

Ing. Evžen PŘIBYL  
ENVIROS s.r.o. Praha

# Využití geotermální energie pro výrobu elektrické energie

## Utilization of Geothermal Energy for Electric Energy Production

Recenzent  
Ing. Tomáš Matuška, Ph.D.

V poslední době, charakterizované rostoucím úsilím o využívání obnovitelných zdrojů energie, je věnována stále větší pozornost využití geotermální energie nejen k vytápění, ale též k výrobě elektrické energie.

**Klíčová slova:** geotermální energie, metoda HDR (Hot-Dry-Rock), „suchá horká skála“

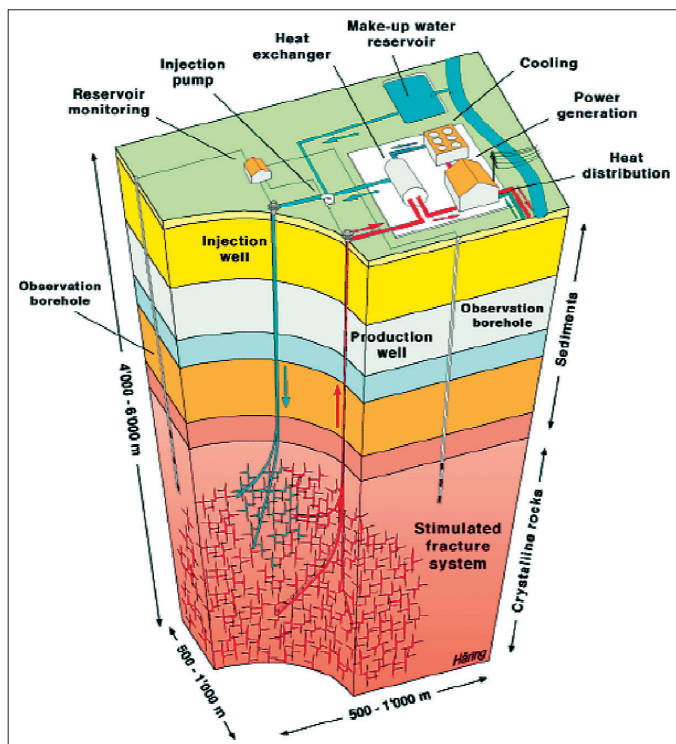
Recently, ever increasing effort is paid to the utilization of renewable resources of energy with respect to the utilization of geothermal energy not only for heating but for production of electric energy, as well.

**Key words:** geothermal energy, HDR (Hot-Dry-Rock) method

### ZPŮSOBY VYUŽITÍ GEOTERMÁLNÍ ENERGIE PRO VÝROBU ELEKTRICKÉ ENERGIE

Geotermální energii ve formě citelného tepla zeminy (ne geotermálních pramenů) lze využít dvěma způsoby. Jednak mělkými vrtly (do asi 100 metrů). K využití této geotermální energie o relativně nízké teplotě je nutno použít tepelné čerpadlo, které produkuje teplo o vyšší využitelné teplotě. Tento způsob využití geotermální energie je tedy vázán na spotřebu určitého množství elektrické energie pro pohon tepelného čerpadla.

Dalším, méně obvyklým způsobem, lze geotermální energii využít metodou HDR (Hot-Dry-Rock) tzv. „suché horké skály“ vrtly hlubokých řádově tisíce m. Metoda HDR je vyvíjena od sedmdesátých let 20. století po ropné krizi. Podle geologických průzkumů území České republiky jsou na území ČR v některých oblastech vhodné geologické podmínky pro využívání geotermální energie touto metodou HDR. Skutečné ověření možnosti využívání geotermální energie metodou HDR je možné až po potřebných zkušebních vrtech s ověřením teploty a propustnosti hornin v dané hloubce.



