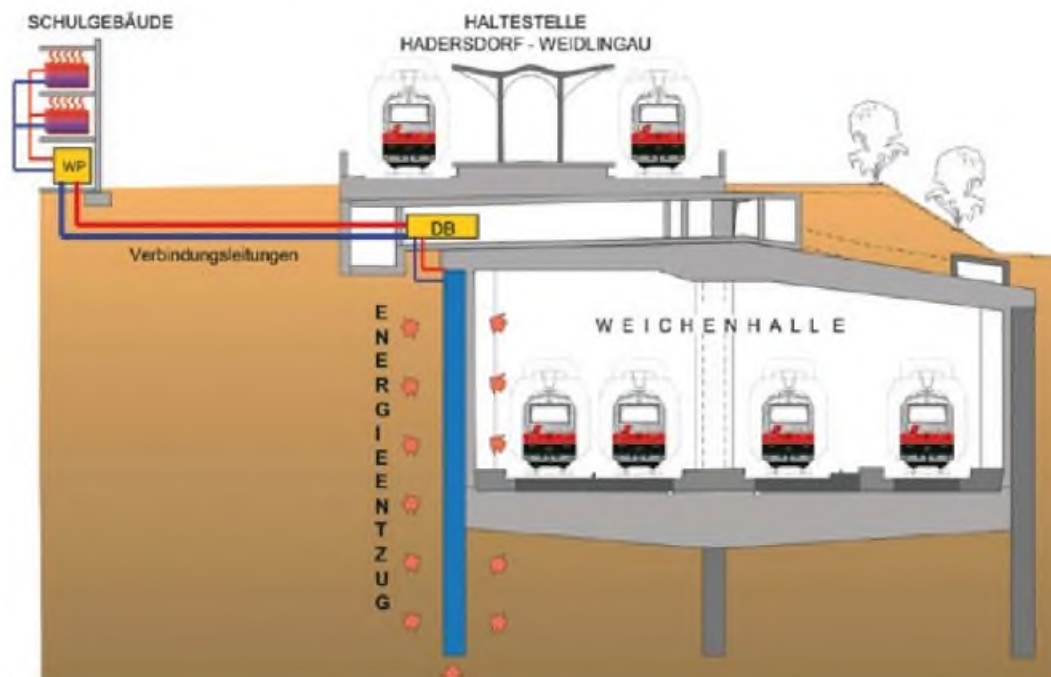


Obr. 15 Schéma využití geotermální energie z tunelů Crossrail (prefabrikované ostění)

8.2.6. Železniční tunel Lainzer (Rakousko)

Tunel Lainzer je 12,8 km dlouhý (z toho 9,4 km vyraženo NRTM) železniční tunel v rakouském hlavním městě Vídni, který spojuje Westbahnstrecke s Südbahnstrecke, Ostbahnstrecke a Donauländebahn. Výstavba tunelu byla zahájena v roce 1999 a tunel byl otevřen pro provoz v roce 2012. V rámci tunelu Lainzer byla umístěna dvě samostatná geotermální zkušební zařízení ve stavebních oddílech LT 22 a LT 24, přičemž zkušební zařízení ve stavebním oddílu LT 24 představuje tepelnou aktivaci tunelu v otevřené stavební jámě, v němž byly jako výměníky tepla navrženy vrtané piloty o průměru 1,2 m. V rámci tunelu byly v roce 2012 vybudovány dvě samostatné geotermální zkušebny. V raženém stavebním oddílu LT 22-Bierhäuselberg byly geotermálně aktivovány dva tunelové úseky, každý o délce 10 m, pomocí tzv. energetických rohoží. Zde slouží ochranné nebo drenážní rohože jako základ konstrukce, na kterém jsou namontovány trubky o vnějším průměru 25 mm a tloušťce stěny 3,5 mm. Jednotka energetické rohože o rozměrech 2,5 x 16,0 m je tvořena přibližně 73,0 m potrubí, které je k rohoži připevněno meandrovitým způsobem. Na stavebním oddílu LT 22 byly instalovány

celkem 4 energetické rohože, každá ve dvou samostatných polích. V období od února 2004 do října 2004 byl zkušební systém provozován ve dvou dlouhodobých nepřetržitých provozních stavech s hustotou tepelného toku mezi 14 W/m^2 a 30 W/m^2 .



Obr. 16 Schéma zapojení tunelu Lainzer ve Vídni na zástavbu v nadloží

8.2.7. Železniční tunel Stuttgart-Fasanenhof U6 (Německo)

Tunel Stuttgart-Fasanenhof je mělce položený, přibližně 380 m dlouhý městský železniční tunel na jihozápadě města Stuttgart. Dvoukolejný tunel, který byl ražen hornickým způsobem, má nadloží cca 10 m se střídáním pevných hornin (jílovce, pískovce a vápence) a leží pod hladinou podzemní vody. Je konstruován s vnějším ostěním ze stříkaného betonu a vnitřním ostěním z monolitického betonu. V tunelu byly instalovány dva tepelně oddělené tunelové bloky, každý o délce 10 m, jako výměníky tepla. Za tímto účelem byly k vnitřní straně vnějšího ostění tunelu připevněny pomocí upevňovacích lišt síťované polyethylenové trubky, které byly následně zapuštěny do vnitřního ostění tunelu. Absorpční vedení má celkovou délku cca 800 m s vnějším průměrem 25 mm, což znamená, že je geotermálně aktivována plocha o rozloze přibližně 360 m^2 . Kromě absorpčního systému byl v tunelu Stuttgart-Fasanenhof instalován intenzivní měřicí systém pro sledování klimatu v tunelu, teploty ostění tunelu a teploty okolního horninového prostředí. Kromě toho jsou k dispozici údaje z měření připojené systémové technologie. TGTA Stuttgart-Fasanenhof provozovala Stuttgartská univerzita jako čistě zkušební zařízení v letech 2011–2017 bez konkrétního odběratele. Z tohoto důvodu je odebrané množství energie odváděno do klimatizačního zařízení provozovatele tunelu. Konstrukce zkušebního zařízení umožňuje zkoumat nejrůznější profily zatížení jak pro vytápění, tak pro chlazení, a nabízí tak základ pro zkoumání energetické účinnosti tunelových geotermálních zařízení. Během tohoto období byly zjištěny hustoty tepelných toků až do výše 30 W/m^2 .



Obr. 17 Instalace potrubí pro získání geotermální energie v konvenčně raženém v tunelu Fassenhof

8.2.8. Železniční tunel Jenbach (Rakousko)

Tunel Jenbach, který je součástí severní přístupové trasy k Brennerskému bázovému tunelu, je přibližně 3,5 km dlouhý dvoukolejný tunel ražený zeminovým štítem, s nadloží asi 16 m, vede pod hladinou podzemní vody v písčitých a štěrkových vrstvách. v němž byl souvislý úsek dlouhý 54 m (27 prstenců) geotermálně aktivován pomocí tzv. Energietübbing®. V každém energetickém segmentu ostění je instalováno přibližně 25 m absorpčního vedení. Trubky ze síťovaného polyetylenu (PEX) o vnějším průměru 20 mm jsou položeny s roztečí 25–30 cm, trubky jsou položeny ve smyčkách, aby bylo možné odebírat teplo ze země nebo ho do země dodávat. Prstenec se skládá ze sedmi prvků a menšího klínového kamene. V jednom prstenci je tedy přibližně 175 m absorpčního potrubí. Pro výrobu energetických segmentů se používají stejné armovací koše a bednicí soupravy jako pro běžné segmenty. Tím je zajištěno, že výrobu energetických segmentů lze efektivně začlenit do běžné výroby. Systém zásobuje teplem provozní budovu patřící radě města Jenbach, která má maximální potřebu tepla 80 kW, přičemž vychází z venkovní teploty -16 °C. V průběhu zkušebního provozu v letech 2012 až 2014 bylo dosaženo hustoty tepelného toku přibližně 12,5 W/m².



Obr. 18 Vyvedení média a spojování potrubí v prstenci z prefabrikovaného ostění (tunel Jenbach)

8.2.9. Železniční báзовý tunel Brenner (Rakousko-Itálie)

Příkladem využívání geotermální energie je i Brennerský základní tunel (BBT), který je součástí evropského koridoru SCAN-MED. Po dokončení stavby bude BBT nejdelším železničním tunelem na světě, který spojuje Innsbruck v rakouském Tyrolsku a Franzensfeste-Fortezza v italském Jižním Tyrolsku. Celý tunelový systém má celkovou délku 230 km, z čehož 151 km již bylo k dubnu 2022 vyraženo. Trasa tunelu překonává horské hřebeny, údolí a složitou oblast zemské kůry v alpské poruchové zóně s maximálním nadložím přibližně 1700 m na italské straně a přibližně 1400 m na rakouské straně. Při průměrném geotermálním gradientu 25 K/km dosahuje teplota horninového masivu na úrovni tunelu v rakouské části přibližně 35 °C. Toto teplo lze odebírat pomocí prvků, které jsou v přímém kontaktu s horninovým masivem jako jsou energetické segmenty, energetické geotextilie a energetické kotvy.

Vzhledem k tomu, že v době předkládaného výzkumného projektu ThermoCluster již byla zahájena výstavba BBT, jsou změny celého systému související s výstavbou omezené. V BBT je však kromě využití geotermální energie z prvků v kontaktu s horninovým masivem k dispozici odvodněná a ohřátá podzemní voda z tunelu. Tato teplá voda je výsledkem interakce s horninovým masivem, kterým prosakuje a je gravitačně odváděna k portálu. Vzhledem k tomu, že se v BBT může používat vypouštěná teplá voda, lze jej klasifikovat jako otevřený hydrotermální tunelový systém. Vrchol tunelového systému se nachází v oblasti Brennerského průsmyku na státní hranici mezi Rakouskem na severu a Itálií na jihu. Proto se voda vstupující do 32 km dlouhého úseku na rakouské straně akumuluje, mísí se uvnitř tunelu a odtéká u severního portálu v Sillské soutěsce do recipientu, řeky Sill. Voda vstupující do jižního úseku tunelu odtéká k jižnímu portálu do Franzensfeste-Fortezza. Geotermální potenciál v soutěsce Sill je tedy dán vodou vstupující do severního úseku tunelu mezi Innsbruckem a Brennerským průsmykem.

Z hlediska rychlosti proudění podzemní vody tunelem a její teploty se v úseku s nejvyšším nadložím a tím i nejvyšší teplotou podzemní vody předpokládají dva scénáře. První předpokládá rychlost proudění 30 l/s a teplotu 23 °C, druhý scénáře předpokládá rychlost proudění vody 49 l/s a teplotu 26 °C. Po smísení podzemní vody ze všech úseků na rakouské straně tunelu se předpokládá celkový průměrný výtok 45,8 l/s a průměrná teplota vody 17,8 °C. Podzemní voda je sváděna do kanálu ve spodním dílci ostění, do kterého je instalováno potrubí s médiem pro čerpání geotermální energie (viz Obr. 19). U scénáře 1 se nejvyšší výkon očekává v červenci a pohybuje se v rozmezí maximálních hodnot 4,50-4,21 MW. Nejnižší tepelný výkon se očekává v prosinci a lednu s hodnotami 2,61-3,34 MW. Scénář 2 ukazuje, že nejvyšší výkon se očekává v červenci a pohybuje se mezi maximální hodnotou 6,52 MW-6,23 MW. Nejnižší tepelný výkon se očekává v prosinci a lednu s hodnotou 4,54-5,27 MW. Zvýšení teploty vody by bylo možné dosáhnout instalací absorbérů geotermální energie do ostění v úsecích tunelu s nejvyšším nadložím a tím i nejvyšší teplotou horninového masivu. Takto ohřátá voda by pak proudila k portálu Innsbruck, kde je vyústění tunelu do soutěsky řeky Sill. Zásadní roli hraje minimalizace kontaktu teplé podzemní vody s chladným vzduchem v tunelu. Toho je docíleno jejím vedením v uzavřeném kanále ve dně tunelu pod kolejovým ložem.



Obr. 19 Inverzní segment se spodním kanálem a betonovou deskou

8.2.10. Metro Turín, linka č. 1 (Itálie)

https://cs.wikipedia.org/wiki/Metro_v_Tur%C3%ADn%C4%9B#Reference

https://it.wikipedia.org/wiki/Metropolitana_di_Torino

Linka metra 1 je linka metra, která se staví od roku 2000, první úsek byl dán do provozu v roce 2006 a v současné době má celkovou délku 15,1 km a 23 stanic. Prodloužení linky jižním směrem o cca 1,9 km a dvě staniční budovy (Lingotto – Bengasi) bylo raženo TBM strojem se zemním tlakovým štítem (EPB) o vnitřním průměru 6,8 m a vnějším průměru 7,4 m. Tunel má průměrné nadloží 21,5 m a leží zcela pod hladinou podzemní vody. Uvnitř zvodnělé vrstvy jsou podmínky pro proudící podzemní vodu. Zkušební TGTA se skládá ze 2 tepelně aktivovaných segmentových prstenců (patent 102016000020821: ENERTUN) o šířce prstence 2,8 m. Segmentové ostění je tvořeno 6 díly na prstenec, tloušťka ostění je 30 cm. Do prefabrikovaných armokošů uvnitř segmentových prstenců byly upevněny trubky o vnějším průměru 20 mm a tloušťce stěny 2 mm. Jako zvláštní prvek byly v tomto TGTA instalovány absorpční okruhy na vzduchové a zemní straně. TGTA je vybaven snímači pro záznam mechanických vlastností systému, jako jsou přitlačné podložky a tenzometry pro záznam radiálních a tangenciálních napětí a deformací a měřicí systémy pro záznam teplotního pole, jako jsou optická vlákna a konvenční měření teploty pomocí odporových teploměrů. V první fázi testování systému v zimě 2017 bylo dosaženo hustoty tepelného toku přibližně 49 W/m². Při započtení elektrické energie pro provoz oběhového čerpadla činil roční výkonnostní faktor (JAZ, Jahresarbeitszahl) během zkušební fáze přibližně 2,7.

8.2.11. Metro Vídeň, linka U2 (Rakousko)

8.2.11.1. Stanice Taborstrasse

Linka metra U2 je součástí sítě vídeňského metra a od října 2013 má 20 stanic v délce 17,2 km. V km 12,760 se nachází stanice Taborstrasse, která byla vyhloubena v letech 2003–2008 ve čtvrtohorních štěrcích a střídání vrstev jílovitých hlín a jemných a středně těžkých písků. Obě směrové trouby mají plochu výrubu cca 74 m² a leží cca 15 m pod úrovní terénu. Podle dostupných informací bylo potrubí položeno na vnější plášť tunelu v oblasti dna tunelu. Jako první na světě jsou od roku 2008 v provozu

čtyři geotermální zařízení použita v metru. Jejich chování je průběžně monitorováno pomocí četných měřicích senzorů pro kontrolu a optimalizaci provozu.

8.2.11.2. Zpráva Kontrolního úřadu města Vídně z roku 2011

V rámci prodloužení linky metra U2 instalovala společnost WIENER LINIEN GmbH & Co KG (WL) geotermální zařízení pro ekologické vytápění a chlazení služebních prostor ve stanicích metra Schottenring, Taborstraße, Praterstern a Messe.

Protože se jednalo o pilotní projekt, společnost WL zadala externí studie proveditelnosti. Ta dospěla k závěru, že geotermální systém v podzemní stanici Taborstraße se zaplatí za 4,8 roku. Výsledek studie proveditelnosti měl být vodítkem pro budoucí využití geotermální energie v dalších podzemních stanicích WL.

Dodavatelé hrubé stavby a stavebních prací provedli instalace geotermálního zařízení stanic metra Schottenring, Taborstraße, Praterstern a Messe. Jednalo se především o vložení celkem asi 100 km absorpčních hadic do výztuže základů. Tyto absorpční hadice byly spojeny do tzv. rozdělovačů, vyzkoušeny na těsnost a naplněny nemrznoucí směsí. Souběžně s těmito službami byla provedena také instalace měřicího zařízení sestávajícího z měřicích kabelů s teplotními čidly a měřicích lancet do výztuže základů. Následně byla provedena betonáž.

Společně se zástupci společnosti WL provedl Kontrolní úřad města Vídně prohlídky ve všech čtyřech podzemních stanicích (Schottenring, Taborstraße, Praterstern a Messe), kde se využívá geotermální energie. Při nich se zjistilo, že signální kabely použité ve stanici Taborstraße pro měřicí zařízení používané k zaznamenávání teplot v základech byly nevhodné, protože nebyly podélně vodotěsné, což umožňovalo vnikání spodní vody do elektrických rozvaděčů. Kontrolní úřad rovněž prověřil signální kabely ve stanicích metra Schottenring, Praterstern a Messe a dospěl k závěru, že byly použity technicky nevhodné signální kabely. Dále bylo zjištěno, že signální kabely, teplotní čidla a další části měřicího zařízení v těchto třech stanicích metra byly nainstalovány, ale nebyly uvedeny do provozu.

Výpočty doby amortizace založené na skutečných nákladech na výstavbu podzemní stanice Taborstraße však ukázaly dobu amortizace přibližně 20 let. V podzemních stanicích Schottenring a Praterstern byly následně stanovené doby návratnosti geotermálních systémů ještě vyšší. Vypočtené doby návratnosti geotermálních zařízení podzemních stanic Schottenring a Praterstern byly tak vysoké, že bylo nutné reálně předpokládat, že tepelná čerpadla a chladicí jednotky geotermálních zařízení bude nutné vzhledem k jejich stáří vyměnit mnohem dříve, než bude dosaženo doby návratnosti, aby se předešlo zbytečně vysokým nákladům na údržbu tehdy již zastaralých zařízení a velkým poruchám vytápění a chlazení.

Kontrolní úřad doporučil WL, aby zkušenosti získané z pilotních projektů byly odpovídajícím způsobem zohledněny při budoucím plánování, především při stanovení realistické doby návratnosti.

Dle prohlášení společnosti WL byla popsána zařízení instalována v rámci pilotního projektu. Tato technologie byla poprvé použita při stavbě metra. Vzhledem k nedostatku empirických hodnot musely být součásti zařízení velkoryseji dimenzovány, než by bylo nutné podle dnešního hodnocení. Vyšší

náklady na plánování a výstavbu je třeba považovat za náklady na rozvoj nebo za strategickou investici pro navazující projekty. Jen ve velmi málo případech mohou rozvojové projekty splňovat obvyklé požadavky na ekonomickou efektivnost.

Stanice metra	Délka absorpčních hadic v m	Náklady na všechny části geotermálních zařízení v základech v EUR
Schottenring	12.765	147.991,60
Taborstraße	16.003	271.654,84
Praterstern	61.034	516.481,12
Messe	11.690	96.987,33
Celkem	101.492	1.033.114,89

Tab. 3 Náklady na vložení všech absorpčních hadic do základů

Stanice metra	Stavební náklady na geotermální zařízení v EUR	Náklady na výstavbu konvenčních zařízení s dálkovým vytápěním v EUR	Další náklady v EUR	Doba návratnosti v letech
Schottenring	354.150,00	138.427,00	215.723,00	33,8
Taborstraße	456.373,00	144.806,00	311.567,00	20,1
Praterstern	1.082.684,00	367.665,00	715.010,00	33,6
Messe	198.430,00	82.084,00	116.346,00	16,2
Poznámka: Údaje platné k roku 2011				

Tab. 4 Vícenáklady na zřízení geotermálních zařízení ve srovnání s konvenčními zařízeními s dálkovým vytápěním.

8.2.11.3. Využití geotermální energie na vídeňské lince metra U2

Absorpční systém umístěný v betonových konstrukcích využívá geotermální energii pro účely vytápění a chlazení. Absorpční trubky jsou instalovány v betonových prvcích, které jsou i tak nutné z konstrukčních důvodů, jako jsou podzemní stěny, vrtané piloty, základové desky nebo tunely, kterými proudí teplotnosné médium, a které tak mohou tepelně aktivovat velké plochy. Prodloužení podzemní dráhy U2 ve Vídni bylo prvním případem použití této technologie v podzemní výstavbě na světě. Návrh a výstavba vyžadovaly mezioborovou spolupráci geotechniků, stavebních inženýrů, stavebních firem a projektantů absorpčního a vzduchotechnického systému. Od roku 2008 jsou v provozu čtyři geotermální zařízení a jejich chování je průběžně monitorováno pomocí četných měřicích senzorů pro kontrolu a optimalizaci provozu a charakterizace systému.

- Stanice Schottenring se nachází na druhém břehu Dunajského kanálu (v hloubce až 21 metrů) a má dvě boční nástupiště. Stávající stanice Schottenring se v důsledku rozšíření U2 stala vícepodlažním přestupním uzlem. Absorpční prvky jsou umístěny ve dvou šachtách, přičemž je použito 1450 m² základových desek a 1120 m² okolních vrtaných pilotových stěn.
- Stanice Taborstraße se nachází šikmo pod křižovatkou ulic Taborstraße/Obere Augartenstraße a Novaragasse. Jako absorpční konstrukce je převážně využívána šachta Taborstraße s 2300 m² podzemních stěn, 281 m² vrtaných pilot a 1720 m² základových desek vybavených absorbéry, využity jsou i části staničního tubusu.

- Stanice Praterstern se nachází východně od nádraží ÖBB v nízké úrovni a má střední nástupiště, rozdělovací úroveň a dvě schodiště. Pro geotermální energii jsou využívány podzemní stěny šachty s 7400 m² a celá základová deska o ploše 3740 m².
- Stanice Messe se nachází u Prateru pod jízdničními pruhy Ausstellungsstrasse. Část základové desky (2350 m²) je zde použita jako absorpční konstrukce, protože energetická náročnost této stanice je poměrně nízká.

Stanice	Schottenring	Taborstraße	Praterstern	Messe
Topný výkon	105 kW	185 kW	455 kW	82 kW
Roční energie pro vytápění	170 MWh/a	175 MWh/a	411 MWh/a	110 MWh/a
Chladicí výkon	65 kW	114 kW	280 kW	50 kW
Roční energie pro chlazení	143 MWh/a	525 MWh/a	769 MWh/a	324 MWh/a

Tab. 5 Instalovaný výkon a energie (včetně podílu tepelného čerpadla na elektřině)

Existuje mnoho způsobů využití energie pro vytápění a chlazení. Především každá tunelová stavba má nezanedbatelnou vlastní potřebu energie. To se projevuje zejména v podzemních stanicích, kde je třeba vytápět i chladit různé místnosti. Další důležitou oblastí vlastního využití je prevence vzniku námrazy, zejména u různých schodišťových vstupů nebo vstupů do objektů údržby a bezpečnosti.

Kromě toho existuje možnost prodeje geotermální energie třetím stranám. To je zvláště zajímavé pro stavby tunelů uvnitř měst (podzemní dráhy), kde jsou tunely obvykle blízko povrchu a vzdálenosti k uživatelům jsou malé. Ideální jsou zde velké, nově postavené objekty se smíšeným obytným a komerčním využitím a nejvyššími možnými požadavky na chlazení.

Využití dopravních tunelových staveb pro těžbu geotermální energie přináší výhody všem zúčastněným stranám. Z ekonomického hlediska vzniká ekologický, obnovitelný zdroj energie, který není závislý na dovozu a přispívá k ochraně klimatu a plnění mezinárodních závazků. Uživatel geotermální energie získává potrubní zdroj energie šetrný k životnímu prostředí se všemi výhodami těchto systémů. Geotermální energie je již dnes jednou z mála alternativních forem energie, která může konkurovat konvenčním zdrojům energie bez dotací. Předvídatelný vývoj cen energií konkurenceschopnost geotermální energie dále zvýší. Pro vlastníka tunelu nabízí geotermální energie možnost generovat další zdroje příjmů ze stavby a snížit provozní náklady. Využití geotermální energie navíc zlepšuje image tunelu díky šetrnosti těchto systémů k životnímu prostředí a jejich inovativnímu charakteru. V tomto smyslu plánuje společnost Wiener Linien GmbH & Co KG využít geotermální energii také pro nové stanice metra, které mají být vybudovány (prodloužení trasy metra U1-Süd).

9. ÚSEKY TRASY METRA D

9.1. Traťový úsek Olbrachtova – Nádraží Krč (SOD14)

9.1.1. Popis technického řešení – všeobecně

Stavební oddíl 14, traťový úsek mezi dvoulodní raženou stanicí Olbrachtova a hloubenou stanicí Nádraží Krč řeší kolejové propojení pomocí dvojice ražených jednokolejných tunelů se vzduchotechnickými propojkami a hloubeného dvoukolejného tunelu. Stavební oddíl začíná v km 43,189.925 levé koleje, končí v km 43, 933.628 L.K. a má celkovou délku 743,703 m. Kromě dvou jednokolejných ražených tunelů obsahuje stavební oddíl hloubený dvoukolejný tunel a vzduchotechnické propojky mezi jednokolejnými traťovými tunely.

Traťový úsek je rozdělen na následující části:

- km 43,189–43,832 – ražba NRTM, 2 jednokolejné tunely
- km 43,832–43,933 – hloubený úsek před st. Nádraží Krč

Niveleta trasy metra se za povrchovou stanicí Nádraží Krč zahlubuje do podloží. Hloubený portál úseku je mezi Jižní spojkou a ulicí Branickou a niveleta je zde cca 3 m pod terénem. Ražený portál se uvažuje za ulicí Branickou, která je zde vedena v odřezu, a za kterou se povrch terénu prudce zvedá. Niveleta zde bude cca 13,5 m pod terénem. Na začátku úseku je navržen hloubený dvoukolejný tunel, ve kterém se v prostoru před portálem ražené části koleje rozbíhají a dále pokračují dva ražené jednokolejné tunely až do stanice Olbrachtova.

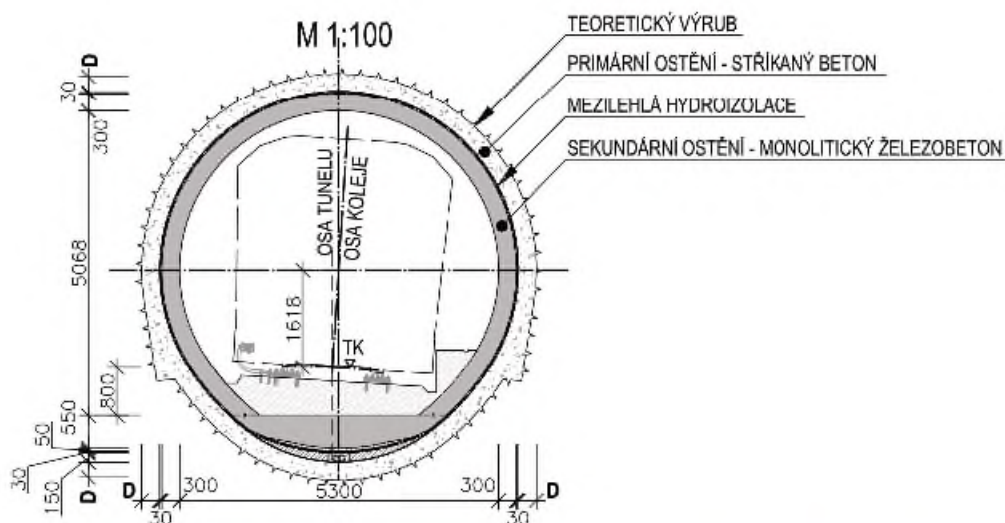
Společné kabelové konstrukce v traťových tunelech, odstavných a obrátových kolejích apod. realizované v rámci stavby jsou společné ocelové nosné konstrukce pro uložení kabelů stavebních objektů (SO) a technologických souborů (PS) např. silových rozvodů, osvětlovacích, trakčních, sdělovacích, zabezpečovacích, řídicího systému, kabely pro společné objekty trasy, kabely pro měření bludných proudů, kabely cizích subjektů v uvedeném úseku. Základním prvkem nosné ocelové konstrukce pro uložení kabelů je stojina do tunelu (dle profilu) s nástěnným výložníkem a žebříkem. U hloubených tunelů jsou stojiny rovné. Stojiny jsou od sebe vzdáleny 1000 mm.

