

Využití zemského polomasivu pro ukládání odpadního tepla a sluneční energie

Utilisation of earth's half-massif for waste heat and solar energy storage

Ing. Jakub HUML,
Doc. Ing. Karel BROŽ, CSc.
ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav
techniky prostředí

Recenzent
prof. Ing. Karel Hemzal, CSc.

V článku se uvádějí obecná pravidla pro čerpání tepla ze svislých zemních vrtů s výměníky tepla a pro opačný děj – ukládání tepla z těchto vrtů zpět do zemského polomasivu. Je popsáno realizované zařízení na ČVUT, fakultě strojní, které obě tyto funkce umožňuje.

Klíčová slova: tepelné čerpadlo, sluneční energie, zemský polomasiv, akumulace tepla, svislé vrty, výměníky tepla

The article presents common rules for pumping heat out of vertical earth drill holes with heat exchangers and for the reverse process – storing the heat from these drill holes back into the earth's half-massif. The description of the equipment, implemented at the Czech Technical University in Prague, Faculty of Mechanical Engineering, enabling these both functions is presented.

Key words: heat pump, solar energy, earth's half-massif, heat accumulation, vertical drill holes, heat exchangers

Zemský polomasiv je tzv. alternativním zdrojem tepla. Patří do skupiny obnovitelných zdrojů energie, tedy ke zdrojům, jejichž odčerpání je v současné době v nedohlednu. Původcem geotermální energie v zemi je, resp. bylo sluneční záření spolu s jadernými přeměnami uvnitř země. Charakter této energie je na většině plochy země nízkopotenciální, tzn. teploty, kterými polomasiv disponuje jsou relativně nízké. Z tohoto vyplývá, že je třeba k využití geotermální energie země použít nějaký „transformátor energie“, kterým je ve většině případů tepelné čerpadlo.

V podmínkách naší republiky je, až na několik málo výjimek, geotermální energie skutečně nízkopotenciální. Teplota země od jisté hloubky (cca 5 metrů) přibližně konstantně roste s teplotním gradientem 1,5 až 3 K na 100 metrů hloubky (záleží na výskytu spodních vod, na možné erupční činnosti v oblasti atd.). V extrémních se i na našem území vyskytuje teplotní gradient až 6 K/m, zejména v horských a podhorských oblastech severních Čech. Rozložení teplotního gradientu v České republice ukazuje obr. 1.

K výkyvům vlivem počasí a ročního období dochází v oblasti teploty masivu jen do celkem omezené hloubky cca 2 až 3 m od povrchu (obr. 2). Vzhledem k výše uvedenému i vzhledem k předpokládané oblasti využívání tepla (hloubky kolem 100 metrů) můžeme zemský polomasiv označit za zdroj tepla s přibližně konstantní teplotou.

Při pohledu opačným směrem dojdeme k podobným závěrům i pro využití zemského polomasivu jako akumulátoru tepla. Jedná se o opačný případ – nechceme teplo ze země získávat, ale chceme je naopak do země ukládat. Motivů k tomu může být několik. Jednak procesem ukládání (a tím odčerpávání tepla z chlazeného prostoru) získáváme „zdroj chladu“, jednak můžeme tímto způsobem zemský polomasiv „nabíjet“. Jde o jakousi alternativu ke klasičtějším akumulátorům tepla (nejčastěji vodní akumulací nádoby). Zemský polomasiv má oproti zmíněnému klasičtěmu akumulátoru několik výhod. Jednak je možné do země uložit nesrovnatelně větší množství tepla (při pomnutí extrémních výkonů množství téměř nekonečné), což je zejména při jeho funkci zdroje chladu žádoucí, a především se jedná o akumulaci dlouhodobou, z hlediska časově rozložené potřeby čerpání tepelné energie zvláště výhodnou. Při užívání polomasivu výhradně jako zdroje tepla dochází k jeho postupnému vychlazování, čehož příčinou je právě výhradní odčerpávání tepla (obr. 3). Pokud v části sezóny do země teplo naopak přivedeme a to ve srovnatelném množství jako odvádíme, k dlouhodobému vychlazování vrtu a jeho blízkého okolí by docházet nemělo.

