

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING**

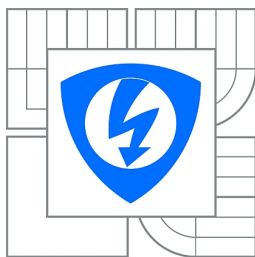
MOŽNOSTI VYUŽITÍ GEOTERMÁLNÍ ENERGIE V ČESKÉ REPUBLICE

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS**

**AUTOR PRÁCE
AUTHOR**

ZDENĚK BOMBÍK

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Zdeněk Bombík

ID: 73078

Ročník: 3

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Potenciální využití geotermální energie v České republice

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Analýza umístění v rámci ČR.
2. Výběr použitelných metod .
3. Návrh využití geotermálního tepla.
4. Návrh konkrétního zařízení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 26.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Radil

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

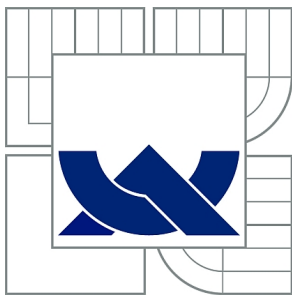
BOMBÍK, Z. *Potenciální využití geotermální energie v České republice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 56s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lukáš Radil.

Prohlašuji, že jsem svou **bakalářskou práci** vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

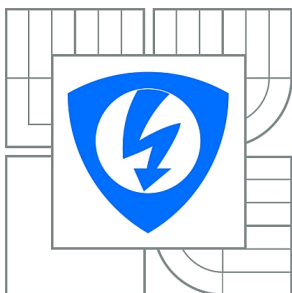
.....

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Lukáši Radilovi za vstřícný přístup, účinnou metodiku, pedagogickou a odbornou pomoc i cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNologiÍ**
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

POTENCIÁLNÍ VYUŽITÍ GEOTERMÁLNÍ ENERGIE V ČESKÉ REPUBLICE

POTENTIAL USAGE OF GEOTHERMAL ENERGY IN THE CZECH REPUBLIC

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ZDENĚK BOMBÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. LUKÁŠ RADIL

BRNO 2011

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku geotermální energie a potenciál jejího možného využití v České republice. V práci je uveden popis technologií na využívání geotermální energie vyšších, středních a nižších teplot. Práce dále obsahuje popis metod na přímé i kogenerační získávání el.energie. Na konci práce přibližuje první realizovaný projekt geotermálního zařízení v České republice, který se nachází v Litoměřicích. Zaměřuje se také na analýzu jejího území a potenciálu využití geotermální energie.

KLÍČOVÁ SLOVA: geotermální energie, HDR, ARC, ORC, geotermální analýza České republiky.

ABSTRACT

This bachelor thesis is dealing with geothermal energy problems and its potential of possible utilization in the Czech Republic. In this work, the description of technologies for utilizing geothermal energy of higher, middle and lower temperatures, is presented. The thesis also includes the description of methods for direct and cogenerative development of electrical power. At the end of this thesis, the first realized project of geothermal equipment in the Czech Republic, situated in Litoměřice, is clarified. The work is also concerned about the analysis of its area and geothermal energy utilizing potential

KEY WORDS: Geothermal energy, HDR, ARC, ORC, Geothermal Analysis of Czech republic

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	10
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	12
1. ÚVOD.....	13
2. NOVÉ SMĚRY VÝVOJE ENERGETIKY	15
2.1 PAROPLYNOVÉ ELEKTRÁRNY	15
2.2 JADERNÁ ENERGETIKA	16
2.3 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE.....	17
3. ZÁKLADY GEOTERMÁLNÍ PROBLEMATIKY.....	21
4. ZEMNÍ A GEOTERMÁLNÍ VRTY	24
5. HYDROTERMÁLNÍ TECHNOLOGIE.....	25
5.1 TECHNOLOGIE ELEKTRÁREN SUCHÝCH PAR.....	25
5.2 HYDROTERMÁLNÍ TECHNOLOGIE MOKRÉ PÁRY	27
5.3 GEOTERMÁLNÍ TECHNOLOGIE POVRCHOVÉHO TEPELNÉHO ZÁSOBNÍKU	29
6. ROZŠÍŘENÉ GEOTERMÁLNÍ SYSTÉMY	31
6.1 TECHNOLOGIE HDR	32
6.2 TECHNOLOGIE FDR.....	34
6.3 MOŽNÉ DALŠÍ NEELEKTRICKÉ VYUŽITÍ GEOTERMÁLNÍCH SYSTÉMŮ	35
7. TECHNOLOGIE TEPELNÝCH ČERPADEL.....	36
7.1 TEPELNÁ ČERPADLA	36
7.1.1 GEOTERMÁLNÍ TEPELNÁ ČERPADLA.....	37
8. POTENCIÁL GEOTERMÁLNÍ ENERGIE VE SVĚTĚ	38
8.1 SOUČASNÉ ELEKTRÁRNY	39
8.1.1 ITÁLIE	39
8.1.2 USA	39
8.1.3 JAPONSKO	40
8.1.4 ZBYTEK SVĚTA.....	40
8.1.5 OSTATNÍ ZEMĚ V EVROPĚ	40
8.2 VŠEOBECNÝ PŘEHLED INSTALOVANÝCH VÝKONŮ.....	42
9. TECHNOLOGIE NA VÝROBU ELEKTRICKÉ ENERGIE	43
9.1 ANORGANICKÝ RANKINŮV CYKLUS (ARC).....	43
9.1.1 FUNGOVÁNÍ CYKLU	44
9.2 KALINOVÝ CYKLUS	45
9.3 ORGANICKÝ RANKINŮV CYKLUS (ORC).....	46
9.3.1 FUNGOVÁNÍ CYKLU	48

10.POTENCIÁL MOŽNÉHO VYUŽITÍ GEOTERMÁLNÍHO TEPLA V ČR.....	49
10.1 PŘEDSTAVENÍ GEOTERMÁLNÍ TEPLÁRNY LITOMĚŘICE S KOGENERAČNÍ VÝROBOU ELEKTRICKÉ ENERGIE.....	50
11.POTENCIÁL VYUŽITÍ HDR V ČR	52
12.ZÁVĚR.....	53
POUŽITÁ LITERATURA	54

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3-1 - řez Zeměkoulí zobrazující jednotlivé tepelné slupky [5]	21
Obr. 3-2 – teploty v zemských slupkách [6]	23
Obr. 4-1 - pohled na využitelnost vrtů v závislosti na hloubce [7]	24
Obr. 5-1 – pohled na schéma technologie suché páry (Dry steam power plant) [11]	25
Obr. 5-2 – schéma technologie mokré páry (Flash steam power plant) [11]	27
Obr. 5-3 – schéma technologie dvojité mokré páry (Double flash power plant) [11]	28
Obr. 5-4 – schéma technologie povrchového zásobníku (Binary power plant)[11]	29
Obr. 6-1 – pohled na systém HDR (hot dry rock) [33]	32
Obr. 6-2 – pohled na technologii FDR (fractured hot rock)[34]	34
Obr. 7-1 – pohled na tepelné schéma tepelného čerpadla [12]	36
Obr. 8-1 – znázornění tepelně a tektonicky nejaktivnějších oblastí na mapce světa [6]	38
Obr. 9-1 – průběh T-s diagramu Rankinova cyklu pro vodu v rozmezí tlaků (0,06 – 50 bar)[17]	43
Obr. 9-2 – pohled na schéma základního Rankinova cyklu [17]	44
Obr. 9-3 – graf průběhů teplot a tlaků výparných a kondenzátních křivek na složení směsi [35]	45
Obr. 9-4 – schéma Kalinova cyklu [35]	45
Obr. 9-5 – schéma ORC cyklu [35]	47
Obr. 9-6 – průběh T-s diagramu pro ORC [35]	47
Obr. 9-7 – graf pro průběh účinnosti ORC menšího výkonu pro isobutan [35]	48
Obr. 10-1 – geotermální mapa ČR [31]	49
Obr. 10-2 – schéma kogenerační geotermální teplárny v Litoměřicích	51

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 - legenda určující vhodnost použití látek v ORCpříloha

Tab.2 - organické látky využitelné v ORCpříloha

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

KVET	– kominovaná výroba el.energie a tepla
ORC	– Organic Rankine Cycle – organický Rankinův cyklus
ARC	– Anorganic Rankine Cycle – anorganický Rankinův cyklus
HDR	– Hot Dry Rock – horká suchá hornina
FDR	– Fractured Hot Rock – rozpukaná horká hornina
EGS	– Enhanced geothermal systems – rozšířené geotermální systémy
SHR	– Sedimentary Hot Rock – sedimentární horké horniny
IEA	– International Energy Agency – mezinárodní energetická agentura
PW	– production well – produkční vrt
IW	– injection well – injekční vrt
WV	– wellhead valve – hlavní ventil potrubí
IP	– injection pump – injekční čerpadlo
SP	– steam piping – parní potrubí
MR	– moisture remover – odstraňovač vlhkosti
CSV	– control and stop valve – kontrolní a uzavírací ventil
T/G	– turbine / generátor – turbína s generátorem
SE/C	– steam ejector/condenser – parní vypuzovač/kondenzátor
C	– condenser – kondenzátor
CP	– condenser pump – kondenzátní čerpadlo
CWP	– cooling water pump – čerpadlo chladicí vody
CT	– cooling tower – chladicí věž
BCV	– ball and Cheb valve – uzavírací kulový ventil
WP	– water piping – vodní potrubí
S	– silence – tlumič
F	– flash unit – sálavá (záblesková) jednotka
CW	– cooling water – chladící voda
E	– evaporator – výparník
PH	– preheater – předehřívák
FF	– final filtre – konečný filtr
M	– make-up water – upravovač vody
SR	– sand remover – odstraňovač písku (větších částec)

1. ÚVOD

Počátkem 21. století se začala naše civilizace po celém světě měnit. Na jedné straně se zvyšuje energetická náročnost růstem počtu obyvatelstva jednotlivých regionů a aglomerací, a tím i jejich životní úrovně. Na straně druhé je patrný nárůst industrializace průmyslu, čímž se stává toto odvětví spotřeby energií více energeticky náročnější. Společnost v tomto století vyžaduje obrovské množství energie zejména proto, že na el.energii už dnes pracují skoro veškeré stroje, zařízení, světla a domácí spotřebiče. Můžeme tedy říci, že rozvojem průmyslu, technologií, ale také i domácností a stavitelství se bude spotřeba nadále zvyšovat. Mezinárodní energetická agentura (dále už jen IEA) také naznačila, že se využívá stále více elektřiny ke svícení (ve světě je to okolo 13% celkové spotřeby). V blízké budoucnosti se také plánuje v daleko větší míře rozvoj „elektromobility“, dle prognóz se ujmou ve větší míře automobily s hybridním pohonem než čisté elektromobily, a s nimi plánované tzv. čerpací stanice pro ně budou spotřebu el.energie zvyšovat podstatnou měrou. V rozvoji vlakové dopravy stojí jistě za zmínku rozšiřování tratí, jež ještě elektrifikovány nejsou, modernější vlaky a zavádění rychlovlaků na některých státních a národních linkách. Pokud se na tuto problematiku podíváme z pohledu městské tramvajové a trolejbusové dopravy budou nové dopravní prostředky mít větší spotřebu a rovněž větší energetickou náročnost. Z předchozích informací tedy vyplývá, že spotřeba el.energie v příštích letech poroste. S tímto faktem musí počítat energetická koncepce jednotlivých měst a států, popř. celé Evropské Unie.

Poptávka po el.energii je tedy velmi vysoká a v budoucnu zajisté poroste. Podle organizace IEA se do roku 2030 zvýší spotřeba elektřiny až o 50% a v roce 2050 až o 100%. Z tohoto je jasné, že růst spotřeby energií bude daleko více v rozvojových zemích Asie (Čína, Malajsie, Indie), Afriky (JAR, Egypt) a Jižní Ameriky (Brazílie, Argentina, Venezuela a Chile). Trend růstu bude zajisté i v Evropě, ale nebude tak dramaticky velký jako v rozvojovém světě. Nicméně i v Evropě se musí výroba reagovat na vývoj spotřeby. Jen v ČR bylo za rok 2010 spotřebováno asi 66 TWh. Dle těchto odhadů IEA by tedy spotřeba v ČR měla narůst asi na 100 TWh v roce 2030 na 130 TWh v roce 2050. V příštích letech bude tedy nutné do zdrojů energií investovat nemalé prostředky, aby byly energetické společnosti schopny uspokojit rostoucí poptávku na trhu. Budou nutné investice do zdrojů, které budou ekologičtější, efektivnější a hlavně levnější na provoz než dnešní stávající technologie výroby el.energie.

Z pohledu české energetiky bylo 20. století symbolem pro rozvoj tepelné energetiky, zejména uhelných elektráren velkých výkonů spalujících hnědé uhlí. Česká republika měla

v tomto velkou výhodu. Na našem území se nacházely ložiska černého uhlí (Ostravsko – Karvinsko), hnědého uhlí (Krušné hory) a lignitu (Hodonínsko). Pro rozvoj tepelné energetiky velmi dobré podmínky a předpoklady. Začátkem 80. let 20. století se začala rozvíjet na našem území jaderná energetika, která patří mezi nekonvenční výroby el.energie v tepelné energetice. První elektrárnou byla jaderná elektrárna Dukovany a později v roce 2000 druhá jaderná elektrárna v Temelíně. Dnes většina těchto tepelných elektráren jsou začleněny do skupiny ČEZ, která je největším výrobcem el.energie v České republice s podílem zhruba 70% a je rovněž jedním z největších subjektů v českém teplárenství.

V klasických teplárnách na území ČR se však stále ve velké míře používá uhlí. V poslední době však s uhelnými společnostmi nastaly problémy ohledně cen a výhled do budoucna naznačuje, že některé teplárny přejdou na vytápění zemním plynem nebo instalují moderní fluidní kotle a budou spalovat biomasu, aby snížili závislost právě na spotřebě uhlí.

Po celém světě se však začala řešit otázka, jak tyto fosilní a neekologická paliva v budoucnu nahradit v co největší míře. V některých zemích EU se částečně redukovaly zdroje využívající fosilní paliva rozvojem a výstavbou jaderných elektráren (Francie, ČR, Švýcarsko, Švédsko). Tyto energetické zdroje se uchytily natolik, že fosilní zdroje nahradily ve větší míře než jinde. Bylo to částečně kvůli politickým důvodům a částečně v důsledku obavy o zdražení ropy, zemního plynu i uhlí. Většina zemí se ovšem jaderné energetiky nepustila (Rakousko), omezila její budování nebo od ní začíná upouštět (Německo). Velmi k tomu přispěla havárie jaderné elektrárny v ukrajinském Černobyli v roce 1986, což byla nejhorší havárie takového typu zařízení na světě (havárie stupně 7). Do jisté míry k tomu přispěla havárie v elektrárně Three Mile Island v roce 1979 v USA, a také v poslední době poslední známá havárie v jaderné elektrárně Fukushima I (dajiči), po mohutném zemětřesení a následné vlně tsunami. [1]

Na počátku 21. století se tedy začala řešit otázka, jakým dalším směrem by se měla energetika ubírat. Smyslem bylo, aby nacházela nové možnosti dostupných zdrojů energií a také hlavně aby nastínila možnosti náhrady primárních fosilních zdrojů, u kterých se začíná jejich těžba prodražovat. S docházením a prodražováním fosilních paliv souvisí zdražování energií u energetických firem napříč energetickým sektorem.

2. NOVÉ SMĚRY VÝVOJE ENERGETIKY

Svět se na počátku 21. století se vydal třemi směry k pokrytí stoupající poptávce energií a tím pokrytí energetické náročnosti. Tyto 3 směry jsou paroplynové elektrárny a teplárny, nové a bezpečnější jaderné technologie a také obnovitelné zdroje energie.

2.1 Paroplynové elektrárny

Tím prvním směrem, který se uchytil, je výstavba paroplynových elektráren. Jedná se o formu ekologičtější výroby el.energie, což je její výhoda oproti uhelným elektrárnám, protože mají daleko vyšší účinnost a tím i efektivita. Další výhodou těchto zdrojů je jejich operativnost v rámci elektrizační soustavy, kdy mohou být využity na krytí spotřeby ve špičkách nebo v případě např. Německa na krytí obnovitelných zdrojů v případě špatných klimatických nebo povětrnostních podmínek. Do výhod se dá zahrnout i snadnější budování a nižší pořizovací náklady. Mezi nevýhody těchto elektráren patří hlavně cena paliva, a s tím hodně diskutovaná energetická bezpečnost a nezávislost jednotlivých zemí. Zemní plyn do Evropy proudí hlavně z Ruska (kryje 25% spotřeby), ale rostou také dodávky ze zemí Blízkého východu (Lybie, Alžírsko a Egypt) a oblasti Severního moře (těžba Velké Británie, Norska). Na globální úrovni rovněž začíná růst podíl zkapalněného zemního plynu hlavně z oblastí střední Afriky a Ameriky. Nejenže je tato komodita velmi drahý obecně, ale v plynové krizi v roce 2006 byl použit i jako politická a mocenská zbraň, čímž byla ohrožena stabilita dodávek do Evropy. Z pohledu těchto aspektů je tedy spíše sporné uvažovat o nahrazení veškerých uhelných elektráren pomocí elektráren na zemní plyn. Tyto tendence můžeme pozorovat hlavně v zemích EU, jenž velmi často volají nejvíce po ekologii a ochraně životního prostředí a hovoří se o tzv. „Zelených zemích EU“. Převážně sem patří Německo, Rakousko, ale také hlavně země ve Skandinávii, na Slovensku či Maďarsku je počítáno s tou energetickou koncepcí. Vyjímkou ovšem není ani Česko, kde chce do tohoto způsobu výroby elektřiny investovat skupina RWE (850 – 1000 MW) v lokalitě Čelákovice a také ČEZ, který oznámil stavbu nového zdroje v elektrárně Počerady rovněž o výkonu 1000 MW nebo plány na výstavbu v elektrárně Mělník. ČEZ ovšem ve spolupráci s maďarskou petrochemickou skupinou MOL hodlá investovat do elektráren v Maďarsku, Rumunsku Slovensku, Polsku, a Bulharsku. [1]

2.2 Jaderná energetika

Druhá cesta, kterou se vydaly některé země světa a Evropy je rozvoj jaderných technologií a elektráren. Dnešní moderní typy jaderných reaktorů dávají mnoho možností zejména zlepšení jejich bezpečnosti, nezávislosti a ekonomičnosti. Hned bych rád zdůraznil, v čem jejich výjimečnost spočívá.

