Gruntowe wymienniki ciepła stosowane w wentylacji i klimatyzacji

Gruntowe wymienniki ciepła znajdują zastosowanie do wstępnego przygotowania powietrza wentylacyjnego przez ogrzewanie lub chłodzenie. Zastępują przy tym nagrzewnice lub chłodnice powietrza. Dla jak największego uzysku energii cieplnej i chłodu urządzenia te muszą mieć odpowiednią konstrukcję oraz powinny być we właściwy sposób zlokalizowane.

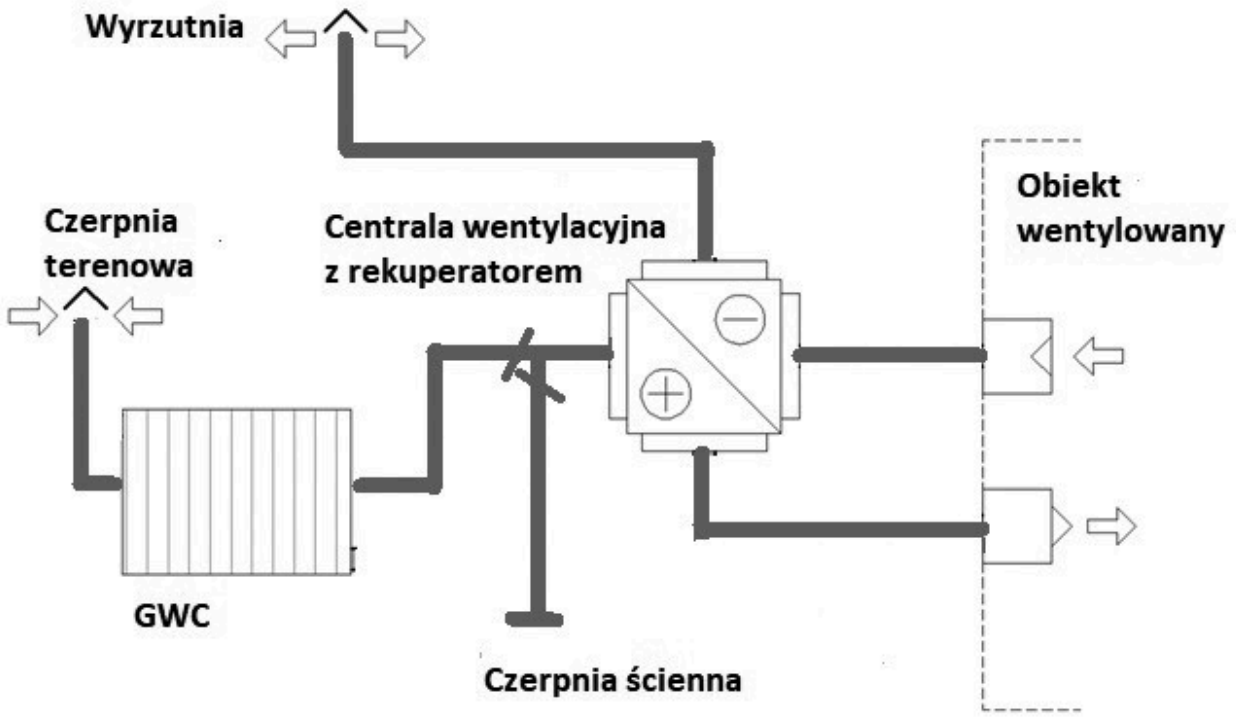
Gruntowe wymienniki ciepła, wykorzystujące energię gruntu do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej są powszechnie stosowane. Najczęściej są nimi sondy głębinowe. Podobne urządzenia znajdują również zastosowanie w wentylacji i klimatyzacji do wstępnego przygotowania powietrza wentylacyjnego. Działają one jednak przy wykorzystaniu tzw. płytkiej geotermii, co oznacza, że korzystają z energii cieplnej zgromadzonej w wierzchnich warstwach gruntu. Dane na temat panującej w nich temperatury różnią się od siebie – ma to związek m.in. z temperaturą powietrza go otaczającego. Można jednak w przybliżeniu przyjąć, że na głębokości 4 m temperatura ta wynosi +10 ±1,5°C, a na 2 m podlega większym wahaniom w ciągu roku – od +5°C w okresie chłodniejszym do nawet +14°C w okresie cieplejszym. Oznacza to, że grunt jest cieplejszy od powietrza zewnętrznego w zimie i chłodniejszy latem, więc może być wykorzystany zarówno do ogrzewania, jak i chłodzenia powietrza wentylacyjnego, w zależności od pory roku. Gruntowe wymienniki ciepła mogą współpracować z instalacjami wentylacji i klimatyzacji zarówno w domach małych, jednorodzinnych, jak i w wielorodzinnych, a także w dużych obiektach użyteczności publicznej i halach przemysłowych.

