

GRUNTOWY POWIETRZNY WYMIENNIK CIEPŁA TYPU ŻWIROWEGO JAKO PRZYKŁAD WYKORZYSTANIA OZE PRZY BUDYNKACH JEDNORODZINNYCH – EFEKTY ENERGETYCZNE I EKONOMICZNE

Justyna TOPOLAŃSKA*, Dorota Anna KRAWCZYK

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Liczne działania propagujące stosowanie rozwiązań proekologicznych, umożliwiających oszczędzanie energii i ochronę środowiska naturalnego oraz powiązane z nimi przepisy prawne powodują, że coraz częściej stosowane są instalacje wykorzystujące OZE zarówno w przypadku dużych budynkach biurowo-administracyjnych czy mieszkalnych, jak w domach jednorodzinnych. Jednym z zyskujących na popularności rozwiązań jest gruntowy powietrzny wymiennik ciepła (GPWC), który wstępnie przygotowuje powietrze, nawiewane następnie do pomieszczeń. Zimą powietrze jest ogrzewane, latem zaś schładzane. Gruntowe wymienniki ciepła występują w dwóch podstawowych rodzajach: przeponowym i bezprzeponowym, oraz kilku typach: żwirowy, płytowy, rurowy, glikolowy oraz grzebieniowy, różniących się sposobem wymiany ciepła z gruntem. Każde z tych rozwiązań ma swoje wady i zalety. W artykule omówiono instalację ze żwirowym GPWC wykonaną przy budynku jednorodzinym zlokalizowanym w województwie podlaskim. Celem badań była ocena celowości stosowania wymienników żwirowych w okresie przejściowym, czyli jesienią (lub wiosną). Zaprezentowano wyniki pomiarów powietrza po przejściu przez wymiennik w zależności od temperatury zewnętrznej i dokonano oceny systemu pod kątem efektywności energetycznej i ekonomicznej.

Słowa kluczowe: ogrzewanie powietrzne, koszty eksploatacyjne, efektywność, gruntowe powietrzne wymienniki ciepła (GPWC).

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach widoczne są starania, by zminimalizować energochłonność budynków. Uzyskanie tego efektu jest możliwe przez ograniczenie strat ciepła przez przenikanie. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju (Dz.U. 2015 poz. 376) narzuca konieczność zmniejszania wartości współczynników przenikania ciepła przez przegrody budowlane w budynkach nowych. Jednakże w bilansie całkowitym dużą rolę odrywa wentylacyjna strata ciepła, a ta może być zmniejszana przez stosowanie wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła, bądź dodatkowo przez wykorzystanie gruntowych powietrznych wymienników ciepła. W artykule zaprezentowano wyniki pomiarów przeprowadzonych w okresie przejściowym, których celem było oszacowanie efektywności pracy wymiennika żwirowego.

2. Podstawowe informacje o wymiennikach gruntowych

GPWC jest instalacją umożliwiającą wstępne

ogrzanie/schłodzenie powietrza wentylacyjnego poprzez jego kontakt (pośredni lub bezpośredni) z gruntem. Funkcjonowanie GPWC bazuje na fakcie, że temperatura gruntu na głębokości kilku metrów jest niemal stała w ciągu roku. Przy wymiennikach często stosuje się izolację termiczną w celu symulowania głębszego posadowienia i zniwelowania wpływu dobowych skoków temperatury zewnętrznej.

2.1. Rodzaje GPWC

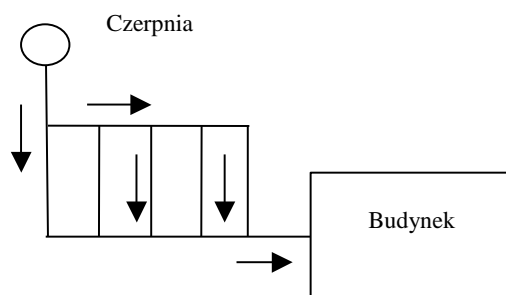
Wymienniki gruntowe dzielą się na dwa podstawowe rodzaje: przeponowe i bezprzeponowe, przy czym można wyróżnić cztery rozwiązania konstrukcyjne (www.gwc.com.pl, www.grzebieniowygwc.pl):

- żwirowy,
- rurowy,
- płytowy,
- grzebieniowy.

Bardzo popularnym rozwiązaniem jest wymiennik rurowy. Istotą jego funkcjonowania jest przeponowa wymiana ciepła przez ściankę rury, z gruntem. Wymiennik gruntowy stanowią rury z tworzyw sztucznych, ułożone przynajmniej 0,3 m poniżej głębokości przemarzania

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: justynatopolanska@wp.eu

(Rosiński, 2012). Rury można układać, jako odcinek prosty bądź jako pierścieniowe lub meandrowe. Najpopularniejszym rozwiązaniem, z uwagi na zmniejszenie strat ciśnienia, jest układ Tichelmana (rys. 1).