Obr. 1 Geotermální teplárna s vrtly v řezu geologickým podložím

Postup „Hot-Dry-Rock“ umožňuje využít energii horniny, která nepropouští vodu. Využití podobného zdroje tepla začíná vrtem. Odstřelem nebo tlakem vody se v hloubce kolem vrtu vytvoří umělé trhliny, aby se výměna tepla zlepšila. Pokud je hornina uměle rozrušena a je zvýšena její puklinová propustnost, je možno do ní zavést vodu injekčním vrtem, nechat ji proudit puklinami jako přírodním tepelným výměníkem a následně směs ohřátou vodu odvádět na povrch produkčním vrtem. Voda bude cirkulovat v uzavřeném okruhu, takže vodní zdroj je nutný pouze pro první „napuštění“ systému a krytí ztrát únikem vody z „výměníku“. Teplo ohřáté vody je možno využít k výrobě elektrické energie vhodným tepelným cyklem nebo přímo k vytápění.

### VHODNÉ TEPELNÉ CYKLY PRO VÝROBU ELEKTRICKÉ ENERGIE

Při výrobě elektrické energie ohřáté teplotnosné látky v HDR systému je nutno zajistit co nejvyšší termodynamickou účinnost. V důsledku relativně nízké teploty vody přiváděné z vrtu (obvykle v rozmezí 100 až 200 °C) není proto možno pro výrobu elektrické energie použít klasického Rankinova cyklu. Jsou proto uplatňovány další dva tepelné cykly pro výrobu mechanické energie vyvinuté speciálně pro nízké teploty, buď organický Rankinův cyklus (ORC) nebo tzv. Kalinův cyklus (KC).

ORC využívá místo vody kapalinu s nižší teplotou varu. KC pracuje s dvousložkovým pracovním médiem (voda – čpavek). Na základě termodynamických výpočtů a konkrétních zkušeností lze přibližně konstatovat, že pro vyšší teploty vody přiváděné z vrtu (více než 150 °C) je vhodnější použít ORC, pro teploty nižší je vyšší účinnosti dosaženo složitějším KC.

I při použití těchto dvou cyklů jsou ale účinnosti výroby el. energie v HDR systémech relativně nízké, obvykle se el. výkon pohybuje v rozsahu 10 až 15 % z přivedeného tepelného výkonu zdroje.

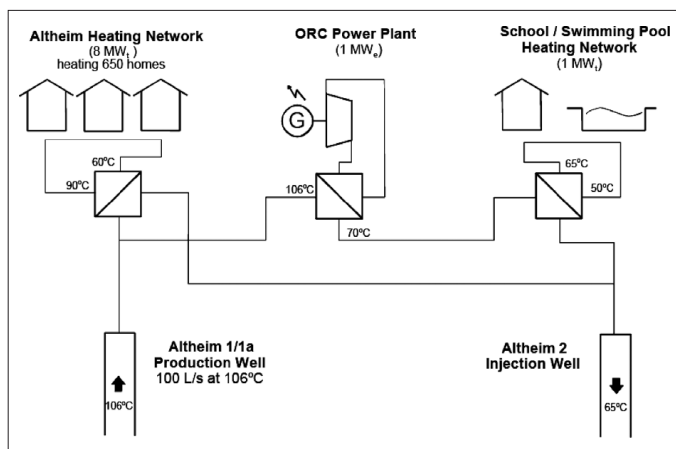
### Příklady realizovaných zahraničních HDR systémů

#### Altheim

V rakouském městě Altheim (60 km severně od Salcburku) s asi 5000 obyvateli je instalován HDR systém s dvěma vrtly uvedený do provozu v roce 2000.

#### Hlavní parametry :

– hloubka vrtů	2300 m
– průtok ohřívání vody	80 až 100 kg/s
– vstupní/výstupní teplota vody	106/70 °C
– jmenovitý tepelný výkon z vrtů	12 až 15 MWt



Obr. 2 Schéma vytápění bytového sektoru, školy a bazény geotermální energií

Výroba el. energie je zajištěna ORC o jmenovitém el. výkonu 1,0 MW. Kromě el. energie je do města dodáváno též teplo pro vytápění bytového sektoru (8 MW) a školu a bazén (1 MW) dle schématu (obr. 2).