Výhody jaderné energie převažují podle mého názoru nad nevýhodami. Hlavní výhodou JE je , že jsou bezemisní zdroje a také, že dodávky do sítě jsou velmi stabilní. V poslední době se začíná uvažovat také o využití odpadního tepla z těchto elektráren. U nás uvažuje skupina ČEZ, že by mohla teplem zásobovat třeba České Budějovice a tamní teplárna na uhlí a biomasu by byla pouze jako záložní zdroj elektřiny a tepla. Ale např. ve Francii či Švýcarsku je takováto dodávka již běžnou praxí. U nás se ČEZ chystá na dostavbu dvou bloků v JE Temelín a v plánu má dostavbu i Dukovan, nebo i dostavbu jaderné elektrárny na Slovensku (Jaslovské Bohunice). Další ze série výhod je oproti fosilním palivům výrazně nižší cena paliva a jeho dostupnost a nízká cena vyprodukované el.energie za 1 kWh. V otázkách paliva se dnes už více místo obohaceného nebo i přírodního uranu začíná používat Thorium, kterého je celkem dostatečné množství (Čína).

Nové směry ve vývoji jaderných technologií by nemusely být do budoucna zanedbatelné. Výzkum rychlého množivého reaktoru firmou AREVA, který by v budoucnu mohl být perspektivním zdrojem i s ohledem na bezpečnost (3 okruhy) a nakládání s jaderným palivem. Reaktor obsahuje množivou zónu, která je schopna generovat pomocí rychlých neutronů sekundární jaderné palivo. Momentálně je reaktor mimo provoz, ale perspektivu do budoucna má. Za zmínku stojí i projekt vysokoteplotních reaktorů, které mají výhodu v tom, že mají jako pracovní látku vzácný plyn (nejčastěji helium) používající plynovou turbínu o vysokých teplotách a je vhodný k výrobě vodíku, což se může jevit jako výhodné propojení s hybridními elektromobily v systémech elektro-vodík.

Nevýhodami jaderných elektráren jsou ovšem dle jejich odpůrců vyhořelá jaderná paliva („jaderný odpad“). Jako politické téma budí u veřejnosti velkou otázku. V elektrárně tento proces probíhá tak, že nějaký čas (pár let) je palivo uloženo v areálu elektrárny v bazénu vedle reaktoru než jej odešlou do meziskladu vyhořelého jaderného paliva a poté do trvalého hlubinného úložiště. V ČR funkci meziskladu a trvalého skladu tvoří skladiště v prostoru jaderné elektrárny Dukovany. [2,3]

2.3 Obnovitelné zdroje energie

Obnovitelné zdroje jsou dnes tou třetí skupinou v energetice, kam se nejvíce investuje. A je to velmi logický krok, neboť energetické společnosti nejen v ČR a EU, ale i ve světě musejí zvyšovat svoji nezávislost na fosilních palivech. Tento systém dnes ale funguje pouze za cenu vysokých výkupních cen a především vysokých pořizovacích nákladů a investic. Světová organizace pro obnovitelné zdroje, IRENA, se domnívá a odhaduje, že by v roce 2020 mohl svět z obnovitelných zdrojů vyrábět až 20% energie. A odvážná prognóza tvrdí, že v roce 2050 by to mohlo být až 50%.

Obnovitelné zdroje jsou vlastně veškeré zdroje energie, které jsou schopny se plně doplňovat či zotavovat při postupné spotřebě a to buď samovolně, nebo i za přispění člověka. Takto zní český zákon o podpoře obnovitelných zdrojů č. 180/2005 Sb. Jedná se o vybrané druhy mezi těmito zdroji energií, přičemž je můžeme zařadit do dvou skupin, a to na zdroje stálých dodávek a zdroje nestálých dodávek.

Do této první skupiny patří zdroje energie, které mají nestále dodávky do elektrizační soustavy. Právě z důvodu, že dnes stále ještě nemáme více rozvinutou rozvodnou a distribuční soustavu, tzv. technologii chytrých sítí „smart grid“, je problematické tyto nestálé zdroje řídit. Můžeme do této skupiny zařadit zejména energii z větrných, fotovoltaických a také solárních elektráren. Tato skupina environmentálních zdrojů je v současné době nejvíce propagována a rozšiřována i za cenu, že tyto skupiny mají jen omezené využití pro energetické potřeby ČR a spíše mají více nevýhod oproti jiným zeleným zdrojům. Tou velmi zásadní nevýhodou je závislost na stavu klimatických podmínek, v nichž jsou instalovány.

V případě České republiky, která je svojí krajinou a povětrnostními podmínkami pro výstavbu větrných elektráren naprosto nevhodná, je tento zdroj podporován velmi málo. U velké části veřejnosti, hlavně v lokalitách Moravské brány, kde je velmi stála a intenzivní síla větru, budí větrné turbíny nesouhlasné reakce, zejména proto, že lidem vadí poškození rázu krajiny. Nicméně se u nás už nějaké turbíny postavily. Jedná se o známou větrnou elektrárnu na poutním místě Svátý Hostýn. Velký zájem má na stavbu větrného parku na Hodonínsku také český gigant ČEZ. Další nevýhodou tohoto zdroje je příliš velká hlučnost i dle některých studií zaznamenaný úhyn ptactva v okolí vrtulových elektráren. Nicméně ve světě je tento druh rozvíjen nejvíce. Nejvíce elektráren se staví v pobřežních vodách na severu Německa, v USA, v pobřežních vodách Velké Británie, nebo také dnes už i v Číně a v Rumunsku, kde největší větrný park staví ČEZ.

Dalším málo a takřka pro české poměry taktéž nepoužitelným zdroje jsou solární elektrárny. Tyto energetické celky jsou ve své podstatě tepelné elektrárny, které místo kotle na spalování využívají soustředěnou solární energii ze zrcadlových systémů na ohřev vody skrze sběrnou věž. Ve své podstatě se neliší od fungování klasické konvenční tepelné elektrárny, jen s tím rozdílem, že je schopna dodávek pouze ve dne a pouze na místech, kde je vysoká intenzita slunečního záření. Stojí například v Kalifornii, Španělsku, Itálii nebo Austrálii. Pro ČR je v letních měsících použitelná maximálně tepelná energie ze solárních kolektorů a spíše pro potřeby nízkoteplotního ohřevu.

V posledních letech se v České republice rozmohly elektrárny fotovoltaické. Pro podmínky a možnosti ČR jsou z těchto tří druhů nejvíce použitelné. Ze schémat dopadu slunečního záření na území našeho státu vyplývá, že zejména na jihu je dostatečná intenzita záření a pro tento typ výroby vhodný. Je zde ovšem jiný problém. Problémem je politika EU. Ta nám nařídila, abychom vyráběli do roku 2020 nejméně 20% z obnovitelných zdrojů. Do této doby to bylo něco okolo 3,5% a zásluhu na tom měli zejména velmi efektivní vodní elektrárny. Rozjeli se tedy závody o to, který z investorů využije velké příležitosti na dalších 20 let mít garanci velmi vysoké výkupní ceny, která nemá obdoby. Problémů s fotovoltaikou je tedy zatím více, než kolik by přinesli pozitiv do výroby el.energie..

Jak jsem už uvedl, tím úplně hlavním problémem je velmi nestálá dodávka do elektrizační soustavy. Při dostatečném zvládnutí problémů s chytrými sítěmi by se dalo o efektivnosti hlavně v letních měsících uvažovat, ale dnes je hlavní problém, že tyto elektrárny vytvářejí velmi mnoho energie hlavně tehdy, když je energie dostatek, tj. když běží tepelné elektrárny, které jsou páteří naší energetiky.

Další z problémů je již zmíněná politika velmi vysoké garantované ceny. Elektrárny připojené do ledna 2011 využívají této výhody 13 Kč/kWh. Nově připojené už mají výkupní ceny nižší. Problém by ani nenastal, protože drtivá většina z oněch 10 300 elektráren nedosahuje výkonu 50 kWp instalovaného výkonu. Nynější instalace už mají stejný instalovaný výkon skoro přes polovinu Temelína, ale energie díky nízkému koeficientu využití vyrobí méně. Avšak oproti loňským rokům rostla instalace právě díky garancím velmi vysokých cen. Z toho vyplývá, že nejvíce zatěžuje distributory právě okolo těch 300 elektráren. Distribuční společnosti ČEZ, E.ON a PRE právě proto musejí zvýšenými poplatky od odběratelů hradit tyto velké elektrárny, aby pokryly ztráty v příjmech a výdajích.

Z pohledu normálního občana našeho státu však velká až neúměrná podpora ze strany státu a také fakt, že většina projektů elektráren stojí na úrodných polích budí dojem také morálních selhání politických elit.

Již zmiňovaný stav obnovitelných zdrojů a podpory v sousedním Německu je však citelně velký. Německo je velmoc, co se obnovitelných zdrojů týče a její ambice jsou rovněž velmi značné. Němci vsadili na rozvoj větrné energetiky hlavně v na severu v baltském moři a je rovněž jednou ze solárních velmocí v Evropě. Německo a Rakousko chtějí masivně investovat do vybudování sítě zelených zdrojů a v případě Německa postupné uzavírání jaderných a uhelných elektráren. Německo je rovněž příkladem země v této problematice, protože nejvíce jsou rozšířeny právě i paroplynové elektrárny, které Němci považují za nejčistší z těch fosilních zdrojů. Rovněž vyjádření tamních politiků lze považovat za odvážné ambice. Ministr pro energetiku dokonce prohlásil smělý plán, že Německo by do roku 2035-2040 bylo schopno pokrýt 50% odběrů z obnovitelných zdrojů energie a jít tak příkladem dalším zemím v EU.

Druhou skupinou obnovitelných zdrojů vhodnou pro ČR a skrývající velký potenciál jsou zdroje s konstantními dodávkami do elektrizační soustavy. Sem bych chtěl zařadit zdroje použitelné či dlouhodobě používané hlavně v ČR a jsou to vodní a přečerpávací elektrárny, energie biomasy a geotermální energie.

Ještě před již zmíněným prudkým rozvojem fotovoltaických elektráren byl v České republice nejrozšířenějším obnovitelným zdrojem el.energie potenciál vodních toků. České podmínky vedly v minulém století ke stavbě přehrad a vodních děl na všech větších tocích a nádržích. Tyto převážně velké vodní elektrárny slouží jako špičkový zdroj a jsou provozovány dle aktuálních energetických potřeb soustavy. Rovněž ruku v ruce s rozvojem jaderné energetiky se na našem území začalo s rozvojem přečerpávacích vodních elektráren, rovněž s poměrně velkými výkony. Tyto rovněž slouží v soustavě jako záložní nebo špičkové zdroje. Spolu s menšími a malými vodními elektrárnami vyrobili celkem 4% celkové energie. Jediným problémem je, že potenciál na stavbu nových vodních elektráren je v našich podmínkách již skoro vyčerpán.

Dalším ze zdrojů je biomasa a její prudký rozvoj je za dveřmi. Po velkém a drahém „boomu“ fotovoltaiky se začíná mluvit čím dál častěji právě o větším využívání tohoto paliva. Z pohledu tepelné energetiky je to myšlenka zajímavá a správná, ale jen v rozumných mezích. Tím mám na mysli, že rozumné spalování biomasy ve stávajících energetických výrobnách, kde se spalují fosilní paliva, by bylo ku prospěchu právě s ohledem na životní prostředí a zejména úsporu fosilních paliv. Dnes již některá zařízení takto fungují jako např. elektrárna v Hodoníně spalující

spolu s lignitem rovněž biomasu. ČEZ ale plánuje širší zapojení biomasy i do jiných větších elektráren, např. elektrárny Tisová, Poříčí nebo teplárna Dvůr Králové nad Labem. K větší míře využívání biomasy se už vyjádřily další firmy z oblasti teplárenství jako Dalkia CZ nebo sdružení německého koncernu MVV CZ, kteří mají na našem trhu velký podíl v KVET (kombinovaná výroba el. energie a tepla). Nejvíce je v plánu spalovat dřevní štěpku a dřevní odpady, ale také otruby, což jsou zbytky slupek po obilovinách nebo například sláma. Diskutovalo se i o využití energeticky využitelných rostlinách, ale názory ekonomů a světových expertů znějí zcela jasně proti těmto rostlinám, které by mělo za následek velké zdražení potravin. Experti rovněž varují před masivním využíváním dřevní biomasy, aby znovu nenastala dnešní situace. Bylo tím myšleno přílišné kácení lesů a pralesů a také možná závislost na dovozech ze oblastí jako je Sibiř v Rusku, protože již dnes řešíme situaci, kdy jsme ve velké míře závislí na dovozech ropy a zemního plynu. A po plynové krizi všichni viděli, jak může svět dopadnout, když bude příliš na tyto paliva spoléhat.

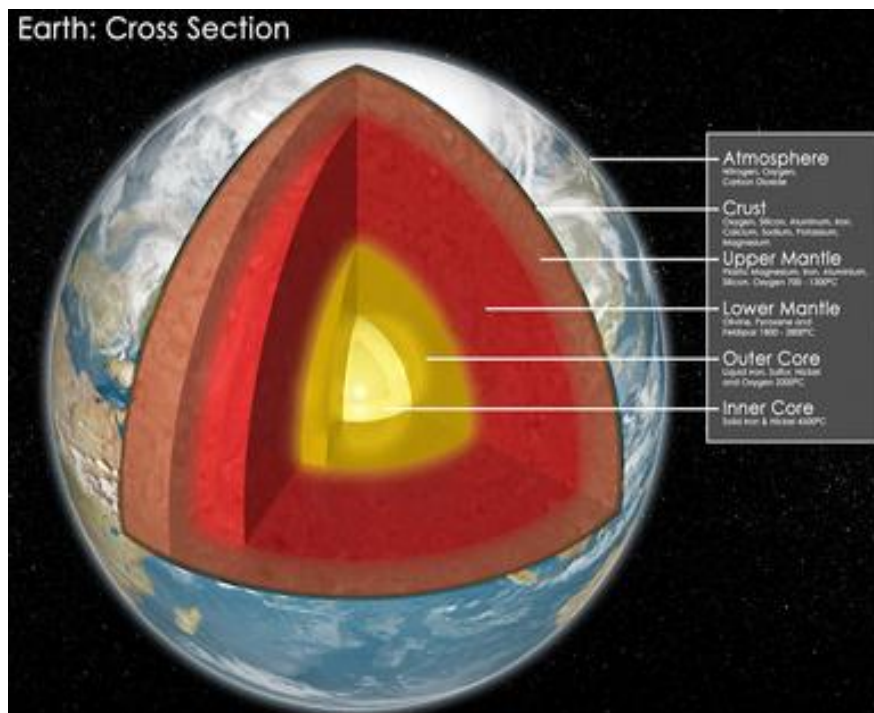
Pro potřeby české republiky je spalování biomasy v rozumné míře cestou správným směrem. I v rámci vývoje nových technologií se stále vylepšují fluidní kotle, které jsou efektivnější než kotle na běžná fosilní paliva. Elektrárny se z pohledu účinnosti stávají hospodárnější a daleko více ekologické z pohledu exhalací do ovzduší. A je důležité rovněž připomenout, že se tím využijí stávající energetická zařízení, což jsou elektrárny a teplárny konstantních dodávek tepla a el.energie.

Nejméně zastoupeným obnovitelným zdrojem ve světě obecně je geotermální energie, která se dosud využívá spíše k vytápění s využitím tepelných čerpadel. Jedná se ovšem o velmi perspektivní zdroj. O možnostech potenciálu této energie bude zmíněno v další kapitole. [4]

3. ZÁKLADY GEOTERMÁLNÍ PROBLEMATIKY

Geotermální tepelná energie je další ze zdrojů označovaných jako obnovitelné. Jedná se o tzv. prapůvodní energii, díky které v dávných dobách vznikl život na Zemi. Spolu se sluneční energií vytvářejí životní podmínky, jak je dnes známe. Význam názvu je z překladu a spojení dvou řeckých slov „Geos“ znamenající země a „thermos“ což znamená teplo. Takže významově to znamená jediný zdroj energie pocházející z nitra Země z obnovitelných zdrojů jako jediný.

Původ tohoto tepla započal už při vzniku naší planety. Jednu část tedy můžeme nazvat zbytkovým teplem ze vzniku. Další energie se uvolňuje pomocí proudění magmatu ve vnitřním a vnějším plášti planety. S tou energií můžeme zmínit i uvolnění energie při následné krystalizaci na minerály či horniny. Nemalá je rovněž energie způsobená pohybem litosférických desek v tektonických zlomech a aktivních oblastech světa. Ovšem ta největší část tepla se ovšem generuje z jaderných reakcí uvnitř jádra. Z těchto pochází plná polovina veškeré tepelné energie. Rozpadají se hlavně prvky uran ^{238}U , ^{232}Th (thorium) a ^{40}K (draslík). Současný tepelný tok Země se odhaduje okolo $5 \cdot 10^{20}$ J/rok. Při vzniku Zeměkoule to bylo dle odhadů pětikrát více. Obr. 3-1.



