

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA



METODIKA

Metodika projektování a instalace vrtaných
tepelných výměníků pro různě velké systémy
na základě stanovených fyzikálních vlastností
horninového masivu

Autoři: prof. Ing. Petr Bujok, CSc. a kolektiv

Projekt: TAČR TA01020932

Ostrava, leden 2015

Bibliografický záznam

Název: Metodika: metodika projektování a instalace vrtaných tepelných výměníků pro různě velké systémy na základě stanovených fyzikálních vlastností horninového masivu

Autoři:

prof. Ing. Petr Bujok, CSc.	HGF, VŠB – TUO, 17. listopadu 2172/15, 708 33 Ostrava – Poruba
doc. Ing. Naďa Rapantová, CSc.	HGF, VŠB – TUO, 17. listopadu 2172/15, 708 33 Ostrava – Poruba
doc. RNDr. Pavel Pospíšil, Ph.D.	HGF, VŠB – TUO, 17. listopadu 2172/15, 708 33 Ostrava – Poruba
Ing. Petr Vojčínák	FEI, VŠB – TUO, 17. listopadu 2172/15, 708 33 Ostrava – Poruba
Ing. Michal Porzer, Ph.D.	HGF, VŠB – TUO, 17. listopadu 2172/15, 708 33 Ostrava – Poruba
Ing. Martin Klempa	HGF, VŠB – TUO, 17. listopadu 2172/15, 708 33 Ostrava – Poruba
doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.	FAST, VŠB – TUO, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava – Poruba
Ing. Zdeněk Rozehnal	Green Gas DPB, a. s., Rudé armády 637, 739 21 Paskov
Ing. David Grycz	Green Gas DPB, a. s., Rudé armády 637, 739 21 Paskov
RNDr. Pavel Štrof	DHI, a. s., Na Vrších 1490/5, 100 00 Praha 10
doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.	FEI, VŠB – TUO, 17. listopadu 2172/15, 708 33 Ostrava – Poruba
Ing. Jiří Kostrhun	HGF, VŠB – TUO, 17. listopadu 2172/15, 708 33 Ostrava – Poruba
Ing. Nikola Janečková	HGF, VŠB – TUO, 17. listopadu 2172/15, 708 33 Ostrava – Poruba
p. Miloš Weiper	HGF, VŠB – TUO, 17. listopadu 2172/15, 708 33 Ostrava – Poruba
p. Lumír Selzer	HGF, VŠB – TUO, 17. listopadu 2172/15, 708 33 Ostrava – Poruba

Oponenti:

Ing. Jan Blažej

soudní znalec v oboru Těžba, Dvorní 765/11,
696 18 Lužice

Ing. Antonín Taufer, CSc.

ČBÚ, Kozí 748/4, 110 00 Praha 1

Dedikace

Projekt Technologické agentury České republiky (TAČR) programu ALFA s názvem „Využití tepelné energie zemské kůry pro zřizování obnovitelných zdrojů energie, včetně ověření možností akumulace tepla“ (TA 01020932), řešený v období 2011–2014.

Abstrakt

„Certifikovaná metodika projektování a instalace vrtaných tepelných výměníků pro různě velké systémy na základě stanovených fyzikálních vlastností horninového masivu“ (dále jen **Metodika**) má za úkol napomoci širšímu využití geotermální energie, která se řadí mezi obnovitelné zdroje energie, a tím ke snížení využití fosilních paliv a ke snížení emisí skleníkových plynů.

Jedná se o synergicky pojatou komplexní metodiku, která v sobě zahrnuje dílčí metodiky, a to metodiku měření vybraných fyzikálních vlastností horninového masivu, metodiku stratifikované injektáže vrtu využívaného pro instalaci vrtaného tepelného výměníku, případně akumulátoru a metodiku výkonové optimalizace vrtaných tepelných výměníků ve specifickém horninovém prostředí pro různě velké spotřebitele tepla.

Metodika je jedním z řady výsledků řešení výzkumného projektu „Využití tepelné energie zemské kůry pro zřízení obnovitelných zdrojů energie, včetně ověření možností akumulace tepla“ (TA 01020932). Metodika vychází z vlastního výzkumu řešitelů tohoto projektu a navazuje na poznatky získané z publikovaných odborných prací.

Předmětná metodika je založena na tzv. technologiích BAT (*Best Available Technology*) a má přispět ke zvýšení technologické úrovně projektování a instalace vrtaných tepelných výměníků (*Borehole Heat Exchanger*).

