

► Guido Kania, Daniel Gottschalk

# Nowe rozwiązania w przypowierzchniowej geotermii

## Sondy geotermalne

### – z jakich materiałów i dlaczego... PE-X?

Odpowiedź na pytanie, która generacja materiałów do produkcji sond geotermalnych będzie najkorzystniejsza, znajduje się w dalszej części niniejszego opracowania i powstała w oparciu o raporty z badań laboratoryjnych i praktycznych, i tym samym stanowi przewodnik dla projektanta, wykonawcy odwiertu i użytkownika podczas podejmowania decyzji o wyborze materiału.

■ Do lat 90. montowano głównie sondy podwójne U na głębokości do 100 m. Ze względu na wzrost temperatury gruntu wraz ze wzrostem głębokości i związaną z tym możliwą większą wydajnością grzewczą obserwujemy tendencję do stosowania coraz dłuższych sond geotermalnych – szczególnie w termomodernizacji starego budownictwa, gdzie przestrzeń jest ograniczona ze względu na zabudowę. Obecnie technicznie możliwy jest montaż na głębokości kilkuset metrów, jednak powoduje to znacznie wyższe wymagania w stosunku do materiału stosowanego do produkcji sond niż kiedyś.

Na znaczeniu zyskuje również stosowanie chłodzenia geotermalnego (free cooling) oraz połączenie ogrzewania i chłodzenia geotermalnego. Nowoczesne systemy muszą być przygotowane również na szybką regenerację dolnego źródła ciepła, czyli gruntu np. poprzez wykorzystanie nadwyżki ciepła

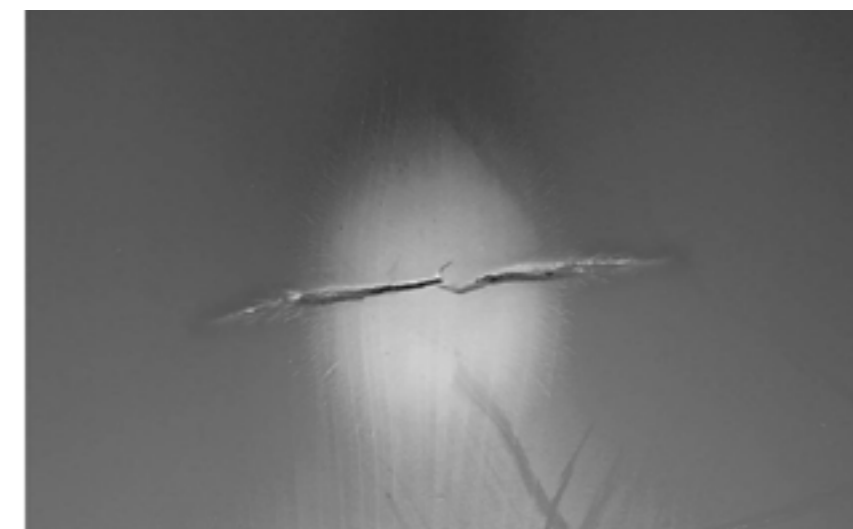
pochodzącego z kolektorów słonecznych. Ponadto musi być zapewniona niezawodność funkcjonowania przez kilkadziesiąt lat. Odpowiedzialny projektant nie powinien projektować w instalacji sond geotermalnych z niskojakościowych systemów rur o niewielkiej odporności na obciążenia punktowe, zaprojektowanych na maksymalną temperaturę zaledwie 40°C. Nie powinien liczyć na to, że podczas montażu i użytkowania nie wystąpią żadne nadzwyczajne obciążenia (punktowe, w postaci rys itd.). Należy, a priori, zastosować wygodny w montażu i sprawdzony system rur, którego wytrzymałość na obciążenia punktowe, propagację spękań i temperatury do 95°C została zbadana i potwierdzona w laboratorium badawczym lub w praktyce. Jest to ważne, ponieważ nawet jedno uszkodzenie sondy geotermalnej spowodowałoby nie tylko przerwanie pracy całej instalacji, ale

także pociągnęłoby za sobą wysokie koszty (wykonanie nowego odwiertu, montaż nowej sondy), które znacznie przewyższają różnicę cenową między sondą o wysokim poziomie bezpieczeństwa i zwykłą sondą z polietylenu.