MOŻLIWOŚCI OSZCZĘDZANIA ENERGII NA POTRZEBY WENTYLACJI I KLIMATYZACJI DZIĘKI WYKORZYSTANIU GWC

Możliwości oszczędzania energii cieplnej i chłodu na potrzeby wentylacji i klimatyzacji pokazano na przykładzie instalacji wentylacji z chłodzeniem w obiekcie użyteczności publicznej. W okresie zimowym zachodzi potrzeba ogrzewania powietrza zewnętrznego przed nawianiem do pomieszczenia. Dla parametrów powietrza zewnętrznego w naszym klimacie i dla projektowych warunków obliczeniowych ogrzewanie musi nastąpić o 46 K od -20°C do +26°C. Wiąże się to oczywiście z dużym nakładem energetycznym, jeśli to powietrze miałoby być ogrzewane wyłącznie w nagrzewnicy powietrza w centrali wentylacyjnej. Obecnie obowiązujące przepisy [N1] wymagają zmniejszenia tego zapotrzebowania na ciepło przez wykorzystanie na przykład rekuperacji ciepła z powietrza wywiewanego z pomieszczenia. Wymagana przepisami unijnymi [N2] sprawność cieplna urządzenia do odzysku ciepła nie powinna być mniejsza niż 73%. Oznacza to, że przy założeniu, że temperatura powietrza w pomieszczeniu i wywiewanego z niego wynosi +20°C, dzięki działaniu rekuperatora powietrze zewnętrzne zostanie ogrzane o 29,9 K do temperatury +9,9°C. Dalsze ogrzewanie o 16,1 K musi nastąpić w nagrzewnicy powietrza i wiąże się nadal z nakładem energii cieplnej stanowiącym prawie 35% wartości całkowitego zapotrzebowania na ciepło. Zmniejszenie tego zapotrzebowania można uzyskać przez zainstalowanie gruntowego wymiennika ciepła (nazywanego dalej GWC), jeszcze przed rekuperatorem, jak to pokazano na schemacie na rys. 1. Daje to możliwość wstępnego ogrzania powietrza zewnętrznego do temperatury około +2°C, czyli o 22 K. Jeśli tak ogrzane powietrze zostanie skierowane przez rekuperator, to uzyska za nim temperaturę +15,1°C, a ogrzewanie powietrza w nagrzewnicy ograniczy się do różnicy temperatury 9,9 K, czyli zapotrzebowanie na ciepło zmniejsza się do około 21,5% wartości całkowitej. Dodatkowym zyskiem z zastosowania GWC przed urządzeniem do odzysku ciepła jest poprawa warunków jego pracy, a przede wszystkim zapobieganie szronieniu wymiennika po stronie powietrza wywiewanego [1] bez dodatkowych nakładów energetycznych na przykład w grzałkach elektrycznych przed rekuperatorem. W układzie przedstawionym na rys. 1 może być dodatkowo zainstalowana pompa ciepła powietrze-powietrze z parownikiem na powietrzu wywiewanym i skraplaczem na powietrzu nawiewanym [2].

Podobnie rzecz się ma z chłodzeniem powietrza w okresie letnim. Nawet przy zastosowaniu rekuperatora, co nie zawsze jest opłacalne [1], nadal niezbędne jest wykorzystanie do tego celu chłodnicy powietrza, której moc można jednak zmniejszyć lub nawet ją zastąpić przez GWC. Temperatura powietrza za tym urządzeniem w lecie w naszych warunkach klimatycznych wynosi od +12 do +14°C, co oznacza schłodzenie powietrza zewnętrznego o 16–18 K. W wielu przypadkach jest to zupełnie wystarczające do utrzymania

komfortu cieplnego w pomieszczeniach.



Rys. 1. Uproszczony schemat instalacji wentylacyjnej z rekuperatorem i gruntowym wymiennikiem ciepła

ROZWIĄZANIA TECHNICZNE GWC

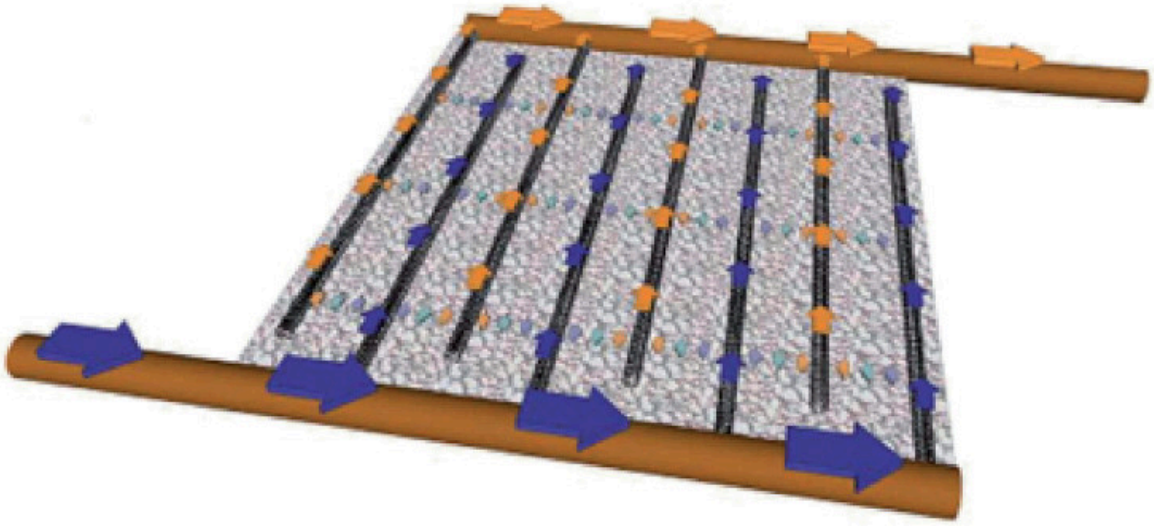
Gruntowe wymienniki ciepła najczęściej stosowane obecnie w instalacjach wentylacji i klimatyzacji można podzielić na dwie grupy:

- powietrzne, w których następuje wymiana ciepła pomiędzy gruntem a powietrzem z nim się kontaktującym
- z czynnikiem pośredniczącym, który kontaktuje się z gruntem, a następnie jest źródłem ciepła lub chłodu dla powietrza.