Klíčová slova

tepelná čerpadla, projektování, instalace, optimalizace, vrtaný tepelný výměník, horninový masiv, fyzikální vlastnosti, simulace, modelování, stratifikovaná injektáž

Obsah

Abstrakt

1. Úvod

1.1. Legislativní rámec

1.1.1. Související normy a zákony

1.1.2. Související směrnice a rozhodnutí v rámci EU

1.2. Význam tepelných čerpadel

1.2.1. Zdroje primární energie pro systémy s tepelnými čerpadly

1.2.2. Instalace tepelných čerpadel

1.2.3. Další možnosti instalace

2. Cíle metodiky

3. Popis metodiky

3.1. Metodika měření vybraných fyzikálních vlastností horninového masivu

3.1.1. Stanovení tepelných charakteristik horninového masivu – malé instalace

3.1.2. Stanovení tepelných charakteristik horninového masivu – střední a velké instalace

3.1.3. Úvod do problematiky testu teplotní odezvy horninového masivu

3.1.4. Vliv veličin na realizaci TRT experimentů

3.1.5. Měření teplotních profilů při TRT experimentech

3.2. Metodika výkonové optimalizace tepelných výměníků ve specifickém horninovém prostředí pro velké spotřebitele

3.2.1. Základní principy v problematice matematického modelování

3.2.2. Matematická formulace transportu tepla v horninovém prostředí

3.2.3. Technicko-ekonomická optimalizace

3.3. Metodika stratifikované injektáže vrtu využívaného pro instalaci tepelného výměníku, případně akumulátoru

3.3.1. Požadované vstupní informace pro návrh stratifikované injektáže BHE

3.3.2. Popis metodiky stratifikované injektáže BHE

4. Srovnání „novostí postupů“ oproti původní metodice
 - 4.1. Potřebnost předložené metodiky
 - 4.2. Inovativnost předložené metodiky
 - 4.2.1. Inovativnost optimalizace vrtaných tepelných výměníků
 - 4.2.2. Inovativnost stratifikované injektáže
5. Popis uplatnění metodiky
6. Ekonomické aspekty

Seznam použitých symbolů, zkratk, indexů a jednotek

Latinské symboly

Řecké symboly

Zkratky

Indexy

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam použité literatury

Seznam autorských publikací

1. Úvod

Předkládaná „Certifikovaná metodika projektování a instalace vrtaných tepelných výměníků pro různě velké systémy na základě stanovených fyzikálních vlastností horninového masivu“ (dále jen **Metodika**) má za úkol napomoci širšímu využití geotermální energie (řazenou mezi obnovitelné zdroje energie) a tím ke snížení využití fosilních paliv a ke snížení emisí skleníkových plynů.

Metodika je také jedním z řady výsledků řešení výzkumného projektu „Využití tepelné energie zemské kůry pro zřizování obnovitelných zdrojů energie, včetně ověření možností akumulace tepla“ (TA 01020932), řešeného v období let 2011–2014. Metodika vychází z vlastního výzkumu řešitelů tohoto projektu a navazuje na poznatky získané z publikovaných odborných prací (tj. monografie, zprávy, odborné články v časopisech a ve sbornících z konferencí). Text přirozeně respektuje legislativní rámce Evropské unie a České republiky (tj. platné zákony, normy, vyhlášky, směrnice, rozhodnutí).

Jedná se o synergicky pojatou komplexní metodiku, která v sobě zahrnuje dílčí metodiky, jež byly samostatně prezentovány v původních cílech projektu.

1.1. Legislativní rámec

Legislativní rámec se v tomto případě omezuje na související směrnice, rozhodnutí, zákony a normy.

1.1.1. Související normy a zákony

Související zákony a normy v kontextu legislativního rámce jsou následující, tedy:

- **Zákon č. 62/1988 Sb.**, Zákon České národní rady o geologických pracích a o Českém geologickém úřadu,
- **Zákon č. 61/1988 Sb.**, Zákon České národní rady o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě,
- **Zákon č. 165/2012 Sb.**, Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů,
- **Vyhláška č. 78/2013 Sb.**, Vyhláška o energetické náročnosti budov,
- **Vyhláška č. 441/2012 Sb.**, Vyhláška o stanovení minimální účinnosti užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie,
- **Vyhláška č. 368/2004 Sb.**, Vyhláška o geologické dokumentaci,
- **Vyhláška č. 369/2004 Sb.**, Vyhláška o projektování, provádění a vyhodnocování geologických prací, oznamování rizikových geofaktorů a o postupu při výpočtu zásob výhradních ložisek,

