

Fundamenty palowe – jako elementy instalacji pozyskującej energię ciepłą z gruntu w instalacjach pomp ciepła – termopale



mgr inż.
Piotr Rychlewski



mgr inż.
Witold Jurasz



mgr inż.
Jakub Sierant

Ostrożnie można przyjąć, że pomimo złożoności projektowej zagadnienia technologia pali energetycznych jest bezpieczna w stosowaniu.

Tematyka wykorzystania elementów konstrukcyjnych budowli w postaci fundamentów jako odbiorników ciepła naturalnego jest w Polsce mało znana, lecz w obliczu zwiększających się gwałtownie kosztów energii konwencjonalnej oraz skutków ubocznych, z całym kompletem problemów związanych z efektem cieplarnianym i zanieczyszczeniem środowiska, szeroko badana w krajach wysoko rozwiniętych.

Podstawą wykorzystania fundamentów głębokich jako elementów odbiorowych energii cieplnej gruntu jest znikomy koszt wyposażenia ich w odpowiednią instalację w stosunku do całłościowych kosztów ich realizacji. Potrzeba zagospodarowania wciąż nowych lokalizacji, często geotechnicznie trudnych, zwiększa zakres stosowania fundamentów przenoszących obciążenia na warstwy położone na znacznej głębokości. Z punktu widzenia fizyki cieplnej gruntu im głębiej – tym lepsze warunki do pozyskiwania energii odnawialnej, jaką oferuje nam natura. Zastosowanie zatem głębokich fundamentów jako czynników, które mogą dawać dodatkowe korzyści w późniejszym funkcjonowaniu obiektu jako całości, wydaje się być naturalnym procesem.

Na świecie prace badawcze nad niniejszym zagadnieniem prowadzone są od wielu lat, USA, Japonia czy Niemcy wdrożyły już całe systemy pozyskiwania ciepła z zastosowaniem fundamentów głębokich. Wiodące w tym zakresie są kraje, w których ze względu na ukształtowanie geologiczne, położenie w strefach oddziaływań sejsmicznych oraz wysoki rozwój techniki na szeroką skalę stosowano już głębokie fundamentowanie obiektów. Nadanie im zatem dodatkowych cech użytkowych (odbiorników ciepła) było naturalnym następstwem postępu technicznego w ramach danej technologii.

Zasada działania systemu pobierającego energię ciepłą z gruntu w przypadku technologii głębokiego fundamentowania jest bardzo prosta. Nie odbiega ona w zasadzie od powszechnie stosowanej metody wykorzystującej pompy ciepła z dolnym źródłem jego poboru z głębokich odwiertów pionowych. Różnica polega na znacznie mniejszym poziomie zagłębienia w gruncie. Zmniejszenie głębokości odwiertów skutkuje obniżeniem sprawności pojedynczego przewodu wymiennika ze względu na mniejsze różnice między temperaturą powietrza a temperaturą ośrodka (gruntu), czyli parametru

podstawowego odpowiedzialnego za poziom efektywności danego systemu. Jednocześnie dużo większa liczba elementów koniecznych do wykonania (kilkadziesiąt pali kontra przeważnie kilka sztuk odwiertów głębokich) rekompensuje w pewnym stopniu spadek sprawności układu. Natomiast brak znacznych dodatkowych kosztów, poza koniecznością montażu rurek z czynnikiem grzeijnym na szkieletie stalowym elementów fundamentowych, przemawia za korzystaniem z tego typu rozwiązania. Możliwym i często stosowanym rozwiązaniem jest połączenie dwóch współpracujących układów: głębokie fundamenty plus dodatkowe odwierty pionowe znacznych głębokości. Poprawia to znacznie moc grzewczą całego układu.

Zasadność zastosowania rozpatrywanego rozwiązania zwiększa się znacznie w przypadku budowli o znacznych gabarytach oraz wymagających solidnego posadowienia, których część jest posadowiona poniżej poziomu terenu. Doskonałym przykładem są tutaj wieżowce.