Powietrze zewnętrzne do powietrznych GWC jest zasysane przez czerpnię terenową z filtrem (rys. 1), a następnie przewodem dopływa do wymiennika. W myśl rozporządzenia [N1] czerpnia taka powinna znajdować się co najmniej 2 m nad powierzchnią przyległego terenu. Ze względu na sposób kontaktu powietrza z gruntem, GWC tego typu dzielą się z kolei na bezprzeponowe, w których powietrze kontaktuje się bezpośrednio z odpowiednio przygotowana warstwą gruntu i przeponowe, w których kontakt ten następuje przez przeponę w postaci ścianki przewodu, z przepływającym wewnątrz powietrzem. Wymienniki bezprzeponowe charakteryzują się bardzo dobrą wymianą ciepła z gruntem, większą niż w przypadku wymienników przeponowych. Ponadto bezpośredni kontakt powietrza z gruntem powoduje redukcję stężenia bakterii i grzybów w powietrzu, nawet bez stosowania dodatkowej ochrony chemicznej, np. jonów srebra. Zachodzi w nich również samoczynna wymiana wilgoci z powietrza z gruntem, odprowadzanie latem i doprowadzanie zimą. Jest to korzystne z punktu widzenia komfortu cieplnego w wentylowanych pomieszczeniach. Wadą takiego rozwiązania jest natomiast wrażliwość na działanie wód gruntowych oraz możliwość przenikania radonu z gruntu do powietrza. Do najczęściej stosowanych GWC bezprzeponowych zalicza się wymienniki żwirowe oraz płytowe.

Fot. 1. Żwirowy gruntowy wymiennik ciepła [3]

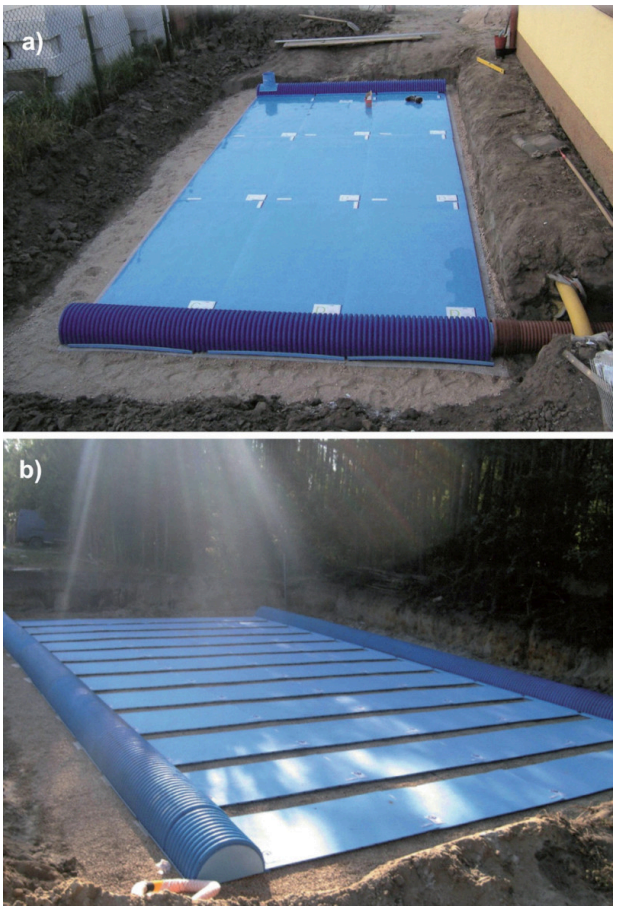
W żwirowym wymienniku ciepła (fot. 1) zachodzi zwiększenie powierzchni wymiany ciepła poprzez zastąpienie warstwy gruntu, kontaktującej się z powietrzem, złożem żwirowym o dużej granulacji, przez które powietrze przepływa. Jest ono zabezpieczone hydroizolacją i geowłókniną przed wymieszaniem z gruntem rodzimym. GWC tego typu charakteryzują się dużym oporem przepływu powietrza, przez co prawie zawsze wymagają zainstalowania wentylatora wspomagającego. Powinny być montowane parami, gdyż nie są w stanie działać bez przerwy. Jedno ze złóż po 12 h pracy musi być poddane regeneracji termicznej, która polega na przywróceniu temperatury otaczającego gruntu, a drugie w tym czasie pracuje.



Rys. 2. Schemat ideowy grzebieniowego gruntowego wymiennika ciepła [3]

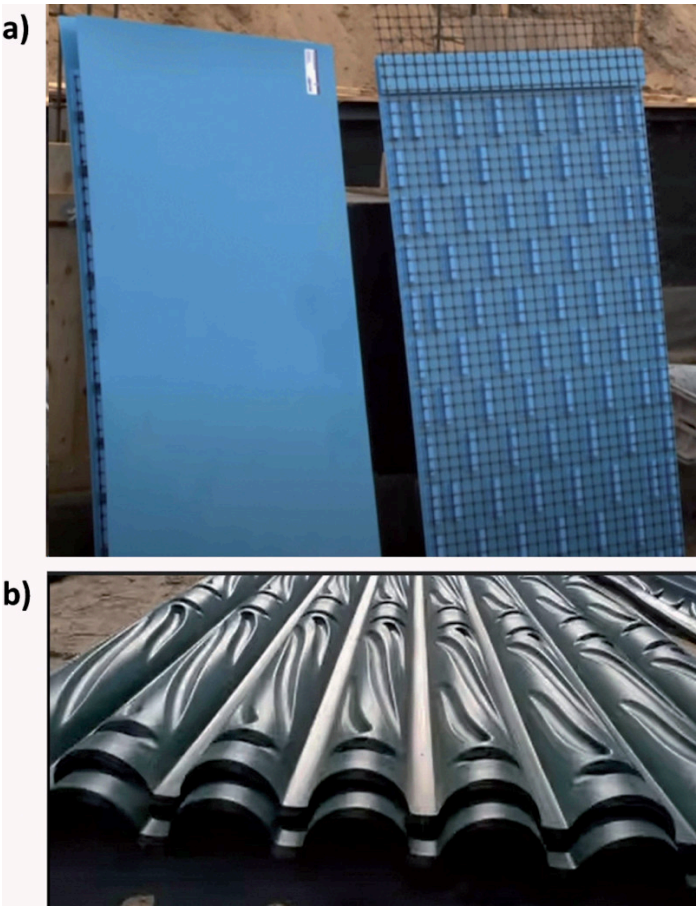
Ulepszonym rozwiązaniem konstrukcyjnym wymiennika żwirowego jest GWC grzebieniowy (rys. 2). Do płaskiego, rozległego złoża żwirowego powietrze dopływa przez boczne kolektory. Do nich podłączone są rury, które rozprowadzają i odbierają powietrze ze złoża. Całość tworzy dwa zachodzące na siebie grzebienie, stąd nazwa opatentowanego systemu [4]. Dzięki temu następuje równomierne rozprowadzenie powietrza po całej powierzchni złoża. W efekcie uzyskuje się zmniejszenie oporów przepływu powietrza