V dosavadním provozu se nevyskytly problémy s dodržáním teploty a tlaku vody ohřívané v zemním „výměníku“. Systém je provozován více než 7 500 hodin ročně, přičemž je plně pokrývána spotřeba tepla města s výrobou el. energie z přebytku tepla.

### Soultz

Město Soultz se nalézá ve Francii těsně u hranice se SRN (poblíž Štrasburku). Od roku 1987 zde probíhá vývoj HDR systému ve dvou fázích, I. fáze v období 1987–2004, II. fáze 2008–2008. Ta byla v červnu 2008 ukončena uvedením do provozu HDR systému o hloubce vrtů asi 5 000 m s výrobou el. energie v ORC o jmenovitém el. výkonu 1,5 MWe.

Další vývojovou etapou v této lokalitě má být rozšíření HDR systému o hloubce vrtu 5000 m s teplotou horniny asi 200 °C na jmenovitý el. výkon 6,0 MWe, dle schématu na obr. 5. Je patrné, že se bude jednat o 3 vrty s centrálním injekčním vrtem a dvěma produkčními vrty vzdálenými od sebe v zemním „výměníku“ asi 1 200 m.

## PŘÍPRAVA HDR SYSTÉMŮ V ČR

Možnost využívat geotermální energii pro výrobu elektřiny je v podmínkách ČR omezena pouze na metodu HDR, protože využívání geotermálních pramenů, tak jak je známo ze zahraničí (např. Island, Nový Zéland, Filipíny) je podmíněno relativně vysokou teplotou a vydatností geotermálních vod, kterých prameny v ČR nedosahují.

Mezi lokality, které mají z geologického hlediska dobrý předpoklad pro možnosti využití metody HDR patří například Doupovské vrchy, České středohoří, Podkrušnohorská oblast, Podkrkonoší, Železné hory, Severomoravský úval, Vídeňská pánev. Na MŽP ČR byla v rámci úkolu věda a výzkum vypracována mapa tepelného toku pod celou ČR, ze které je možné zjistit jeden z možných faktorů charakterizujících území s dobrými podmínkami pro využití geotermální energie.

### Litoměřice

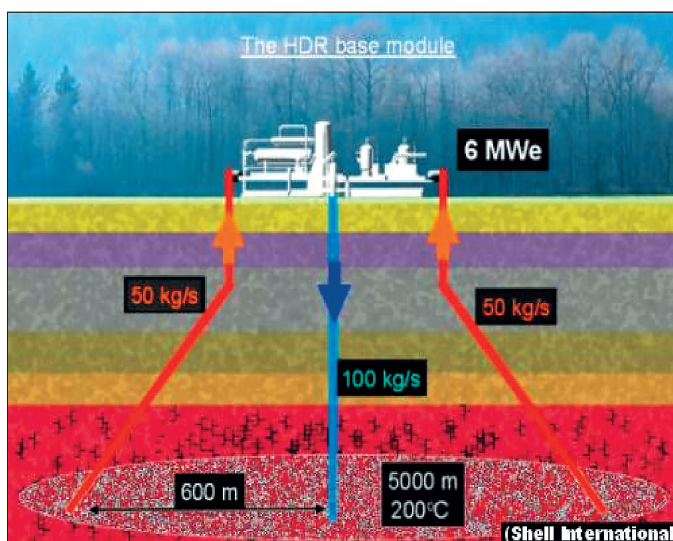
V přípravě výstavby HDR systému je zatím nejdále město Litoměřice. Město už má hotový průzkumný vrt do hloubky 2111 metrů, kde bylo dosaženo teploty 64 °C a který prokázal vhodnost lokality. Nyní bude třeba provést tři vrty do hloubky zhruba pěti kilometrů (dva injekční a jeden produkční) a realizovat stavbu teplárny. Teplárna má dodávat max. asi 6 MW el. energie (po odečtení asi 1 MW na vlastní spotřebu) a max. asi 50 MW tepla.



