

Tomasz Śliwa*, Krzysztof Baniak*

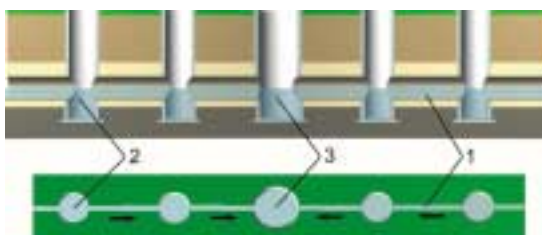
MOŻLIWOŚĆ WYKORZYSTANIA DRENÓW DO POZYSKIWANIA CIEPŁA Z GRUNTU I WÓD GRUNTOWYCH**

1. WPROWADZENIE

Dreny są sączkami ułożonymi na dnie wykopu, obsypanymi materiałem filtracyjnym. Ciągi drenowe układa się w zależności od warunków hydrogeologicznych z reguły na niewielkiej głębokości, do 5 m pod powierzchnią terenu. Głębokość ta nie powinna być jednak mniejsza od głębokości przemarzania [1].

Dreny wykonywane są do ujmowania wody zawartej w górotworze do celów:

- komunalnych – do budowy ujęć wody pitnej, np. wodociąg paryski (ujmujący w Warszawie wody infiltracyjne spod dna Wisły za pomocą ułożonych promieniście drenów);
- budowlanych i przemysłowych – do poprawy struktury gruntu, obniżania zwierciadła wody zapobiegającego zawilgoceniu murów, osuszania itp.;
- rolniczych – do poprawy warunków wegetacji roślin, zapobiegania odwapnieniu gleb;
- wykonywania barier ekologicznych – ujmowanie ścieków z dróg, składowisk odpadów, odstojników przemysłowych itp.



Rys. 1. Schematyczny przekrój ciągu drenowego (1) ze studzienkami kontrolnymi (2) i studnią zbiorczą (3)

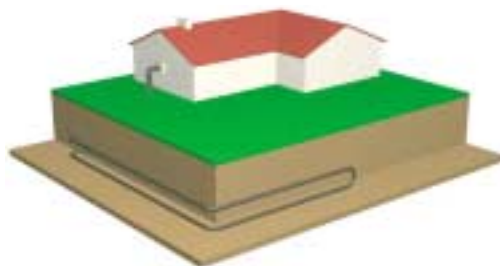
* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Artykuł zrealizowano w ramach badań własnych w Zakładzie Wiertnictwa i Geoinżynierii WWNiG AGH

Każda sieć drenażowa (rys. 1) wyposażona jest w studzienki kontrolne, których średnica wynosić powinna co najmniej 1 m oraz studzienki zbiorcze o średnicy nie mniejszej niż 1,5 m. Odległość między studzienkami kontrolnymi powinna wynosić 50÷100 m. Rurociąg pomiędzy dwiema sąsiednimi studzienkami powinien być ułożony prostoliniowo [2].

2. IDEA WYKORZYSTANIA DRENÓW JAKO KANAŁÓW DO MONTAŻU WYMIENNIKA CIEPŁA

Grunt jest miejscem akumulacji rozproszonej, niskotemperaturowej energii cieplnej. Ciepło to można użytecznie wykorzystywać za pośrednictwem pompy grzewczej, która podnosi jego stan energetyczny do wyższej temperatury. Daje to możliwość wykorzystania niskotemperaturowej energii cieplnej do celów grzewczych. Jednym ze sposobów pozyskiwania ciepła z gruntu jest ułożenie w nim systemu rurek, w których krąży nośnik ciepła – ciecz o obniżonej temperaturze krzepnięcia (rys. 2). Odbiór ciepła w takim układzie odbywa się za pośrednictwem cieczy roboczej krążącej w zamkniętych pętlach wykonanych najczęściej z rurek polietylenowych. Cieczą tą może być woda, solanka (rzadko stosowana) lub wodne roztwory glikolu etylenowego albo propylenowego. W wymiennikach instalowanych w gruncie przyrost temperatury cieczy roboczej wynosi około 3÷4°C. Szerzej zagadnienie odbierania ciepła zgromadzonego w gruncie (dolnym źródle ciepła) i jego wykorzystania za pośrednictwem pomp ciepła opisuje liczna literatura, m.in. [5].

