

Technologie čerpání tepla pro intenzifikaci využívání geotermální energie v košické SCZT

Technology of heat pumping for intensification of thermal energy utilization in Centralized Heat Source Station in Košice

Doc. Ing. Ladislav BÖSZÖRMÉNYI,
CSc.

Stavební fakulta TU Košice,

Ing. Gabriel BÖSZÖRMÉNYI
Fakulta strojní ČVUT Praha

Recenzent

doc. Ing. Karel Brož, CSc.

Hlavním problémem zlepšení ekonomické efektivity využívání geotermální energie v košické soustavě centralizovaného zásobování teplem (SCZT) je správná volba technologie čerpání tepla a její začlenění do systému kombinované výroby elektřiny a tepla. Základní informace o analýze několika alternativ této technologie.

Klíčová slova: geotermální energie, tepelné čerpadlo, soustava centralizovaného zásobování teplem, úspora primárních paliv

The main problem of improvement of the economic efficiency of geothermal energy utilization in Košice district heating system is the correct heat pump-technology selection and its integration into the system of combined heat – and electricity – production. In this paper there is basic information about analysis of several alternatives of this technology.

Key words: geothermal energy, heat pump, district heating system, primary fuels savings

Prognóza trendu vývoje struktury energetické spotřeby světa by měla být pro Slovensko silnou motivací k ráznějšímu vykořevení cestou intenzivnějšího využívání domácích obnovitelných zdrojů, hlavně geotermální a solární energie. Vytěženost jejich technicky využitelného potenciálu je totiž nejmenší (cca 6 resp. 2 %). Využívání solární energie v důsledku její nízké hustoty se v našich podmínkách omezuje na projekty s výkonem několik kW, případně několik desítek kW, zatímco geotermální energie je mnohem koncentrovanější a výkony u jednotlivých projektů jsou řádově vyšší. Představa košického geotermálního projektu s plánovaným využíváním více než 100 MW při zásobování města teplem patří tak i ve světovém měřítku mezi větší.

Navrhovaná nejjednodušší koncepce přímého napájení košické SCZT geotermálním teplem podle [4] však nemůže být v současném ekonomickém prostředí konkurenceschopná alternativa jako náhrada za tepelný výkon zastaralé části zdroje TEKO z logického důvodu, který plyne ze základní koncepce. Ta je totiž založena na konkurenčním vztahu „geotermální teplo versus kogenerované teplo“, což znamená že geotermálním teplem by mělo být nahrazené teplo vyráběné v kogeneračním zdroji, tedy současně s elektrickou energií. Omezení výroby tepla by tedy mělo za následek také snížení produkce elektřiny a tím i podstatné zhoršení hospodárnosti provozu zdroje. Vzhledem k této skutečnosti mnozí zainteresovaní odborníci považují realizaci projektu využívání geotermální energie za hubdu vzdálené budoucnosti, kdy by v důsledku vysokých cen energií mohla být geotermální energie konkurenceschopná. Tato úvaha ovšem ignoruje velmi závažná fakta.

- Kolem 60 % ceny geotermálního tepla tvoří náklady na energii, a zvýšení cen energií ovlivní i další její složky. Proto je mylná představa, kterou mnozí prezentují, že cena geotermálního tepla se nebude zvyšovat.
- Růst ceny elektřiny zvyšuje hospodárnost sdružené výroby tepla a elektřiny zvláště v teplárně na bázi paroplynového cyklu, kde je podíl produkce elektřiny zvláště velký, ale naopak vede ke zhoršení konkurenceschopnosti geotermálního tepla.

Vzhledem k těmto faktům čekání se založenými rukama, až problém nízké konkurenceschopnosti čas nevyřeší, by bylo neospravedlivitelným alibismem, důkazem nedostatečné odborné zdatnosti našich energetiků a nekoncepčnosti energetické politiky. Bohužel je příliš hluboko zakořeněn názor, že nejjednodušší řešení nějakého technického problému je neefektivnější a nesplnění očekávání týkající se ekonomické efektivity často vede k rezignaci. Přitom za

cenu investování relativně malých prostředků by bylo možné najít sice složitější, ale efektivnější alternativní řešení. V případě využívání hydrogeotermálního potenciálu Košické kotlárny by to bylo bezpochyby opodstatněné.