Legenda k Obr. 3-1

Cross Sectionp - průřez Země

Atmosphere - atmosféra

Crust - zemská kůra

Upper Mantle - horní plášť

Lower Mantle - dolní plášť

Outer Core - vnější jádro

Inner Core - vnitřní jádro

Obr. 3-1 - řez Zeměkoulí zobrazující jednotlivé tepelné slupky [5]

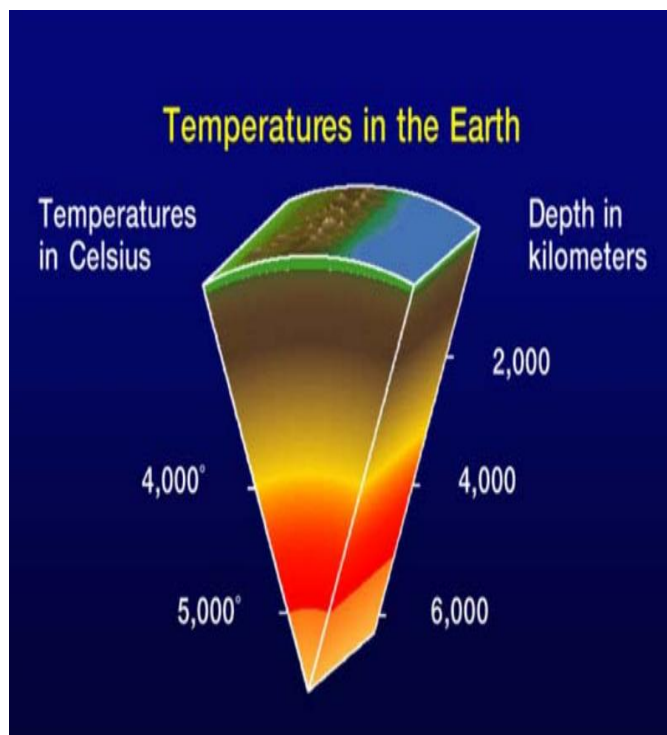
Naše planeta je v podstatě koule (přesněji řečeno elipsoid), který má od svého nitra několik různých slupek o různých teplotách a vlastnostech. V úplném nitru se nachází zemské vnitřní

jádro tvaru koule o průměru asi 2500 km a teplotě více než 4000 °C. Jádro je tvořeno těžkými kovy převážně železem a niklem. Zemské jádro tedy udržuje svůj tvar hlavně díky vysokým hodnotám tlaků okolních čtyř okolních vrstev. Jeho teplota a vlastnosti vznikly díky soustavným termonukleárním reakcím, díky kterým se udržuje nejen tato teplota uvnitř planety, ale také díky těmto reakcím a následným erupcím stoupá teplo do vrchnějších vrstev až k povrchu. Zemské jádro je tedy jakýsi zdroj energie pro všechny ostatní vrstvy naší planety.

Z pohledu samého středu Země je další vrstvou hned vedle vnitřního jádra jádro vnější. Je to vrstva rovněž tekutá, i když méně než jádro vnitřní. Tato část je rovněž tvořena prvky železem a niklem jako jádro vnitřní. Odhady vědců jsou, že je silné 2200 km a má teplotu někde okolo 3500 °C. Toto jádro má však díky geofyzikálním zákonům větší pohyblivost díky většímu objemu a vzdálenosti od středu Země.

Za dvou-dílným jádrem jsou další dvě vrstvy tzv. pláště. Vnitřní plášť je hustší a tužší než plášť vnější. V jeho základně, tj. v oblasti styku s vnějším jádrem se odhaduje teplota okolo 3000 °C a tato základna se nachází dle odhadu 2900 km směrem od povrchu do středu. Za tímto pláštěm se nachází vnější vrstva pláště, který je odhadován do hloubky 650 km pod povrchem. Je to jedna z nejdůležitějších vrstev, protože se na ní pohybují kry zemské kůry. Jeho stavba je polotekutá v místě, kde se stýká s litosférickými deskami a jeho teplota je odhadována na 1500 °C.

Poslední a nejsvrchnější vrstvou je zemská kůra. Je to ta vrstva, na níž žijeme a se kterou budeme nejvíce pracovat. Měřením zemětřasných vln bylo zjištěno, že tato vrstva má sílu od 8 do 80 km a je tedy v porovnání se zemskou masou pod ní vlastně jen takovou „skořápkou“. Dnešní názor vědců je, že tato skořápka je dnes do značné míry popraskaná. Je to velmi zjednodušeně řečeno mozaika, skládající se z jednotlivých kusů. Zemská kůra spolu s přiléhající částí svrchního pláště se nazývá LITOSFÉRA. Tyto kusy se nazývají litosférické desky, které se jednotlivě pohybují proti sobě a přitom unášejí i světadíly. Tyto desky jsou rozděleny tektonickými zlomy na 8 velkých a neurčité množství menších desek. Některé studie mluví také o 8 malých, dohromady tedy máme desek 16. Pohyby těchto desek kloužou po tzv. ASTENOSÉŘE a mají přitom za následek vývin pohoří, tvorbu reliéfu mořského dna a hlavně fenomén v podobách zemětřesení, vulkanické aktivity a mnohdy i vln Tsunami. Právě místa styků litosférických desek jsou často výskyty sopečných erupcí a zemětřesení. Studium tohoto tepla z nitra naší planety se zabývá geotermika, což je odvětví geofyziky. [5,6,34]



Legenda k Obr. 3-2

Temperature in the Earth
- teplota uvnitř Země

Temperatures in Celsius
- teplota ve stupních
Celsia [°C]

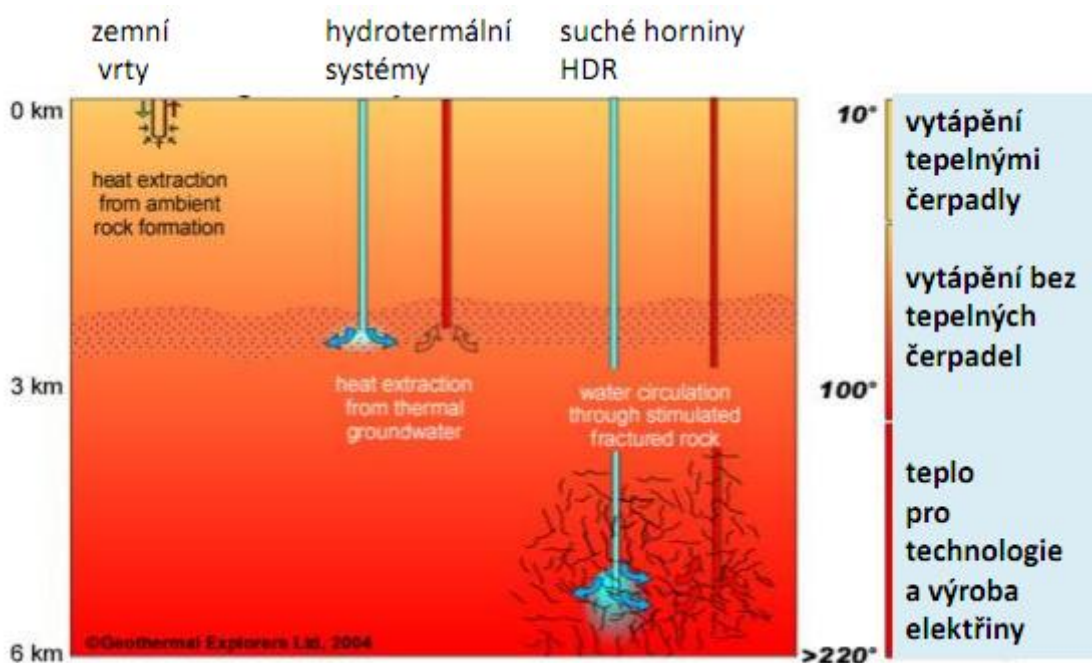
Depth in kilometers
- hloubka v kilometrech
[km]

Obr. 3-2 – teploty v zemských slupkách [6]

4. ZEMNÍ A GEOTERMÁLNÍ VRTY

Geotermální vrty bývají naprosto shodné s technikami, kterými se dobývá ropa nebo zemní plyn. Jsou velmi složité a hlavně velmi nákladné. Takovéto vrty na základě výběrového řízení a daných certifikátů provádějí akreditované firmy či nadnárodní korporace.

Při vrtání se musí postupovat velmi pomalu a dodržovat bezpečnostní předpisy, protože mohou nastat malá lokální zemětřesení. Vrtací hlavice je tvořena trojzubým způsobem z technického diamantu. V našich zeměpisných lokalitách se doporučuje vrtat maximálně do hloubky 5,5-6 km pod povrch. Při vrtání nastávají problémy jednak s odvodem tepla, ale rovněž s odvodem nebezpečných látek z vrtu. Postupným provrtáváním vrstev se uvolňují zemní plyny. Tyto plyny se uvolňují z hornin a minerálů z vrtaného podloží a mohou způsobovat nebezpečí výbuchu, protože třecí teplota vrtáku a vrtné soupravy je velmi vysoká. Možný únik plynů z vrtů by mohl způsobit otravu pracovníků u vrtných zařízení či zamoření okolního životního prostředí nebezpečnými látkami. Tento plyn nejčastěji obsahuje metan (CH_4) a sirovodík (H_2S). Rovněž je celková finanční položka na vrtání nákladná jak energie a paliva, ale také na materiál obložení stěn vrtů (trubky) a používáním vrtných hlavic, kdy na každých asi 100 m je třeba nová hlavice. Z celkové ceny geotermálních zařízení tvoří vrty většinou od 25% do 60% finančních nákladů. [6,7]



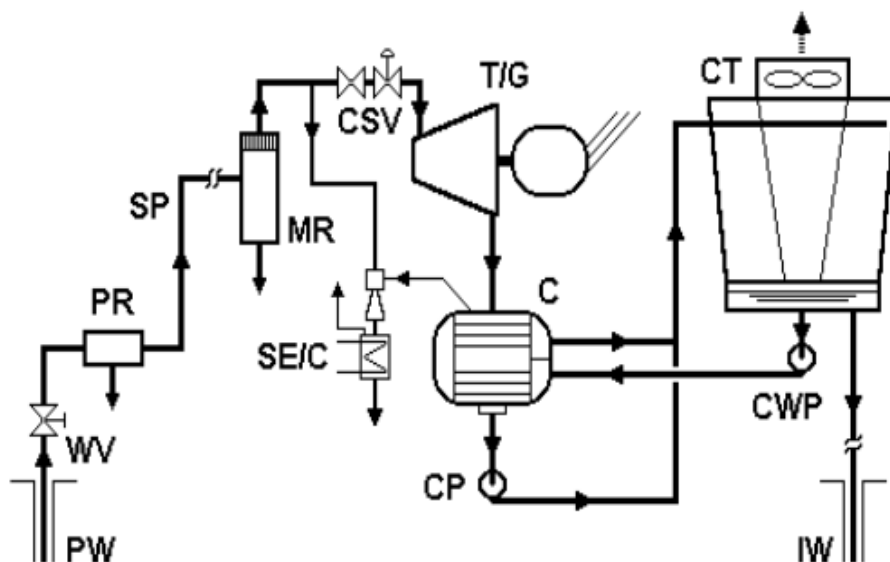
Obr. 4-1 - pohled na využitelnost vrtů v závislosti na hloubce [7]

5. HYDROTERMÁLNÍ TECHNOLOGIE

Jedná se o technologie, které využívají zemské teplo značně vyšších teplot, než je tomu u již zmíněných tepelných čerpadel. Na rozdíl od nich, však tyto technologie nejsou určeny pouze pro vytápění či přehřívání, ale i pro přímou produkci el.energie nebo rozsáhlejší systémy v teplárenství. Tyto metody a technologie prodělaly za 100 let své existence značné pokroky a inovace, které jsou velmi rozdílné jak na účelovost použití, tak i na požadavky, které od daného systému očekáváme. V praxi se ujal tři základní systémy, které byly chronologicky od svého vynalezení na počátku 20. století využívány a dodnes se využívají ve velké míře.

5.1 Technologie elektráren suchých par

První známou technologií použitou k přímé výrobě elektrické energie z geotermálních pramenů byla tzv. suchá pára, známá pod označením „**Dry steam system**“. Metoda je založena na přírodních vřídlech nebo na vrtech, kde by se dalo docílit vrtem přímého sálání par z nitra země z tohoto vrtu. Jedná se o nejstarší známou technologii, pro dnešní svět už prakticky vyčerpanou z pohledu volných přírodních podmínek. Tyto ložiska jsou vyčerpana od půlky 20. století a technologie už není kde stavět. Dnes se již investice do výstavby nových systémů nevyplácí, ale vyplácí se investovat do zvyšování účinnosti a spolehlivosti elektráren již postavených.



Obr. 5-1 – pohled na schéma technologie suché páry (Dry steam power plant) [11].

Kde: P – produkční vrt, WV – hlavní čerpadlo potrubí, SP – parní potrubí, MR – odstraňovač vlhkosti, SE/C – vypuzovač páry/kondenzátor, CSV – kontrolní a uzavírací ventil, T/G – turbína s generátorem, C – kondenzátor, CP – kondenzátní čerpadlo, CWP – čerpadlo chladicí vody, CT – chladicí věž.

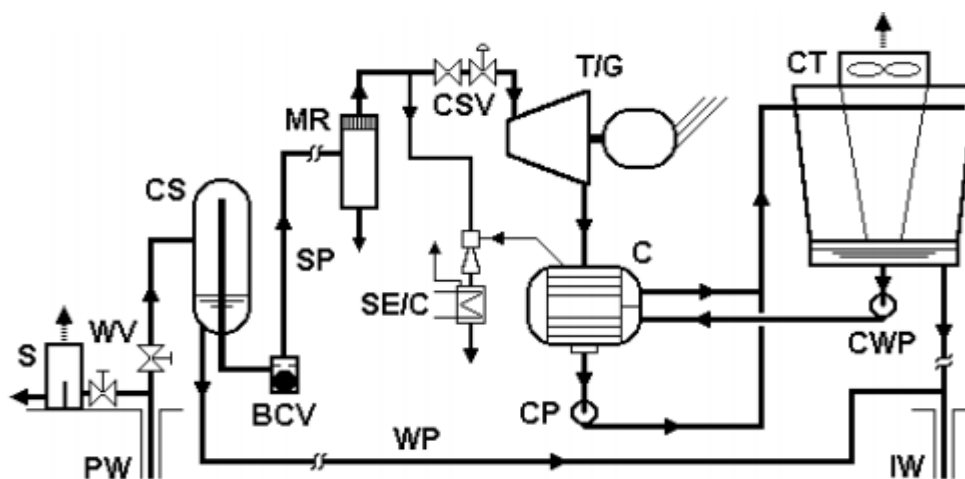
Pokud se podíváme na schéma elektrárny, můžeme vidět, že systém je otevřený a velmi jednoduše provedený. Tato technologie se svou jednoduchostí schématu vyznačuje.

Pára, nebo také primární fluidum, je využita jako přímý parní pohon pro elektrický generátor. Metoda je tedy ideální čistě pro produkci el.energie. Systémové parametry jsou poměrně vysoká teplota (180 – 185 °C) a tlak na vstupu do turbíny (0,8 – 0,9 MPa). Pára dosahuje na zemském povrchu únikovou rychlost několika stovek km/hod a při úniku do ovzduší vydává zvuk podobný tryskovému pohonu. V počátcích měl oběh tepelnou účinnost přeměny okolo 10-15% a přebytečnou páru vypouštěl do atmosféry. Pro zvýšení účinnosti se začal tepelný oběh spojovat a tím i chladit přes chladicí věž, kde dochází ke kondenzaci zpět na vodu. Tato voda se poté zpětně vstříkují vrtem pod povrch. Efektivita přeměny se tím zvýšila a pohybuje se okolo 25% a může dosáhnout i 30% a z údajů geotermálních asociací měrnou spotřebu páry okolo 6,5 kg/1 kWh. Účinnost je také rovněž závislá na čistotě páry. Při odběru z vrtu je tato velmi závislá na obsahu nekondenzovatelných plynů, které pára obsahuje. Nejčastěji se jedná o plyny CO₂, H₂S (sirovodík) a do jisté míry i CH₄. Jsou to typické plyny, se kterými se můžeme setkat třeba při těžbě ropy nebo zemního plynu. Tyto plyny snižují tlakový rozdíl po průchodu turbínou. Při zbavování se těchto plynů se ujal dvě metody. První zachycuje plynu před vstupem do turbíny (většinou ejektorem) nebo se používá extrakce po výstupu z kondenzátu. Zachycené plyny bývají pak vypouštěny zpět pod povrch, ale v případě metanu je možné uvažovat i o dalším využívání, zejména pro spalovací turbíny při větším množství.