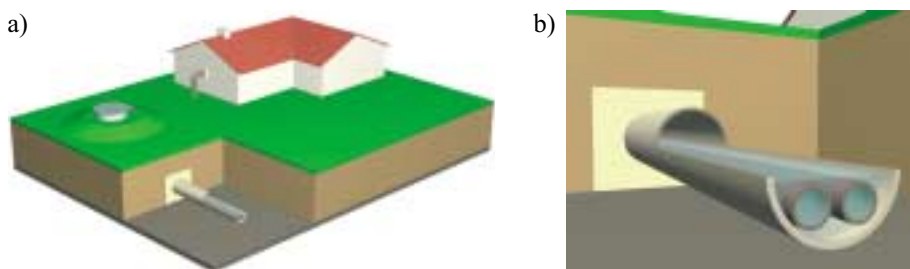


Rys. 2. Pojedyncza pętla gruntowego wymiennika ciepła

Alternatywą dla wymienników ciepła w formie pętli z rurek układanych w gruncie może być instalacja rurek wprowadzanych do drenu. W ten sposób można zaadoptować dren do poboru niskotemperaturowej energii w celu wykorzystania jej do zasilania pompy ciepła.

Przy dogodnym usytuowaniu przestrzennym drenów teoretycznie jest możliwe wprowadzenie jednej rurki w rurę drenażową, ponieważ system drenów nie jest systemem zamkniętym. Przy takim założeniu należy się liczyć z koniecznością wykonywania prac ziemnych w celu zamknięcia systemu. W takim układzie pętla wymiennika wykorzystywać musi przynajmniej dwa kanały drenowe, stąd konieczność wykonania wykopów w celu ułożenia odcinka rurki pomiędzy kanałami.

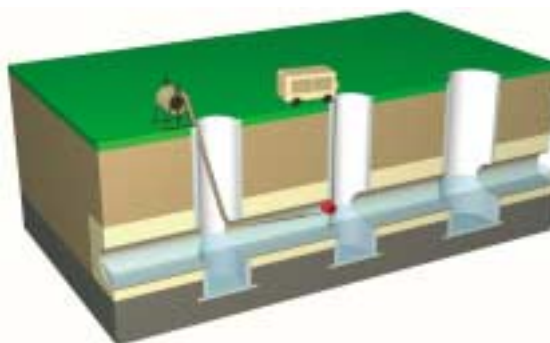
Korzystniejszym rozwiązaniem wydaje się wprowadzenie pętli rurek wymiennika ciepła do jednego kanału drenażowego (rys. 3) i w ten sposób uzyskanie zamkniętego systemu krążenia czynnika grzewczego.



Rys. 3. Wymiennik ciepła umieszczony w drenie: a) widok ogólny; b) zbliżenie przekroju drenu

W celu wprowadzenia rurek dolnego źródła pompy ciepła do drenu można wykorzystać jedną z metod bezwykopowych renowacji rurociągów – metodę reliningu (rura w rurę) [4]. Metoda wykorzystywana jest do bezwykopowej renowacji podziemnych rurociągów. Polega na wprowadzeniu do istniejącego kanału rury o zbliżonej średnicy.

W opisywanym zastosowaniu metody nie ma konieczności wprowadzania do wnętrza drenu rur o zbliżonych średnicach. Średnice rurek muszą być mniejsze od wewnętrznej średnicy drenu tak, aby dren mógł nadal spełniać swoje podstawowe zadania. Nie ma też konieczności dokonywania miejscowych odkrywek (prac ziemnych), ponieważ w celu udostępnienia wnętrza drenu i wprowadzenia rurek można wykorzystać system studzienek kontrolnych i zbiorczych (rys. 4).



Rys. 4. Poglądowy schemat montażu wymiennika w drenie wykorzystując metodę reliningu

3. WPŁYW INSTALACJI NA DZIAŁANIE DRENU

W niektórych przypadkach proponowana metoda wykorzystania drenu jako niskotemperaturowego źródła energii dla pompy ciepła może w istotny sposób wpływać na pracę i wydajność drenażu. System ten wpływał będzie negatywnie na przebieg prac konserwatorskich utrudniając między innymi czyszczenie drenu.