#### Klasyfikacja pionowych sond geotermalnych z tworzyw sztucznych

##### PE100

Systemy pełnościennych rur ciśnieniowych ze standardowego materiału PE100 według PN-EN 12201 / PN-EN 1555 oraz DIN 8074 / DIN 8075 sprawdziły się w ciągu kilkadziesiąt lat w instalacjach wodnych i gazowych. Jednak ze względu na powszechnie znaną ograniczoną odporność tego materiału na powolne powstawanie rys, wymagającą dla prawidłowego montażu zawsze podsypki piaskowej chroniącej rurę przed obciąże-

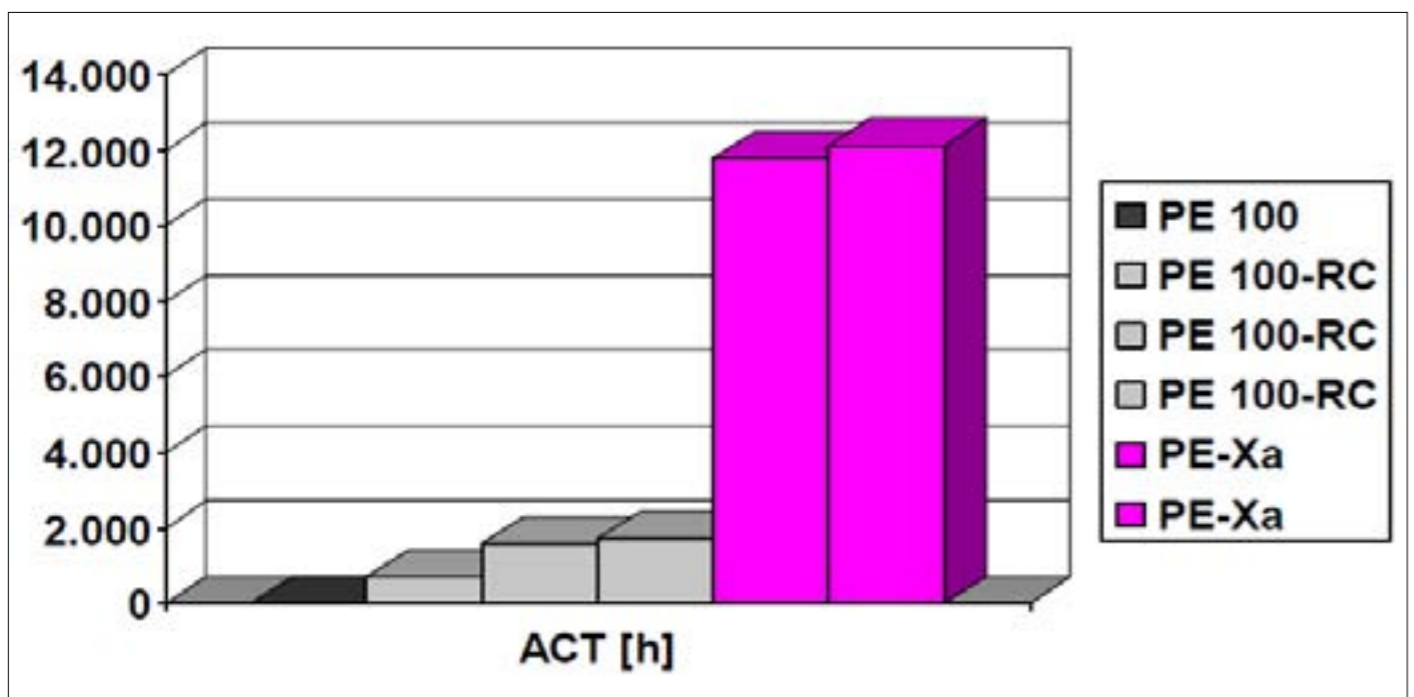


Obraz sondy geotermalnej PE100 uszkodzonej w wyniku oddziaływania obciążeń punktowych (widok wewnętrznej ścianki rury, obciążenie punktowe z zewnątrz)



Odporna na obciążenia punktowe podwójna sonda U z PE-Xa wg PN-EN ISO 15875

niami punktowymi. Z tego powodu systemy rur tego typu są stosowane jeszcze tylko do mało wymagających technik układania, np. konwencjonalnego układania w podsypce piaskowej w otwartych wykopach. Początkowo tego typu systemy rurowe były stosowane do produkcji pionowych sond geotermalnych według VDI 4640. W zasadzie najbardziej obciążonym elementem systemu jest akurat głowica sondy, na którą długotrwale i w największym stopniu oddziałuje