- **ČSN EN 378-1+A2:** Chladicí zařízení a tepelná čerpadla – Bezpečnostní a environmentální požadavky – Část 1: Základní požadavky, definice, klasifikace a kritéria volby,
- **ČSN EN 378-2+A2:** Chladicí zařízení a tepelná čerpadla – Bezpečnostní a environmentální požadavky – Část 2: Konstrukce, výroba, zkoušení, značení a dokumentace,
- **ČSN EN 378-3 + A1:** Chladicí zařízení a tepelná čerpadla – Bezpečnostní a environmentální požadavky – Část 3: Instalační místo a ochrana osob,
- **ČSN EN 378-4 + A1:** Chladicí zařízení a tepelná čerpadla – Bezpečnostní a environmentální požadavky – Část 4: Provoz, údržba, oprava a rekuperace,
- **ČSN EN 1861:** Chladicí zařízení a tepelná čerpadla – Schémata okruhů zařízení a schémata potrubí a přístrojů – Uspořádání a značky,
- **ČSN EN 12178:** Chladicí zařízení a tepelná čerpadla – Hladinoznaky – Požadavky, zkoušení a značení,
- **ČSN EN 12263:** Chladicí zařízení a tepelná čerpadla - Bezpečnostní spínací zařízení k omezování tlaku – Požadavky a zkoušky,
- **ČSN EN 12284:** Chladicí zařízení a tepelná čerpadla – Ventily – Požadavky, zkoušení a značení,
- **ČSN EN 12693:** Chladicí zařízení a tepelná čerpadla – Bezpečnostní a environmentální požadavky – Objemové chladivové kompresory,
- **ČSN EN 13136:** Chladicí zařízení a tepelná čerpadla – Pojistná zařízení proti překročení tlaku a jim příslušná potrubí – Výpočtové postupy,
- **ČSN EN 13313:** Chladicí zařízení a tepelná čerpadla – Odborná způsobilost osob,
- **ČSN EN 14511-1:** Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru – Část 1: Termíny, definice a klasifikace,
- **ČSN EN 14511-2:** Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru – Část 2: Zkušební podmínky,
- **ČSN EN 14511-3:** Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru – Část 3: Zkušební metody,
- **ČSN EN 14511-4:** Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru – Část 4: Provozní požadavky, značení a instrukce,

- **ČSN EN 14825:** Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru – Zkoušení a klasifikace za podmínek částečného zatížení a výpočet při sezonním nasazení,
- **ČSN EN 15316-4-2:** Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení energetické potřeby a účinností soustavy – Část 4-2: Výroba tepla pro vytápění, tepelná čerpadla,
- **ČSN EN 15879-1:** Zkoušení a vyhodnocování tepelných čerpadel, propojených se zemním výměníkem s přímým odparem, s elektricky poháněnými kompresory, pro ohřev a/nebo chlazení prostoru – Část 1: Tepelná čerpadla přímý odpar – voda,
- **ČSN EN 16084:** Chladicí zařízení a tepelná čerpadla – Kvalifikace těsnosti součástí a spojů,
- **ČSN EN 16147:** Tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory – Zkoušení a požadavky na značení jednotek pro teplou užitkovou vodu,
- **VDI 4640:** Thermische Nutzung des Untergrunds,
- Metodika Ground Source Heat Pump Project Analysis. Natural Resources of Canada,
- Metodika Domestic Ground Source Heat Pumps. Design and Installation of Closed-loop systems. Housing Energy Efficiency Best Practice Programme by BSRIA under Contract BRE's Sustainable Energy Centre (BRESEC),
- Metodika Společné stanovisko Ministerstva pro místní rozvoj, Ministerstva zemědělství a Ministerstva životního prostředí k postupu při projektování a povolování tepelných čerpadel využívajících energetický potenciál podzemních vod a horninového prostředí z vrtů.

1.1.2. Související směrnice a rozhodnutí v rámci EU

Evropská unie (EU) ve svém tzv. „klimaticko-energetickém balíčku“, zveřejněném dne 23. ledna 2008, přijala čtyři legislativní předpisy, tedy:

- **Směrnice 2009/29/ES** – směrnice o obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů (EU ETS); náhrada za Směrnici 2003/87/ES,
- **Rozhodnutí 2009/406/ES** – rozhodnutí o rozdělení úsilí k dosažení redukčních cílů emisí skleníkových plynů,
- **Směrnice 2009/31/ES** – směrnice o zachytávání a ukládání oxidu uhličitého (CO₂) do geologického podloží (CCS),
- **Směrnice 2009/28/ES** – směrnice o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů.

