8. VYUŽITÍ TEPLA ZEMĚ

Jiří Škorpík, ORCID: 0000-0002-3034-1696, skorpik.jiri@email.cz

Úvod 1

Přímé využití geotermální energie 1

● Geotermální výtopny 1 ● Geotermální elektrárny 2

Tepelná čerpadla 3

● Topný faktor 4 ● Charakteristické vlastnosti "čerpání" tepla pomocí zemního výměníku 5 ● Charakteristické vlastnosti "čerpání" tepla z podzemních vod pomocí vrtu 5 ● Charakteristické vlastnosti "čerpání" tepla ze studní 5 ● Charakteristické vlastnosti "čerpání" tepla ze vzduchu 6 ● Obecné podmínky užití tepelného čerpadla 6

Odkazy 6

Článek z on-line pokračujícího zdroje Transformační technologie; ISSN 1804-8293;
www.transformacni-technologie.cz; Copyright©Jiří Škorpík, 2006-2020. All rights reserved.
Tato publikace neprošla redakční ani jazykovou úpravou.

Úvod

Geotermální energie

Planeta Země sdílí energii nejen se Sluncem[2.] (sluneční záření[2.]), ale také s dalšími tělesy ve formě změny kinetické energie způsobený slapovými silami (změny v rotaci Země) a dopady meteoritů apod. Část této energie se transformuje různými cestami na teplo[43.] povrchu Země. Navíc sama Země generuje energii vznikající pod jejím povrchem souhrnně nazývanou geotermální energie. Za geotermální energii je tedy považováno teplo zemského jádra, které již několik miliard let chladne, energie z náhodných jaderných reakcí v nitru Země, energie pohybu zemských desek. V relativně tenké vrstvě (několik metrů) se meziročně akumuluje sluneční energie, ale to už správně geotermální energii není.

Tepelný tok pouze v řádu $mW \cdot m^{-2}$, ale vysoké teploty

Průměrný tepelný tok z nitra Země je o několik řádů menší, než činí sdílený tepelný tok Země a Slunce. Například průměrný tepelný tok z nitra Země v ČR je *62,8* $mW \cdot m^{-2}$ [8, s. 68], tomu odpovídá výkon *4952,8 MW*. Ovšem tepelný odpor Zemské kůry způsobuje, že přibližně každých *100 m* hloubky se zvýší teplota o *3 °C*. V bezprostředním dosahu člověka je tedy k dispozici teplo vázané na horniny o relativně vysoké teplotě.

Přímé využití geotermální energie

Pouze lokální výskyt vemi horkých povrchových hornin

Přímé využití geotermální energie je vázáno na lokality s přirozeným výskytem horkých hornin v blízkosti povrchu Země. Teplem těchto hornin lze ohřívat vodu a tu čerpat na povrch a přímo využívat její vysokou teplotu k vytápění nebo k výrobě páry. V některých místech na Zemi dokonce vyvěrají horké prameny bez pomocí čerpadel.

Lázeňské prameny

V České republice je výskyt takových lokalit minimální a známé prameny se využívají pouze k lázeňským účelům pro jejich malou vydatnost (teplota od *30* do *80 °C* /Karlovy Vary *73 °C*/).

Geotermální výtopny

Jsou státy, kde lze g. energii přímo vytápět

V některých okolních státech je výskyt horkých hornin mnohem častější a voda ohřívána při průtoku takovými horninami má dostatečný výkon i teplotu využitelnou například k vytápění skleníků. Ale například na Islandu jsou natolik vydatné výskyty horkých hornin, že se jejich teplem vytápí celé aglomerace (např. hl. město Reykjavík) [2]. Mluvíme o geotermálních výtopnách.

Geotermální vrt

Pro ohřev vody mají nejlepší předpoklady pórovité horniny, protože jimi dobře protéká voda (v případě masivu je nejprve nutné masiv, například explozemi, roztrhat). Stabilní koloběh vody v takovém ložisku je zajištěn pomocí geotermálních vrtů. Geotermální vrt se obvykle skládá jak z výstupního vrtu, tak

s přívodního vrtu, kterým je k horkým horninám dopravována pod tlakem studená voda. Tento způsob ohřevu vody se nazývá Hot-Dry-Rock (HDR).

Akumulované teplo v okolí vrtu

Po zprovoznění geotermálního vrtu jeho výkon postupně klesá tak, jak se ochlazuje původní hornina. Tento výkon, po vyčerpání akumulovaného tepla v horninách klesne, na hodnotu odpovídají tepelnému toku z nitra Země v dané oblasti.