Wyniki dla różnych materiałów rur w metodzie ACT

ciśnienie hydrostatyczne solanki, po tym jak przy montażu musiała przejść przez całą długość wykopu. Jednak szybko okazało się, że przy wprowadzaniu takich sond w wykop stale powstawały rysy i karby na rurach. Oprócz tego systemy sond wykonanych ze zwykłego tworzywa PE100 muszą być po montażu z każdej strony izolowane materiałem wypełniającym i chroniącym przed obciążeniami punktowymi. Jednak z doświadczeń wynika, że nie można na całej długości osiągnąć warunków, w których sonda jest umocowana centralnie w wykopie i materiał wypełniający chroni rurę sondy z każdej strony przed obciążeniami punktowymi ze skał. Tym samym trzeba liczyć się z wystąpieniem stałych obciążeń punktowych działających na system przez kilkadziesiąt lat w bezpośrednim otoczeniu przewodu rurowego. Powszechnie znane obliczenia FEM (metoda elementów skończonych) pokazują wyraźnie, że w przypadku rury ciśnieniowej

w użytkowanej instalacji maksymalne naprężenie, które musi wytrzymać rura, występuje na wewnętrznej ścianie rury. Wskutek tego rura obciążona w ten sposób, która nie jest dodatkowo chroniona, zostanie uszkodzona począwszy od punktu występowania największego naprężenia w wyniku powolnego powstawania rys. Mechanizmy uszkodzenia zostały dostatecznie zbadane, ustalono również metody badawcze do oceny jakości rur pod względem odporności na obciążenia punktowe. Sondy geotermalne, na które oddziałują jednocześnie ciśnienie wewnętrzne i zewnętrzne obciążenia punktowe, ulegają uszkodzeniu zazwyczaj po kilku latach działania obciążeń punktowych, pękają bez widocznych wycieków. Skutkiem tego jest wyciek solanki z sondy geotermalnej. Zakłóca to obieg solanki, a funkcjonowanie całej instalacji geotermalnej jest nieprawidłowe. W razie potrzeby w awaryjnym trybie pracy można przełączyć

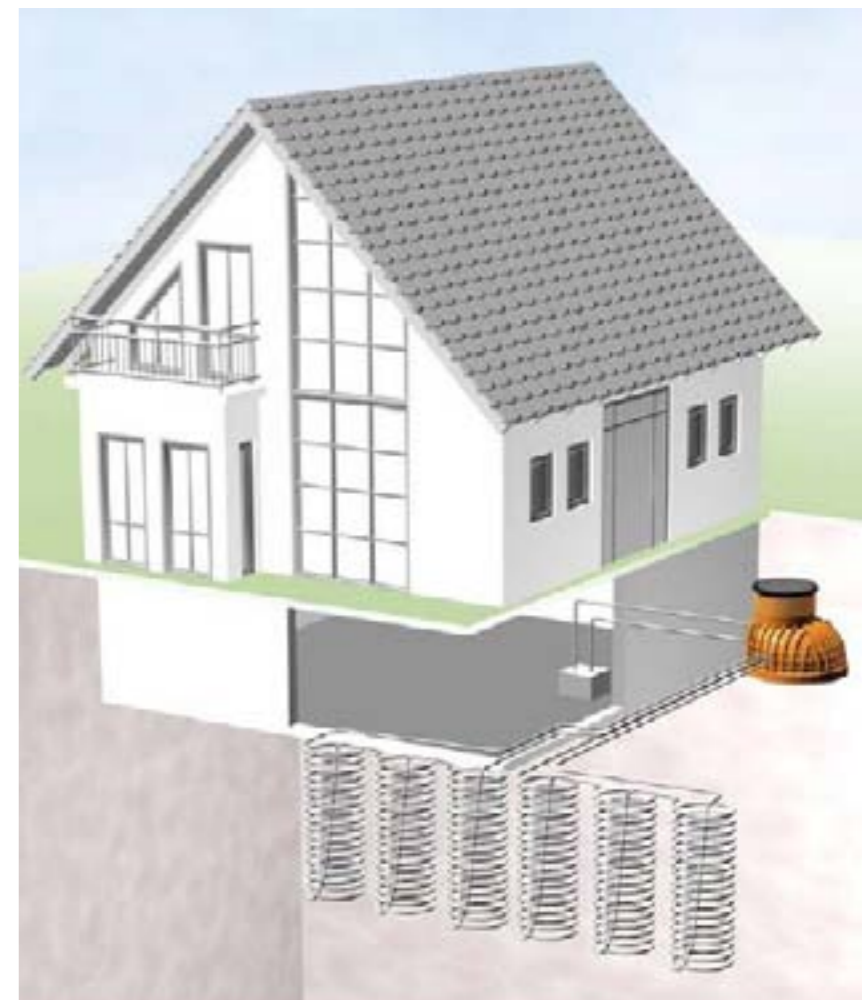
na jeszcze dostępne, działające obwody sond, o ile przewidziano odpowiednie zawory odcinające i jeśli są one dostępne szybko oraz bez wykonywania prac ziemnych.