Velkou výhodou systémů je již zmíněný velmi snadný a jednoduchý design. I z hlediska nákladovosti je velmi zajímavá položka zisk/náklady zařízení, která vychází z metod nejlépe. Další tepelné použití odpadního tepla z kondenzátu není možné pro jeho nízkou hodnotu a tím nelze použít tuto technologii k dalšímu použití, např. k vytápění, ale pouze k čisté produkci el.energie. Z praktického hlediska je dobré ještě poznamenat, že tato technologie je trochu náročná na životní prostředí z možného úniku plynů, které může nastat při netěsnostech v otevřeném systému. K dalším výhodám této technologie patří i to, že tato výroba nepotřebuje žádnou separaci páry (nevyužívá mokrou páru) a přebytečnou páru může vypustit do atmosféry, popř. zpět do země či pukliny. Tento způsob se ale v praxi příliš neujal. V současné době zisk snižuje fakt, že je nutné injektovat do systému více vody do horninového rezervoáru, protože dochází ve vrtech při nadměrné těžbě ke kolísání produkce par a je nutné systém doplňovat. [6,7,8,11]

5.2 Hydrotermální technologie mokré páry

Druhou a velmi podobnou technologií je přímý hydrotermální systém nazývaný systém mokré páry, nebo také „*flash steam* system“. Dnes je to dosud nejběžnější typ geotermálních elektráren chlazených vodou. Jeho technologické řešení je velmi podobné jako u systému suché páry, nicméně odlišnosti má. Funguje tak, že pod povrchem planety v zemské kůře se nacházejí ložiska horké vody, můžeme říci hydrotermální zásobníky vody značných hodnot, které se hledají pomocí geologického průzkumu. Takové termální ložisko horké vody musí mít minimálně hodnotu teploty 182 °C, k němuž se vyhloubí minimálně dva vrty. Odběrový a injekční (vstřikovací). V praxi je ovšem velmi obtížné takové rezervoáry najít a tím se stává technologie geologicky náročná. [8]



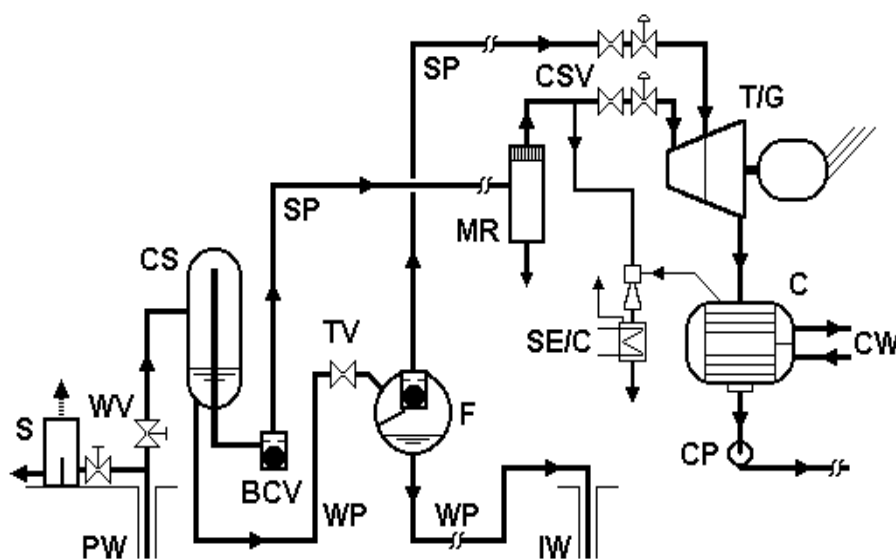
Obr. 5-2 – schéma technologie mokré páry (Flash steam power plant) [11]

Kde: BCV – zpětný kulový ventil, WP – vodní potrubí, S - tlumič

Voda v těchto ložiscích dosahuje vysokých teplot a okolním tlakem hornin je stlačována a udržována ve formě kapalné horké vody. Jakmile se ovšem tlak ve vrtu uvolní, a hlubinné ložisko vody je spojeno přes vrt s nižším nebo atmosférickým tlakem, začne z tohoto vrtu voda stupat na povrch. Svým výstupem se mění její tlak a začne se proměňovat na páru, která proudí do shromažďovací komory zvané „Flash“, což je ve své podstatě vlastně takový shromažďovač a separátor páry. Poslední modely tohoto zařízení obsahují i demineralizační komoru, která slouží k odluce minerálních látek z hydrotermálního pramene. Tyto minerální látky by mohly způsobovat korozi zařízení a tím i snižovat spolehlivost systému. V této flash jednotce se pára hromadí a zbavuje zbylých kapiček vody, a jakmile její tlak je dostatečný, tak přes redukční soustavu začne proudit do turbíny.

Pokud tuto variantu výroby el.energie budeme chtít srovnat s technologií suché páry, musíme srovnat parametry. Teplota na vstupu do turbíny je nižší ($155 - 165\text{ }^{\circ}\text{C}$) a tlak je také o něco nižší ($0,5-0,6\text{ MPa}$). Z obou údajů vyplývá spotřeba páry někde okolo 8 Kg/ 1 kWh . Zásadní nevýhodou je ovšem že až 80% primárního fluida se musí zpětně injektovat pod povrch a nedá se využít. [6,7,8,11]

Problematiku lepšího využití „odpadní“ vody z flash jednotky řeší technologie dvojité flash jednotky, nebo také „**Double flash steam technologie**“. Technologie topologicky velmi podobná jednoduché flash steam technologii a vyvinuta pro vyšší účinnost produkce el.energie. [6]



Obr. 5-3 – schéma technologie dvojité mokré páry (Double flash power plant) [11]

Kde: F – sálavá (záblesková) jednotka, CW – chladicí voda

Zařízení je rozšířeno o druhou flash jednotku. Z produkčního vrtu se opět odnímá mokrá pára vzniklá expanzí horké vody vytlačované z hydrotermálního zdroje pod povrchem. V prvním separátoru se oddělí kapičky vody od páry, která je hnána na první část turbíny. První separátor je brán spíše jako průtokový. Zbylá odpadní voda se z prvního flash separátoru přepouští do tanku s nižším tlakem, kde dochází k uvolnění další páry. Pára vycházející z druhé flash jednotky má nižší tlak, ale generuje se jí více. Tato sekundární pára pohání druhou turbínu. Celý systém je podobně jako předchozí chlazený vodou. Zbytkový kondenzát je opět přes injekční vrt vstříkván do země.

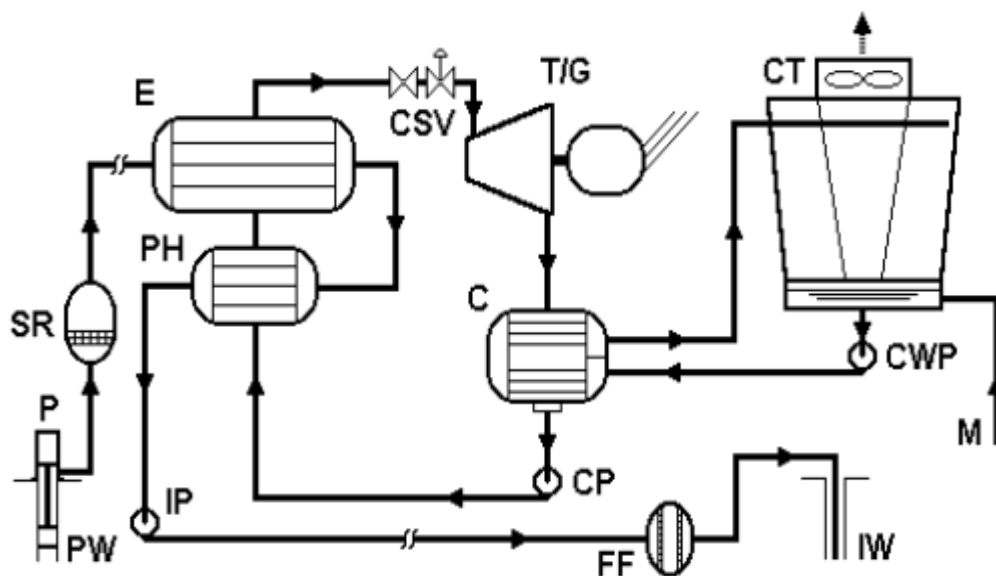
Velkou výhodou tohoto systému je, že při zvýšení nákladů o 5-10 % se zvedne účinnost celého zařízení o 20 – 25% oproti jednoduché flash technologii. Elektrárna se tím stane velmi účinnou výrobnou el.energie. Ale mezi nevýhody patří zejména to, že je nutné zajistit vysokou čistotu par (nesmí obsahovat nekondenzovatelné plyny) a také to, že elektrárna má velkou spotřebu

páry. Bývá to okolo (90 – 100 kg páry na 1 kWh). V poměru zisk/náklady se elektrárny také vyplatí. Odpadní voda ani kondenzát se rovněž nedají využít k vytápění. V parxi se to neuchytí

Pokud zhodnotíme všechny tři systémy, tak můžeme říci, že jsou si velmi podobné. Jelikož se jedná o otevřené systémy, tak se vyznačují poměrně dobrou účinností přeměny tepelné energie páry na el. energii a určitou netěsností systému. Dá se tedy předpokládat, že se do okolí vypouštějí malé množství plynů a nespotřebované páry z produkčního vrtu. [6,11]

5.3 Geotermální technologie povrchového tepelného zásobníku

Jedná se o technologii známou jako „*Binary cycle technologie*“. Pokud vezmeme úhel pohledu z hlubinného hydrotermálního ložiska, je tato technologie svým provedením podobná jako technologie mokré páry. Jediný rozdíl a ten nejpodstatnější je v tom, že tento systém je uzavřený. To znamená, že po vyhloubení a propojení geotermálního vrtu není vrt propojen s nižším nebo atmosférickým tlakem. Tímto uzavřením systému se na povrchu zavádí tepelný výměník. Tlak v celém systému je pořád konstantní. Tímto řešením při čerpání horké vody z produkčního vrtu nedochází k její expanzi na páru. Tato horká voda koluje pod tlakem v uzavřeném horkovodním systému a předává teplo již zmíněnému povrchovému výměníku, kde s takto vzniklým teplem můžeme dále pracovat a využít hlavně pro jakékoliv způsoby vytápění. [8]



Obr. 5-4 – schéma technologie povrchového zásobníku (Binary power plant)[11]

Kde: E – výparník, PH – předehřívák, FF – konečný filtr, M – úpravna vody, SR – odstraňovač písku (větších částic)

Ze schematického obrázku je patrné, že tepelný zdroj systému je velmi vhodný k využití kombinované výroby el.energie a tepla (KVET). Velkou výhodou je možnost využití sekundárního fluida s nižší teplotou varu než jakou má voda. Jedná o tzv. „ORC“, které je technologií poměrně málo rozšířenou, nýbrž velmi perspektivní. Mezi pracovní látky ORC můžeme použít rozličné organické látky jako isobutan, isopentan, silikonový olej nebo v poslední době kalinový cyklus. Jedná se o vodu smíchanou se čpavkem. Pokud budeme chtít pokaždé jiné vlastnosti, pouze se dá změnit poměr smíchání. Tyto látky jsou teplem odpařovány a využity pro pohon turbíny upravené na organické páry. Další obrovskou výhodou je, že můžeme použít i zdroje, které mají zdroje nižších teplot. Právě z tohoto důvodu by nebyly předchozí technologie nebyly tolik efektivní. [6,7]

Systém má i nevýhody. Tou největší je vysoká nákladovost. Dnes stojí na světě jen něco přes 60 projektů. Dále také to, při cirkulaci primárního fluida se na pohon systému spotřebuje okolo 20 - 30% vygenerované energie. A také to, že při kogeneraci má systém velkou měrnou spotřebu. Je to okolo 90 – 100 kg par ze sekundární organické tekutiny/ 1 kWh. [6]

Metoda byla vyvinuta a je hlavně určena k potřebám vytápění, ale i jako doplnění větších teplárenských celků. Jak již bylo zmíněno v úvodu této práce v kapitole obnovitelných zdrojů, měl by tento způsob omezit nebo popř. nahradit v teplárenství využívání fosilních paliv.

V modelech světových, ale i evropských energetických koncepcí se počítá více se zapojením této teplárenské technologie, než s technologiemi přímé produkce el.energie. Důvodem je ve velké míře nedostatek přírodních podmínek, jakou mají jen některé státy světa, jež využívají přímých technologií na výrobu el.energie. Naopak hlavně v Evropě se na vytápění využívá v teplárenských provozech velké množství fosilní paliv. Oba důvody měly na svědomí vývoj kromě přirozených také umělé geotermální technologie, převážně technologií EGS. Jejich propojením s tímto binárním cyklem vzniklo řešení pro velkou část států s nedostatečnými podmínkami pro technologie popsané na začátku kapitoly. Jedná se zejména o technologie HDR, FDR a SHR. [9,11]

6. ROZŠÍŘENÉ GEOTERMÁLNÍ SYSTÉMY

Jedná se o rozšířené systémy **EGS** (enhanced geothermal systems), které vycházely z potřeby využít dostupné teplo i v méně aktivních oblastech, popř. rozšířit využití i v aktivnějších oblastech a dosáhnout tak větší produkce. Jak již bylo řečeno, jsou tyto systémy především teplárenské a určené ke spojení s technologií povrchového zásobníku.

Z těchto rozšířených technologií se ujal zejména systém **SHR** (sedimentary hot rock) vyvíjený od 70. Let 20. Stol v USA. Z názvu můžeme zjistit, že se jedná o hladinové technologie. Tyto předpokládaly, že teplo se vyskytuje všude na světě i v méně aktivních oblastech a mohou pod povrchem Země být místa se značným potenciálem energie. Tato energie se dostává směrem na povrch kondukcí skrze sedimenty, horniny a minerály. [6]

V počátku se vyvíjela technologie tzv. „*sedimentárních bazénů*“. Vrtly v těchto systémech byly hloubeny většinou okolo 2-3 km pod povrch, většinou však 1-2 km. Z průzkumů vrtů bylo zjištěno, že v podloží se nacházejí 3 elementy, které dosahují různých hodnot kondukce tepla.

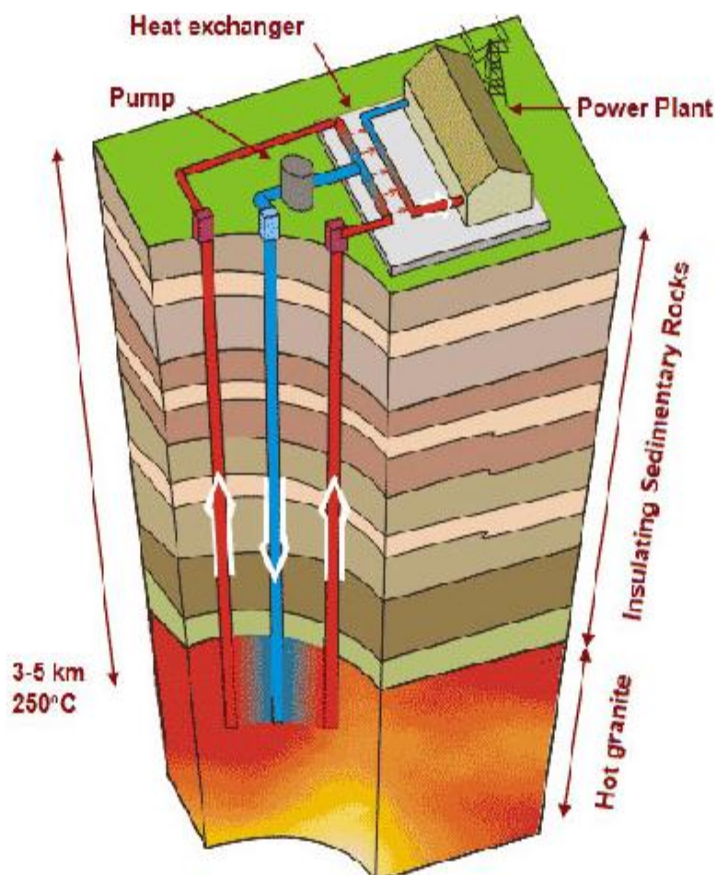
První jsou vápence, pískovce a jílovce, které mají průměrnou termální konduktivitu ($2,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$). Tato podloží dosahují hloubek až do 1000 m. Druhou skupinou jsou tepelně méně vodivé materiály jíly a břidlice rozsahu (1000 – 1500 m) pod povrchem mající teplotní konduktivitu v rozsahu ($1-2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$). Tyto vytvářejí mezi první skupinou a krystaliniky jakýsi tepelný a hydraulický izolant, který zvyšuje tepelný tok v akviferu pod nimi, tedy v oblastech s jinak normálním tepelným tokem. Do poslední patří krystalinika vzniklá z magmatu. Tato mají hloubku od 2 – 2,5 km a tepelný gradient $3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$. Při těchto vrtných průzkumech dosahovala teplota v těchto systémech při hloubce 2000 m teplot v rozsahu ($55 - 70^\circ\text{C}$). [6]

Zdroj je to celkem perspektivní, ale vhodný spíše k vytápění, protože při propojení s binárním cyklem dosahuje na horním tepelném výměníku nízkých teplot ke kogeneraci. Teploty jsou zde od 60°C do 100°C , tedy ideální k vytápění většího rozsahu oproti tepelným čerpadlům. Jistou nevýhodou může být i to, že systém v ohledech vytápění musí vytápěné objekty být blízko, aby se předešlo velkým ztrátám (již zmíněné výtopny v okolí Paříže). V některých případech ale dosahují značně vyšších hodnot teplot. Takovým případem je např. Maďarsko, kde v panonské pánvi je tepelný gradient $0.15^\circ\text{C}/\text{m}^{-1}$. V hloubce 1 km ta vody dosahují teplot okolo 120°C . Z této metody vychází vylepšená metoda HDR, která nabízí podstatná vylepšení. [6,9]

6.1 Technologie HDR

Jak již bylo řečeno, metoda navazuje na technologii sedimentárních bazénů s tím rozdílem, že vrty se provádějí do větší hloubky (od 3 – 6 km). Vývoj odstartovaly v 80. letech USA a navázali na úspěchy SHR technologie.

Technologie HDR je zkratka pro technologii pojmenovanou Hot Dry Rock – neboli v překladu „*Teplé suché skály (horniny)*“. Tato technologie vychází z předpokladu, že v určité hloubce pod povrchem je podloží (horniny), které jsou v podstatě suché a nerozpustné kapalinou, čímž je tlak nadloží tak velký, že neumožňuje vznik dutin a pórů. Při normálním geotermickém stupni bývá pod zemí v hloubce okolo 5-6 km teplota okolo 200°C, průměrná teplota se však uvažuje 180 °C a tlak bývá okolo 165 MPa. Rozložení hornin je spíše mezi metamorfovanými a granuloidovými typy, což znamená, že v těchto podložích se dá cirkulace omezit jen na tektonicky drcená pásma. Drcenými pásmy a s nimi spjatými puklinami se zabývá metoda FDR. [6,9]



Legenda k Obr. 6-1

Heat exchanger –

tepelný výměník

Power plant –

elektrárna

Injection well –

injekční vrt

Production well –

těžební vrt

Hot granite – horká

hornina

Pump – čerpadlo

Obr. 6-1 – pohled na systém HDR (hot dry rock) [33]

Tato technologie (HDR) se vyznačuje ve spojení s označením „Binary cycle“, což znamená, že tento systém má dva výměníky a cirkulace napájecí vody je uzavřený systém, jak již bylo popsáno v předchozí kapitole. V současných provedeních se ujal model, kdy uzavřený systém má více produkčních vrtů než vrtů injekčních. V tomto případě 2 vrtů produkční a 1 vrt injekční. Mohou se však mající poměr 3:2, 4:2 nebo i 5:3. U systému musí platit, že průřezy vrtů se musí součtem rovnat, tedy $\Sigma S_{\text{prod}} = \Sigma S_{\text{inj}}$. Tímto systémem vytvoříme zdroj tepelné energie, který se používá k vytápění a následné možné kogenerační výrobě el.energie s poměrně dobrou účinností. Technologie je vlastně naprosto totožná s hydrotermální technologií binary cycle, jen s rozdílem, že tato technologie buduje dolní výměník uměle. Nutno dodat, že tyto práce na vybudování dolního hloubkového výměníku značně prodražují pořizovací náklady na celý projekt.