Kolejnym przykładem, gdzie wykorzystuje się poza walorami konstrukcyjnymi fundamentów głębokich ich wartość energetyczną, jest zastosowanie systemu pozyskiwania ciepła w obiektach mostowych. Takie rozwiązanie stosowane jest za naszą zachodnią granicą na szeroką skalę, dając bardzo wymierne korzyści w eksploatacji obiektów.

W tym przypadku wykorzystuje się ciepło gruntu w okresie zimowym jako system odładzający jezdnię na obiektach mostowych, gdzie zjawisko zaleźnienia występuje najczęściej. Ponadto utrzymanie w skali całego roku zbliźnionego bilansu cieplnego obiektu wpływa korzystnie na wydłużenie czasu jego eksploatacji.

We wszystkich wymienionych przykładach można oczywiście wykorzystać

zjawisko sprzężenia zwrotnego, tj. wzajemnego oddziaływania fundament – budowla, a także w kierunku przeciwnym budowla – fundament.

1. Okres zimowy:

Pozyskiwanie ciepła z gruntu o wyższej temperaturze niż temperatura powietrza i przekazywanie go jako czynnika grzeijnego do budowli.

2. Okres letni:

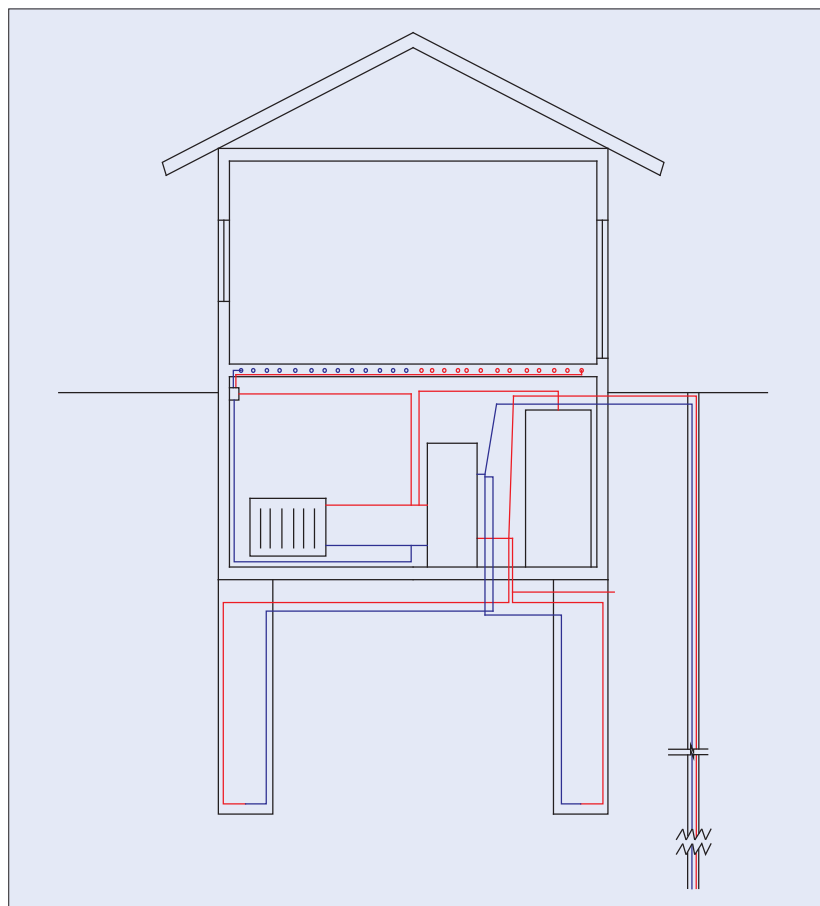
2a) wykorzystanie niższych temperatur podłoża względem powietrza i poprzez system wymiany powietrza schładzanie pomieszczeń;

2b) odbiór energii z otoczenia (wysoka temperatura powietrza, oddziaływanie promieniowania słonecznego) przez budowlę i przekazanie go do części fundamentowej. Następuje wówczas magazynowanie energii cieplnej w tzw. akumulatorze ziemnym i przez podniesienie temperatury otoczenia fundamentu korzystniejszy bilans cieplny przy pozyskiwaniu ciepła w okresie zimowym.