Tok tepla předávaného zemním výměníkem (vrtem) je značně závislé na struktuře resp. teplotních vlastnostech půdy, kterou výměník prochází. Při neznalosti geologického složení podloží můžeme počítat s průměrným měrným výkonem jímání 55 W/m (pro vrt o průměru 110 až 150 mm), podrobnější hodnoty pak najdeme v tab. 1.

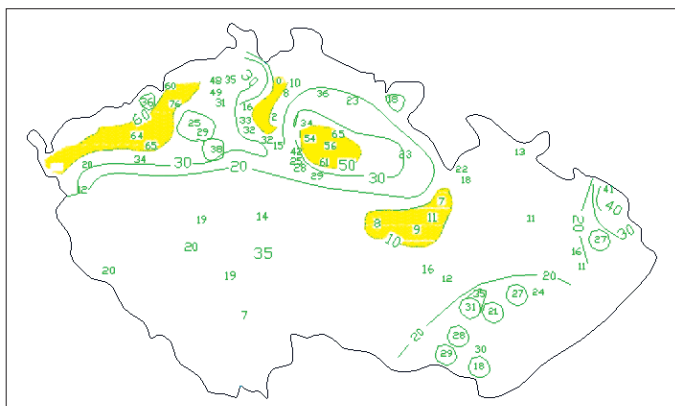
Tab. 1 – Měrné výkony jímání hlubinného vrtu o průměru 110 až 150 mm

Hornina s velkým výskytem spodní vody	100 W/m
Pevná hornina o vysoké tepelné vodivosti	80 W/m
Normální pevná hornina	55 W/m
Špatná zemina se suchými usazeninami	30 W/m

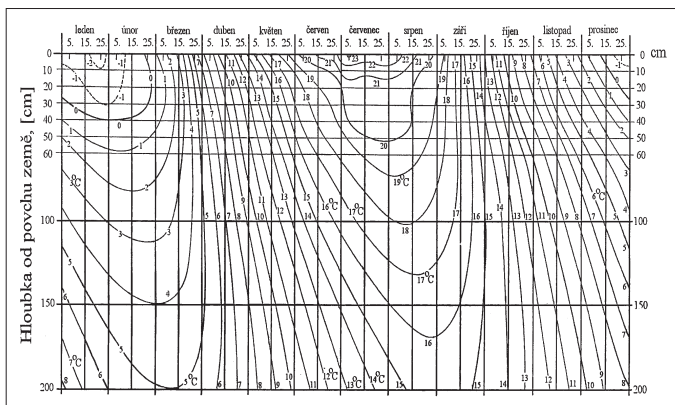
Druhým, neméně důležitým faktorem určujícím měrný výkon jímání vrtu je typ zemní sondy (obr. 4). Nejjednodušším typem vrtu je U-trubice, kde jednou trubici teče teplonosná kapalina do vrtu a druhou z vrtu ven. S ohledem na výhodnější geometrické uspořádání a lepší využití průřezu kruhového vrtu je častěji a s lepší účinností využívána dvojitá U-trubice, u níž je jak přívod tak i odvod kapaliny zdvojen. Další možností vedení kapaliny v zemním výměníku je koaxiální sonda – kapalina je do vrtu čerpána středovou trubkou a ven proudí mezikružím mezi středovou a vnější trubkou. Dalším vývojovým stupněm koaxiálního uspořádání trubek je multikoaxiální typ, u něhož je přívod zajištěn jednou vnitřní trubkou patřičného průřezu a odvod pak větším počtem menších trubek umístěných po obvodu přívodní trubky.

Dostaneme-li se při návrhu vytápěcího systému do situace, že chceme jako zdroje tepla využít geotermální energii země, je vhodné zabývat se sledovanou problematikou. Může se nám totiž podařit využít země nejen jako zdroj tepla, ale též jako zdroj chladu. K tomuto se využívá stejného zařízení (tepelné čerpadlo, vrt v zemi), stačí pouze oba systémy patřičně propojit a zajistit jejich regulaci. Konkrétní příklad takto navrženého a především zrealizovaného systému je na následujícím schématu (obr. 5).

