Spis treści

[1. Streszczenie. 3](#_Toc137031318)

[2. Założenia. 4](#_Toc137031319)

[3. Rozmieszczenie otworowych wymienników ciepła. 7](#_Toc137031320)

[4. Wyniki symulacji. 7](#_Toc137031321)

[6. Wnioski. 10](#_Toc137031322)

[7. Literatura 11](#_Toc137031323)

[8. Spis tabel i rysunków 12](#_Toc137031324)

# Streszczenie.

Celem zadania jest przeprowadzenie analizy numerycznej z wykorzystaniem programu EED „Earth Energy Designer”, pracy dolnego źródła ciepłą w postaci otworowych wymienników ciepłą. Analiza została przeprowadzona dla kilku wariantów wielkości dolnego źródła ciepła, oraz dla dystansu między OWC. Przeprowadzona symulacja bierze pod uwagę lokalne warunki geologiczne, w szczególności przewodność cieplna skał oraz objętościową pojemność skał na podstawie litologii otworu wiertniczego pobranego z Państwowego Instytutu Geologicznego PIG, oraz obliczone na podstawie mapy geotermalnej Państwowego Instytutu Geologicznego. Aby sprawdzić dokładną wartość efektywnej przewodności cieplnej , oraz oporu termicznego otworowego wymiennika ciepła , należy przeprowadzić Test Reakcji Termicznej na parametrach pracy instalacji.

# Założenia.

Symulacja pracy dolnego źródła ciepła została wykonana na podstawie audytu energetycznego wykonanego przez ENVITERM S.C. Instalacja dolnego źródła ciepłą ma pokryć 100% zapotrzebowania energetycznego na cele centralnego ogrzewania oraz na ciepłą wodę użytkową. Celem poniższego opracowania jest porównanie ilości otworowych wymienników ciepłą zależnie od ich głębokości oraz jak dystans między OWC wpływa na regenerację górotworu. W tabeli 1 oraz w tabeli 2 zestawiono założenia, które posłużyły do przeprowadzenia symulacji w programie EED.

Tabela 1. Założenia projektowe dla otworowych wymienników ciepła o głębokości 100 metrów.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Parametr** | **Wartość** | **Jednostka** |
| Własności górotwór | | |
| Przewodność cieplna gruntu | 2,0 |  |
| Pojemność cieplna gruntu | 2,16 |  |
| Temperatura na powierzchni gruntu | 7,8 |  |
| Geotermalny strumień ciepłą | 0,07 |  |
| Parametry otworowego wymiennika ciepła | | |
| Głębokość odwiertu | 100 |  |
| Rozstaw otworów | 8 |  |
| Rodzaj wymiennika | U-rurka PN12,5, SDR 13,6 |  |
| Średnica odwiertu | 143 |  |
| Średnica U-rurki | 40 |  |
| Grubość ścianki U-rurki | 3,0 |  |
| Przewodność cieplna U-rurki | 0,42 |  |
| Przewodność cieplna wypełnienia odwiertu | 2 |  |
| Natężenie przepływu przez pojedynczy wymiennik dla wymiennika DN40 | 0,3 |  |
| Glikol propylenowy 33% | | |
| Przewodność cieplna | 0,45 |  |
| Gęstość | 1042 |  |
| Lepkość | 0,0012 |  |
| Punkt zamarzania | -17 |  |

Tabela 2. Założenia projektowe dla otworowych wymienników ciepła o głębokości 150 metrów.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Parametr** | **Wartość** | **Jednostka** |
| Własności górotwór | | |
| Przewodność cieplna gruntu | 2,0 |  |
| Pojemność cieplna gruntu | 2,16 |  |
| Temperatura na powierzchni gruntu | 7,8 |  |
| Geotermalny strumień ciepłą | 0,07 |  |
| Parametry otworowego wymiennika ciepła | | |
| Głębokość odwiertu | 150 |  |
| Rozstaw otworów | 8 |  |
| Rodzaj wymiennika | U-rurka PN12,5, SDR 13,6 |  |
| Średnica odwiertu | 143 |  |
| Średnica U-rurki | 40 |  |
| Grubość ścianki U-rurki | 3,7 |  |
| Przewodność cieplna U-rurki | 0,42 |  |
| Przewodność cieplna wypełnienia odwiertu | 2 |  |
| Natężenie przepływu przez pojedynczy wymiennik dla wymiennika DN40 | 0,3 |  |
| Glikol propylenowy 33% | | |
| Przewodność cieplna | 0,45 |  |
| Gęstość | 1042 |  |
| Lepkość | 0,0012 |  |
| Punkt zamarzania | -17 |  |

