

5. Geotermální energie

5.1. Úvod

Jde o nejstarší energii na naší planetě. Geotermální energie je projevem tepelné energie zemského jádra, která vzniká rozpadem radioaktivních látek a působením slapových sil. Jejimi projevy jsou erupce sopek a gejzírů, horké prameny či parní výrony. Využívá se ve formě tepelné energie (pro vytápění), či pro výrobu elektrické energie v geotermálních elektrárnách. Obvykle se řadí mezi obnovitelné zdroje energie, nemusí to však platit vždy, některé zdroje geotermální energie jsou vyčerpateľné v horizontu desítek let.

Geotermální energie je v nitru Země zachována od doby jejího vzniku po celou dobu geologické historie. V současnosti je celosvětově v geotermálních elektrárnách instalováno více než 10 000 MW, což je stále jen nepatrný zlomek celkového potenciálu. V rámci Evropy je samozřejmě nejvhodnější zemí pro využití geotermální energie Island, s velkým odstupem také Itálie.

V našich podmínkách je možné využít pouze koncept HDR („hot dry rock“ – teploty kolem 200 C), tj. kdy dojde v příslušné hloubce k umělému vytvoření tepelného výměníku. Tyto systémy nejsou tak běžné jako přímé využívání hydrotermální energie (horká voda, pára).

Výhodami jsou velmi **malé vlivy na životní prostředí** (nezanechává po sobě téměř žádnou ekologickou stopu), **nezávislost na dodávkách paliva** (vydrží v provozu při plném výkonu desítky let), **téměř bezobslužný provoz** a ve srovnání s jinými obnovitelnými zdroji i **stálost výkonu**.

Nevýhodami jsou **nejistoty v geologických podmínkách** – zda se skutečně podaří vytvořit dostatečně velký tepelný výměník.

V České republice připadá do úvahy využití pouze tzv. konceptu suché horniny („hot dry rock - “tj. teplo zakonzervované v podzemních suchých horninách), s čímž není ani v zahraničí příliš velká zkušenost. Jedním vrtem se k horké suché hornině v hloubce zhruba pět kilometrů přivede studená voda a dva boční vrty umožní ohřáté vodě cestu vzhůru. Tyto zdroje pohání turbínu generátoru a po ochlazení vody na povrchu se vrací prvním vrtem zpět do země. Vedlejším produktem produkce energie je teplo, které lze využít např. k vytápění bytů.

Obecně je vhodnou lokalitou v českých podmínkách místo s již narušenou podzemní horninou. Odborníci se shodují, že takovým místem mohou být Litoměřice, příp. Lovosice, Chomutov nebo Frýdlantský výběžek.

Ve světě se vedle konceptu HDR využívá ještě tzv. EGS [Enhanced Geothermal Systems]. Oba každopádně zaručují stálost výkonu po 24 denně.

Ekonomika geotermální energie

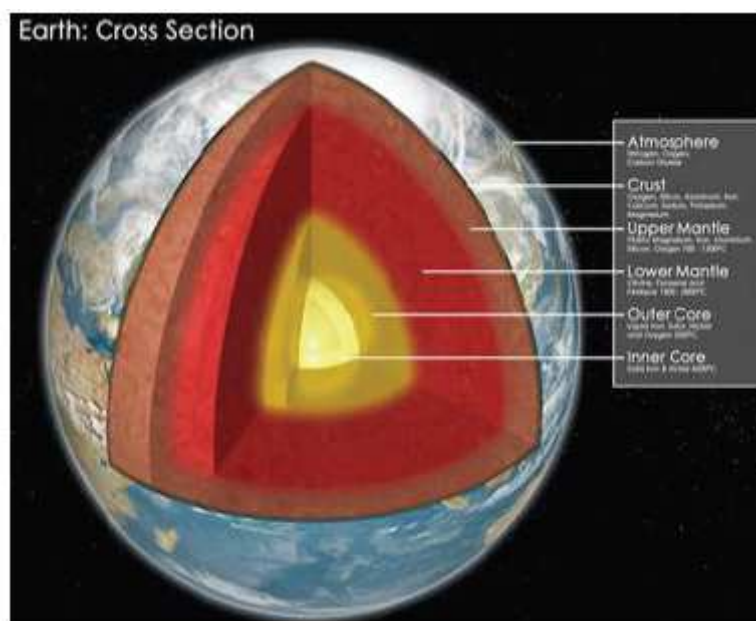
ERÚ cenovým rozhodnutím stanovuje pro elektřinu z geotermálního zdroje výkupní cenu a zelený bonus (tak jako pro jiné OZE). **Výkupní cena** pro rok 2013 činí **4,50 Kč / kWh** (režim tzv. zelených bonusů stanovuje 3,50 Kč / kWh). Je tedy samozřejmě několikanásobně

dražší než např. elektřina z elektrárny Temelín. Samotná výroba v geotermálním zdroji naopak vychází velice levně i v porovnání s klasickými elektrárnami.

Geotermální energii můžeme označit jako další druh obnovitelné energie a lze ji tedy zařadit do skupiny OZE.

Slovo *geotermální* má svůj původ v řečtině. Skládá se ze dvou slov – Geos a thermos, tedy země a teplo. Energie, která se uvolňuje ze země, pochází z menší části z doby vzniku planety a její významnější část z dalších druhotných zdrojů. Mezi ně můžeme zahrnout pohyb litosférických desek a dále jaderné pochody uvnitř planety. Z tohoto štěpení prvků (například uran, thorium, draslík a jiné) pochází až 40% celkové tepelné energie.

Ve všeobecnosti se jedná o energii nevyčerpatelnou (její potenciál dosahuje každý rok hodnoty až $5.1020 \text{ J.rok}^{-1}$).



Obr. 5.1: Planeta Země – složení [9]

Tato energie je ale rozptýlena, také průměrný výkon ze zemské kůry je 57 mW.m^{-2} . Pouze v oblastech se zvýšenou sopečnou činností může být tato hodnota vyšší a to až 300 Wm^{-2} . Teplo zemského jádra je k povrchu přenášeno pomocí konvekce (proudění) a kondukce (vedením). Složka radiační není příliš významná. Gradient teploty se zvyšuje směrem k zemskému jádru o $20^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}$ na 1 km hloubky.

Dalším produktem jsou geotermální vody, což jsou přírodní podzemní vody, které se nacházejí v zemských dutinách a zemských zvodnělých vrstvách. Jsou zahřáté zemským teplem natolik, že jejich teplota po výstupu na zemský povrch je vyšší než průměrná roční teplota vzduchu v dané lokalitě. Pro přímé energetické využití jsou vhodné vody podle klasifikace z kategorie nízkoteplotních třídy a) $30-70^\circ\text{C}$ a třídy b) $70-100^\circ\text{C}$.

Voda se ve většině případů získává hlubinnými vrty. Část geotermálních vod je klasifikována jako vody lázeňské. Jsou podrobeny zvláštnímu režimu využití, jejich čerpání pouze pro energetické využití není přípustné.

5.2. Využití geotermální energie

Teplo, respektive energii zemské kůry, jsme schopni využít pouze omezeně. Jelikož plošná hustota energie je příliš malá (dříve zmiňovaných 57 mWm^{-2}), není její využití technologicky jednoduché. Níže uvedeme několik možností, které jsou schopné po technické stránce využít tento potenciál.