Zařízení bylo zrealizováno na Ústavu techniky prostředí U 216 Strojní fakulty ČVUT v Praze. Základem zařízení je 100 metrů hluboký vrt o průměru 140 mm umístěný na dvoře fakulty. Ve vrtu jsou umístěny dvě U-trubice PE 28 x 2 vedoucí teplonosnou kapalinu. Tou je v našem případě směs glykolů (30 %) s vodou. Vrt je vzdálen cca 5 metrů od budovy, v níž je umístěna laboratoř s tepelným čerpadlem a ostatními částmi soustavy. Ve vzdálenosti 7 metrů od zdroje



Obr. 1 Teplotní gradienty v hlubkovém intervalu 0 až 100 m na území České republiky

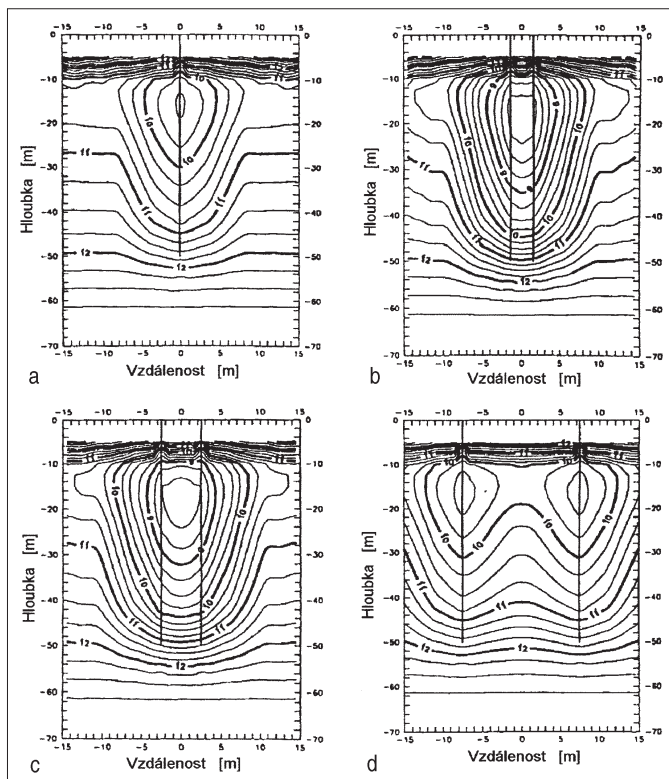


Obr. 2 Průměrné roční teploty půdy v závislosti na hloubce od povrchu země (oblast do 2 m hloubky)

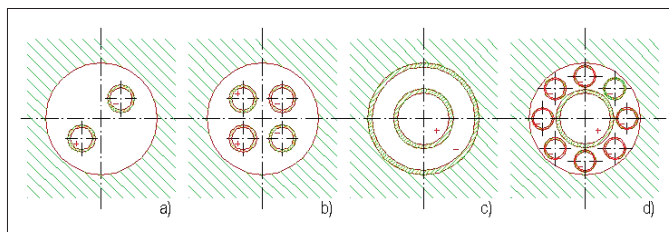
vého vrtu je vyhlouben další, stejně hluboký vrt měřící. Tímto vrtem je sondováno jednak rozložení teplot země v oblasti čerpání a ukládání tepla a jednak je sledována teplotní odezva na zmíněné procesy. Sekundární část systému je navržena pro vytápění a při letním provozu pro chlazení laboratoří a přilehlých kanceláří. Otopná voda je akumulována do nádrže o objemu 0,5 m³, odkud je v případě potřeby odebírána a při nedostatečné výstupní teplotě dohřívána elektrickou patronou o výkonu 6 kW.