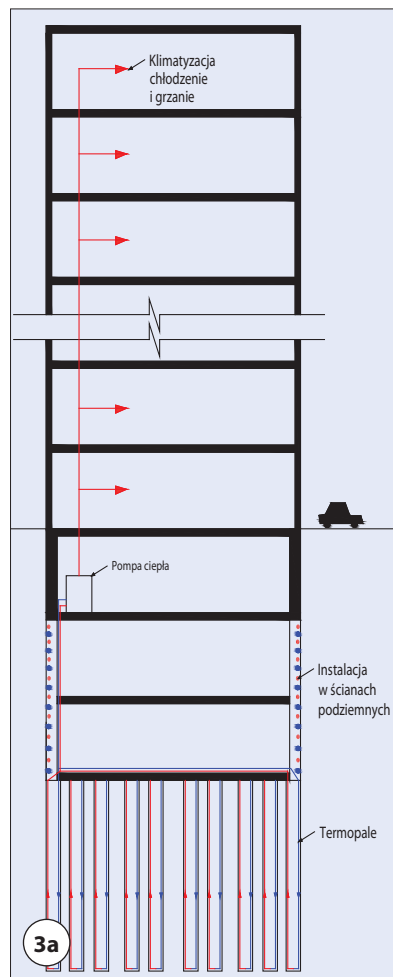
Przedstawione procesy są oczywiście zależne od faktycznych uwarunkowań



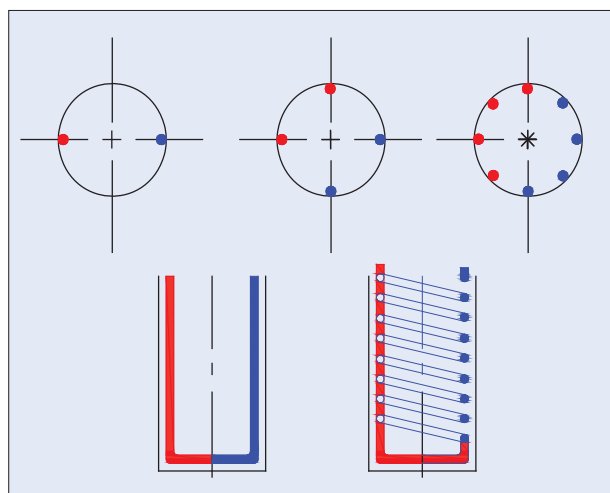
Fot. 1 | Urządzenie wiertnicze – Nordmeyer DSB2/10 (fot. archiwum Mostmarpał)



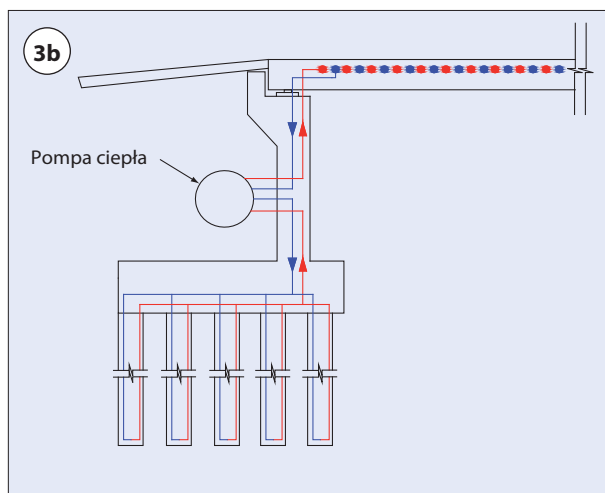
Rys. 1 | Przykładowy schemat budynku posadzonego na palach z wykorzystaniem ich jako czynnika wspomagającego ogrzewanie budynku pompą ciepła zasilaną pionowymi odwiertami głębokimi