Geotermální elektrárny

Použité technologie

V geotermálních elektrárnách využíváme k výrobě elektřiny parní oběh[6.] v místech, kde teploty geologických vrstev dosahují alespoň *200 °C* (při nižších teplotách je možné použít ještě Kalinův oběh[25.], případně další vhodné typy tepelných oběhů[6.]).

Požadavky na lokalitu

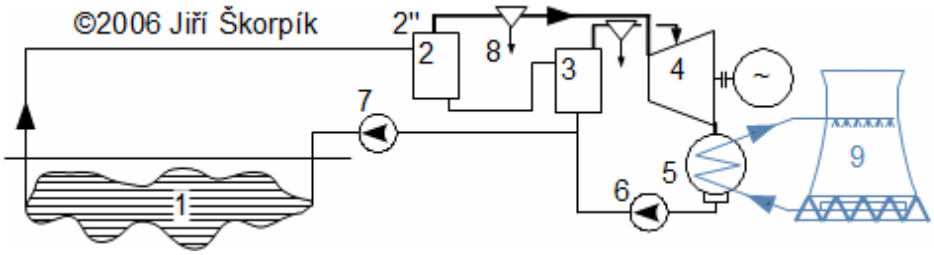
Zdrojem tepla pro parní oběh jsou horké horniny obvykle ve větších hloubkách, než které postačují pro výtopny a lázeňství. V geologicky neaktivních lokalitách se tento systém vyplatí přibližně tam, kde je gradient[42.] nárůstu teploty s hloubkou větší než *3 °C/100 m*. Průměrný tepelný tok z jádra Země je totiž příliš malý, a proto vyhloubený prostor pro adekvátní výkon by musel mít neekonomicky veliký objem.

Především Island

Geotermální elektrárny se nacházejí např. v Itálii, USA, Novém Zélandu, Islandu a v dalších geologicky podobných lokalitách [5]. Zvláště oblast Islandu je velmi geologicky aktivní a nacházejí se tam oblasti s velmi horkým prostředím (teplota *180* až *300 °C* v hloubkách 1 až *2 km* nebo až *700 °C* v hloubkách *3* až *5 km*), proto se zvažuje ekonomická smysluplnost dodávky Islandské elektřiny pomocí vysokonapěťového stejnosměrného kabelu do Evropy [2].

Princip geotermální elektrárny

V případě parní elektrárny je horká voda přiváděna do uvolňovače páry a vzniklá pára je využita standardním způsobem v parním oběhu (v případě Kalinova oběhu je uvolňovač páry nahrazen povrchovým tepelným výměníkem pro ohřev roztoku čpavku a vody), viz *Obrázek 1114* a *1115*. Po kondenzaci je voda čerpána zpět do vrtu k dalšímu ohřevu.



1114 *Schéma zařízení pro realizaci parního oběhu využívající geotermální energii*

1 Horká voda; **2-3** vysokotlaký, respektive nízkotlaký uvolňovač syté páry; **4** parní turbína[11.]; **5** kondenzátor; **6** kondenzátní čerpadlo[11.]; **7** napájecí čerpadlo vrtu; **8** separátor vodních kapek a hrubých nečistot v páře; **9** chladící věž[43.].

Nečistoty

Problémy v geotermálních elektrárnách způsobuje relativní vysoká nečistota vody z podzemních vrtů (především rozpuštěné plyny a minerální látky s vysokým podílem síry a čpavku). Tyto nečistoty způsobují zvýšené opotřebení všech součástí (především

1115 *Geotermální elektrárna Krafla 2x30 MW (Island) a výměna rotoru turbíny*
1 strojovna; **2** chladící věže; **3** rozvodna elektřiny; **4** parní separátor, **5** parovod; **6** zdroje páry. V tomto případě je zdrojem horké vody vrt v blízkosti vulkánu. Zdroj: [3].

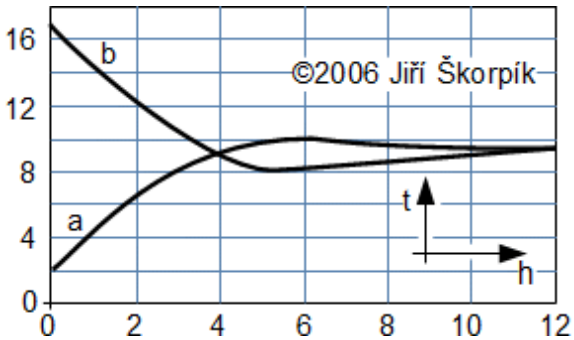
turbín) mechanickým i chemickým způsobem. Rozpuštěné plyny zase způsobují problémy v kondenzátoru, kde zvyšují tlak kondenzace, a je proto nutné je odsávat z prostoru kondenzace pomocí vývěv [4]. Kvůli těmto negativním vlastnostem geotermální páry se místo uvolňovače páry instaluje povrchový výměník (parogenerátor), kde z jedné strany horká voda z vrtu postupně ohřívá až k teplotě varu čistou vodu v okruhu turbíny. Tento způsob ale negativně ovlivňuje celkový výkon a tepelnou účinnost elektrárny.