Na zařízení jsou napojeny dvě soustavy – otopná a chladicí. Otopná soustava je napojená přes trojcestnou směšovací armaturu na akumulaci nádrž. Sestává z 11 deskových otopných těles s nominálním teplotním spádem na soustavě 50/40 °C, čerpadla a expanzní nádoby. Pro dohřátí vody při případném vybití akumulaci nádrže je na OS nainstalována již zmíněná dvoustupňová elektrická patrona. Celková tepelná ztráta vytápěných místností je 6,6 kW a při dlouhodobém zapnutí tepelného čerpadla je zcela hrazena z akumulaci nádrže. Při provozování zařízení jako zdroje chladu (viz níže) je připojena chladicí soustava. Ta sestává z akumulaci nádrže na chlad o objemu 4 m³ na niž je dále napojena VZT jednotka o chladícím výkonu 30,9 kW, chladicí strop o výkonu 1 kW a ochlazovaná stěna s výkonem 10 kW. Tato zařízení čerpají chlad ze zmíněné nádrže, do níž je (bez zapojení tepelného čerpadla) dodáván dvěma venkovními jednotkami Carrier o jmenovitém výkonu 18 kW.

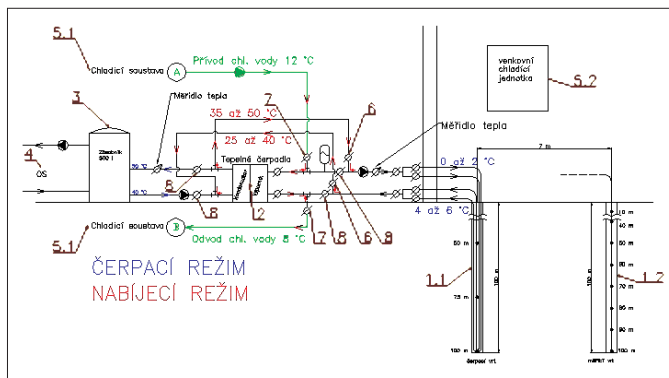
Zařízení je možné provozovat dvěma způsoby. Při uzavření kohoutů na obtokcích (6) a propojek do chladicího okruhu (7) pracuje systém zcela běžně. Z vrtu (1.1) je tepelným čerpadlem (2) čerpáno teplo do vodního zásobníku tepla (3) a z něj pak dále do otopné soustavy (4). Po skončení topné sezóny, respektive ve chvíli, kdy není potřeba získávat teplo ze země a je naopak potřeba chladu (pro akumulaci do nádrže chladu), je možné systém přepnout, tj. otevřít kohouty na obtoku (6) a propojení (7), uzavřít kohouty původního okruhu (8) a využít tepelné čerpadlo k transformaci tepla opačným směrem, tedy do vrtu (1.1).



Obr. 3 Rozložení teplotního pole kolem dvou vertikálních výměníků (vrtů) po třech letech provozu v závislosti na vzdálenosti mezi nimi [2] a – 0 m, b – 3 m, c – 5 m, d – 15 m



Obr. 4 Typy zemních sond
a) jednoduchá U-trubice, b) dvojitá U-trubice, c) koaxiální typ, d) multikoaxiální typ



Obr. 5 Schéma soustavy (šipky ukazují proudění teplotních látek při čerpání tepla z vrtu)

Tím můžeme odstavit venkovní chladicí jednotku (5.2) a k chlazení teplotní látky v chladicím okruhu dochází ve výparníku tepelného čerpadla (2) (viz schéma). U našeho experimentálního zařízení je přechod mezi oběma systémy realizován ručním přepnutím kohoutů a odstavením chladicí jednotky, při komerčním využití by bylo vhodné proces řídit automatickou regulací.

Projektované parametry jednotlivých částí zařízení jsou následující:

topný výkon tepelného čerpadla	8,5 kW
chladicí výkon tepelného čerpadla	5,5–6 kW
tepelný výkon do otopné soustavy	8,5 kW
tepelný výkon zdrojového vrtu	do 6 kW
elektrický příkon tepelného čerpadla	2,2–3 kW
el. příkon chladicích jednotek Carrier	8,5 kW.