3a



Rys. 2 | Na przykładzie pali wielkośrednicowych przedstawiono poniżej sposoby rozwiązania różnych układów montażu rurek do szkieletu stalowego



3b

Rys. 3a | Przykład przedstawia wykorzystanie głębokiego posadzenia obiektu w celu maksymalnego wykorzystania potencjału cieplnego podłoża

Tab. 1 | Specyficzne moce poboru pionowych wymienników ciepła dla 1800 i 2400 rocznych godzin pracy

Grunt	Współczynnik mocy cieplnej	
	przy 1800 godzinach pracy	przy 2400 godzinach pracy
Suchy żwir, piasek	>25 W/m	>20 W/m
Zawodniony żwir, piasek	60–80 W/m	55–65 W/m
Silnie zawodniony żwir, piasek	80–100 W/m	80–100 W/m
Iły, gliny	35–50 W/m	30–40 W/m
Wapienie (masywne)	55–70 W/m	45–60 W/m
Piaskowce	65–80 W/m	55–65 W/m
Kwaśne skały magmowe (np. granity)	65–85 W/m	55–70 W/m
Zasadowe skały magmowe (np. bazalty)	40–65 W/m	35–55 W/m
Gnejsy	70–85 W/m	60–70 W/m

Źródło: firma Haka.Gerodur – www.hakagerodur.ch

gruntowych, w jakich przychodzi realizować dane przedsięwzięcie.

W skrócie ujmując, można powiedzieć, że **grunty nawodnione**, gdzie następuje ciągła wymiana temperatury między gruntem a wodą w nim występującą, **nadają się świetnie do pozyskiwania ciepła w okresie zimowym oraz w celach schładzania instalacji w okresie letnim**. Sprawność instalacji znacznie wówczas wzrasta. Jednak grunty te mają mniejsze zastosowanie jako magazyny ciepła, a tym samym wykorzystanie dobrych cech cieplnych części naziemnej jest w tym przypadku gorsze.

Odmierna sytuacja ma miejsce w gruntach skalistych. Tutaj efekt magazynowania ciepła ma sens, natomiast stopień wychładzania się gruntu w procesie pozyskiwania z niego ciepła można określić jako niekorzystny.

Nie ma obecnie dostępnych na naszym rynku informacji szczegółowych co do rzeczywistych mocy cieplnych dla konkretnych rozwiązań fundamentów. Określając więc możliwy uzysk mocy cieplnej dla danej geologii, kierować się można rozwiązaniami dostępnymi dla pionowych wymienników ciepła. Istotne w tym przypadku jest uwzględnienie problematyki związanej z bezpośrednim oddziaływaniem temperatury zewnętrznej powietrza na

ośrodek gruntowy – stosunkowo niewielkie głębokości posadowienia pali. Pomiary dokonywane na istniejących już instalacjach pozwalają postawić tezę, że faktyczny spadek mocy oscyluje na poziomie od –40% do –60% w stosunku do pionowych wymienników ciepła w danym ośrodku gruntowym.