Tepelná čerpadla

Akumulace energie v povrchových vrstvách, tzv. nízkopotenciální teplo

Během slunečných dnů se povrch Země ohřívá zářením Sluncem, případně ji ohřívá horký proud vzduchu při povrchu země, který se ale ohřál někde dříve o povrch Země nebo vodní hladinu. Nejedná se tedy o geotermální energii z jádra Země, ale o akumulovanou sluneční energii. V zimě se naopak postupně vrchní vrstvy povrchu Země a vzduch ochlazují, viz *Obrázek 605, s. 4*. Konkrétně takovým zdrojem tepla může být povrchová zemina, povrchová i podpovrchová voda a vzduch dokonce lze odebírat ze solární kolektoru[2.] atd. Protože zvýšení teploty teplonosných médií tímto způsobem není vysoké, mluvíme o nízkopotenciálním teplu.

605 *Průběh teploty neporušené zeminy (Německo)*

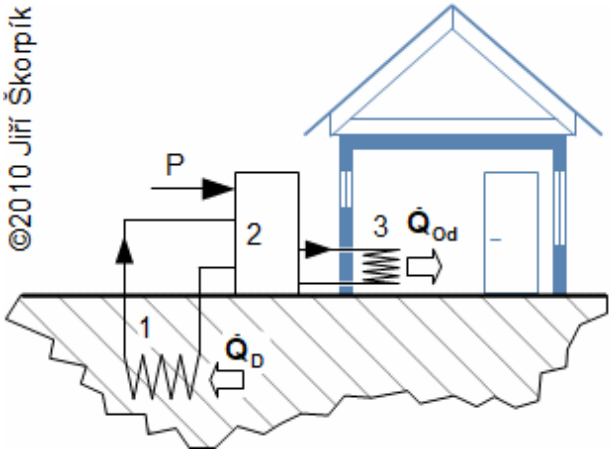


a leden; **b** červenec; **t** [°C] teplota zeminy; **h** [m] hloubka měření. Zdroj [7].

Princip tepelného čerpadla

Množství tepla, které je takto během roku ve vrchních vrstvách akumulováno je obrovské, ale jeho nízká teplota brání jeho

přímému využití, alespoň k vytápění. Nicméně za vhodných podmínek lze zvýšit teplotní úroveň nízkopotenciálního tepla pomocí tzv. tepelného čerpadla, anichž bychom k tomu potřebovali více energie než získáme – vlastní převod se realizuje pomocí vhodného tepelného oběhu. Zjednodušeně lze říci, že se jedná o zařízení, které obsahuje studený konec, ze kterého se "čerpá" teplo do vyšší teploty na teplém konci zařízení, viz *Obrázek 1116*.



1116 *Princip tepelného čerpadla využívající akumulované teplo v zemi pro vytápění*

1 primární tepelný výměník umístěný v zemi naplněný teplonosnou látkou; **2** zařízení tepelného čerpadla; **3** sekundární tepelný výměník; **P** [W] příkon tepelného čerpadla (obvykle elektřina); $\dot{\mathbf{Q}}_{\mathbf{D}}$ [W] teplo do oběhu přivedené; $\dot{\mathbf{Q}}_{\mathbf{Od}}$ [W] teplo z oběhu odvedené.

Chladící oběh s kompresorem

Existuje více tepelných oběhů vhodných pro tepelná čerpadla – v termodynamice se obvykle označují jako chladící oběhy. Nejčastěji se u tepelných čerpadel používá chladící oběh s kompresorem[6], u kterého bývá teplota kondenzace pracovní látky mezi *50* až *60 °C*. Skupenské teplo kondenzace je odváděno chladící tekutinou (nejčastěji voda). Var pracovní látky probíhá při tlaku a teplotě nižší než jsou kondenzační paramaetry (i nižší než je *0 °C*). Více o fungování a typech pracovní tekutiny chladícího oběhu v tepelném čerpadlu např. v [6].