Jak je z obrázku patrné, celý systém funguje tak, že injekčním vrtem je do země pod povrch vháněna voda, která se průchodem horninou ohřívá. Nejvíce se však ohřeje ve spodním výměníku, odkud je tlakem vytlačována zpět na povrch do nadzemního výměníku. Z výsledků měření vyplývá, že průměrná teplota ve spodním výměníku bývá okolo 200°C, přičemž počítaná teplota bývá 180°C. V nadzemním výměníku se počítá s teplotami 140°C - 160°C. Tedy teplota už vhodná nejen k vytápění, ale i k výrobě el.energie formou KVET.

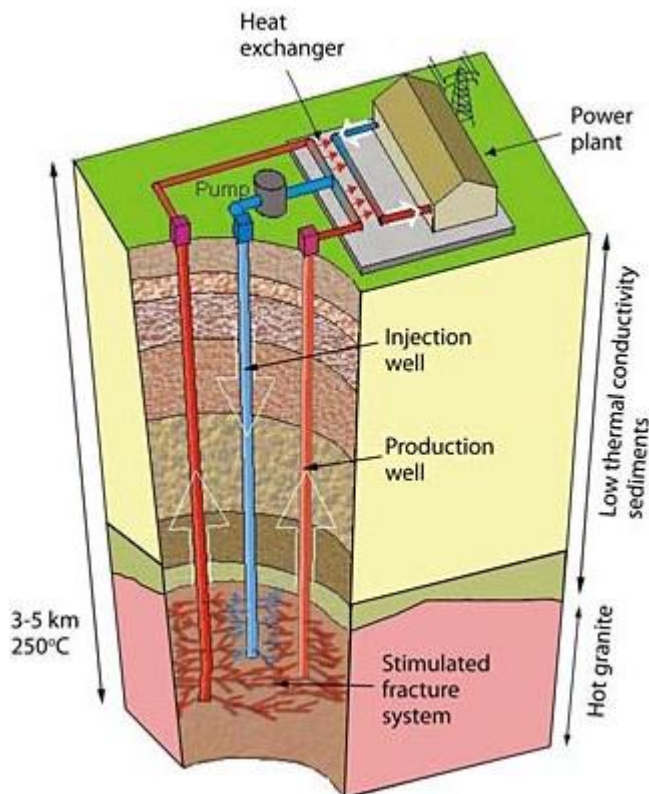
Mezi velké výhody můžeme považovat do budoucna zapojení ve větší míře do teplárenských provozů nebo jako součásti vytápěcích systémů. Teplo z těchto tepláren by mohlo být levné a konkurenceschopné klasickým teplárnám na fosilní paliva nejen cenou, ale i přínosem k životnímu prostředí. Možnost využití kogenerační výroby el.energie spolu s organickým Rankinovým cyklem (ORC) je velký pokrok kupředu a velký potenciál ve výrobě.

Z nevýhod je však nutné říci, že tyto provozy mají vysoké pořizovací náklady, proto je na světě jen asi 60 provozů. Další velkou nevýhodou je, že v této technologii dochází ke značným ztrátám primární vody. Ztráta se pohybuje okolo 20-30%, protože propustnost vody je menší než v hydrotermálních systémech. A stejně tak spotřebovává teplárna 20-30% na vlastní spotřebu, což je relativně hodně.

V současné době je většina projektů pouze ve stádiu projektů a výzkumů, protože se zkoumají dopady na životní prostředí, energetická i ekonomická efektivita daných provozů a rovněž analýzy vhodného umístění. Uvažuje se rozšíření tímto systémy v okrajových oblastech hydrotermálních ložisek. V současnosti se zkoumá technologie FDR. [6,9,10]

6.2 Technologie FDR

Tento systém (FHR – Rozpukaná horká hornina) se objevuje teprve v poslední době. V podstatě využívá také teplo suchých hornin jako technologie HDR. Předpoklad je stejný jako u HDR, jen se uvažuje, že horniny jsou v těchto pásmech přírodně rozpukány nebo drceny v tektonických pásmech zasahujících hlouběji do zemské kůry. Právě toto zajišťuje zjištěn rychlejší a mohutnější výstup zemského tepla. Nezbytné je detailní poznání geotermální struktury, vyžaduje však většinou v omezené míře hydraulické štěpení hornin. Na strukturách tohoto typu je obvyklý i hlubší oběh podzemních vod do hloubek až několika kilometrů. Pomocí moderních vrtných souprav a hydraulického drcení je možno dosáhnout i umělého drcení. Je to však riskantní s ohledem na možné nežádoucí poškození sedimentů a tím k lokálním otřesům. Toto může být provedeno pomocí mikroexplozí nebo působením kyselin. V našich podmínkách lze k tomuto typu přiřadit přírodní výstup termálních, minerálních a proplyněných vod v Karlových Varech, kde jsou sedimenty drceny a rozpukány přírodně. [6]



Legenda k Obr. 6-2

Stimulated fracture systém

- stimulovaný rozpukaný
systém horniny

Obr. 6-2 – pohled na technologii FDR (fractured hot rock)[34]

6.3 Možné další neelektrické využití geotermálních systémů

Ke všem třem metodám popsaných v této kapitole můžeme říci, že představují velký přínos ke klasickým hydrotermálním technologiím. Oproti vysokoteplotním hydrotermálním systémům se musíme zmínit i o závažné nevýhodě. Touto nevýhodou je potenciální produkce škodlivých látek.

Z plynných látek musíme zmínit zejména metan (CH_4), který se nachází v sedimentárních horninách a při hloubení vrtů je nutno s ním počítat. Dalšími škodlivinami může být sirovodík (H_2S), chlór (Cl_2), amoniak (NH_3) nebo oxidy dusíku (NO_x) a uhlíku (CO_x). Metan je skleníkový plyn, který únikem do atmosféry může spolu s CO_2 způsobovat skleníkový efekt. Chlór při větších koncentracích může negativně působit na lidské zdraví, popř. škodit jiným živočichům.

Tím, že voda prochází horninami pod nižším tlakem a teploty jsou zde také menší, nastává u fluida tzv. sanilita. Primární fluidum obsahuje velké množství solí a kovových prvků. Tímto dochází ke zvýšené korozivosti materiálů vrtů a zařízení, a tím i náchylnosti zařízení na korozi.

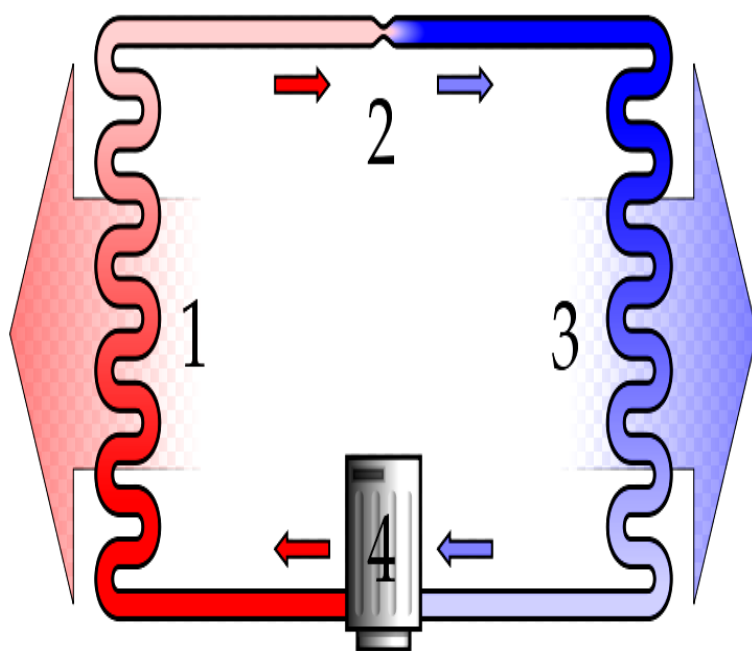
Vedlejšími produkty tedy mohou být již zmíněné plyny, jež by mohli sloužit pro vytápění. Perspektivní se zdá být i myšlenka na produkci minerálů a solí z těchto vrtů. V testech se rovněž zkouší přímá produkce vodíku (H_2) k průmyslovým účelům. [6]

7. TECHNOLOGIE TEPELNÝCH ČERPADEL

Technologie využívají teploty nižších hodnot. Jedná se tedy o rozsah teplot (40-90°C). Tyto teploty lze využít pouze k vytápění objektů, nebo k přehřívání jiných systémů. Používají se k tomu **tepelná čerpadla**, kterých existuje celá řada variant.

7.1 Tepelná čerpadla

Je stroj, popř. zařízení, které se použitím mechanické práce převádí (čerpá) teplo z místa s nižší teplotou do místa s vyšší teplotou. Využívá se jak k vytápění, tak i chlazení. Celý cyklus obsahuje chladič a výparník spolu spojené reverzním ventilem. Tento slouží právě k přepínání mezi vytápěním a chlazením. Oběhová látka se nazývá chladivo. V oblastech, kde převažují nižší teploty, se tepelná čerpadla používají výhradně k vytápění objektů.[12]



Legenda k Obr. 7-1

- 1 – kondenzátor
- 2 – expanzní ventil
- 3 – výparník
- 4 – kompresor

Obr. 7-1 – pohled na tepelné schéma tepelného čerpadla [12]

Tepelné čerpadlo se posuzuje podle tzv. „**topného faktoru**“. Tento koeficient je podíl topného výkonu celého zařízení k příkonu zařízení. Příkon zařízení je dán elektromotorem, který pohání celý kompresor a tím celý oběh. Koeficient je bezrozměrná veličina. U geotermálních tepelných čerpadel se pohybuje od 4 do 6, čímž můžeme hovořit o nejúčinnější variantě tohoto druhu vytápění. [19]

7.1.1 Geotermální tepelná čerpadla

Jedná se o systém označovaný jako země-voda, který využívá skutečné teplo, které je pod povrchem. Využívá tedy předpokladu, že pod povrchem od určité hloubky je teplo k využívání konstantní. Teplota je tedy vyšší než v zimních obdobích a chladnější než v letních měsících. Zem se tedy chová v zimě jako zdroj a v létě jako chladič. Obsahuje 3 podsystémy.

První podsystém bývá uzemnění. Tento systém tvoří zdroj tepla spolu se systémem trubek, tzv. „smyčky“ a tyto jsou umístěny v blízké vzdálenosti u objektu či budovy. Na vybudování systému se používají vrty menších rozsahů o hloubkách od 60 – 140 m. Tímto obíhá tekutina, nejčastěji voda, nebo voda s příměsí nemrznoucí směsi. Tekutina absorbuje nebo ztrácí teplo v závislosti na tom, zda je okolní vzduch teplejší nebo chladnější. Může být proveden horizontálně nebo vertikálně.

Druhý podsystém je samotné tepelné čerpadlo, které odebere teplo ze zdroje (tekutiny). Ta je ve formě koncentráту přenášena do budovy, kde je využívána k vytápění či ohřevu vody.

Třetí podsystém je distribuční. Je to systém, který má každý objekt či budova. Obsahuje systémové rozvody teplovodů nebo horkovodních systémů.

Tepelná čerpadla mají značné množství výhod. Právě výhodami a efektivitou provozu jsou tyto systémy stále rozšířenější.

Největší výhodou je snížení nákladů o 25 – 50% na el. energii oproti jiným vytápěcím a chladicím zařízením. Pokud ho porovnáme se systémem vzduch voda, můžeme mluvit úspoře 44% a až 72% oproti přímotopům. Další výhodou je, že jsou velmi spolehlivá a systém může vydržet provoz po dobu 25- 50 let, samotné čerpadlo 20 a více let. Další výhodou je nízká hlučnost a také to, že nevyžaduje mnoho místa na vybudování. V neposlední řadě také umožňují vytápění různých místností, kde každá může mít jinou teplotu. Velmi vhodně mohou být provozovány spolu s klasickým kotlem na biomasu, především dřevo. Nezatěžuje životní prostředí. Návratnost investice je díky úsporám 3-8 let.

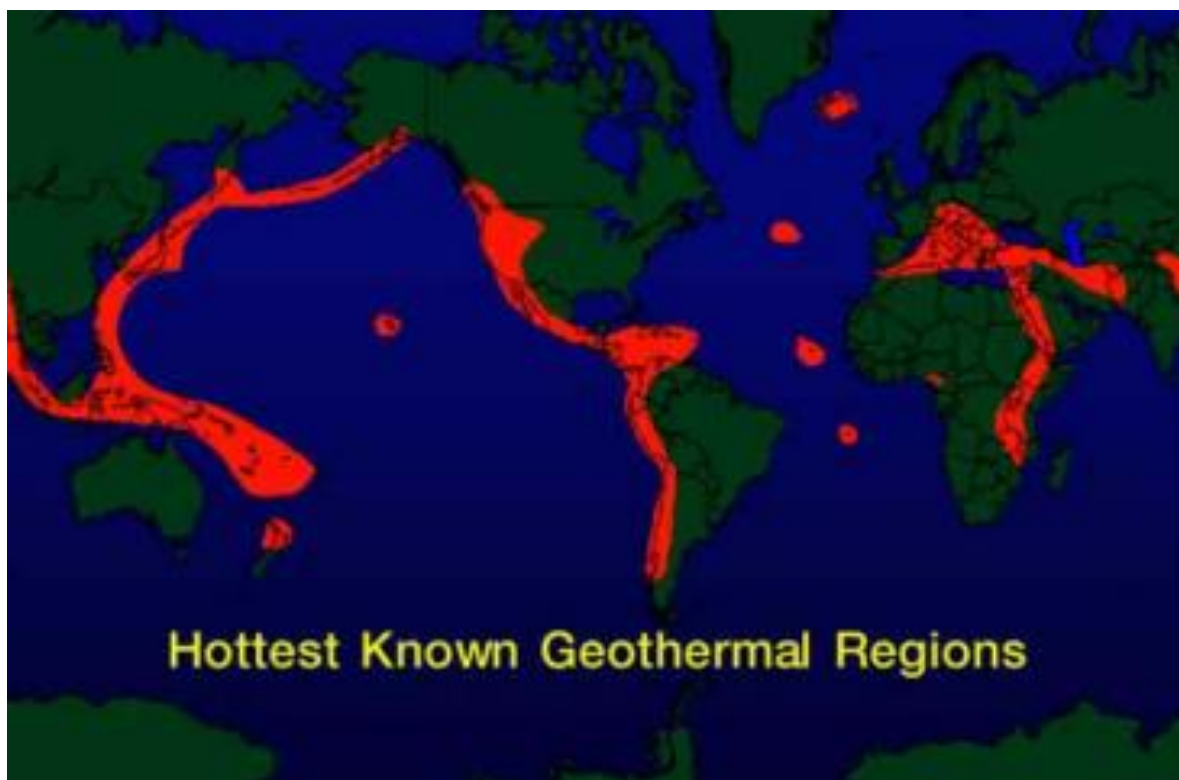
Změna je také v 2 - tarifní dodávce el. energie, která má svou vlastní sazbu. Tato sazba je výhodnější než sazba pro přímotop. Jedná se o sazbu C55d.

Mezi značné nevýhody můžeme považovat vysoké pořizovací náklady, které jsou závislé od velikosti objektu. I díky vysokým pořizovacím nákladům se však investice vyplatí. [13,14]

8. POTENCIÁL GEOTERMÁLNÍ ENERGIE VE SVĚTĚ

Zemské teplo, jak už bylo řečeno, je tedy pro některé státy ve světě velmi atraktivním zdrojem obnovitelné energie. V dnešní době nabyl zájem právě o toto dostupné teplo, díky jeho možnostem a ve vztahu k životnímu prostředí příznivým vlastnostem.

Ve světě už je tento zdroj znám poměrně dlouhou dobu. Využívá se hlavně ve státech, které leží v oblastech okrajů litosférických desek, tedy v oblastech vysoké aktivity v pohybu těchto desek. Z pohledu této energie, která je obsažena ve vnějším plášti a u okrajů desek a je ještě zejména umocněna další tektonickou a třecí energií v okolí tektonických zlomů se dá říci, že pro využívání tohoto geotermálního tepla jsou tektonické lokality nejvhodnější. Přirozeně jsou to oblasti na stycích litosférických desek a tím mají celkem o dost větší potenciál tepelné energie než jiné krajiny. Tyto země a oblasti znázorňuje obrázek. [6]



Obr. 8-1 – znázornění tepelně a tektonicky nejaktivnějších oblastí na mapce světa [6]

Při vyslovení pojmu geotermálních elektráren se nám automaticky vybaví Island, Japonsko, USA či Nový Zéland. Jsou to samozřejmě země, které leží v těsné blízkosti těchto tektonických zlomů. Spolu s geotermálními zdroji se nám vybaví gejzíry horkých pramenů. Touto energií ale samozřejmě disponují i další státy. Nejvíce se poslední dobou začaly tyto zdroje využívat v kalifornii či Novém Mexiku, kde se nalézá jedno z největších ohnisek styku Pacifické a

Americké desky, nazvaný příkop San Andreas. Za zmínku stojí samozřejmě také Japonsko, které svou polohou také je ohniskem častých zemětřesení a vulkanické aktivity. V Evropě je na okraji tohoto zlomu zejména jižní Itálie. Všechny tyto země Buď už do značné míry využívají geotermální teplo, nebo je tam masivně investováno do zařízení a výzkumu.