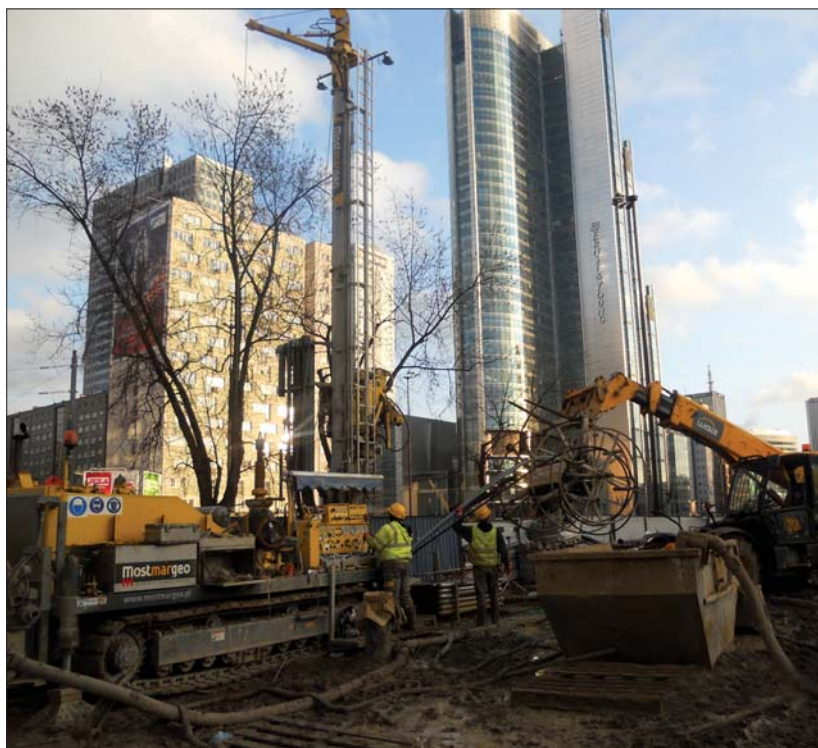
Oczywiście przytoczone przykłady otwierają jedynie rozległą tematykę własności cieplnych gruntu, a każda kolejna tego typu inwestycja powinna być rozpatrywana indywidualnie. Jednak proces weryfikacji i gromadzenia wszelkich danych związanych z zagadnieniem powinien być stale kontrolowany, poszerzany i ujednoczany w celu stworzenia procedur umożliwiających potencjalnemu inwestorowi zastosowanie gotowych rozwiązań, a przez to poprawę fizyki cieplnej budowli oraz zwiększenie zaangażowania energii czystej, odnawialnej w stosunku do konwencjonalnych źródeł energii.

Paletę rozwiązań technicznych dla formy dolnego źródła ciepła (energii)

w kategorii konstrukcji dwufunkcyjnych uzupełniają **mikropale energetyczne (geotermalne)**. Zyskujące na popularności mikropale jako alternatywne równoprawne elementy posadowienia, ze względu na filozofię pracy opartą na grupowości, doskonale wpasowują się w ideę aktywnych energetycznie fundamentów. Zaletą technologii jest jej efektywność i łatwość instalacji. Fundamenty mikropalowe projektowane są zazwyczaj jako grupa współpracujących pojedynczych elementów, zapewniając tym samym dostęp do odpowiedniej liczby możliwych do zabudowania wymienników. Rozwiązanie oparte jest na systemie mikropali samowierzących CFG i w zakresie wykonawstwa proces instalacji nie odbiega właściwie od procedury wykonania klasycznego mikropala CFG. Wykorzystuje się ten sam sprzęt wiertniczy, zestaw iniekcyjny i ten sam komplet elementów tworzących mikropal. Jego wykorzystanie do przekazywania energii górotworu wymaga uzbrojenia w dodatkowy

Tab. 2 | Mikropale energetyczne: zestawienie wartości teoretycznych i pomierzonych

Parametr	Jednostki	Wartość normowa (teoretyczna)	Wartość zmierzona
Przewodność cieplna λ	[W/mK]	2,4	3,8
Efektywność grzewcza Q_h	[W/m]	40–70	105–111



Fot. 2 | Wykonanie dolnego źródła pod biurowiec w Warszawie (fot. archiwum Mostmarpal)



Fot. 3 | Próba szczelności instalacji sondy pionowej za pomocą pompki ROTTENBERGA (fot. archiwum Mostmarpal)