Myšlenka ukládat solární teplo resp. odpadní energii do zásobníku tvořeného zemními vrty není rozhodně nová. Již v roce 1976 proběhly první experimenty ve Francii a později, začátkem 80. let ve Švédsku. První rozsáhlejší systém vrtů pro ukládání tepla pro vysokoteplotní aplikace byl realizován ve Švédském Luleä v roce 1982, následovaly pak realizace v Nordell v letech 1990 a 1994. Největší takto koncipovaný akumulací systém na světě je v provozu na Richard Stockton State College v Pomoně v USA. Jeho parametry jsou úctyhodné – 400 vrtů hlubokých 135 metrů a využívaný objem masivu 1 080 000 m³. Byl sestaven a uveden do chodu v roce 1995 a slouží k vytápění a chlazení části koleje. Náš systém je nesrovnatelně skromnější, avšak z hlediska měření a počítačové simulace také inspirující. Navíc jeho parametry jsou výkonově velmi blízké možnému použití v rodinných domcích případně malých kancelářských objektů.

V nadpisu je zmíněn ještě jeden zdroj tepla pro nabíjení zemního „akumulátoru“. Je jím sluneční záření. Toto řešení je zatím pouze ve fázi teoretických příprav, ale stávající systém je k takovému rozšíření připraven. Předpokládáme, že by bylo možné ve vhodné a především stávajícímu zařízení blízké lokalitě postavit patřičně velkou plochu solárních kolektorů a získané teplo buď přímo spotřebovávat v otopné soustavě nebo ho akumulovat do země. To bychom ukládali stejným způsobem přes tepelné čerpadlo a zemní vrt.

V současné době probíhá též příprava na simulační řešení problematiky ukládání tepla do zemského polomasivu. K simulaci bude použit SW TRNSYS a naším záměrem je též využít zemní modul DST, který je právě pro ukládání a vedení tepla v zemi velmi vhodný.

Použité zdroje:

- [1] *Tepelná čerpadla* – projektování a instalace, 1998, STIEBEL ELTRON
- [2] Svatoň, P.: *Studie zemních výměníků pro tepelná čerpadla*, závěrečný projekt, 1998
Technická dokumentace k realizovaným projektům otopné soustavy a klimatizace laboratoří U 216
- [3] CANE, D., CLEMES, B. and MORRISON, A.: *Heat exchanger sizing for vertical closed loop ground-source heat pumps*, Solar Engineering – Vol. 1, ASME 1995. ■

ZE ZAHRANIČNÍ LITERATURY

- Chan, G.Y., Chao, CH.Z.: Quantification of Indoor TVOC Levels from Different Sources in Mechanically Ventilated Buildings (Kvantitativní hodnocení koncentrace těkavých uhlovodíků z různých zdrojů v klimatizovaných budovách).

Indoor+Built Environment, 11, 2002, č. 6, s. 340–350.

V 17 budovách s klimatizací (sloužily různým účelům, od fitness center, knihoven, služeb, zdravotnictví po administrativu, jejich stáří bylo 5 až 40 let a pracovalo v nich trvale 5 až 184 zaměstnanců) byly monitorovány koncentrace těkavých uhlovodíků v ovzduší (některé jsou karcinogenní) a sledován jejich zdroj. Měření bylo dlouhodobé od června 1998 do srpna 2000.

Zdrojem těkavých uhlovodíků byl stavební a zařízovací materiál, sami lidé a venkovní vzduch, přiváděný klimatizací. Byly současně použity dvě metody, které jsou popsány.