Rys. 1. Schemat GPWC rurowy w układzie Tichelmana

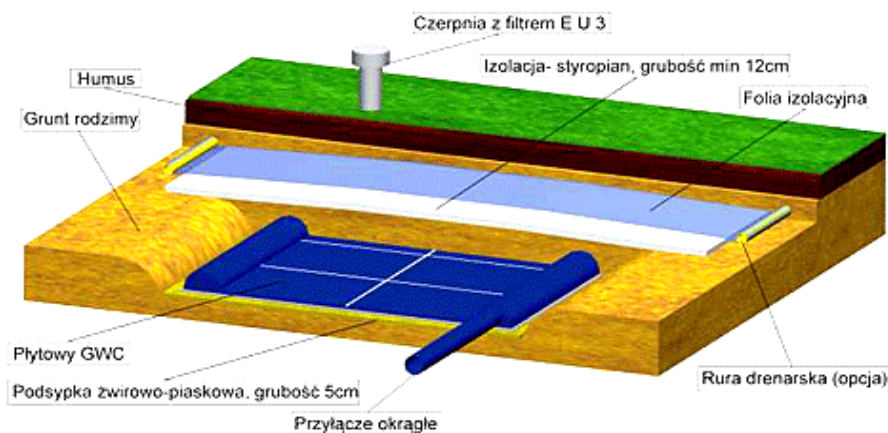
Niezwykle istotną kwestią jest zapewnienie możliwości odprowadzenia kondensatu, stąd też całość systemu należy ułożyć ze spadkiem w kierunku studzienki. Ponadto zaleca się wykonywanie wymienników z rur z warstwą antibakteryjną, tak aby uniemożliwić rozwój drobnoustrojów chorobotwórczych.

Zalecaną prędkością przepływu w rurach wymiennika jest 2-4 m/s (Informacja Techniczna Rehau, 2013). Niższa prędkość niż 1 m/s wiąże się z gorszą wymianą ciepła, zaś przy prędkości powyżej 4 m/s znacznie skraca się czas przepływu czynnika przez rurę. Główną zaletą takiego rozwiązania jest możliwość montażu nawet przy wysokim stanie wód gruntowych, z kolei najważniejsza wada – brak regulacji wilgotności w zimie. Szerzej wady i zalety tego typu wymiennika, jak i innych, omówiono w pracach Topolańskiej i Krawczyk (2014 a i b).

Temat GPWC typu rurowego od lat jest podejmowany w licznych publikacjach światowych, jak i krajowych. Bojic i inni (1997) przeprowadzili symulację, w wyniku której okazało się, że zastosowanie GPWC rurowego jest bardziej efektywne i mniej kosztowne w lecie niż w zimie. De Paepe i Janssens (2003) zwrócili uwagę na fakt, że dotychczasowe badania i symulacje nie dają inżynierom praktykom możliwości swobodnego doboru parametrów wymienników. Autorzy opracowali metodę

obliczeniową i graficzną doboru wymienników rurowych. Interesujące efekty badań przedstawił Badescu (2007). Porównując różne sposoby ogrzewania domów pasywnych: konwencjonalne, wykorzystujące pompę ciepła oraz z gruntowym wymiennikiem ciepła, stwierdził że najkorzystniejsza jest pompa ciepła, gdyż nakłady inwestycyjne zwróciłyby się już po 3-10 latach, w zależności od źródła energii konwencjonalnej. Z kolei GPWC to dobre rozwiązanie, gdy czas pracy jest dłuższy niż 20-30 lat, jednak inwestycyjnie jest znacznie korzystniejszy niż pompa ciepła. W Genewie przeprowadzono badania nad GPWC w warunkach klimatu Europy Środkowej (Hollmuller i Lachal, 2014). Opracowany model numeryczny umożliwia zmiany wartości parametrów, na przykład prędkości i kierunku przepływu powietrza czy niejednorodności gleby. Walidacja modelu długoterminowymi badaniami potwierdziła jego poprawność. Szymański i Wojtkowiak (2007) opracowali model obliczeniowy rurowego wymiennika ciepła z pewnymi uproszczeniami, jednak uwzględniający zmiany temperatury powietrza zewnętrznego i zmiany temperatury gruntu w sezonie grzewczym. Uproszczony model obliczeniowy GPWC pozwolił na określenie efektywności działania wymiennika rurowego (Szymański i Wojtkowiak, 2007 i 2008). Możliwość zastosowania GPWC do chłodzenia pomieszczeń hotelowych została opisana przez Szeszycką i Kostkę (2014). Przy przygotowywaniu powietrza najbardziej energochłonnym procesem jest regulacja jego wilgotności. Wymienniki rurowe jedynie latem osuszają powietrze, natomiast żwirowe latem osuszają, zaś zimą – nawilżają. W analizowanym przypadku stwierdzono, że wymiennik żwirowy może zapewnić 35% oszczędności przy stałym wydatku powietrza i 50% przy połowie wydatku nominalnego. Zastosowanie układu ze zmiennym strumieniem powietrza i z GPWC może przynieść nawet 80% redukcji całorocznych kosztów pracy instalacji.