przez wymiennik i związaną z tym możliwość rezygnacji z instalowania wentylatora wspomagającego.



Fot. 2. Płytowy wymiennik gruntowy ciepła: a) z płytami w układzie zwartym [5], b) z rozstawem między rzędami płyt [6]

Wymiennik płytowy jest zbudowany z płyt z tworzywa sztucznego, ułożonych w rzędach w układzie zwartym (fot. 2a), bądź z rozstawem między rzędami (fot. 2b), ponad specjalnie przygotowaną podsypką żwirowo-piaskową.
Płyty mogą być uniesione na klockach dystansowych (fot. 3a), dzięki czemu powstaje szczelina o wysokości 25–30 mm, którą przepływa powietrze. Klocki te, niestety nie zawsze mają odpowiednią wytrzymałość mechaniczną, co jest wadą tej konstrukcji. Dlatego też pojawiło się inne rozwiązanie, o większej wytrzymałości, w postaci odpowiednio wyprofilowanej płyty (fot. 3b), w której powietrze przepływające pomiędzy półwalcami a podłożem jest dodatkowo sturbulizowane [8].

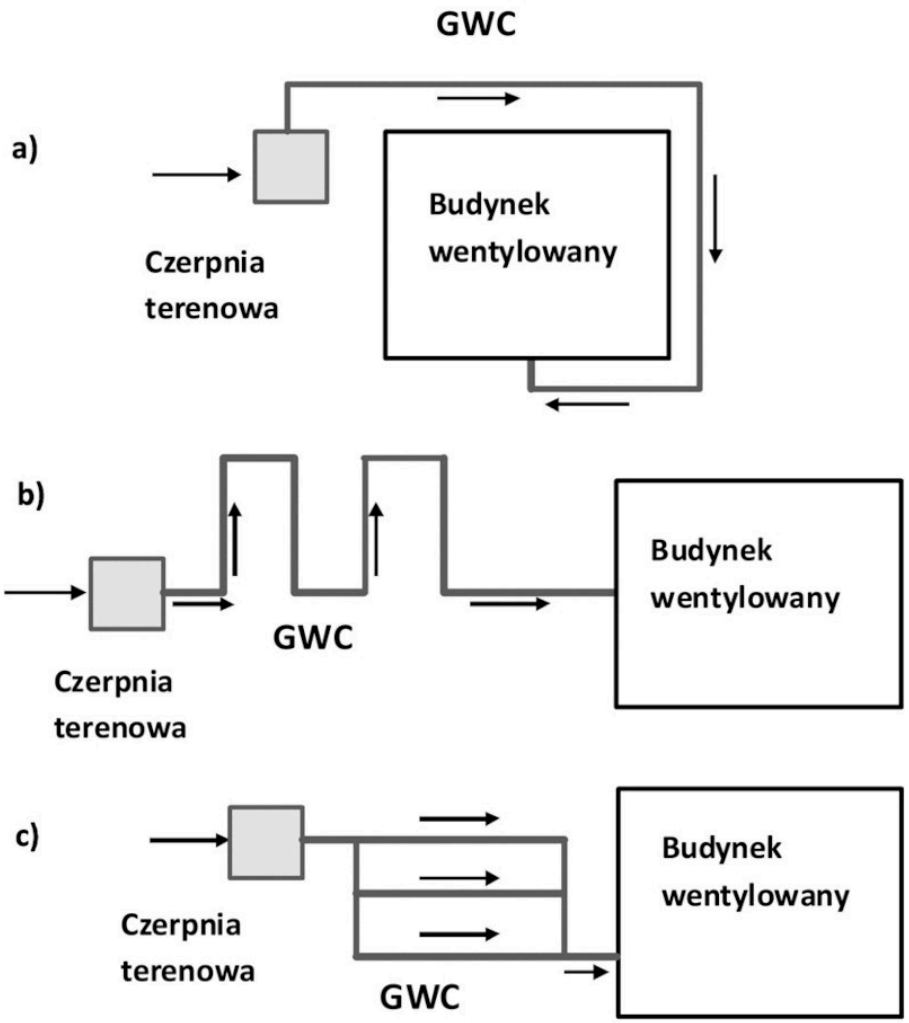


Fot. 3. Konstrukcje płyt w wymienniku płytowym: a) płyta płaska z klockami dystansowymi [7], b) wyprofilowana półwalcowo płyta systemu Geostrong [8]

Prócz tego w skład wymiennika wchodzą dwa kolektory oraz przewody doprowadzające powietrze z czerpni do kolektora wlotowego i odprowadzającego powietrze z kolektora wylotowego do budynku. Wymienniki te mają mniejszy opór przepływu powietrza w porównaniu ze żwirowymi. Ponadto mogą pracować bez przerwy na regenerację w ciągu doby. Jedynie wskazana jest regeneracja gruntu w okresach przejściowych roku, gdy praca GWC nie jest konieczna. Powietrze do instalacji wentylacyjnej czerpane jest wtedy przez czerpnię ścienną (rys. 1), z ominięciem czerpni terenowej i GWC.

Fot. 4. Rurowy gruntowy wymiennik ciepła w układzie Tichelmanna [9]

Wymienniki przeponowe zazwyczaj są wykonywane jako rurowe (fot. 4), z przewodów okrągłych polipropylenowych, o polepszonym współczynniku przenikania ciepła, o średnicach od 0,2 do 0,5 m. Dla zabezpieczenia antybakteryjnego są one powlekane od wewnątrz jonami srebra. Mogą być układane w gruncie na dwa sposoby w układzie szeregowym pierścieniowo lub na sposób meandrowy (łamany) albo w układzie równoległym Tichelmanna (rys. 3). Sposób montowania w dużej mierze zależy od warunków topograficznych na działce oraz jej wielkości. W wymiennikach takich w okresie zimowym nie następuje zmiana zawartości wilgoci w powietrzu nawiewanym. W okresie letnim zachodzi wykraplanie pary wodnej na powierzchni wewnętrznej rur, związane z osuszeniem powietrza wskutek schłodzenia. Aby woda nie zalegała w rurach, powinna spływać do studzienki odwodnieniowej.

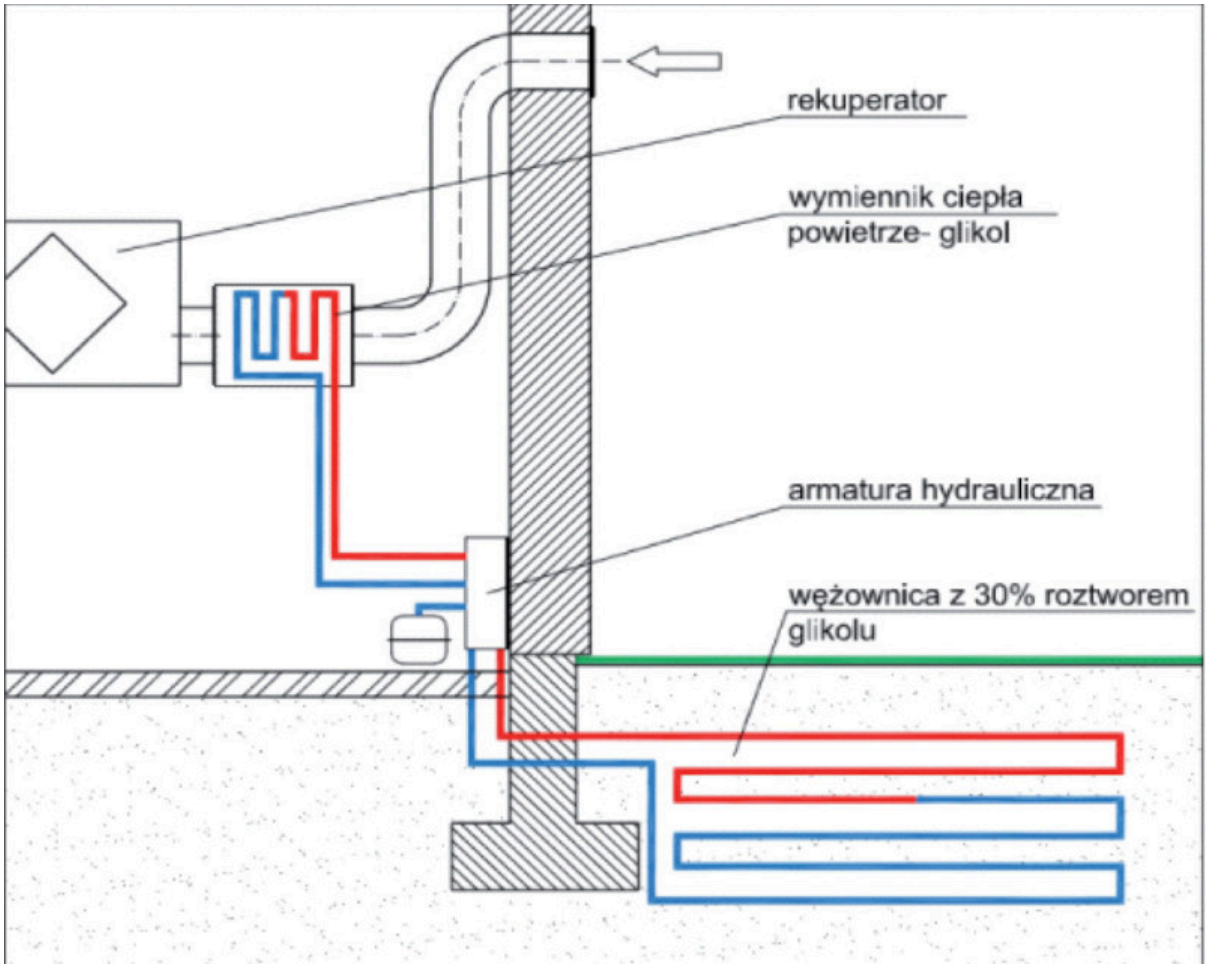


Rys. 3. Sposoby ułożenia rur w rurowych GWC: a) układ szeregowy pierścieniowy, b) układ szeregowy meandrowy, c) układ równoległy Tichelmanna

Dla ułatwienia tego spływu rurociąg prowadzi się ze spadkiem 1% w kierunku przepływu powietrza. Regeneracja gruntu w ciągu doby nie jest wymagana, podobnie jak w wymiennikach płytowych. GWC z czynnikiem pośredniczącym, w którym zwykle wykorzystuje się 30% roztwór glikolu, jest również wymiennikiem przeponowym. Jego działanie polega na wymuszonym przez pompkę krążeniu tego czynnika w umieszczonej pod ziemią rurce o długości od 120 do 250 m i średnicy od 0,02 do 0,04 m, ułożonej na przykład spiralnie (fot. 5).

Fot. 5. Glikolowy gruntowy wymiennik ciepła w układzie spiralnym [10]

W efekcie kontaktu z gruntem glikol ogrzewa się zimą i ochładza latem. Następnie kierowany jest do wymiennika ciepła glikol-powietrze (rys. 4), w którym przekazuje ciepło bądź chłód do powietrza w instalacji wentylacyjnej, dopływającego z czerpni niepowiązanej z GWC. W takim GWC zanieczyszczenia z gruntu w żaden sposób nie kontaktują się z powietrzem i przez to jest to najbardziej higieniczny rodzaj wymiennika, co jest jego największą zaletą.



Rys. 4. Uproszczony schemat glikolowego gruntowego wymiennika ciepła współpracującego z instalacją wentylacyjną [11]

Jako wadę należy natomiast uznać dodatkowe zapotrzebowanie na energię do napędu pompki, konieczność zainstalowania dodatkowego urządzenia – wymiennika ciepła oraz mniejszy w porównaniu z wymiennikami powietrznymi uzysk ciepła.

ZASADY LOKALIZACJI GWC

Pierwszym krokiem przy wyborze miejsca posadowienia GWC jest decyzja o jego lokalizacji względem wentylowanego obiektu. Może być on zainstalowany obok budynku albo wewnątrz jego obrysu, a decyzję o tym należy podjąć przed rozpoczęciem prac budowlanych.

Najczęściej GWC montuje się obok domu, co jest tańszym wariantem i jednocześnie bezpieczniejszym, gdyż pozwala na łatwy dostęp do urządzenia w razie konieczności naprawy. Takie rozwiązanie jest uzależnione od rodzaju i powierzchni działki, jaka jest przeznaczona na ten cel. Nie może być ona mniejsza od 10x20 m. Nie powinien to też być teren zalesiony. Należy się też upewnić, czy nie występują na nim rośliny o głębokim systemie korzeniowym. W ten sposób mogą być montowane wszystkie typy wymienników. Trzeba jednak ostrożnie podchodzić do takiej lokalizacji wymienników płytowych, zwłaszcza w miejscach, które są narażone na większy nacisk, jak podjazdy czy parkingi.

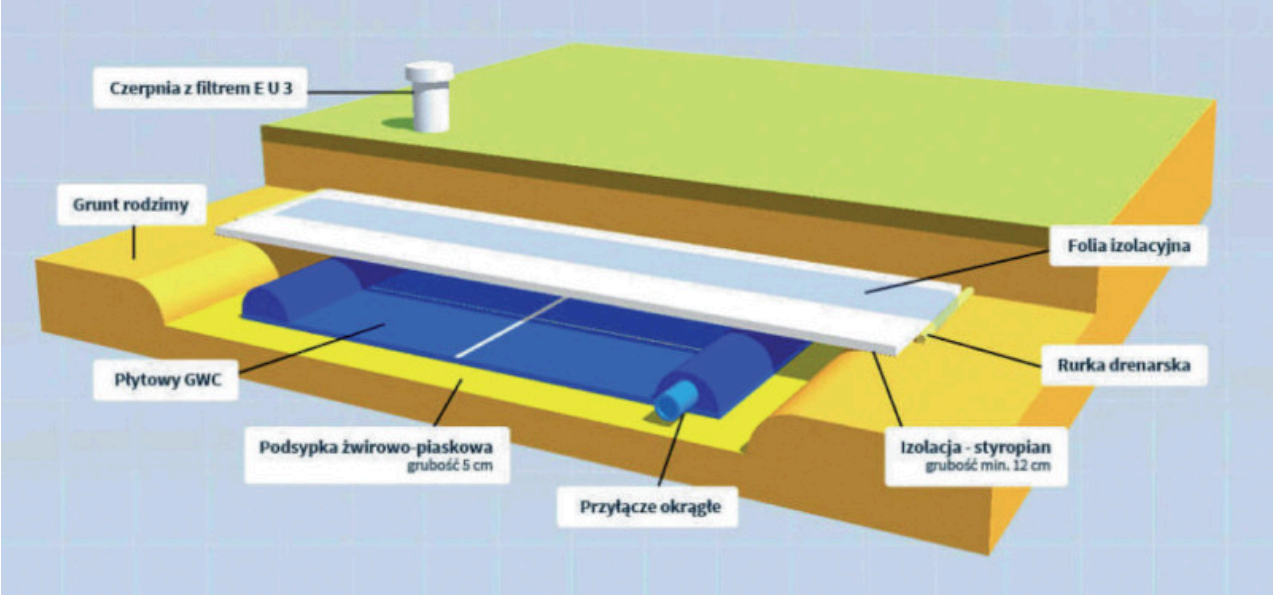
Jeśli chodzi o drugi wariant lokalizacji, to GWC montuje się najczęściej w świetle ścian fundamentowych. Nadają się do tego przede wszystkim wymienniki powietrzne rurowe, płytowe oraz grzebieniowe. Wynika to z ich niewielkiej wysokości, dzięki czemu wymagają wykonania wykopu o małej głębokości. Dobrze do takiej lokalizacji nadają się wymienniki płytowe ze względu na ich zwartą konstrukcję. Zaletą tego wariantu jest stosunkowo łatwe wykonanie. Jednak wybierając go, trzeba oprócz ewentualnych trudności w dostępie, w przypadku uwidocznienia się usterek, wziąć pod uwagę możliwość pojawienia się dodatkowych problemów [5]:

- zimne powietrze doprowadzone w okresie zimowym do strefy fundamentowej będzie schładzało grunt, co w efekcie spowoduje zwiększenie strat ciepła budynku do gruntu, niezależnie od grubości izolacji
- mogą wystąpić utrudnienia w regeneracji termicznej płytkich warstw gruntu, która normalnie następuje

w wyniku działania promieniowania słonecznego i deszczu

■ w skrajnie niekorzystnych warunkach, może też dojść do pogłębienia się strefy przemarzania gruntu, co przy podłożach wysadzinowych i miejscowym zamarznięciu może spowodować deformację fundamentu i pojawienie się zarysowań ścian.

Następnym krokiem jest ustalenie głębokości montażu wymiennika, która powinna zależeć od lokalnej głębokości przemarzania gruntu oraz od poziomu wód gruntowych. Podstawową zasadą przy tym jest umieszczenie GWC minimum 0,2 m poniżej głębokości przemarzania gruntu, która wg normy [N3] w Polsce wynosi od 0,8 do 1,4 m w zależności od strefy klimatycznej. Optymalną wydajność energetyczną zapewniałoby natomiast posadowienie GWC na głębokości pomiędzy 4 a 5 m. W przypadku jego płytszej lokalizacji symuluje się warunki panujące na tejże głębokości przez położenie nad wymiennikiem warstwy izolacji termicznej. Powoduje ona oddzielenie gruntu kontaktującego się z GWC od wpływu warunków atmosferycznych i korzystniejszy dla przejmowania ciepła rozkład temperatury w gruncie. Zastosowanie izolacji ze styropianu o grubości minimum 12 cm [11] daje na przykład możliwość posadowienia wymiennika płytowego już na głębokości od 0,7 do 2,0 m (rys. 5).



Rys. 5. Schemat płytowego GWC z przykryciem warstwą izolacyjną umożliwiającą płytszą lokalizację wymiennika w gruncie [11]

Minimalną zalecaną głębokością zainstalowania wymiennika rurowego jest 1,7 m. Głębokość montażu GWC ma też związek z poziomem wód gruntowych. Gdy jest on wysoki, nie powinno się projektować wymienników bezprzeponowych, gdyż grozi to ich zalaniem. Nie zaleca się nawet instalowania wymienników przeponowych rurowych, gdyż w razie przypadkowego rozszczelnienia również mogą być zalane. W takich warunkach wskazane jest zastosowanie wymiennika glikolowego, który jest dobrze zabezpieczony przed wpływem wilgoci. Co więcej, GWC tego typu działa najbardziej efektywnie w gruntach o wysokim poziomie wód gruntowych. Jako jedyny GWC może pracować bezpośrednio w wodzie. Lokalizuje się go zazwyczaj na głębokości 1,5–2,0 m. Przy wysokim stanie wód gruntowych można też wykonać GWC żwirowy wypiętrzony ponad teren i przykryć go warstwą gruntu.

WPŁYW RÓŻNYCH CZYNNIKÓW NA EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNĄ GWC

Miarą efektywności energetycznej GWC jest współczynnik efektywności wyznaczany jako stosunek ciepła i chłodu przejmowanych w wymienniku w okresie całego roku do energii elektrycznej zużytej w tym czasie do napędu wentylatora, w tym także wspomagającego, lub pompki w przypadku urządzenia glikolowego. Zawiera się on w granicach od 10 do 40 w zależności od różnych czynników.

Dla uzyskania wysokiej wartości tego współczynnika wymiennik musi być dobrany w sposób zapewniający maksymalny uzysk energii z gruntu przy jednoczesnej minimalizacji oporów przepływu powietrza lub czynnika pośredniczącego, co wpływa na obniżenie wymaganej mocy wentylatora lub pompki.

Do obliczenia tego uzysku dla wymiennika rurowego można wykorzystać metodę [12] bazującą na normach [N4] i [N5]. Przykład takich obliczeń podano w pracy [2]. Zgodnie z nią uzysk ten zależy, oprócz strumienia objętości przepływającego powietrza, przede wszystkim od powierzchni kontaktu GWC z gruntem, własności termicznych materiału GWC, głębokości posadowienia wymiennika, temperatury powietrza zewnętrznego oraz parametrów gruntu. Analizę wpływu niektórych z tych czynników na efektywność GWC, a co za tym idzie uzyskaną temperaturę powietrza wentylacyjnego za wymiennikiem, przedstawiono w dalszym ciągu na przykładzie wymiennika powietrznego rurowego z polietylenu o polepszonych własnościach termicznych. Wykorzystano przy tym wyniki obliczeń [2] wykonanych za pomocą oprogramowania komputerowego [13].

O powierzchni kontaktu z gruntem decyduje długość i średnica rury. Zwiększenie długości rury wpływa na poprawę efektywności wymiennika, ale tylko do pewnej wartości. Zazwyczaj nie stosuje się wymienników dłuższych od 100 m. W badanym przypadku zwiększanie długości powyżej 80 m nie przynosiło już żadnych zmian.