Do dalszych analiz przyjęto średnice wewnętrzne drenów (filtrów) produkowanych przez firmę Schumasoil, które zostały przedstawione w tabeli 1. W tabeli 2 zestawiono wymiary rurek polietylenowych do budowy poziomego, gruntowego wymiennika ciepła.

Tabela 1

Wymiary geometryczne drenów [6]

Średnica zewnętrzna D_z , mm	50	70	125	180	355
Średnica wewnętrzna D_w , mm	40	60	100	150	310
Grubość ścianki b , mm	5,0	5,0	12,5	15,0	22,55

Tabela 2

Wymiary geometryczne rurek polietylenowych [5]

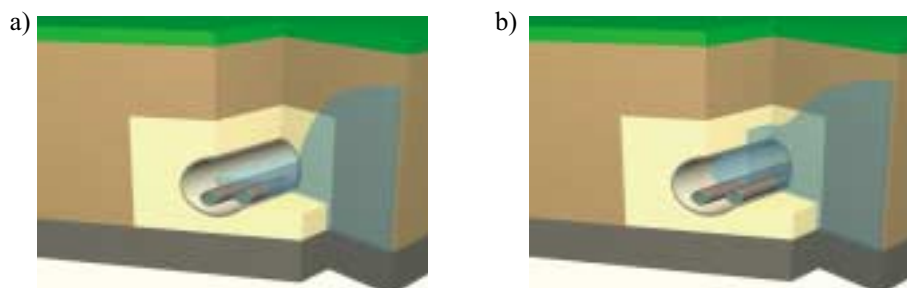
Średnica nominalna d_n , cale	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	2
Średnica zewnętrzna d_z , mm	26,7	33,4	42,1	48,2	60,3
Średnica wewnętrzna d_w , mm	21,8	27,3	34,5	39,5	49,3
Grubość ścianki b , mm	4,9	6,1	7,6	8,7	11,0

Wprowadzenie dwóch rurek do jednego kanału drenażowego wiąże się ze zmniejszeniem przekroju poprzecznego drenu (rys. 5). Powoduje to redukcję jego przepustowości. W tabeli 3 zestawiono wyrażone w procentach wartości spadku użytecznej powierzchni przekroju drenów w zależności od ich średnicy i od średnicy wprowadzonych rurek wymiennika ciepła.

Zakładając maksymalną teoretycznie możliwą średnicę zewnętrzną wprowadzanych rurek wynoszącą $d_z = D_w/2$, można wykazać, że maksymalna teoretyczna redukcja pierwotnej powierzchni efektywnego przekroju drenu wynosi 50%

$$\frac{\text{pole powierzchni drenu z rurkami}}{\text{całkowite pole powierzchni drenu}} = \frac{\frac{-D_w^2}{4} - 2 \frac{d_z^2}{4}}{-D_w^2} = 0,5.$$

Podczas pracy drenu pod ciśnieniem, gdy poziom wody znajduje się powyżej drenu, tzn. przy pełnym wypełnieniu kanału drenażowego wodą (rys. 5b) do jej odprowadzenia wykorzystywany jest pełen przekrój poprzeczny. W tym przypadku każdy nowy element wprowadzony do wnętrza drenu będzie powodował zmniejszenie efektywności jego pracy.



Rys. 5. Przekrój drenu z wprowadzonymi rurkami wymiennika ciepła: a) pracującego swobodnie; b) pracującego pod ciśnieniem

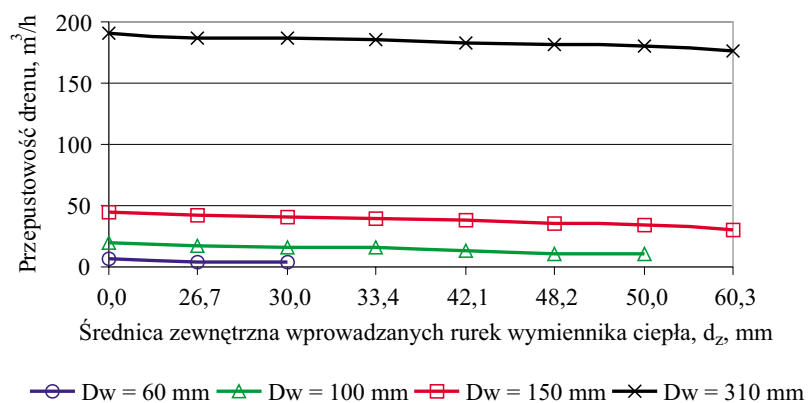
Tabela 3

Procentowa redukcja powierzchni przekroju drenu po wprowadzeniu rurek wymiennika ciepła