Wymienniki płytowe są wymiennikami bezprzepływowymi. Powietrze przepływając pod płytami ma kontakt z warstwą podsypki żwirowej. Schemat budowy GPWC przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Schemat budowy GPWC płytowego (www.wymiennikgruntowy.pl)

Minimalna głębokość wykopu pod wymiennik to 0,7 m, należy jednak każdorazowo uwzględnić poziom wód gruntowych (powinien się znajdować poniżej poziomu posadowienia wymiennika). Wymiennik płytowy nie wymaga regeneracji, a opory przepływu są znacznie mniejsze niż przy GPWC żwirowym (www.gwc.com.pl). Dzięki temu, że ruch powietrza odbywa się ciągle, rozwój drobnoustrojów i grzybów jest niemożliwy. Jakość mikrobiologiczna powietrza jest potwierdzona badaniami Wojewódzkiej Stacji Epidemiologicznej w Opolu oraz Atestem PZH. Oprócz czystości powietrza uzyskuje się również regulację wilgotności zarówno w lecie, jak i zimą (www.wymiennikgruntowy.pl). Niestety, ten rodzaj GPWC jest wrażliwy na wody gruntowe i zajmuje większą powierzchnię niż żwirowy, który jest głębszy.

Wymiennik glikolowy jest konstrukcyjnie podobny do dolnego źródła ciepła dla gruntowych pomp ciepła. Pełni jednak inną funkcję – ogrzewa w zimie i ochładza w lecie powietrze pobierane do centrali wentylacyjnej. W kanale jest zamontowany dodatkowy wymiennik ciepła, umożliwiający zmianę parametrów temperatury powietrza. Rura z glikolem ma długość 120 do 150 m i średnicę 20-40 mm (www.gwc.com.pl). Okresy przejściowe są dobrym czasem na regenerację złoża (jesień dzięki opadom deszczu, a wiosna dzięki topnieniu śniegu i lodu). Pożądane jest osiągnięcie stabilizacji temperatury i wilgotności gruntu na poziomie ułożenia rur wymiennika (1,5-1,8 m pod powierzchnią terenu). GPWC glikolowy najlepiej sprawdza się przy wysokiej wilgotności gleby (www.hvacr.pl).

Wymiennik grzebienny jest najnowszym rozwiązaniem konstrukcyjnym. Chroniony jest zgłoszeniem patentowym. Jego nazwa odzwierciedla budowę – tworzą go dwa „grzebienie” (rys. 3), doprowadzający i odprowadzający powietrze. „Grzebienie” są wykonane z rur karbowanych, z nich powietrze przenika do warstwy żwiru, gdzie zachodzi wymiana ciepła. Zalecana głębokość posadowienia to 1 m (www.grzebieniowygwc.pl). Wymiennik reguluje wilgotność, poprawia mikrobiologiczną jakość powietrza, charakteryzuje się mniejszą wrażliwością na wody gruntowe.

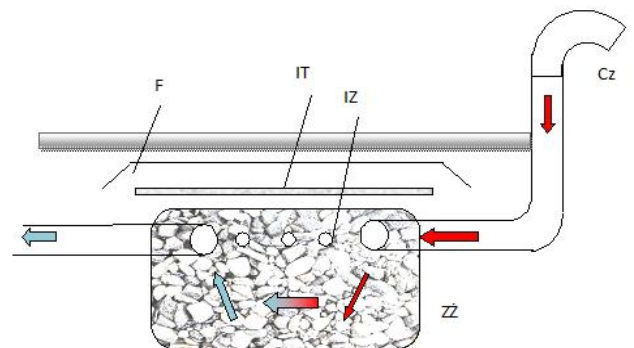


Rys. 3. Montaż GPWC grzebiennego (www.grzebieniowygwc.pl)

2.2. GPWC typu żwirowego

GPWC jest najstarszym typem wymiennika w Polsce. Jego rozwiązanie techniczne jest chronione patentem z 1980 roku, zgłoszonym przez pracowników Politechniki Wrocławskiej. Pierwszym budynkiem użyteczności publicznej, wyposażonym w wymiennik żwirowy, było Kieleckie Centrum Biznesu, aktualnie biurowiec Exbud-Skanska. Pomieszczenia biurowe, restauracje, sale wystawowe są obsługiwane przez kilka wymienników żwirowych i jeden rurowy. Łączny strumień objętości powietrza wynosi 137 000 m³/h (www.taniaklima.pl). Pierwsze 6 lat eksploatacji wszystkie zastosowane w Kielcach rozwiązania umożliwiające oszczędzanie energii (GPWC to tylko część inwestycji) podlegały monitoringowi. Podsumowanie wyników zostało opisane przez Jędrzejewskiego (2003). Okazało się, że dla temperatury zewnętrznej około -19°C - -20°C, za złożem uzyskiwano temperaturę do 0°C w przypadku wyłączenia na okres nocny (umożliwienie regeneracji złoża) i -5°C przy pracy układu bez przerwy. Z kolei latem przy temperaturze powietrza atmosferycznego +24°C do +26°C, następowało ochłodzenie do średnio +14°C (od +12°C do +16°C). Takie temperatury dają możliwość chłodzenia budynku bez stosowania tradycyjnej klimatyzacji. Według szacunków, wymienniki dostarczyły 486 kW mocy grzewczej lub chłodniczej, co przekłada się rocznie na zaoszczędzenie 105,7 t węgla.