Tabela 3. Rozkład miesięczny zapotrzebowania na energię dla budynku przedszkola.

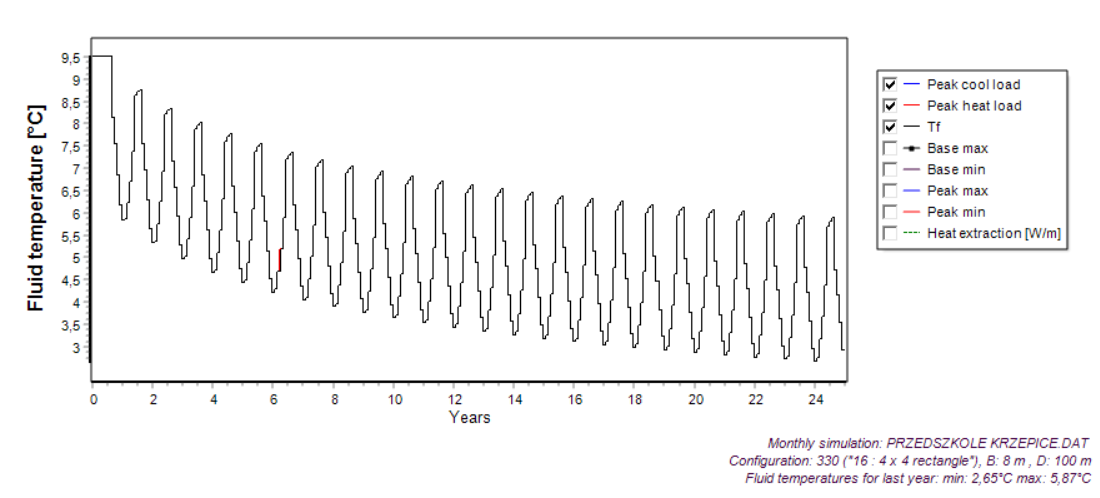
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| MWh | **Ciepło** | **Chłód** |
| **Roczne** | 63 | 0 |
| **Efektywne COP** | 3,5 | 0 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Styczeń** | 0,155 | 0 |
| **Luty** | 0,148 | 0 |
| **Marzec** | 0,125 | 0 |
| **Kwiecień** | 0,9 | 0 |
| **Maj** | 0,064 | 0,150 |
| **Czerwiec** | 0 | 0,2 |
| **Lipiec** | 0 | 0,25 |
| **Sierpień** | 0 | 0,25 |
| **Wrzesień** | 0,064 | 0,15 |
| **Październik** | 0,087 | 0 |
| **Listopad** | 0,117 | 0 |
| **Grudzień** | 0,144 | 0 |

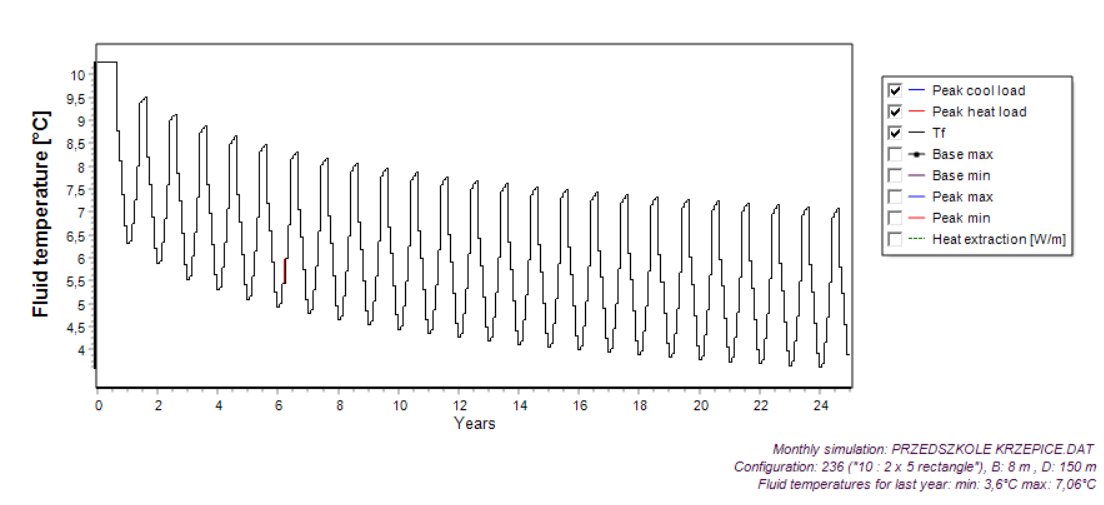
|  |  |
| --- | --- |
| **Ciepła woda użytkowa (C.W.U)** | |
| Rocznie [MWh] | 6 |

# Rozmieszczenie otworowych wymienników ciepła.

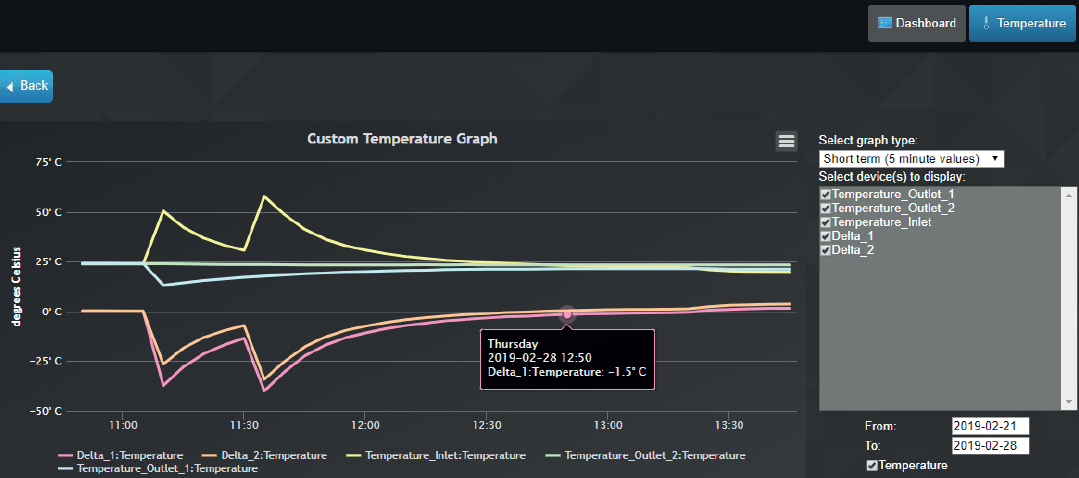
# Wyniki symulacji.



Rysunek . Temperatura nośnika energii w czasie 25 lat eksploatacji dla DN40x3,0 o dystansie 8 metrów między OWC.



Rysunek . Temperatura nośnika energii w czasie 25 lat eksploatacji dla DN40x3,7 o dystansie 8 metrów między OWC.



Rysunek 3. Dane uzyskiwane z systemu UTES.

Dla tak dużej instalacji i weryfikacja najważniejszych parametrów charakteryzujących prace otworowego wymiennika ciepła jakimi są współczynnik efektywnej przewodności cieplnej jak i współczynnik oporu termicznego zalecane jest wykonie testu reakcji termicznej, dla zakładanych parametrów pracy instalacji i dla projektowanych typów konstrukcji kolektorów pionowych. Test potocznie zwany TRT powoli na jeszcze dokładniejsze przeprowadzenie symulacji pracy dolnego źródła ciepła. Dodatkowo zalecane jest dla każdego rozdzielacza zamontowanie sytemu UTES. Jest to system monitoringu temperatury pracy dolnego źródła, przy użyciu własnej wewnętrznej sieci wifi w czasie rzeczywistym. UTES to system, rekomendowany do zainstalowania na wszystkich instalacjach gruntowych do pomp ciepła, zapewniający ciągły pomiar temperatury w instalacji. UTES umożliwia optymalizację parametrów pracy dolnego źródła, redukując koszty jej użytkowania. 24h/7 dostęp do systemu, historii i statystyk. UTES dedykowany jest do nowo projektowanych, jak również istniejących instalacji gruntowych. Nieskomplikowana instalacja na rozdzielaczach wewnętrznych   
w studniach. Montaż sytemu UTES wiąże się z dodatkowymi kosztami ale pozwala na weryfikację zaprojektowanej instalacji dolnego źródła ciepła.



Rysunek 4. Rura Turbocollector z wewnętrznymi lamelami.



Rysunek 5 Gotowa sonda

Zdolność przenikania ciepła w instalacji dolnego źródła zasilania, mierzona jest parametrem oporu termicznego odwiertu. Opór termiczny odwiertu z zainstalowanym kolektorem z wewnętrznymi lamelami jest do 20% mniejszy, od oporu termicznego odwiertu z zainstalowanym kolektorem laminarnym. Czynniki mające wpływ na opór termiczny odwiertu: **charakter przepływu medium,** rodzaj czynnika roboczego, rodzaj wypełniacza odwiertu, rodzaj gruntu i jego wilgotność, charakterystyka przepływu wód gruntowych. Jako sondy pionowe dobrano sondy z wewnętrznym profilem, który wymusza przepływ turbulentny medium (**przy niezmiennych parametrach pracy pomp obiegowych**). Charakterystyczny profil wewnętrzny instalacji, gwarantuje większą sprawność systemu, przy niższych kosztach eksploatacji i przy niezmiennych kosztach instalacji. Przyrost ∆T o 1 °C powoduje wzrost parametry COP o około 3%. Niska wartość oporu termicznego odwiertu dla przepływu burzliwego (turbulentnego) w technologii z wewnętrznymi lamelami sondy pionowej. Małe spadki ciśnienia instalacji. Spadek ciśnienia jest proporcjonalny do kwadratu wartości przepływu instalacji. Jeżeli wartość przepływu w instalacji laminarnej zostanie zwiększona dwukrotnie, w celu uzyskania przepływu burzliwego wartość spadku ciśnienia w instalacji wzrasta 4 razy. Zwiększona wartość spadku ciśnienia, wymusza zwiększenie zużycia energii na prace pomp obiegowych, jednocześnie zwiększając koszty eksploatacji systemu laminarnego. Ta sytuacja nie dotyczy technologii z wewnętrznymi lamelami.

# Wnioski.

1. W celu wyznaczenia efektywnej przewodności cieplnej oraz oporu termicznego otworowego wymiennika ciepła należy przeprowadzić test reakcji termicznej w celu wyznaczenia parametrów pracy OWC. Na podstawie otworu wiertniczego oraz jego litologii, przyjęto literaturowe wartości dla poszczególnych warstw. Paragram EED nie uwzględnia przepływu wód podziemnych, co pozytywnie wpływa na regeneracje górotworu. Test reakcji termicznej pozwolił by na prawidłowe wyznaczenie tych parametrów.
2. Temperatura nośnika ciepła w okresie 25 lat pracy OWC nie spadnie poniżej 0°C W celu corocznej weryfikacji temperatur nośnika ciepła dla tak dużej instalacji powinno się zakonotować w studzenie zbiorczej UTES „Underground Thermal Energy Storage Monitoring System”
3. Układ dolnego źródła będzie działać w trybie grzewczym z niską wartością energii chłodniczej wprowadzanej do górotworu.
4. Podniesienie sprawności instalacji jest możliwe poprzez regenerację zasobów ciepłą w  górotworze, dlatego korzystne będzie działanie układu w trybie grzewczo chłodniczym a z razem wpłynie na strefę odziaływania wymienników między sobą.
5. Ilość wymienników potrzebnych na cele grzewcze aby spełnić założenia minimalnej temperatury nośnika ciepła w czasie 25 lat eksploatacji to 16 OWC o głębokości 100 metrów oraz 10 OWC o głębokości 150 metrów.
6. W założeniach pracy OWC powinno się dożyć do jak najniższego oporu termicznego pojedynczego wymiennika. Na poprawienie tego efektu mają znaczenie kilka czynników technicznych i konstrukcyjnych, jedną z nich jest podwyższyć prędkość nośnika ciepłą, lecz podwyższy to opory i sam koszt ekonomiczny pracy instalacji. Przepływ burzliwy poprawi wymianę energii między płynem a górotworem, dzięki temu obniżymy opór termiczny wymiennika i podwyższymy COP pompy ciepła.
7. Wykonane symulacje powinny się znaleźć w dokumentach prac powykonawczych.
8. Symulacje w programie EED mogą zostać wykonane w zależności od potrzeb lub w celu weryfikacji najlepszego wariantu budowy takiej instalacji.

# Literatura

1. Chiasson A, 2016. Geothermal Heat Pump and Heat Engine System. Theory and Practice Wiley
2. Gonet A., Śliwa T., Stryczek S., Sapińska-Śliwa A., Jaszczur M., Pająk L., Złotkowski A., 2011. Metodyka identyfikacji potencjału cieplnego górotworu wraz z technologią wykonywania i eksploatacji otworowych wymienników ciepła. Wydanie pierwsze, Wydawnictwa AGH, Kraków.
3. Gonet A., Śliwa T., Złotkowski A., Sapińska-Śliwa A., Macuda J., 2012. The analysis of expansion thermal response test (TRT) for borehole heat exchanhers (BHE). PROCEEDINGS, Thirty-Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 30 - February 1.
4. Gonet A., Śliwa T., Stryczek S., Sapińska-Śliwa A., Jaszczur M., Pająk L., Złotkowski A. (2011), Methodology for the identification of potential heat of the rock mass along with technology implementation and operation of the borehole heat exchangers, AGH UST Press, ISBN 978-83- 7464-347-4.
5. <https://buildingphysics.com/eed-2/>

# Spis tabel i rysunków

[Tabela 1. Założenia projektowe dla otworowych wymienników ciepła o głębokości 180 metrów. 4](#_Toc137031327)

[Tabela 2. Założenia projektowe dla otworowych wymienników ciepła o głębokości 150 metrów. 5](#_Toc137031328)

[Tabela 3. Rozkład miesięczny zapotrzebowania na energię dla budynku 1. 6](#_Toc137031329)

[Rysunek 1. Temperatura nośnika energii w czasie 25 lat eksploatacji dla DN45x4,1 o dystansie 8 metrów między OWC. 7](#_Toc137031332)

[Rysunek 2. Temperatura nośnika energii w czasie 25 lat eksploatacji dla DN40x3,7 o dystansie 8 metrów między OWC. 7](#_Toc137031333)

[Rysunek 3. Dane uzyskiwane z systemu UTES. 8](#_Toc137031334)

[Rysunek 4. Rura Turbocollector z wewnętrznymi lamelami. 8](#_Toc137031335)

[Rysunek 5 Gotowa sonda firmy MuoviTech 9](#_Toc137031336)

[Rysunek 6. Temperatura nośnika energii w czasie 25 lat eksploatacji dla DN45x4,1 o dystansie 10 metrów między OWC. **.**](#_Toc137031337)

[Rysunek 7. Temperatura nośnika energii w czasie 25 lat eksploatacji dla DN45x4,1 o dystansie 12 metrów między OWC. **.**](#_Toc137031338)

[Rysunek 8. Temperatura nośnika energii w czasie 25 lat eksploatacji dla DN45x4,1 o dystansie 14 metrów między OWC.](#_Toc137031339)

[Rysunek 9. Temperatura nośnika energii w czasie 25 lat eksploatacji dla DN45x4,1 o dystansie 15 metrów między OWC.](#_Toc137031340)