V tabulce níže je základní přehled o využívání energie zemské kůry ve světě v roce 2001. [4]

<i>Stát</i>	<i>Výkon (MWt)</i>	<i>Energie (TJ.rok⁻¹)</i>	<i>Stát</i>	<i>Výkon (MWt)</i>	<i>Energie (TJ.rok⁻¹)</i>
<i>Alžírsko</i>	<i>100</i>	<i>1586</i>	<i>Kolumbie</i>	<i>13,3</i>	<i>266</i>
<i>Argentina</i>	<i>25,7</i>	<i>449</i>	<i>Korea</i>	<i>35,8</i>	<i>753</i>
<i>Arménie</i>	<i>1</i>	<i>15</i>	<i>Litva</i>	<i>21</i>	<i>599</i>
<i>Austrálie</i>	<i>34,4</i>	<i>351</i>	<i>Maďarsko</i>	<i>472,7</i>	<i>4086</i>
<i>Belgie</i>	<i>3,9</i>	<i>107</i>	<i>Makedonie</i>	<i>81,2</i>	<i>510</i>
<i>Bulharsko</i>	<i>107,2</i>	<i>1637</i>	<i>Mexiko</i>	<i>164,2</i>	<i>3919</i>
<i>Caribské ostrovy</i>	<i>0,1</i>	<i>1</i>	<i>Německo</i>	<i>397</i>	<i>1568</i>
<i>Česká republika</i>	<i>12,5</i>	<i>128</i>	<i>Nepál</i>	<i>1,1</i>	<i>22</i>
<i>Chile</i>	<i>0,4</i>	<i>7</i>	<i>Nizozemsko</i>	<i>10,8</i>	<i>57</i>
<i>Čína</i>	<i>2282</i>	<i>37 908</i>	<i>Norsko</i>	<i>6</i>	<i>32</i>
<i>Dánsko</i>	<i>7,4</i>	<i>75</i>	<i>Nový Zéland</i>	<i>307,9</i>	<i>7081</i>
<i>Egypt</i>	<i>1</i>	<i>15</i>	<i>Peru</i>	<i>2,4</i>	<i>49</i>
<i>Filipíny</i>	<i>1</i>	<i>25</i>	<i>Polsko</i>	<i>68,5</i>	<i>275</i>
<i>Finsko</i>	<i>80,5</i>	<i>484</i>	<i>Portugalsko</i>	<i>5,5</i>	<i>35</i>
<i>Francie</i>	<i>326</i>	<i>4895</i>	<i>Rakousko</i>	<i>255,3</i>	<i>1609</i>
<i>Gruzie</i>	<i>250</i>	<i>6307</i>	<i>Rumunsko</i>	<i>152,4</i>	<i>2871</i>
<i>Guatemala</i>	<i>4,2</i>	<i>117</i>	<i>Rusko</i>	<i>308,2</i>	<i>6144</i>
<i>Honduras</i>	<i>0,7</i>	<i>17</i>	<i>Řecko</i>	<i>57,1</i>	<i>385</i>
<i>Chorvatsko</i>	<i>113,9</i>	<i>555</i>	<i>Slovensko</i>	<i>132,3</i>	<i>2118</i>
<i>Indie</i>	<i>80</i>	<i>2517</i>	<i>Slovinsko</i>	<i>42</i>	<i>705</i>
<i>Indonesie</i>	<i>2,3</i>	<i>43</i>	<i>Spojené království</i>	<i>2,9</i>	<i>21</i>
<i>Island</i>	<i>1469</i>	<i>20170</i>	<i>Srbsko</i>	<i>80</i>	<i>2375</i>
<i>Itálie</i>	<i>325,8</i>	<i>3774</i>	<i>Švédsko</i>	<i>377</i>	<i>4128</i>
<i>Izrael</i>	<i>63,3</i>	<i>1713</i>	<i>Švýcarsko</i>	<i>547,3</i>	<i>2386</i>
<i>Japonsko</i>	<i>1167</i>	<i>26933</i>	<i>Thajsko</i>	<i>0,7</i>	<i>15</i>
<i>Jemen</i>	<i>1</i>	<i>15</i>	<i>Tunis</i>	<i>23,1</i>	<i>201</i>
<i>Jordánsko</i>	<i>153,3</i>	<i>1540</i>	<i>Turecko</i>	<i>820</i>	<i>15756</i>
<i>Kanada</i>	<i>377,6</i>	<i>1023</i>	<i>USA</i>	<i>3766</i>	<i>20302</i>
<i>Keňa</i>	<i>1,3</i>	<i>10</i>	<i>Venezuela</i>	<i>0,7</i>	<i>14</i>

Tab. 5.1: Přehled využívání geotermální energie ve světě [4]

Teplo suchých hornin (každých 100 m do hloubky stoupá teplota průměrně o 3°C) se využívá buď pomocí trubkových kolektorů osazených do suchých vrtů nebo pomocí injektáže povrchové vody a jejího zpětného čerpání systémem dvou a více vrtů. Využívá se systém HDR (Hot Dry Rock = horká suchá skála).

Geotermální energii lze v příznivých podmínkách využívat k vytápění nebo výrobě elektřiny v geotermálních elektrárnách. Takové využití je ale většinou technologicky náročné, protože horká voda z vrtů je obvykle silně mineralizovaná a zanáší technologická zařízení, což má za následek nutnost časté výměny potrubí a čištění systému. Navíc je dostatečný tepelný spád obvykle zároveň spojen s geologickou nestabilitou oblasti.

První geotermální elektrárna byly uvedena do provozu v Itálii už v roce 1904. Dnes nejnámější je využití geotermální energie na Islandu (vytápění domů, skleníků, bazénů atd.). Dále se využívá v řadě dalších států (USA, Velká Británie, Francie, Švýcarsko, Německo, Nový Zéland). Uvažuje se stavbou geotermálních elektráren v Austrálii.

Geotermální energie se v ČR využívá v menších aplikacích v lázeňství, ve větších systémech přímým použitím geotermální vody jako TUV a dále v systémech CZT k hrazení části tepelné bilance (v závislosti na teplotní úrovni zdroje).

Město Ústí nad Labem využívá geotermální energii k vytápění plaveckých bazénů a také k vytápění zoologické zahrady.

Dále v Litoměřicích se hloubí zkušební vrt pro geotermální elektrárnu, který by měl skončit v hloubce 2500 m. Pokud budou výsledky měření příznivé, začnou se hloubit další dva vrty - tentokrát již produkční. Tyto vrty mají dosáhnout hloubky až 5000 m. V cílové hloubce má být teplota horniny 150 až 200°C a předpokládaný výkon elektrárny má být 50 MW. Náklady na vybudování vrtů a geotermální elektrárny mají být kolem 1,11 miliardy Kč, na jejich krytí se má podílet i EU.

Konkrétní lokalitu je vždy nutno posoudit především z hlediska geologických a hydrologických podkladů a reálného ocenění potenciálu výroby energie.

5.2.1 Systémy založené na využití nízkopotenciální energie

Systémy založené na využití nízkopotenciální energie jsou zatím nejrozšířenějším způsobem získávání energie ze země. Jejich konstrukce je rozdílná, ale většinou se jedná o tepelná čerpadla.