Najważniejszym elementem wymiennika jest złoże żwirowe (rys. 4), wykonane ze żwiru o granulacji 20-80 mm, w zależności od źródła informacji. Powietrze, przepływając z prędkością 0,1 m/s, wymienia ciepło ze żwirem (www.linkair.pl). Dochodzi również do regulacji wilgotności powietrza. Ponadto jego jakość mikrobiologiczna ulega znacznej poprawie. Ilość drobnoustrojów i ich chemicznych markerów jest znacznie mniejsza po przejściu przez złoże, co potwierdzają dwukrotne badania złoża w Kielcach (Szponar i Iwanicka, 2006).



Rys. 4. Schemat GPWC żwirowego. Oznaczenia: Cz – czerpnia terenowa, F – folia, IZ – instalacja zraszająca, IT – izolacja termiczna, ZZ – złoże żwirowe

Najważniejszymi wadami tego rozwiązania są: wrażliwość na wody gruntowe (ryzyko zapachu stęchlizny) i konieczność regeneracji złoża, by pracowało ono bardziej efektywnie. Z kolei zalety, to łatwość wykonania z dostępnych materiałów, regulacja

wilgotności, wieloletnia bezawaryjna praca (Topolańska i Krawczyk, 2014a). Podsumowaniem 20-letniej eksploatacji złóż żwirowych przy Politechnice Wrocławskiej był artykuł Beslera i in. (2005). Stwierdzono, że zimą mogą one zapewnić nawet 50% ciepła wentylacyjnego, a latem zastąpić klimatyzację. Nakłady energetyczne wiążą się jedynie z pokonaniem oporów przepływu, a ich stosunek do uzyskanej energii wynosi 1:40. Przy posadowieniu GPWC pod chodnikiem, budynkiem czy na powierzchni terenu uzyskuje się niewiele mniejsze sprawności energetyczne. Ponadto odniesiono się do stwierdzenie, że przy stosowaniu wymienników żwirowych w powietrzu wentylacyjnym pojawia się radon – badania doświadczalne zaprzeczyły prawdziwości tego stwierdzenia. W ramach kontynuowania badań na Politechnice Wrocławskiej rozważano metody zwiększenia efektywności pozyskiwania energii z gruntu przy wykorzystaniu złóż żwirowych. Przykładowa instalacja została również opisana przez Beslera i in. (2011): w układzie dwóch wymienników równoległych, jeden jest regenerowany powietrzem usuwanym z pomieszczeń wentylowanych, a drugi pracuje, a następnie role się odwracają. Uzyskano dobre wyniki. Cepiński i in. (2012) rozpatrywali nowatorskie systemy ogrzewania budynków. GPWC typu żwirowego zostałyby wykorzystane jako dolne źródło ciepła dla pompy ciepła typu powietrze/powietrze lub powietrze/woda. Analiza dotyczyła domku jednorodzinny o zapotrzebowaniu na ciepło 8 kW, zlokalizowanego we Wrocławiu. Punktem odniesienia była współpraca pompy ciepła z grzałką elektryczną jako dodatkowym źródłem ciepła. Stwierdzono, że dzięki współpracy z GPWC znacznie rośnie średnioroczny współczynnik wydajności cieplnej, maleje czas pracy sprężarki (wydłużenie jej żywotności), zauważalnie skraca się czas pracy pompy w trybie oszraniania parowacza, nie ma konieczności stosowania grzałki elektrycznej. Oszczędności energii w ciągu roku, przy uwzględnieniu kosztów pracy wentylatora, są mniejsze o 12-17%. Dokonano analizy możliwości zastosowania GPWC typu żwirowego do uzdatniania powietrza na potrzeby różnych pomieszczeń (Besler i in., 2015). Atutem GPWC typu żwirowego jest fakt, że w złożu, oprócz zmiany temperatury, zachodzi też nawilżanie lub osuszanie powietrza.

W celu dokładnego określenia rzeczywistych efektów energetycznych i ekologicznych stosowania poszczególnych konstrukcji wymienników gruntowych w różnych warunkach klimatycznych i rozwiązaniach technologicznych konieczne są dalsze badania urządzeń.