Obr. 3 Část rozvodu čerpané vstupní a výstupní ohřívané vody



Obr. 4 Zařízení organického Rankinova cyklu pro výrobu el. energie



Obr. 5 Geotermální systém s jedním centrálním a dvěma produkčními vrty

Předpokládané náklady na výstavbu geotermální teplárny včetně vrtů pro výrobu el. energie i využitelného tepla jsou odhadovány na 1,1 miliardy korun.

### Liberec

Z iniciativy náměstka primátora město Liberec založilo spolu s dalšími pěti městy tzv. „Centrum pro výzkum litosféry“, které by mělo potvrdit vhodnost vybraných lokalit pro aplikaci systémů HDR.

Přímo v Liberci má zájem postavit geotermální elektrárnu společnost ČEZ. Celkové náklady na elektrárnu se odhadují na 1,2 miliardy korun. O výkonu nového zdroje, který bude čerpat teplo z hloubky pěti kilometrů, rozhodne až průzkumný vrt. Město Liberec poskytne pozemky a ČEZ bude investorem.

### Ostatní

Kromě Litoměřic a Liberce se o využití geotermální energie zajímá celá řada měst a obcí jako Pardubice, Dobruška, Rumburk, Český Krumlov nebo Heřmanův Městec. Průzkumné vrty plánují Úvaly u Prahy, Nová Paka, Nové Město pod Smrkem, Opočno či Semily. Projekty však zatím stojí na nedostatku financí.

## PROVOZ A EKONOMICKÉ HODNOCENÍ SYSTÉMŮ HDR

Geotermální energii je možno využít jen pro monovýrobu el. energie nebo pro kombinovanou výrobu tepla a el. energie. El. energii vyrobenou v systému HDR je nejvýhodnější dodat do veřejné sítě, protože její výkupní cena je státem dotována. Protože teplo bude prakticky vždy dodáváno převážně pro vytápění a přípravu teplé vody nejbližšího sídelního útvaru je jeho spotřeba během roku značně nevyrovnaná. V případě kombinované výroby (nejobvyklejší případ) bude tedy el. energie vyráběna hlavně v letním a části přechodného období s nízkou spotřebou tepla, v zimním období bude naopak dodáváno hlavně teplo.

Vzhledem k nízké účinnosti výroby el. energie je možno pro teplotu vody z vrtu asi 160 °C a teplotu vody do vrtu asi 80 °C brát podíl max. elektrického a max. tepelného výkonu přibližně 1 : 10. To znamená, že při výrobě jen el. energie (kondenzačním ORC nebo KC okruhem) bude 90 % tepla odvedeno bez využití do ovzduší. Pokud bude elektrárna vyrábět pouze el. energii je možno ji provozovat prakticky 8000 hodin ročně na jmenovitý el. výkon. Při kombinované výrobě je možno trvání max. el. výkonu brát asi 4000 hodin ročně (s respektováním nižší el. účinnosti turbíny při nižších el. výkonech při současné dodávce tepla a jmenovitého tepelného výkonu asi 2200 hodin ročně (dodávka tepla pro vytápění a přípravu TV) i když bude teplárna samozřejmě provozována celý rok, tedy 8000 hodin).

Pro stávající státem dotovanou výkupní cenu el. energie 4500 Kč/MWh a předpokládanou cenu prodávaného tepla 300 Kč/GJ bude zisk teplárny o max. el. výkonu 5 MWe a max. tepelném výkonu 50 MWt :

$$(5 \cdot 4000 \cdot 4500 + 50 \cdot 2200 \cdot 300) / 1\,000\,000 = 90 + 119 = 209 \text{ mil. Kč/r}$$

V případě jen výroby el. energie v elektrárně o el. výkonu 5 MWe bude zisk:

$$5 \cdot 8000 \cdot 4500 / 1\,000\,000 = 180 \text{ mil. Kč}$$

Při přibližných investičních nákladech teplárny asi 1 300 mil. Kč a elektrárny asi 1 100 mil. Kč bude tedy prostá (nediskontovaná) návratnost teplárny 6,2 roku a elektrárny 6,1 roku. Při započtení provozních nákladů (vlastní spotřeba energie, mzdy, opravy a údržba, doplňování vody, pojištění a pod.) bude návratnost o asi 20 až 25 % delší.