Średnica zewnętrzna rurek wymiennika ciepła d_z , mm	Średnica wewnętrzna drenu D_w , mm				
	40	60	100	150	310
2 26,7	–	39,6%	14,3%	6,3%	1,5%
2 33,4	–	–	22,3%	9,9%	2,3%
2 42,1	–	–	35,4%	15,8%	3,7%
2 48,2	–	–	46,5%	20,7%	4,8%
2 60,3	–	–	–	32,3%	7,6%

Dla drenu pracującego pod ciśnieniem zmniejszenie przekroju poprzecznego wiąże się ze zmniejszeniem wydajności odcinka zaadoptowanego do poboru ciepła. W niektórych przypadkach, szczególnie gdy dren ma małą średnicę, następuje bardzo znaczące zmniejszenie możliwości odprowadzania wody (ścieku). W wyniku zmniejszenia ilości odbieranej przez dren wody może nastąpić podniesienie jej zwierciadła w gruncie.

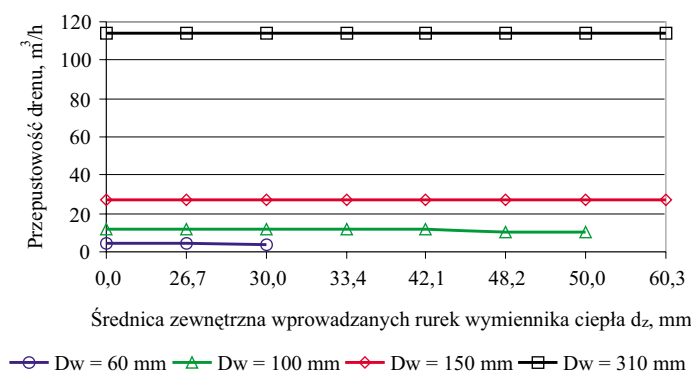
Na wykresie z rysunku 6 przedstawiono zależności zmian przepustowości drenu po wprowadzeniu do jego wnętrza rurek wymiennika ciepła. Obliczenia wykonano przy założeniu przepływu wody w drenie przy średniej prędkości równej 0,7 m/s. Ponadto przyjęto średnice drenów jak w tabeli 1 oraz, że powierzchnia przepływu w drenie ulegnie zmniejszeniu w wyniku wprowadzenia rurek, jak to pokazano na rysunku 5b.



Rys. 6. Zależność spadku przepustowości drenu pracującego pod ciśnieniem po wprowadzeniu rurek wymiennika ciepła

Obliczenia niezbędne do wykonania wykresu na rysunku 6 zostały wykonane przy założeniu wprowadzenia do drenu dwóch rurek, a dla lepszej czytelności wykresu średnice pojedynczych rurek kolektora według tabeli 2 na osi poziomej zostały podane bez zachowa-

nia skali. Dodatkowo, dla drenów o średnicach wewnętrznych 60 i 100 mm na wykresie zamieszczono średnice rurek wewnętrznych 30 i 50 mm. Są to maksymalne teoretyczne średnice rurek możliwe do zainstalowania w tych drenach. Analogicznie wykonano wykres przedstawiony na rysunku 7.



Rys. 7. Zmiana przepustowości drenu pracującego swobodnie po wprowadzeniu rurek wymiennika ciepła

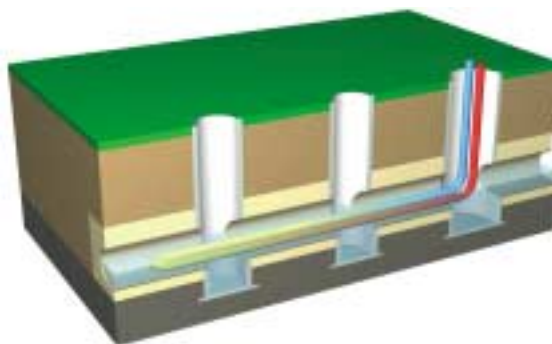
Dreny mogą pracować przy przepływie swobodnym (rys. 5a). W takim przypadku część przestrzeni w drenie jest wolna. Podczas projektowania zazwyczaj przyjmuje się napełnienie drenu cieczą do poziomu w granicach od 10 do 60% jego średnicy [1]. Wynika stąd, że wolna przestrzeń w skrajnych przypadkach wynosi od 40 do 90% średnicy. W takiej sytuacji opisywane rozwiązanie w mniejszym stopniu negatywnie wpływa na pracę drenu. Wprowadzane rurki w pierwszej kolejności zajmują jego wolną przestrzeń. Jednakże w niektórych przypadkach, szczególnie gdy średnica drenu jest mała, nastąpić może zmiana charakteru pracy drenu z pracy swobodnej na pracę pod ciśnieniem. W konsekwencji zmniejszy się może ilość odbieranej z instalacji wody i podniesienie poziomu wody podziemnej. Rysunek 7 przedstawia wykres zmian przepustowości drenu pracującego swobodnie po wprowadzeniu do niego rurek wymiennika ciepła. Jak widać, w drenach o średnicach 150 i 310 mm zachowana zostaje w 100% pierwotna przepustowość przy wprowadzeniu rurek wymiennika ciepła o średnicach do 60,3 mm. Wykres na rysunku 7 wykonano dla podobnych założeń jak wykres na rysunku 6 z uwzględnieniem wolnej przestrzeni.

4. WARUNKI ODBIORU ENERGII Z INSTALACJI

Na rysunku 8 przedstawiono poglądowo schemat działania wymiennika ciepła w postaci rurek umieszczonych w drenie, w których cyrkuluje nośnik ciepła.

Przestrzeń porowa gruntu wypełniona może być fazą ciekłą lub gazową. Energia cieplna zawarta w gruncie jest sumą energii zawartej w fazie stałej (szkielecie gruntu), ciekłej (wodzie), i gazowej (powietrzu). Dreny instaluje się przeważnie w celu odbierania nadmiaru wody znajdującej się w gruncie. Z wody odprowadzanej drenem można odbierać

energię cieplną. Woda gruntowa może mieć podwyższoną mineralizację. Możliwe jest wtedy odebranie większej ilości energii ze względu na obniżoną temperaturę zamarzania wody. W drenach odbierających odcieki z wysypisk odpadów panują podwyższone temperatury ze względu na procesy związane z przemianami biologicznymi i chemicznymi w składowanej masie odpadów. W przypadku drenów mających za zadanie odwadnianie gruntów pod drogami, parkingami, płytami lotnisk, itp. można liczyć się z podwyższoną temperaturą wody gruntowej, co jest wynikiem zwiększonej absorpcji ciepła pochodzącego od promieniowania słonecznego. Można równocześnie rozważyć zastosowanie układu do podgrzewania powierzchni w celu roztopienia zalegającego śniegu i/lub lodu [7]. Należy rozważyć również wpływ układu wymiany ciepła na wegetację roślin, zwłaszcza jeśli dreny służą regulacji stosunków wodnych na terenach rolniczych.