### PE100-RC

Nieco bardziej odporne na tego typu mechanizmy uszkodzeń przez obciążenia punktowe są pionowe sondy geotermalne produkowane z PE szczególnie odpornego na powolne powstawanie rys np. PE 100-RC resistant to crack, które najczęściej bazują na kopolimerach uzyskanych z heksenu. Nawet jeśli sondy z PE 100-RC są bardziej odporne na obciążenia punktowe w porównaniu do sond z PE 100, w dalszym ciągu zarówno sondy PE 100-RC, jak również PE 100 mają tę samą wadę, którą jest ograniczona odporność na temperaturę. Przy temperaturze około 40°C właściwości tych rur gwałtownie się pogarszają. Regulacje dotyczące tych systemów rur zostały pierwszy raz ujęte w PAS 1075 (Publicly Available Specification = Powszechnie Dostępna Specyfikacja) „Rury z polietyleny do niestandardowych technik układania – średnice, wymagania techniczne i kontrola”, jednak dodatkowo odpowiadają również wszystkim podstawowym wymaganiom zgodnie z DIN 8074/75 wzgl. PN-EN 12201 / PN-EN 1555 / PN-EN 13244 wzgl. VDI 4640. Sondy geotermalne z PE 100-RC wg PAS 1075 muszą podlegać regularnej wewnętrznej i zewnętrznej kontroli jakości przez akredytowane laboratorium badawcze, które potwierdzi osiągnięcie minimalnego okresu użytkowania wynoszącego 100 lat także przy typowym spotykanym na budowie wypełnieniu wykopu i technice układania oraz mimo obciążeń punktowych działających na rurę. Użytkownik i projektant powinni jednak po-



Sonda PE-Xa z głowicą o optymalnym przepływie hydraulicznym bez żadnych połączeń spawanych



Montaż sond spiralnych z PE-Xa



Nowa sonda spiralna z PE-Xa (zapakowana do transportu i przygotowana do montażu)

stępować szczególnie ostrożnie w przypadku sond geotermalnych, które wprowadzane są zachwalane jako „odporne na obciążenia punktowe” lub są produkowane z samodzielnie wybranych materiałów o nazwach niezastrzeżonych jak np. PE 100 VRC, PE 100 RC plus itd. W przypadku takich sond istnieje wątpliwość, czy dostarczona na budowę rura rzeczywiście jest wykonana ze 100% PE 100-RC zgodnie z PAS 1075. Procedury wymagane do oceny minimalnego okresu użytkowania wynoszącego 100 lat dla sond PE 100-RC oraz warunków budowlanych są ustalone i akredytowane. Szczególnie dobre okazały się metoda badawcza FNCT (test karbu), próba odporności na obciążenia punktowe i starzenie termiczne. Przy znanej zależności okazało się ponadto sensowne skrócenie czasów badania przy pierwszym badaniu i badaniu kontrolnym poprzez przyspieszoną procedurę badawczą. W związku z tym duże znaczenie ma test

żywności ACT (accelerated creep test). Dlatego opublikowany dokument PAS 1075 jest krokiem milowym w zapewnieniu jakości również tego typu pionowych sond geotermalnych z tworzywa PE 100-RC, które wykracza daleko poza poziom techniki niesieciowanych sond geotermalnych znany dotychczas z VDI 4640. Minimalnym wymaganiem dla jakości surowca takich systemów rurowych okazała się wartość ACT > 320 h (mierzona na granulacie każdej partii surowca), która w praktyce jest w pełni osiągalna. W bieżącej kontroli służącej zapewnieniu

jakości rur o pełnej ścianie produkowanych z tego materiału wartość powinna wynosić ACT > 160 h, mierzona na próbkach rury, przy częstotliwości badania co najmniej raz w roku.