Stavební konstrukce a výplně otvorů jsou navrženy z hlediska tepelně technických vlastností v souladu s ČSN 73 0540.

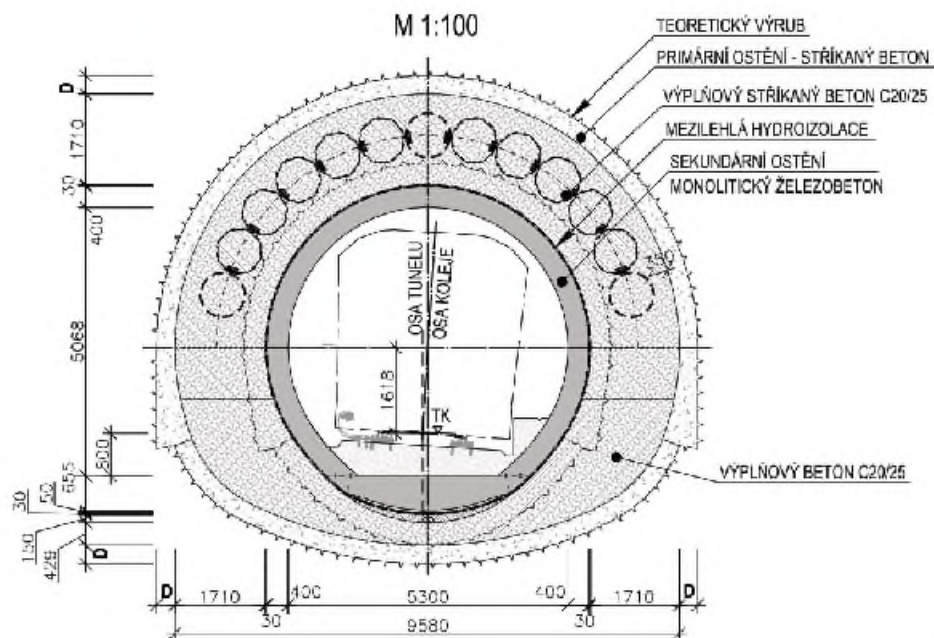
9.1.2. Popis technického řešení – jednokolejné ražené tunely

Levý i pravý ražený jednokolejný tunel je kruhový o světlém průřezu $\varnothing$ 5,3 m. Tunely jsou vedeny od stanice Olbrachtova až k přechodovému dílu na hloubený dvoukolejný tunel. Jedná se o jednokolejné traťové tunely, které budou raženy ze stavební jámy hloubeného dvoukolejného tunelu pomocí Nové rakouské tunelovací metody (NRTM), s dvouplášťovým ostěním a mezilehlou hydroizolací. Primárním ostěním je navrženo ze stříkaného betonu, sekundární ostěním je navrženo jako monolitické železobetonové. Oba tunely se budou razit dovrčně ze stavební jámy hloubeného tunelu až do

staničení km 43,331500 L.K. a km 43,345000 P.K., směrem od ke stanici Olbrachtova. Zde budou příčné profily obou traťových tunelů postupně navýšeny a rozšířeny až na velikost dojezdové komory pro mikrotunelovací razicí stroj, kterým se bude provádět zajištění základové konstrukce nadzemního objektu a ražba se zde dočasně zastaví. Před další ražbou jednokolejných tunelů je nutné zajistit pilotové základové konstrukce povrchového objektu Rezidence Rozhledna v ulici Antala Staška. Oba tunely se budou razit ve velmi komplikovaných hydrogeologických poměrech v technologických třídách 4 až 5c. Od portálu začne ražba pod ochranou mikropilotových deštníků s postupným zajišťováním výrubu pomocí jehel a svorníků. Následuje úsek se sníženým horninovým nadložím a dokonce s výskytem terasových štěrků v nadloží, kde je nutné uvažovat se zpevňováním nadloží pomocí tryskových injektáží a s ražbou pod ochrannými mikropilotovými deštníky, při zlepšení geotechnických poměrů se zajištěním výrubu pomocí jehel a svorníků. Zajištění základů povrchového objektu bude provedeno metodou zvanou Piperoofing, kdy jsou do prostoru mezi budoucí jednokolejné tunely a základové konstrukce dotčeného objektu protlačeny ocelové, navzájem propojené ocelové trouby, tím bude zajištěna dostatečná únosnost nadloží pro ražbu a primární ostění. Pro zajištění ražby dvou traťových tunelů dojde k protlačení 2x13 ks ocelových trub, každá délky 40 m až do cílové komory. Zbývající úseky traťových tunelů od zvětšené vzduchotechnické propojky ke stanici Olbrachtova se budou razit rovněž technologií NRTM, při horizontálním členění čelby. Ve všech úsecích tunelů budovaných technologií NRTM je navrženo dvouplášťové ostění s primárním ostěním ze stříkaného betonu na ocelovou síť, s mezilehlou hydroizolací a sekundárním ostěním z monolitického železobetonu. Ve všech úsecích tunelů budovaných technologií NRTM je navrženo dvouplášťové ostění s primárním ostěním ze stříkaného betonu na ocelovou síť, s mezilehlou hydroizolací a definitivním ostěním z monolitického železobetonu.



Obr. 20 Úsek SOD14 - příčný řez jednokolejným tunelem raženým NRTM

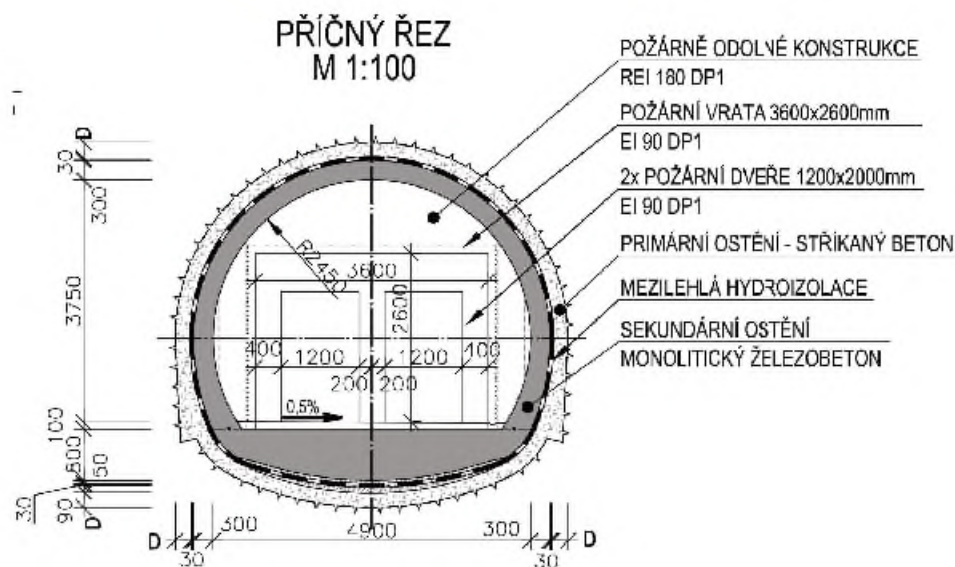


Obr. 21 Úsek SOD 14 - příčný řez jednokolejným tunelem (dojezdová komora)

9.1.3. Popis technického řešení – propojky

Pro snížení pístového účinku od jedoucího vlaku jsou mezi levým a pravým jednokolejným tunelem navrženy 3 vzduchotechnické propojky, vzdálené od sebe max. 200 m. Propojky č. 1 a 2 se budou razit z traťových tunelů, propojka č. 3 ze štoly geologického průzkumu ze staveniště OL1. Tato propojka o zvětšeném příčném profilu umožní v předstihu podchycení pilotové základové konstrukce nadzemního objektu Rezidence Rozhledna pomocí ocelových trub nad obrysem traťových tunelů. Všechny tři propojky budou raženy pomocí technologie NRTM. Ostění propojek je navrženo dvouplášťové, s mezilehlou foliovou hydroizolací z PVC nebo stříkanou hydroizolací. Vnější primární ostění je ze stříkaného betonu SC 25/30 (SB 30) na ocelovou síť a u propojek č. 1 a 2 má min tl. 250 mm. Vnitřní sekundární ostění je z monolitického železobetonu (C 25/30) a má minimální tloušťku 300 mm. Propojka č. 3 má, vzhledem k zvětšenému profilu, min. tloušťku primárního ostění 400 mm a sekundárního ostění 500 mm.

Monolitické železobetonové konstrukce v ražených objektech jsou na rubu opatřeny fóliovou povlakovou izolací z měkčeného PVC odolnou proti tlakové podzemní vodě. Alternativně je možné použít stříkanou hydroizolaci (např. Masterseal 345), která je velmi vhodná v případě komplikovaných tvarů konstrukcí prováděných v různých časových etapách.

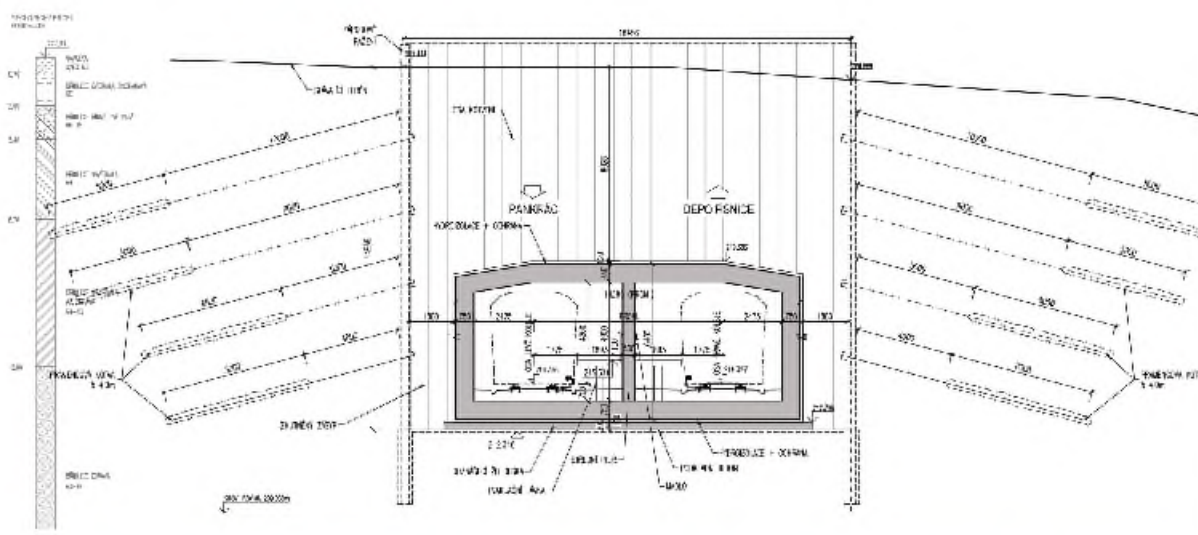


Obr. 22 Úsek SOD14 - příčný řez VZT propojkou raženou NRTM

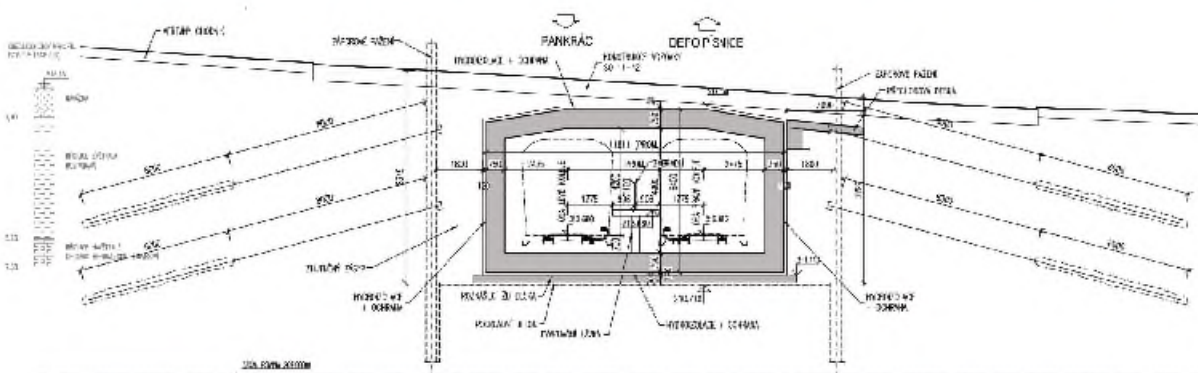
9.1.4. Popis technického řešení – hloubené tunely

Hloubený dvoukolejný tunel je situován v místě křižovatky ulic Branická, v Podzámčí a Na Strži, mezi portálem ražené části v km 43,832 127 a dilatační spárou mezi oddíly 14 a 15 v km 43,933 628. Tunel je z důvodu vedení traťových kolejí v části navazující na stanici Nádrží Krč jednolodní, v části pod ulicí Branická až k portálu ražené části je navržen jako dvoulodní se středním pilířem. Volná šířka tunelu se pohybuje v rozmezí 9,95–12,80 m. Konstrukce hloubeného tunelu jsou na rubu opatřeny fóliovou povlakovou izolací z měkčeného PVC, odolnou proti tlakové podzemní vodě. Tloušťka stěn je navržena 0,75 m, stropní i základová deska má konstantní tloušťku rovněž 0,75 m. Střední stojky v dvoulodní části mají rozměr 1,2 x 0,5m a jsou umístěny po vzdálenosti cca 3,7m v ose tunelu. Dilatační spáry jsou navrženy ve vzdálenostech cca 35 m.

V místě s vysokým nadložím je dvoukolejný tunel navržen se střední dělicí stěnou, v místech s nízkým nadložím nebo v částečně přesypaných úsecích je konstrukce navržena jako jednolodní. Stavební jámy s přístupovou rampou, které budou sloužit rovněž k obsluze ražených tunelů, budou zajištěny pilotovými a záporovými kotvenými stěnami.



Obr. 23 Úsek SOD 14 - příčný řez hloubeným dvoukolejným tunelem se střední dělicí stěnou.



Obr. 24 Úsek SOD 14 - příčný řez hloubeným dvoukolejným tunelem (jednoduchý profil)

9.1.5. Geotechnické podmínky

Přestože je tunel postupně vedený v relativně značná hloubce, bude mít kvartérní pokryv v některých úsecích velký význam a vliv na stavbu. Je vyvinut ve značných mocnostech a na velkých plochách. Lokálně je pokryv tvořen deluviálními uloženinami (svahovinami), jejichž mocnost kolísá mezi cca 0,5 až 2,0 m. Do km cca 43,400 je kvartérní pokryv tvořen fluviálními (terasovými) uloženinami pankrácké terasy, ověřené mocnosti 5–7 m. Zeminy jsou zde zastoupeny především čistými i silně zahliněnými či jílovitými kamenitými štěrky a písky, značně ulehými. Povrch terénu je nepravidelně modelován navážkami mocnosti cca 1–4 m. Ve svahu v km cca 43,800–43,690 se mohou vyskytovat písky až štěrky eolického nebo fluviálního původu mocnosti až 6 m. V místě anomálie byl v km 43,720 proveden jádrový vrt J129, který prokázal výskyt písčitých jílu, písku a štěrku až do hloubky 10,5 m pod terén, tj. až cca 2 m do profilu tunelu. Jedná se o fluviální výplň přehloubeného koryta vyššího terasového stupně Kunratického potoka.

V km 43,660–43,830 bude niveleta tunelu metra procházet v hloubkách kolem 13–15 m. Pokryv tvořený štěrky a písky dosahuje největší mocnosti 8–10 m. Výskyt zemin kvartérního pokryvu může

v levé koleji č.1 v úseku km cca 43,690–43,750 a v pravé koleji č.2 v úseku km cca 43,710–43,770 zasahovat do profilu tunelů nebo těsně nad jejich klenbu.

Povrch hornin předkvartérního podkladu tvořeného břidlicemi bohdaleckého souvrství přibližně kopíruje mimo úsek se starým přehloubeným korytem Kunratického potoka povrch terénu. Zastiženy budou horniny od zcela zvětralých až po zdravé. Také složení hornin je značně proměnlivé. Zdravé horniny mají obecně pevnost většinou mezi třídami R4–R3, v místech s vyšším obsahem prachovité nebo jemně písčité frakce, vápnitého pojiva nebo prokřemenění ojediněle až R2. Do km cca 43,620 budou tunely raženy prakticky v celém profilu především ve zdravých, místy navětralých horninách (mimo tektonické linie). Dále je nutné očekávat horniny všech stupňů zvětrání – v počvě tunelu se budou vyskytovat především horniny zdravé až navětralé, v kalotě se však budou horniny nepravidelně střídát a budou zde zastiženy horniny silně až mírně zvětralé, v polohách zcela zvětralé nebo naopak navětralé či zdravé.

Mocnost horninového nadloží je značně proměnlivá. Do km cca 43,620 bude mezi cca 12–25 m. Potom se však rychle zmenšuje bude se pohybovat pouze cca 0–8 m.

Nesouvislá hladina podzemní vody se vyskytuje především při bázi terasových fluviálních sedimentů, kde mocnost zvodněného kolektoru většinou nepřesahuje cca 1 m. Ve sledovaných objektech je ustálená hladina podzemní vody 4,5–9,0 m pod terénem. Vzhledem k omezené přirozené infiltraci srážkové vody je dotace tohoto horizontu minimální. V horninách je voda vázána na přípovrchovou zónu rozvolnění hornin a na tektonicky porušená pásma. Při ražbě lze očekávat lokální koncentrované přítoky podzemní vody do tunelu především v místech tektonického porušení masívu. Voda může být slabě tlaková. Dosah snížení hladiny podzemní vody zasahuje do vzdálenosti 20 m od okraje stavby.

Kvazi blok	Staničení		Popis	QTS	NRTM	ÖNORM B2203	Způsob výstavby
	Od km	Do km					
12.1	43,933	43,843	Bohdalecké břidlice zcela zvětralé až zdravé, navážky.	-	-	-	Hloubení
12.2	43,843	43,799	Bohdalecké břidlice mírně zvětralé až navětralé, místy zdravé	25-45	(4) 5a	B2-B3	Jednokolejné tunely ražené NRTM
12.3	43,799	43,689	Bohdalecké břidlice silně zvětralé až zdravé, kvartérní písky a štěrky	-	5b	B3, C3, C4	
12.4	43,689	43,470	Bohdalecké břidlice navětralé až zdravé	32-50	4 5a	B1, B2 (B3)	
12.5	43,470	43,189		35-54	4	B1-B2	

Tab. 6 Rozdělení SOD14 do kvazibloků

9.1.6. Možný zisk geotermální energie

Plocha	Raženého tunelu/stanice	Hloubeného tunelu	Základové desky	Stěn stanice	Pilot	CELKEM
[m ²]	21 074	2 402	0	0	285	23 762
[W/m ²]	35	30	24	20	22	
[W/m ²]	20	20	20	20	20	
[W]	737 602	72 071	0	0	6 270	815 942
[W]	421 487	48 047	0	0	5 700	475 234

Tab. 7 Plochy konstrukcí a možný zisk geotermální energie - SOD 14

9.1.7. Možnosti využití geotermální energie

Možný zisk geotermální energie se pohybuje v intervalu **475 kW až 815 kW**, přičemž nižší hodnota konzervativně předpokládá zisk 20 W/m² bez ohledu na polohu odběrného místa v konstrukci. Vyšší hodnota zohledňuje zejména hloubku konstrukce pod úroveň terénu. V případě traťového úseku je v případě potřeby tuto hodnotu možné rozdělit mezi přiléhající stanice tak, aby trasa média byla z hlediska zisku energie a ztrát efektivní (závisí např. na způsobu vedení a profilech potrubí).

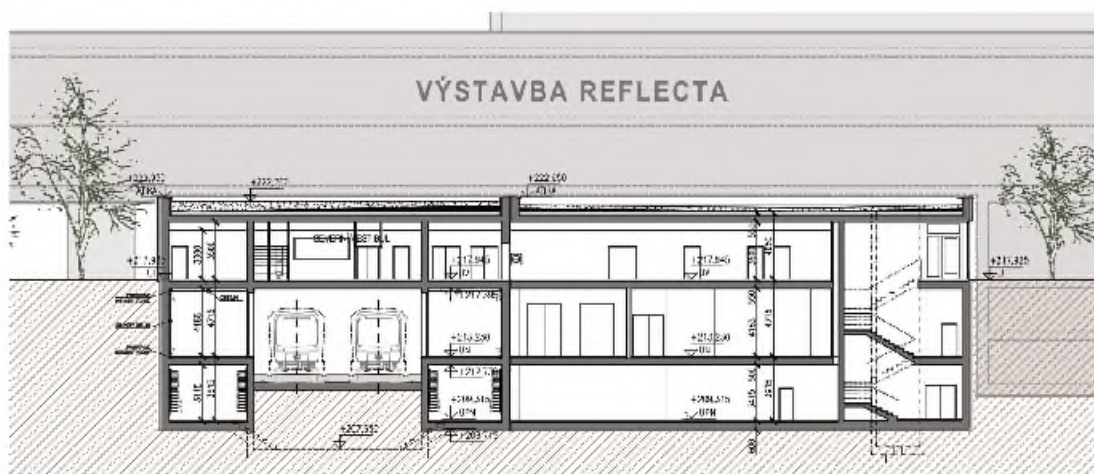
9.2. Stanice Nádraží Krč (SOD15)

9.2.1. Popis technického řešení

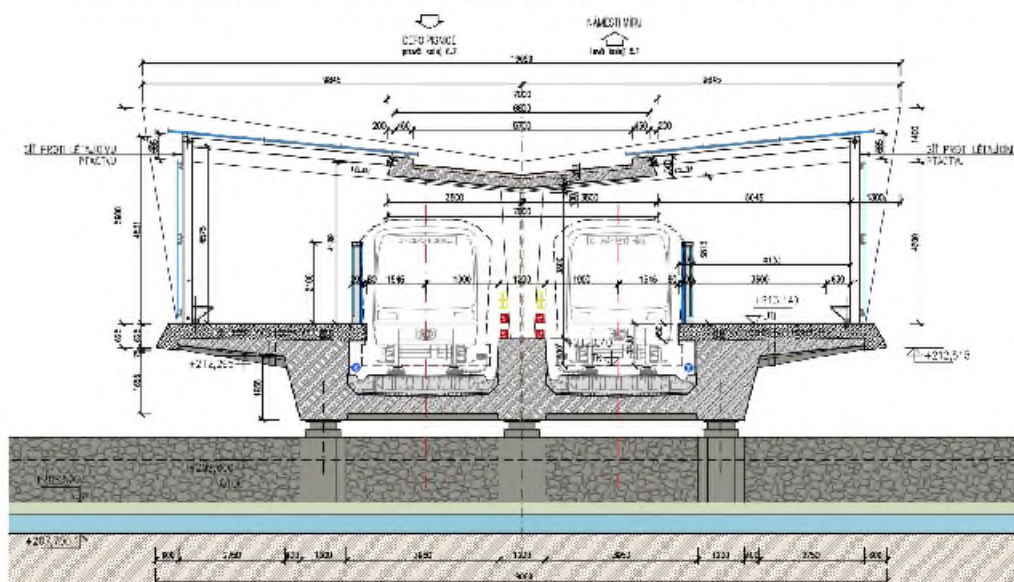
Hloubená a částečně povrchová stanice Nádraží Krč je situovaná do pásu zeleně s vodní plochou vymezeným Jižní spojkou ze severu, železniční trasou s vlakovou stanicí Praha – Krč z jihu, ulicemi Vídeňskou z východu a V Podzámčí ze západu. Územím protéká Kunratický potok se soustavou třech rybníků. Stanice je částečně umístěna na mostní konstrukci s bočními nástupišti a dvěma vestibuly (severním a jižním). Nástupiště s kolejištěm ležící na mostní konstrukci (v délce 60 m) je vizuálně propojeno s okolním prostředím a v této části stanice dochází k jejímu příčnému provětrávání, které je zajištěno šterbinou mezi svislým a vodorovným zasklením nástupiště. Na mostní konstrukci je kolejiště zastřešeno pomocí betonové konstrukce příčně skloněné do středu mezi koleje a podélně ve sklonu nástupiště. Obě nástupiště zakrývají prosklené střechy, které jsou podepřeny ocelovými trámy a sloupy. Severní strana nástupiště přechází ve dvojici podchodů pod Jižní spojkou dlouhých cca 40 m. Stanice je navržena jako železobetonová monolitická deskostěnová rámová konstrukce doplněná sloupy. Obvodové stěny jsou rozpírány stropy v různých úrovních, založeny jsou na základové desce. Konstrukce je vzhledem k rozměrům rozdělena na několik dilatačních dílů, z nichž největší je konstrukce mostu. Objekt je založen na ŽB základové desce tloušťky 500 mm, která je místně snížena a tvarově upravena dle potřeb technologie. Založení mostu je hlubinné na velkopřůměrových železobetonových vrtaných pilotách o průměru 1200 mm. Stavební jáma bude pažena převážně pomocí kotvené záporové stěny. V místě mostních provizorií a portálu bude provedena kotvená železobetonová pilotová stěna. Piloty jsou navrženy o shodném průměru 0,9 m, dle namáhání jsou však navrženy s roztečí 0,9 až 2,0 m. Hloubka stavebních jam dosahuje cca 9,0 m.

Dle ČSN EN 730540 je v celé stanici striktně dodržováno oddělení vytápěných a nevytápěných prostor. Oddělení jednotlivých prostor bude zajištěno zdívkou z keramických dutinových cihel. Do konstrukce podlah se v exponovaných místech (vytápěné nebo temperované místnosti) umístí XPS polystyren tl. 50–200 mm (dle nároků jednotlivých místností na třídu zatížení podlahy, vytápění nebo temperování místnosti, finální nášlapnou vrstvu). Ve všech prostorách stanice budou vytápěné místnosti zázemí umístěné u obvodové stěny dodatečně izolovány z vnější strany. Jedná se zejména o bytové místnosti, kuchyňky, sociální zařízení a šatny a obchodní vybavenost. Zateplení ze strany interiéru je navrženo z kalcium-silikátových desek v tloušťkách 50–100 mm, v místech, kde na tyto desky bude lepen obklad budou dodatečně kotveny. U vytápěných místností budou rovněž zatepleny podlahy a strop. V případě instalace podhledu, bude izolace nad pohledem. U místností bez podhledu bude izolace kotvena do stropní konstrukce a provedena omítka.

Začátek oddílu Stanice Nádraží Krč je v km 43,933.628 v levé koleji a konec v km 44,157.812, tj. délka stavebního oddílu 15 je 224,184 m.