Cesta k hospodárnosti košického geotermálního projektu v krátkém časovém horizontu s velkou pravděpodobností vede přes zásadní změnu jeho koncepce, která by měla mít za následek odstranění konkurenčního vztahu „geotermální teplo versus kogenerované teplo“. Reálná podoba této koncepce je popsána v pracích [2], [3], [4]. Je založena na přednostním využívání geotermální energie na přehřev napájecí vody v parním okruhu kogeneračního zdroje TEKO místo jednoduchého napájení SCZT. Využívání geotermální energie na základě této koncepce by neomezovalo, ale naopak, podporovalo kombinovanou výrobu elektřiny a tepla ve zdroji a vedlo by k značné úspoře primární energie. Rozhodující podmínkou energetické a ekonomické efektivity všech alternativ této koncepce je správná volba technologie čerpání tepla pro zvýšení entalpie sekundárního nositele geotermální energie.

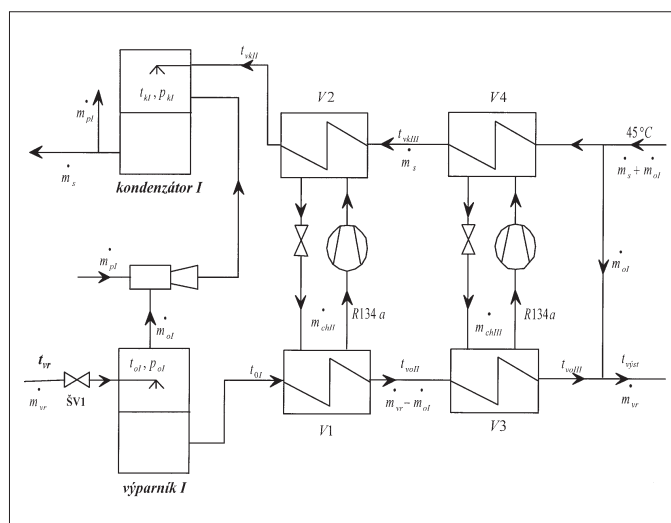
VÝCHOZÍ PARAMETRY PRO ŘEŠENÍ TEPELNÉHO ČERPADLA

V koncepci přímého napájení SCZT geotermální energií na základě [4] je doporučena realizace celkem 8 dvojic těžebních a reinjektážních vrtů (dubletů) ve čtyřech lokalitách (Bidovce, Ďurkov, Ruskov, Slanec). Tato alternativa vykazuje lepší ukazatele ekonomické efektivity než alternativy s počtem dubletů 6 a 7. To však platí pouze za předpokladu, že téměř 50 % nákladů na realizaci projektu bude pokryto z grantů. Tato představa je příliš odvážná, proto je nutné uvažovat i s reálnější alternativou se 6 dublety, která je celkově levnější o cca 350 mil. Sk. To znamená, že je možné počítat s průtokem sekundárního nositele geotermální energie přibližně 360 kg/s.

Teplota vratné sekundární vody na vstupu do výparníku tepelného čerpadla se může měnit v závislosti na venkovní teplotě v rozmezí 40 až 50 °C. V hrubých výpočtech je možno předběžně uvažovat 45 °C na vstupu a 25 °C na výstupu. V kondenzátoru by se měla ohřívat topná voda pro sídliště Nad Jazerom a Krásna na teplotu 80 °C, která je postačující v převážné většině topných sezón. Na tuto teplotu se ohřívá primární voda také mimo topné období, kdy tepelné čerpadlo by mohlo pokrývat celou potřebu tepla města na přípravu TUV. Mohlo by být tedy celoročně provozované, což je nejdůležitější podmínkou hospodárnosti. Vzhledem k plánované rekonstrukci topné soustavy vstupní teplota se předběžně předpokládá také ve výši 45 °C.

Jednotlivé alternativy koncepce technického řešení tohoto nesporně unikátního tepelného čerpadla se mohou lišit:

- a) *druhem použitého chladiva* – Vzhledem k poměrně vysoké teplotě zdroje tepla pro tepelné čerpadlo (vrácený sekundární nositel geotermálního tepla) by mohly převážit výhody vody jako chladiva nad jejími nevýhodami, proto je nutné tuto možnost velmi seriózně analyzovat. Jako další alternativy přicházejí v úvahu běžná chladiva používaná v tepelných čerpadlech samostatně, případně v kombinaci s vodou.
- b) *počtem stupňů vypařování a kondenzace* – Pro poměrně velké teplotní spády zdroje ve výparníku a topné vody v kondenzátoru je nutné uvažovat také možnost rozdělení těchto procesů v zájmu zvýšení hodnoty COP (topný faktor) minimálně do dvou stupňů.
- c) *druhem komprese* – V úvahu přicházejí termokomprese v paroproudovém kompresoru (ejektoru) a mechanická komprese v turbokompresoru.
- d) *počtem stupňů komprese* – Podle hodnoty tlakového poměru je nutné rozhodnout o použití jednostupňové nebo dvoustupňové komprese.