### PE-Xa

Klasę premium w segmencie pionowych sond geotermalnych stanowi system sond z polietylenu sieciowanego PE-Xa wg PN-EN ISO 15875. Uznane wytyczne techniczne dotyczące testów wstępnych, aprobaty i zapewnienia jakości są dostępne dla nowego typu sond PE 100-RC w dokumencie PAS 1075 dopiero od czerwca 2009, natomiast norma PN-EN ISO 15875 istnieje już od wielu lat. Ponadto od kilkadziesiąt lat w milionach kilometrów rur ciśnieniowych z PE-Xa są transportowane w niezawodny sposób najważniejsze media takie, jak: gaz, woda i ścieki. Wyjątkowe właściwości polietylenu sieciowanego wysokociśnieniowo zostały opisane już przez jego wynalazcę Engla. Regularne sie-

ciowanie długich cząsteczek polietylenu w stanie płynnym poprzez powstawanie mostków węglowych (mniej więcej co dwusetny atom węgla) stanowi obecnie najlepszy mechanizm stosowany przeciwko powolnemu i szybkiemu powstawaniu rys w polietylenie. W porównaniu z bimodalnym PE 100 i PE 100-RC w przypadku PE-Xa wymagana jest nieporównywalnie większa energia aktywacji, aby rozerwać mostek węglowy, niż tylko do rozpadu cząsteczki polietylenu niesieciowanego. Z tego powodu systemy z PE-Xa wykazują najwyższy poziom bezpieczeństwa i odporności na powolne i szybkie powstawanie rys nawet przy wysokiej temperaturze roboczej.

Dla użytkownika i projektanta zrozumiałe i jednoznaczne przyzwolenie na zastosowanie systemów rur z PE-Xa przy układaniu w najtrudniejszych warunkach znajduje się już od 2004 roku w obowiązujących przepisach montażowych, np. w GW 323 z czerwca 2004 jako istotne wytyczne do bezwypukowej renowacji instalacji gazowych i wodnych metodą berstlinigu:

pkt. 4.4.2.1. Minimalne wymagania [dla materiału rury]:

„W przypadku rur PE-Xa nie jest wymagana dodatkowa zewnętrzna ochrona rury ze względu na wysoki stopień usieciowania i gęstości materiału”.

Dotychczas brakowało odpowiedniej metody badawczej, która mogła pokazać przewagę jakości tworzywa PE-Xa nad niesieciowanymi tworzywami poliolefinowymi takimi, jak PE 100-RC. Dzięki metodzie ACT udało się wykonać porównawcze badanie próbek z PE-Xa i próbek z PE 100 i PE 100-RC (rys.), bez wchodzenia w zakres badania starzenia termicznego ze względu na bardzo długi czas badania > 8760 h.

Wyniki badania porównawczego ACT pokazują, że obok znanej klasy PE100, która w badaniu ACT osiąga trwałość zaledwie 20-100 h, materiały PE 100-RC w badaniu próbek wykonanych z granulatu osiągają najczęściej trwałość 300-1900 h. Jeśli próbki pobiera się z ekstrudowanych rur, wówczas wyniki najczęściej są jeszcze niższe. Przy badaniu próbek z PE-Xa, które ze względu na skomplikowany proces produkcji tworzywa PE-Xa mogły być pozyskane tylko z ekstrudowanych rur, pęknięcie próbek następowało po 11 771 h i 12 124 h. Tym samym w metodzie ACT tworzywo PE-Xa w porównaniu z próbkami z PE 100-RC ma trwałość 17-krotnie dłuższą i tym samym wyższą jakość w długim okresie.

Oprócz przekonujących wyników badań ma-



Urządzenie do wykonania odwiertów na pionowe sondy geotermalne w kształcie spirali

teriatowych wielu użytkowników ceni wysoką elastyczność wytrzymałych sond geotermalnych PE-Xa wynikającą z niewielkiego stopnia krystaliczności PE-Xa. Systemy z PE 100-RC są bardziej sztywne niż z PE100, przez co szczególnie przy niskiej temperaturze układania wymagają użycia dużej siły do rozwijania zwoju, wprowadzenia w wykop lub do wykonania połączenia zgrzewanego. Elastyczne i wytrzymałe systemy rur z PE-Xa przekonują przede wszystkim wykonawców łatwą obsługą na budowie i bardzo małymi promieniami gięcia.

Tylko duża elastyczność tworzywa PE-Xa umożliwia zgięcie sondy pionowej w najbardziej obciążonym pod względem wytrzymałości miejscu, tj. przy głowicy sondy i tam,

w miejscu oddziaływania najwyższego ciśnienia hydrostatycznego, zamontować w całości sondę o optymalnych właściwościach hydraulicznych bez żadnych połączeń spawanych.