3. Opis badanego gruntowego wymiennika ciepła

GPWC typu żwirowego przygotowuje powietrze dla domku jednorodzinny położonego w Gielczynie. Złoże, o wymiarach 10×30 m i wysokości czynnej 1,1 m, powstało w 2011 roku. Powietrze jest doprowadzane do złoża 2 kanałami perforowanymi o DN 350, zaś odbierane 3 kanałami. Czerpnię terenową wykonano jako murowaną z żaluzjami drewnianymi (rys. 5).



Rys. 5. Czerpnia terenowa w Gielczynie (fot. J.Topolańska)

Instalacja wentylacyjna pobiera powietrze przechodzące przez wymiennik gruntowy przez cały rok. Wentylator typu R3G310-AL47-71 firmy EBM pracuje przy zmiennym strumieniu objętości powietrza wentylacyjnego, ale zachowując spręż wartości 50 Pa. Na podstawie charakterystyki wentylatora przyjęto wartości średnie dla poszczególnych okresów jako:

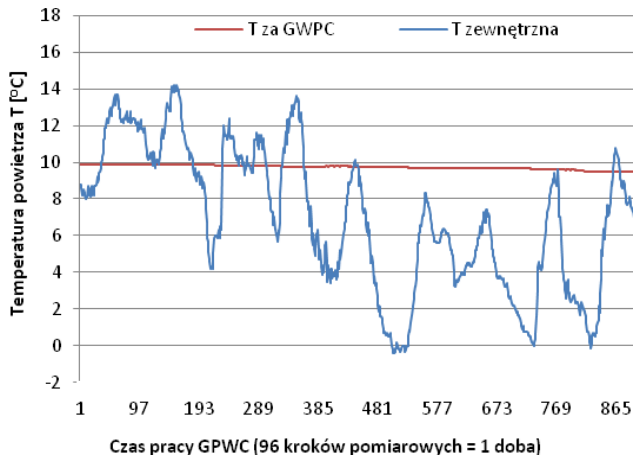
- strumień objętości powietrza wentylacyjnego w godzinach nocnych i rannych (22:00-7:00) wynosi 540 m³/h,
- strumień objętości powietrza wentylacyjnego w godzinach dziennych (7:00-16:00) wynosi 230 m³/h (mieszkańcy poza domem),
- strumień objętości powietrza wentylacyjnego w godzinach popołudniowych (16:00-22:00) wynosi 780 m³/h.

4. Metodyka i wyniki badań

Pomiędzy 23 października a 8 grudnia 2015 rejestrowano pomiary temperatury powietrza zewnętrznego oraz temperatury w dwóch równoległych punktach złoża (do obliczeń przyjęto wartość średnią). Zapis wartości pomiarowych odbywał się co 15 minut.

Pomiar temperatury powietrza realizowały czujniki typu KTY firmy AMK. Przekazują one sygnał do rejestratora przez podpięte przewody, a dokładność pomiaru wynosi 0,1°C. Sygnały z czujników zbierane były przez rejestrator firmy AMK, posiadający możliwość współpracy z 6 czujnikami, z zadanym krokiem pomiarowym nawet 1 s.

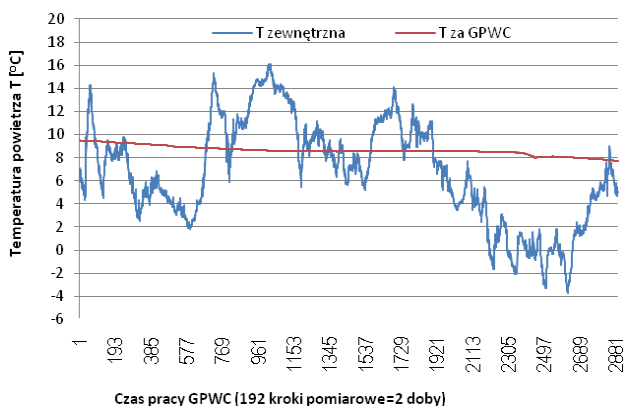
Pomiary w październiku 2015 obejmowały okres pomiędzy 23 a 31 dniem miesiąca. Średnia temperatura powietrza zewnętrznego w tym okresie wyniosła 6,97°C, zaś za GWPC – 9,73°C. Wykres temperatury dla rozpatrywanego okresu przedstawia rysunek 6.



Rys. 6. Wykres temperatury powietrza zewnętrznego i po przejściu przez GWPC w październiku 2015 roku

Ponieważ badania przeprowadzono w tak zwanym okresie przejściowym, gdy zaleca się korzystanie z dodatkowej czerpni powietrza zewnętrznego z pominięciem wymiennika, zatem przyrosty temperatury nie są zbyt duże, niejednokrotnie dochodzi też do schłodzenia powietrza. Jest to efekt stabilnej temperatury za złożem żwirowym. GPWC niweluje dobowe skoki temperatury i jest odporne na zmiany temperatury. Na wykresie wyraźnie widać, że dochodziło do schładzania powietrza w wymienniku, ale przeważnie zachodziło ogrzewanie.