Tepelná čerpadla

Tepelné čerpadlo je zařízení, které umí využívat nízkopotenciální energii. Samotné zdroje nízkopotenciálního tepla mohou být různé. Podle využívaného zdroje nízkopotenciálního tepla můžeme tepelná čerpadla rozdělit na tři základní systémy:

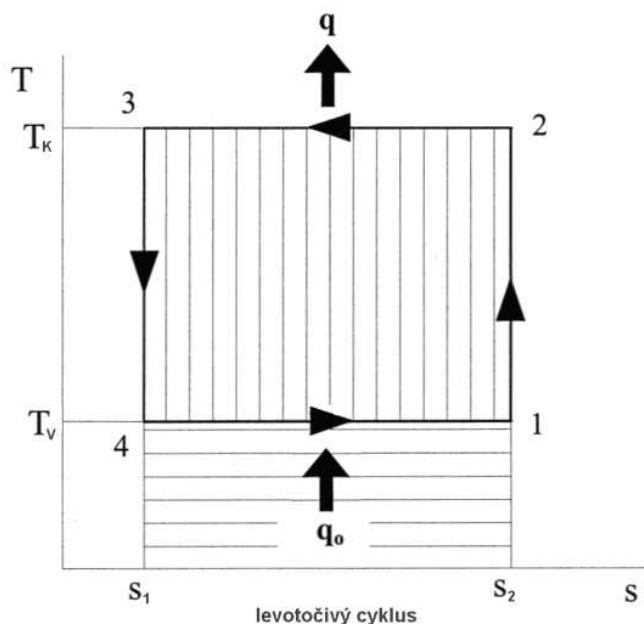
- země – voda,
- voda – voda,
- vzduch – voda.

Systémy tepelných čerpadel jsou rozděleny podle druhu nízkopotenciálního zdroje tepla pro tepelné čerpadlo a podle média, kterému je teplo předáváno pro vytápění. Zvláštním typem tepelného čerpadla jsou systémy vzduch – vzduch, které můžeme označit jako klimatizační jednotky.

Princip funkce tepelných čerpadel můžeme popsat v několika bodech, definujících uzavřený tepelný oběh:

- tepelné čerpadlo odebírá ze zdroje teplo varem a odpařováním teplotnosné látky (chladiwa),
- páry teplotnosné látky jsou kompresorem přečerpávány do chladiče, kde zkapalní a odevzdají své teplo okolí,
- odevzdané teplo má vyšší teplotní potenciál než teplo odebírané ze zdroje,

- za ideálních podmínek lze tepelné čerpadlo považovat za motor, který využít levotočivého Carnotova cyklu (obrázek 5.2).

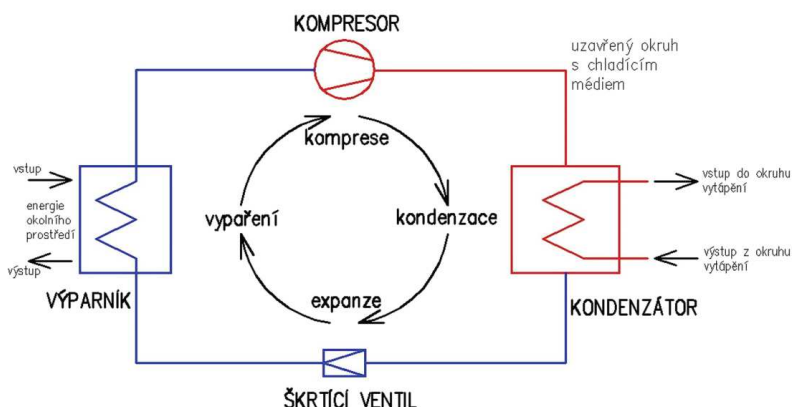


Obr. 5.2: Ideální levotočivý Carnotův cyklus

Pracovní cykly Carnotova cyklu jsou vratné izotermické nebo izoentropické děje v levotočivém (chladiřenském) oběhu:

- 1 – 2 izotermické vypařování, jímání přírodního tepla chladivem,
- 2 – 3 izoentropická komprese, stlačování chladiva kompresorem,
- 3 – 4 izotermická kondenzace, dochází k předání tepla a zkapalnění chladiva,
- 4 – 1 izoentropická expanze.

Pracovním principem tepelného čerpadla je tedy chladicí okruh s parním oběhem, který se skládá ze čtyř základních částí (výparník, kompresor, kondenzátor a škrťací ventil), jak je zobrazeno na obrázku 5.3.



Obr. 5.3: Technologické schéma tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo jako zdroj tepla může pracovat ve dvou základních systémech zapojení, a to jako *monovalentní zdroj* nebo *bivalentní zdroj*.

V *monovalentním systému* je tepelné čerpadlo hlavním a jediným zdrojem tepla. Systémy v tomto zapojení jsou poměrně málo využívány, a to z důvodu vyšších ekonomických a energetických nákladů na samotné tepelné čerpadlo a jeho provoz. Tepelné čerpadlo musí být voleno tak, aby svým výkonem krylo tepelné ztráty i při nejnižší teplotě okolního vzduchu, z čehož vyplývá, že není jeho výkon během celé otopné sezóny plně využit (systém je předimenzován). Problémem je i provozní rezerva, neboť použití dvou tepelných čerpadel by bylo investičně značně náročné. Určitou alternativou monovalentních systému s tepelným čerpadlem je např. spojení tohoto zdroje spolu se systémem pasivního využití solární energie.

V *bivalentních systémech* pracuje tepelné čerpadlo spolu s doplňkovým zdrojem tepla. Tepelný výkon tepelného čerpadla je v bivalentním systému navržen tak, aby tepelné čerpadlo krylo přibližně 60% tepelných ztrát vytápěného objektu. Zbylé potřebné teplo je dodáno pomocí druhého (pomocného) zdroje. Tím může být např. elektrokotel, plynový kotel, přímotop, ale také solární systém. Provoz může být paralelní i alternativní. [11]

Základním kritériem pro hodnocení energetické výtěžnosti tepelných čerpadel je poměr získaného tepla (topného výkonu – Q_T) a energie potřebné pro přečerpání tepla (pohon tepelného čerpadla – Q_E) – tzv. *topný faktor* (rovnice AA). Topný faktor vyjadřuje, kolikrát více energie získáme, než ve formě poháněcí energie přivedeme.

$$\varepsilon = \frac{Q_T}{Q_E} \quad (-) \quad (5.1).$$

Výpočet topného faktoru pro ideální Carnotův cyklus vychází z podílu výstupní (T_k^x) a vstupní (T_o^x) teploty:

$$\varepsilon_{c.id} = \frac{T_k^x}{T_k^x - T_o^x} \quad (-;K,K) \quad (5.2).$$

Při výpočtu skutečného topného faktoru musíme započítat ztráty vznikající při provozu tepelného čerpadla:

- velikost teplosměnných ploch,
- parametr reálného chladiva,
- pochody ve skutečném kompresoru,
- ztráty tepla do okolí,
- příkon pomocných zařízení.

V praxi se pro přibližné určení topného faktoru používá rovnice ve tvaru:

$$\varepsilon = 0,4 \cdot \frac{(T_K + 273,15)}{T_K - T_0} \quad (-) \quad (5.3),$$

kde koeficient 0,4 představuje souhrn veškerých provozních ztrát tepelného čerpadla, jak byly uvedeny výše.

Nejprůkaznější určení topného faktoru však vychází z energetických toků v provozovaném tepelném čerpadle. Energetický topný faktor COP (Coefficient of Performance) můžeme vyjádřit pomocí následujícího vztahu:

$$COP = \frac{P_{te}}{P_e} \quad (-) \quad (5.4),$$

kde pro P_{te} platí vztah

$$P_{te} = \Delta T \cdot Q_m \cdot C_p \quad (W) \quad (5.5),$$

kde

T – rozdíl teplot na vstupu a výstupu kondenzátoru,

Q_m – hmotnostní průtok chladiva ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$),

C_p – měrná tepelná kapacita teplotnosné látky,

P_{te} – tepelný výkon,

P_e – elektrický příkon.