8.1 Současné elektrárny

8.1.1 Itálie

První geotermální elektrárna na světě s technologií suché páry byla postavena V Itálii ve městě Lardallelo v roce 1904 a měla velmi malý výkon, jež byl v roce 1913 rozšířen asi na 250kW. Tato výrobní byla postavena na přírodním zdroji páry, který byl odváděn přímo na jednoduchý el.generátor. Dnes má elektrárna díky rozšíření výkon 545 MWe a uvažuje se o dalším rozšíření i o hydrotermální zdroje. Nastal zde ovšem problém, že za těchto více než 100 let klesla teplota a tlak v ložisku o bezmála 30% a další měření potvrzují snížení o dalších asi 10% v příštím desetiletí. [6,16]

8.1.2 USA

Geotermální pole The Geysers, nedaleko od San Franciska, bylo objeveno již v roce 1847. S vrtným průzkumem se tu začalo v roce 1920, ale výroba elektřiny z páry tam začala o čtyřicet let později, v roce 1960. V této oblasti se začalo rovněž z produkci nejprve pomocí suché parní technologie, ale uvažuje se také o rozšíření o další produkci z hydrotermálních zdrojů. Ze dvou stovek vrtů uniká pára, z některých neobyčejnou silou, dokonce takovou, že se vrty nepodařilo uzavřít. Dnes se zde získává elektrická energie v kapacitě až 10 MWe z dvaceti vrtů z hloubek 2–3 km (nejhlubší byl 3,2 km), které produkují 1–2 miliony kg přehřáté páry za hodinu o teplotě 250 °C. Efektivita výroby tepelné energie je však nízká, pouze asi 15 %. Nízká účinnost je zde z důvodu problematiky a optimalizací v tocích energie přes vrty. The Geysers vyrábí nejvíce geotermální energie na celém světě, zatím instalovaný výkon činí 2800 MW a výroba energie z páry může zásobovat elektřinou milionové město. Na tomto poli bylo vyhloubeno celkem 600 vrtů.

Pokud vezmeme potřeby USA, tak vhodné lokality jsou umístěny na západním pobřeží poblíž již zmíněného tektonického zlomu San Andreas. V USA je zatím nejvíce podporovaným a rozšířeným obnovitelným zdrojem větrná energetika. Ale jasná fakta představil americký energetický úřad, když opatrně prohlásil, že geotermální elektrárny umístěné převážně v kalifornii, Novém Mexiku, Aljašce a Hawaji by byly schopny pokrýt spotřebu země z 10%, což je závratné číslo. [6,8,16]

8.1.3 Japonsko

Podrobné údaje jsou o Japonsku. První geotermální elektrárna tam byla postavena v roce 1966 u města Matsukawa. V současné době je v této zemi osm geotermálních energetických centrál o výkonu 1 až 50 MW. Jsou tam využívány jak hydrotermální, tak i vulkanické systémy. Japonsko má několik velmi aktivních oblastí, kde se stejně jako na Islandu uvažuje o využití obrovské energie z vulkánů. V posledních letech se začínají uplatňovat systémy spíše na vytápění, tedy technologie spojené s Binárním cyklem. Produkce elektrické energie z geotermálních zdrojů byla 215 MW v roce 1990, dnes se zvýšila na 500 MW. Nicméně Japonsko využívá svůj geotermální potenciál převážně k rekreačním a vytápěcím účelům, což mimo jiné dokládá i snaha více propojit již stávající hydrotermální systémy s binárním cyklem a tím i efektivněji využívat tepelnou energii z vrtů. [6,16]

8.1.4 Zbytek světa

Dnes využívá geotermální energii nejméně 64 světových zemí, a to hlavně pro blaho svých obyvatel. Využití je však velmi nerovnoměrné, hlavně z hlediska celkové výroby energie. Nejintenzivněji je geotermální energie využívána na Islandu, kde geotermální zdroje tvoří asi 50 % ze všech možných energetických zdrojů a daleko převyšují úlohu vodních zdrojů, ropy a uhlí. Na Islandu se geotermální energie spotřebovává hlavně na vytápění (86 %), zbytek je na výrobu elektřiny, s malým množstvím na rekreační a sportovní účely, chov ryb a odsněžování. Pozoruhodné jsou údaje o počtu návštěvníků v zastřešených i otevřených bazénech s přírodní teplou vodou (např. v Rejkjavíku na největším otevřeném koupališti 36 000 návštěvníků za měsíc). Na Islandu je dovážena ropa s malým množstvím uhlí užívána jen pro dopravní účely. Srovnáme-li toto číslo s průměrem zemí Evropské unie, pak je rozdíl propastný, v EU je to jen 5 %, sečteme-li ovšem všechny obnovitelné zdroje. Z tohoto průměru se vymykají pouze Rakousko, Švédsko (22 %) a Portugalsko (cca 19 %). V těchto jmenovaných zemích je ovšem z obnovitelných zdrojů na prvním místě vodní energie.

Rovněž podobně začíná smýšlet i Mexiko, Malajzie, Filipíny, Austrálie, nebo i třeba Rusko, Británie a většina zemí EU. [6,16]

8.1.5 Ostatní země v Evropě

V Německu je větší využití geotermální energie hlubších zvodní vázáno jen na některé městské lokality. Ve východní části země je to oblast Braniborska, kde bylo v roce 1993 instalováno vytápění domů s výkonem 22 MW. Celkový geotermální potenciál je vypočítán na 1000 MW. Spolková geologická služba Německa vypočítala pro severoněmeckou nížinu geotermální potenciál 7800 MWm, který by bylo možno využít pomocí menších zařízení

s instalovaným výkonem od 5 do 10 MW. Výhodné podmínky jsou i v rýnském prolomu, kde např. u města Bruchsal severně od Karlsruhe je ověřena zvědeň s teplotou 120 °C. Zařízení pro vytápění objektů jsou dnes instalována i u měst Gaetze, Erding, Schirding, Unterhaching i dalších. Uvádí se rovněž, že v Německu byla v roce 1990 instalována kapacita 33,5 MW, převážně z hydrotermálních zdrojů. Projekt na využití geotermální energie probíhá v Brandenburku na lokalitě Gross Schönebeck. Podle projektu Geoforschungszentrum Potsdam za teoretického i praktického přispění koncernu Vattenfall Europe je hotov jeden vrt injekční do hloubky 4300 m. Počítá se s náklady 10,1 milionů Euro, kterými přispívá Spolkové ministerstvo životního prostředí. Dalším sponzorem je Zemské ministerstvo hospodářství v Brandenburku. Výhodou je neustálá dodávka energie, na rozdíl od solární a větrné energie. [6,16]

Zkušenosti s využíváním teplých vod ve Francii jsou podobné jako v Německu. Jedná se o pánevní struktury nevulkanického charakteru. Velmi zajímavou je pařížská pánev s mocnou výplní jurských a křídových uloženin. Tisíce sídel je tam zásobeno a vyhříváno teplou vodou, přičemž většina zařízení pochází již z doby mezi roky 1981 a 1986. Horká voda se soustřeďuje převážně v jurských vápencích, a to nejen v pórech, ale i v krasových dutinách. Z hlediska zmírnění nepříznivých vlivů na životní prostředí i z hlediska snižování tlaku horkých vod se vody po odběru části tepla opětne injektují do systému dvojic vrtů – čerpacího a vsakovacího. Dnes je ve Francii 66 geotermálních výtopen, z nichž je 54 v okolí Paříže. Tato zařízení dodávají teplou vodu do více než 200 000 bytů, což znamená úsporu více než 200 000 t topného oleje za rok. Typická vytápěcí jednotka jsou dva vrty hluboké přibližně 1,7 km, jeden je čerpací – produkční a druhý vsakovací – injektážní. Vrty jsou přibližně 5 až 10 km od sebe. Takový systém je většinou uzavřený, jelikož při čerpání vod v množství několika set litrů za sekundu by mohlo docházet k vzájemnému ovlivňování jednotlivých odběrových center, též k oxidaci a navíc i korozi a inkrustaci potrubí, neboť teplé vody mají poměrně vyšší mineralizaci, od 6,5 do 35 g/l, zejména zvýšený obsah NaCl, KCl, CaCO₃, SO₄ i dalších složek a z plynů větší množství CO₂ a H₂S. Při procesu musí být proto zachována chemická rovnováha. Tepelná kapacita jednotky je 10 MW a recirkulace je 150 až 300 m³ za hodinu, čili 41,6 až 83,3 l/s. Náklady na zařízení nejsou malé, výtopny jsou však z ekonomického hlediska výhodné a počítá se, že jejich provoz bude trvat 25 až 40 let. Z téhož programu pak ve Francii v Alsasku v roce 1987 začal projekt Soultz-sous-Forêts. V oblasti hornorýnského prolomu byl vyhlouben vrt do 2 km. Dále následovaly vrty až do hloubky 5 km, vesměs do granitu. Na bázi sedimentárního pokryvu byla teplota 124 °C, v granitu až 200 °C. Program pokračoval provedením dalších 2 vrtů a vytvořením podzemního výměníku tepla, do kterého se injektuje voda. HDR výměník vytváří průměrnou teplotu 200 °C (v hloubce 3,5–5 km), efektivním průtokem 25–35 l/s na ploše cca 0,5–1 km². [6,16]

8.2 Všeobecný přehled instalovaných výkonů

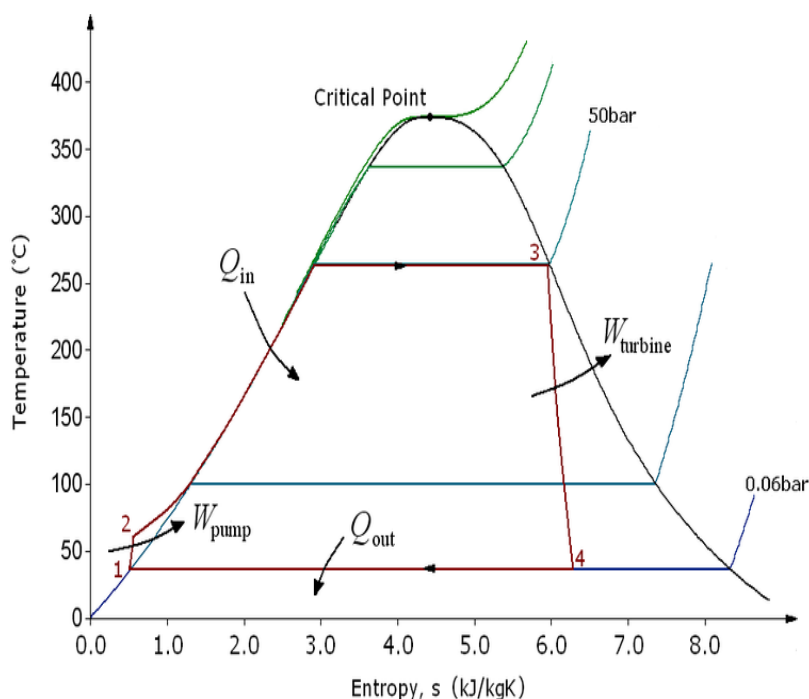
Z hlediska možností přímého použití mají některé země vydatné zdroje. Například v Číně jsou horké vody téměř v každé provincii. Přímé využití v celé zemi roste každoročně přibližně o 10 %, hlavně jako náhrada za uhlí pro vytápění, rekreační a turistické účely, při chovu ryb a v zemědělství. V Japonsku se zdroje využívají z 80 % pro rekreaci a turismus. V této zemi je ovšem potenciál využití mnohokrát vyšší. V posledních letech se dostává do popředí i Turecko. Z oblastí subtropického pásu se mezi země využívající geotermální energii zařazuje i Mexiko. Zajímavá je účast Švýcarska a Švédska v našem přehledu. Zdroje tam jsou ovšem nízkoteplotní s využíváním tepelnými čerpadly. Podle statistik měli v roce 1990 na celém světě geotermální elektrárny instalovaný výkon 5827 MW, z toho v USA 2770 MW, na Filipínách 891 MW, v Mexiku 700 MW, v Itálii 545 MW, v Japonsku 215 MW, na Novém Zélandu 283 MW, v El Salvadoru 95 MW, v Keni 45 MW a na Islandu také 45 MW. V roce 1993 byl celkový instalovaný výkon v hydrotermálních systémů na celém světě asi 5800 MW. V posledních letech jsme však zaznamenali nejméně desetiprocentní roční růst. Proto již v roce 1995 byla registrována kapacita instalovaného elektrického výkonu 9000 MW. Sečteme-li celkové množství vyráběné elektrické energie získávané z geotermálních zdrojů na celém světě, dojdeme k číslu, které se mnohým zdá malé, ale jiným slibné. Konkrétně řečeno, jde přibližně o 10 % spotřeby ve Velké Británii. V roce 2003 kryla geotermální energie méně než 0,02 % světové energetické spotřeby, což je skutečně číslo, které by se mohlo zdát zanedbatelným. Pozitivní je však zvyšující se trend v posledních letech. Elektřinu z geotermálních systémů vyrábí dnes 21 zemí ze všech kontinentů. Srovnáním situace z konce 20. století se současností vidíme, že dnes jsou v tomto ohledu nejpokročilejší Filipíny, které dokonce splnily plán a do roku 2008 přidaly k stávající výrobě další instalovaný výkon 526 MWe. V této zemi pochází přibližně pětina z vysokoteplotních zdrojů při použití suché páry. Přibližně 10% až 20% nárůst je plánován v Kostarice, El Salvadoru, na Islandu a v Nikaragui. Etiopie a Guatemala oznámily otevření svých prvních geotermálních elektráren. [6,16]

9. TECHNOLOGIE NA VÝROBU ELEKTRICKÉ ENERGIE

9.1 Anorganický Rankinův cyklus (ARC)

Jedná se o základní oběh tepelných motorů. Technologie známá od konce 18. století. Tyto oběhy využívají pracovní látku, která mění své skupenství a tím předává energii jednotlivým částem oběhu (turbíně). Změna probíhá z kapalného skupenství na plynné a naopak. Dnes se používají parní cykly výhradně kondenzační.

Jako pracovní médium využívá ARC anorganické látky. Tyto látky mohou být voda (H_2O), voda se čpavkem ($\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$) nebo kysličník uhličitý (CO_2). V současnosti jde téměř vždy o vodu. V dnešní době se ARC s vodou využívá v obězích vysokých vstupních teplot (energií) v zařízeních paroturbínových pohonů turbokompresorů, turbočerpadel, ale také ve všech tepelných a jaderných elektrárnách, tedy v energetických výrobnách pracujících s vyššími admisními teplotami a tlaky. V oblasti nižších vstupních teplot (admisních) a nižších výkonů (asi do 5 MW) však má zařízení nižší účinnost, velké rozměry a vysoké investiční a provozní náklady. [17,19]



Legenda k Obr.9-1

Critical point

- kritický bod

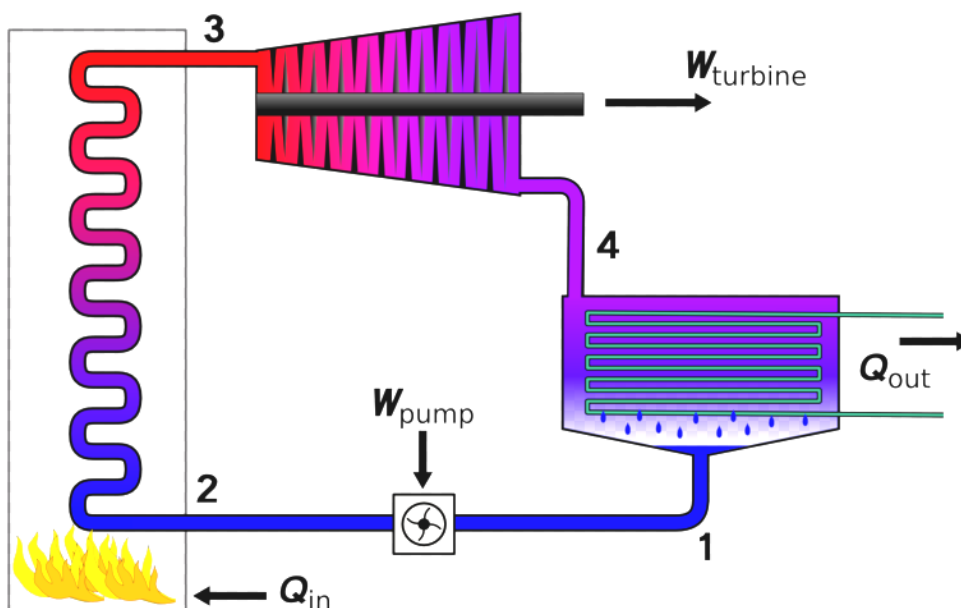
Temperature

- teplota ($^{\circ}\text{C}$)

Entropy

- entropie ($\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$)

Obr. 9-1 – průběh T-s diagramu Rankinova cyklu pro vodu v rozmezí tlaků (0,06 – 50 bar)[17]



Obr. 9-2 – pohled na schéma základního Rankinova cyklu [17]

9.1.1 Fungování cyklu

Proces 1-2

- Čerpání kapaliny o nízkém tlaku na vyšší tlak z kondenzátoru pomocí napájecího čerpadla (dodáváme práci čerpadlu W_{pump})
- pracovní látka zde má charakter kapaliny o nízkém tlaku a teplotě

Proces 2-3

- kapalina je ohřívána externím zdrojem tepla (kotel, atomový reaktor) při konst. tlaku (kapalina přijímá teplo ze zdroje Q_{in})
- z kapaliny se stává suchá nasycená pára (pokud nebereme okruh s přehřátím, tak už má admisní parametry – tlak i teplotu)

Proces 3-4

- pára o admisních parametrech expanduje v turbíně, čímž se stane z tepelné energie páry mechanická energie v turbíně (mechanická energie vyvolá moment na hřídeli, kterou předává dále alternátoru – W_{turbine})
- pára ztrácí velkou část energie

Proces 4-1

- pára se v kondenzátoru mění zpět na kapalinu a tím odevzdává zbytky tepla (Q_{out}).