Następnie pomiary objęły cały listopad. Średnia temperatura powietrza zewnętrznego w tym okresie wyniosła 6,73°C, zaś za GWPC – 8,61°C. Wykres temperatury dla rozpatrywanego okresu przedstawia rysunek 7.



Rys. 7. Wykres temperatury powietrza zewnętrznego i po przejściu przez GWPC w listopadzie 2015 roku

Z wykresu widać, że skoki temperatury zewnętrznej nie mają wpływu na wartość temperatury za GPWC. Generalnie w przeciągu miesiąca temperatura powietrza opuszczającego wymiennik obniżyła się, jednak spadek ten jest stopniowy i nieznaczny.

Z kolei w grudniu pomiary trwały do 12:00 w dniu 08.12.2015 roku. Średnia temperatura powietrza zewnętrznego w tym okresie wyniosła 7,26°C, zaś za GWPC – 7,22°C. Wykres temperatury dla

rozpatrywanego okresu przedstawia rysunek 8. Temperatura za wymiennikiem nadal stopniowo się obniżała w wyrównany sposób. Ponieważ temperatury średnie były do siebie zbliżone – trudno oczekiwać znacznych zysków energii. Ponadto grudzień miał dość nietypową, wysoką średnią temperaturę, nie występowały momenty w ciągu doby z temperaturami ujemnymi.



Rys. 8. Wykres temperatury powietrza zewnętrznego i po przejściu przez GWPC w grudniu 2015 roku

4. Efekty zastosowania żwirowego GPWC

Strumień ciepła wymienionego w wymienniku gruntowym, można obliczyć z równania (1):

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad [\text{W}] \quad (1)$$

gdzie: Q jest mocą uzyskaną z GPWC w W, \dot{m} jest strumieniem masy powietrza w kg/s, c_p jest ciepłem właściwym w J/kg·deg, $c_p = 1005 \text{ J/kg} \cdot \text{deg}$, a ΔT jest zmianą temperatury pomiędzy wlotem i wylotem wymiennika w deg.

Strumień masy powietrza można obliczyć na podstawie strumienia objętości powietrza:

$$\dot{m} = \frac{V \cdot \rho}{3600} \quad [\text{kg/s}] \quad (2)$$

gdzie: V jest strumieniem objętości powietrza przepływającego w GPWC w m³/h, a ρ gęstością powietrza w kg/m³.

Aby określić ilość energii, uzyskaną z GPWC, należy wykorzystać wzór:

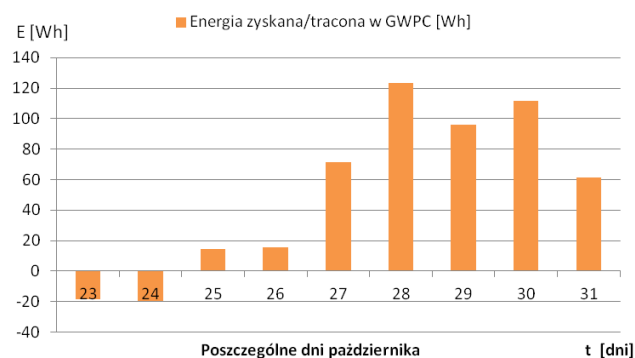
$$E = \sum Q \cdot \Delta t \quad [\text{Wh}] \quad (3)$$

gdzie: E jest energią uzyskaną z GPWC w Wh, a Δt przyjętym krokiem pomiarowy w h.

Wykorzystując wzory (1-3) oraz wyniki pomiarów z każdego okresu, wykonywanego z przyjętym krokiem pomiarowym (0,25 h) oszacowano zyski i straty energii w poszczególnych dobach, które widoczne są na rysunkach 9-11.

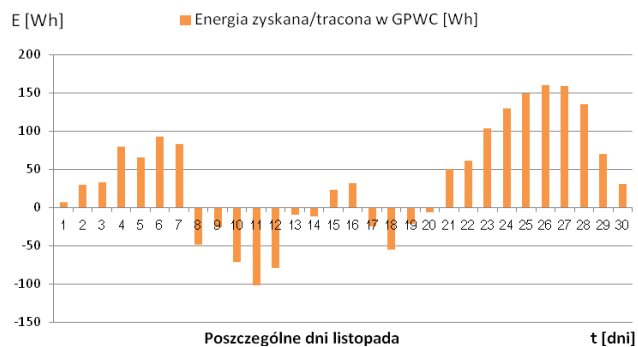
Pomiarom z października odpowiada rysunek 9. W tym czasie GPWC częściej oddawał ciepło powietrzu,

niż je odbierał. Jego funkcjonowanie przyniosło dodatnie efekty energetyczne. Łącznie uzyskano 455,4 Wh, czyli 0,455 kWh energii. Największy dzienny przyrost to 0,57 Wh, zaś największa strata to -0,91 Wh. Średnio dziennie pozyskano 50,6 Wh, a średnia ilość ciepła uzyskanego w ciągu 1 h to 8,12 W.