Obr. 1 Principiální schéma pro alternativu C1

ŠROVNÁVÁNÉ ALTERNATIVNÍ KONCEPCE TEPELNÉHO ČERPADLA

Předcházející úvahy dokazují, že koncepce technického řešení tepelného čerpadla může mít mnoho alternativ. V současnosti jsou známé výsledky hrubé analýzy těch alternativ, mezi kterými je možné předpokládat existenci jeho alespoň kvazioptimální podoby.

Celkem bylo analyzováno deset alternativních koncepcí:

- Alternativa A1** – Dvoustupňové tepelné čerpadlo s přímým vypařováním a kondenzací a jednostupňovou paroproudou kompresí v obou stupních. Pro pohon se používá odběrová pára tlaku 10 bar.
- Alternativa A2** – Od alternativy C1 se liší pouze v tom, že pro pohon se používá pára tlaku 4 bar.
- Alternativa B1** – Dvoustupňové tepelné čerpadlo s přímým vypařováním a kondenzací a dvoustupňovou mechanickou kompresí.
- Alternativa B2** – Jednostupňové tepelné čerpadlo s přímým vypařováním a kondenzací a dvoustupňovou mechanickou kompresí.
- Alternativa C1** – Třístupňové tepelné čerpadlo s přímým vypařováním a kondenzací a jednostupňovou paroproudou kompresí v prvním stupni a s nepřímými procesy vypařování a kondenzace při použití chladiva R 134a s jednostupňovou mechanickou kompresí ve druhém a třetím stupni.
- Alternativa C2** – Třístupňové tepelné čerpadlo, které se od alternativy C1 liší pouze mírou ochlazení sekundárního nositele geotermálního tepla, jehož výstupní teplota je v tomto případě o 5 K nižší (20 °C).
- Alternativa C3** – Dvoustupňové tepelné čerpadlo s přímým vypařováním a kondenzací a dvoustupňovou mechanickou kompresí v prvním stupni a s nepřímými procesy přenosu tepla ve výparníku a kondenzátoru při použití chladiva R 134a s jednostupňovou mechanickou kompresí.
- Alternativa C3** – Dvoustupňové tepelné čerpadlo, které se od alternativy C2 liší pouze druhem chladiva použitého ve druhém stupni, kterým je v tomto případě R 717 (čpavek).
- Alternativa D1** – Dvoustupňové tepelné čerpadlo s nepřímými procesy přenosu tepla ve výparníku a kondenzátoru při použití chladiva R 134a s mechanickou kompresí v obou stupních.
- Alternativa D2** – Dvoustupňové tepelné čerpadlo, které se od alternativy D1 liší pouze druhem použitého chladiva, kterým je v tomto případě R 717 (čpavek).

Pro ukázkou by bylo vhodné popsat alespoň alternativu C1, která je třístupňová s kombinací přímých a nepřímých procesů kondenzace a vypařování (obr. 1).

V prvním stupni je vypařování a kondenzace přímým procesem, tedy realizuje se ve směšovacích výměníčích tepla. V prvním stupni se vodní pára stlačuje

v jednostupňovém ejektoru hnací párou, která se získává z turbíny paroplynového cyklu. Teplota vypařovací je 35 °C a teplota kondenzační je 80 °C. Význam přímých procesů je zejména v zanedbatelných teplotních rozdílech ve výměníčích tepla. Ve stupni druhém a třetím jsou procesy vypařování a kondenzace nepřímé a použitým chladivem je R 134a. V tomto tepelném čerpadle se sekundární voda ochladí z teploty 45 °C na teplotu 25 °C a síťová voda se ohřívá z teploty 45 °C na teplotu 80 °C. Tepelný výkon takového uspořádání je asi 55 MW. Relativně nízká hodnota topného faktoru je zapříčiněna velkou hodnotou tepelného výkonu přiváděného do ejektoru. Nutno poznamenat, že takové hodnocení nezohledňuje rozdílné termodynamické kvality energií spotřebovaných na pohon v jednotlivých stupních. Tepelná energie použitá v prvním stupni je součet exergie a energie a je méně kvalitní než elektrická energie použitá ve druhém a třetím stupni, což je čistá exergie. Je proto možné při určování topného faktoru u alternativ, v kterých se uvažuje v některém ze stupňů s termokompresí, uvažovat s tzv. ekvivalentním (nebo také ztrátovým) výkonem. Je to výkon, který by se získal po expanzi vodní páry použité na stlačování v ejektoru na emisní tlak v parní turbíně paroplynového cyklu. Při takovém hodnocení má topný faktor několikrát větší hodnotu. Je zde ale důležité i hledisko ekonomické.