Ze względu na usieciowanie łańcuchów cząsteczkowych dobre właściwości ciśnieniowe systemów rur z PE-Xa są utrzymane także w wysokiej temperaturze. Umożliwia to wprowadzenie bezpośrednio w sondę pionową nadwyżkowego ciepła uzyskanego latem z kolektorów słonecznych w celu regeneracji gruntu dla temperatury na zasilaniu nawet do 95°C. Sondy PE-Xa mogą zatem służyć do magazynowania energii geotermalnej i stanowią tym samym przyszłościowe, efektywne energetycznie rozwiązanie.

## Nowe zastosowania systemów geotermalnych

Polietylen sieciowany PE-Xa ze względu na efekt pamięci kształtu umożliwia nadawanie nowych kształtów pionowym sondom geotermalnych.

Jeśli ekstrudowana rura zostanie uformowana w kształcie spirali i pozostawiona do schłodzenia, wówczas ten kształt zostanie zachowany. Dzięki temu możliwe jest wykonanie sondy pionowej w kształcie spirali, która pasuje do wykopów wykonanych standardowymi urządzeniami wiertniczymi do głębokości około 3-5 m i średnicy około 400 mm. Tego rodzaju sondy, których zastosowanie najczęściej nie wymaga zezwoleń urzędów



Szybki i łatwy montaż sondy spiralnej z PE-Xa

## Wnioski

Do najprostszyc zastosowań w geotermii (wyłącznie opcja grzania, bez regeneracji gruntu nadwyżką ciepła z kolektorów słonecznych latem) i w przypadku niewielkiej głębokości wykopu można zastosować sondy geotermalne wykonane z PE100 pod warunkiem zapewnienia prawidłowego wypełnienia wykopu. Przy czym z powodu możliwych obciążeń punktowych działających w trakcie użytkowania oraz uszkodzeń spowodowanych rysami powstałymi w trakcie montażu, nie można zapewnić ich trwałości w długim okresie.

Sondy geotermalne ze 100% PE 100-RC spełniające standardy PAS 1075 mają niewielką przewagę nad tradycyjnymi

mi sondami PE 100 ze względu na nieco wyższą odporność na obciążenia punktowe. Badania laboratoryjne dowodzą, że tylko sondy geotermalne z PE-Xa stanowią trwałe rozwiązanie problemu obciążeń punktowych dotyczącego wszystkich systemów.

Istotne ograniczenie praktyczne w przypadku tworzywa PE100 i PE 100-RC to maksymalna temperatura zasilania wynosząca 40°C, także ze względu na nowoczesne możliwości zastosowania sond geotermalnych. Oznacza to, że coraz ważniejsza dla osiągnięcia optymalnej efektywności energetycznej regeneracja gruntu nie jest możliwa w przypadku sond z PE100 lub PE 100-RC. Ogranicza to

silnie ich użyteczność w przyszłości i tym samym pogarsza pozycję rynkową. Klasę premium wszystkich znanych systemów polimerowych sond geotermalnych stanowią w dalszym ciągu sprawdzone w ciągu kilkudziesięciu lat systemy sond geotermalnych PE-Xa wg PN-EN ISO 15875 bez połączeń spawanych. Potwierdzają one swoją przewagę jakościową nie tylko w wieloletnim użytkowaniu, ale także w laboratorium badawczym przy zastosowaniu najnowocześniejszych metod badawczych. Dlatego w coraz szerszym zakresie są stosowane także nowe formy przypowierzchniowych pionowych sond geotermalnych z wysokiej jakości PE-Xa, np. sondy spiralne.

geologicznych, osiągają w zależności od miejscowych warunków gruntowych i wody gruntowej wydajność około 300-800 W/szt. Po wprowadzeniu sondy spiralnej w wykop jest on wypełniany poprzez zamulanie lub wypełnienie płynnym, samouszczelniającym materiałem izolacyjnym. Następnie poszczególne sondy są montowane w zespoły po 3 szt. Powszechnie znane dobre właściwości tworzywa PE-Xa są w pełni zachowane, tj. również sondy spiralne wykonane z PE-Xa są trwale odporne na obciążenia punktowe i temperaturę do 95°C przy regeneracji podłoża nadwyżką ciepła z kolektorów słonecznych.

Fot., rys. Rehau ■