

# Využitie geotermálnej energie na Slovensku

*Patrik HODERMARSKÝ, Dušan MEDVEĎ*

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

patrik.hodermarsky@student.tuke.sk, dusan.medved@tuke.sk

**Abstrakt** — Príspevok sa zaoberá využitím geotermálnej energie na Slovensku, konkrétne na území východného Slovenska. Súčasťou príspevku je analýza využívania geotermálnej energie na Slovensku a vyčlenenie lokalít s najväčším potenciálom pre výrobu elektrickej energie. Hlavný prínos príspevku je výber binárneho ORC cyklu pre výrobu elektrickej energie a návrh geotermálnej elektrárne v lokalite Košická kotlina. Elektráreň využíva geotermálny zdroj s predpokladanou teplotou 130 °C a prietokom 70 l/s. Ako pracovné médium sa využíva uhľovodíkové médium izobután s označením R600a. Pri návrhu a výpočte sa počíta s prípadným využívaním odpadového tepla pre rekreačné alebo výhrevné účely. Maximálny inštalovaný výkon navrhovanej elektrárne dosahuje hodnotu 2,66 MW a účinnosť elektrárne bez využitia odpadového tepla dosiahla 11,18 %.

**Kľúčové slová** — geotermálna energia, geotermálna elektráreň, binárny ORC cyklus

## I. ÚVOD

V súčasnej dobe je možné pozorovať vo svete nárast dopytu po výrobe elektrickej energie. Na rozdiel od sveta, na Slovensku bol v posledných desaťročiach zaznamenaný pokles využívania elektrickej energie oproti koncu 20. storočia. Tento jav bol spôsobený zánikom a zmenou priemyselnej činnosti. Z toho dôvodu budovanie veľkých elektrární začalo stagnovať a začali sa realizovať skôr menšie projekty, pri ktorých sa inštalovaný výkon pohyboval do niekoľko desiatok MW. Uvažované boli elektrárne využívajúce obnoviteľné zdroje na výrobu elektrickej energie. Hlavnou pozitívnou vlastnosťou týchto elektrární je ich minimálne alebo až žiadne znečisťovanie životného prostredia. Avšak v súčasnosti už aj na Slovensku narastá mierne spotreba elektrickej energie a preto je potrebné počítať s ďalšou výstavbou nových elektrární.

Jedným z obnoviteľných zdrojov, ktorý má na Slovensku veľký potenciál, je geotermálna energia. V súčasnosti sa na Slovensku žiadna geotermálna elektráreň nenachádza, hoci už v minulosti boli vytvorené projekty na výstavbu geotermálnych elektrární.

## II. VYUŽITEĽNÝ ENERGETICKÝ POTENCIÁL GEOTERMÁLNEJ ENERGIE NA SLOVENSKU

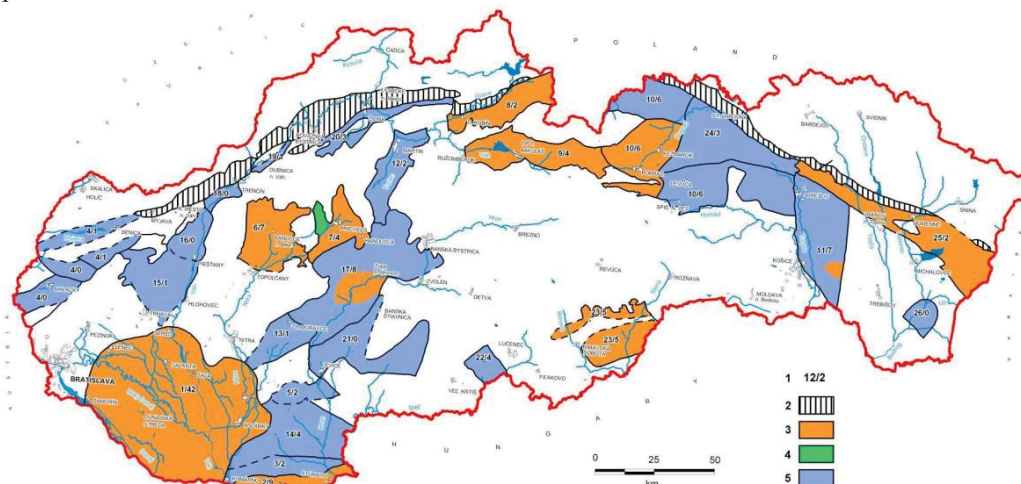
Geotermálna energia, podobne ako vo svete, tak aj na Slovensku, predstavuje bohatý energetický potenciál. Na Slovensku činí (priemerne) zvýšenie teploty vrtu približne o 3 °C na každých 100 m vrtu. V závislosti od teploty je možné využívať zdroj geotermálnej energie na vykurovanie, rekreáciu, sušenie a v neposlednom rade na výrobu elektrickej energie. Rozdelenie geotermálnych zdrojov na výrobu elektrickej energie je rovnaké ako je tomu vo svete a to:

- a) **Hydrotermálne systémy**, pri ktorých prenos tepla zabezpečuje geotermálna voda alebo para vystupujúca na povrch Zeme z geotermálneho rezervoára. Nachádzajú sa v miestach, kde bola zemská kôra narušená a kde mohla spodná voda klesnúť pozdĺž zlomov do väčších hĺbok, kde bola ohriata okolitými horninami. Niektoré rezervoáre dosahujú teplotu až 300 °C, pričom približne dve tretiny z nich dosahujú teploty od 120 do 200 °C.
- b) **Geostlačené zóny**, v ktorých sa nachádzajú horúce slané vody od 90 do 200 °C zachytené pod vysokým tlakom medzi vrstvami nepriepustných hornín. Z týchto zón je možné využiť

*horúce vody, hydraulický tlak alebo v určitých prípadoch aj tretí zdroj a to veľké množstvo rozpusteného metánu.*

- c) **Magmatické zdroje**, ktoré využívajú plytko uložené magmy v hĺbkach približne 7000 m, do ktorých sa pomocou vrtu vháňa voda do vytvoreného výmenníka, ktorá sa následne bude ohrievať na teplotu dosahujúcu až 900 °C.
- d) **Suché teplo hornín**, pri ktorom sa využíva tepelná energia akumulovaná v horninovom prostredí. Princíp je podobný ako v prechádzajúcich prípadoch, kde pomocou vrtu v určitej hĺbke viac ako 3000 m sa vytvorí výmenník a pomocou vrtu sa následne na povrch dostáva oteplené médium.

Na základe tohto rozdelenia je možné v rámci Slovenska počítať hlavne s hydrotermálnymi zdrojmi, ktoré sa vyskytujú vo veľkom množstve a majú veľký potenciál predstavujúci veľké množstvo energie. Geostlačené zóny nemajú v súčasnosti komerčné využitie, pretože dlhodobé náklady na výrobu elektrickej energie sú výrazne vyššie ako náklady na jednu kWh vyrobenú z bežných konvenčných zdrojov. Magmatické zdroje, podobne ako využívanie energie z geostlačených zón, nemá v súčasnej dobe reálne využitie a taktiež ani v blízkej dobe a to z toho dôvodu, že v súčasnosti neexistujú vhodné vrtné zariadenia. Jedným z najviac perspektívnych spôsobov využívania energie v blízkej budúcnosti je využívanie tepla suchých hornín. V poslednej dobe sa začali vedecké inštitúcie zaoberať potenciálom tepla suchých hornín na Slovensku a na základe prieskumných tepelných vrtov, ktoré sa vykonávali v približne rovnakom čase ako geotermálne vrtv, kde sa zistilo, že Slovensko má určité oblasti s veľkým energetickým potenciálom.



Obr. 1 Stav zhodnotenia vôd perspektívnych oblastí geotermálnych vôd v roku 2011

**Legenda:**

- 1 – číslo perspektívnej oblasti/počet geotermálnych vrtov
- 2 – bradlové pásmo
- 3 – perspektívne oblasti, v ktorých sa realizovalo hydrogeotermálne zhodnotenie
- 4 – perspektívne oblasti, v ktorých prebieha hydrogeotermálne zhodnotenie
- 5 – perspektívne oblasti, v ktorých sa doteraz nerealizovali hydrogeotermálne zhodnotenie

Je zrejmé, že mnohé oblasti ešte nie sú úplne preskúmané a hydrogeotermálne zhodnotenie všetkých oblastí nie je dokončené. Postupne sa však jednotlivé oblasti skúmajú a po dokončení celkového zhodnotenia jednotlivých perspektívnych oblastí bude možné presnejšie určovať potenciál geotermálnych vôd a následne posúdiť realizácie jednotlivých projektov.