Je zřejmé, že tepelná čerpadla nemohou zásadně řešit energetickou situaci, ale za předpokladu správného energetického a ekonomického návrhu mohou významně přispět ke snížení primární spotřeby energie a provozních nákladů.

5.2.2 Systémy založené na využití vysokopotenciální energie

Metoda suchých par

Suchá metoda je založena na přímém získávání par z hlubin země. Jedná se o metodu, která v současné době už nemá příliš velkého využití. Veškeré dostupné lokality, které by byly vhodné pro nasazení jednotek, jsou buď zastavěné, nebo vyčerpané.

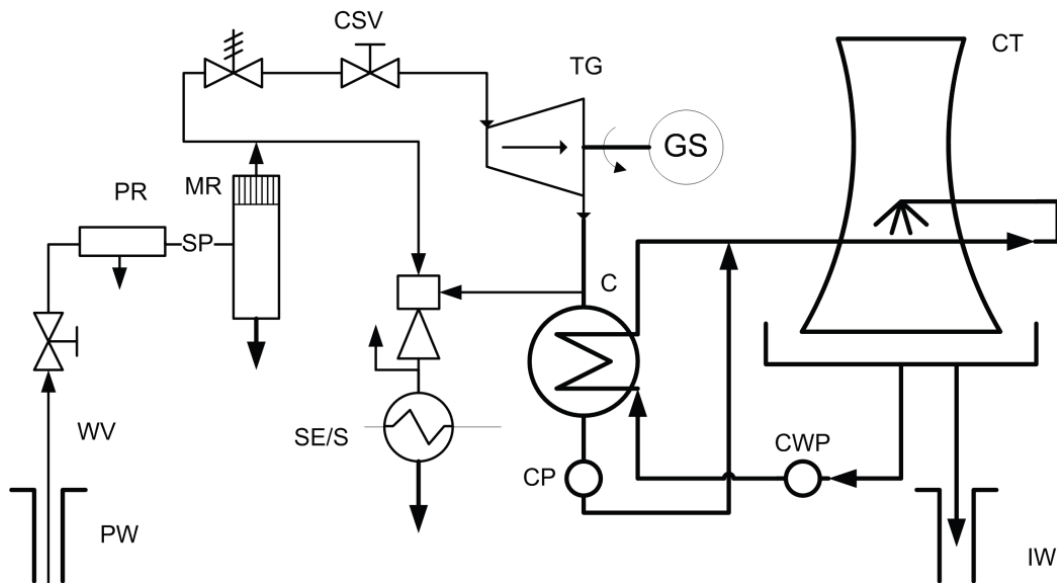
Vrt je veden do země, odkud je odebírána přímo pára. V prvopočátcích se zkondenzovaná voda nezaváděla zpět do vrtu. Posledním vývojem (a zejména vyčerpáváním ložisek) se voda zavádí zpět a dosahuje se lepších účinností celého cyklu.

Problémem při provozování elektráren jsou různé nekondenzovatelné plyny a plyny těžce oddělitelné. Jako příklad můžeme uvést H_2S , CH_4 , CO_2 apod. Tyto plyny snižují výkon turbíny a jsou tudíž nežádoucí.

Ve světě existují dvě metody na separaci těchto sloučenin.

- separace před injektorem do turbíny,
- separace až za turbínou v oblasti kondenzace.

Výhodou tohoto systému je, že pára se nemusí opět kondenzovat a vtlačet zpět do podzemí, ale může být vypouštěna do okolního prostředí. Za předpokladu, že nedojde k ohrožení případných obyvatel, například výše zmíněným sirovodíkem.



Obr. 5.4: Metoda využití suché páry [5]

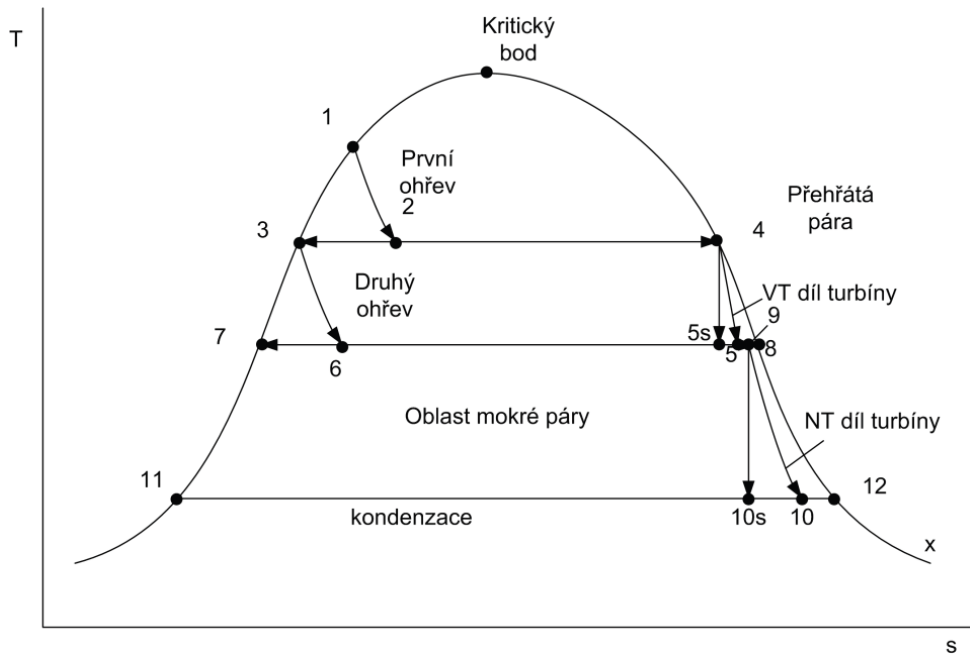
Metoda mokrých par

Metoda mokrých par je jedna z metod, ze kterých se dá předpokládat větší energetické využití. Pro energetické účely je vhodné, aby voda, která stoupá horninou, nebo je čerpána, měla teplotu alespoň 160°C. Z ní je následně přes klasický parní Rankin-Clausiusův oběh vyrobena mechanická a následně elektrická energie. Většina jednotek je založena na soustavě se získáním elektrické i tepelné energie, tzv. kogenerační jednotky (někdy též označovány jako bivalentní).

Geotermální elektrárny jsou především určeny k výrobě elektrické energie. Systémem mokré páry toho lze docílit dvěma způsoby. Oba pracují na podobném principu. Jak ukazují obrázky 5.5 a 5.6, **voda se čerpá nebo je přiváděna tlakovými přiváděči na povrch, kde při nižším tlaku expanduje a následně je vyráběna pára**. Vylepšená soustava pracuje se dvěma turbínami, z nichž první zpracovává páru o vyšších parametrech, druhá pracuje s nižšími parametry. Účinnost celého systému je od 12 – 25%, v závislosti na použité technologii a zejména na parametrech přiváděné vody.

Jednoduchý „flash“ systém

Výrazem „flash“ je zde míněn kotol, který plní funkci cyklonového odlučovače a zároveň demineralizuje vodu. Za kotlem následuje ve většině případů odstraňovač vlhkosti. Typický zástupce této elektrárny má instalovaný výkon do 30 MW, 5 – 6 produkčních vrtů a 2– 3 vrty injektážní. Nevýhoda spočívá v technologické náročnosti (obrázek 5.5).