[17,19]

Legenda k Obr. 9-4

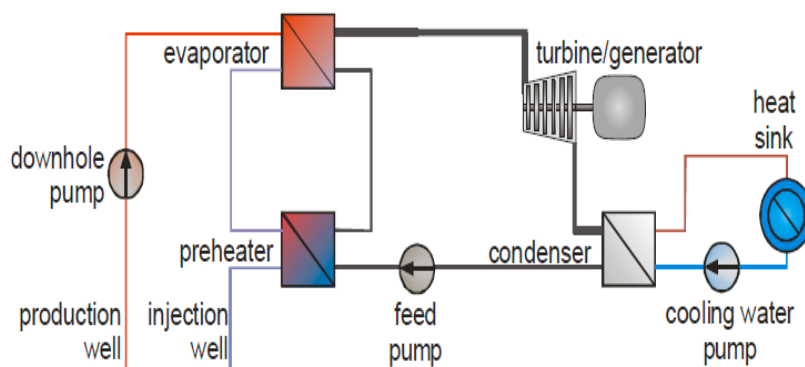
Evaporator – výparník
Separator – separátor
Downhole pump – hlubinné čerpadlo
HT-preheater – vysokoteplotní předehřívák
LT-preheater – nízkoteplotní předehřívák
Turbine/generátor - turbína s generátorem
Condenser – kondenzátor
Cooling water pump – čerpadlo chladicí vody
Feed pump – napájecí čerpadlo
Heat sink – tepelná jímka (odvod tepla)

Celý cyklus se skládá z výparníku, kde dochází k vypařování a přehřívání směsi. Tato přehřátá směs anorganické páry je využita v turbíně obsahující nízko a středo tlaký díl. Mezi oběma díly turbíny je umístěn mezichladič, který hradí deficit ve spotřebě tepla. Tento funguje obdobně jako u kondenzačních elektráren redukční stanice. Systém obsahuje subsystémy destilační a chladicí, které jsou od sebe separovány. Pára odcházející z turbíny kondenzuje v těchto systémech v širokém rozsahu hodnot.

Celý oběh je velmi efektivní jak pro účely kogenerace, tak i pro rozšíření stávajících systému elektráren na fosilní paliva. Celý oběh byl navržen zejména pro zvýšení tepelné účinnosti stávajících systémů a počítá se, že bude rozšířen do provozů na využívání odpadního tepla z průmyslových procesů.

9.3 Organický Rankinův cyklus (ORC)

Jedná se o již známou technologii několik desetiletí leč používanou velmi málo. Vývoj započal v 80. letech 20. Století jako odpověď na probíhající energetickou krizi. Tato vznikla důsledkem vysokých cen ušlechtilých paliv a tím nedostatku prvotního tepla. Impulsem byla myšlenka na výzkumu tepelného cyklu, který by byl účinný a využitelný na nízkopotenciální odpadní tepla z průmyslových zařízení. Jak jsme se řekli v předchozí kapitole, vývoj metody HDR započal ve zhruba stejných letech. Využití ORC se mělo tedy využívat i na přirozené zdroje, tedy na geotermální a solární energii. ORC jsou tedy schopny využít nízkopotenciálního tepla na výrobu el.energie. Tímto se toto využití liší s tepelnými čerpadly, která mohou sloužit pouze na vytápění, popř. přehřívání. [18,35]

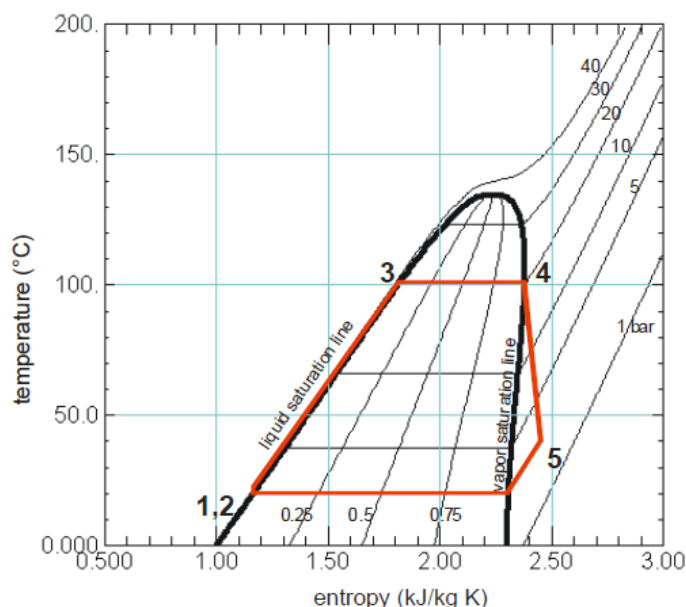


Obr. 9-5 – shéma ORC cyklu [35]

Legenda k Obr. 9-5

- legenda je stejná jako u Obr. 9-4

Při pohledu na schema je patrná podobnost s ARC. Obvod však navíc obsahuje rekuperační ohřívák (preheater), který odděluje okruh organického fluida od primární ohřívací vody. Celé schéma má tedy v podstatě tři okruhy. Voda se zde používá ve dvou okruzích, a to v okruhu primárním a terciálním. První okruh je cirkulační a dodává skrze produkční vrty teplo organickému sekundárnímu oběhu s organickým médiem. Terciální okruh je okruh chladicí, který používá rovněž vodu. V praxi se však používá nejčastěji hybridní chlazení. Toto chlazení je složeno jak z chladicího okruhu vodního, tak i systému vzduchového chlazení. [18]

**Legenda k Obr. 9-6**

Temperature

- teplota (°C)

Entropy

- entropie (kJ/kg*K)

Liquid saturation line

- přímka nasycení tek.

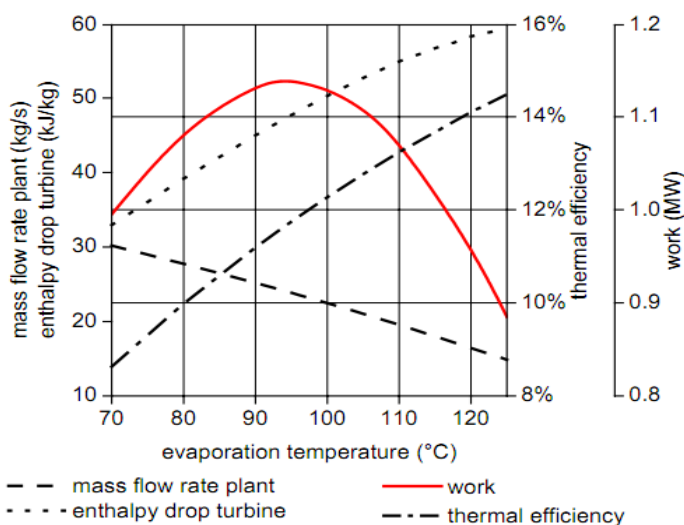
Vapor saturation line

- přímka nasycení páry

Obr. 9-6 – průběh T-s diagramu pro ORC [35]

9.3.1 Fungování cyklu

Z technického hlediska využívá ORC podobných termických přeměn jako ARC oběh, jen s tím rozdílem, že jako pracovní medium používá organických látek. Na počátcích těchto zařízení se využívaly např. freony, fluriol nebo toluen. Tyto látky byly ke svým škodlivým účinkům na životní prostředí zakázány. V dnešní době se při testech uchytily látky isobutan, isopentan nebo slibně se vyvíjející testy silikonového oleje. Tyto média dosahují nižších teplot varu než klasická voda. Obvykle je účinnost měřena pro zdroje nižších teplot (do 200°C), vykazují vyšší účinnost než voda, a tím tedy i lepší možné využití.



Legenda k Obr. 9-7

Thermal efficiency

- tepelná účinnost (%)

Evaporation temperature

- výparná teplota (°C)

Mass flow rate

- hmotnostní průtok (kg/s)

Enthalpy drop turbine

- pokles entalpie v turbíně

Obr. 9-7 – graf pro průběh účinnosti ORC menšího výkonu pro isobutan [35]

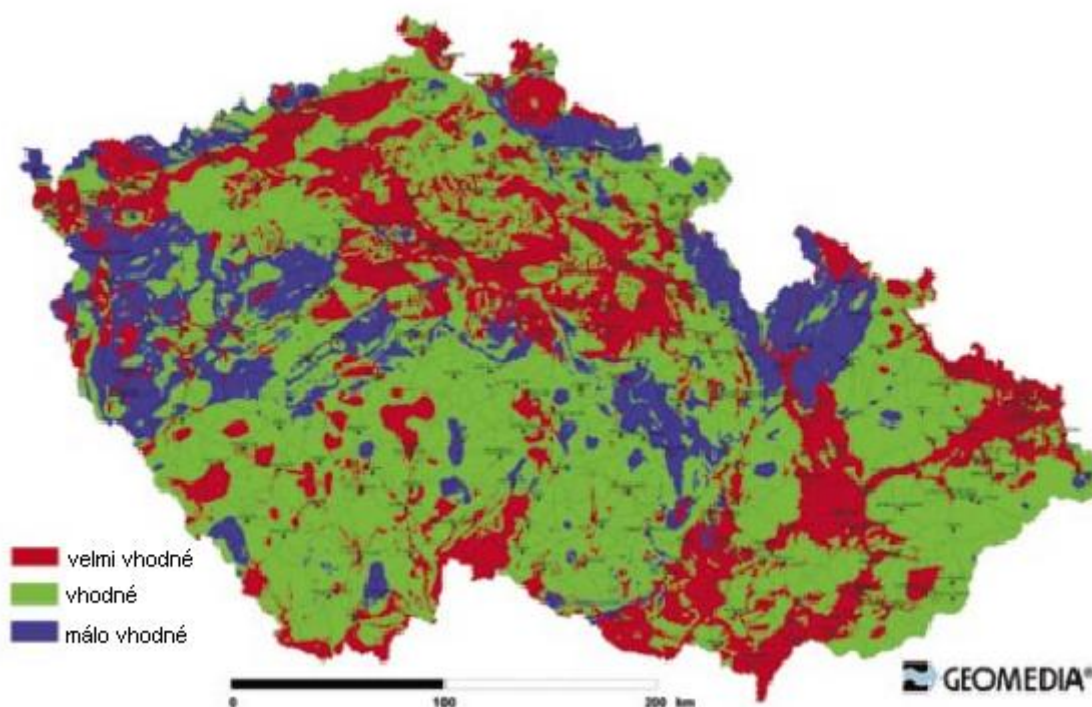
Nevýhodou těchto organických médií jsou však jejich druhotné vlastnosti, které mohou být provozně závadné. Jde o hořlavost, jedovatost, výbušnost nebo negativní dopad na životní prostředí. Tedy vlivy mající negativní vlivy na lidské zdraví a životní prostředí. Aplikace na odstranění těchto vlivů ve výsledku prodražují investiční a provozní náklady kladené na zařízení. Je to také jedna z příčin zatím malého rozšíření těchto zařízení.

Z tabulky uvedených látek pro ORC je patrné vhodné použití látek. Tyto jsou označeny zelenou barvou. Velmi rozšířeným chladivem se stal isobutan. Tento nahradil již zmíněné zakázané freony. Pro ORC je také použitelný. Z tabulky také vyplývá, že vhodná média jsou sloučeniny pentanu. V praxi se velmi rozšiřuje provedení jednotek s pracovní látkou isopentanem. V poslední době probíhá testování použití silikonového oleje PC 1120. Tento má velmi dobré tepelně vodivé vlastnosti, není toxický a velmi dobře elektricky izoluje. Je velmi ekologický a při úniku se rozkládá na látky, které málo zatěžují své okolí. Ovšem za vyšších teplot je hořlavý.

10. POTENCIÁL MOŽNÉHO VYUŽITÍ GEOTERMÁLNÍHO TEPLA V ČR

Geotermální energie patří do skupiny obnovitelných zdrojů v ČR, která je zde zastoupena nejméně ze všech obnovitelných zdrojů, přičemž potenciál této tepelné energie jakékoliv hladiny je nezměrný a pro ČR velmi výhodný a nadějný. Dle rozsáhlé studie Akademie věd ČR má Česká republika dvě možnosti, které jsou nebo mohou být dosažitelné a dostatečně efektivní. Tato studie vzala na vědomí geologické možnosti Česka i zkušenosti z okolních zemí, kde mají s touto problematikou už jisté zkušenosti.

Plošná klasifikace České republiky z hlediska vhodnosti využití zemského tepla



Obr. 10-1 – geotermální mapa ČR [31]

Tou první variantou je využití primárních zdrojů tepla o nízké teplotě určené především k vytápění. Využívat tepelné zdroje nízkých teplot o rozsahu (40-70) °C určené pouze k vytápění tepelnými výměníky nebo tepelnými čerpadly na mapě označené modrou a zelenou barvou. K tomuto ještě nutno dodat, že oblasti se zelenou barvou už zasahují do středních teplot, tedy (70°C - 90°C), kde už můžeme uvažovat o velmi efektivním vytápění budov. [31]

V dnešní době zde fungoval dotační systém „Zelená úsporám“, kde se stát zavázal podporou ve formě příspěvku, že pokud budou splněny podmínky zateplení, mohou žádat dotaci na pořízení jednak třeba tepelného čerpadla, nebo i např. nového kotle na dřevo či nové zplyňovací kotle. Je to jedna z forem k zajištění energetické nezávislosti na dodávkách tepelné energie

s fosilních paliv, a to hlavně plynu, nebo také i dodávek z veřejných tepláren, které díky vzrůstající ceně uhlí a emisních povolenek zdražují teplo pro domácnosti. [31]

Z rozboru oné již zmíněné studie AV ČR vyplývá ještě jedna zásadní informace, a sice o možnosti využití tepelného potenciálu geotermálního tepla vysokých teplot jednak pro české teplárenství, ale také pro kombinovanou výrobu el.energie a tepla (KVET). Studie rovněž zdůrazňuje, že v našich zeměpisných podmínkách by mělo být využito teplo získané z hlubších vrtů některou z metod EGS především primárně k vytápění a teprve poté k případné výrobě el.energie.

Na území ČR se ale dnes již provozují zdroje na vytápění budov středních až středně – vyšších teplotních hodnot v rozmezích 75 – 100 °C. Tyto projekty jsou realizovány firmou MVV Energie CZ vrtů o velikosti 2-3 km pod povrchem to ve vybraných lokalitách krajů. Tyto projekty stojí ve městech Karlovy Vary, Chomutov, Ústí nad Labem nebo Děčín. Tedy je zde výhodný potenciál v Karlovarském a Ústeckém kraji. Za další vhodné kraje lze považovat i kraje Jihočeský, Liberecký a Středočeský, ve kterém už se s plány na KVET v ČR započalo.

V oblastech potenciálního tepla označených na mapě červenou barvou už můžeme uvažovat o využití technologií EGS v ČR. Nejvíce plánovanou technologií je využití technologie HDR s možností instalace kogenerační jednotky na výrobu el.energie, jejíž zkušební realizace započala v projektu geotermální teplárny s KVET v Litoměřicích a Liberci.

10.1 Představení geotermální teplárny Litoměřice s kogenerační výrobou elektrické energie

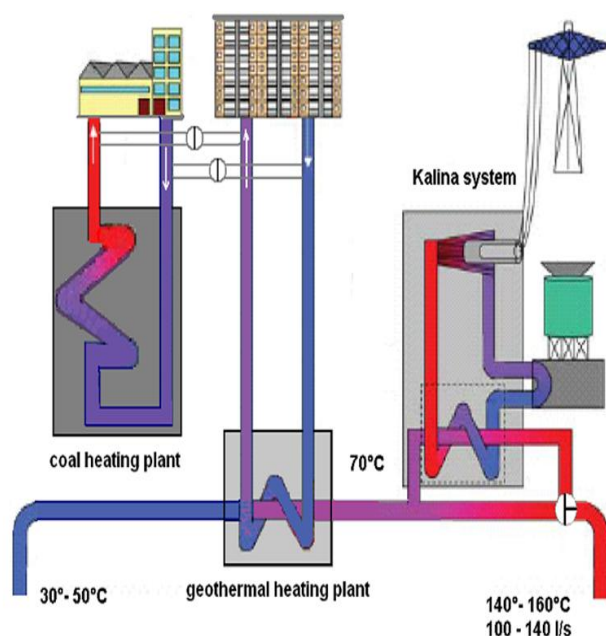
Stavbu tohoto projektu si oficiálně objednalo město Litoměřice. Projekt z 75% hradí stát a 25% soukromý sektor, nejvíce se finančně podílí na tom projektu skupina MVV Energie CZ, německý koncern, který patří mezi největší teplárenské společnosti v ČR. Stavba této geotermální teplárny je první svého druhu v ČR.

V Litoměřicích, jež se nacházejí v Ústeckém kraji, nahrává velmi dobrá poloha města. Dle měření se nacházejí na křižovatce dvou tektonických proudů, které proudí pod českým masivem. Díky této výjimečnosti polohy se rozhodlo o zkušebních vrtech již v roce 2009. Plánované ukončení vrtů bylo určeno na konec roku 2010. Stavba měla být plně zapojena do provozu na konci roku 2011. Nyní se už ví, že bude mít zpoždění. Nastaly problémy v oblasti vrtání a následných geologických měření hornin. Stavba má ve svém plánu interval budování (2010-2013), avšak některé prognózy uvádějí, že by to mohlo být až v roce 2014.

Projekt vychází z již mnou popsané technologie HDR, která je pro kogenerační výrobu v ČR jako jediná možná varianta. Pro kogenerační cyklus byl zvolen a projektován kalinový oběh. Byly naplánovány tři vrty o hloubce 4000-5500 m s tepelným výkonem do horního výměníku $47,25 \text{ MW}_t$. Dolní výměník má mít tvar elipsoidu s rozměry 1200x600 m. Injekční vrt má průřez $38,2 \text{ m}^2$ a dva produkční vrty $2 \times 19,1 \text{ m}^2$. Teplota na dně ve spodním výměníku je odhadována na 207°C , ale počítáno je se 178°C . Teplárna je projektována na rozlohu 1729 m^2 a svým tepelným výkonem má pokrýt 8000 domácností, což představuje dodávky zhruba 1/3 města.