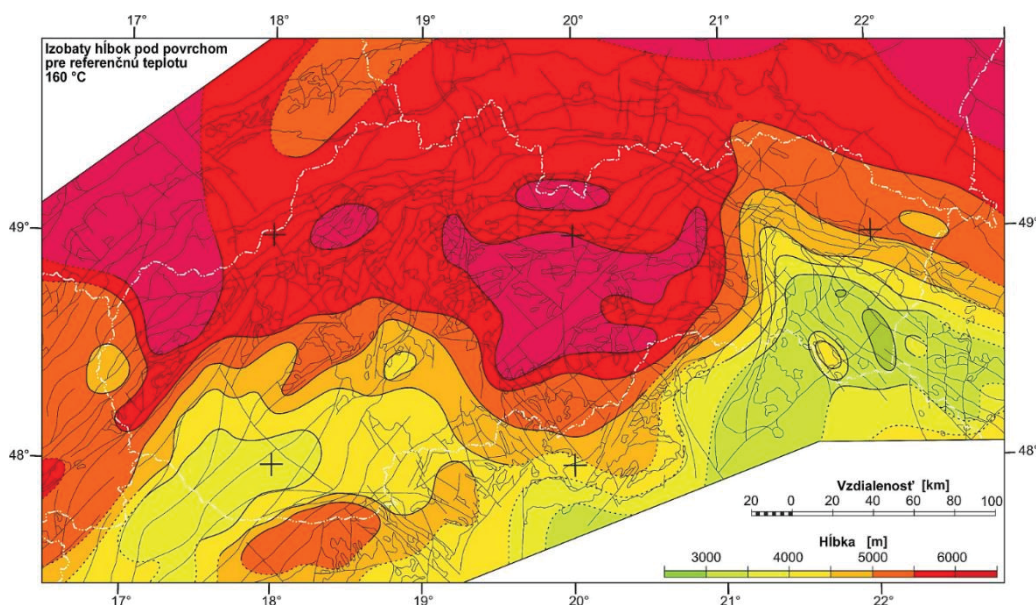
Sumárny tepelno-energetický potenciál geotermálnych vôd Slovenska vo všetkých perspektívnych oblastiach reprezentuje 6 653 MW<sub>t</sub>, z čoho 5 945 MW<sub>t</sub> pripadá na tepelno-energetický potenciál zásob geotermálnych vôd a 708 MW<sub>t</sub> na tepelno-energetický potenciál zdrojov geotermálnych vôd. Realizovanými geotermálnymi vrtmi overený (inštalovaný) tepelno-energetický potenciál geotermálnych vôd Slovenska reprezentuje 5,48 % z celkového potenciálu geotermálnej energie na Slovensku.

Väčšina zrealizovaných vrtov dosahuje mierne teploty a to do 100 °C, čo v prípade energetického využitia na výrobu elektrickej energie je nedostačujúce. Jediná oblasť, kde bola zaznamenaná teplota vyššia ako 100 °C je Košická kotlina, ktorá predstavuje najvyššie zásoby geotermálnej energie na Slovensku s prirodzeným výverom. V danej oblasti sú vrtv, ktoré

dosahujú teplotu až 129 °C a nachádzajú sa pri obci Ďurkov a v súčasnosti sú nevyužívané pre komerčné účely. Ďalším významným geotermálnym vrtom je vrt v rekreačnom stredisku Podhájska v oblasti Levicekej kryhy, ktorý pracuje s teplotou geotermálneho média 80 °C. Možným negatívom, v prípade niektorých vrtov, je silná mineralizácia geotermálnej vody.

Košický kraj má vďaka svojim prírodným podmienkam významný potenciál geotermálnej energie, ktorý je na základe doterajších prieskumov ohodnotený na 4 153 MW<sub>t</sub>, čo predstavuje 75 % celoslovenského potenciálu. Zdroje geotermálnej energie sú zastúpené predovšetkým geotermálnymi vodami, ktoré sú viazané na hydrogeologické kolektory nachádzajúce sa v hĺbkach 200 – 5000 m.

Ďalšou dôležitou formou využívania zemského tepla, ktoré má na území Slovenska veľký potenciál, je *teplo suchých hornín* (HDR – Hot Dry Rock). Oblasť, ktorá tieto zdroje označuje, sa nazýva geotermické pole. Na území Slovenska, konkrétne na území Západných Karpát, je toto pole výrazne premenlivé. Teplotné pomery na území Slovenska sú dobre preskúmané, pretože k dispozícii máme teplotné profily z 376 hĺbkových vrtov, ktoré reprezentujú všetky základné jednotky Západných Karpát. Tieto hĺbkové vrty nám poskytujú dostatočný počet informácií o predmetných geotermálnych vrtoch. Pomocou týchto nameraných údajov sa vytvorili príslušné mapy, pomocou ktorých je možné vyčleniť najideálnejšie oblasti na Slovensku s perspektívou využívania tepla suchých hornín. Najlepšie podmienky sú vyznačené na území s najmenšou nadmorskou výškou, konkrétne v oblasti Podunajskej nížiny a Východoslovenskej nížiny. Avšak úplne najideálnejším územím je Východoslovenská panva.



Jedným z najdôležitejších kritérií, v prípade využívania geotermálnej energie pomocou tepla suchých hornín, je hustota tepelného toku. Podľa rozpätia hodnôt, ktoré sú dané škálou uvedenou na mape tepelného toku Európy, je možné klasifikovať aktivitu daného územia, v ktorom sa nachádzajú vrty od klasifikácie tzv. „dosť vysoká“ ( $100 \div 110 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ ), „vysoká“ ( $110 \div 120 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ ) až po „veľmi vysoká“ ( $> 120 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Na Slovensku sa nachádzajú vrty so všetkými stupňami klasifikácie. Na základe toho je možné konštatovať, že územia, v ktorých sa tieto vrty nachádzajú, majú výborné podmienky na využívanie geotermálnej energie.

Okrem toho je možné vyčleniť oblasti, ktoré predstavujú najväčší potenciál nálezu geotermálnej vody s vysokou teplotou. Keďže sú zrealizované tieto termálne vrty, je možné predpokladať, že v daných lokalitách sa budú nachádzať aj prípadné rezervoáre s rovnakou teplotou.

### III. NÁVRH GEOTERMÁLNEJ ELEKTRÁRNE

Pri návrhu geotermálnej elektrárne sa počíta s využitím geotermálnej vody nachádzajúcej sa v podzemnom rezervoári. Na základe získaných informácií a negatív vyplývajúcich z prípadného využívania tepla suchých hornín, bol uprednostnený tento návrh.

Pri navrhovaní geotermálnej elektrárne je dôležité vybrať správnu lokalitu, kde by táto geotermálna elektráreň mohla byť umiestnená. Je potrebné dbať na prítomnosť inžinierskych sietí, ciest a všetkých potrebných aspektov pre výstavbu a udržiavanie daného objektu. Na základe analýzy a vyhotovenia záveru bolo zistené, že oblasť východného Slovenska, konkrétne

Košická kotlina a Východoslovenská nížina, má najväčší nevyužitý potenciál. Na základe toho boli vybraté niektoré lokality:

- *Oblasť Košická kotlina*: táto oblasť má najväčší geo-energetický potenciál,
- *Oblasť Beša – Čičarovce*: daná lokalita podľa rôznych štúdií skrýva v hĺbke okolo 3000 m rezervoár so zdrojom geotermálnej vody s teplotou okolo 150 °C.

Výdatnosť zdroja v oblasti Beša – Čičarovce je v hodnotách do 5 l/s. Táto hodnota výdatnosti je nepostačujúca pre efektívne využívanie geotermálneho zdroja na výrobu elektrickej energie, pretože je potrebná výdatnosť rádovo desiatky litrov za sekundu. Z ekonomického hľadiska sú súčasné technologické postupy a zariadenia nedostatočné. Taktiež spôsobujú rôzne negatívne javy, hlavne zemetrasenia.

Na základe získaných informácií je možné vyhodnotiť, že jediná oblasť, kde bol zaznamenaný prirodzený výver horúcej vody, je oblasť v Košickej kotline a to v obci Ďurkov, kde boli zrealizované 3 vrty. V minulosti prebehli rôzne štúdie a zrealizovali sa projektové dokumentácie, kde sú dané vrty využívané na výrobu elektrickej energie a vykurovanie.

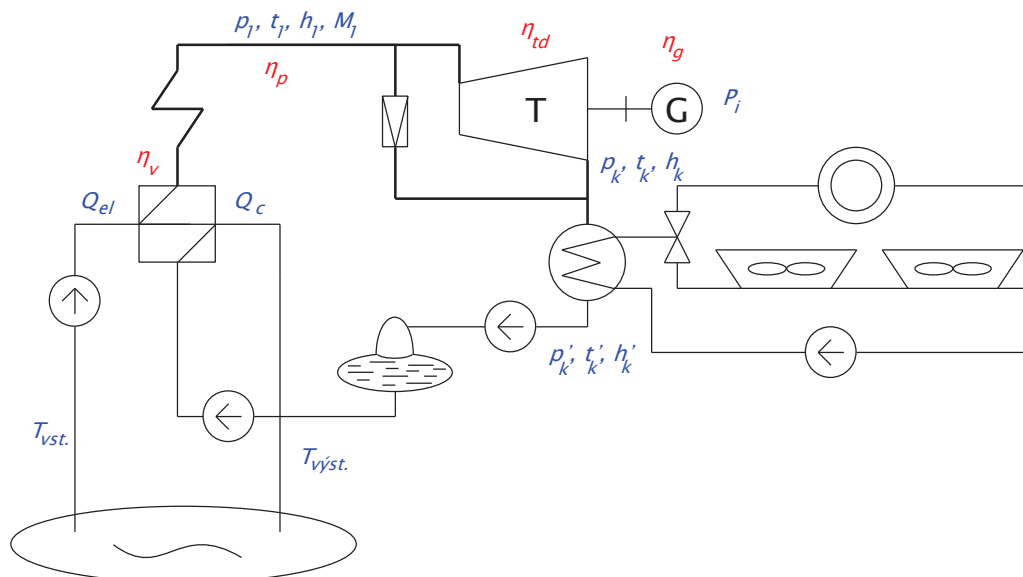
Pomocou informácií z týchto vrtovej je možné konštatovať, že daná oblasť poskytuje zdroj geotermálnej vody s teplotou na ústí vrtu do 130 °C, čo predstavuje postačujúci zdroj energie pre výrobu elektrickej energie. Na základe týchto štúdií je možné konštatovať, že daný rezervoár geotermálnej vody sa nachádza práve v rozľahlej časti tejto Košickej kotliny. Z toho dôvodu je možné konštatovať, že v prípade realizácie geotermálnych vrtovej aj v iných oblastiach Košickej kotliny by dosiahli pozitívny výsledok a získal by sa nový zdroj geotermálnej energie s podobnými vlastnosťami vrtu. Na základe toho by bolo možné zrealizovať vrty napríklad aj v obci Herľany, v ktorej sa v minulosti nachádzali kúpele a takýmto spôsobom by sa dané kúpele mohli obnoviť. Spoločne s tým by bolo možné zrealizovať napríklad aj rekreačné stredisko alebo skleníky.

Tab. 1 Predpokladané parametre vrtu Herľany – 1

Vrt	HRL – 1
Teplota ústie [°C]	130
Tlak ústie [MPa]	1,5
Teplota rezervoár [°C]	150
Tlak rezervoár [MPa]	28
Výdatnosť [l/s]	70
Hĺbka [m]	3000 ÷ 3500

Tab. 2 Parametre hlavnej časti binárneho ORC cyklu pri optimálnych tlakoch

Označenie	Druh média	Látka	Teplota $t$ [°C]	Tlak $p$ [kPa]	Entalpia $h$ [kJ/kg]
1	Izobután	Suchá para	125	3095	685,5
k	Izobután	Suchá para	45	405	622
k'	Izobután	Kvapalina	30	405	271,3



Obr. 3 Bloková schéma binárneho ORC cyklu geotermálnej elektrárne v Košickej kotline



Výpočet základných parametrov geotermálnej elektrárne:

- množstvo tepla získaného z geotermálneho zdroja pre elektrárňu

$$Q_{el} = m \cdot c \cdot (T_{vst.} - T_{výst.}) \cdot 3600 = 70 \cdot 4,25 \cdot (130 - 50) \cdot 3600 = 85,68 \text{ GJ/h} \quad (1)$$

- množstvo celkového tepla pre okruh pracovného média získaného cez výmenník

$$Q_c = Q_{el} \cdot \eta_p \cdot \eta_v = 85,68 \cdot 0,98 \cdot 97 = 81,45 \text{ GJ/h} \quad (2)$$

- množstvo pary získaného pre turbínu

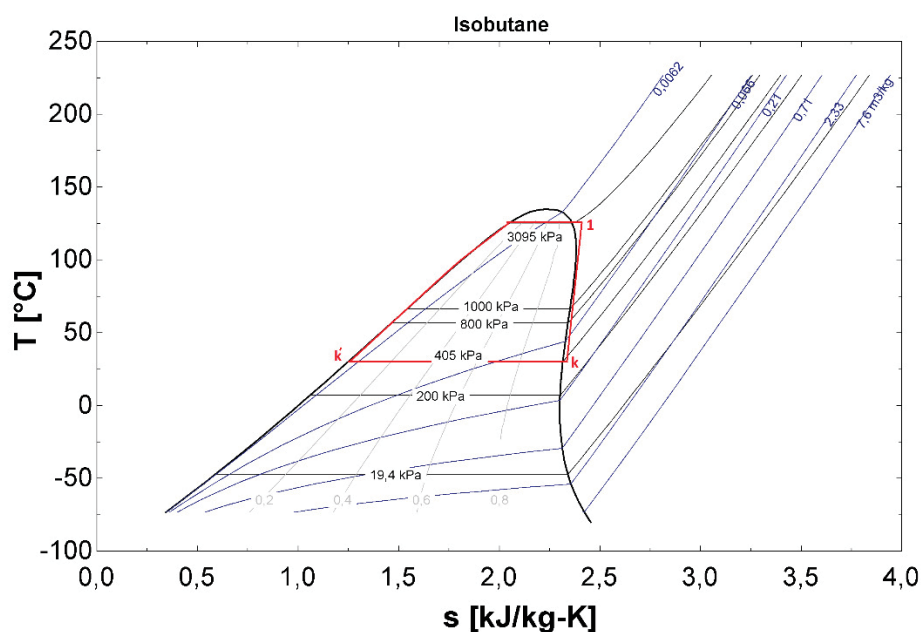
$$M_1 = \frac{Q_c}{h_1 - h_k} = \frac{81,45 \cdot 10^3}{685,5 - 271,3} = 196,65 \text{ t/h} \quad (3)$$

- maximálny možný inštalovaný výkon dodávaný do siete

$$P_i = \frac{M_1 \cdot [(h_1 - h_k) \cdot \eta_{td} \cdot \eta_g]}{3600} = \frac{196,65 \cdot [(685,5 - 622) \cdot 0,8 \cdot 0,96]}{3600} = 2,66 \text{ MW} \quad (4)$$

- účinnosť výroby elektrickej energie v danej elektrárni

$$\eta = \frac{3600 \cdot P_i}{Q_{el}} \cdot 100 = \frac{3600 \cdot 2,66}{85,68 \cdot 10^3} \cdot 100 = 11,18 \% \quad (5)$$



Obr. 4 T-s diagram binárneho ORC cyklu

#### IV. ZÁVER

Tento príspevok sa zaoberá využitím geotermálnej energie na Slovensku, konkrétne pre energetické účely. V článku bola stručne zahrnutá a vysvetlená analýza potenciálnych geotermálnych zdrojov na Slovensku. Taktiež bol stručne opísaný postup výpočtu energetickej bilancie malej geotermálnej elektrárne v lokalite Košickej kotliny.