Evropská unie rovněž přijala tyto tři hlavní závazky ke splnění do roku 2020, tedy:

- **první závazek** – redukce celkové emise skleníkových plynů alespoň o 20 % oproti stavu v roce 1990,
- **druhý závazek** – redukce spotřeby energie v zemích Evropské unie opět o 20 %,
- **třetí závazek** – dosažení 20% podílu energie z obnovitelných zdrojů na celkové spotřebě energie.

Vzhledem k tomu, že podíl budov na celkové spotřebě energie (jsou uvažovány vytápění, příprava TUV a chlazení) v zemích EU činí 40 % a jejich podíl na emisích CO₂ se pohybuje okolo 35 % (viz http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/construction/en0021_cs.htm), připravila Evropská komise rovněž další směrnice týkající se obecně energetické účinnosti a napomáhající výstavbě nízkoenergetických budov, tedy:

- **Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/27/EU** – směrnice o energetické účinnosti ze dne 25. října 2012,
- **Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU** – směrnice o energetické náročnosti budov ze dne 19. května 2010.

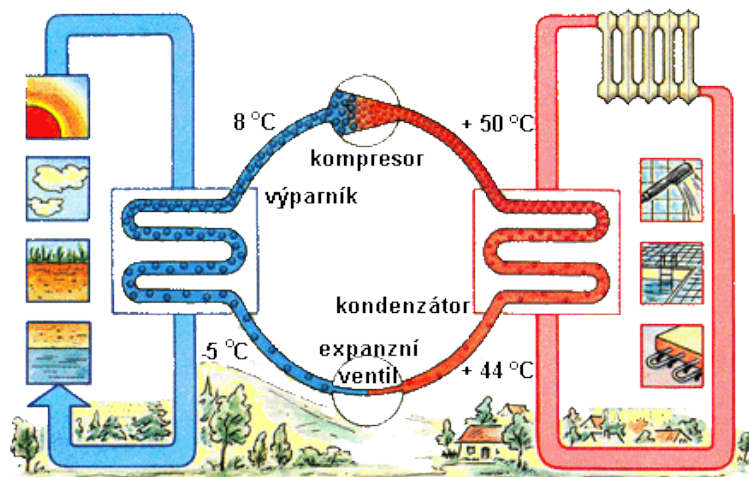
Rovněž je nutno dodat, že Evropská komise připravila v návaznosti na výše uvedenou Směrnici 2009/28/ES také rozhodnutí Komise ze dne 1. března 2013, čímž jsou stanoveny metodické pokyny pro členské státy EU výpočtu energie z obnovitelných zdrojů a z tepelných čerpadel využívajících různé technologie tepelných čerpadel podle článku 5.

V případě tepelných čerpadel poháněných elektrickou energií (typicky kompresorová tepelná čerpadla) je minimální hodnota topného faktoru (SCOP_{net}) stanovena na 2,5; pro srovnání: standardní hodnota topného faktoru pro tepelná čerpadla využívající geotermální energii v podmínkách průměrného klimatu (také na území ČR) činí dle výše uvedeného předpisu 3,5. Těto hodnoty mohou kvalitně provedené instalace dosáhnout a Metodika by tomu měla napomoci.

1.2. Význam tepelných čerpadel

Tepelná čerpadla v kontextu obnovitelných zdrojů energie pro vytápění, přípravu teplé užitkové vody (TUV) a pro chlazení, hrají důležitou roli v naplňování těchto výše zmíněných strategických závazků.

Obrázek 1.1 zobrazuje základní schéma konstrukce a činnosti tepelného kompresorového čerpadla.