Výhodou této alternativy je relativně dobrá regulovatelnost tepelného výkonu. To znamená lepší přizpůsobení tepelného výkonu ke spotřebě.

V současné etapě bylo možné alternativy tepelného čerpadla analyzovat pouze zjednodušeně na základě energetické bilance a hodnot zpětného toku, měrného zpětného toku a sumy diskontovaných zpětných toků za předpokládanou dobu využívání (SDCFd). Investiční náklady zatím nebylo možné dosti spolehlivě odhadnout. Bez analýzy paroplynového cyklu nebylo také možné kvantifikovat využívání chladicího výkonu tepelného čerpadla pro chlazení kondenzátoru parního oběhu. Chladicí výkon byl v jednotlivých případech přibližně stejný (s výjimkou alternativy C2), a byl určen z podmínky ochlazení stejného průtoku vody o daný teplotní rozdíl. Topný výkon se mění v závislosti na druhu použitého chladiva, na řešení vypařování a kondenzace a na druhu a počtu stupňů komprese par chladiva. Hlavní technické a ekonomické parametry analyzovaných alternativ jsou uvedené v tab. 1 (viz [4]).

Při výpočtu sumy diskontovaných zpětných toků byl zohledněn možný růst cen elektřiny a tepla. Tento parametr nejvíce ovlivňuje hospodárnost provozu tepelného čerpadla: má být větší než velikost investice. Podle jeho hodnoty je možné oprávněně předpokládat, že tato podmínka by byla splněna u všech analyzovaných alternativ. Jeho největší hodnota u alternativ A1 i A2 neznamená však jejich automatické upřednostňování, protože tepelné čerpadlo by

	A1	A2	B1	B2	C1	C2	C3	C4	D1	D2
Chladicí výkon [MW]	29,1	29,1	29,1	29,1	29,8	37,2	29,6	29,6	30,1	30,1
Topný výkon [MW]	99,9	133,0	34,5	36,7	55,0	68,7	36,6	36,2	40,2	39,8
Spotřeba hnací páry [kg/s]	29,0	43,2	–	–	8,3	10,1	–	–	–	–
Elektrický příkon [MW]	–	–	5,4	7,6	4,9	6,9	7,0	6,6	10,1	9,7
Ekv. elektrický příkon [MW]	12,5	18,6	–	–	3,6	4,4	–	–	–	–
Využití výkonu [h/r]	3895	2927	8650	8650	7075	5663	8650	8650	8650	8650
Vyrobené teplo [TJ/r]	1401	1401	1073	1142	1401	1401	1140	1126	1253	1239
Ekv. spotřeba elektřiny [MWh/r]	48658	54478	46537	65827	59963	63594	60896	57004	87625	83732
Výnosy z prodeje tepla [mil. Sk/r]	231,2	231,2	177,0	188,5	231,2	231,2	188,2	185,8	206,7	204,4
Náklady na pohon [mil. Sk/r]	59,8	67,0	57,2	81,0	73,8	78,2	74,9	70,1	107,8	103,0
Zpětný tok [mil. Sk/r]	171,4	164,2	119,8	107,5	157,5	153,0	113,3	115,7	98,9	101,4
Měrný zpětný tok [Sk/GJ]	122,3	117,2	111,6	94,1	112,4	109,2	99,3	102,7	79,0	81,9
ΣDCFd [mil. Sk]	1469,9	1397,9	1010,5	874,8	1330,2	1285,3	932,9	960,3	768,8	796,2

Tab. 1. Hlavní technické a ekonomické parametry analyzovaných alternativ

bylo v tomto případě výrazně předimenzováno. Je to však dostatečný důvod k tomu, aby se s možností použití paroproudé komprese v ejektoru při přímých procesech vypařování a kondenzace vážně uvažovalo v kombinaci s jinými možnostmi provedení těchto procesů, jako je to například u alternativ C1 i C2.

Při volbě definitivní podoby koncepce má být zohledněna také představa nejrationálnějšího provozování, při kterém by tepelné čerpadlo zásobovalo v letním období celé město teplem pro ohřev užitkové vody a v topné sezóně sídliště Nad Jazerom a Krásna. Rozhodující však budou požadavky související s jeho začleněním do systému kombinované výroby elektřiny a tepla a také investiční náklady.