Na základe získaných informácií a výsledkov bol zrealizovaný návrh a následný výpočet energetickej bilancie binárnej geotermálnej elektrárne. Táto elektrárňu využíva ako pracovné médium izobután, pre ktorý bol nájdený ideálny tlak pracovného média, pri ktorom geotermálna elektrárňu pracuje. Účinnosť výroby elektrickej energie binárneho ORC cyklu dosiahla hodnotu 11,18 %. Táto hodnota by mohla dosahovať aj vyššie hodnoty za predpokladu, že by sa odpadové teplo z turbíny využívalo na ďalšie účely, ako napríklad vykurovanie alebo rekreácia. Z tohto dôvodu bola výstupná teplota z turbíny nastavená na hodnotu 45 °C. Pri jej znížení by sa účinnosť zvýšila, ale prípadné využitie odpadového tepla by bolo už obmedzené. Účinnosť bežných binárnych ORC cyklov sa pohybuje od 10 do 20 %.

Pomocou získaných informácií je možné konštatovať, že využitie geotermálnej energie čisto na výrobu elektrickej energie, v prípade binárneho ORC cyklu, nie je výhodné. Je to spôsobené tým, že účinnosť je pomerne nízka. Daný spôsob výroby elektrickej energie je výhodný v tom prípade, ak sa odpadové teplo z turbíny využije aj na ďalšie účely ako rekreáciu, vykurovanie alebo vyhrievanie skleníkov. Celková energetická účinnosť sa v danom prípade zvýši.

Na základe získaných výsledkov je možné konštatovať, že využitie geotermálnej energie na výrobu elektrickej energie má svoje miesto medzi ďalšími alternatívnymi zdrojmi pre výrobu elektrickej energie, ale len v tom prípade, ak pôjde o kombinovanú výrobu elektrickej a tepelnej energie.

## V. POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a SAV podporenej grantom VEGA 1/0372/18 a tiež v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: *Centrum výskumu účinnosti integrácie kombinovaných systémov obnoviteľných zdrojov energií*, s kódom ITMS: 26220220064, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

## LITERATÚRA

- [1] Franko, O.: Atlas geotermálnej energie Slovenska. Geologický ústav Dionýza štúra, Bratislava, 1995, 164 s. ISBN 808531438X. [online]. [cit. 10.2.2018] Dostupné na internete: <https://www.geology.sk/geoinfoportal/mapovy-portal/atlas/atlas-geotermalnej-energie/>
- [2] Remšík, A.: Geotermálne vody, stav a možnosti využitia na Slovensku. Štátny geologický ústav Dionýza Štúra v Bratislave. 2010. [online]. [cit. 10.2.2018] Dostupné na internete: <https://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/29-2014/.../304-311.pdf>
- [3] Fendek, M., Remšík, A., Fendeková, M. 2004: Aktuálny stav preskúmanosti geotermálnych vôd na Slovensku. Geologické práce. Správy. ISSN 0433-4795, 2004, č. 110, s. 43-54. [online]. [cit. 10.2.2018]. Dostupné na internete: [www.sah-podzemnavoda.sk/cms/request.php?341](http://www.sah-podzemnavoda.sk/cms/request.php?341)
- [4] Fendek, M.: Geotermálna energia v III. Tisícročí, VI./2000, č.2 s. 42-51. [online]. [cit. 10.2.2018]. Dostupné na internete: [www.sah-podzemnavoda.sk/cms/request.php?475](http://www.sah-podzemnavoda.sk/cms/request.php?475)
- [5] Fendek, M., Bágelová, A., Fendeková, M.: Geotermálna energia vo svete a na Slovensku, XVII 1/2011, s. 74-83, . [online]. [cit. 10.2.2018]. Dostupné na internete: <http://www.sah-podzemnavoda.sk/cms/request.php?341>
- [6] Cehlár, M. a kol.: Geoterm a elektrárne na geotermálnu energiu – možnosti a podmienky, Ročník 15/2010, č.2, s. 132-138 [online]. [cit. 10.2.2018]. Dostupné na internete: <https://actamont.tuke.sk/pdf/2010/s2/7cehlar.pdf>
- [7] Tanaka, T. a kol.: Energy and Exergy Analysis of Sabalan Binary Geothermal Power Plant, 2011, č.3, s. 113-121, [online]. [cit. 10.2.2018]. Dostupné na internete: [https://www.researchgate.net/publication/215536095\\_Energy\\_and\\_Exergy\\_Analysis\\_of\\_Sabalan\\_Binary\\_Geothermal\\_Power\\_Plant](https://www.researchgate.net/publication/215536095_Energy_and_Exergy_Analysis_of_Sabalan_Binary_Geothermal_Power_Plant)