Średnica rury nie powinna być mniejsza niż średnica króćca montażowego centrali wentylacyjnej [14]. Nieco większa średnica przez zmniejszenie prędkości przepływu powietrza może nieznacznie poprawić efektywność wymiany ciepła. Zbyt mała średnica, poniżej 0,2 m, powoduje wzrost oporów przepływu, a zatem zwiększenie potrzebnej mocy wentylatora, co w efekcie przyczynia się do pogorszenia współczynnika efektywności. Z przeprowadzonych obliczeń wynika natomiast, że zmiana średnicy rury w najczęściej stosowanym zakresie od 0,25 do 0,5 m nie miała wpływu na pracę GWC.

Ze zbadanych trzech układów rur: pierścieniowego, meandrowego i równoległego Tichelmanna, najlepszy rezultaty osiągnięto dla układu meandrowego. Głębokość posadowienia GWC w gruncie, zbadana w typowym zakresie od 1,0 do 2,5 m, miała istotny wpływ na efektywność pracy urządzenia, która rosła przy wzroście tej głębokości.

Rodzaj gruntu wpływa na uzysk ciepła w wymienniku. Najlepiej kumulują energię grunty ilaste i gliniaste, które się powoli ochładzają i ogrzewają. Natomiast w gruntach piaszczystych procesy te następują szybko, co powoduje pogorszenie warunków pracy GWC.

PODSUMOWANIE

Gruntowe wymienniki ciepła są urządzeniami opłacalnymi z punktu widzenia zmniejszenia zapotrzebowania na energię dla instalacji wentylacyjnych i klimatyzacyjnych. Warto jednak zdać sobie sprawę, że ich zainstalowanie wiąże się z dodatkowymi niemałymi wydatkami. Dlatego na zakończenie warto przytoczyć za p. Piotrem Garmulewiczem [15] porównanie kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych opisanych konstrukcji powietrznych wymienników gruntowych ciepła. Znacznie większych kosztów inwestycyjnych należy się spodziewać w przypadku wymienników rurowych z rur z powłoką antybakteryjną i profesjonalnie wykonanych wymienników płytowych niż w przypadku wymienników żwirowych i grzebieniowych. Na stosunkowo niewielkie koszty eksploatacyjne tych urządzeń składa się przede wszystkim dodatkowa energia do napędu wentylatorów, która z kolei jest największa dla GWC żwirowego oraz koszty okresowego przemywania GWC rurowego. Biorąc pod uwagę koszty eksploatacji i urządzeń, które są w instalacji zastąpione przez wymiennik gruntowy (nagrzewnica powietrza, klimatyzator) stwierdzono, że roczne oszczędności są najmniejsze dla wymiennika rurowego. Dla pozostałych GWC wartości te są zbliżone. W przypadku wymiennika żwirowego i grzebieniowego można się spodziewać znacznie krótszego prostego okresu zwrotu niż w przypadku GWC rurowego i płytowego.

dr hab. inż. Barbara Lipska
Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji i Techniki Odpylania

Artykuł zamieszczony w „Przewodniku Projektanta” nr 1/2022

Członkowie Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa mogą składać zamówienie na drukowane wydanie „Przewodnika Projektanta” nr 2/2022.

Zachęcamy członków PIIB do wypełnienia formularza zgłoszeniowego zamieszczonego na stronie

www.izbudujemy.pl/formularze/przewodnikprojektanta

W kolejnym wydaniu „Przewodnika Projektanta” będziemy poruszać m.in. tematy związane z zespolonymi konstrukcjami słupowymi, belkami chłodzącymi i Smart Home. Kontynuujemy cykl artykułów dotyczących BIM, a także będą zamieszczone artykuły prawne.

NORMY I ROZPORZĄDZENIA

N1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny podlegać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 75, poz. 690, z późn. zm.).

N2. Rozporządzenie Komisji (UE) Nr 1253/2014 z dnia 7 lipca 2014 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla systemów wentylacyjnych.

N3. PN-81/B-03020 Grunty budowlane – Posadowienie bezpośrednie budowli – Obliczenia statyczne i projektowanie.

N4. PN-EN ISO 52016-1:2017-09 (wersja angielska) Energetyczne właściwości użytkowe budynków – Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i chłodzenia, wewnętrzne temperatury oraz jawne i utajone obciążenia cieplne – Część 1: Procedury obliczania.

N5. PN-EN 16798-5-1:2017-07 (wersja angielska) Charakterystyka energetyczna budynków – Wentylacja budynków – Część 5-1: Metody obliczania dotyczące wymagań energetycznych systemów wentylacyjnych i klimatyzacyjnych (Moduły M5-6, M5-8, M6-5, M6-8, M7-5, M7-8).

LITERATURA

1. Lipska B., Projektowanie wentylacji i klimatyzacji. Podstawy uzdatniania powietrza, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2018.
2. Lipska B., Trzeciakiewicz Z., Projektowanie wentylacji i klimatyzacji. Zagadnienia zaawansowane, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2018.
3. www.viessmann.ovh
4. www.grzebieniowygwc.pl
5. www.budujemydom.pl/instalacje/wentylacja-i-klimatyzacja
6. www.warebud.pl
7. www.opoka.pro
8. www.gruntowy-wymiennik.pl
9. www.ecocomfortsystem.pl
10. www.aquacomplus.pl
11. www.wymiennikgruntowy.pl
12. Kostka M., Szulgowska-Zgrzywa M., Obliczenia energetyczne gruntowych rurowych wymienników ciepła, Rynek Instalacyjny, 5/2015, str. 64–68.
13. www.rehau.com/pl-pl
14. www.linkair.pl
15. www.grzebieniowygwc.pl/wpcontent/themes/arstechTheme/doc/analiza_powietrznych_gruntowych_wymiennikow_ciepla.pdf (dostęp: luty 2022 r.).