Obr. 25 Úsek SOD 15 - příčný řez částečně zahloubenou stanicí Nádraží Krč



Obr. 26 Úsek SOD 15 - příčný řez stanicí Nádraží Krč situovanou částečně na mostě

9.2.2. Geotechnické podmínky

Kvartérní pokryv je tvořen především náplavy Kunratického potoka a dosahuje v dané lokalitě celkové mocnosti včetně navážek cca 4 až 16 m. Vzhledem k vedení nivelety trasy metra má rozhodující význam. V části území jsou kvartérní fluvialní sedimenty svrchu zastoupeny jílovitými holocénními náplavy zastoupenými písčitými jíly a jíly (F4 CS, F6 CI) mocnosti cca 3,0 m převážně měkké až tuhé konzistence. V této poloze se vyskytují i nepravidelné vložky jílovitopísčitých až písčitých zemin, středně ulehých (S5 SC, S3 S-F). Pod jemnozrnnými sedimenty nebo přímo pod navážkami se pak vyskytuje významná poloha písčitých zemin, které jsou zastoupené především středně zrnitými čistými nebo jílovitými písky (S3 S-F, S4 SM, S5 SC) mocnosti cca 2,5–10,0 m. Bázi kvartérních sedimentů tvoří nesouvislá vrstva hrubých středně ulehých štěrkovitých zemin (G3 G-F, G4 GM, G5 GC) mocnosti 0,5–4,5 m. Povrch hornin předkvartérního podkladu je velmi členitý, zvlněný a nepravidelný, a to jak v podélném, tak i v příčném směru. Je tvořen břidlicemi bohdaleckého souvrství. Zastiženy byly horniny od zcela zvětralých až po navětralé, avšak s převahou hornin více zvětralých. Především jsou pak horniny velmi silně tektonicky podrcené a rozpukané, proklouzané až prohnětené a rozpadavé na drobné úlomky velikosti většinou 1–5 cm, ojediněle až 10 cm. U hornin převažuje velmi velká hustota diskontinuit a při manipulaci se lehce rozpadají na drobné nepravidelné úlomky.

Souvislá hladina podzemní vody je vázána na údolní náplavy a koresponduje s úrovní vody v Kunratickém potoce. Směrem do svahů se pak hladina postupně zaklesává hlouběji pod terén. V prostředí podložních předkvartérních hornin byla podzemní voda zastižena pouze jižním směrem. Na sever od Jižní spojky hladina podzemní vody zastižena nebyla. V horninách je voda vázána na přípovrchovou zónu rozvolnění hornin a na tektonicky porušená pásma. Vzhledem k velké propustnosti zastižených písčitých zemin a velké dotaci podzemní vody Kunratickým potokem je vododajnost hrubozrnných náplavů značná. Hladina podzemní vody bude ovlivňovat a znesnadňovat zakládání pouze v prostoru mostního objektu (hlubinné založení), ostatní části by měly být nad hladinou podzemní vody tunelová stavba jako taková se zde nevyskytuje.

9.2.3. Možný zisk geotermální energie

Plocha	Raženého tunelu/stanice	Hloubeného tunelu	Základové desky	Stěn stanice	Pilot	CELKEM
[m ²]	0	0	5 859	5 505	4 014	15 378
[W/m ²]	35	30	24	20	22	
[W/m ²]	20	20	20	20	20	
[W]	0	0	140 611	110 102	88 309	339 022
[W]	0	0	117 176	110 102	80 281	307 559

Tab. 8 Plochy konstrukcí a možný zisk geotermální energie - SOD 15

9.2.4. Možnosti využití geotermální energie

Možné využití potenciálu geotermální energie lze ve stanici Nádraží Krč považovat za relativně nadějně. V přímé blízkosti stanice připravuje objekty komerční povahy společnost REFLECTA Development, a.s. (viz internetové stránky: <https://www.nadrazikrc.cz/>).

Má se jednat o soubor několika samostatně stojících objektů (SO 01 – administrativní, SO 02 – administrativní, SO 04 – hotel a SO 05 – hotel) s celkovou podlahovou plochou okolo 60 tis. m². Mezi ně pak bude umístěna plánovaná nová budova vlakové stanice, která bude propojena s vestibulem stanice metra (objekt nádražní budovy má označení SO 03). Jejím investorem bude jiný subjekt (zřejmě ČD).

Potenciálně nejvhodnější mohou být stavby SO 03, SO 02, SO 04 a SO 05, které jsou situovány přímo u sebe (situační modelový obrázek níže). Poslední z objektů (SO 01) spíše nikoliv, je totiž umístěn až za Jižní spojkou směrem k ulici Na strži.

Objekty jsou v této fázi přípravy navrženy tak, že budou vytápěny vždy z vlastní objektové plynové kotelny. Celkem se může jednat o potřeby tepla v úrovni jednotek tis. MWh tepla, s ohledem na charakter staveb pak rovněž bude zapotřebí objekty chladit – potřeby odhadujeme na několik stovek MWh chladu ročně.

Plné využití potenciálního tepelného výkonu v TČ využívajících geotermální energii může krýt významnou část energetických potřeb těchto staveb z hlediska vytápění, přípravy teplé vody a chlazení. Doporučujeme rozpracovat možné technické řešení a ověřit, jaké stavby by bylo možné a vhodné napojit a s jakými investičními náklady a možnou výrobní cenou tepla a chladu.

Vizualizaci plánované nové výstavby u stanice Nádraží Krč dle návrhů developera ukazuje Obr. 27 (Zdroj: REFLECTA Development, a.s.)



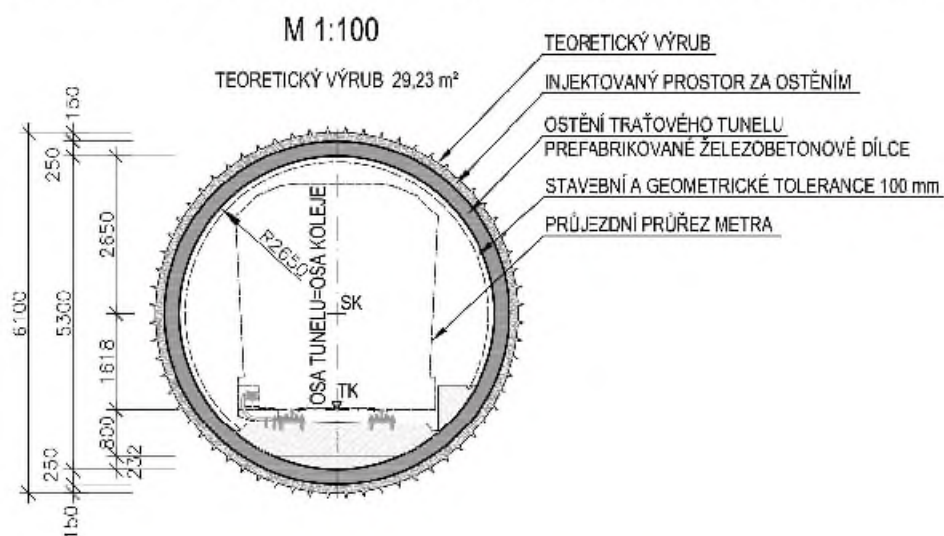
Obr. 27 Plánovaná nová výstavba u stanice Nádraží Krč dle návrhů developera

9.3. Traťový úsek Nádraží Krč – Nemocnice Krč (SOD16)

9.3.1. Popis technického řešení

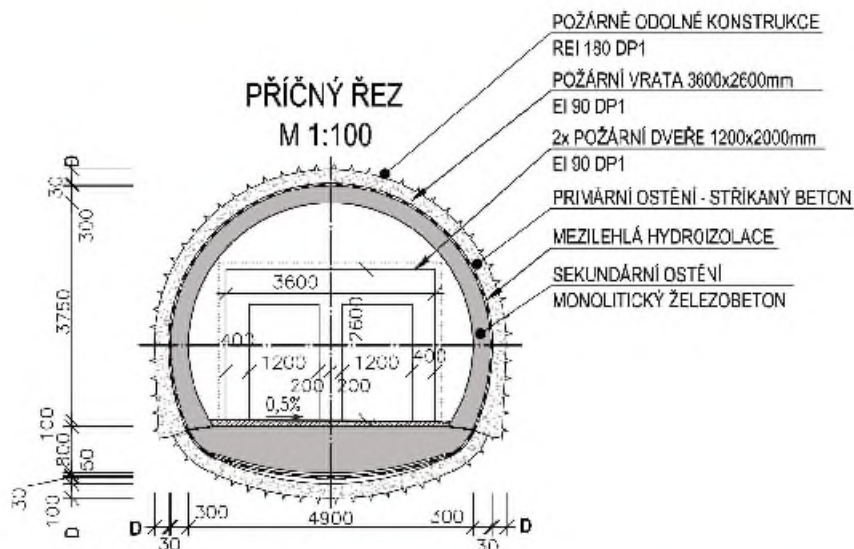
Traťový úsek mezi hloubenými stanicemi Nádraží Krč a Nemocnice Krč řeší kolejové propojení dvěma raženými jednokolejnými tunely se vzduchotechnickými propojkami a nefekální jímkou. Stavební oddíl o celkové délce 758,648 m začíná ve staničení levé koleje v km 44,157.812 a končí v km 44,916.460. Stavební objekty ražených tunelů traťového úseku jsou v celém úseku situovány do svahu nad Nádražím Krč, pod ulicemi U Krčského nádraží, Nad Havlem, Višňová, U společenské zahrady a pod přílehlou zástavbou v dané oblasti. Traťový úsek končí u ulice Vídeňská.

Ražba obou traťových tunelů bude probíhat pomocí zeminových štítů (ražba TBM) ze stavební jámy stanice Nemocnice Krč směrem ke stanici Nádraží Krč. Ostění tunelu kruhového průřezu $\varnothing 5,3/5,8$ m je navrženo montované ze železobetonových prefabrikovaných dílců. Délka prstenců je navržena 1500 mm. Montované ostění je ve styčných i ložných spárách opatřeno gumovým těsněním, které zabraňuje pronikání podzemní vody do tunelu. Přímému kontaktu rubu montovaného ostění s okolním prostředím je zabráněno vrstvou injektážní malty na bázi cementů v tloušťce cca 100 mm. Příčný profil tunelu vyhovuje pro instalaci kolejového svršku s dvouvrstevným i třívrstevným antivibračním zařízením.



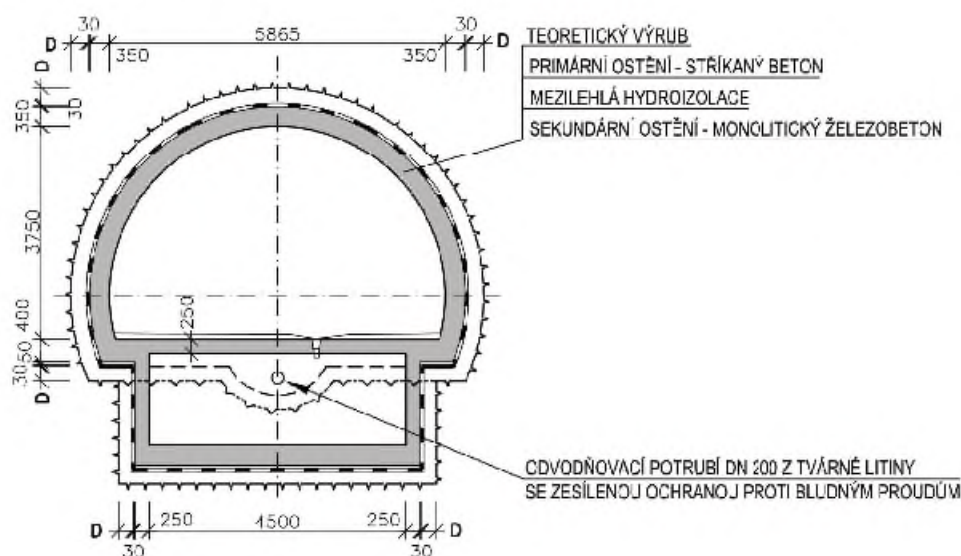
Obr. 28 Úsek SOD 16 - příčný řez tunelem raženým TBM

Výstavba ostatních ražených objektů tohoto stavebního oddílu bude probíhat technologií NRTM. Jedná se o vzduchotechnické propojky určené pro snížení pístového účinku od jedoucího vlaku mezi levým a pravým jednokolejným tunelem. Situovány jsou po vzdálenostech cca 200 m a jejich ražba bude probíhat z traťových tunelů. Celkem jsou navrženy tři propojky. Štoly propojek budou raženy podle zásad technologie NRTM se zajištěním výrubu kotvením a s dočasným primárním ostěním ze stříkaného betonu. Sekundární ostění vzduchotechnických propojek je monolitické železobetonové s mezilehlou hydroizolací.



Obr. 29 Úsek SOD 16 - příčný řez VZT propojkou raženou NRTM

V nejnižším bodě trasy levého traťového tunelu je umístěn objekt základní nefekální jímky, který bude sloužit pro zachycení průsakových vod z tunelu, vod z umývání tunelu jako i možných vod vzniklých při havárii tunelového vodovodu. Základní nefekální jímka obsahuje čerpací stanici, kruhovou jímku umístěnou ve dně čerpací stanice, štolu k vrtu pro výtlačné potrubí a přístupovou štolu spojující čerpací stanici a levý jednokolejný tunel. Převedení průsakových vod z pravého traťového tunelu do levého traťového tunelu je umožněno přes vzduchotechnickou propojku. Příčné profily štoly i komory čerpací stanice mají tvar oválu. Ostění štol, komory čerpací stanice i jímky je dvouplášťové s mezilehlou foliovou izolací.



Obr. 30 Úsek SOD 16 - příčný řez čerpací stanicí s jímkou

Voda z jímky bude na povrch území dopravována výtlačným potrubím. Svislý technologický vrt délky cca 39,8 m odvrtaný jednotným profilem cca 400 mm bude vypažen ocelovou výpažnicí. Do ocelové výpažnice pak bude osazeno výtlačné potrubí.

9.3.2. Geotechnické podmínky

Geneze kvartérního pokryvu a jeho mocnost je značně proměnlivá. V trase se střídají deluviální sedimenty o mocnosti do cca 2 m a terasové, především písčité uloženiny fluviálního původu, jejichž mocnost se pohybuje v rozmezí cca 2,0–7,0 m. Od km cca 44,410 začínají dominovat především navážky úprav stávajícího terénu. Na konci úseku tvoří navážky svrchní polohu (dosypávka násypů železničního tělesa), která leží na písčitých terasových uloženinách fluviálního původu mocnosti až 10 m. Mocnost navážek je většinou kolem cca 3–6 m, výjimečně až do 12 m. Povrch hornin předkvartérního podkladu je značně zvlněný, členitý a proměnlivý. Mocnost nadloží se pohybuje nejčastěji v rozmezí 5 až 10 m, maximálně 13 m. Na konci úseku se mocnost nadloží velmi rychle zmenšuje a tubus tunelu se zahlubuje do kvartérních uloženin a do navážek. Předkvartérní podklad bude tvořen horninami paleozoika (ordoviku). Budou zastižena souvrství letenské, vinické, zahořanské a bohdalecké. I přes poměrně malou výšku nadloží bude tunel ražen v celém profilu především ve zdravých, podružně až navětralých horninách pevnostních tříd R3-R2 (mimo tektonické linie). Na konci úseku budou při vystoupení trasy tunely k povrchu před stanicí Nádraží Krč zastiženy horniny ve všech stupních zvětrání a také kvartérní uloženiny a navážky. Zatřídění úseku do „kvazibloků“ viz Tab. 9.

Kvaziblok	Od km	Do km	Délka [m]	Popis geologických poměrů	Způsob výstavby
10.5	44,158	44,235	167	bohdalecké břidlice navětralé a mírně až zcela zvětralé, fluviální uloženiny, heterogenní navážky	Ražení tunelů tunelovacími stroji TBM
10.4	44,235	44,340	105	bohdalecké břidlice navětralé a zdravé, na konci úseku v klenbě až zcela zvětralé	
10.3	44,340	44,430	90	zahořanské břidlice zdravé až navětralé	
10.2	44,430	44,570	140	vinické břidlice zdravé, ojediněle až navětralé	
10.1	44,570	44,917	347	letenské břidlice zdravé, ojediněle až navětralé	

Tab. 9 Rozdělení SOD16 do kvazibloků

Hladina podzemní vody se vyskytuje v hloubce cca 4–10 m pod terénem. Podzemní voda je vázána na přípovrchovou zónu rozvolnění hornin a na tektonicky porušená pásma. Na konci úseku je v údolí Kunratického potoka podzemní voda vázána na průlinově velmi silně propustné terasové kvartérní sedimenty. Očekávané přítoky do tunelu v ordovických břidlicích jsou 0,0013 l/s/m, v křemencových faciích (letenské vrstvy) 0,0057 l/s/m. Při ražbě lze očekávat lokální přítoky podzemní vody do tunelu především v místech tektonického poruch. Voda může být slabě tlaková.

9.3.3. Možný zisk geotermální energie

Plocha	Raženého tunelu/stanice	Hloubeného tunelu	Základové desky	Stěn stanice	Pilot	CELKEM
[m ²]	19 576	0	0	0	0	19 576
[W/m ²]	35	30	24	20	22	
[W/m ²]	20	20	20	20	20	
[W]	685 148	0	0	0	0	685 148
[W]	391 513	0	0	0	0	391 513

Tab. 10 Plochy konstrukcí a možný zisk geotermální energie - SOD 16

9.3.4. Možnosti využití geotermální energie

Možný zisk geotermální energie se pohybuje v intervalu **391 kW až 685 kW**, přičemž nižší hodnota konzervativně předpokládá zisk 20 W/m^2 bez ohledu na polohu odběrného místa v konstrukci. Vyšší hodnota zohledňuje zejména hloubku konstrukce pod úroveň terénu. V případě traťového úseku je v případě potřeby tuto hodnotu možné rozdělit mezi přiléhající stanice tak, aby trasa média byla z hlediska zisku energie a ztrát efektivní (závisí např. na způsobu vedení a profilech potrubí).

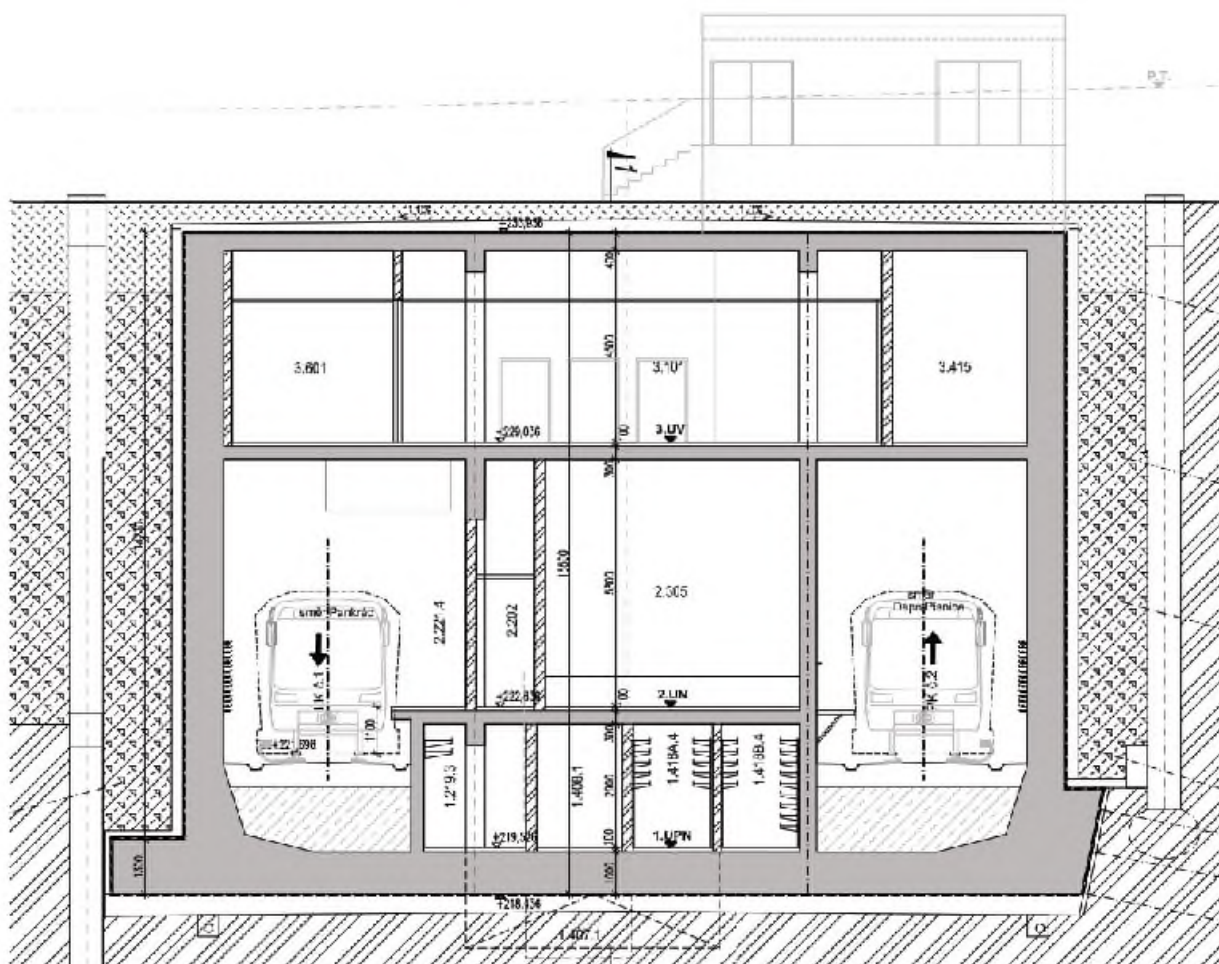
9.4. Stanice Nemocnice Krč (SOD17)

9.4.1. Popis technického řešení

Začátek oddílu je v km 44,916 460 v levé koleji a konec v km 45,124 172, tj. délka oddílu 17 je 207,712 m. Celková délka stanice je 201 m se středem v km 45,011 541.

Stanice je navržena jako hloubená s ostrovním nástupištěm šířky 11,0 m a délky 100,0 m, s temenem kolejnice (TK) v hloubce cca 17,5 m pod terénem. Z nástupiště vedou vertikální komunikace na obou koncích jak do jižního vestibulu, tak i do severního vestibulu. Nadloží stanice je využito pro umístění technologického zázemí. Severní vestibul je navržen jako zahloubený na úroveň pasáže budoucí developerské výstavby. Vertikální cestu ze stanice zajišťuje kombinace trojice eskalátorů a výtahu. Prostor před vestibulem je navržen jako dočasný (v zářezu), na který by bude v budoucnu navazovat parter zástavby developera s obchodní pasáží spojující nemocnici a výstup z metra před podchod pod ulicí Vídeňská. Jižní vestibul se nachází v prostoru za ulicí Zálesí. Vertikální cestu ze stanice zajišťuje kombinace trojice eskalátorů a šikmého výtahu. Vestibul je navržen jako povrchový s technologickým zázemím v suterénu pod ním a se stanicí je propojen prostřednictvím trojice eskalátorů a šikmého výtahu.

Technologický blok stanice je umístěn za nástupištěm směrem ke stanici Nové Dvory. Strojovna hlavního větrání je umístěna v odlehčovacím prostoru nad nástupištěm s větracím objektem vyústěným do budoucího náměstí u vestibulu sever. Výstavba developera Reflecta bude založená na samostatném roštu uloženém na pilotách stavební jámy, rošt je samostatná statická konstrukce v prostoru mezi stropem metra a užitnými prostory developera. Zajištění stavební jámy je v tomto místě navrženo tak, aby přeneslo i síly od developerské výstavby. V rámci objektů metra jsou zajištěny pouze piloty. Rošt a roznášecí prahy jsou věcí developera.



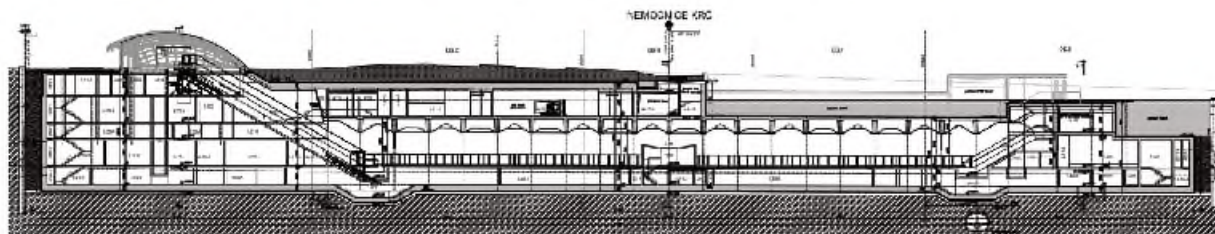
Obr. 31 Úsek SOD 17 - příčný řez hloubenou stanicí Nemocnice Krč

Stavební jáma je obdélníkového půdorysu o rozměrech cca 210 x 26 m. Jáma bude pažena pomocí kotvené železobetonové pilotové stěny. Hloubka jámy v jižní části dosahuje až 22,0 m, v severní části v místě zahroubení stanice až o 6 m bude proveden předvýkop, snížená jáma zde pak bude dosahovat hloubky kolem 16,8 m. Piloty jsou navrženy v profilech 1100/980 mm a 900/780 mm (průměr vrtu s výpažnicí / bez výpažnice). Rozteče pilot jsou navrženy 1,6–2,0 m dle namáhání. Klenuté plochy zeminy mezi pilotami budou zajištěny stříkaným betonem se sítí. Z důvodu vysoké pevnosti hornin v hlubších polohách jámy jsou některé části pilotových stěn navrženy jako nasazené s patou pilot ukončenou 3,5–2,5 m nad dnem jámy. V jižní části jámy v místě největšího přetížení okolní zástavbou musí být piloty na sraz. Líc pilotových stěn je od konstrukce stanice odsazen o 1,92 m pro provedení rubové hydroizolace.

Konstrukčně lze stanici rozdělit na čtyři části:

1. část pod jižním vestibulem tvoří čtyřpatrový trojlodní rám,
2. v místě nástupišť se jedná o jednolodní dvoupatrový rám rozpíraný masivní stropní deskou s náběhy a trámovým stropem,
3. směrem k severnímu výstupu dochází k zahroubení stanice, v místě nástupiště je zde jednolodní jednolodní rám s trámovým stropem a

4. pod severním vestibulem tvoří konstrukci dvoupatrový trojlodní rám.



Obr. 32 Úsek SOD 17 - podélný řez hloubenou stanicí Nemocnice Krč

Nosné konstrukce se zhotoví z betonu C 30/37 XC2. Konstrukce je chráněna celoplošně hydroizolací. Objekt je založen na železobetonové základové desce tloušťky 800 mm a 1000 mm, která je místně snížena a tvarově upravena dle potřeb technologie. Stropní je navržena ze železobetonu v tloušťce 400 mm až 1000 mm. Svislé nosné konstrukce jsou z převážné většiny tvořeny železobetonovými monolitickými stěnami a sloupy, tloušťka obvodových stěn je 600 mm resp. 800 mm. Vzdálenost podélných nosných stěn je 18,68 m.

Z hlediska tepelné izolace je dle ČSN EN 73 0540 v celé stanici striktně dodržováno oddělení vytápěných a nevytápěných prostor. Oddělení jednotlivých prostor bude zajištěno zdívkou z keramických dutinových cihel. Do konstrukce podlah se v exponovaných místech (vytápěné nebo temperované místnosti) umístí EPS150S nebo XPS tl. 50–200 mm (dle nároků jednotlivých místností na třídu zatížení podlahy, vytápění nebo temperování místnosti, finální nášlapnou vrstvu).

Ve všech prostorách stanice budou vytápěné místnosti zázemí umístěné u obvodové stěny dodatečně izolovány z vnitřní strany. Jedná se zejména o pobytové místnosti, kuchyňky, sociální zařízení a šatny a obchodní vybavenost. Zateplení ze strany interiéru je navrženo z kalcium-silikátových desek v tloušťkách 50–100 mm, v místech, kde na tyto desky bude lepen obklad budou dodatečně kotveny. U vytápěných místností budou rovněž zatepleny podlahy a strop.

9.4.2. Geotechnické podmínky

Ve stavební jámě tvoří do hloubky 2,40–4,60 m kvartérní pokryvné zeminy převážně štěrky a písky, při povrchu pak písčité hlíny a jíly. Níže se již nachází letenské břidlice ordovického stáří, jejichž zóna silnějšího zvětrání zasahuje do hloubky 6,8–8,8 m. Jde o silně až mírně zvětralou horninu třídy R6–R4. Dále jsou již břidlice pouze navětralé až zdravé ve třídě R4–R3 s nárůstem pevnosti s hloubkou. Dle IGP dosahují hodnoty pevnosti v prostém tlaku hornin pro pevnostní třídu R3 cca 24 až 27 MPa a pro pevnostní třídu R4 cca 15 až 20 MPa. Lokálně se mohou vyskytovat pevnější proplásky.

Hladina podzemní vody byla v některých sondách naražena nejvýše 5,5 m pod terénem.

9.4.3. Možný zisk geotermální energie

Plocha	Raženého tunelu/stanice	Hloubeného tunelu	Základové desky	Stěn stanice	Pilot	CELKEM
[m ²]	0	0	4 168	7 427	17 899	29 493
[W/m ²]	35	30	24	20	22	
[W/m ²]	20	20	20	20	20	
[W]	0	0	100 021	148 537	393 779	642 337
[W]	0	0	83 351	148 537	357 980	589 869

Tab. 11 Plochy konstrukcí a možný zisk geotermální energie - SOD 17

9.4.4. Možnosti využití geotermální energie

Pod názvem „Nová Krč“ je přímo a v blízkém okolí stanice Nemocnice Krč připravována smíšená nebytová i bytová zástavba. Přímo nad stanicí mají vzniknout po obou stranách ul. Vídeňská nové nebytové objekty. Na pravé straně (směrem z města) se má jednat o komerční multifunkční komplex, na levé pak jeden samostatně stojící objekt určený pro akutní a ambulantní péči spadající v budoucnu pod blízko ležící Thomayerovu nemocnici a pak druhý, menší velikosti určený pro vzdělávací a konferenční účely. Developerem těchto hlavních staveb má být stejná organizace, jaká novou výstavbu plánuje u stanice Nádraží Krč (tj. společnost REFLECTA Development, a.s., viz internetové stránky: <https://novakrc.cz/vize2030>).

Celková podlahová plocha těchto staveb má činit u multifunkčního administrativního a obchodního komplexu cca **40 tis. m²** a u zdravotnického zařízení cca **20 tis. m²** a lze očekávat, že v roční sumě budou energetické nároky této nové výstavby co do potřeby tepla a chladu v řádu jednotek (odhadujeme **4-5 tis. MWh/rok**). V základním scénáři investor plánuje provést napojení těchto objektů na soustavu zásobování teplem, jejíž horkovodní větev se nachází v přímé blízkosti.

U všech těchto objektů by mělo být však technicky proveditelné, aby přinejmenším z části své potřeby tepla a chladu kryly s využitím TČ využívajícím geotermální energii získávanou z konstrukcí stanice a navazujících tunelů. Výhodou by zde kromě nízké uhlíkové stopy a spotřeby primární energie neobnovitelného původu bylo, že objekty budou potřebovat nezanedbatelné množství chladu, což může napomáhat k vysoké roční výtěžnosti energie (předběžně odhadujeme, že se může dařit získávat až 100 kWh na 1 m² primárního okruhu TČ ročně).

Doporučujeme proto rozpracovat možné technické řešení a ověřit, jaké stavby by bylo možné a vhodné napojit a s jakými investičními náklady a možnou výrobní cenou tepla a chladu. Zástupci developerské společnosti vyjádřili předběžně prostorovou připravenost umístit TČ do podzemních prostor jednoho z objektů – tedy bez potřeby je umístit do samostatně stojící stavby, což by snížilo významně investiční náklady záměru.

Kromě těchto objektů je pak rovněž připravována výstavba obytných staveb dále podél ulice Zálesí (cca 600 bytových jednotek) a rovněž i dalších nebytových staveb západním směrem od ul. Vídeňská

(zdá se, že menší desítky tis. m² HPP). Tyto objekty mohou být teoretickým bonusem a je dobré se jimi rovněž alespoň výpočtově zajímat (potřeby tepla mohou být v řádu jednotek tis. MWh za rok).

Vizualizaci plánované nové výstavby u stanice Nemocnice Krč dle návrhů developera ukazuje Obr. 33. (Zdroj: REFLECTA Development, a.s.)



Obr. 33 Vizualizace plánované nové výstavby u stanice Nemocnice Krč dle návrhů developera

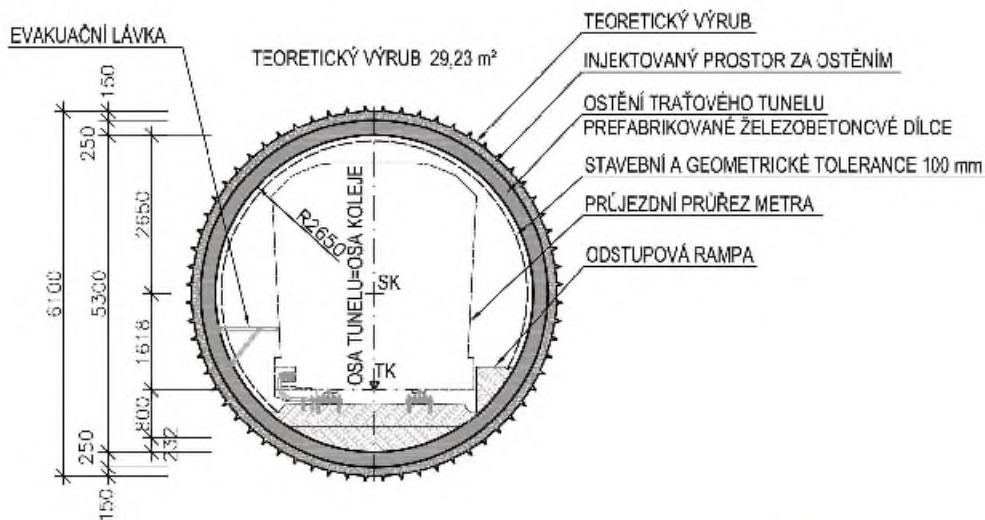
Vizualizaci plánované nové výstavby u stanice Nemocnice Krč i se zákresem dalších plánovaných staveb severozápadním směrem ukazuje Obr. 34 (Zdroj: REFLECTA Development, a.s.).



Obr. 34 Vizualizace plánované nové výstavby zákresem dalších plánovaných staveb

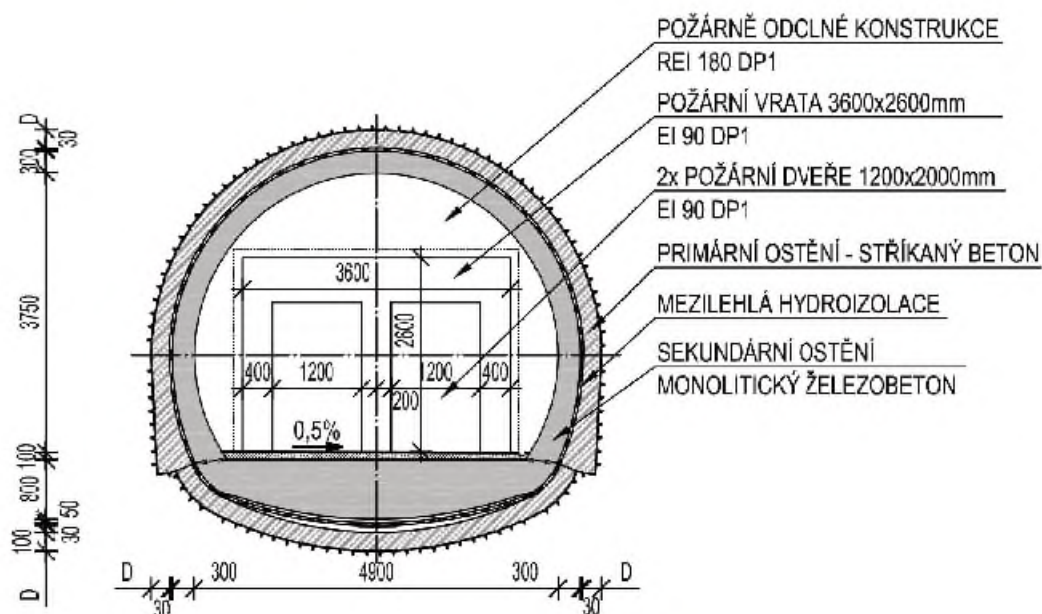
9.5.1. Popis technického řešení

zabraňuje pronikání podzemní vody do tunelu.



Obr. 35 Úsek SOD 18 - příčný řez tunelem raženým TBM

hydroizolace (foliová nebo stříkaná).



Obr. 36 Úsek SOD 18 - příčný řez VZT propojkou raženou NRTM

9.5.2. Geotechnické podmínky

Do km cca 46,1 je kvartérní pokryv nevýznamný a je tvořený deluviálními, ojediněle pak eolickými sedimenty. Jejich mocnost je převážně mezi 1–2 m. Dále ve směru staničení je povrch terénu překryt staršími terasovými uloženinami fluviálního původu (sedimenty Kunratického potoka), které jsou tvořeny především písčitymi zeminami velmi proměnlivé mocnosti, ověřené mezi cca 3–5 m. Povrch hornin předkvartérního podkladu je mírně zvlněný a generelně sleduje povrch terénu. V úseku je mocnost nadloží u stanice Nové Dvory cca 23 m, pak klesá na cca 15 m, a směrem ke stanici Nemocnice Krč dosahuje pouze cca 6–9 m.

V mezistaničním úseku bude předkvartérní podklad tvořen libeňskými a letenskými vrstvami hornin paleozoika (ordoviku). Tunel bude ražen v celém úseku a v celém profilu především ve zdravých horninách (mimo tektonické linie) pevnostní třídy R3 a R4. Pouze v blízkosti stanice Nemocnice Krč mohou do profilu tunelu svrchu zasahovat i horniny navětralé.

Podle mapových podkladů se v tomto úseku vyskytuje několik významných směrných i příčných zlomů (na povrchu terénu, podél kterých jsou horniny vzájemně posunuté a výrazně podrcené a prohnětené, mohou zde být horniny zvětřelé do větších hloubek a může zde být výraznější oběh podzemní vody. Řada dalších oslabených zón byla indikována také geofyzikálním průzkumem.

Místy však mohou být v klenbě tunelu zastiženy i horniny více zvětřelé, nebo více tektonicky podrcené – viz geofyzikální průzkum. Podle geofyzikálních měření se v okolí km cca 45,300 přibližuje „kapsa“ silně zvětřelých hornin až do blízkosti klenby tunelu. Tato porušená zóna však nebyla vrtným průzkumem potvrzena. Může však jít např. o silně podrcenou zónu s intenzivnějším oběhem podzemní vody.

Hladina podzemní vody se vyskytuje v proměnlivých hloubkách cca 1,5–6,0 m pod terénem, místy se však může vyskytovat i hlouběji. Podzemní voda je vázána na přípovrchovou zónu rozvolněných hornin a na tektonicky porušená pásma. Lokálně a pouze izolovaně může být podzemní voda vázána i na průlinově propustné terasové sedimenty kvartérního stáří. Podzemní voda vytváří pouze jednu zvedň v kvartérních i paleozoických horninách.

Výskyt podzemní vody je velmi nepravidelný a lokální. Podle výsledků čerpacích zkoušek a karotážních měření ve vrtech je zastižené prostředí prakticky nepropustné a bez pohybu vody ve vrtu. Očekávané specifické přítoky do tunelu jsou v ordovických břidlicích 0,0022 l/s/m a v křemencových faciích (letenské vrstvy) 0,0075 l/s/m.

9.5.3. Možný zisk geotermální energie

Plocha	Raženého tunelu/stanice	Hloubeného tunelu	Základové desky	Stěn stanice	Pilot	CELKEM
[m ²]	25 513	0	0	0	0	25 513
[W/m ²]	35	30	24	20	22	
[W/m ²]	20	20	20	20	20	
[W]	892 938	0	0	0	0	892 938
[W]	510 250	0	0	0	0	510 250

Tab. 12 Plochy konstrukcí a možný zisk geotermální energie - SOD 18

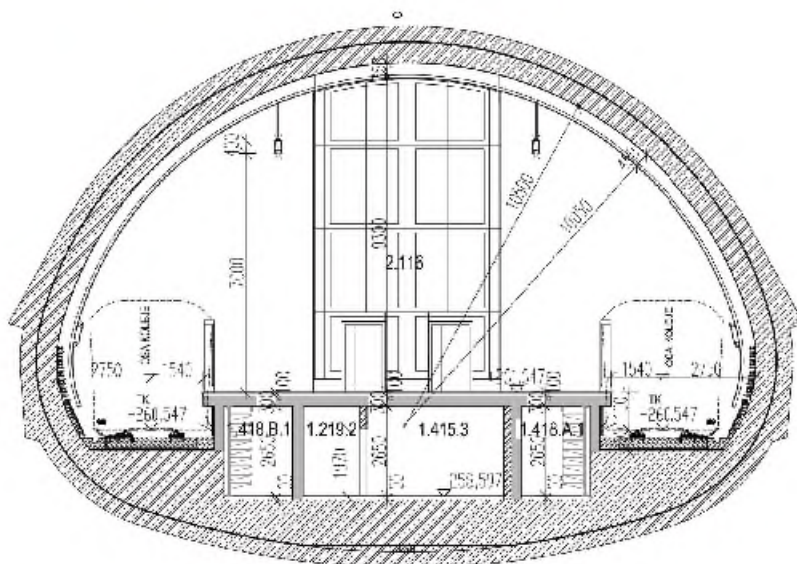
9.5.4. Možnosti využití geotermální energie

Možný zisk geotermální energie se pohybuje v intervalu **510 kW až 892 kW**, přičemž nižší hodnota konzervativně předpokládá zisk 20 W/m² bez ohledu na polohu odběrného místa v konstrukci. Vyšší hodnota zohledňuje zejména hloubku konstrukce pod úroveň terénu. V případě traťového úseku je v případě potřeby tuto hodnotu možné rozdělit mezi přiléhající stanice tak, aby trasa média byla z hlediska zisku energie a ztrát efektivní (závisí např. na způsobu vedení a profilech potrubí).

9.6. Stanice Nové Dvory (SOD19)

9.6.1. Popis technického řešení

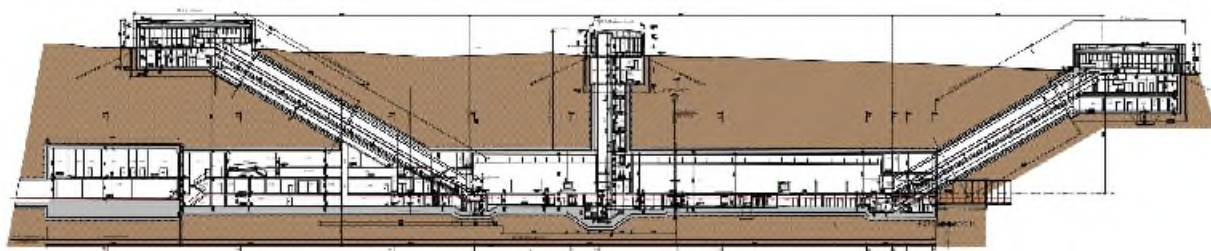
Stanice Nové Dvory je řešena jako jednodílní ražená pomocí NRTM. Tloušťka primárního ostění ze stříkaného betonu je 400 mm, sekundární z monolitického betonu je navrženo v tloušťce 600 mm. Betonáž sekundárního ostění bude probíhat po blocích betonáže délky 10 m. Nástupiště je ostrovní šířky 12,06 m s osovou vzdáleností kolejí 15 m. Úroveň TK středu stanice je v hloubce cca 33,2 m pod Libušskou ulicí.



Obr. 37 Úsek SOD 19 - příčný řez jednolodní stanicí Nové dvory raženou NRTM (v místě nástupiště)

Stanice má čtyři výškové úrovně:

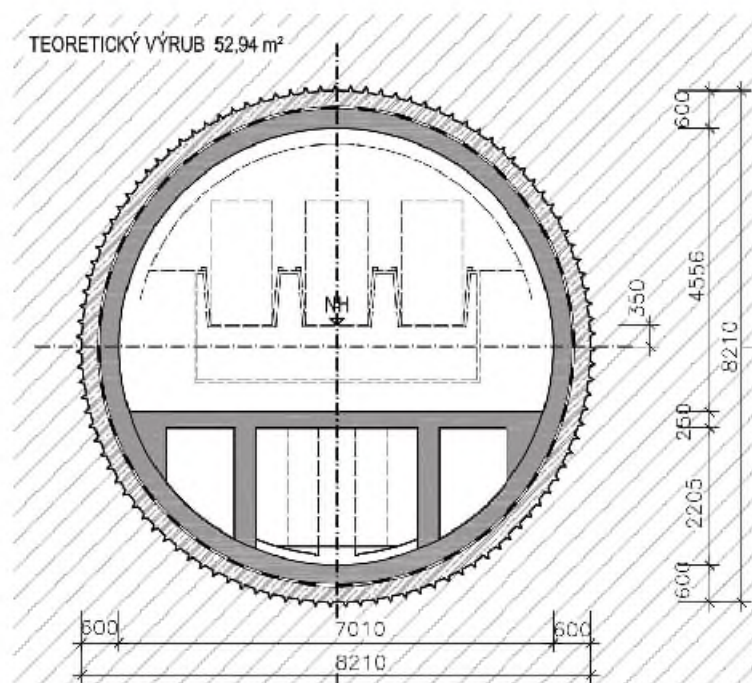
1. v úrovni pod nástupištěm jsou umístěny služební místnosti a technické prostory metra, kabelové kanály a obslužné chodby a kabelový prostor pod MDT.
2. v úrovni nástupiště je kolejiště a vlastní nástupiště a vertikální komunikace. V technologické části této úrovně pak jsou především prostory MDT a technické prostory metra.
3. v úrovni nad nástupištěm 1 je kabelový prostor a komunikace,
4. v úrovni nad nástupištěm 2 jsou zbylé prostory MDT a další služební prostory včetně komunikací.



Obr. 38 Úsek SOD 19 - podélný řez raženou jednolodní stanicí Nové dvory

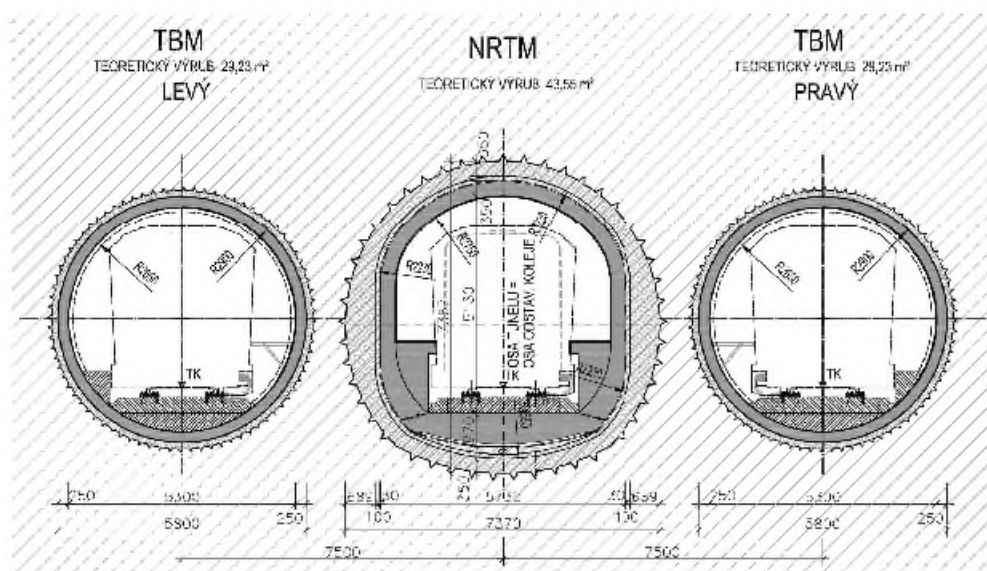
Ze severního konce nástupiště stanice je přímo veden eskalátorový tunel s trojicí eskalátorů do úrovně terénu nadzemního severního vestibulu elipsovitého půdorysu, situovaného v místě stávajícího parkoviště u pěší komunikace. Z jižního konce nástupiště je také veden eskalátorový tunel s trojicí eskalátorů přímo do úrovně terénu nadzemního jižního vestibulu.

Eskalátorové tunely jsou ražené pomocí NRTM s vnitřním kruhovým průřezem $\varnothing 7,5$ m a průměrem výrubu $D = 8,2$ m. Konstrukce ostění raženého eskalátorového tunelu je dvouplášťová s mezilehlou foliovou izolací z PVC. Vnější primární ostění je navrženo min. tloušťky 250 mm ze stříkaného betonu na ocelové síti. Vnitřní sekundární ostění je navrženo z monolitického železobetonu třídy C 25/30 a má minimální tloušťku 300 mm. Betonáž sekundárního ostění se bude provádět do posuvného bednění.



Obr. 39 Úsek SOD 19 - příčný řez eskalátorovým tunelem raženým NRTM

Ke stanici patří na jižní konec navazující zvětšující se profil stanice pro umístění výhybek budoucího větvení trasy. Z něho vycházejí dva jednokolejné traťové tunely ražené pomocí TBM s prefabrikovaným ostěním ze železobetonových tybinků $\varnothing 5,3/5,8$ m a tunel pro odstavné koleje; dále jsou zde zárodky tunelů budoucího možného odbočení trasy.

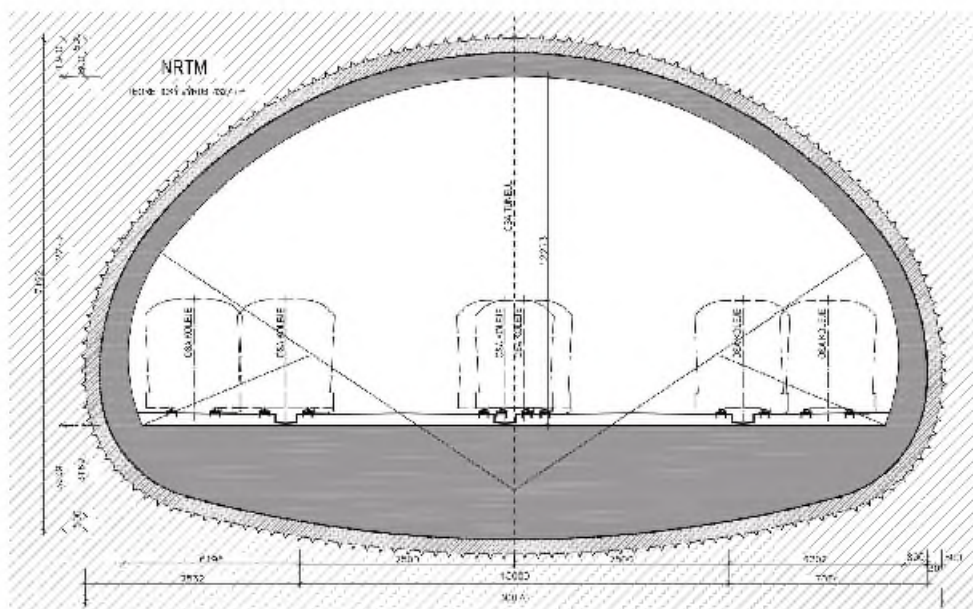


Obr. 40 Úsek SOD 19 - příčné řezy traťovými tunelem TBM a tunelem odstavné koleje raženým NRTM

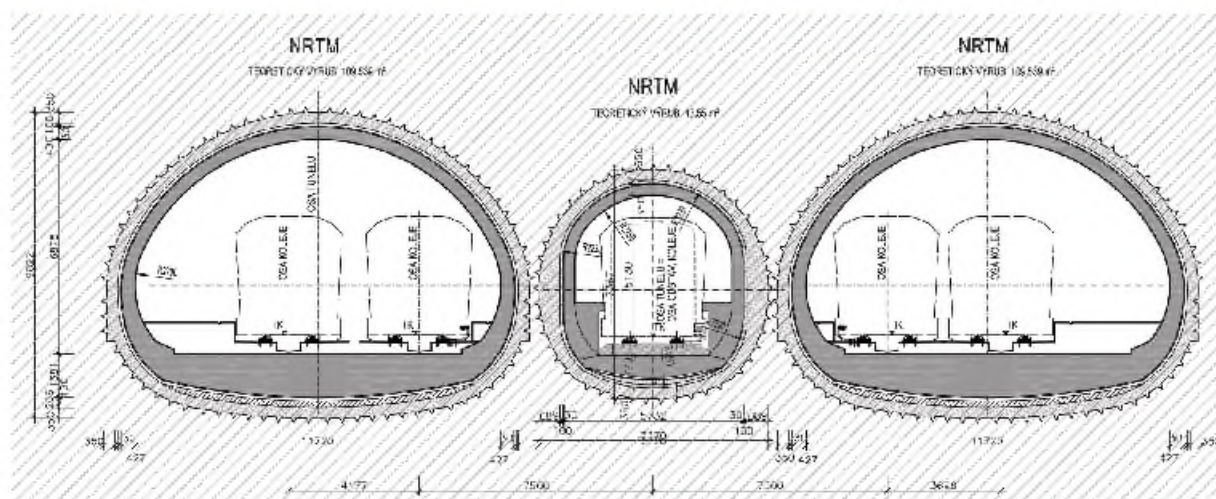
Větrací šachta odstavných kolejí (SO I.D-19-12) obsahuje raženou část – šachta spojující odstavné koleje a hloubenou část, a hloubenou část, v které je umístěna strojovna hlavního větrání a podružný požární rozvaděč. Ražená část je vnitřního průměru 1,75 m, výšky cca 36,3 m. Hloubená část je obdélníkového profilu vnitřních rozměrů 30,0x4,5 m, v rozšířené části 6,5x7,9 m. Základová spára je

v hloubce cca 8,4 m pod stávajícím terénem. Na hloubenou část na povrchu navazuje větrací objekt. Strojovna HV je řešena jako hloubený deskostěnový železobetonový objekt navazující na větrací šachtu z tunelů stanice. Základová spára je v hloubce cca 8 m pod úrovní stávajícího terénu. Tloušťka základové desky, stěn a stropu je min. 400 mm. Konstrukce se skládá z 1 dilatačního dílu délky cca 30 m.

Výhybna stanice prostorově přímo navazuje na raženou kavernu stanice, tvarově je to zvětšená jednodlná stanice do šířky až 30 m tak, aby zde mohly být umístěny výhybky a mohly zde odbočovat koleje budoucí připojující se trasy. Z výhybny vycházejí dva dvoukolejné traťové tunely a tunel odstavné koleje a dále jsou zde zárodky tunelů budoucího odbočení do nové trasy.



Obr. 41 Úsek SOD 19 - zvětšeným profilem stanice Nové Dvory, výhybna se šířkou výrubu 30 m



Obr. 42 Úsek SOD 19 - dvoukolejné tunely a tunel odstavné koleje navazující na výhybnu (NRTM)

9.6.2. Geotechnické podmínky

Mezi stanicemi Libuš a Nové Dvory prochází trasa pásma Závistského přesmyku, po kterém jsou starší horniny proterozoika nasunuty na mladší horniny ordovického stáří. Staniční tunel je umístěn v relativně velké hloubce. Kvartérní pokryv je nevýznamný a je tvořený deluviálními, fluviálními a duluviofluviálními, ojediněle pak eolickými sedimenty. Jejich mocnost je převážně mezi 1–2 m, ojediněle až 3,5 m. Mocnost horninového nadloží se v prostoru jednokolejných tunelů pohybuje v rozmezí cca 28–35 m, v prostoru ražené stanice pak kolem 17–20 m.

V tomto úseku je předkvartérní podklad tvořen horninami paleozoika (ordoviku). Ražbou budou zastižena souvrství dobrotivské a libeňské. Tunel bude ražen v celém úseku a v celém profilu především ve zdravých, místy navětralých horninách (mimo tektonické linie). Pouze v prostoru staničních eskalátorových tunelů a větrací šachty budou zastiženy horniny ve všech stupních zvětrání a také kvartérní uloženiny. V prostoru stanice se vyskytuje významný příčný zlom (na povrchu terénu v km cca 46,153.025), podél kterého jsou horniny vzájemně posunuté a následkem toho výrazně podrcené a prohnětené, mohou zde být horniny zvětralé do větších hloubek a může zde být výraznější oběh podzemní vody.

Hladina podzemní vody se vyskytuje v proměnlivých hloubkách cca 2,0–5,0 m pod terénem, místy se však může vyskytovat i hlouběji. Podzemní voda je vázána na přípovrchovou zónu rozvolněných hornin a na tektonicky porušené horniny. Především křemence mohou být díky své křehkosti a velké rozpukanosti více zvodnělé a vododajné. Nesouvislá zvětrání se také vyskytuje v pokryvných kvartérních útvech, pokud mají dostatečnou mocnost a dobrou propustnost.

Očekávané specifické přítoky do staničního tunelu jsou 0,0027 l/s/m a do jednokolejného tunelu 0,0031 l/s/m. Při ražbě lze očekávat lokální koncentrované přítoky podzemní vody do tunelu především v místech tektonického porušení masívu a v křemencích.

Kvaziblok	Od km	Do km	Délka [m]	Popis úseku a geologických poměrů	Způsob výstavby
7.5				Přístupová a větrací štola, dobrotivské břidlice a droby	NRTM
7.4				eskalátory ve stanici Nové Dvory, dobrotivské a libeňské břidlice	
7.3	46,119	46,148	29	Stanice Nové Dvory, libeňské břidlice zdravé až navětralé	
7.2	46,148	46,330	182	Stanice Nové Dvory, dobrotivské břidlice zdravé až navětralé	
7.1	46,330	46,521	191	Jednokolejné tunely, dobrotivské břidlice zdravé	TBM

Tab. 13 Rozdělení SOD19 do kvazibloků

9.6.3. Možný zisk geotermální energie

Plocha	Raženého tunelu/stanice	Hloubeného tunelu	Základové desky	Stěn stanice	Pilot	CELKEM
[m ²]	23 324	0	1 132	1 720	0	26 177
[W/m ²]	35	30	24	20	22	
[W/m ²]	20	20	20	20	20	
[W]	816 352	0	27 170	34 410	0	877 932
[W]	466 487	0	22 642	34 410	0	523 538

Tab. 14 Plochy konstrukcí a možný zisk geotermální energie - SOD 19

9.6.4. Možnosti využití geotermální energie

Stanice se z hlediska provedení jeví jako potenciálně velmi vhodná na budoucí využívání nízkopotenciální tepelné energie. V jejím přímém okolí totiž připravuje nové stavby městský developer - Pražská developerská společnost, a.s., a to v rozsahu odpovídající až téměř 300 tis. m² HPP z toho skutečně pronajímatelné má být řádově přes 200 tis. m². Celkem se má jednat o 17 samostatných bloků budov, jejichž potřeby energie na vytápění a chlazení odhadujeme na **10 až 15 tis. MWh za rok**.

Mezi velmi vhodnými objekty se jeví především ten označovaný jako blok B04_05, a to z toho důvodu, že má být administrativní budovou a že má být vybudován přímo nad plánovaným umístěním větrací šachty stanice pracující v běžném režimu jako odtahová. Celkem má v něm být pronajímatelná plocha o velikosti cca 8 tis. m², čemuž může odpovídat roční potřeba tepla a chladu v řádu menších stovek MWh za rok (odhadujeme v rozmezí 300 až 500 MWh) a přípojný mezní tepelný výkon zdroje 250-300 kW. Podobně veliký by pak mohl být i výkon zdroje chladu.

Protože stanice má být ražena pomocí NRTM (Nová rakouská tunelovací metoda), bylo by možné sběrné potrubí s pracovním médiem natáhnout po celém obvodu stanice, do eskalátorových tunelů, výtahové šachty a vestibulů stanice, které jsou prováděné v otevřené stavební jámě jako hloubené konstrukce, a také by bylo možné umístit absorbéry do tubusů části tunelů (bez navazujících traťových úseků). Celkem by tak mohlo jednat o využitelnou plochu mající **cca 26 tis. m²**. Tomu by odpovídal možný získatelný výkon nízkopotenciálního tepla na úrovni okolo 0,5 MW, což by podle provedení TČ a úrovně jeho topného faktoru (například pro provozní bod W10/W65 by mohl být okolo 3,5) mohlo znamenat jmenovitý tepelný výkon stroje **okolo 700 kW**.

Pokud bychom konzervativně předjímali roční kombinovaný „zisk“ nízkopotenciálního tepla a rovněž i chladu v ročním celkovém množství dosahujícím **cca 50 kWh/m²** plochy osazené absorpčním systémem (předběžně v rozdělení 70 % ve formě tepla a 30 % ve formě chladu), bylo by možné předjímát roční zisk nízkopotenciálního tepla a chladu na úrovni **cca 1,3 tis. MWh/rok**.

Při nasazení vhodného typu tepelného čerpadla a rovněž dobře navrženým objektům, do kterých by vyráběné teplo a chlad bylo dodáváno, by bylo možné vyrábět **podobné množství užitečného tepla ročně při příznivém COP** (pokud by průměrná teplotní úroveň vyráběného tepla byla okolo 60 °C,

průměrné roční COP by mohl být okolo 4). A k tomu pak **300-400 MWh** chladné energie, která by byla vyráběna s velmi nízkými energetickými vstupy, a tedy v příznivé ceně.

Dotyčná větrací šachta přitom dává potenciál získávat další nízkopotenciální tepelnou energii. Její nominální objemový průtok má činit 80 m³/s, čemuž odpovídá hodinový průtok vzduchu necelých 290 tis. m³. Po velkou část roku a topné sezóny bude v provozu, což může při obvyklých teplotách vzduchu v topné sezóně možné získávání nízkopotenciální tepelné energie v množství **500-600 kW**, což potenciální výrobu užitečného tepla v celém roce u této stanice **dále navýšit o 1,5 - 2 tis. MWh/rok**. Topná sezóna bývá na území Prahy dlouhá cca **4 000-5 000 tis. hodin** a tepelné zdroje mohou být při vysokém využívání dosahovat využití jmenovitého výkonu na hodnotě i vyšší než **2 tis. hodin** v roce. Tepelný výkon TČ by při zvoleném pracovním bodě (W10/W60) se mohl blížit **cca 800 kW**.

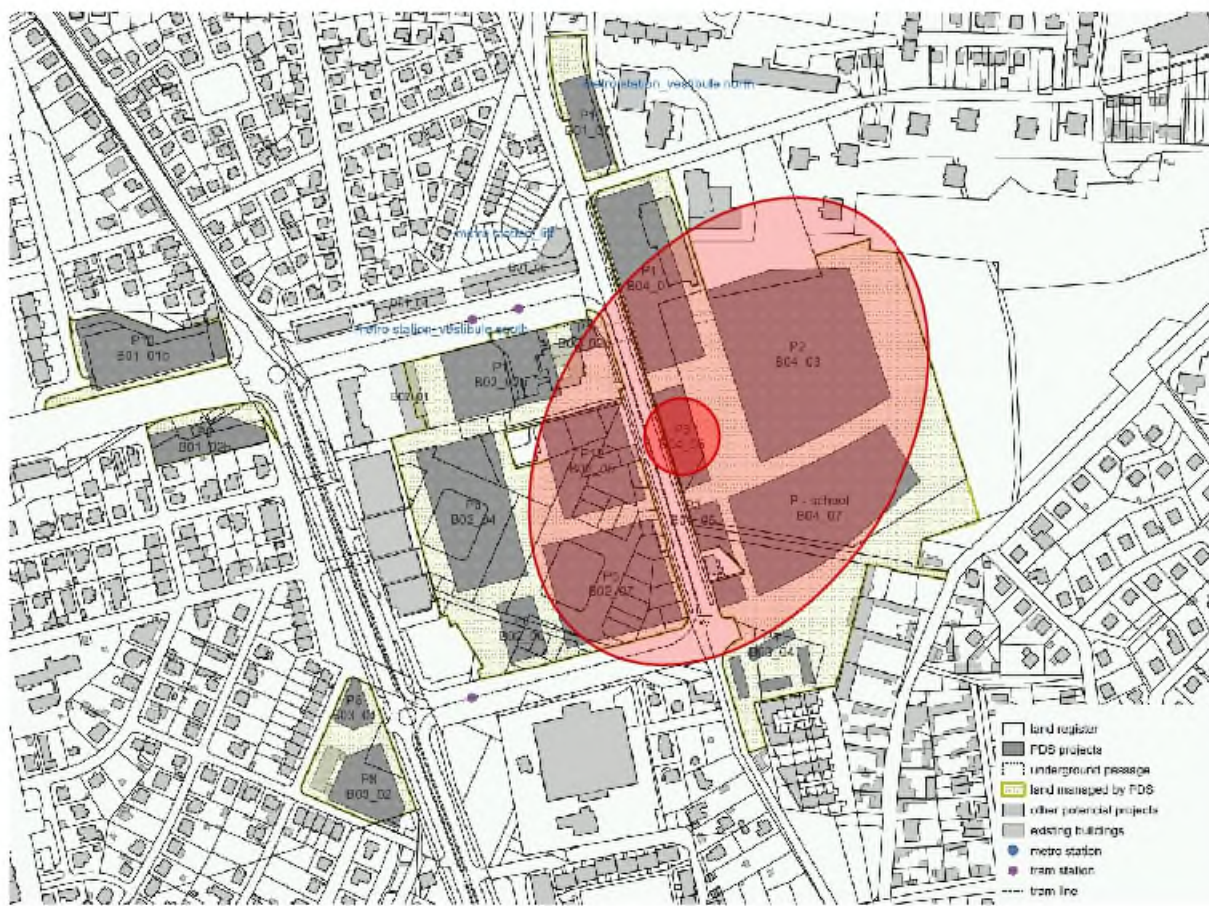
V přímé blízkosti této administrativní budovy na stejné straně ulice Libušská pak má dále vzniknout sportovní zařízení (B04_03) o celkové ploše cca 18 tis. m² HPP, dále škola (B04_07) s HPP 9,5 tis. m², bytový dům (B04_06) s HPP více než 11 tis. m² a administrativní budova (B04_01) s HPP téměř 35 tis. m². Na druhé straně ulice Libušská přímo naproti pak mají vzniknout další velké stavby – objekt kombinující kanceláře a byty s HPP více než 30 tis. m² (B02_05) a o něco menší s HPP více než 10 tis. m² (B02_06). Celkem je tedy v přímé blízkosti plánována výstavba, jejíž HPP přesahuje 100 tis. m².

Celkový instalovaný tepelný výkon energocentra s TČ pro využití obou zdrojů nízkopotenciálního tepla odhadujeme na **1,5 MW** a s jeho pomocí by mohlo být možné v zásadě krýt velkou většinu potřeby tepla a chladu všech těchto jmenovitě uvedených budov. TČ by přitom byly schopny plně krýt potřeby tepla v topné sezóně až o venkovních teplot blízkých 0 °C, při podnulových teplotách by pak byl uváděn do provozu dodatečný špičkový zdroj tepla (bude nutné rozhodnout).

Umístění energocentra by záviselo na dohodě s PDS. Pokud by z nějakých důvodů měl být tepelný výkon zdroje omezen jen na budoucí potřebu dotyčné budovy (B04_05), bylo by logické energocentrum s TČ umístit do technického zázemí stavby, pokud by naopak energocentrum mělo být navrženo na plný tepelný výkon, pak by bylo prozřetelnější vyčlenit jej do samostatného objektu v blízkém okolí, a nebo by dotyčný objekt byl v další fázi projektové přípravy vhodným způsobem uzpůsoben.

Investiční náklady lze předpokládat ve **vyšších desítkách mil. Kč** – pokud by byla zvolena varianta s větší kapacitou a dodávkou tepla a chladu do několika blízko ležících budov, pak by pravděpodobně mohly dosáhnout i sumy v rozmezí **150-200 mil. Kč bez DPH**.

Detail plánované nové výstavby PDS u stanice Nové Dvory s vyznačením místa možného umístění energocentra s TČ a okolními budovami, které by mohly být z něj zásobovány ukazuje Obr. 43 (Zdroj: PDS).

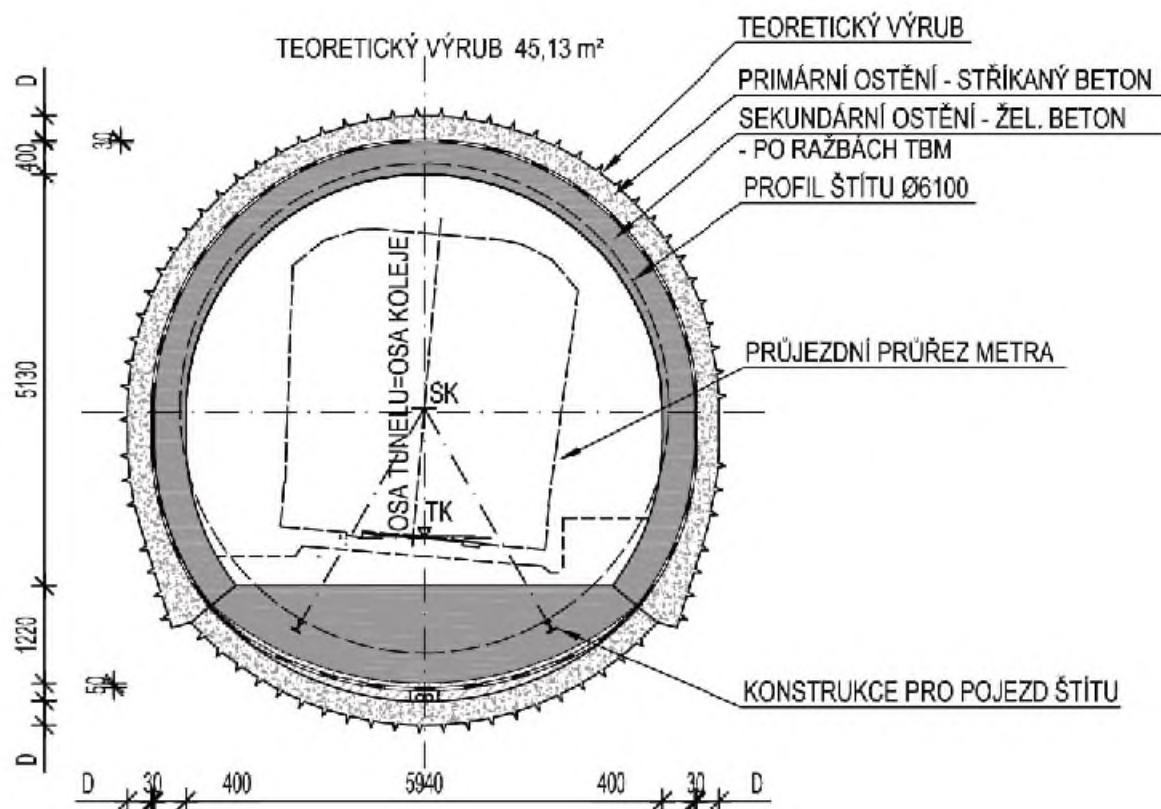


Obr. 43 Plánované nová výstavby PDS u stanice Nové Dvory

9.7. Traťový úsek Jáma Rezerva – Nové Dvory (SOD20)

9.7.1. Popis technického řešení

SOD 20 sdružuje v rámci ID1 stavební objekty ze SOD 21, 22, 23, 24 a 25. Stavební oddíl SOD 20 řeší návrh traťových tunelů mezi hloubenou stavební jámou Jáma Rezerva v úseku levé koleje km 46,518.513 až km 49,433.944 (stanice Nové Dvory) s délkou úseku 2 915 m. V úseku 2. etapy výstavby trasy metra I.D budou v předstihu, současně s realizací 1. etapy výstavby I.D vyraženy jednokolejné traťové tunely pomocí technologie TBM. Montáž razících mechanismů bude provedena v hloubené stavební jámě Rezerva. Od místa startu budou traťové tunely plynule raženy proti směru staničení až do stanice Nádraží Krč. V prostoru budoucích stanic Písnice a Libuš se v předstihu vyražené traťové tunely při pozdější návazné výstavbě stanic zruší a rozeberou. Tento způsob řešení umožňuje ražbu traťových tunelů technologií TBM pro první i druhou etapu výstavby trasy metra I.D.



Obr. 44 Úsek SOD 20 – jednokolejný tunel ražený NRTM pro protažení a start TBM

Stavební objekty ražených jednokolejných tunelů jsou situovány v SOD 21 a 22 hlavně pod ulicí Novodvorská. Trasa tunelů je vedena v osově vzdálenosti 15,0 m. Ze začátku mezi ulicí Chýnovská a Novodvorská podchází kruhový objezd spojující tyto ulice a dále vede až do km 47,400 pod ulicí Novodvorská. V km 46,899.450 až 47,016.950 l. k. je plánovaná výstavba bytového domu Novodvorská, která by mohla proběhnout v předstihu výstavby traťových tunelů metra. Dále trasa tunelů pokračuje v SOD 23 pod zástavbou v oblasti Libuše. Trasa tunelů je vedena ve své první polovině oblastí zástavby od napojení ulice Mašovické na ulici Novodvorskou po ulici Meteorologická. Následně vede podélně pod ulicí Libušská a u napojení s ulicí v Lužích prochází do prostoru SOD 24, který je situován podél ulice Libušská, do předprostoru bývalého masokombinátu. Trasa tunelů se v prostoru budoucí stanice Písnice zužuje na osovou vzdálenost 10,5 m. Dále trasa pokračuje v pozvolném rozbíhání a v km 49,000 s osovou vzdálenost 19,3 m podchází Kunratickou spojku. V místě podzemní stěny hloubeného portálu v km 49,433.944 dosahují tunely osově vzdálenosti 35,6 m. Ražba tunelů pomocí zeminových štítů (TBM) bude probíhat z hloubené stavební jámy Rezerva směrem ke stanici Nové Dvory a dále až do stanice Nádraží Krč.

9.8. Traťový úsek Nové Dvory – Libuš (SOD21)

9.8.1. Popis technického řešení

Stavební oddíl SOD 21 řeší návrh traťových tunelů mezi hloubenou stavební jámou stanice Nové Dvory a hloubenou stavební jámou stanice Libuš (km 46,518.513 až km 47,191 847 LK) s délkou úseku 673 m. Jednokolejné traťové tunely budou vyraženy pomocí technologie TBM. Ražba bude probíhat proti směru staničení. Ostění tunelu kruhového průřezu Ø 5,3/5,8 m je navrženo montované ze železobetonových prefabrikovaných dílců. Montované ostění je ve styčných i ložných spárách opatřeno gumovým těsněním, které zabraňuje pronikání podzemní vody do tunelu. Příčný profil tunelu vyhovuje pro budoucí instalaci kolejového svršku s dvouvrstvým i třívrstevným antivibračním zařízením.

9.8.2. Geotechnické podmínky

Kvartérní pokryv je nevýznamný a je tvořený deluviálními, ojediněle pak eolickými sedimenty. Jejich mocnost je převážně mezi 1–2 m, ojediněle až 3 m. Mocnost nadloží se pohybuje v rozmezí cca 9 až 30 m, maximálně až 40 m.

Předkvartérní podklad je tvořen v přibližně první třetině úseku horninami proterozoika a jejich výskyt je ukončen významnou geologicko-tektonickou linií – Závistským přesmykem. Tento přesmyk je předpokládán v km cca 46,864.413 v blízkosti křížení ulic Novodvorská – Mirotická. Jedná se o strukturu, podél které jsou starší horniny proterozoika nasunuty na mladší horniny ordovického stáří. Předpokládá se, že se jedná o široké poruchové pásmo, ve kterém jsou horniny především velmi intenzivně porušené, podrcené a prohnětené (mechanické porušení hornin) a také s vyšším stupněm zvětrání hornin (chemické zvětrání hornin). Podle provedeného vrtu HG7, kterým se podařilo tuto tektonickou linii ověřit, jsou zde horniny velmi silně podrcené s rozpadem na úlomky do 3 cm. Toto porušení hornin může místy způsobovat hlubší a intenzivnější oběh podzemní vody.

Dále bude předkvartérní podklad tvořen horninami paleozoika (ordoviku). Postupně budou zastižena stále mladší souvrství – šárecké vrstvy a dobrotivské souvrství. Řevnické a skalecké křemence představují jedny z nejtvrdějších hornin, které se v trase metra vyskytují. Tunel bude ražen v celém profilu především ve zdravých, místy navětralých horninách (mimo tektonické linie).

Podle mapových podkladů se v tomto úseku vyskytuje několik významných směrných i příčných zlomů (na povrchu terénu v km cca 46,609.118), podél kterých jsou horniny výrazně podrcené a prohnětené, mohou zde být horniny zvětralé do větších hloubek a může zde být výraznější oběh podzemní vody.

Hladina podzemní vody je interpretována v hloubce cca 1,5–7,0 m pod terénem, místy se však může vyskytovat výrazně hlouběji. Podzemní voda je vázána na přípovrchovou zónu rozvolněných hornin, na tektonicky porušené horniny a na linie průběžných zvodněných diskontinuit. Především křemence mohou být díky své křehkosti a velké rozpukanosti místy silně zvodnělé a vododajné.

Očekávané specifické přítoky podzemní vody do tunelu v prostředí proterozoických drobových břidlicích jsou 0,029 l/s/m a v souvrství břidlic s polohami křemenců cca 0,012 l/s/m. Při ražbě lze

očekávat lokální větší koncentrované přítoky podzemní vody do tunelu především v místech tektonického porušení masívu a v křemencích. Voda může být slabě tlaková.

Kvaziblok	Od km	Do km	Délka [m]	Popis úseku a geologických poměrů	Způsob výstavby
6.1	47,192	46,915	277	Proterozoické břidlice navětralé a zdravé	TBM
6.2	46,915	46,865	50	Proterozoické břidlice mírně zvětralé, navětralé a zdravé, velmi silně tektonicky porušené - ražba TBM	
6.3	46,865	46,815	50	Šárecké břidlice navětralé až zdravé, velmi silně tektonicky porušené	
6.4	46,815	46,721	94	Šárecké břidlice zdravé až navětralé	
6.5	46,721	46,658	63	Skalecké křemence zcravé	
6.6	46,658	46,570	88	Skalecké křemence zcravé	
6.7	46,570	46,531	39	Skalecké křemence zcravé	
6.8	46,531	46,518	13	Dobrotivské břidlice zdravé	

Tab. 15 Rozdělení SOD21 do kvazibloků

9.8.3. Možný zisk geotermální energie

Plocha	Raženého tunelu/stanice	Hloubeného tunelu	Základové desky	Stěn stanice	Pilot	CELKEM
[m ²]	17 032	0	0	0	0	17 032
[W/m ²]	35	30	24	20	22	
[W/m ²]	20	20	20	20	20	
[W]	596 113	0	0	0	0	596 113
[W]	340 636	0	0	0	0	340 636

Tab. 16 Plochy konstrukcí a možný zisk geotermální energie - SOD 21

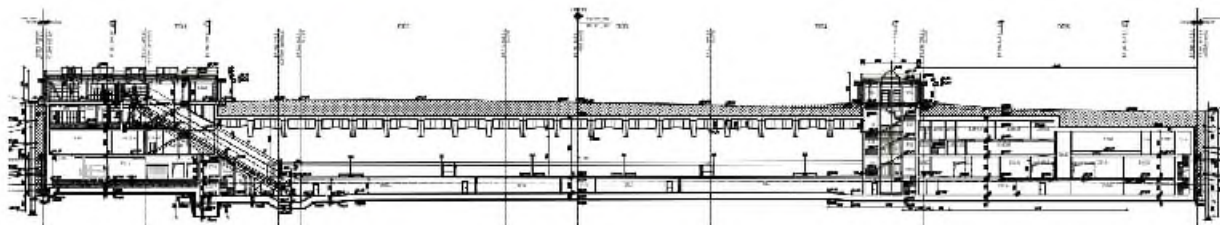
9.8.4. Možnosti využití geotermální energie

Možný zisk geotermální energie se pohybuje v intervalu **340 kW až 596 kW**, přičemž nižší hodnota konzervativně předpokládá zisk 20 W/m² bez ohledu na polohu odběrného místa v konstrukci. Vyšší hodnota zohledňuje zejména hloubku konstrukce pod úroveň terénu. V případě traťového úseku je v případě potřeby tuto hodnotu možné rozdělit mezi přiléhající stanice tak, aby trasa média byla z hlediska zisku energie a ztrát efektivní (závisí např. na způsobu vedení a profilech potrubí).

9.9. Stanice Libuš (SOD22)

9.9.1. Popis technického řešení

Hloubená stanice Libuš je situována podél ulice Novodvorské v severojižním směru na pozemcích, které jsou v současné době nezastavěné. Na terén se propisuje dvěma vestibuly. Jižní, větší, je plně vybaven. Umožňuje přestup na povrchovou dopravu MHD a váže na stávající zástavbu. Severní je podružný, minimalizovaný, zahrnující dvojici výtahů a únikové pevné schodiště. Výhledově se předpokládá, že výstupy budou zakomponovány do budoucí výstavby východně od Novodvorské a vlastní povrchové konstrukce vestibulů budou sneseny. Stanice má 5 výškových úrovní.



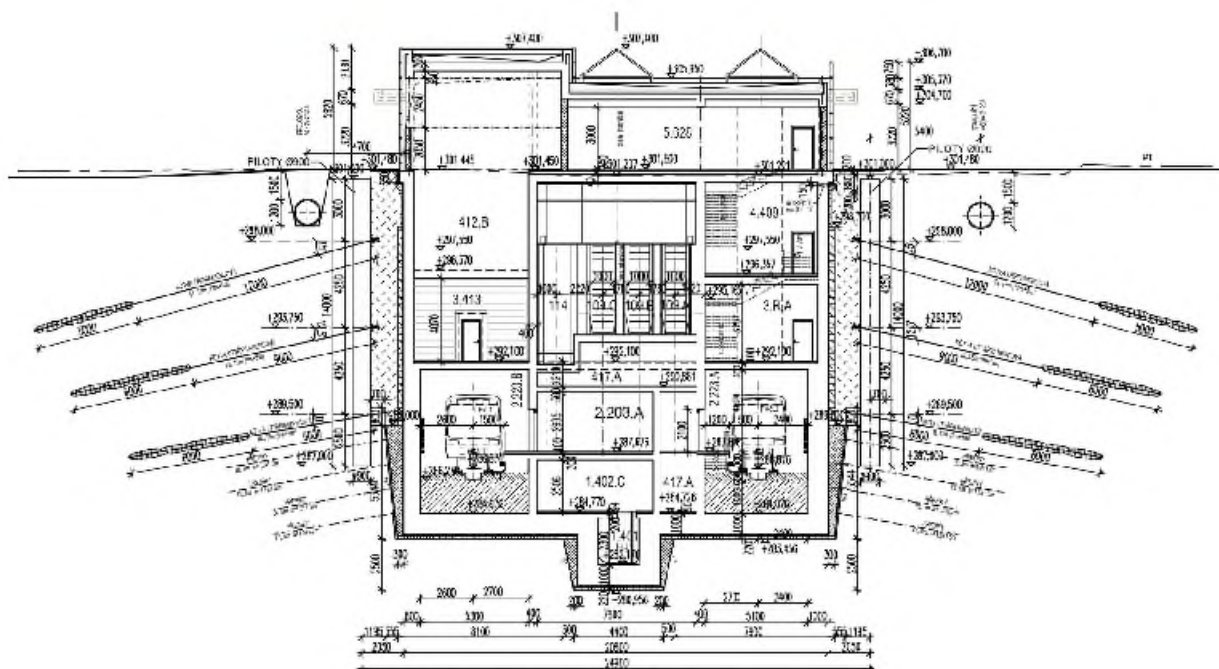
Obr. 45 Úsek 22 - podélný řez hloubenou stanicí Libuš

Začátek stanice je v km 47,191 847 LK, konec stanice je v km 47,395 197 LK (střed stanice je v km 47,301.147 LK) Stanice je navržena s ostrovním nástupištěm šířky 11,06 m a délky 101,55 m, s temenem kolejnice (TK 287,070) v hloubce cca 14,0 m pod terénem. Stanici tvoří tři části: vlastní stanice, jižní vestibul a severní vestibul.

Hloubená stanice je železobetonová, monolitická. Z konstrukčního hlediska jde většinou o desko-stěnové rámy se stěnami a sloupy, jedno i vícepodlažní o jednom až čtyřech polích. Základovou konstrukci tvoří železobetonová deska konstantní tloušťky.

Stropní konstrukce nad jednotrakovou částí na rozpětí šířky celé stanice je navržena ze stropní desky konstantní tloušťky, která je vyztužena masivními žebry v pravidelných roztečích. Žebra mají konstantní výšku, ale proměnnou šířku. Výstavba nosných konstrukcí se předpokládá z monolitického betonu C 25/30. Konstrukce je chráněna celoplošně hydroizolací, proto se nepředpokládá vliv agresivity prostředí. Vnitřní příčky jsou zděné keramické tl. 100 až 375 mm dle statických, dispozičních či požárních požadavků. Tepelné přízdívky jsou z pórobetonových tvárnic tl. 200 mm.

Stavební jáma je po celém obvodu zajištěna pilotovou stěnou sestavenou z vrtaných pilot $\varnothing$ 900 mm s kombinací skalního svahu s hřebíky po celém obvodu. Osová vzdálenost pilot se navrhuje 1,8 m. Mezery mezi pilotami se v průběhu těžby stavební jámy zajistí stříkaným betonem. Pilotová stěna se navrhuje kotvená s využitím předpjatých pramencových zemních kotev dočasných. Požadovaná doba životnosti kotev odpovídá době výstavby stanice. Otevřená stavební jáma ve stanici Libuš umožní protažení razících strojů TBM pro ražbu navazujících traťových tunelů.



Obr. 46 Úsek SOD 22 - příčný řez hloubenou stanicí Libuš

9.9.2. Geotechnické podmínky

Kvartérní pokryv je vesměs tvořený deluviálními sedimenty, které tvoří nesouvislé polohy a ostrůvky. Celková ověřená mocnost kvartérního pokryvu je značně proměnlivá a pohybuje se převážně mezi cca 0,5–1,7 m, ojediněle je až 2,3 m.

Předkvartérní podklad je tvořen horninami proterozoického stáří, které obecně patří k nejpevnějším horninám zastiženým v celé trase metra. Ve zdravé podobě se jedná o modravě šedé páskované horniny. Se zvyšujícím se stupněm zvětrání jsou horniny hnědé až rezavě hnědé. Většinou jsou popisovány jako prachovce, méně jako droby nebo břidlice.

Zvětrání hornin je prostorově a hloubkově velmi nepravidelné, v některých místech se prakticky zdravé horniny vyskytují již cca 2 m pod terénem, jinde zasahují mírně zvětralé horniny i do hloubek více než 9 m pod terénem.

Základovou spáru tvoří zdravé nebo navětralé břidlice, které jsou kvalitním podložím pro založení konstrukce stanice.

Výskyt podzemní vody je velmi nepravidelný a lokální. Ve vrtu bylo během karotážních měření zjištěno poměrně silné vertikální i horizontální přírodní proudění vody. Nesouvislá hladina podzemní vody se vyskytuje v hloubce cca 1,4–3,3 m pod terénem, místy se však může vyskytovat výrazně hlouběji. Podzemní voda je vázána na přivrchovou zónu rozpukaných a rozvolněných hornin a na tektonicky porušená pásma nebo linie průběžných zvodněných diskontinuit. Při hloubení lze očekávat lokální větší koncentrované přítoky podzemní vody do stavební jámy především v místech tektonického porušení masívu. Voda může být slabě tlaková.

Kvaziblok	Od km	Do km	Délka [m]	Popis úseku a geologických poměrů	Způsob výstavby
5.1	47,400	47,192	208	Proterozoické břidlice všech stupňů zvětrání, převaha zdravých a navětralých, deluviální uloženiny - hloubená stanice Libuš	Hloubená stavební jáma

Tab. 17 Rozdělení SOD22 do kvazibloků

9.9.3. Možný zisk geotermální energie

Plocha	Raženého tunelu/stanice	Hloubeného tunelu	Základové desky	Stěn stanice	Pilot	CELKEM
[m ²]	0	0	4 955	7 395	11 600	23 950
[W/m ²]	35	30	24	20	22	
[W/m ²]	20	20	20	20	20	
[W]	0	0	118 915	147 903	255 201	522 019
[W]	0	0	99 096	147 903	232 001	479 000

Tab. 18 Plochy konstrukcí a možný zisk geotermální energie - SOD 22

9.9.4. Možnosti využití geotermální energie

V blízkosti nové Stanice Libuš metra D byla v roce 2011 plánována výstavba nového komplexu budov s byty, kanceláři a obchody. Lokalita o ploše přibližně 40 tis. m² se nachází mezi ulicemi Novodvorská, Libušská, Zbudovská a K Jezírku. Komplex s názvem Nové Město Libušské zde hodlala vybudovat dnes již neexistující developerská společnost KZP ideal invest, která počítala s investicí 5 až 6 mld. Kč a výstavbou během deseti let. Do roku 2015 se však v lokalitě povedlo vystavět jen několik desítek řadových domů a bytů.

V současné době většinu pozemků v lokalitě mezi ulicemi Novodvorská, Zlatokorunská a K Jezírku vlastní společnost Centrum Nová Libuš s.r.o. a Hlavní město Praha. Podle studie představené v létě 2022 je na území o rozloze 47 hektarů plánována výstavba 1 300 bytů s kompletní občanskou vybaveností. Investorem výstavby má být právě společnost Centrum Nová Libuš, která chtěla od Hlavního města Prahy směnit pozemky a scelit tak celé území. Proti směně se vyslovila rada městské část Praha 12, protože společnost Centrum Nová Libuš dostatečně nepředstavila svůj záměr.

Na území tak zatím existuje pouze studie schválená v roce 2020 hlavním městem Prahou a představenou Institutem plánování a rozvoje (IPR) – viz Obr. 47. Schválenou územní studii zpracoval ateliér UNIT architekti a zahrnuje výstavbu 4 000 bytů pro téměř 10 tis. obyvatel a kancelářské budovy pro 2 tisíce zaměstnanců. Hustší zástavba je situovaná k blízkosti stanice metra a podél ulice Novodvorská. Potřeby tepla a chladu lze odhadovat na řádově menší desítky tis. MWh/rok (odhadujeme na 25-35 tis. MWh/rok).

Více informací o územní studii na webu: <https://iprpraha.cz/domains/iprpraha.cz/stranka/3983/uzemni-studie-sidliste-a-okoli-budouci-stanice-metra-d-libus>.



Obr. 47 - Územní studie Sídliště a okolí budoucí stanice Libuš (Zdroj: IPR)

9.10. Traťový úsek Libuš – Písnice (SOD 23)

9.10.1. Popis technického řešení

Stavební oddíl SOD 23 řeší návrh traťových tunelů mezi hloubenou stavební jámou stanice Libuš a hloubenou stavební jámou stanice Písnice (km 47,395 197 až km 48,452 736 LK) s délkou úseku 1058 m. Jednokolejné traťové tunely budou vyraženy pomocí technologie TBM. Ražba bude probíhat proti směru staničení. Popis technického řešení tunelů je předmětem SOD 20.

9.10.2. Geotechnické podmínky

Kvartérní pokryv je vesměs tvořený deluviálními sedimenty, jejichž mocnost kolísá převážně mezi 0,5–1 m. Kvartérní pokryv nebude mít pro stavbu praktický význam.

Mocnost nadloží se pohybuje v rozmezí cca 9–26 m, přičemž nejmenší je v místě ražených portálů u Písnice a stanice Libuš.

Předkvartérní podklad je tvořen v celém úseku horninami proterozoika. V celém úseku bude tunel s největší pravděpodobností ražen v celém profilu především ve zdravých, místy i v klenbě i navětralých horninách (mimo tektonické linie), konkrétně břidlicích a drobách. Pouze v prostoru

hloubené jámy u stanice Písnice budou zastiženy také horniny s větší intenzitou zvětrání (zcela zvětralé až mírně zvětralé).

Hladina podzemní vody je interpretována v hloubce cca 1–4 m pod terénem, místy se však může vyskytovat výrazně hlouběji. Podzemní voda je vázána na přípovrchovou zónu rozvolněných hornin a na linie průběžných zvodněných diskontinuit. Při ražbě lze očekávat lokální větší koncentrované přítoky podzemní vody do tunelu především v místech tektonického porušení masívu. Voda může být slabě tlaková.

Kvaziblok	Od km	Do km	Délka [m]	Popis úseku a geologických poměrů	Způsob výstavby
4.1	48,460	48,367	93	Proterozoické břidlice zdravé až navětralé, při povrchu i více zvětralé	Hloubený tunel
4.2	48,367	47,400	967	Proterozoické břidlice zdravé	TBM

Tab. 19 Rozdělení SOD23 do kvazibloků

9.10.3. Možný zisk geotermální energie

Plocha	Raženého tunelu/stanice	Hloubeného tunelu	Základové desky	Stěn stanice	Pilot	CELKEM
[m ²]	26 759	0	0	0	0	26 759
[W/m ²]	35	30	24	20	22	
[W/m ²]	20	20	20	20	20	
[W]	936 579	0	0	0	0	936 579
[W]	535 188	0	0	0	0	535 188

Tab. 20 Plochy konstrukcí a možný zisk geotermální energie - SOD 23

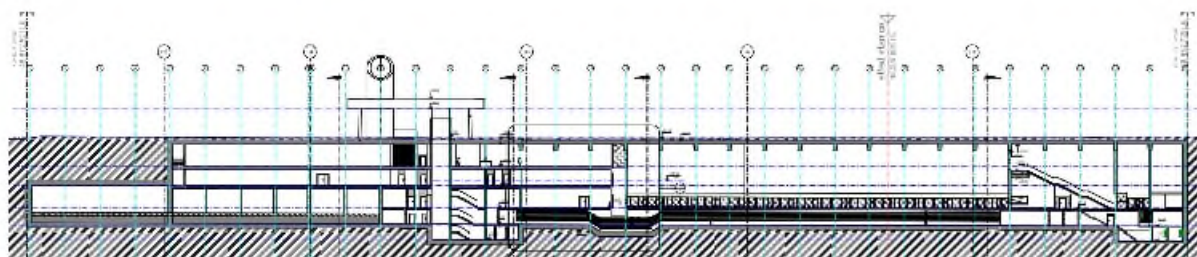
9.10.4. Možnosti využití geotermální energie

Možný zisk geotermální energie se pohybuje v intervalu **535 kW až 936 kW**, přičemž nižší hodnota konzervativně předpokládá zisk 20 W/m² bez ohledu na polohu odběrného místa v konstrukci. Vyšší hodnota zohledňuje zejména hloubku konstrukce pod úrovní terénu. V případě traťového úseku je v případě potřeby tuto hodnotu možné rozdělit mezi přiléhající stanice tak, aby trasa média byla z hlediska zisku energie a ztrát efektivní (závisí např. na způsobu vedení a profilech potrubí).

9.11. Stanice Písnice (SOD 24)

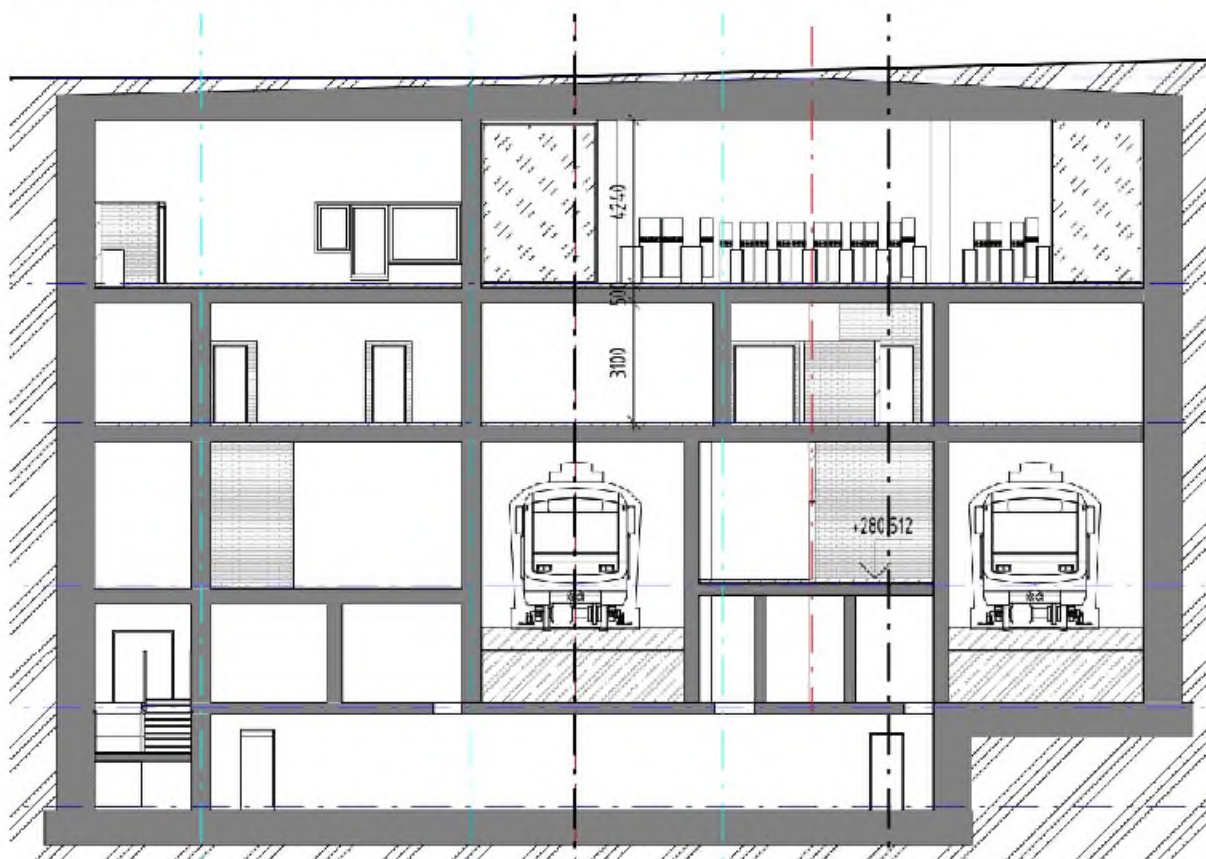
9.11.1. Popis technického řešení

Hloubená stanice Písnice je situována svojí podélnou osou souběžně s ulicí Libušská, do prostoru před bývalým masokombinátem. V úrovni vestibulu metra je vstup do podchodu pod ulicí Libušská. Stanice má 5 výškových úrovní.

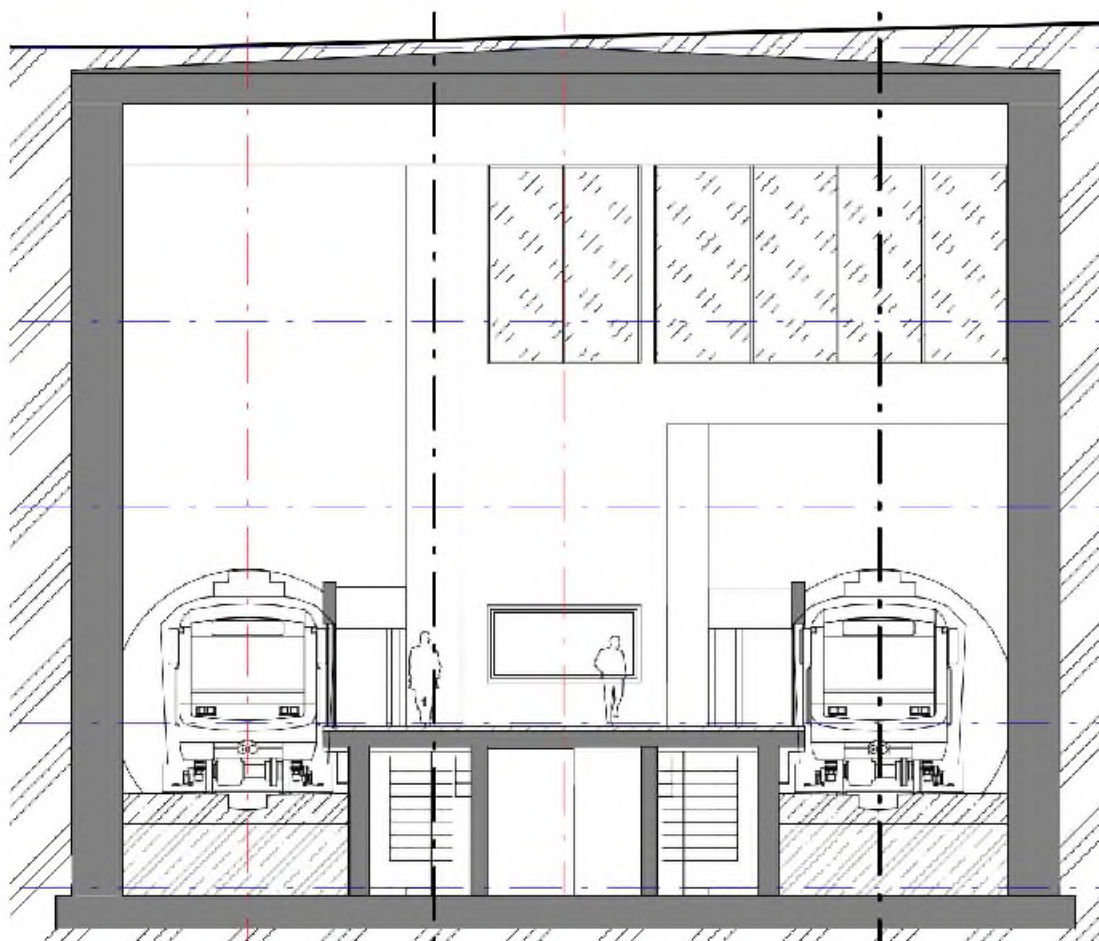


Obr. 48 Úsek SOD 24 - podélný řez hloubenou stanicí Písnice

Začátek stanice je v km 48,452 736 LK, konec stanice je v km 48,672 521 LK (střed stanice je v km 48,509.826 LK) je navržena s ostrovním nástupištěm šířky 9,36 m a délky 100,0 m, s temenem kolejnice (TK 279,242) v hloubce cca 14,0 m pod terénem. Stanici tvoří tři části: vlastní stanice, vestibul a podchod, součástí objektu je i únikový objekt ze stanice a větrací objekt.



Obr. 49 Úsek SOD 24 - příčný řez hloubenou stanicí Písnice (technologická část)



Obr. 50 Úsek SOD 24 - příčný řez hloubenou stanicí Písnice v místě nástupiště

Stanice je podpovrchová. Na terén vystupují výstupy, výtahy a větrací objekt. Veškeré nosné konstrukce jsou železobetonové, monolitické. Z konstrukčního hlediska jde většinou o desko-stěnové rámy se sloupy, jedno i vícepodlažní o dvou až pěti polích. Prostor výstupu z vestibulu bude zastřešen ocelovou příhradovou konstrukcí ve tvaru elipsy na šesti zdvojených sloupech.

Stropy budou deskové, podepřené bodově sloupy, vnitřními a obvodovými stěnami. Založení je plošné na základových deskách. Celý oddíl stanice metra je rozdělen na 6 dilatačních dílů délky cca od 20 do 50 m, podle charakteru jednotlivých částí konstrukce. Svislé nosné konstrukce mají konstantní tloušťku, rovněž tak vodorovné stropní konstrukce. Stropní konstrukce nad jednotrakovou částí na rozpětí šířky celé stanice se navrhuje se ztužujícími trámy ve vzdálenostech 6.6 m. Nosné konstrukce se zhotoví z betonu C 30/37 XC2. Konstrukce je chráněna celoplošně izolací, proto se nepředpokládá vliv agresivity prostředí. Základovou konstrukci tvoří železobetonová deska proměnné tloušťky, při čemž změna tloušťky je stupňovitá, stupně jsou umístěny do nosných stěn, takže nepůsobí žádné dispoziční problémy. Hloubka základové spáry stanice je standardně 17 m pod terénem, pouze v místě schodiště je prohloubena na 19,6 m.

Celá konstrukce stanice je umístěna pod hladinou podzemní vody, která se pohybuje velmi vysoko až v úrovni 2,6 m pod terénem. Z toho vyplývá, že vztahové síly jsou značné a konstrukce stanice sama o sobě nedokáže vodnímu vztahu vzdorovat. Zajištění stavební jámy stanice je navrženo z dočasně

kotvených vrtaných pilot. Předpokládá se, že v průběhu času kotvení zcela degraduje, ale beton pilot zůstane soudržný po celou dobu životnosti stavby. Cílem úsporného návrhu je tedy využít pilotovou stěnu jako zátěž pro konstrukci stanice. Toho lze docílit tím, že prostor mezi pilotami a konstrukcí stanice bude vyplněn betonem nízké pevnostní třídy (C8/10). Konstrukce stanice je celoplošně chráněna hydroizolací, u níž se předpokládá minimální (téměř nulová) soudržnost. Aby bylo možné počítat se spřažením okolních konstrukcí se stanicí, je na základové desce navržen výstupek, který aktivuje okolní konstrukce.

Železobetonové konstrukce jsou opatřeny sektorovou povlakovou izolací z měkčeného PVC, odolnou proti tlakové podzemní vodě. Každý dilatační díl je samostatným izolovaným dílem – je důsledně dodrženo sektorování jednotlivých dilatačních dílů. Na styčné ploše mezi povlakovou izolací a železobetonovou konstrukcí bude umístěn injekční systém pro dodatečné doinjektování ve střednědobém horizontu. Injekční systém je vyveden na vnitřní líc konstrukce.

Stavební jáma je po celém obvodu zajištěna kotvenou pilotovou stěnou sestavenou z vrtaných pilot $\varnothing 900$ mm s výpažnicí. Osová vzdálenost pilot je 1 m. Mezery mezi pilotami se v průběhu těžby stavební jámy zajistí stříkaným betonem. Pilotová stěna je kotvená s využitím předpjatých pramencových zemních kotev dočasných. Požadovaná doba životnosti kotev odpovídá době výstavby stanice.

9.11.2. Geotechnické podmínky

Mocnost a geneze kvartérního pokryvu je proměnlivá. V převážné části úseku převládají deluviální uloženiny mocnosti cca 0,5–2,0 m, ojediněle až 4,0 m. V okolí retenční nádrže se vyskytují náplavy jejichž mocnost může dosahovat mocnosti cca 3,0–6,0 m.

Předkvartérní podklad je tvořen horninami proterozoika se silně proměnlivou hloubkou zvětrání hornin. V předpokládané hloubce zakládání tělesa metra budou převažovat horniny navětralé až zdravé, v místech, kde se tubus metra vynořuje do menších hloubek budou zastiženy také horniny s větší intenzitou zvětrání (zcela zvětralé až mírně zvětralé). Na úrovni základové spáry stanice se vyskytuje břidlice zdravá, silně rozpukaná. Místně byly zastiženy i křemence krystalizované v puklinách břidlice.

Hladina podzemní vody kolísá a dosahuje hloubky 2,6 m až 3,6 m pod terénem. Z těchto hodnot se vychází při dimenzování konstrukce stanice a zajištění stavební jámy, navzdory tomu, že v některých sondách voda nebyla zastižena.

Kvaziblok	Od km	Do km	Délka [m]	Popis úseku a geologických poměrů	Způsob výstavby
3.1	48,653	48,460	193	Proterozoické břidlice navětralé a zdravé, při povrchu více zvětralé, na povrchu pokryvné zeminy – hloubená stanice Písnice	Hloubená stavební jáma

Tab. 21 Rozdělení SOD24 do kvazibloků

9.11.3. Možný zisk geotermální energie

Plocha	Raženého tunelu/stanice	Hloubeného tunelu	Základové desky	Stěn stanice	Pilot	CELKEM
[m ²]	0	0	5 422	9 482	35 223	50 127
[W/m ²]	35	30	24	20	22	
[W/m ²]	20	20	20	20	20	
[W]	0	0	130 125	189 642	774 901	1 094 668
[W]	0	0	108 438	189 642	704 455	1 002 535

Tab. 22 Plochy konstrukcí a možný zisk geotermální energie - SOD 24

9.11.4. Možnosti využití geotermální energie

Nová výstavba v blízkosti stanice má zatím pouze podobu územní studie, na jejímž základě má dojít ke změně Územního plánu hl. m. Prahy. Studie byla dokončena v roce 2020 a zamýšlí nad stanicí vybudovat nové náměstí a v jejím přímém okolí několik nových bloků budov. Kombinovány mají být opět objekty jak pro bydlení, tak i další účely. Objekty převážně pro bydlení nesou označení B101, B103, B205, B208, B209 a B210, polyfunkční stavby jsou pak navrženy do bloků B104, B105, B218. Přímo na náměstí má současně vzniknout i budova obecního úřadu MČ s poštou (B102).

Ve studii je současně navržena velikost nové zástavby, ať už jde o podlažnost, tak i plánované hrubé podlahové plochy (HPP). V součtu by nová výstavba měla dosáhnout celkové HPP zřejmě až 200 tis. m². S ohledem na zkušenosti s předchozími stanicemi lze tak novou poptávku po teple a chladu odhadnout na řádově 10-15 tis. MWh/rok. Okamžitá potřeba tepla pak může dosahovat několik MW tepelného výkonu (4-6 MW), průměrná potřeba tepla přitom může být poloviční. Protože v místě existuje soustava zásobování teplem, lze očekávat v základním scénáři napojení na tuto soustavu v případě nově realizovaných budov.

Alternativní možnost využít nízkopotenciálního tepla ze stanice metra pro vytápění a chlazení nicméně je poměrně nadějná, koncentrace nové výstavby v přímé blízkosti stanice je poměrně vysoká, navíc je příslibem fakt, že v přímém okolí stanice má vzniknout objekt užívaný veřejným sektorem (podlahová plocha má být předběžně necelých 10 tis. m²). Kdo bude investor dalších budov, není zatím známo, pozemky jsou ve vlastnictví různých privátních subjektů.

Další pozitivní zprávou je, že ve stanici má být umístěn výdech metra, jehož vzduchový výkon má činit 80 tis. m³/hod. Jeho energetické využití rovněž nabízí několik set kilowatt tepelného výkonu (podobně jako v případě nízkopotenciálního tepla získávaného ze základových konstrukcí stanice a tunelů).

Další informace uveřejněny zde: <https://iprpraha.cz/stranka/3984/uzemni-studie-okoli-budouci-stanice-metra-d-a-krajinne-rozhrani-pisnice>,
https://www.praha.eu/jnp/cz/o_meste/magistrat/odbory/odbor_uzemniho_rozvoje/uzemni_planovani/uzemni_studie/studie_platne/index.html



Obr. 51 - Územní studie Sídliště a okolí budoucí stanice Písnice (Zdroj: IPR)

9.12. Traťový úsek Písnice – Depo Písnice (SOD 25)

9.12.1. Popis technického řešení

Stavební oddíl SOD 25 řeší návrh traťových tunelů mezi hloubenou stavební jámou stanice Písnice a hloubenou stavební jámou stanice Depo Písnice (km 48,672 521 až km 49,876 766 LK) s délkou úseku 1204 m. Jednokolejné traťové tunely budou vyraženy pomocí technologie TBM. Ražba bude probíhat proti směru staničení. Popis technického řešení tunelů je předmětem SOD 20

9.12.2. Geotechnické podmínky

Kvartérní pokryv je proměnlivý, tvořený deluviálními sedimenty, jejichž mocnost kolísá převážně mezi 1 m až 2 m, ojediněle je až 4 m. Především v km cca 49,200 až 49,600 se vyskytují náplavy jejichž mocnost může dosahovat mocnosti cca 3 m až 5,5 m. Jedná se o okolí retenční nádrže. Další výskyt náplavů je lokální a s minimální mocností.

Předkvartérní podklad je tvořen horninami proterozoika se silně proměnlivou hloubkou zvětrání hornin. V předpokládané hloubce zakládání tubusu metra budou zastiženy horniny ve všech stupních zvětrání od zcela zvětralých až po zdravé.

Hladina podzemní vody je v archivních sondách dokumentována v rozdílných hloubkách, nejčastěji mezi cca 1,0–4,0 m, v některých sondách nebyla voda vůbec zastižena. Podzemní voda je vázána na přípovrchovou zónu rozvolněných hornin a na linie průběžných zvodněných diskontinuit. V oblasti retenční nádrže a v jejím okolí se pravděpodobně vyskytuje pramenná oblast, která je odvodňována ssv. směrem. Toto území je minimálně sezónně silně podmaččené a jeho rozsah je patrný především ze způsobu zemědělského využívání (minimální až žádné), podle zde rostoucí vlhkomilné vegetace a podle místních pojmenování (Pramenná ulice, U studánky). Do trasy zasahuje toto území v km cca 49,200–49,600. Jedná se pravděpodobně o mírně napjaté vývěry podzemní vody vázané na tektonicky predisponované průběžné puklinové systémy v proterozoických horninách.

Kvaziblok	Od km	Do km	Délka [m]	Popis úseku a geologických poměrů	Způsob výstavby
7.1	48,672	49,425	753	Proterozoické břidlice převážně zdravé až navětralé – 2 jednokolejné tunely	TBM
7.2	49,425	49,664	239	Proterozoické břidlice všech stupňů zvětrání a deluvio-fluviální náplavy – 2 jednokolejné tunely	TBM + hloubený úsek

Tab. 23 Rozdělení SOD24 do kvazibloků

9.12.3. Možný zisk geotermální energie

Plocha	Raženého tunelu/stanice	Hloubeného tunelu	Základové desky	Stěn stanice	Pilot	CELKEM
[m ²]	19 894	0	0	0	0	19 894
[W/m ²]	35	30	24	20	22	
[W/m ²]	20	20	20	20	20	
[W]	696 285	0	0	0	0	696 285
[W]	397 877	0	0	0	0	397 877

Tab. 24 Plochy konstrukcí a možný zisk geotermální energie - SOD 25

9.12.4. Možnosti využití geotermální energie

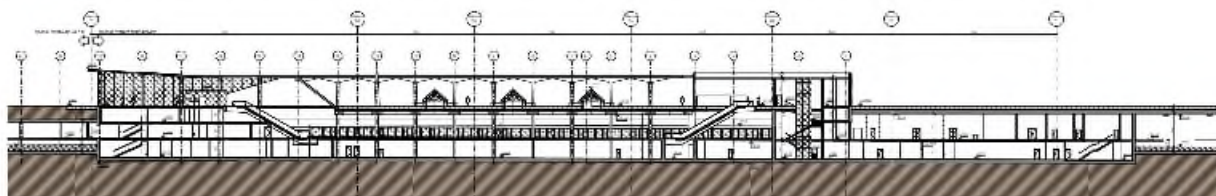
Možný zisk geotermální energie se pohybuje v intervalu **398 kW až 696 kW**, přičemž nižší hodnota konzervativně předpokládá zisk 20 W/m² bez ohledu na polohu odběrného místa v konstrukci. Vyšší hodnota zohledňuje zejména hloubku konstrukce pod úrovní terénu. V případě traťového úseku je

v případě potřeby tuto hodnotu možné rozdělit mezi přiléhající stanice tak, aby trasa média byla z hlediska zisku energie a ztrát efektivní (závisí např. na způsobu vedení a profilech potrubí).

9.13. Stanice Depo Písnice (SOD 26)

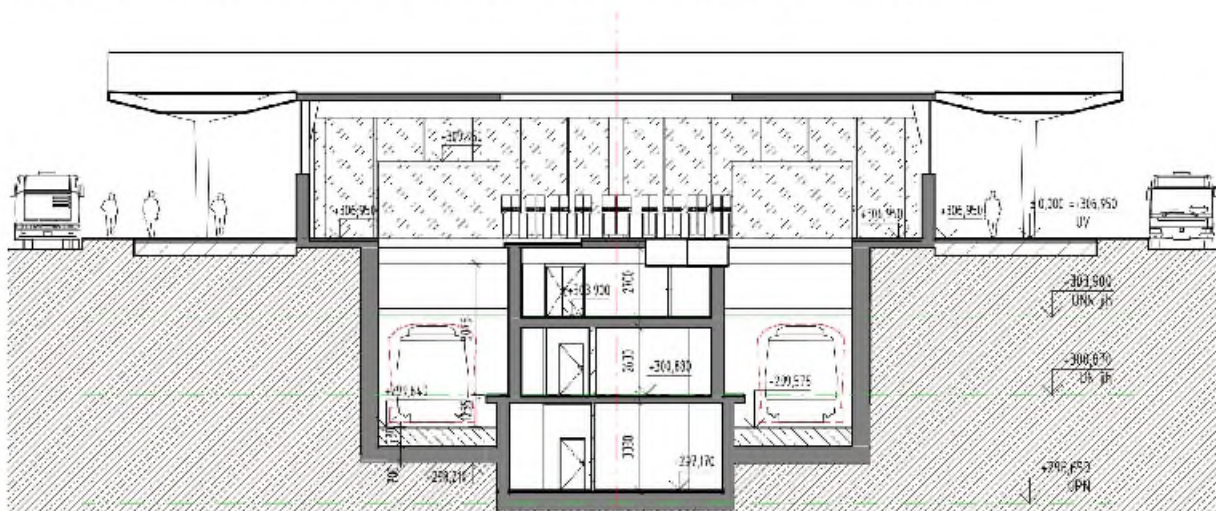
9.13.1. Popis technického řešení

Stanice Depo Písnice je koncovou stanicí na nově navrhované trase D pražského metra. Stanice je situována v místě současného průmyslového areálu, umístěného v jihozápadním kvadrantu křížení ulic Vídeňská a Kunratická spojka. Pro stavbu stanice metra je využita část tohoto areálu jižně od ulice Pramenná. Stanice je svoji podélnou osou orientována rovnoběžně s ulicí Vídeňská. V této ose je stanice rozdělena na severní a jižní část. Z ostrovního nástupiště je na jeho jižním konci pomocí dvojice eskalátorů a pevného schodiště s výtahem přístupný hlavní vestibul. Jižní vestibul má výstupy do obou stran autobusového terminálu a výstup v ose nástupiště směrem na jih. Ze severního konce nástupiště vede dvojice eskalátorů a únikové schodiště a výtah do druhého (vedlejšího) vestibulu. Za stanicí jižním směrem jsou navrženy odstavné koleje délky cca 220 m. Severní podzemní část stanice je věnována výhradně technologickému zařízení stanice. Stanice má 4 výškové úrovně.



Obr. 52 Úsek SOD 26 - podélný řez hloubenou stanicí Depo Písnice

Začátek stanice je v km 49,876 766 LK, konec stanice je v km 50,345 953 LK (střed stanice je v km 50,000.000) je navržena jako hloubená s ostrovním nástupištěm šířky 10,5 m a délky 100,0 m, s temenem kolejnice (TK 299,666) v hloubce cca 7,0 m pod terénem. Stanici tvoří tři části: vlastní stanice, jižní vestibul a severní technologický blok s minimalizovaným vestibulem.



Obr. 53 Úsek SOD 26 - příčný řez hloubenou stanicí Depo Písnice v místě jižního vestibulu

Vlastní stanice v prostoru nástupiště je navržena jako dvojtrakt s nosnými sloupy uprostřed a s diagonálními průvlaky. Další části stanice mají smíšený konstrukční systém, kombinace stěn a sloupů. Nosné svislé i vodorovné konstrukce jsou železobetonové. Konstrukce je založena na železobetonové základové desce, obvodovou konstrukci tvoří železobetonové podzemní stěny ztužené železobetonovými stropními deskami.

Hloubka založení se podle navrženého dispozičního řešení pohybuje od cca 17,0 m do 9,0 m pod terénem. Stanice je rozdělena na 7 dilatačních dílů, za stanicí v odstavných kolejích pokračuje dalších 6 dilatačních dílů. Všechny dilatační díly jsou navrženy tak aby nejdelší díl byl cca 50,0m.

Obvodové železobetonové konstrukce stanice budou zaizolovány systémem foliových izolací odolných proti podzemní tlakové vodě a radonu sektorovou povlakovou izolací z mPVC. Hydroizolace budou opatřeny ochranou betonovou vrstvou minimální tloušťky 50 mm. Každý dilatační díl je samostatným izolovaným dílem – je důsledně dodrženo sektorování jednotlivých dilatačních dílů. Na styčné ploše mezi povlakovou izolací a železobetonovou konstrukcí bude umístěn injekční systém pro dodatečné doinjektování ve střednědobém horizontu.

Stavební objekt stanice Depo Písnice bude celý budován v otevřené stavební jámě. Stavební jáma je v horninách navržena jako svahovaná, v zeminách pažená pomocí záporového pažení. Hloubka jámy na severním konci je 14,3 m a v jižní části je 7,45 m. V této jižní části jsou uvnitř jámy provedeny, další úrovně, tak aby byl respektován tvar stanice. Nejnižší úroveň je v hloubce 16,125 m pod úrovní terénu. Záporové pažení vrstev zeminy je navrženo z profilů HEB 200 provedených v osových vzdálenostech 2,0 m a kotvených pomocí dočasných pramencových kotev v jedné úrovni. Rampa je umístěna vně stavební jámy a je pažena pomocí kotveného záporového pažení.

9.13.2. Geotechnické podmínky

Mocnost a geneze kvartérního pokryvu je proměnlivá, většinou je tvořený deluviálními sedimenty, které tvoří nesouvislé polohy. Tyto uloženiny mají mocnost mezi cca 0,5–1,2 m a jsou tvořeny převážně jílovitými zeminami tuhé až pevné konzistence s proměnlivou příměsí písku a pevných úlomků hornin. Místy se lokálně vyskytují i samostatná, do jisté míry izolovaná tělesa deluviofluviálních uloženin, které vyplňují mělké splachové deprese. Tyto sedimenty mají mocnost větší, ojediněle až cca 4 m. Zeminy jsou převážně hlinitojílovité až písčitojílovité, tuhé až pevné konzistence, s proměnlivou příměsí úlomků pevnějších hornin. V převážné části zájmového území je povrch terénu upraven proměnlivou vrstvou navážek mocnosti kolem cca 1 m (stavební dvory, zpevněné plochy, sítě). Nacházejí se zde především skladové areály a stavební dvory.

Povrch hornin předkvartérního podkladu je mírně zvlněný a členitý, podklad je tvořen horninami proterozoického stáří, které obecně patří k nejpevnějším horninám zastíženým v celé trase metra. Ve zdravé podobě se jedná o modravě šedé páskované horniny. Se zvyšujícím se stupněm zvětrání jsou horniny hnědé až rezavě hnědé. Jsou většinou popisovány jako prachovce, méně jako droby nebo břidlice. Jsou to prachovité horniny se slabou a proměnlivou příměsí jemnozrnného písku. Horniny mají silně proměnlivou hloubkou zvětrání. Od povrchu terénu byly v zájmovém území postupně zastíženy horniny od zcela zvětralých charakteru zemin, přes silně a mírně zvětralé až po navětralé a zdravé.

I zdravé horniny mají velmi proměnlivost pevnost. Místy jsou horniny také značně tektonicky porušené a velmi silně rozpadavé. V předpokládané hloubce zakládání tubusu metra budou převažovat horniny navětralé až zdravé, v prostoru stanice byla geofyzikálním průzkumem detekována řada dílčích oslabených zón. Podél nich jsou horniny více podrcené, mohou být zvětralé do větších hloubek a může zde také být výraznější a hlubší oběh podzemní vody.

Hladina podzemní vody v hydrogeologickém masívu proterozoických hornin není souvislá. V nově provedených i v archivních sondách byla dokumentována v rozdílných hloubkách, nejčastěji mezi cca 0,9–2,5 m, v některých sondách nebyla podzemní voda zastižena vůbec. Podzemní voda je vázána na přípovrchovou zónu rozvolněných hornin a na linie průběžných zvodněných diskontinuit. V některých sondách byla podzemní voda zastižena až ve větších hloubkách v břidlicích, ale následně vystoupala na vyšší úroveň, a to často až mělce pod povrch terénu. Při hloubení lze očekávat lokální větší koncentrované přítoky podzemní vody do stavební jámy především v místech tektonického porušení masívu. Voda může být slabě tlaková. Další nesouvislý zvodnělý horizont se může vyskytovat v lokálních depresích vyplněných deluviofluviálními sedimenty. Vznikají zde samostatná tělesa podzemní vody s průlinovou propustností bez výrazné komunikace s okolím. Není-li území uměle odvodněno meliorací, je hladina vody mělce pod terénem nebo i na terénu. Místy může jít o nahromadění značné statické zásoby podzemní vody, se kterou je nutné počítat.

9.13.3. Možný zisk geotermální energie

Plocha	Raženého tunelu/stanice	Hloubeného tunelu	Základové desky	Stěn stanice	Pilot	CELKEM
[m ²]	0	0	5 078	5 057	0	10 135
[W/m ²]	35	30	24	20	22	
[W/m ²]	20	20	20	20	20	
[W]	0	0	121 869	101 145	0	223 014
[W]	0	0	101 557	101 145	0	202 702

Tab. 25 Plochy konstrukcí a možný zisk geotermální energie - SOD 26

9.13.4. Možnosti využití geotermální energie

V případě této poslední stanice je nová plánovaná nadzemní výstavba zatím definována v podobě depa pro odstav a údržbu souprav metra, budoucího autobusového terminálu a blíže zatím účelově nespécifikované skupiny dalších budov. Samotné depo přitom nepochybně bude objektem o veliké ploše a objemu (možná až 10 tis. m² a 50 tis. m³) a tak jeho potřeby tepla mohou být poměrně významné (odhadujeme je na možná až 1-2 tis. MWh/rok s přípojným tepelným výkonem zdroje okolo 500 kW).

Dále zde má vzniknout autobusový terminál, který bude potřebovat nebytový objekt určený pro nákup jízdenek, čekárnu a s tím spojené zázemí, a možná i tramvajové či vlakové napojení na Středočeský kraj. V různých variantách jsou pak navrženy další budovy, pravděpodobně určené pro nebytové účely.

Protože v místě neexistuje soustava dálkového vytápění, referenční scénář lze očekávat v podobě plynového zdroje tepla.

Využití nízkopotenciálního tepla se jeví jako nadějně, navíc je opět součástí stanice výduch o plánovaném výkonu 70 tis. m³/hod. Dává to dobré vyhlídky pro bližší posouzení a návrh možného technického řešení.

Více informací o Stanici Depo Písnice je uvedeno na webových stránkách Dopravního podniku Praha: <https://www.dpp.cz/metro-d/stanice/stanice-depo-pisnice>.



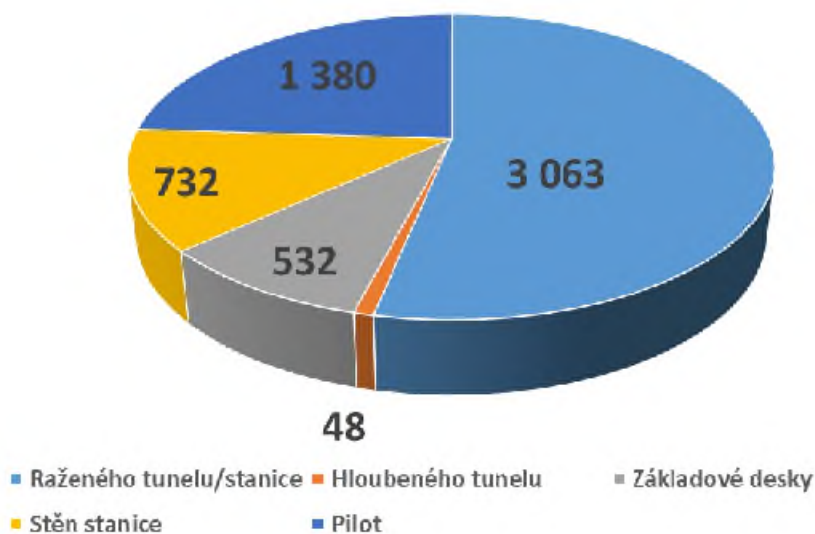
Obr. 54 - Vizualizace jedné z variant stanice Depo Písnice (Zdroj: Metroprojekt/DPP)

10. VYHODNOCENÍ A ZÁVĚRY

10.1. Celková energetická bilance – vyhodnocení

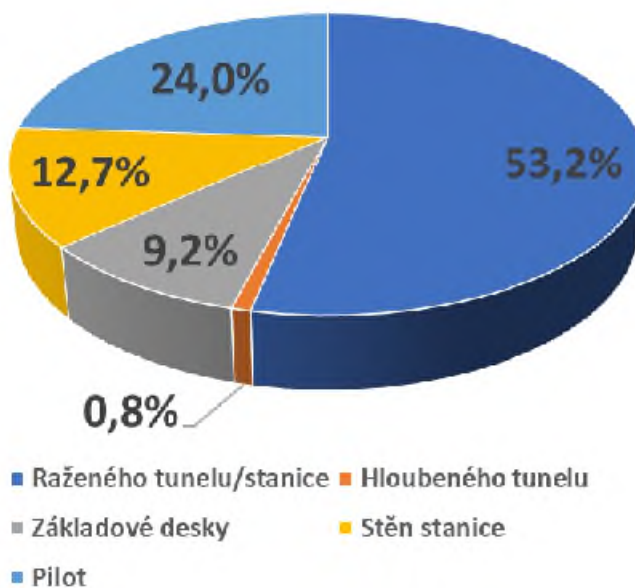
Výpočet možného teoretického zisku v rámci jednotlivých stavebních oddílů byl proveden ve dvou variantách. Na straně „bezpečné“ leží výpočet s předpokládaným konzervativním ziskem geotermální energie 20 W/m². Výsledky pro tento typ kalkulace s celkovým teoretickým ziskem 5 756 kW pro celou sledovanou trasu I.D ukazuje graf na Obr. 55. I když je graf rozdělen podle typu konstrukce, všem typům je přisouzena stejná hodnota 20 W/m². Procentuální zastoupení jednotlivých typů konstrukcí na celkovém konzervativním zisku geotermální energie ukazuje graf na Obr. 56.

Konzervativní zisk (20 W/m^2) geotermální energie v [kW] z plochy podzemních děl



Obr. 55 Rozdělení teoretického zisku geotermální energie pro hodnotu 20 W/m^2

Konzervativní zisk (20 W/m^2) geotermální energie v [%] z plochy podzemních děl



Obr. 56 Procentuální rozdělení teoretického zisku geotermální energie pro hodnotu 20 W/m^2

Pro získání představy o předpokládaném maximálním možném zisku geotermální energie byla provedena kalkulace se zohledněním typu konstrukce, její hloubky pod úrovní terénu a předpokládaných geotechnických podmínek. K určení předpokládaného zisku geotermální energie ve W/m^2 sloužila tabulka uvedená v normě ČSN EN 15 450 – viz Tab. 26.

Kvalita zemského masivu	Měrný odběrový tepelný tok	
	doba provozu 1 800 h za rok	doba provozu 2 400 h za rok
suchá, nesoudržná půda	10 W/m^2	8 W/m^2
vlhká, soudržná půda	20 W/m^2 až 30 W/m^2	16 W/m^2 až 24 W/m^2
vodou nasycený písek nebo štěrk	40 W/m^2	32 W/m^2

Tab. 26 Příklad požadavků na kvalitu zemského masivu ve střední Evropě

Při tomto typu výpočtu dosahuje maximální možný teoretický zisk geotermální energie hodnoty 8 322 kW. Kalkulace byla provedena pro následující základní typy konstrukcí, resp. jejich ploch:

- ražené tunely a stanice
- hloubené tunely
- obvodové podzemní stěny hloubených stanic
- základové desky hloubených stanic
- piloty dočasného pažení stavebních jam nebo založení nosných konstrukcí

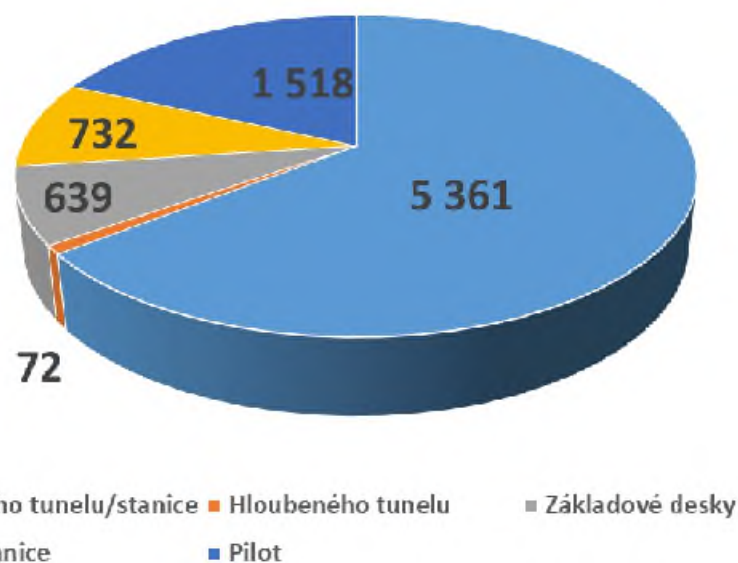
Po vyhodnocení geotechnických podmínek a zvodnění horninového masivu byly předpokládanému prostředí, ve kterém budou konstrukce prováděny, přiřazeny následující hodnoty měrného odběrového tepelného toku.

Měrný odběrový tepelný tok	W/m^2
Plocha ostění raženého tunelu nebo ražené stanice	35
Plocha ostění hloubeného tunelu	30
Plocha základové desky hloubených stanic	24
Plocha obvodových stěn hloubených stanic	20
Plocha pilot dočasného zajištění stavebních jam, založení objektů	22

Tab. 27 Konkrétní hodnoty měrného odběrového tepelného toku

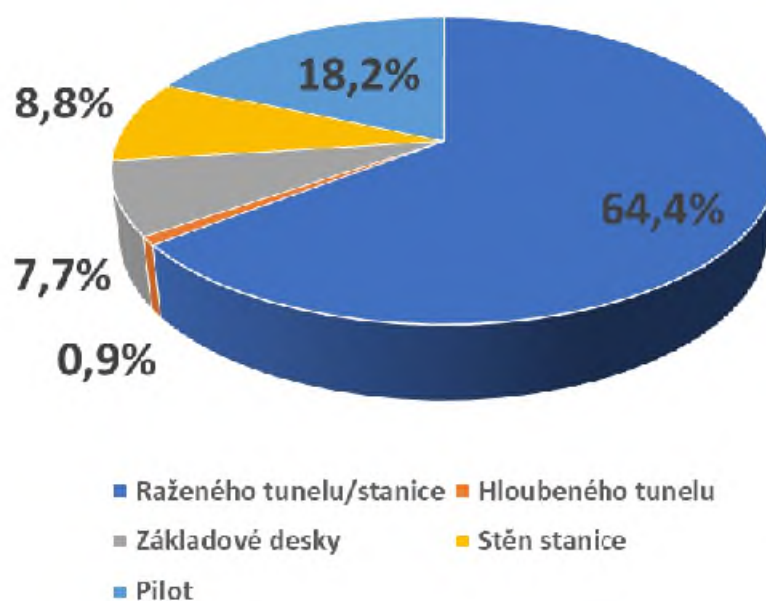
Rozdělení celkového maximálního předpokládaného zisku geotermální energie 8 322 kW podle jednotlivých typů konstrukcí ukazuje graf na Obr. 57. Procentuální zastoupení jednotlivých typů konstrukcí na celkovém maximálním zisku geotermální energie ukazuje graf na Obr. 58.

Maximální zisk geotermální energie v [kW] z plochy podzemních děl



Obr. 57 Rozdělení teoretického maximálního zisku geotermální energie podle typu konstrukcí

Maximální zisk geotermální energie v [%] z plochy podzemních děl



Obr. 58 Procentuální rozdělení maximálního zisku geotermální energie podle typu konstrukcí

10.2. Předběžné ekonomické hodnocení

Pro možné ekonomické posouzení využití nízkopotenciálního tepla v rámci stanic metra je nutné stanovit několik klíčových předpokladů.

Týkají se těchto rozhodných parametrů:

- Jaké mohou být (měrné) investiční náklady
- Jaké mohou být provozní náklady
- Jak intenzivně bude zařízení během roku v provozu

K odpovědím na tyto otázky lze přistupovat následovně.

10.2.1. Investiční náročnost (CAPEX)

Celková výše investičních nákladů a jejich měrná hodnota vyjádřená na jednotku instalovaného tepelného výkonu bude záviset na (i) navržené velikosti zdroje, (ii) způsobu jeho umístění do nadzemních prostor a s tím spojených stavebních prací a dále pak na (iii) rozsahu nových, především venkovních rozvodů tepla a chladu.

Samotné tepelné čerpadlo v provedení země-voda je přitom v průmyslových velikostech (stovky kilowatt či více) poměrně cenově dostupné a na jednotku tepelného výkonu lze podle zvoleného výrobce a provedení očekávat ceny pořízení bez montáže od 5 do 10 tis. Kč, s montáží pak typicky o 25 % více. Celá technologie strojovny s TČ pak může navýšit náklady o další jednotky tisíc na kW tepelného výkonu stroje (na výsledných 10 až 15 tis. Kč).

Poměrně nákladný bude primární okruh TČ. Pro získávání geotermální energie je zapotřebí přibližně 5-6 metrů plastového potrubí (používá se z polyethylenu, případně s vysokou hustotou, nese označení PE-HD), které je nutné instalovat do obvodových konstrukcí stavby metra. Cena tohoto potrubí se může pohybovat v desítkách korun na jeden metr délky, uchycení si však bude vyžadovat manuální práci – u stanic metra realizovaných NRTM by to bylo na místě, u prefabrikovaných betonových dílů používaných v ražených tunelech pak ve výrobním závodu.