Rys. 8. Schemat układu odbioru ciepła z drenu

Wymienione przykłady ukazują korzystne przypadki zastosowania układu odbioru ciepła poprzez wykorzystanie istniejących otworów drenażowych. Z przytoczonych przykładów wynika, że możliwe jest uzyskanie większej ilości energii poprzez wzrost różnicy temperatur nośnika ciepła wpływającego i wypływającego z systemu rurek wymiennika ciepła. Nieprzerwane odbieranie ciepła może powodować jednak znaczne wychłodzenie gruntu. Dłuższa eksploatacja energii może prowadzić do spadku temperatury otoczenia rurek wymiennika z nośnikiem ciepła poniżej temperatury zamarzania wody. Konsekwencją może być zamarznięcie wody w kanale drenowym, a także w gruncie otaczającym dren. W takim przypadku drenaż przestaje spełniać swoją funkcję (odprowadzanie wody). Może również wystąpić niebezpieczeństwo zniszczenia drenu i kolektora w nim zainstalowanego. Aby uniknąć takiej sytuacji, należy stosować cykliczną eksploatację źródła ciepła [3]. Polega ona na eksploatacji energii cieplnej z przerwami, podczas których zasoby ciepła będą się regenerować na drodze konwekcji i kondukcji z gruntu znajdującego się w większej odległości od drenów z rurkami wymiennika ciepła. Można w sprzyjających warunkach pracy drenu oraz układu grzewczo-klimatyzacyjnego stosować magazynowanie ciepła. W takim przypadku pompa ciepła pracuje jako chłodziarka (klimatyzator) i transportuje energię cieplną do drenu. Następnie przekazywana jest do gruntu i magazynowana celem wykorzystania w sezonie grzewczym.

5. WNIOSKI

- Wykorzystanie drenów do odbierania ciepła zawartego w gruncie i w odprowadzanej wodzie gruntowej możliwe jest po wprowadzeniu do niego rurek, w których cyrkulować będzie czynnik grzewczy. Wykonanie takiego zabiegu jest możliwe dzięki zastosowaniu technik bezwykopowych. Korzyścią jest brak prac ziemnych, jakie wykonuje się przy instalowaniu rurek kolektora gruntowego. Nie ma konieczności wprowadzania nowych elementów wprost do gruntu. Pociąga to za sobą obniżenie kosztów wykonania źródła energii w oparciu o pompę ciepła z wymiennikiem gruntowym.
- Zastosowanie rozwiązania musi być poprzedzone analizą możliwych zmian w funkcjonowaniu drenu. Zmniejszy się jego przepustowość, istnieje możliwość zamarznięcia wody w drenie i otaczającym gruncie. Instalacja utrudni również prace konserwatorskie polegające na czyszczeniu drenu.
- W celu dalszej analizy należy rozważyć sposób ułożenia rurek wymiennika ciepła w drenie i kierunek przepływu nośnika ciepła, jak również częściową izolację rurek.
- Ekonomiczna opłacalność powinna być potwierdzona teoretycznymi i doświadczalnymi badaniami warunków wymiany ciepła w opisywanym układzie oraz badaniami wpływu zastosowanej instalacji na funkcjonowanie systemu drenażowego.
- Rozwiązanie może dawać dobre rezultaty energetyczne po jego zastosowaniu w drenach wykonanych pod dużymi powierzchniami charakteryzującymi się możliwością absorbowania promieniowania słonecznego (parkingi, płyty lotnisk, drogi, boiska, itp.) oraz w układach drenowania wysypisk odpadów. Układ może służyć również do magazynowania ciepła i odładzania powierzchni.

LITERATURA

- [1] Gabryszewski T., Wieczysty A.: *Ujęcia wód podziemnych*. Warszawa, Wydawnictwo Arkady 1985
- [2] Gabryszewski T.: *Wodociągi*. Warszawa, Wydawnictwo Arkady 1983
- [3] Pająk L.: *Model numeryczny rozwoju strefy przemarzania gruntu w warunkach eksploatacji energii cieplnej*. Studia Rozprawy Monografie nr 88, Kraków, Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN 2001
- [4] *Vademecum bezwykopowych technologii budowy, renowacji, napraw, wymiany rurociągów i instalacji podziemnych*. Technologie Bezwykopowe, PFTT, ISBN 83-915-04530
- [5] Rubik M.: *Pompy ciepła. Poradnik*. Warszawa, Branżowy Ośrodek Informacji Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej „Instal” 1996
- [6] Wojtyszyn W.: *Wykorzystanie nowoczesnych technologii bezwykopowych przy oczyszczaniu środowiska wodno-gruntowego z zanieczyszczeń ropopochodnych*. NTTB, nr 3, 1999
- [7] Zwarycz K.: *Snow melting and heating systems based on geothermal heat pumps at Goleniów Airport, Poland*. Reports of the United Nations University Geothermal Training Programme in 2002, Reykiavik, 2003