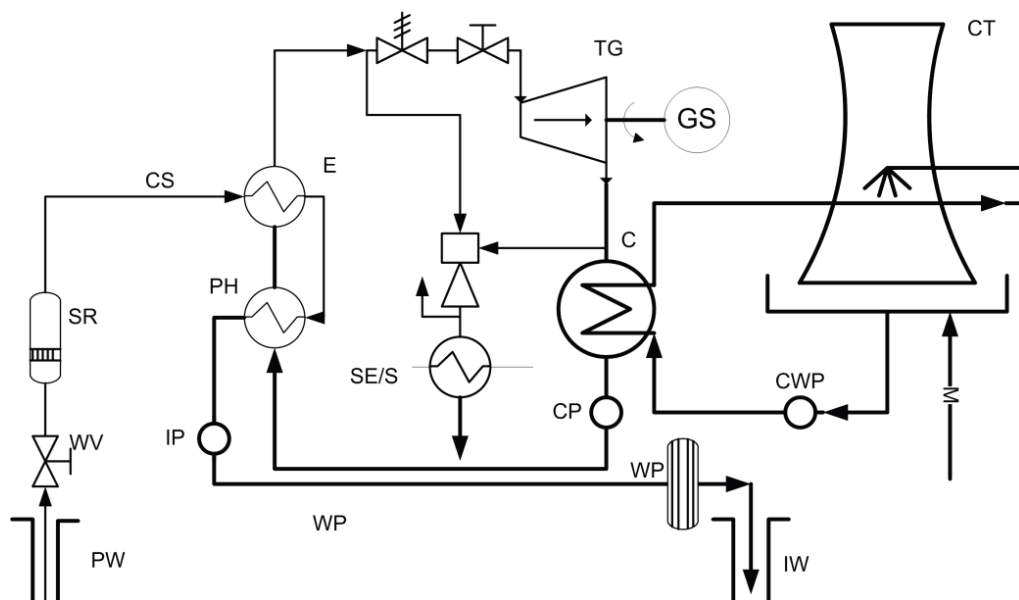


Obr. 5.7: T-s diagram při použití duální turbíny [5]

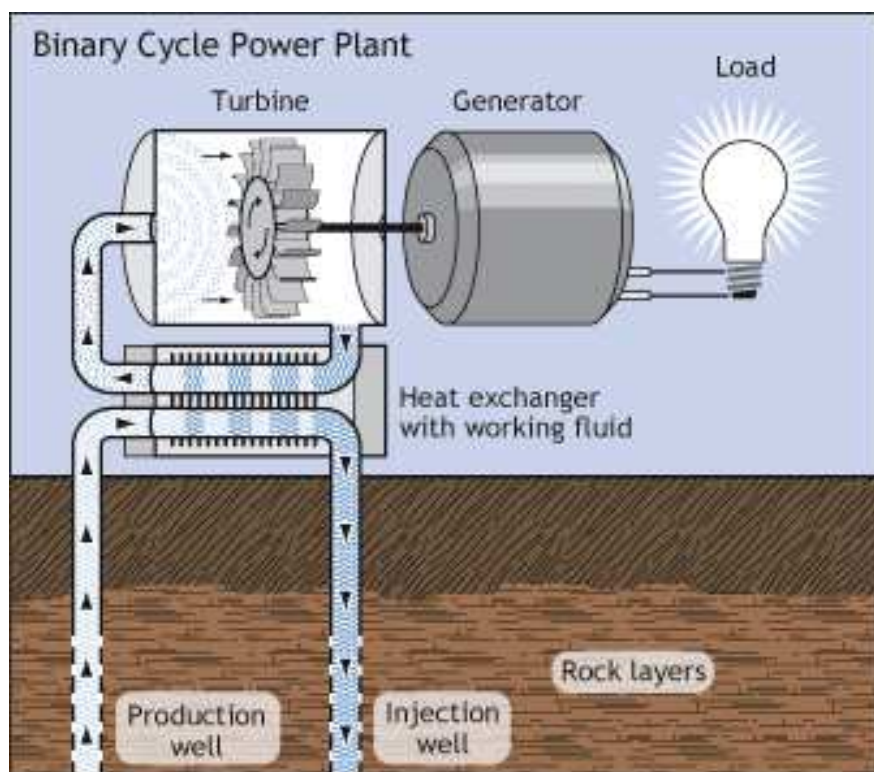
Pozemní výměník (Binary Cycle Power Plant)

Tento systém je také uvažován při výstavbě nových zdrojů. Spojuje výhody „double flash“ systému, ale voda je přiváděna do výměníku na povrchu, kde předá svoji energii páře a odchází zpět do vrtu. Soustava se zjednodušuje o demoralizační jednotku (obrázek 5.8 a 5.9).

Dalším případem, a opět částečným vylepšením, jsou různé organické Rankinovy cykly – ORC. Tyto pracují jednak na principu Kalinova cyklu nebo cyklu využívajícího silikonové oleje, popřípadě nízkotroucí tekutiny (toluen, a jiné druhy na bázi uhlovodíků).



Obr. 5.8: Základní binární systém a jeho princip schematicky [5]



Obr. 5.9: Binární systém graficky [10]

5.2.3 HDR – Hot Dry Rock

Tato metoda je založena na několika předpokladech:

- s větší hloubkou je vyšší pravděpodobnost vyšší teploty a tím pádem vyšší energie,
- v místě použití je dostatečně silná hornina, která není propustná.

Uvádí se, že hloubka vrtu se pohybuje mezi 5 – 6 km, kde teplota dosahuje zpravidla 180°C – 220°C a tlak je do 165 MPa.

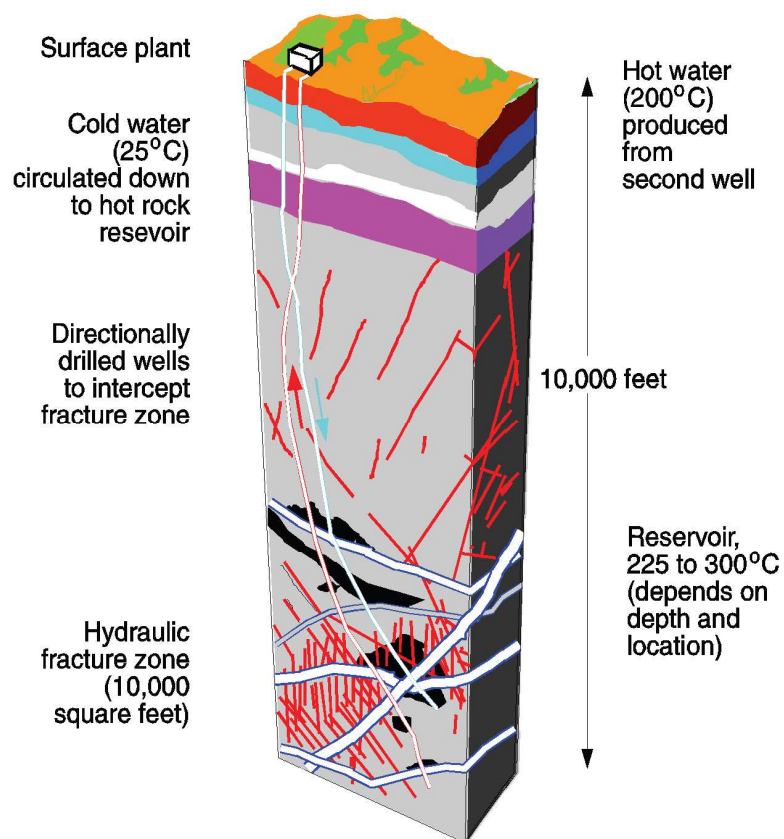
Voda proudící několika vrty rozruší horniny a puklinami v okolí je jímána již pára nebo voda o vysokých parametrech zpět na povrch. Rozrušování podloží ve velkých hloubkách může být doprovázeno menšími zemětřesnými aktivitami.