Manuálně pak bude nutné provést rovněž spojování jednotlivých potrubních dílů spojkami do funkčního celku – okruhu. Ze zkušeností z realizovaných projektů v zahraničí vyplývá, že na jeden okruh může průměrná délka potrubí činit 200-250 metrů, jinými slovy je tím obsloužena plocha konstrukce mající okolo 45 m². Spojek přitom může u každého tohoto potrubí několik.

Tyto okruhy bude zapotřebí po nejvýše 20-25 kusech sdružovat do podružného rozdělovače a sběrače, ze kterého pak bude možné provést napojení silnější dimenzí na strojovnu s TČ. Prostorové nároky každého takového dílčího rozdělovače a sběrače mohou přitom činit jednotky metrů čtverečních (odhadujeme cca 3 x 2 metru) a může být zapotřebí pro každých 1 tis. m² plochy osazené primárním okruhem. Na tyto dodatečné prostorové nároky je nutné proto pamatovat a jejich vznik zohlednit v investičních nákladech.

S vědomím této komplexnosti odhadujeme pro tyto účely měrný náklad ve výši 500 až 1 tis. Kč na m² plochy využitě pro umístění primárního okruhu s tím že nižší hodnota může být dosažitelná u větších

instalací, kde by bylo možné dosáhnout úspor z rozsahu. **Tomu odpovídá měrný náklad 20 až 40 tis. Kč na kW tepelného výkonu TČ (bude-li jeho průměrný topný faktor dosahovat hodnoty 4).**

Třetí významnou nákladovou položkou bude **stavební část strojovny, v které bude umístěno TČ** – náklady budou ve významné míře záviset na tom, zda bude umístěna jako součást jiné budovy anebo zda se bude jednat o samostatně stojící budoucí objekt. Empirické zkušenosti jsou takové, že na jeden kilowatt tepelného výkonu je zapotřebí obestavěný prostor mající řádově 0,7-0,8 m³. Prostor strojovny by přitom měl být dostatečně vysoký, minimálně lze počítat s 5-6 metry. Je-li obvyklá kapitálová náročnost dnes budovaných rezidenčních i nerezidenčních objektů na území hl. města přes 100 tis. Kč/m² pro standardní výšky podlaží (do 3 metrů), pro dvě podlaží by to tedy bylo dvojnásobek. Měrný náklad by tak mohl činit okolo 25 tis. Kč na kW tepelného výkonu. Odhadujeme přitom, že reálně to bude o 30 až 50 % méně, protože strojovna bude v případě, bude-li součástí jiné stavby, umístěna do podzemních (a tedy méně atraktivních prostor), a v případě, bude-li umístěna do samostatného objektu, bude stavba navržena pro průmyslové užití, a tedy s méně nákladnými stavebními materiály (ovšem s přihlédnutím, že TČ bude nutné odhlučnit – nejspíše umístěním do odhlučněné místnosti v rámci strojovny). Pro další výpočty tedy uvažujeme s měrným nákladem na kW instalovaného výkonu ve výši 12 500 až 17 500 Kč.

Posledním důležitým investičním nákladem pak bude vyvedení tepelného a chladicího výkonu. Do této položky je nutné začlenit náklady na venkovní trasy teplovodů a chladivodů – a ty přitom nemusí být nízké. Obvykle platí, že venkovní rozvody mají opodstatnění, je-li objem přenášené užitečné energie na úrovni alespoň 2,5 MWh na metr délky trasy a rok. Tomu odpovídá orientačně 1 kilowatt tepelného výkonu na zdroji. Investiční náklady pro dimenze potrubí přenášející nejvýše stovky kilowatt tepelného výkonu (odpovídá vnitřní dimenzi potrubí v jednotkách centimetrů, např. DN 80) se mohou pohybovat od 10 do 30 tis. Kč.

Pokud výše uvedené shrneme do výsledného rozpětí počátečních nákladů, můžeme získat následující rozmezí:

Měrná investice [tis. Kč/kWt]	Od	Do
Primární okruh	20	40
Strojovna – technologická část	10	15
Strojovna – stavební část	12,5	17,5
Venkovní rozvody tepla/chladu	10	30
Celkem	~ 50	~ 100

Tab. 28 - Skladba investičních nákladů - měrná investice v tis.Kč/kWt

Docílit spodní hranice investičního rozpětí může být snáze dosažitelné u větších instalací – a v případě, podaří-li se najít optimální techniku výstavby primárního okruhu. Další významných úspor lze dosáhnout minimalizací délek venkovních potrubí – což lze docílit správnou lokalizací strojovny s TČ.

Pokud jde o délku odepisování investice, fyzická životnost primárního okruhu, stavební části strojovny a venkovních rozvodů může být minimálně 30 let, teoreticky i 50 let. V případě technologické části

strojovny, tedy především TČ lze očekávat životnost 15 až 20 let. Průměrná délka odepisování celé investice tak může být 20, možná až 25 let. Roční odpis by tak činil typicky **od 2 500 do 5 000 Kč/kWt**.

10.2.2. Provozní náklady (OPEX)

V případě provozních nákladů bude stěžejní položkou především spotřeba elektrické energie. Vývoj posledních měsíců vytvořil tak nepřehlednou situaci, že rozptýl v budoucích cenách elektřiny může opravdu veliký (pohybovat se v řádu jednotek Kč/kWh).

Je pravděpodobné, že cena elektřiny jako průměr celého roku bude po dobu minimálně několika příštích let významně determinována cenou emisních povolenek, dále cenou zemního plynu a pak rychlostí rozvoje obnovitelných zdrojů elektřiny.

Má-li střednědobý odhad ceny plynu jako komodity být v rozmezí **30-50 EUR/MWh** spalného tepla plynu a ceny emisních povolenek okolo **100 EUR/t**, může být cena marginálního zdroje elektřiny v podobě plynové elektrárny na velkoobchodním trhu mezi **100 až 150 EUR/MWh**. S přihlédnutím k maržím, které obchodníci běžně uplatňují (20-30 % nad velkoobchodní ceny) může být cena pro odběratele bez regulovaných plateb mezi **130 až 200 EUR/MWh**, tj. přibližně **od 3 do 5 tis. Kč/MWh**. Výše regulovaných plateb bude přitom dána především rezervovaným příkonem, jenž může nákladově být v řádu **2 až 3 tis. Kč/kW** el. příkonu za rok, což při obvyklém využití výkonu (bývá běžné do 1,5 tis. hodin v roce) navýší celkovou cenu elektřiny o **1,5 až 2 tis. Kč/MWh**. Průměrná cena elektřiny tak může v budoucnu být v rozmezí **od 5 do 7 tis. Kč/MWh**, což po přepočtu na vyrobenou MWh tepla či chladu s průměrnou roční účinností vyjádřenou poměrem mezi vyrobeným teplem/chladem vůči spotřebované elektřině 4 dává výsledný měrný náklad

Druhou hlavní nákladovou položkou pak bude pravidelný servis – jeho nákladovost se může pohybovat **od 100 do 150 Kč/MWh** vyrobeného tepla či chladu.

Třetím provozním nákladem bude obsluha a režie – tato nákladová položka může být relativně symbolická, předjímáme jí mezi **50 až 100 Kč/MWh** a její skutečná výše bude záviset i na množství vyrobeného tepla a chladu během roku (protože je stálým nákladem).

Poslední položka by měla být nákladová rezerva na neplánované opravy, tedy typicky poruchy, které nebude kryt záruka dodavatele, odpisy či pojištění.

Provozní náklady [Kč/MWh]	Od	Do
Elektřina	1250	1750
Plánovaný servis	100	150
Obsluha a režie	50	100
Rezerva (např. na neplánované opravy)	50	100
Celkem	~ 1 500	~ 2 000

Tab. 29 - Skladba provozních nákladů v Kč/MWh

10.2.3. Intenzita využití zařízení

Tento poslední parametr není fakticky nákladovou položkou, ale vyjadřuje, jak efektivně je zdroj provozován. Tepelné čerpadlo je zařízením, které by mělo být využito více, než jak bývá běžné například u plynového kotle. Záměrně se proto i dimenzuje nikoliv na špičkovou potřebu tepla, ale na typicky 60-70 % maximální spotřeby s vědomím, že v ročním souhrnu i tak pokryje 90 i více procent energetických potřeb.

S vědomím tohoto přístupu lze odhadovat žádoucí míru využití tohoto zdroje – za jisté minimum lze označit využití instalovaného výkonu po dobu 2 tis. hodin za rok, za optimum pak cokoliv, co bude nad 3 tis. hodin ročně a obvyklé maximum okolo 4 tis. hod/rok. Miníme tím jmenovitý tepelný výkon násobený tímto počtem hodin.

Vyšší hodnotu lze docílit, pokud je možné kromě dodávky tepla rovněž za úplaty realizovat chlad. Ten přitom může navýšit množství užitečné energie v našich podmínkách o 10-20 % a tak pomoci zvýšit efektivitu zařízení během roku. Záměrně proto níže uvádíme množství vyrobené užitečné energie (a nespecifikujeme, zda se jedná o teplo či také chlad).

Míra využití výkonu [kWh/kWt]	Od	Do
Roční výroba užitečné energie	2 000	4 000

Tab. 30 - Míra využití výkonu zdroje

10.2.4. Celková nákladovost výroby tepla

Celková nákladovost výroby tepla je tak výslednicí všech tří výše uvedených faktorů/parametrů. Pokud měrné investiční náklady podělíme mírou ročně vyrobené užitečné energie, získáme tím měrný odpis, který společně s měrnými provozními náklady determinuje celkové výrobní náklady.

Výsledky indikují, že měrné výrobní náklady na výrobu užitečné energie mohou dosahovat rozmezí **2 125 Kč/MWh až po 4 500 Kč/MWh**. Protože 1 MWh reprezentuje 3,6 GJ, získané rozmezí indikuje „tradiční“ vyjádření nákladovosti tepla a chladu mezi **cca 600 Kč/GJ bez DPH až do hodnoty 1250 Kč/GJ bez DPH**.

Měrné výrobní náklady [Kč/MWh]	Od	Do
Měrné roční odpisy	625	2 500
Měrné provozní náklady	1 500	2 000
Celkem	2 125	4 500

Tab. 31 - Měrné výrobní náklady

V této fázi úvah je přitom takto široké rozmezí možné – faktorů, které jednotkovou cenu ovlivní je celá řada. Je zjevně žádoucí přitom hledat takové pojetí, které zajistí příznivé měrné investiční a provozní náklady a přitom umožní využít zařízení v dostatečné intenzitě během roku.

Investiční náklady je možné snížit jak technickou optimalizací, tak i možným získáním investiční dotace, provozní náklady především optimalizací ceny nakupované elektřiny a efektivitou provozu

(měřenou poměrem vyrobené užitečné energie ke spotřebované elektřině). Míru využití instalovaného výkonu pak atraktivní cenovou a environmentální politikou směrem k zákazníkům a tedy získáním dostatečné poptávky po teple a chladu. Čím více bude zařízení vyrábět současně teplo a chlad, tím lepších ekonomických i ekologických výsledků může být dosaženo.

10.3. Doporučení

V dopravních tunelech v České republice zatím tento způsob získávání geotermální energie nebyl použit. V případě studií sledované stavby metra I. D bylo nutné vycházet pouze z obecně dostupných informací a předpokladů. Rovněž rozsáhlý geotechnický průzkum pro pražské metro nebyl na tuto oblast využití zaměřen. Proto by bylo vhodné po vzoru zahraniční praxe vytipovat v již rozestavěných úsecích trasy metra vhodné lokality, ve kterých by byly ve studii uvedené předpoklady ověřeny. Příkladem může být tunel Jenbach v Rakousku, kde pokusný úsek železničního tunelu raženého pomocí tunelovacího stroje vznikla až v průběhu výstavby z iniciativy zhotovitelské firmy Züblin.

10.4. Závěr

V teoretickém maximu, tedy pokud by všechny vhodné konstrukce metra byly doplněny o primární okruh, se může jednat až o **jednotky MW tepelného výkonu**. Autoři studie přitom provedli podrobné rozdělení na jednotlivé dílčí konstrukce s cílem umožnit jistou flexibilitu, bude-li rozhodnuto o nevhodnosti některé z dílčích částí.

Rovněž se pokusili diferencovat míru tepelného zisku – s jistou mírou zjednodušení lze pro další kroky předpokládat, že z každého metru čtverečního vnější konstrukce metra by bylo možné celoročně získávat 10 až 40 W tepelného toku (vyšší hodnota je možná u vyšších hloubek či tam, kde se bude vyskytovat podzemní voda) – což v praxi může znamenat 50 až 100 kWh dále využitelného tepla či chladu ročně. Vyšší měrná hodnota je přitom dosažitelnou zvláště tam, kde bude možné využívat TČ jak pro vytápění, tak i chlazení.

Z průběhu prací přitom jednoznačně vyplynulo, že disponibilní tepelné výkony alokované na jednotlivé stanice (definované osazením primárních okruhů TČ vždy do poloviny délky tunelu mezi stanicemi a pak v obvodových konstrukcích stanice) jsou natolik veliké, že **pro jejich využití je nutné hledat příležitosti u plánované výstavby nadzemí**.

Za nejvíce perspektivní se přitom jeví autorům studie **stanice Nové Dvory**. Důvodem k tomu je fakt, že plánovaná výstavba v okolí stanice má být realizována městskou společností (PDS), bylo by tedy možné snáze najít shodu o vhodné formě spolupráce. V zájmovém území má být v několika objektech vybudováno **více než 100 tis. m² HPP**. Stanice je navíc ražená a nachází se tak ve větší hloubce. Proto lze očekávat o něco vyšší tepelný zisk geotermální energie. Třetím důvodem je pak rovněž příležitost využívat také i zbytkové teplo odpadního vzduchu z výduchu, který zde má být vybudován. Doporučujeme pro tuto stanici pokračovat podrobnou studií proveditelnosti a následně i v případě kladného závěru i zahájit projekční přípravu. Záměr se jeví opravdu nadějný.

U ostatních stanic je situace již o něco méně příznivá, nová výstavba je připravována již privátními investory, nicméně lze doporučit podrobné posouzení pro **stanici Nemocnici Krč, kde se** má realizovat nová výstavba o celkové podlahové ploše cca 60 tis. m² HPP a pro stanici **Nádrží Krč** (cca 40 tis. m²). V případě první z těchto stanic může být nadějnou příležitostí vytápět i blízko ležící nemocnici (která dnes využívá plynovou kotelnu), v druhém případě pak je v území navíc plánován další development o násobně větší velikosti. Toto by bylo užitečné kvalifikovaně posoudit.

Nově instalované energocentrum s TČ by přitom bylo vhodné umístit do samostatně stojící nadzemní stavby případně do suterénu některého z objektů v přímém okolí – a kromě samotných TČ by součástí zdroje měl být bivalentní zdroj (nabízí se např. kogenerační jednotka a k tomu záložní elektrokotel či plynový kotel).

Celkové investiční náklady je možné odhadovat předběžně v rozmezí 50 až 100 tis. Kč na kW tepelného výkonu, modelový zdroj o tepelném výkonu 2 MW (z toho 1-1,5 MW v tepelném čerpadle) může být schopen krýt spolehlivě tepelné potřeby řádově objektu o podlahové ploše 50-70 tis. m².

Cenu tepla lze předpokládat za konkurenceschopnou s cenami tepla, jaké lze dosahovat z konvenčních zdrojů (předběžně do 1 tis. Kč/GJ vč. DPH v současných cenách), pokud by se pro záměry podařilo získat částečné kofinancování vhodným dotačním titulem, bylo by to významným impulzem opodstatňujícím realizaci a zajišťujícím dlouhodobě nižší cenu tepla. Doporučujeme tuto možnost v dalším stupni ověřit / pokusit se ji vyjednat.

Podrobné technicko-ekonomické vyhodnocení pro danou lokalitu bude možné provést až na základě detailního rozpracování konkrétního technického řešení, tj. začlenění prvků pro získávání geotermální energie a jejich napojení na objekty v nadloží do již navrženého konstrukčního řešení traťových nebo technologických tunelů, resp. hloubených a ražených stanic. Výsledky získané případně z pokusných úseků metra mohou tyto kalkulace dále upřesnit. Je zřejmé, že energetický potenciál ukrytý v podzemí je značný a jako obnovitelný zdroj energie může hrát ve stávající energetické i politické situaci významnou roli.

Důvodová zpráva

Návrh na využití geotermální energie, která bude získávána z metra I.D v okolí budoucí stanice Nové Dvory a využita pro vytápění (případně chlazení) nové výstavby na území Nových dvorů, je dalším z inovativních projektů, který přispěje k naplňování Klimatického plánu hl. m. Prahy do roku 2030.

Podstatou projektu je využití geotermální energie získané z ostění tunelu metra D v okolí stanice Nové Dvory a její využití prostřednictvím technologie průmyslových tepelných čerpadel pro vytápění a chlazení budov v bezprostředním okolí. Výhodou tepelných čerpadel je jejich účinnost: na jednu kWh spotřebované elektřiny, kdy jsou schopna vyrobit 3 až 5 kWh tepelné energie, chladu či obou.

Projekt je v souladu s klimatickým závazkem hl. m. Prahy¹, který mj. konstatuje, že odklon od fosilních paliv při výrobě energie, v dopravě a dalších ekonomických aktivitách města nepovažuje za hrozbu, nýbrž za příležitost postupně transformovat město v ekologicky přátelskou metropoli, atraktivní pro život.

Instalaci zdrojů tepla a chladu na bázi tepelných čerpadel zařadil mezi jedno z 69 prioritních opatření i Klimatický plán hl. m. Prahy do roku 2030 / na cestě k uhlíkové neutralitě, schválený Zastupitelstvem hl.m. Prahy v květnu 2021. Vzhledem k očekávanému růstu počtu obyvatel pak plán navrhl, aby u nových developerských projektů bylo od jejich určité velikosti zavedeno hodnocení jejich uhlíkové stopy ve fázi, kdy město ještě má možnost projekty ovlivnit a doporučil přijmout takové motivační a regulační nástroje, které zajistí, aby nejpozději do roku 2025 byla nová výstavba na území města již s nulovou uhlíkovou stopou. Autoři Klimatického plánu již předjímali připravované přepracované znění směrnice o energetické náročnosti budov, která byla přijata v roce 2024 a v článku 7, odstavci 1. a) ukládá, aby nové budovy vlastněné veřejnými subjekty byly od 1. ledna 2028 budovami s nulovými emisemi. Za budovu s nulovými emisemi je podle čl. 2, 2) budova s velmi nízkou energetickou náročností, určenou v souladu s přílohou I, která vyžaduje nulové nebo velmi nízké množství energie, produkuje nulové emise uhlíku z fosilních paliv na místě a produkuje nulové nebo velmi nízké provozní emise skleníkových plynů.

Projekt navazuje na usnesení Rady hl. m. Prahy, ve kterém reagovala na invazi Ruska na Ukrajinu² a mj. uložila v bodě 6) řediteli Institutu plánování a rozvoje hl.m. Prahy a řediteli Pražské developerské společnosti, aby při přípravě a posuzování nové bytové výstavby v Praze upřednostnili taková energetická řešení, aby primárním zdrojem byly obnovitelné zdroje energie a základním zdrojem tepla tepelná čerpadla či připojení k systému zásobování teplem a konzultovat tyto projekty s energetickým manažerem. K tomu je zapotřebí dodat, že předkladatel je od počátku do projektu zaangažován, stejně jako předsedy výboru pro energetiku a předseda Komise pro klima.

Projekt využití geotermální energie z metra I.D v území Nových Dvorů byl shledán perspektivním i proto, že území v bezprostřední návaznosti na připravovanou stanici trasy Metra I.D patří k největším souvislým majetkovým držbám hl. m. Prahy a projekt je připravován prostřednictvím Pražské developerské společnosti, p.o. Projekt rozvíjí celé lokalitu s cílem

¹ Usnesení Zastupitelstva hlavního města Prahy č. 8/42 ze dne 20.6.2019 k vyhlášení klimatického závazku hlavního města Prahy.

² Usnesení Rady hl.m. Prahy č. 1369 ze dne 6.6.2022 ke snížení závislosti hl.m. Prahy na zemním plynu z Ruska

vytvořit udržitelné a moderní městské prostředí s dostupným nájemním bydlením a kompletní občanskou vybaveností v podobě mateřské a základní školy, kulturního centra, prostorů pro obchod a služby, linek MHD, a zázemí pro sport a rekreaci, přičemž takovým přístupem dochází k významnému zhodnocení městských aktiv a synergickým efektům z hledisek ekonomických, společenských i environmentálních v souvislosti s klíčovou investicí hl. m. Prahy do výstavby nové trasy metra D a stanice metra Nové Dvory. Současně je tím otevřena možnost optimálního nastavení koncepčních a komplexních energetických řešení pro efektivní hospodaření s energiemi pro celou lokalitu, a to včetně využití potenciálu ve vztahu k připravovaným infrastrukturním stavbám zejména stanice metra I.D. Nové Dvory.

Development Nové Dvory bude realizován na ploše ca 200 tis. metrů čtverečních, vznikne 17 samostatných bloků budov s potřebou vytápění a chlazení v řádu 10 až 15 tisíc MWh za rok. Přímo nad plánovanou větrací šachtou z metra bude administrativní budovy s pronajímatelnou plochou ca 8 tisíc m² a potřebou tepla a chladu v řádu 300 až 500 MWh za rok.

Potenciál geotermální energie získávané z pažení ověřila Studie využití geotermální energie při výstavbě metra I.D v Praze, jejíž zpracování zadal Dopravní podnik a.s.³ resp. METROPROJEKT Praha a.s. Základní výhodou projektu je, že není třeba provádět speciální vrtací a výkopové práce pro umístění primárního okruhu tepelného čerpadla, protože tyto práce jsou součástí samotné stavby metra a dochází k doplnění konstrukce tunelu o geotermální absorbéry.

Celkem čtyři geotermální zařízení s absorbéry umístěnými v metru využívá město Vídeň, konkrétně u linky U2 na stanici Taborstrasse a také první úsek linky č. 1 metra v Turíně v Itálii. Technologie byla ověřena na řadě silničních a železničních tunelů ve Švýcarsku, Rakousku, Německu, Jižní Koreji a Velké Británii.

Záměr využití geotermální energie z metra I.D projednávala celkem dvakrát Komise pro klima Rady hl. m. Prahy a na jednání dne 30.5.2024 přijala usnesení, ve kterém doporučuje Radě hl. m. Prahy:

- 1) zadat Pražské plynárenské a.s. rozpracování studie využití geotermální energie na lince metro D, konkrétně ve stanicích Nové Dvory, Písnice a Depo Písnice,
- 2) připravit Memorandum o spolupráci při využití geotermální energie z metra D, jehož signatářem bude hl. m. Praha (zastoupená primátorem B. Svobodou, nám. Z. Hřibem, nám. P. Hlaváčkem a nám. J. Komrskovou), Dopravní podnik hl. m. Prahy a.s., Pražská plynárenská a.s. a Pražská developerská společnost p.o.,
- 3) uložit Dopravnímu podniku HMP a.s. součinnost při rozšíření projektové a zadávací dokumentace a realizace Metra linky D o využití geotermální energie dle výstupů studie.

V mezičase od jednání Komise pro klima proběhlo několik pracovních setkání zástupců Pražské plynárenské a.s. resp. Teplo pro Prahu a s., Pražské developerské společnosti p.o., Dopravního podniku a.s. i zpracovatelů studie potenciálu geotermální energie. Všechny uvedené strany mají o realizaci tohoto pilotního projektu zájem, a tudíž není dle názoru předkladatele nadále zapotřebí reagovat na bod 2) doporučení Komise pro klima, tj. zabývat se formulováním Memoranda o spolupráci při využití geotermální energie z metra I.D.

³ Studie využití geotermální energie pro výstavbu metra I.D v Praze, zpracovatelé SAGASTA s.r.o. a SEVEN Energy s.r.o., 08/2023

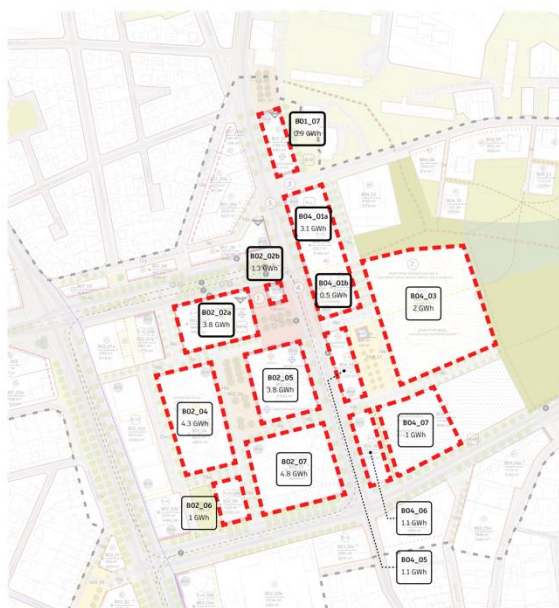
Na projektu zúčastněné organizace nicméně potřebují jasné zadání od Rady hlavního města Prahy, kterým Rada uloží řediteli Pražské developerské společnosti, p.o. spolupracovat se společností Dopravní podnik hl. m. Prahy a.s. a se Společností Teplo pro Prahu a.s. na prověření možnosti zásobování projektů městského developmentu v lokalitě Nové Dvory teplem případně chladem získaným z geotermální energie z metra I.D.

Společnost Teplo pro Prahu a.s. v rámci koncernu Pražská plynárenská a.s. je přiloženým usnesením žádána o prověření možnosti zásobování nové výstavby v lokalitě Nové Dvory teplem případně chladem získaným z metra I.D. V případě realizace projektu bude tato společnost převezme vyvedení okruhů z podzemí (realizováno v rámci výstavby metra) a zajistí kompletní instalace na povrchu, tj. instalace technologií tepelných čerpadel a rozvodu tepla (a chladu) do přilehlých budov. Teplo pro Prahu a.s. bude tento energetický zdroj provozovat a bude dodavatelem tepla (chladu) do přilehlých budov.

V rámci připomínkového procesu nemá Teplo pro Prahu, a.s. za Pražskou plynárenskou, a.s. k danému tisku žádné připomínky. (viz příloha č. 1 této DZ).

A nakonec, Dopravní podnik hl. města Prahy a.s. je žádán, aby zajistit pro společnost Teplo pro Prahu a.s. úpravu projektové dokumentace a realizaci podzemní části týkající se metra I.D.

Nové Dvory



B01_07 0.9 GWh č. 46087	B02_02a 3.8 GWh č. 46087	B02_02b 1.3 GWh č. 46087	B04_01a 3.1 GWh č. 46087
B04_01b 0.5 GWh č. 46087	B02_04 4.3 GWh č. 45892	B02_06 1 GWh č. 45892	B02_05 3.8 GWh č. 45897
B02_07 4.8 GWh č. 45891	B04_03 2 GWh č. 45888	B04_05 1.1 GWh č. 45889	B04_06 1.1 GWh č. 45889
B04_07 1 GWh č. 46628			

číslo bloku
roční spotřeba
číslo investiční akce

28.7 GWh / rok
předpokládaná
spotřeba energie

Předpokládaná energetická spotřeba vystavěných budov je empiricky odhadované množství energie spotřebované za rok plného provozu, zejména na vytápění, chlazení, přípravu TUV, úpravu vnitřního prostředí větráním nebo klimatizačním systémem a osvětlením.

Pro odhad se předpokládá běžný funkční mix využití prostor, tj. pro bydlení a odpovídající občanskou vybavenost, neuvažuje se s umístěním průmyslu.