Topný faktor

Definice topného faktoru

Topný faktor je definován podobně jako chladící faktor[6], s tím rozdílem, že jde opět o poměr množství vyrobeného tepla a spotřebované elektřiny. Z definice chladícího oběhu i topného faktoru je zřejmé, že topný faktor roste s rozdílem teplot mezi kondenzací a vypařováním.

Optimální hodnota topného faktoru záleží na tepelné účinnosti výroby elektřiny z tepla

Tepelné čerpadlo pomocí přivedené vnější práce zvyšuje teplotu pracovní tekutiny na úroveň využitelnou pro vytápění. Množství získaného tepla je větší, než činí přivedená práce, takže je to výhodnější, než práci (elektřinu, která se při této práci spotřebuje) pomocí ztrát (třením) přeměňovat na teplo a přímo tím vytápět. Na druhou stranu, výroba tepla tímto způsobem nemusí být vždy výhodná v celkovém kontextu energetické bilance státu, protože kompresor je poháněn elektřinou většinou vyrobenou pomocí

tepelného oběhu. V takových případech se vytápění tepelným čerpadlem vyplatí jen tehdy, jestliže vyrobeného tepla je více, než množství tepla potřebného pro výrobu spotřebované elektřiny. K takovému hospodárnému užití dochází, pokud je tzv. topný faktor větší než převrácená hodnota účinnosti tepelného oběhu[43] (přesněji by se mělo jednat o celkovou účinnost bloku elektrárny viz. například podkapitola Spalování uhlí v uhelných elektrárnách[7] vynásobenou účinností přenosu elektřiny ke spotřebiteli, která je uvedena v článku 10. Principy výroby elektřiny a tepla v domácnostech[10]). V podmínkách ČR by měl být topný faktor vyšší jak *3*, aby byl provoz tepelného čerpadla smysluplný.

Charakteristické vlastnosti "čerpání" tepla pomocí zemního výměníku

Podchlazení okolní zeminy, kterou ohřejí až letní teploty

Pokud zdrojem tepla bude teplo zeminy, je zapotřebí primární tepelný výměník umístit ve vhodné hloubce, kde je dostatečně vysoká teplota i v zimním období. Při instalaci takového výměníku do země je nutné počítat s podchlazením této části pozemku oproti okolní zemině, protože tepelný tok do výměníku je prakticky vždy větší než z okolí do ovlivněné zeminy (pro představu průměrný tok geotermální energie o výkonu *5 kW* je ekvivalentem *79 618* m^2, přesně takovou plochu by potřeboval tepelný výměník o stejném příkonu, který by zeminu nepodchlazoval, protože by využíval jen geotermální energii a nikoliv akumulovanou sluneční energii).

Velikost zemního výměníku

Teplosměnné plochy primárního výměníku (trubky) jsou umístěny *1,2* až *1,6 m* pod povrch země. Plocha ochlazované země by měla být asi 3x větší než plocha vyhřívaná. *5* až *8 m* výkopu na *1 kW* tepelného zisku. Získaný tepelný výkon v zimním období je cca *10* až *40* $W \cdot m^{-2}$ (suchá půda menší hodnoty; půda se spodní vodou větší hodnoty).

Charakteristické vlastnosti "čerpání" tepla z podzemních vod pomocí vrtu

Menší podchlazení díky podzemním prodům vody

Jedná se o získávání tepla z větších hloubek, respektive z vrtů. Vrt pro tepelné čerpadlo rodinného domu mívá hloubku od *50* do *120 m* v podmínkách ČR, ve světě *100* až *200* (BHE – borehole heat exchangers). Jedním vrtem je vedeno přívodní i odvodní potrubí teplonosného média. Získaný měrný tepelný tok je opět velice závislý na typu půdy. Suchá půda s nízkou tepelnou vodivostí *30* $W\ m^{-1}$ délky vrtu, vlhká půda s podzemní vodou až *100* $W\ m^{-1}$ délky vrtu.

Charakteristické vlastnosti "čerpání" tepla ze studní

Žádné podchlazení díky dvěma vrtům, ale velké pož. na vydatnost podze. proudu

Princip spočívá v tom, že ze studně či mělkého vrtu je odčerpávána voda (*7* až *12 °C*). Tato voda je ochlazována, respektive je z ní pomocí tepelného čerpadla odňata část tepelné energie. Ochlazená voda je pouštěna do druhé studně. Jsou tedy nutné dvě studny

(vrty). Přičemž na *1 kW* tepelného výkonu čerpadla je potřeba cca *180 $l \cdot h^{-1}$* vody. Odběrová studna musí mít velký průměr, aby nedocházelo ke strhávání zeminy proudem vody, zvláště u studní v písčité zemině.