V praxi je též běžné, že poměr vrtů produkčních a injektážních je od 3:2 až po 5:2. Záleží na konkrétní lokalitě.

Nevýhodou systému je velký únik vody (opět závisí na konkrétní lokalitě) a může být až 30%. Další, poměrně velkou nevýhodou, je značné namáhání podloží, kde se případná mikro zemětřesení mohou s větší nebo menší mírou projevit i na povrchu. Z tohoto důvodu byl ukončen projekt elektrárny HDR ve Švýcarsku.

Modernější způsobem je metoda FDR, která je obdobná jako HDR s tím rozdílem, že FDR pracuje s již rozpukanou horninou a tudíž není nutné složité injektážní zařízení. I mikro otřesy jsou z větší části odstraněny.

V současné době se principiálně využívá systém mokré páry – základního binárního procesu, tedy s výměníkem umístěným nikoli na zemi, ale přímo v zemi.



Obr. 5.10: Princip metody HDR [4]

5.3. Možnosti využití v České republice

V České republice je energie zemské kůry využívána zejména v léčebných procesech v lázních. Menší zdroje pak vyhřívají například skleníky (Karlovarsko). S rozvojem skleníků a vytápění má bohaté zkušenosti Slovenská republika, kde několik projektů tohoto druhu funguje.

Výroba elektrické energie z geotermální energie, potažmo z vrtů, není nikde použita. Zatím nejdále je projekt městské teplárny v Litoměřicích. Zde by měla geotermální elektrárna nahradit dosluhující teplárnu využívající uhlí.

5.3.1 Technologie

Technologie je stejná jako systém HDR, zmíněná v odstavci 5.2.3. Projekt je možné realizovat, protože město Litoměřice se nachází nad příhodnou oblastí českého masivu v Ústeckém kraji. První vrty, které byly uskutečněny do hloubky 2100 m, dosáhly v dolní části vrtu teploty 65,5 °C. [7] Byla též potvrzena malá seismická aktivita.

5.3.2 Realizace a přínos obyvatelstvu

Naopak, jak uvádí [2] mají být vyprojektovány vrty s délkou 4 – 5 km s tepelným výkonem horního výměníku 47,25 MWt. Spodní výměník má mít rozměry 1200x600 m. Injekční vrt má průřez: 38,2 m² a dva produkční vrty 2x19,1 m². Celková plocha teplárny je odhadována na 1730 m². Předpokládá se, že výkonem teplárna pokryje až 8000 domácností ve městě Litoměřice a přilehlého okolí.

Předpokládá se, že výkonem teplárna pokryje až 8000 domácností ve městě Litoměřice a přilehlého okolí.

5.4. Jednotky ve světě

Tato kapitola se věnuje úspěšným příkladům elektráren, které využívají geotermální energii.

5.4.1 Larderello – Itálie

Počáteční možnosti využití geotermální energie k výrobě elektřiny spadají do doby kolem roku 1900. První skutečnou elektrárnou byla jednotka v Larderello v Itálii, přesněji v Toskánsku. Roku 1904 zde spustil P.G. Conti první parní stroj o výkonu ¼ koňské síly. O rok později zde již pracovala turbína s 20 kW dynamem.

Zdroj pracuje na suchou páru. Výkon jednotky je 112 MW. Celkový instalovaný výkon v Itálii je 843 MW. Hrubá výroba se pohybuje okolo 5 TWh elektrické energie (pro představu je to stejné množství energie jako součet celoroční výroby elektřiny z vodních a fotovoltaických elektráren v ČR).

V současnosti se v Itálii vyrábí přes 10% celosvětové výroby elektrické energie z geotermálních procesů. Larderello se skládá ze 4 bloků, které byly postaveny postupně (viz. tabulka 5.1).

	<i>Elektrárny</i>			
	<i>Lago</i>	<i>Molinetto</i>	<i>Gabbro</i>	<i>Travale</i>
<i>Množství páry(kg.s⁻¹)</i>	22,22	36,11	40,28	69,44
<i>Tlak páry (bar)</i>	2,5	6,5	6,5	14,0
<i>Nezkondenzovatelné páry (%)</i>	1,7	4	12	5
<i>Hrubý výkon (MW)</i>	8,855	19,210	19,005	43,230
<i>Čistý výkon (MW)</i>	8,305	17,945	16,515	40,750
<i>Teplota par na vstupu (°C)</i>	127,4	190	162,0	195,1

Tab. 5.1: Seznam bloků v Larderello a jejich parametry [5]

Problémem v této oblasti je (a v každé z dalších) vysoký podíl příměsí druhotných plynů (CO₂, H₂S, silikáty, sultanáty, bórové kyseliny a chloridů) v koncentraci až 300 ppm. Zejména chloridy působí korozivně na části turbín, proto se snižuje obsah látek až do velikosti 30 ppm. [5]

*pozn. **Parts per million** (z angličtiny, česky „dílů či částic na jeden milion“), zkráceně též **ppm**, je výraz pro jednu miliontinu (celku); někdy je tento výraz odvozován i z latinského *pars per milion*.*

Dříve se bórové sloučeniny využívaly, byly separovány a prodávány. Stejně jako ostatní látky. Dnes je to již neekonomické.



Obr. 5.11: Soustava děl Larderello

5.4.2 Mutnovsky, Kamčatka. Ruská federace

Tato oblast se nachází v blízkosti Petropavlovsku. Území Kamčatky je velice řídké a elektrifikováno. Proto se rozhodlo využít geotermální energie. Celková kapacita geotermální energie je odhadována na 1130 MWe při využití teplot vyšší než 150°C a až 1345 MWt při využití potenciálu nižšího než 150°C po dobu delší než 100 let. [3], [5]

Jednotlivé elektrárny, případně vrty, jsou rozmístěny na celém území Mutnovského komplexu. První využívání se datovalo od roku 1954, kdy bylo instalováno soustrojí o výkonu 2x2,5 MW. Postupně se výkon zvyšoval až do roku 1999.

V současné době byla započata rekonstrukce. Došlo k vyvrtání tří produkčních vrtů, každý o výkonu 4 MW. Technologie využití, tzv. „single flash“, byla doplněna o zařízení zvyšující kvalitu páry. Ta dosahuje až 99,98 %. Zajímavě je zde řešen problém nízkotlaké páry. Již nejde na turbínu, ale pára je využívána pouze pro ejektor pro odstranění nekondenzovatelných plynů v kondenzátoru.

Parametry elektrárny: Tlak páry na vstupu do turbíny: 800 kPa, teplota: 170°C, teplota kondenzátu: 50°C. Jedná se o plno otáčkové soustrojí, tedy 3000min⁻¹. V roce 2002 došlo k modernizaci, kde se výkon opět zvýšil. Tentokrát na 2x25 MW. Předpokládané využití místního zdroje je až 300 MW.