Z tohoto pohledu je tedy ekonomické hodnocení provozu elektrárny i teplárny prakticky stejné, z hlediska využití geotermální energie je výhodnější teplárna. Je třeba zdůraznit, že uvedené stručné ekonomické hodnocení je pouze hrubě orientační.

Zásadní otázkou při výstavbě systému HDR je hloubka vrtu a tomu odpovídající teplota ohřívání vody. Účinnost výroby el. energie je přímo úměrná teplotě vody ohřáté v geotermální vrstvě. Pokud je tedy teplo odebíráno z větší hloubky s vyšší teplotou a s odpovídající vyšší technickou a nákladovou náročností, je vhodné vyrábět především el. energii.

Značný nepoměr ve finančním ohodnocení vyrobeného tepla a elektrické energie je dán její vysokou výkupní cenou v ČR garantovanou státem, která je v Evropě nejvyšší (viz tab. 1 s údaji z roku 2006).

Tab. 1 Výkupní ceny el. energie vyrobené z geotermální energie

Stát	Cena el. energie v ct/kWh
Česká republika	15,6
SRN	15,0
Francie	10,0
Španělsko	9,4
Slovensko	8,4
Řecko	7,3
Rakousko	7,0
Belgie	2,5

## ZÁVĚR

Geotermální elektrárny a teplárny mají oproti větrným a solárním fotovoltaickým elektrárnám výhodu v dodávce energie průběžně a celoročně dle požadavku provozovatele a ne dle okamžitého výskytu obnovitelného zdroje, nepotřebují tedy žádný záložní zdroj.

Při výrobě jen el. energie je využití jmenovitého el. výkonu elektrárny prakticky celoroční (asi 8000 hodin) na rozdíl od větrné energie (asi 1000 až 2000 hodin) nebo solární energie fotovoltaickými systémy (asi 1000 hodin).

Využití geotermální energie navíc není spojeno s žádnými rušivými efekty na okolí. Na druhou stranu je výstavba geotermální elektrárny nebo teplárny spojena s riziky při výběru vhodné lokality z hlediska dosažení dostatečné teploty v místě odběru geotermálního tepla, případnými problémy s vrty, vytvořením vhodné propustnosti zemního „výměníku“ pro ohřívání vody a minimalizaci úniku vody mimo prostor odběru tepla. Především nutné přípravné práce pro zajištění geologické vhodnosti lokality jsou finančně velmi náročné bez záruky, že tyto prostředky budou následně využity.

Kontakt na autora: [Evzen.Pribyl@enviros.cz](mailto:Evzen.Pribyl@enviros.cz)

### Použité zdroje:

- [1] Power production in HFR Soultz project, Lutz Philippe, EDF R&D, France, Fritsch Daniel, EEIG Heat Mining, France
- [2] Enhanced Geothermal Innovative Network for Europe, Ledru P., konference *Geothermal Energy from Oil and Gas Wells*, Dallas, 12-13 June 2007
- [3] LOW-ENTHALPY POWER GENERATION WITH ORC-TURBOGENERATOR THE ALTHEIM PROJECT, UPPER AUSTRIA, Gerhard Pernecker, Marktgemeindeamt A-4950 Altheim, Upper Austria, Stephan Uhlig, Geotec Consult, D- 85570 Markt Schwaben, Bavaria
- [4] Geothermische Energie aus großen Tiefen für Strom und Wärme Technologien und Projekte aus Deutschland und Österreich, Dr. Ing. Horst Kreuter, konference GeoTHERM, Innsbruck, 2007
- [5] Územní energetická koncepce města Litoměřic, RAEN s.r.o. Praha, 2005
- [6] Zprávy zaměřené na využití geotermální energie v českém tisku ■