Charakteristické vlastnosti "čerpání" tepla ze vzduchu

Nízká teplota vzduchu, ale nehrozí jeho podchlazení

Jedná se o nejjednodušší systém s tepelným čerpadlem. Teplo je odebíráno okolnímu vzduchu. Problémy jsou pouze při velmi nízké teplotě vzduchu, kdy se snižuje topný faktor tepelného čerpadla. Primární výměník může fungovat přímo i jako výparník tepelného čerpadla – záleží na typu tepelného čerpadla a pracovní látce. Teplo ve vzduchu ovlivňuje především okamžité množství zachyceného slunečního záření v okolí výměníku a nejen teplo akumulované v zemské mase.

Obecné podmínky užití tepelného čerpadla

Jezero, řeka a třeba i solární kolektor

Primární tepelný výměník může být umístěn (mimo výše zmíněné případy) také v řece, jezeru-rybníku či může odebírat teplo ze solární kolektoru[2] atd.

Nebezpečí "vybití"

Tepelné čerpadlo by mělo být navrženo a provozováno tak, aby se v období mimo topnou sezónu okolní zemina/hornina ohřála na původní teplotu. V opačném případě by docházelo postupně ke snižování teploty okolí primárního výměníku, a tím by se snížil topný faktor a výkon tepelného čerpadla. Také umístění primárního výměníku se musí vybírat citlivě s ohledem na okolí, především v případě zemědělského využití plochy nad výměníkem, protože na jaře vydrží tato plocha delší dobu chladnější než okolní plochy.

Obrácený chod tepelného čerpadla

Zrychlit zvyšování nebo i zvýšit teplotu okolní zeminy primárního výměníku v letní sezóně je možné speciálním typem tepelných čerpadel, která jsou schopna vytápěné místnosti v zimě vytápět a v létě ochlazovat. Takové čerpadlo funguje v zimě i v létě stejně, ale prohodí okruhy mezi primárním a sekundárním výměníkem z *Obrázku 1116, s. 4*. Jestliže v létě bude tepelné čerpadlo zeminu ochlazovat a místnost ohřívat, tak po prohození okruhu výměníků se bude teplem z místnosti (bude ochlazována) ohřívat zemina [1].

Odkazy

[1] ČÍŽEK, Petr. Jak geologické poměry ovlivňují provoz tepelných čerpadel, *Alternativní energie*, 2004, č. 4. Praha: CEMC – České ekologické manažerské centrum.

[2] TŮMA, Jan. Island nabízí Evropě elektřinu, *Technický týdeník*, č. 5, 2013. Praha: Business Media CZ, ISSN 0040-1064.

[3] *Landsvirkjun*. Elektrárenská společnost, Island. Dostupné z http://www.landsvirkjun.com. [cit.-2010]

[4] NIELSEN, Gunnlaugur, MAACK, Runólfur, GUDMUNDSSON, Ásgrímur, GUNNARSSON Gunnar. *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, Completion of Krafla geothermal power plant, 2000, May 28...June 10. Kyushu-Tohoku, Japan, Dostupné z http://www.geothermal-energy.org.

[5] *European geothermal project for the construction of a scientific pilot plant based on an Enhanced Geothermal System*. Projekt na využití geotermální energie pro výrobu elektřiny systémem Hot – Dry – Rock v oblasti Soultz-sous-Forets (Francie). Dostupné z http://www.soultz.net. [cit. 2010]

[6] ZLATAREVA, Veneta. *Tepelná čerpadla*, 2001. Praha: ČEA-česká energetická agentura, [on-line]. Dostupné dostupné z http://www.mpo-efekt.cz. [cit. 2012].

[7] PAUL, Eberhard. Využití zemních výměníků tepla ve spojení se zařízením pro bytové větrání a rekuperaci tepla, *TZB-info*, 2005, 10. říjen. Praha: Topinfo s.r.o., ISSN 1801-4399. Dostupné z http://www.tzb-info.cz.

[8] KADRNOŽKA, Jaroslav. *Globální oteplování země*, 2008. Vydání první. Brno: VUTIUM, ISBN 978-80-214-3498-1.

Bibliografická citace článku

ŠKORPÍK, Jiří. Využití tepla Země, *Transformační technologie*, 2006-11, [last updated 2020-11-10]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z https://www.transformacni-technologie.cz/08.html.