Každá z turbín pracuje s hmotnostním průtokem 42,9 kg.s⁻¹. Vstupní tlak je 620 kPa, kondenzační tlak 5 kPa a účinnost celé elektrárny je 33,5 %. [3], [5]



Obr. 5.12: Mutnovsky geotermální elektrárna [5]

5.4.3 Heber Binary Plants. Kalifornie, USA

Heber je město, které leží v Kalifornii v USA pouhých 6 km od hranic s Mexikem. První vrt v této oblasti uskutečnila firma Chevron při hledání ropy. Brzy však zjistila, že již v hloubce okolo 1200 m dosahuje teplota hodnot okolo 190°C. Prvotní vývojové plány předpokládaly nasazení sedmi jednotek o výkonech 3x100 MW a 4x50 MW. Celková plocha, ze které se pára čerpá, dosahuje až 4 km². [5]

Elektrárna se budovala ve dvou etapách: V první se jednalo o binární proces s pozemním výměníkem, výkon se pohyboval na úrovni 47 MW s parametry:

- 15 produkčních vrtů,
- hmotnostní průtok byl 940 kg.s⁻¹ při teplotě 182°C,
- 9 injektážních vrtů,
- pracovním médiem turbíny byla směs uhlovodíků (90% isobutan a 10% isopentan),
- admisní tlak 4 MPa, výměník měl rozměry 24x2 m.

Druhou etapou bylo umístění dalšího bloku o výkonu 44 MW (většinou se jedná o hrubou výrobu, ze které je nutné odečíst výkon na vstřikování vody zpět do země). Opět se jednalo o binární systém, tentokrát s čistým isopentanem. Hrubá tepelná účinnost byla 12,5 %. Hrubá efektivita využití byla do 42,5 %. [5]

V roce 2000 bylo zjištěno, že elektrárna pracuje 99% celkového času s průměrným výkonem na úrovni 90% nominálního výkonu. Bližší informace lze nalézt například v [5].

5.4.4 Hatchobaru. Kjúšú. Japonsko

Hatchobaru vznikl ve třech krocích. Od roku 1977 zde pracuje malá jednotka, která je vybavena technologií „double-flash“ s výkonem 55 MWe. V hloubce kolem 1700 m je velice vysoká teplota až 300°C. [5]

Je to také první komerční elektrárna, která využívá výše zmíněný systém. V roce 1958 využívala podobný princip elektrárna Wairakei na Novém Zélandu, ale čistě o „double-flash“ se nejednalo. [5], [6]

V současné době má Hatchobaru 3 bloky (55 MW – 1977, 55 MW – 1990 a binární jednotku 2 MW – 2003). Dále obsahuje 28 produkčních vrtů s celkovým hmotnostním průtokem geofluidu 710 kg.s⁻¹ a 16 reinjektážních vrtů. [5]

Zajímavé jsou údaje o binární jednotce. Tato malá jednotka je postavena pro ověřování parametrů a předpokládá se další vývoj:

<i>Hrubý výkon</i>	<i>2000 kW</i>
<i>Vstupní tlak</i>	<i>400 kPa</i>
<i>Vstupní teplota</i>	<i>143,6 °C</i>
<i>Průtok páry</i>	<i>4,96 kg.s⁻¹</i>
<i>Průtok mineralizované vody</i>	<i>17,82 kg.s⁻¹</i>
<i>Teplota mineralizované vody</i>	<i>143,1 °C</i>
<i>Typ generátoru</i>	<i>Synchronní, bezkartáčový, 2230</i>
<i>kVA Využitelná účinnost, hrubá</i>	<i>35%</i>

Tab. 5.2: Parametry binárního cyklu Hatchobaru [5]



Obr. 5.13: První elektrárna na principu „double flash“ [6]

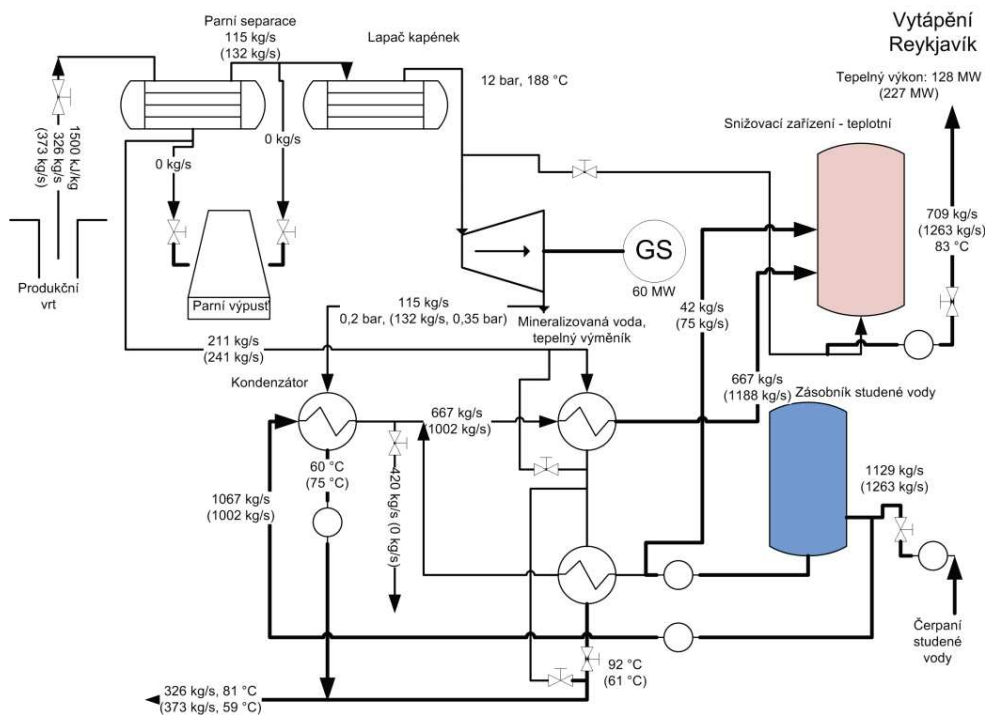
5.4.5 Nesjavellir, Island

Prvotní úvahy o vybudování geotermálního zdroje se objevily v roce 1990. Vystála potřeba 100 MWt a okolo 600 l.s⁻¹ 80°C horké vody. To byla první etapa. Následovalo několik rozšíření, až v roce 1998 bylo rozhodnuto vybudovat elektrárnu. Výstavba trvala pouhých 22 měsíců a stala se druhou největší elektrárnou na Islandu.

Elektrárna má instalovaný výkon 2x30 MWe a 200 MWt. Má 10 produkčních vrtů, centrální separační jednotku. Dodává 132 kg.s⁻¹ páry a 240 kg.s⁻¹. Turbíny jsou opět plnootáčkové, každá s hlností 57,2 kg.s⁻¹ se vstupním tlakem 1,2 MPa a tlakem kondenzačním 20 kPa. Výrobce turbín byla firma Mitsubishi Heavy Industries. Na následujících obrázcích můžeme vidět strukturu elektrárny a její parametry. [1]