Střední emise těkavých uhlovodíků ze stavebních materiálů byla 0,19 μg · m⁻² a od zaměstnanců 5 μg · s⁻¹/os. Na vyústkách klimatizace byla naměřena střední koncentrace 0,21 μg · s⁻¹. Z dlouhodobých měření vyplývá, že koncentrace těkavých uhlovodíků ve vnitřním ovzduší se mění v závislosti na denní době a chodu klimatizace. Lze říci, že během dne se na výsledné koncentraci podílely stavební materiály 17,5 %, lidé 14,9 % a 67,6 % přicházelo z venkovních zdrojů. Absolutní koncentrace však závisí na chodu klimatizace, která velkou část sledované škodliviny současně odváděla. V budovách, kde je nepřetržitý chod klimatizace se koncentrace těkavých uhlovodíků udržuje na trvale nízkých hodnotách. Tam, kde je klimatizace na noc vypnuta nebo zajišťuje jen nouzové větrání, dochází k citelnému vzestupu všech škodlivin, jejichž zdrojem je stavební materiál (těkavé uhlovodíky stouply ze 17,5 až na 32,2 % z naměřené celkové hodnoty). Autoři upozorňují, že kvalitnější ovzduší je v budovách, kde klimatizace pracuje nepřetržitě.

(Laj)

* Sto let vrstveného skla

Letos uplyne 100 let od vynálezu lepených skel francouzským chemikem Édouardem Benedictusem. Jeho jméno nese cena, kterou od roku 1988 a 50. výročí zahájení výroby polyvinylbutyralové fólie uděluje největší světový výrobce PVB fólie Butacite, americký DuPont za nejlepší aplikaci vrstvených skel.

Vrstvená skla s fólií Butacite představují světový bezpečnostní standard. Vícevrstvá skla Sentryglass a skla odolná vůči delaminaci Sentryglass Plus jsou účinnou ochranou proti vloupání a mohou být řešena i jako neprůstřílná v provedení Spallshield. Nové typy fólie mají vyšší ochranu před IR a UV zářením, zvukové tlumení a nižší tepelnou vodivost. Předností nové fólie Soft White Butacite je, že propouští bez omezení světlo ale brání nežádoucímu pohledu do objektu, podobně jako strukturovaná mrazová skla. Na rozdíl od nich je povrch skla hladký a lze jej snadno čistit ručně i mechanicky jako běžné ploché sklo.

Největší světová aplikace vrstveného skla je na nejvyšší budově světa Petronas Twin Towers o výšce 452 metrů v Kuala Lumpur v Malajsi. Zde architekt Cesar Pelli použil 56 000 m² dvojskla s fólií Butacite, aditivovanou pro absorpci UV záření, na prosklení pláště (z celkového prosklení 77 000 m²) dvou 88patrových věží a 58,4 m dlouhého spojovacího mostu v úrovni 41. a 42. patra.

Prvním evropským použitím fólie Soft White Butacite je skleněná fasáda nástavby budovy Conseil Comercial v Barceloně u 160 m² vrstveného trojskla s dvěma vrstvami 4mm skla s 0,76 mm mezivrstvou fólie, 12mm vzduchovou mezerou a 5mm krycí vrstvou skla.

Firemní literatura DuPont, Ženeva 2002 (AB)

* AHR Expo – mezinárodní výstava klimatizační techniky, vytápění a chlazení – Chicago, 27. až 29.1.2003

Největší oborová výstava na americkém kontinentě, pořádaná každoročně od r. 1930, předčila letos všechny rekordy. Ve dvou dnech ji navštívilo více než milion návštěvníků z 50 států USA a dalších 125 zemí, kteří shlédli nabídku 1800 firem ze 30 států světa. Současně se konalo několik akcí, mj. proběhlo třináct odborných seminářů. Nejvýznamnější byla konference ASHRAE. Odborná část byla letos zaměřena na problémy s vlhkostí v budovách a na problematiku plísní. Jednotlivé bloky přednášek byly zaměřeny na laboratorní techniky kultivace plísní, na jejich zdravotní důsledky, na podmínky pro jejich růst v klimatickým zařízením, na kontrolu vlhkosti v malých obytných budovách. Velká diskuse byla na téma „vždy do domů zatékalo, proč jsou až nyní problémy s plísněmi?“ Diskutující se shodli, že nové materiály jsou k plísním mnohem citlivější a plísně na nich dobře rostou.

Resumé přednesených sdělení a množství dalších informací, např. o oceněných exponátech aj. najde zvidavý čtenář na adrese www.ahrexpo.com.

(Laj)