przewód, który zainstalowany współosiowo do rurowego zbrojenia tworzy wraz z nim zamknięty obieg krążenia medium. Ta prosta idea i kilka dodatkowych akcesoriów, w które trzeba wyposażać mikropale, pozwalają niskim nakładem dodatkowej pracy i kosztów przekształcić fundament w dolne źródło ciepła. Zakres zastosowań jest szeroki i pokrywa się częściowo z polami stosowania pali energetycznych dużych średnic, jednak wiele cech typowych dla technologii mikropali – jak możliwość operowania na ograniczonej przestrzeni lub w trudno dostępnym terenie – stwarza dodatkowe możliwości. Wzmocnienie posadowienia z wykorzystaniem mikropali wykonywane przy naprawie bądź modernizacji obiektu pozwala przy tej okazji na jego dozbrowienie w instalację geotermalną. Mikropale doskonale sprawdzają się ponadto jako elementy posadowienia wykonywane na terenach, gdzie wprowadzenie pali dużych średnic może być problematyczne, czy to ze względu na warunki w podłożu wymagające udarowych technik wiercenia (flisz) czy też z powodu dostępu palownicy. Z technicznego punktu widzenia technologia mikropali energetycznych CFG jest gotowa do użycia. Rozwiązanie konstrukcyjne jest sprawdzone, a poprawność i skuteczność funkcjonowania mikropali obciążonych termicznie zweryfikowana w programie badawczym*. Określone w jego trakcie charakterystyki pracy mikropali energetycznych okazały się niezwykle korzystne. Wyniki badań wykazały, że osiągnięte kluczowe wartości parametrów cieplnych są wyższe od zakładanych dotychczas i podawanych do stosowania przy projektowaniu klasycznych otworowych wymienników, np. według niemieckich wytycznych dotyczących płytkiej geotermii VDI 4640. Badania porównawcze w tych samych warunkach wykazały

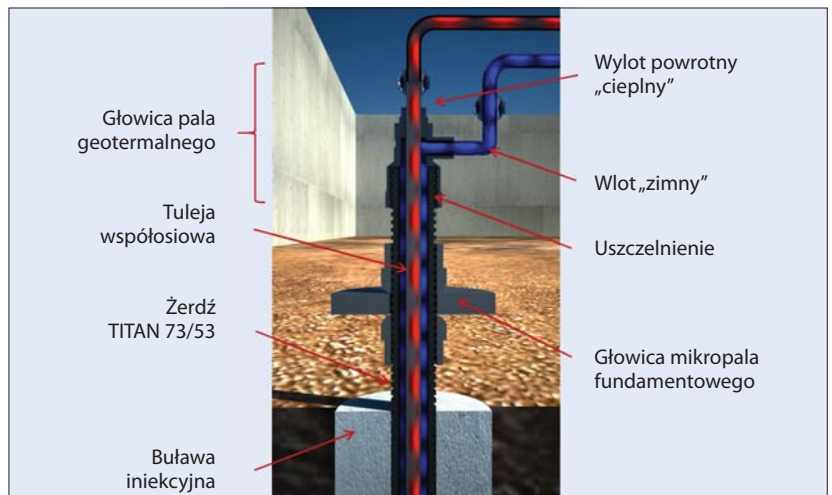


Fot. 4 | Wiercenie mikropala energetycznego



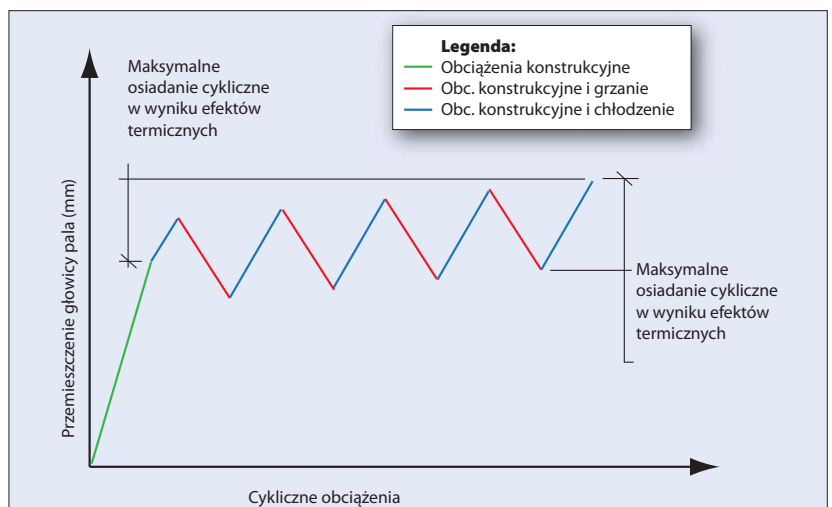
Fot. 5 | Próbné obciążenia mikropala energetycznego