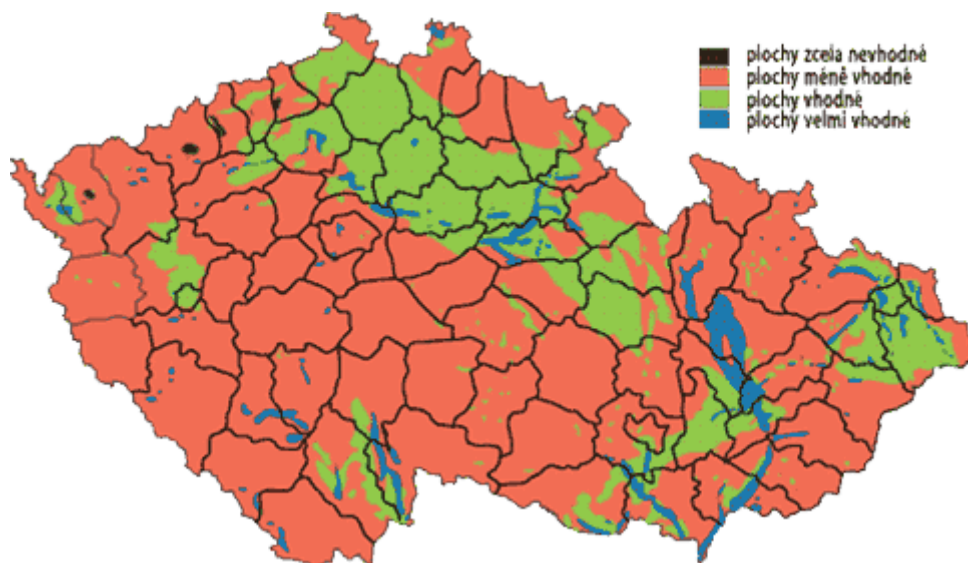


Obr. 5.14: Fotografie komplexu elektrárny [1]



Obr. 5.15: Schéma kogenerační elektrárny na Islandu s parametry [1]

Závěr: Potenciál ploch pro využití geotermální energie v ČR znázorňuje následující mapa:



Na základě geologického posudku se zhodnotí vydatnost zdroje a náklady na jeho využití (hloubka uložení, max. čerpané množství, teplotu a využitelný teplotní spád). Dále hodnotí rizika využití. U geotermálních vod jde zejména o mineralizaci na základě chemických rozborů čerpaných vod. Posoudí možnost vypadávání rozpuštěných minerálů při ochlazení vod. S tím posoudí navrhovaná technická opatření (pevné zařízení pro chemické čištění výměníků, plastové výměníky, demineralizační stanice). V neposlední řadě porovná podle geologických podkladů dobu vyčerpání zdroje a životnost systému.

Zvláštní částí posouzení projektu na využití geotermálních vod je problematika odvodu využitých vod. Je nutná konzultace se správcem povodí, nebo majitelem kanalizace a ČOV o zpoplatnění vypouštění vod. Vypouštění vod se značným obsahem minerálních látek může ohrozit realizaci projektu. Pokud nelze použité vody vypouštět do vodoteče, je nutno provádět reinjektáže vod do blízkosti původních horizontů.

Ocenění potenciálu výroby energie

Zdroj geotermální energie je stabilním zdrojem, obvykle pracuje řadu let bez fluktuací. Problémy spíše nastávají se spotřebitelskou částí u mineralizovaných vod.

Výpočet potenciálu se provádí na základě geologického a hydrologického posudku. Při větších projektech se investor neobejde bez provedení zkušebních vrtů. Následují výpočty roční výroby na geotermálním zdroji a roční spotřeby energie na využití zdroje (převážně čerpací práce).

Roční spotřeba elektrické energie je pouze částí provozních nákladů. Ty bývají silně ovlivněny náklady na údržbu zařízení, zvláště u mineralizovaných vod. Pokud se počítá s vypouštěním znečištěných vod do vodoteče, pak sankční poplatky mohou ekonomii projektu naprosto zvrátit.

Ze řady výzkumných studií je možné odvodit, že na našem území je podle prvních výpočtů možné identifikovat minimálně 60 lokalit vhodných pro výrobu elektřiny s celkovým

výkonem cca 250 MW a tepla na vytápění s výkonem cca 2 000 MW, což představuje roční výrobu cca 2 TWh elektřiny a 4 TWh využitého tepla.

S ohledem na to že oceněné množství geotermální energie které by se mohlo využít je mnohem větší než celkové množství energetických zdrojů které mají základ ropu, uhlí a zemní plyn mělo by se geotermální energii přikládat větší význam. Obzvláště jestli se vezme v úvahu že je to levný, obnovitelný zdroj energie který je také ekologický přijatelný. S ohledem na to že geotermální energie není lehkou dostupná mělo by se alespoň využít místa na kterých je ta energie dostupná (okraje tektonických desek) a na ten způsob alespoň trochu zmenšit spotřebu fosilních paliv a tak pomoci Zemi aby se uzdravila od škodlivých skleníkových plynů.



Jeden z pramenů vřelé vody na Islandě je výhodný pro využívání geotermální energie. Island je stát který nejvíce používá svoji přírodní polohu pro využívání geotermální energie.

Geotermální energie se používá i v hospodářství aby se zvětšila úroda. Voda z geotermálních rezervoárů se používá na zahřívání pro pěstování květin a zeleniny. V skleníku se nezahřívá jenom vzduch, ale také i půda na které rostou rostliny. Stoletími se to používá v střední Itálii, a Maďarsko momentálně uspokojuje 80% energetických potřeb skleníku s geotermální energií.

5.5 Otázky úkoly

- 1) Jak vzniká geotermální energie
- 2) Popište způsoby využití geotermální energie
- 3) Vysvětlete funkci tepelného čerpadla, viz obr. 5.3
- 4) Vysvětlete a popište metody suchých a mokrých par
- 5) Co představuje metoda HDR
- 6) Popište problematiku využití geotermální energie v ČR

5.5. Literatura

- [1] Ballzus, C., Frimannson, H., Gunnarsson, I.G., Hrolfsson, I.: The Geothermal power Plant at Nesjavellir, Iceland. Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu - Tohoku, Japan, May 28 - June 10, 2000
- [2] BOMBÍK, Z. Potenciální využití geotermální energie v České republice. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 56s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lukáš Radil.
- [3] Britvin, O.V., Povarov, O.A., Klochkov, E.F., Tomarov, G.V., Luzin, V.E.: Mutnovsky geothermal power complex in Kamchatka, Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu - Tohoku, Japan, May 28 - June 10, 2000
- [4] Dickson, m.h., Fanelli, m. What is Geothermal Energy? Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR , Pisa, Italy, Prepared on February 2004,
- [5] Dipippo, R. Geothermal power plant. 2008, ISBN: 978-0-7506-8620-4.
- [6] Hatchobaru Power Plant, Kyushu Electric Power Co., Dostupné na <Inc.http://www.mhi.co.jp/en/products/detail/_icsFiles/artimage/2008/01/23/cep_d_pe_re/1_geo1.jpg>
- [7] Myslil, V., Tym, A.: Stránky města Litoměřice – geotermální projekt , citováno dne: 12.12.2011, datum aktualizace: 12.4.2010, Dostupné z <http://www.litomerice.cz/gte/index.php?lang=cz&akce=novinky&func=clanek&par=78>
- [8] Radil, L. Eliminace diskontinuity dodávky energie z obnovitelných zdrojů. Pojednání o dizertační práci. Brno (2010).
- [9] TJ's Plumbing & Heating [online]. c2003, 2011 [cit. 2011-05-25]. Geothermal Energy for Heating and Cooling. Dostupné z <http://www.tjsgeothermal.com/services/geothermal/geothermal-energy-forheating-andcooling>
- [10] US.DEPARTMENT OF ENERGY: GEOTHERMAL TECHNOLOGIES PROGRAM [online]. 2006, 20.03.2009 Datum citace: 12.10.2011. Dostupné z <http://www1.eere.energy.gov/geothermal/powerplants.html>
- [11] Mastný, P., *Využití znalostních technologií pro podporu návrhu energetických systémů v budovách*, Habilitační práce, Brno 2010, Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 123 stran