ZÁVĚR

Vzhledem k tomu, že se zatím řešil pouze částečný, i když velmi důležitý problém nové koncepce využívání hydrogeotermálního potenciálu Košické kotliny v soustavě CZT města, na základě výsledků zatím není možné jednoznačně doporučit konkrétní alternativu technického řešení tepelného čerpadla pro pří-

pad, kdyby se rozhodovalo o jeho realizaci. K tomu bude nutné v další etapě provést seriózní analýzu spolupráce tepelného čerpadla se systémem kombinované výroby elektřiny a tepla v paroplynovém teplotěnskému zdroji, který má v letech 2004 až 2005 nahradit zastaralou část TEKO I a/nebo v stávajícím bloku TEKO II, který může být provozován ještě minimálně 10 roků. Přitom výsledky porovnávací analýzy alternativ technologie čerpání tepla podle práce [4] by mohly být efektivně využité.

Literatura:

- [1] AUSTMEYER, K. E.: Mechanical Vapour Recompression. VDI-Society for Energy Technology, Düsseldorf, 1993.
- [2] BÖSZÖRMÉNYI, L.: Integrovanie hydrogeotermálneho potenciálu do sústavy CZT mesta ošice. Vytápění větrání, instalace, , 9, č. 4, 2000.
- [3] BÖSZÖRMÉNYI, L.: Optimierte Geothermienutzung bei der gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung in einer GuD-Anlage. International Conference World Sustainable Energy Day 2000, Wels/Austria 2000.
- [4] BÖSZÖRMÉNYI, G.: Využití hydrogeotermálního potenciálu Košické kotliny. Diplomová práce, Praha 2000.
- [5] Geotermálna energia pre centrálné zásobovanie teplom v meste Košice. GEOTHERM Košice. Košice 1999. ■

* Startovací dráha jako zdroj tepla

U nizozemského letiště Eindhoven se plánuje, v rámci jeho rozšíření, využití 80 000 m² nové asfaltové rozejzdové plochy, jako zdroje tepla pro tepelná čerpadla, k vytápění 2600 nových bytů a 130 000 m² kancelářské plochy v bezprostředním sousedství letiště. Asfalt s kolektorem a dva podzemní zásobníky vody (studený a teplý) budou postaveny ještě v r. 2001. Předpokládá se, že první byty a kanceláře budou na systém s monovalentními tepelnými čerpadly napojeny v r. 2002. Systém má uspořít 95.10³ GJ primární energie, což odpovídá cca roční spotřebě plynu pro 3750 obytných domů. Kolektor v asfaltu budou tvořit trubky v jeho výztuži, kterými bude protékat voda. V létě se bude voda ohřívát a tím asfalt chladit. Získané teplo se bude ukládat do „teplého zásobníku“ a v zimě využije k vytápění. V zimě bude voda asfalt ohřívát a tím jeho povrch udržovat prostý sněhu a ledu. Získaný chlad se bude ukládat do „studeného zásobníku“ pro chlazení místností v létě. Vratnou vodu z kanceláří bude možno využívat jako zdroj tepla pro obytné domy.

CCI 4/01

(Ku)

* Aplikace a údržba vzduchových filtrů k dodržování hygieny prostředí

K vytvoření a zachování kvality větracího vzduchu je třeba splnit řadu podmínek, obsažených ve směrnici VDI 6022 „Hygienické požadavky na vzduchotechnická zařízení pro obytné prostory“. Zařízení nesmějí v žádném případě být provozována bez filtrů. Doporučují se v podstatě dva stupně filtrace, kde I. stupeň má odpovídat minimálně třídě filtrace F5 a druhý stupeň F7, lépe F9. V případě jednostupňové filtrace pak alespoň F7. Každý stupeň má být monitorován měřicím přístrojem diferenčního tlaku, při měsíční kontrole a dokumentaci. Každé 3 měsíce pak zkontrolovat filtry na zanesení, příp. poškození a zadokumentovat. Maximální životnost (pokud nebyly dříve poškozeny nebo zaneseny na max. přípustnou hodnotu) u filtrů 1. stupně se předpokládá 12 měsíců, u filtrů 2. stupně 24 měsíců. S ohledem na nebezpečí růstu mikroorganismů, nesmí obecně relativní vlhkost vzduchu u filtrů překročit 90 %, u předfiltrů (zimní období) max. 80 % po dobu 3 dnů.

CCI 7/2000

(Ku)