efektywność mikropali energetycznych wyższą o ok. 30% w stosunku do klasycznych sond otworowych. Wykonano również symulacje funkcjonalności instalacji geotermalnej z wykorzystaniem mikropali energetycznych na tle klasycznych sond otworowych. Ustalono, że w założonym okresie eksploatacyjnym temperatura przepływającego medium spada z początkowych 8,2° do 4,5°, podczas gdy dla sond temperatura ta spada aż do 2,1°. Wyniki testu wskazują na długoletnią sprawność układu i znaczne ograniczenie efektu przemarzania ośrodka. W trakcie badań zweryfikowano pozytywnie również nośność mikropali oraz szczelność układu po obciążeniu.



Rys. 4

Schemat ideowy mikropala energetycznego z głowicą





Fot. 6 | Próba ciśnienia i szczelności

Biorąc pod uwagę korzyści ekonomiczne, **idea podwójnego wykorzystania pali/mikropali wydaje się bardzo obiecująca**. Stopień zaawansowania technologicznego termopali już teraz pozwala na efektywne wykorzystanie elementów posadowienia do celów pozyskiwania i magazynowania energii. Do właściwego i bezpiecznego korzystania niezbędny jest jednak odpowiedni aparat projektowy. Projektowanie **fundamentów energetycznych** to zagadnienie

interdyscyplinarne, łączące przynajmniej cztery branże, w najogólniejszej charakterystyce:

- Geologa – do określenia przydatności i charakterystyki geotermalnej podłoża.
- Architekta – do określenia zapotrzebowania obiektu na moc (ciepło/chłódzenie), głównych założeń co do sposobu jego realizacji, wyposażenia itp.
- Projektanta systemów pomp ciepła – do określenia wszystkich parametrów i szczegółów systemu pozyskiwania energii z gruntu.
- Konstruktora – do określenia zakresu obciążeń, warunków użyteczności, szczegółów posadowienia

O ile projektowanie pali nie stanowi obecnie większego problemu, o tyle zagadnienia projektowe związane z połączeniem obciążeń konstrukcyjnych i termicznych nieco sprawę komplikują. Wpływ obciążeń termicznych, w dodatku cyklicznych, może mieć znaczący wpływ na konstrukcję i sposób funkcjonowania pala energetycznego. W dodatkowych analizach należy uwzględnić m.in.: wpływ grzania i chłodzenia na parametry wytrzymałościowe ośrodka gruntowego; osiowe i radialne rozszerzenie (i kurczenie) materiału pala oraz wpływ tego

zjawiska na nośność i przemieszczenia; dodatkowe naprężenia wywołane zmianami termicznymi; wpływ cykliczności zmian termicznych na pale i ich współpracę z gruntem.

Większość z tych zagadnień jest obecnie przedmiotem badań i analiz, świadomość sposobu funkcjonowania fundamentów energetycznych jest coraz większa, a tym samym również dostępne narzędzia projektowe stają się coraz doskonalsze. Ostrożnie można przyjąć, że pomimo złożoności projektowej zagadnienia technologia jest bezpieczna w stosowaniu. Potwierdzają to obiekty już wykonane z funkcjonującymi sprawnie palami energetycznymi. Obiekty te, opomiarowane ogromną liczbą różnych czujników, są żywymi modelami, dostarczającymi coraz to nowszych informacji o pracy konstrukcji w pełnej skali.

Literatura

1. AIF Kooperationsprojekt – KU 0503801A T7, IBH – Herold&Partner Ingenieure, 2009.
2. Thermal Pile Design, Installation & Materials Standards, GSHP Association, 2012.
3. Richtlinienreihe VDI 4640 Thermische Nutzung des Untergrunds. ■