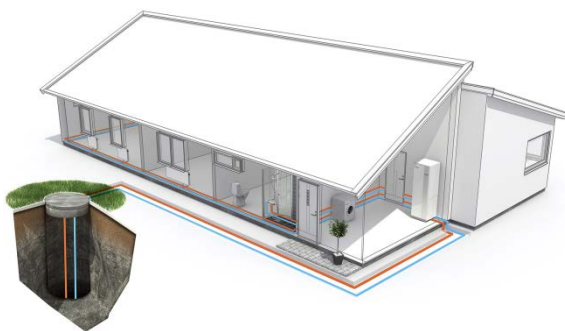


Obrázek 1.1: princip činnosti tepelného čerpadla – **shora vlevo** (piktogramy zdrojů tepelné energie: sluneční energie, vzduch, země, voda) a **shora vpravo** (využití zdrojů: příprava teplé užitkové voda, ohřev vody v bazénu, topení), zdroj: www.techmania.cz

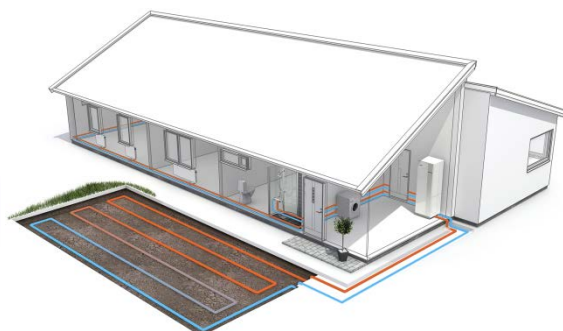
1.2.1. Zdroje primární energie pro systémy s tepelnými čerpadly

Z hlediska prostředí lze zdroje primární energie využívané pro systémy s tepelnými čerpadly rozdělit následovně, tedy:

- **systémy GSHP (Ground Source Heat Pump)** – zdroj energie představuje horninové prostředí v pevné či kapalné fázi:
 - **systém země / voda** – tepelná energie pevné fáze horninového prostředí je předávána do topných systémů s kapalným médiem (viz Obrázek 1.2 a Obrázek 1.3),



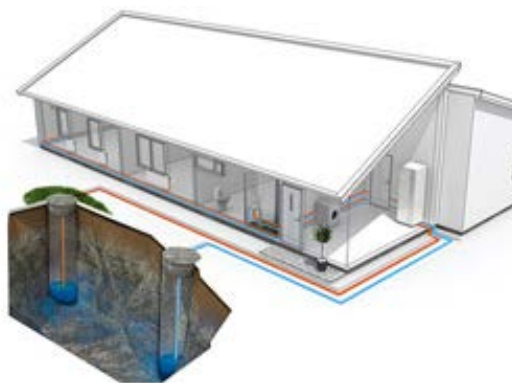
Obrázek 1.2: příklad vertikálního tepelného výměníku s uzavřeným okruhem (GSHP; *closed-loop*);
zdroj: <http://www.soloheatinginstallations.co.uk>



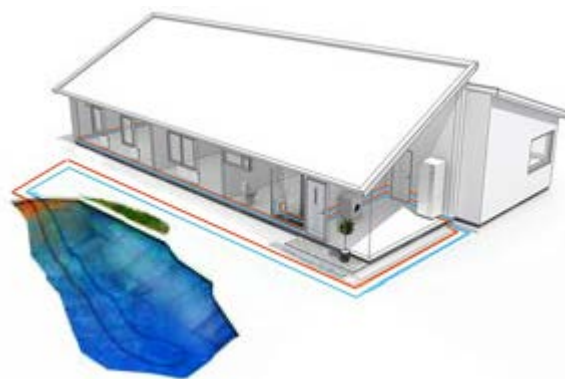
Obrázek 1.3: příklad horizontálního tepelného výměníku s uzavřeným okruhem (GSHP; *closed-loop*);
zdroj: <http://www.soloheatinginstallations.co.uk>

- **systém země / vzduch** – tepelná energie pevné fáze horninového prostředí je předávána do teplovzdušných topných systémů,

- **system voda / voda** – tepelná energie kapalné fáze horninového prostředí je předávána do topných systémů s kapalným médiem,



Obrázek 1.4: příklad systému s otevřeným okruhem (GSHP; *open-loop*) a párem studní – čerpací (vlevo), vsakovací (vpravo);
zdroj: <http://www.soloheatinginstallations.co.uk>



Obrázek 1.5: příklad systému s uzavřeným okruhem (GSHP; *closed-loop*) – využití akumulace povrchové vody;
zdroj: <http://www.soloheatinginstallations.co.uk>

- **system voda / vzduch** – tepelná energie kapalné fáze horninového prostředí je předávána do teplovzdušných topných systémů.
- **systemy AP (Air Pump)** – zdroj energie představuje vzduch (tj. plynná fáze okolní atmosféry):
 - **system vzduch / voda** – viz Obrázek 1.6,
 - **system vzduch / vzduch.**