Kogenerační výroba počítá s kalinovým oběhovým systémem o instalovaném výkonu 5 MW_e , přičemž na vlastní spotřebu se odhaduje okolo 20% z instalovaného výkonu, tedy 1 MW_e . Plánovaná dodávka el.energie do elektrizační sítě je odhadována na 18,5 GWh ročně.

Investice do průzkumných vrtů, veškerých prací a zařízení se odhaduje na 1,6 mld. Kč. Návratnost je počítána do 10–15 let. Někteří z optimistů tvrdí, že by to mohlo být i okolo 5 let. Energie bude odkupována za cenu stanovenou ERÚ a to ve výši 4,50 Kč/kWh. V rámci tohoto projektu se počítá s rozšířením vytápění relaxačního a rehabilitačního centra, které má stát nedaleko teplárny. V úvahu dle vyjádření města se má v budoucnu využít takto produkovaná tepelná energie využívat na vytápění skleníků či silnic. [30]



Legenda k Obr. 10-2

Kalina systém

- kogenerační jednotka
s kalinovým cyklem

Geothermal rating plant

- vlastní geotermální
teplárna

Coal heating plant

- uhelná teplárna

Obr. 10-2 – schéma kogenerační geotermální teplárny v Litoměřicích

Obdobná kogenerační teplárna je plánována také ve městě Liberec. Teplárna by dle dostupných informací měla používat podobnou technologii. Instalovaný výkon by měl dosahovat dvojnásobku zdroje teplárny v Litoměřicích, tedy 10 MW_e . Aktivně se zajímá o tento projekt ČEZ, rovněž dle dostupných informací. [32]

11. POTENCIÁL VYUŽITÍ HDR v ČR

Geotermální zdroje energie jsou bezesporu v ČR vítány. V našich podmínkách je sice možné použít jen technologii HDR, ale tyto plánované zdroje mají celou řadu výhod oproti ostatním obnovitelným zdrojům. Podmínky při plném využití této technologie jsou odhadovány asi na 30 – 50 let při těžbě naplno. To činí z tohoto zdroje především i díky návratnosti velmi perspektivní investici. Tato čistá tepelná energie má na našem území velký potenciál hlavně v oblasti vztahu k životnímu prostředí, levné ceny tepla určené k vytápění a hlavně že zdroj je k dispozici 24 hodin denně, čímž má konstantní dodávky do elektrické sítě i ke spotřebitelům tepla. Odradit nás mohou pouze faktory velkých počátečních investic a to především do výzkumných a vrtných prací, náročné údržby díky minerálním povahám oběžné látky v primárním systému, možným únikům jedovatých látek z vrtu a čpavku z kogeneračního okruhu. V úvahu by se mělo také přihlídnout k možnému výskytu lokálních zemětřesení o síle i několika stupňů Richterovi stupnice, jež mohou vznikat při vstřikování chladnější vody do injekčního vrtu.

Ze studie AV ČR, je zřejmé, že lokalit v ČR je daleko více. Bylo provedeno okolo 1300 průzkumných vrtů, z nichž minimálně 60 z nich by mohlo využít tuto technologii stejně jako Litoměřice a další možné lokality se teprve vyhodnocují na základě měření teploty horniny ve zkušebních vrtech.

Z řady dalších studií i třeba z AV ČR, je možné odvodit, že na našem území je podle prvních výpočtů možné identifikovat zatím něco okolo šedesáti lokalit vhodných pro výrobu elektřiny s celkovým výkonem cca 250 MW a tepla na vytápění s výkonem cca 2000 MW, tedy roční výrobu okolo 2 TWh elektřiny a 4 TWh (14,4 PJ) využitého tepla. Ve vzdálenějším výhledu, po provedení doplňkového průzkumu na vytipovaných lokalitách, lze předpokládat možnost vybudování elektráren o celkovém výkonu 3200 MW. Tyto instalace budou relativně rovnoměrně rozmístěny po republice a jejich roční výroba by mohla být cca 26 TWh, což by na dnešní spotřebu ČR 66 TWh činilo podíl někde okolo 40% dnešní spotřeby. A to zní zajímavě zejména v otázkách k životnímu prostředí a zvyšováním cen fosilních paliv, což je zásadní faktor pro budoucnost cen el.energie. Tento je v budoucnu velmi nejistý a případné využití geotermálních elektráren by mohlo více vyvážit energetický mix. [31,32]

12. ZÁVĚR

Práce seznamuje s celou problematikou geotermální energie a jejího využití v České republice. V jednotlivých kapitolách je rozebírán popis technologických metod, jejich výhod a nevýhod. Jedná se o seznámení s technologiemi pro získávání a přeměnu tepla z hlubinných a povrchových vrtů. Jsou zde rovněž nastíněny technologie a použití pracovních látek v systémech na výrobu el.energie formou kogenerace. Nechybí zde ani analýza potenciálu budoucího možného využití území České republiky.

Z práce vyplývá, že v oblastech s vysokou zemskou aktivizuje geotermální energie velmi rozšířenou formou získávání tepelné a el.energie. Geotermální energie v oblastech s nižší zemskou aktivitou se díky rozšířeným geotermálním systémům EGS stává také perspektivním zdrojem tepla a KVET. V práci jsem nastínil i možnosti neelektrického využití geotermálních systémů k produkci vodíku, minerálů a solí.

U stávajících systémů používajících fosilní paliva vytváří geotermální jistý konkurenční protipól, zejména v aspektech ceny, ekologie a udržitelnosti perspektivního rozvoje do budoucnosti. Tímto se stává, spolu s jadernou energetikou, vhodnou formou pro zásobování České republiky el.energií. Svými vlastnostmi je spolehlivým zdrojem tepelné a el.energie a tím se stává jedním z nejlepších a nejvhodnějších obnovitelných zdrojů. Nejvíce to může platit v zemích jako je Česká republika, které mají potenciál využívat energii ze Slunce, větru a vody poměrně nižší než jiné země Evropy a světa. Z pohledu zadání práce se věnuji problematice z pohledu České republiky méně z důvodu toho, že v České republice zatím nestojí žádné zařízení a je zde patrný deficit těchto technologií.

Pro lepší využití geotermální energie v České republice považuji za přínosné zapojení jednotek s již stávajícími zdroji tepelné, případně elektrické energie nebo tzv. KVET. Rovněž můžeme uvažovat o kombinované výrobně využívající hybridní systém s plynem nebo biomasou. Výrobna by tímto řešením získala větší instalovaný elektrický výkon a produkovala by větší množství elektrické energie a tepla. Tímto by se snížila spotřeba primárního paliva (plyn, biomasa). Toto by snížilo energetickou závislost právě na fosilních palivech, o které je zmíněno v úvodu práce. Myšlenka projektu by počítala se zapojením všech variant systémů k produkci el.energie – ARC, ORC, popř. kalinový cyklus.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Skupina ČEZ* [online]. 2011 [cit. 2011-05-25]. Výroba elektřiny-paroplynové elektrárny. Dostupné z <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/paroplynove-elektrarny.html> .
- [2] *Skupina ČEZ* [online]. 2011 [cit. 2011-05-25]. Výroba elektřiny-jaderná energetika. Dostupné z <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika.html> .
- [3] Doc. Ing. Jiří Raček, CSC.. *Jaderná zařízení*. 1.vydání. Technická 2848/8, 616 00 Brno : NOVOPRESS s.r.o., nám. Republiky 725/15, 614 00 Brno, 2009. 239 s. ISBN 978-80-214-3961-0.
- [4] *Skupina ČEZ* [online]. 2011 [cit. 2011-05-25]. Výroba elektřiny-Energie z obnovitelných zdrojů. Dostupné z <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje.html> .
- [5] *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-for-heating-and-cooling> .
- [6] *Hospodaření s přírodními zdroji* [online]. 2001, 2010 [cit. 2011-05-25]. Geotermální energie. Dostupné http://hpz.vesmirweb.net/wiki/images/1/1f/03_geoterm%C3%A1ln%C3%AD.pdf.
- [7] *Vysoká škola chemicko-technologická v Praze* [online]. 2009. Geotermální elektřina, 21.2.2011 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z <http://www.vscht.cz/ktt/studium/predmety/aze/8AZEpu.pdf> .
- [8] *US.DEPARTMENT OF ENERGY: GEOTHERMAL TECHNOLOGIES PROGRAM* [online]. 2006, 16.11.2010 [cit. 2011-05-25]. HYDROTHERMAL POWER SYSTEMS. Dostupné <http://www1.eere.energy.gov/geothermal/powerplants.html> .
- [9] *US.DEPARTMENT OF ENERGY: GEOTHERMAL TECHNOLOGIES PROGRAM* [online]. 2006, 19.01.2011 [cit. 2011-05-25]. Enhanced geothermal systems technologies. Dostupné z http://www1.eere.energy.gov/geothermal/enhanced_systems.html .
- [10] Enhanced geothermal systems. In *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, 26.11.2009 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z http://en.wikipedia.org/wiki/Enhanced_geothermal_systems .
- [11] RONALD, DiPippo, Ph.d. SMALL GEOTHERMAL POWER PLANTS: DESIGN, PERFORMANCE AND ECONOMICS. In *GHC BULLETIN* [online]. Mechanical Engineering Department, : University of Massachusetts of Dartmouth, North Dartmouth, Massachusetts 02747, JUNE 1999 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z <http://geoheat.oit.edu/bulletin/bull20-2/art1.pdf> .
- [12] Heat pump. In *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, 06.08.2002, last modified on 25.05.2011 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_pump .
- [13] *US.DEPARTMENT OF ENERGY: GEOTHERMAL TECHNOLOGIES PROGRAM* [online]. 2006, 07.07.2009 [cit. 2011-05-25]. Geothermal Heat Pumps. Dostupné <http://www1.eere.energy.gov/geothermal/heatpumps.html> .
- [14] *US.DEPARTMENT OF ENERGY: Energy Savers* [online]. 2006, 09.02.2011 [cit. 2011-05-25]. Benefits of Geothermal Heat Pumps. Dostupné z http://www.energysavers.gov/your_home/space_heating_cooling/index.cfm/mytopic=12660 .

- [15] *US.DEPARTMENT OF ENERGY: GEOTHERMAL TECHNOLOGIES PROGRAM* [online]. 2006, 20.03.2009 [cit. 2011-05-25]. Direct Use of Geothermal Energy. Dostupné z <http://www1.eere.energy.gov/geothermal/directuse.html> .
- [16] BERTANI, Ruggero. GEOTHERMAL ENERGY: AN OVERVIEW ON RESOURCES AND POTENTIAL. In *GEOTHERMAL ELECTRICITY PRODUCTION: POSSIBILITIES, TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY IN CENTRAL EUROPEAN REGION* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2009 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z <http://pangea.stanford.edu/ERE/pdf/IGAstandard/ISS/2009Slovakia/I.1.Bertani.pdf> .
- [17] Rankine cycle. In *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 17.05.2004, last modified on 10.05.2011 [cit. 2011-05-26]. Dostupné z http://en.wikipedia.org/wiki/Rankine_cycle .
- [18] DOC. ING. MILAN Pavelek, CSc. *Termomechanika*. 3. přepracované. VUT v Brně FSI: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., červen 2003. 350s s. ISBN 80-214-2409-5.
- [19] Ing. František Michele, CSc. Energetická zařízení s organickým Rankinovým cyklem, stupeň utajení 1, 40s, 1987 .
- [20] Butane. In *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, 22.05.2002, last modified on 06.04.2011 [cit. 2011-05-26]. Dostupné z <http://en.wikipedia.org/wiki/Butane> .
- [21] Isobutane. In *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, 23.01.2001, last modified on 05.05.2011 [cit. 2011-05-26]. Dostupné z <http://en.wikipedia.org/wiki/Isobutane> .
- [22] Pentane. In *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, 17.05.2004, last modified on 26.04. 2011 [cit. 2011-05-26]. Dostupné z <http://en.wikipedia.org/wiki/Pentane> .
- [23] Isopentane. In *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, 03.07.2005, last modified on 11.05.2011 [cit. 2011-05-26]. Dostupné z <http://en.wikipedia.org/wiki/Isopentane> .
- [24] Cyclopentane. In *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, 07.02.2005, last modified on 25.04.2011 [cit. 2011-05-26]. Dostupné z <http://en.wikipedia.org/wiki/Cyclopentane> .
- [25] Toluene. In *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, 22.09.2001, last modified on 06.05.2011 [cit. 2011-05-26]. Dostupné z <http://en.wikipedia.org/wiki/Toluene> .
- [26] Ethanol. In *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, 07.11.2001, last modified on 18.05.2011 [cit. 2011-05-26]. Dostupné z <http://en.wikipedia.org/wiki/Ethanol> .
- [27] *SiSiB Silanes* [online]. 1989 - 2009, 2010 [cit. 2011-05-26]. SiSiB PC1100. Dostupné z <http://www.pcc.asia/silanes/1100.html> .
- [28] *SiSiB Silanes* [online]. 1989 - 2009, 2010 [cit. 2011-05-26]. SiSiB PC1110. Dostupné z <http://www.pcc.asia/silanes/1110.html> .
- [29] *SiSiB Silanes* [online]. 1989 - 2009, 2010 [cit. 2011-05-26]. SiSiB PC1120. Dostupné z <http://www.pcc.asia/silanes/1120.html> .

-
- [30] *Královské město Litoměřice* [online]. 2006 [cit. 2011-05-26]. Litoměřice - Geotermální energie. Dostupné z <http://www.litomerice.cz/gte/index.php?lang=cz&akce=clanky&func=clanek&par=78> .
- [31] *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2008, 2011 [cit. 2011-05-26]. Geotermální energie. Dostupné z http://www.mzp.cz/cz/geotermalni_energie .
- [32] *Skupina ČEZ* [online]. 2011 [cit. 2011-05-26]. Výroba elektřiny - Energie z obnovitelných zdrojů - geotermální energie. Dostupné z <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/geotermalni-energie.htm> >.
- [33] Obrázek k technologii HDR <http://www.coolsydney.net.au/images/hotrocks2.jpg>
- [34] *Electropedia* [online]. 2005 [cit. 2011-05-26]. Geothermal energy. Dostupné z http://www.mpoweruk.com/geothermal_energy.htm .
- [35] SILKE Kohler; ALI Saadat. Thermodynamics modeling of binary cycles looking for best case scenarios. In *International Geothermal Conference* [online]. Reykjavik: [s.n.], 2003 [cit. 2011-05-26]. Dostupné <http://www.jardhitafelag.is/media/PDF/S01Paper061.pdf> .

Příloha A — látky využitelné pro ORC

<i>vlastnosti</i>	CAS kód	ES kód	chem. vzorec	M _n	t _t	t _v	t _{vz}	t _{sv}	vzhled	další vlastnosti	citace
Látka	-	-	-	[g*mol ⁻¹]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	-	-	-
n-butan	106-97-8	203-448-7	C ₄ H ₁₀	58,12	-134,4	-0,5	-60	500	Bezbarvý plyn	R12	[20]
isobutan	75-28-5	-	C ₄ H ₁₀	58,12	-159,6	-11,6	neurčeno	460	Bezbarvý plyn	R12	[21]
n-pentan	109-66-0	203-692-4	C ₅ H ₁₂	72,15	-129,8	36,1	-49	260	Bezbarvá kap	R12,R51/53,R65, R66,R67	[22]
isopentan	78-78-4	-	C ₅ H ₁₂	72,15	-159,9	27,7	< -51	420	Bezbarvá kap	R12,R51/53,R65, R66,R67	[23]
cyklopentan	287-92-3	206-016-6	C ₅ H ₁₀	70,1	-94	49			Bezbarvá kap		[24]
toluen	108-88-3	203-625-9	C ₇ H ₈	92,14	-93	110,6	4	480	Bezbarvá kap	R12,R51/53,R65, R66,R67	[25]
ethanol	64-17-5	-	C ₂ H ₅ OH	46,07	-114	78	13-14	362	Bezbarvá kap	R11	[26]
sil.olej PC1100	919-30-2	213-048-4	C ₉ H ₂₃ NO ₂ Si	221,37	-80	215	96	136	Bezbarvá kap		[27]
sil.olel PC1110	13822-56-5	237-511-5	C ₆ H ₁₇ NO ₃ Si	179,29	-85	210	82	40	Bezbarvá kap		[28]
sil.olej PC1120	3179-76-8	221-660-8	C ₈ H ₂₁ NO ₂ Si	191,3	-40	88	68	>300	Bezbarvá kap		[29]

Tab. 1 – tabulka látek použitelných v ORC cyklech (vlastnosti látek za referenčních hodnot – teplota 25°C, tlak 100kPa)

Příloha B — vysvětlivky k tabulce č. 1 (Tab. 1)

barva	Legenda k použitým látkám
	látky používané v minulosti, dnes nevhodné a nepoužívané
	látky použitelné, nicméně malé nebo žádné rozšíření
	látky vhodné pro ORC vyšších prac. Teplot () nebo jako teplotonosná média
	látky velmi vhodné pro ORC středních teplot (rozsah 140°C - 160°C), maximálně do 180°C

Tab. 2 – tabulka barev pro tabulku č.1 (Tab.1)

Legenda k Tab.1

M_n – molární hmotnost

t_t – teplota tání

t_v – teplota vypařování

t_{vz} – teplota vznícení

t_{sv} – teplota samovznícení

Vlastnosti látek – označení škodlivosti

R11 – látky hořlavé

R12 – látky extrémě hořlavé

R 51/53 – látky toxické pro vodní organismy, mohou vyvolat dlouhodobý nepříznivé účinky ve vodním prostředí

R 65 – látky zdraví škodlivé, mohou poškodit plíce

R 66 – mohou vysušit a poškodit kůži

R 67 – vdechnutí par může vyvolat závratě a ospalost