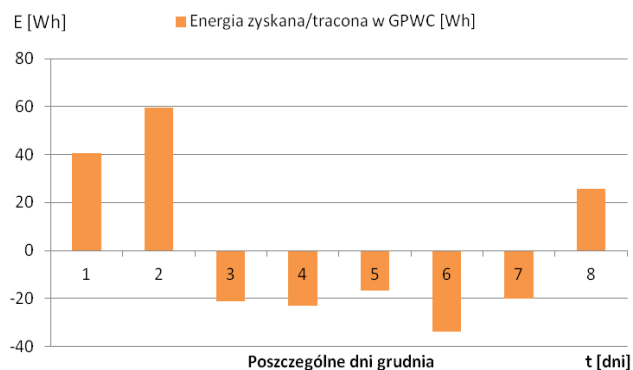
Rys. 9. Ilość ciepła uzyskanego/traconego w GWPC w październiku 2015 roku

Rysunek 10 przedstawia sytuację w listopadzie. Widać, że bilans energetyczny w tym przypadku również jest dodatni. Łączna ilość uzyskanej energii to 1039,15 Wh. Największy dzienny uzysk to 3,19 Wh, zaś największa strata to -1,94 Wh. Średnio dziennie pozyskano 33,52 Wh. W ciągu godziny średnio uzyskano 5,76 W.



Rys. 10. Ilość ciepła uzyskanego/traconego w GWPC w listopadzie 2015 roku

Wyniki uzyskane dla grudnia przedstawiono na rysunku 11. Początek grudnia okazał się być nietypowym dla tego okresu, toteż funkcjonowanie wymiennika przyniosło więcej strat energetycznych niż zysków. Łącznie uzyskano 10,99 Wh, czyli 0,01 kWh. Największy dzienny przyrost to 1,23 Wh, zaś największa strata to -1,32 Wh, natomiast wartość średnia 1,37 Wh.



Rys. 11. Ilość ciepła uzyskanego/traconego w grudniu 2015 roku

W okresie przejściowym zastosowanie gruntowego wymiennika ciepła typu żwirowego zapewniała zyski ciepła, jednak niewystarczające do ogrzania obiektu i konieczna była praca alternatywnego źródła ciepła. Łącznie, w wyniku funkcjonowania GPWC, uzyskano 1,5 kWh energii. Przy założeniu braku wymiennika żwirowego, ciepło to byłoby dostarczone przez nagrzewnicę elektryczną, bądź dodatkowe źródło na przykład z kotłowni opalanej węglem, drewnem, olejem lub gazem.

W przypadku, gdyby była stosowana energia elektryczna, wówczas koszt energii w okresie pomiarowym byłby następujący (wartości jednostkowych wskaźników dla taryfy G11 z PGE dystrybucja):

$$K_{EL} = 1,95 \text{ zł/m-c} \cdot 3 \text{ m-c} + 3,15 \text{ zł/m-c} \cdot 3 \text{ m-c} + 0,2057 \text{ zł/kWh} \cdot 1,5 \text{ kWh} + 0,0129 \text{ zł/kWh} \cdot 1,5 \text{ kWh} + 5,1 \text{ zł/m-c} \cdot 3 \text{ m-c} = 30,93 \text{ zł}$$

(koszt tylko zużytej energii to 0,33 zł)

gdzie: 1,95 zł/m-c oraz 5,1 zł/m-c – składniki stały opłaty sieciowej, 3,15 zł/m-c – opłata abonamentowa, 0,2057 zł/kWh – składnik zmienny opłaty sieciowej, 0,0129 zł/kWh – stawka jakościowa.

W przypadku zastosowania kotłowni gazowej koszt energii można wyliczyć w następujący sposób (według taryfy W3.6 PGNiG dla odbiorcy wykorzystującego gaz do ogrzewania domu):

$$K_G = 10,192 \text{ gr/kWh} \cdot 1,5 \text{ kWh} + 6,28 \text{ zł/m-c} \cdot 3 \text{ m-c} = 18,86 \text{ zł}$$

gdzie: 10,192 gr/kWh – cena paliwa gazowego, 6,28 zł/m-c – opłata abonamentowa.

5. Podsumowanie

Pomiary temperatury powietrza zewnętrznego i za gruntowym powietrznym wymiennikiem ciepła typu żwirowego zostały przeprowadzone w okresie przejściowym, w którym zalecane jest stosowanie dodatkowej czepni powietrza zewnętrznego. Jednak liczni inwestorzy nie decydują się na takie rozwiązanie, mając na względzie jakość powietrza (lepsza wilgotność i parametry mikrobiologiczne) opuszczającego złoża żwirowe. W badanym okresie zyski energetyczne przy zastosowaniu wymiennika były znikome, jednak jak pokazują badania w innych okresach roku GWC są znacznie bardziej efektywne (Topolańska, 2017).

Literatura

- Badescu V. (2007). Economic aspects of using ground thermal energy for passive house heating. *Renewable Energy*, Vol. 32, Issue 6, 895-903.
- Besler M., Cepiński W., Fijewski M. (2015). Uzdatnianie powietrza w wymienniku gruntowym dla pomieszczeń o różnych wymaganiach. *Rynek Instalacyjny*, No. 1-2, 38-40.
- Besler M., Rdzak M., Schwitalla A. (2005). Ponad 20 lat eksploatacji bezprzeponowych gruntowych wymienników ciepła i masy według patentu Politechniki Wrocławskiej. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*, Vol. 36, Issue 3, 10-13.
- Besler M., Schwitalla A., Besler G.J. (2011). Intensyfikacja wymiany ciepła i masy w wymiennikach żwirowych. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*, Vol. 42, No. 4, 132-134.
- Bojic M., Trifunovic N., Papadakis G., Kyritis S. (1991). Numerical simulation, technical and economic evaluation of air-to-earth heat exchanger coupled to a building. *Energy*, Vol. 22, Issue 12, 1151-1158.
- Cepiński W., Besler M., Besler G.J. (2012). Współpraca bezprzeponowego gruntowego wymiennika ciepła i masy z powietrzna pompą ciepła. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*, Vol. 43, No. 6, 229-233.
- De Paepe M., Janssens A. (2003). Thermo-hydraulic design of earth-air heat exchanger. *Energy and Buildings*, Vol. 35, Issue 4, 389-397.
- Hollmuller P., Lachal B. (2014). Air-soil heat exchangers for heating and cooling of buildings: Design guidelines, potentials and constrains, system integration and global energy balance. *Applied Energy*, Vol. 119, 476-478.
- Informacja techniczna Rehau o systemie AwaduktThermo, 2013.
- Jędrzejewski L. (2003). GWC – tania energia z własnego podwórka. Gruntowne oszczędności. *Magazyn Instalatora*, 11/2003, 50-51.
- Rosiński M. (2012). Odzyskiwanie ciepła w wybranych technologiach inżynierii środowiska. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27.02.2015 roku w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej. Dz. U. 2015 poz. 376.
- Szeszycka N., Kostka M. (2014). Energia gruntu w klimatyzacji obiektów hotelowych. *Rynek Instalacyjny*, 9/2014, 48-50.
- Szponar B., Iwanicka M. (2006). Gruntowy wymiennik ciepła. Mikrobiologiczna czystość. *Magazyn Instalatora*, Vol. 90, No. 2, 18-19.
- Szymański M., Wojtkowiak J. (2007). Uproszczona metoda wymiarowania i oceny opłacalności gruntowego wymiennika ciepła w układzie wentylacji budynku. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*, Vol. 38, No. 7-8, 55-58.
- Szymański M., Wojtkowiak J. (2008). Analiza całorocznej pracy rurowego gruntowego wymiennika ciepła RGPWC w układzie wentylacji mechanicznej budynku mieszkalnego. W: *Materiały XII Int. Conf. „Air conditioning Protection & District Heating”*, Wrocław – Szklarska Poręba 2007.
- Topolańska J., Krawczyk D. (2014a). Gruntowe powietrzne wymienniki ciepła. Cz.1. Przegląd stosowanych rozwiązań. *Rynek Instalacyjny*, 4/2014, 78-81.
- Topolańska J., Krawczyk D. (2014b). Gruntowe powietrzne wymienniki ciepła – teoria a praktyka. W: *Inżynieria Środowiska – Młodym Okiem 2014*, Vol. 8, 95-127.
- Topolańska J. (2017) Porównanie charakterystyk termicznych gruntowych powietrznych wymienników ciepła typu rurowego i płytowego. Praca doktorska, *Politechnika Białostocka*.

GROUND AIR HEAT EXCHANGER OF GRAVEL TYPE AS AN EXAMPLE OF USING RENEWABLE ENERGY SOURCES IN SINGLE FAMILY BUILDINGS – ENERGY AND ECONOMIC EFFECTS

Abstract: Numerous actions promoting the use of energy-saving and environmentally-friendly solutions and the related legal regulations mean that more and more installations using RES are used, both in large office-administration buildings or residential buildings as well as in single-family houses. One of the most popular solutions is the ground air heat exchanger (GAHE), which pre-prepares the air to be delivered to the indoor. In the winter the air is heated, and it is cooled in the summer. Ground heat exchangers are available in several types: gravel, plate, tubular, glycol and comb. The difference between them is in the way of heat exchange. Each of these solutions has its advantages and disadvantages. The paper discusses installation with GAHE of gravel type made in a single-family house located in the Podlaskie Voivodship. The results of air measurements were taken after passing through the exchanger depending on the outside temperature and the system was evaluated for energy and economic efficiency.

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy statutowej Politechniki Białostockiej numer S/WBiIS/4/2014 oraz pracy własnej numer MB/WBiIS/12/2014 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW.