

INSTRUKCJA SZKOLENIOWA GEOTRAINET DLA PROJEKTANTÓW PŁYTKICH SYSTEMÓW GEOTERMALNYCH



Geo-edukacja dla rynku zrównoważonego ogrzewania i chłodzenia
geotermalnego

Projekt: IEE/07/581/S12.499061

www.geotrainet.eu



Niniejsza instrukcja, przeznaczona dla projektantów gruntowych pomp ciepła (), jest jednym z zadań projektu „GEOTRAINET: Geo-edukacja dla rynku zrównoważonego ogrzewania i chłodzenia geotermalnego”. Projekt ten był wspierany przez Intelligent Energy – Europe i zrealizowany został w okresie wrzesień 2008 r. - luty 2011 r.

Gruntowe pompy ciepła już teraz przyczyniają się do oszczędności energii i redukcji emisji zanieczyszczeń, mając przy tym spory przyszłościowy potencjał. Badania w Europie pokazują, że jedną z barier dla rozwoju branży geotermalnej jest brak odpowiednio doświadczonych i wyszkolonej kadry. Ponadto, jakość projektów i ich zastosowanie nie zawsze są satysfakcjonujące. Dlatego celem projektu GEOTRAINET było opracowanie ogólnoeuropejskiego, profesjonalnego programu edukacyjnego (zawierającego m.in. kursy szkoleniowe i inne materiały, na przykład takie, jak niniejsza instrukcja) dla wsparcia rynku ogrzewania i chłodzenia geotermalnego. Istnieje kilka różnych grup zawodowców zaangażowanych w instalację gruntowych pomp ciepła. Projekt GEOTRAINET skupia się na dwóch grupach docelowych: Projektantach (wykonujący studia wykonalności i prace projektowe, w tym geologiczne) i firmach wiertniczych (wykonujących otwory wiertnicze i zapuszczających rury instalacyjne). W ramach projektu opracowano program edukacyjny zawierający plan nauczania, materiały dydaktyczne, kursy szkoleniowe i internetową platformę e-learningową. Niniejsza instrukcja przeznaczona jest dla projektantów. Została oparta o programy nauczania opracowane w ramach projektu GEOTRAINET. Powołano międzynarodową platformę zrzeszającą ekspertów od ogrzewania i chłodzenia z użyciem energii geotermalnej, którzy wnieśli wiedzę wymaganą do opracowania materiałów dydaktycznych dla obu grup docelowych. Grupa ekspertów została wyselekcjonowana spośród profesjonalistów posiadających pełen zakres kwalifikacji i doświadczenie istotne w sektorze gruntowych pomp ciepła. Stworzona platforma ekspercka zapewnia kompleksową obsługę programów nauczania przeznaczonych dla projektantów i wiertaczy. Wspólną pracą eksperci z różnych krajów zapewнили szeroką wymianę wiedzy i doświadczeń między krajami.

Przez dwa i pół roku realizacji projektu GEOTRAINET w dziesięciu kursach uczestniczyło łącznie 380 osób. Istnieje bardzo duże zapotrzebowanie na kursy szkoleniowe we wszystkich krajach Unii Europejskiej, w kontekście europejskiej dyrektywy dotyczącej promocji wykorzystywania energii ze źródeł odnawialnych. Pierwsze dwa kursy GEOTRAINET były zorientowane na przygotowanie trenerów w Europie; odbyły się także cztery kursy dla Projektantów i cztery kursy dla Wiertaczy prowadzone przez trenerów i członków platformy ekspertów. Zaangażowanie uczestników z różnych krajów, z różnym doświadczeniem i kwalifikacjami zapewniło optymalne forum dla sektora gruntowych pomp ciepła. Uwagi wnoszone przez uczestników kursów pozwoliły na udoskonalenie i poprawę programów nauczania, a w efekcie udoskonalenie materiału dydaktycznego zaprezentowanego w tej instrukcji, pod kątem potrzeb konkretnych grup.

Ustanowiony został także Europejski Komitet Edukacyjny, którego misją jest zapewnienie ciągłości działalności szkoleniowej projektu GEOTRAINET. Komitet koordynuje krajową działalność szkoleniową w oparciu o programy edukacyjne GEOTRAINET. Celem niniejszej instrukcji zapewnienie istotnego i dostępnego wsparcia dla ciągłej edukacji europejskich projektantów gruntowych pomp ciepła .

Dr. Isabel M. Fernandez Fuentes,

Geolog Europejski, Koordynator Projektu GEOTRAINET, Europejska Federacja Geologów



PODZIĘKOWANIA

Niniejsza Instrukcja została sporządzona w wyniku sfinansowanego przez IEE projektu GEOTRAINET IEE/07/581/SI2.499061. Szczególnie wdzięczni jesteśmy kursantom, którzy uczęszczali na różne kursy szkoleniowe i przyczynili się do ciągłego rozwoju instrukcji podczas trwania projektu. Chcielibyśmy również podziękować ekspertom z dziedziny geotermii za ich wkład w rozwój tej instrukcji szkoleniowej.

PARTNERZY

- **Europejska Federacja Geologów:** Isabel Fernandez Fuentes (Koordynator projektu), Ruth Allington (GWP), Manuel Regueiro (ICOG), Dirk De Coster (VDC MILIEU ADVIES), David Norbury (David Norbury Ltd.), Iñigo Arrizabalaga (TELUR), Jorge Garcia (Webmaster).
- **Europejska Rada Energii Geotermalnej:** Philippe Dumas, Burkhard Sanner, Walter J Eugster (POLYDYNAMICS), Jörg Uhde.
- **Arsenal Research, Austria:** Marcello Farabegoli, Stefan Stumpf, Gundula Tschernigg, Christine Lengauer.
- **BRGM, Francja:** Florence Jaudin, Pascal Monnot.
- **GT Skills, Irlandia:** Gareth LI. Jones, Paul Sikora (ECOCUTE), Padraig Briody (BRIODY), Roisin Goodman (SLR), Maureen McCorry.
- **Romanian Geoexchange Society, Rumunia:** Doinita Cucueteanu, Radu Polizu, Alex Aposteanu, Robert Gavriluc (UTCB).
- **ASA Geoexchange, Rumunia:** Radu Hanganu-Cucu.
- **Universidad Politécnica de Valencia, Hiszpania:** Javier F. Urchueguía.
- **Uniwersytet Lund, Szwecja:** Olof Andersson (SWECO), Göran Hellström, Kjell Carlsson (GEOBORR GEOENERGI).
- **Uniwersytet Newcastle, Wielka Brytania:** David Banks (HOLYMOOR), Cath Gandy, Adam Jarvis.

Wyrazy wdzięczności dla następujących recenzentów:

Olof Andersson, Iñigo Arrizabalaga, David Banks, Padraig Briody, Doinita Cucueteanu, Walter J. Eugster, Cath Gandy, Florence Jaudin, Gareth LI. Jones, David Norbury, Radu Polizu, Burkhard Sanner, Paul Sikora i Javier Urchueguía.



Podręcznik

GeoTrainet Training Manual for Designers of Shallow Geothermal Systems
Instrukcja Szkoleniowa GeoTrainet dla Projektantów Płytkich Systemów
Geotermalnych

Podręcznik powstał w roku 2011 w wyniku realizacji projektu GeoTrainet, no. IEE/07/581/S12.499061. W ramach realizacji projektu Geothermal4PL został przetłumaczony z oryginału w języku angielskim na język polski na podstawie umowy licencyjnej z dnia 7.07.2017 ze stowarzyszeniem non-profit GeoTrainet AISBL z siedzibą w Brukseli. Tłumaczenie wykonała firma Lingua Lab z Krakowa, natomiast specjalistyczną korektę techniczną wykonali członkowie zespołu projektowego: Maciej Kłonowski i Anita Starzycka oraz Polska Organizacja Rozwoju Technologii Pomp Ciepła.

Podręcznik stanowi najobszerniejszy opis dobrych praktyk stosowanych w projektowaniu płytkich systemów geotermalnych w wybranych krajach Unii Europejskiej w okresie realizacji projektu GeoTrainet, tj. w latach 2008-2011. Udostępnienie podręcznika w języku polskim przyczyni się do ujednolicenia standardów i poprawy jakości usług w branży płytkej geotermii w Polsce.

Podręcznik nie stanowi zbioru obowiązujących przepisów prawa w Polsce, a Partnerzy projektu Geothermal4PL nie ponoszą żadnej odpowiedzialności prawnej w przypadku stosowania zawartych w nim treści w praktyce.

Podręcznik udostępniony jest wszystkim interesariuszom projektu Geothermal4PL w wersji z dnia 27.11.2017. Wszelkie uwagi co do treści podręcznika prosimy zgłaszać do zespołu projektu drogą e-mailową, pod adresem: geothermal4pl@pgi.gov.pl

Warszawa, 27.11.2017



MINISTERSTWO
ŚRODOWISKA



Geothermal4PL

*Wsparcie zrównoważonego rozwoju i wykorzystania płytkiej energii geotermalnej na terenie
obszarów objętych programem Mieszkanie Plus w Polsce*

*Support for sustainable development and use of shallow geothermal energy within the areas
of the Mieszkanie Plus Programme in Poland*

Beneficient / Beneficiary: Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
Partner Norweski / Norwegian Partner: Christian Michelsen Research AS

Projekt Geothermal4PL, nr umowy 102/2017/Wn50/OA-XN-04/D, jest finansowany z Mechanizmu Finansowego EOG 2009-2014 w ramach Funduszu Współpracy Dwustronnej (FWD), Program PL04 "Oszczędzanie energii i promowanie odnawialnych źródeł energii".

Project Geothermal4PL, contract no 102/2017/Wn50/OA-XN-04/D, is financed by the EEA Financial Mechanism 2009-2014 within the framework of the Bilateral Cooperation Fund (BCF), Programme PL04 "Energy saving and promotion of renewable sources of energy".

Operatorami Programu w Polsce są Ministerstwo Środowiska i Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

The operators of the Programme in Poland are Ministry of Environment and National Fund for Environmental Protection and Water Management.

Warszawa, 27.11.2017



SPIS TREŚCI

SPIS TREŚCI.....	7
ROZDZIAŁ 1 - PRZEGLĄD PŁYTKICH SYSTEMÓW GEOTERMALNYCH	13
I. WPROWADZENIE	13
II. DODATKOWE INFORMACJE	20
ROZDZIAŁ 2 - OGRANICZENIA	21
I. WPROWADZENIE	21
II. DLACZEGO PROJEKTANTOM I WYKONAWCOM WIERCEŃ POWINNO ZALEŻEĆ NA DOBRYM STUDIUM WYKONALNOŚCI?	21
III. POTENCJALNE ASPEKTY	22
IV. LIMITY I OGRANICZENIA	23
IV. 1. Ograniczenia techniczne.....	23
IV. 2. Ograniczenia geologiczne.....	23
IV. 3. Ograniczenia hydrogeologiczne.....	24
IV. 4. Warunki klimatyczne	24
IV. 5. Ograniczenia środowiskowe.....	25
IV. 6. Ograniczenia ekonomiczne.....	25
IV. 7. Legislacja jako czynnik ograniczający.....	26
ROZDZIAŁ 3 - STUDIA KONCEPCYJNE I WYKONALNOŚCI.....	27
I. WPROWADZENIE	27
II. MOŻLIWOŚĆ UZYSKANIA ZEZWOLENIA INSTALACYJNEGO	27
III. PARAMETRY PODZIEMNE	28
IV. DANE O OBCIĄŻENIU BUDYNKU	29
V. WSTĘPNY PROJEKT SYSTEMU	30
VI. OPŁACALNOŚĆ EKONOMICZNA	30
ROZDZIAŁ 4 - GRUNTOWY TRANSPORT CIEPŁA.....	31
I. WPROWADZENIE	31
II. PRZEWODNICTWO CIEPŁA.....	31
III. KONWEKcja CIEPŁA.....	33
ROZDZIAŁ 5 - KRYTERIA PROJEKTOWE.....	34
I. WPROWADZENIE	34
II. PODSTAWY	34
III. OPŁACALNOŚĆ	35
ROZDZIAŁ 6 - OTWOROWE WYMIENNIKI CIEPŁA	36
I. WPROWADZENIE	36
II. KONCEPCJE	36
II. 1. Opór cieplny od płynu do gruntu	36
II. 2. Opór cieplny gruntu	36
II. 2. 1. Zastosowania typu dysypatywnego.....	37
II. 2. 2. Zastosowania typu magazynowania	37
II. 3. Rezystancja termiczna otworu wiertniczego	38

II. 4. Transport ciepła między kanałami przepływu	39
II. 5. Efekty wydajności cieplnej w otworze wiertniczym	39
III. RÓŻNE WERSJE OTWOROWYCH WYMIENNIKÓW CIEPŁA.....	40
III. 1. Współosiowy typ pionowego GWC	40
III. 1. 1. Współosiowy pionowy GWC bez linera	40
III. 1. 2. Współosiowy pionowy GWC z rurą w rurze	41
III. 1. 3. Współosiowy pionowy GWC z miękkim linerem	41
III. 1. 4. Wielokomorowy pionowy GWC	41
III. 1. 5. pionowy GWC z wieloma rurami.....	42
III. 2. pionowy GWC typu U-rurka	42
III. 2. 1. Pojedyncza U-rurka.....	42
III. 2. 2. Pojedyncza U-rurka z dystansownikami.....	43
III. 2. 3. Wielokrotne U-rurki	44
III. 2. 4. Układy z trzema rurami.....	44
IV. WYDAJNOŚĆ TERMICZNA PIONOWEGO GWC TYPU U-RURKI.....	44
IV. 1. Materiał rury	44
IV. 2. Materiał wypełnienia.....	45
IV. 2. 1. Zaczyny cementowe.....	46
IV. 2. 2. Cementy bentonitowe	46
IV. 3. Położenie rury.....	47
IV. 4. Prędkość przepływu płynu	47
V. UWAGI OGÓLNE	50
V. 1. 1. Test reakcji termicznej (odpowiedzi termalnej)	50
V. 1. 2. Wewnętrzny transport ciepła	50
V. 1. 3. Ruch wody podziemnej	50
V. 1. 4. Różnice krótkoterminowe	51
V. 1. 5. Średnica otworu wiertniczego	51
V. 1. 6. Łączenie szeregowo lub równoległe	51
V. 2. Współosiowy typ pionowych GWC	51
V. 3. pionowy GWC typu U-rurki.....	53
V. 3. 1. Pojedyncze U-rurki	53
V. 3. 2. Wielokrotne U-rurki.....	54
V. 4. Optymalna wydajność otworowych wymienników ciepła.....	55
VI. DODATKOWE INFORMACJE	55
ROZDZIAŁ 7 - GEOLOGIA	57
I. WPROWADZENIE	57
II. KONCEPCJE ENERGII GEOTERMALNEJ.....	58
III. ZASOBY TECHNICZNE I ZAWODOWE.....	61
III. 1. Wykorzystanie zasobów	62
IV. WYDAJNOŚĆ ENERGETYCZNA I EKONOMICZNA KORZYŚĆ KOSZTOWA	62
IV. 1. Przepisy.....	62
V. WNIOSKI	63
V. 1. Przyszłość.....	63
VI. DODATKOWE INFORMACJE	64
ROZDZIAŁ 8 - WIERCENIE	65
I. WPROWADZENIE	65
II. KONCEPCJE	65
II. 1. Metody wiercenia	66
II. 2. Płuczki wiertnicze.....	68
II. 3. Ocena kosztów.....	69
II. 4. Ocena ryzyka.....	69
III. ZASOBY TECHNICZNE I ZAWODOWE.....	70
IV. WYDAJNOŚĆ ENERGETYCZNA.....	71
V. WNIOSKI	72
VI. DODATKOWE INFORMACJE	73

ROZDZIAŁ 9 - ROZPOZNANIE TERENOWE (WARUNKI GRUNTOWE / LICENCJE I POZWOLENIA)	74
I. WPROWADZENIE	74
II. DLACZEGO PROJEKTANT POWINIEN INTERESOWAĆ SIĘ ROZEZNANIEM WSTĘPNYM?	74
III. PRACE KAMERALNE I OCENA ODDZIAŁYWANIA / ZAGROZEŃ	75
IV. POZWOLENIA I LICENCJE	77
IV. 1. Pozwolenia ogólne	78
IV. 2. Schematy z układem zamkniętym	78
IV. 3. Schematy z układem otwartym	79
V. ROZPOZNANIE TERENOWE	79
VI. PRÓBY HYDRAULICZNE - PRÓBNE POMPOWANIA	80
VI. 1. Próby etapowe	81
VI. 2. Próby ze stałą prędkością	82
VII. TESTY REAKCJI TERMICZNEJ	84
VII. 1. Wytyczne międzynarodowe	85
VII. 2. Pomiar temperatury początkowej	87
VII. 3. Próba ogrzewania	88
VII. 4. Alternatywne metody analizy	90
VII. 5. Próba uzupełniania	91
VII. 6. Niepewność wyników testu reakcji termicznej	91
VIII. KOSZT KONTRA KORZYŚĆ PŁYNĄCA Z ROZPOZNANIA TERENOWEGO	92
VIII. WNIOSKI	93
IX. DODATKOWE INFORMACJE	93
ROZDZIAŁ 10 - TECHNOLOGIA POMPY CIEPŁA	95
I. WPROWADZENIE	95
II. TEORIA	96
II. 1. Definicja	96
II. 2. Jak działa pompa ciepła	96
II. 3. Tryb grzewczy i chłodzący	97
II. 4. Komponenty pompy ciepła	98
III. 1. Protokół Montrealski	100
IV. EFEKTYWNOŚĆ	101
IV. 1. Klasyfikacja terminów	101
V. TYPY POMP CIEPŁA	102
V. 1. Powietrze - powietrze	103
V. 2. Woda - woda	103
V. 3. Woda - powietrze	103
V. 4. Powietrze - woda	104
V. 5. Systemy ze źródłem gruntowym	104
VI. WAHANIA COP	104
VII. ODNAWIALNE POMPY CIEPŁA	106
VIII. WNIOSKI	107
IX. DODATKOWE INFORMACJE	107
ROZDZIAŁ 11 – ZAPOTRZEBOWANIE CIEPŁA	109
I. WPROWADZENIE	109
II. PODSTAWY TEORETYCZNE	110
II. 1. Przyrosty i obciążenia	110
II. 2. Obliczenie zysków ciepła	112
II. 2. 1. Ściany zewnętrzne	112
II. 2. 2. Ściany wewnętrzne	112
II. 2. 3. Przyrosty ciepła przez okna	113
II. 2. 4. Przyrosty infiltracyjne i wentylacyjne	114
II. 2. 5. Wewnętrzne zyski ciepła	114
III. PODSTAWY PRAKTYCZNE	115
III. 1. Metody obliczeń obciążeń termicznych	115
III. 1. 1. Normy europejskie (Dick van Dijk i Marleen Spiekman)	115

III. 2. Programy do symulacji zapotrzebowania energetycznego budynku	116
III. 3. Przykład	117
III. 3. 1. Ogólny opis kompleksu mieszkalnego	117
III. 1. 2. Profile obciążenia dla ogrzewania i chłodzenia	118
III. 4. Obszary i zastosowania w Europie	120
IV. WYDAJNOŚĆ ENERGETYCZNA I OCENA EKONOMICZNEJ KORZYŚCI KOSZTOWEJ	121
V. WNIOSKI	121
VI. DODATKOWE INFORMACJE	122
ROZDZIAŁ 12 - KONSTRUKCJA OTWOROWYCH WYMIENNIKÓW CIEPŁA	123
I. WPROWADZENIE	123
ROZDZIAŁ 13 - PRZYKŁADY PROJEKTÓW PIONOWY GWC. MAŁE SYSTEMY	125
I. WPROWADZENIE	125
II. VDI 4640	127
III. SIA 384/6	127
IV. OBLICZENIE Z EED	128
ROZDZIAŁ 13 - PRZYKŁADY PROJEKTÓW PIONOWEGO GWC. STUDIUM PRZYPADKU DLA DOBRYCH PRAKTYK W OGRZEWANIU / CHŁODZENIU O ŹRÓDLE GRUNTOWYM: SALON SAMOCHODOWY, BIURA I WARSZTAT VW BUKARESZT – RUMUNIA	129
I. WPROWADZENIE	129
II. OBSZAR I CEL PROJEKTU	129
III. WYNIKI MONITOROWANIA BUDYNKU PRZEZ JEDEN ROK KALENDARZOWY	131
IV. WNIOSKI	135
ROZDZIAŁ 14 - PROJEKT POZIOMYCH GWC	136
I. WPROWADZENIE	136
II. PODSTAWY TEORETYCZNE	136
II. 1. Klimat	136
II. 2. Gleba	137
II. 3. Topografia	137
II. 4. Pokrywa powierzchniowa	137
III. PODSTAWY PRAKTYCZNE	138
IV. WYDAJNOŚĆ ENERGETYCZNA I EKONOMICZNA OPŁACALNOŚĆ	140
V. DODATKOWE INFORMACJE	140
ROZDZIAŁ 15 - INSTALACJA PIONOWEGO GWC I CEMENTOWANIE	141
I. WPROWADZENIE	141
II. PROCEDURA INSTALACJI	141
II. 1. Prace wstępne	141
II. 2. Włożenie pionowy GWC do otworu	142
III. CEMENTOWANIE	143
IV. WSKAZÓWKI I UWAGI DLA PROJEKTANTÓW	145
ROZDZIAŁ 16 - KONTROLA FUNKCJI I JAKOŚCI	147
I. KONTROLA SYSTEMU	147
II. PRÓBY, ODBIÓR I DOKUMENTACJA	147
II.1. Próby końcowe	147
III. ODBIÓR	153
IV. DOKUMENTACJA	153
V. KONSERWACJA	153
VI. MONITORING	154
ROZDZIAŁ 17 - EUROPEJSKA SYTUACJA PRAWNA I NORMY	155
I. WPROWADZENIE	155
II. NORMY EUROPEJSKIE	156

III. NORMY KRAJOWE	159
IV. ODDAWANIE DO UŻYTKU, KONSERWACJA, KOMPETENCJE, CERTYFIKACJA, POZWOLENIA.....	161
IV. 1. Oddanie do użytku i konserwacja	161
IV. 2. Kompetencje i audyt	162
IV. 3. Certyfikacja	163
IV. 5. Pozwolenia prawne	164
V. WNIOSKI	165
VI. DODATKOWE INFORMACJE	166
ROZDZIAŁ 18 - PRZEPISY BUDOWLANE DLA ENERGOOSZCZĘDNOŚCI	167
I. WPROWADZENIE	167
II. DYREKTYWY	168
III. DEFINICJA W ŚWIELE DYREKTYW EPBD I RESD	169
III. 1. Wydajność energetyczna budynku	169
III. 2. Zapotrzebowanie na wydajność	169
III. 3. Wskaźnik efektywności energetycznej budynku EP	169
III. 4. Sposoby wyrażania wskaźnika wydajności	169
III. 5. Energia pierwotna	170
III. 6. Współczynnik konwersji energii elektrycznej na energię pierwotną w przestrzeni publicznej.....	170
III. 7. Wskaźnik efektywności energetycznej budynków jako zużyta energia pierwotna	171
III. 8. Wskaźnik wydajności energetycznej budynków jako emisje gazów cieplarnianych	171
III. 9. Energia ze źródeł odnawialnych	171
III. 10. Zapotrzebowanie energetyczne budynku	171
III. 11. Zapotrzebowanie energetyczne dla systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku	172
III. 12. Zużycie energii elektrycznej dla systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku	172
III. 13. Udział energii odnawialnej dostarczany do budynku	173
IV. MINIMALNE WARTOŚCI SPF I APF STOSOWANE PRZEZ PROJEKTANTÓW SYSTEMÓW OGRZEWANIA, WENTYLACJI I KLIMATYZACJI GRUNTOWA POMPA CIEPŁA	175
V. WYDAJNOŚCI COP I REE USTALONE DLA POMP CIEPŁA O NATURALNYM ŹRÓDLE ŚRODOWISKOWYM	177
VI. RAPORTOWANIE ENERGII PIERWOTNEJ UZYSKANEJ W GEOTERMALNYCH ZASTOSOWANIACH POMP CIEPŁA.....	178
VII. WYDAJNOŚĆ ENERGETYCZNA I EKONOMICZNE KORZYŚCI KOSZTOWE	182
VIII. WNIOSKI	182
IX. DODATKOWE INFORMACJE	183
ROZDZIAŁ 19 - KWESTIE ŚRODOWISKOWE	184
I. WPROWADZENIE	184
II. WYCIEK	184
III. ŁĄCZENIE WARSTW WODONOŚNYCH.....	185
IV. ARTEZYJSKIE WODY PODZIEMNE.....	186
V. SKAŁY PĘCZNIEJĄCE	188



LISTA AUTORÓW

- Burkhard Sanner, EGECE, b.sanner@egece.org
- Olof Andersson, SWECO, Szwecja, olof.andersson@sweco.se
- Walter J. Eugster, Polydynamics, Szwajcaria, wje@polydynamics.ch
- Göran Hellström, University of Lund, Szwecja, neoenergy1@telia.com
- Iñigo Arrizabalaga, Telur Geotermia y Agua, S.A., Hiszpania, iarrizabalaga@telur.es
- David Banks, Newcastle University, Zjednoczone Królestwo, david@holymoor.co.uk
- Javier F. Urchueguía, Universidad Politécnica de Valencia, Hiszpania, jfurchueguia@fis.upv.es
- Paul Sikora, Ecocute Ltd., Irlandia, paul.sikora@ecocute.ie
- David Norbury, David Norbury Limited, Zjednoczone Królestwo, david@drnorbury.co.uk
- Radu Polizu, ASA Geoexchange, ipolizu@geoexchange.ro
- Radu Hanganu-Cucu, Romania Geoexchange Society, radu.hanganu@asa.ro

LITERATURA

Rekomenduje się wykorzystanie następujących źródeł literaturowych:

- McCorry, M., Jones, G.LI. (red.) 2011. Instrukcja szkoleniowa Geotrainet dla projektantów płytkich systemów geotermalnych. Geotrainet, European Federation of Geologists, Brussels. 192 str.
- Sanner B. 2011. Overview of shallow geothermal systems. W: McCorry, M., Jones, G. LI. (red.) 2011. Geotrainet Training Manual for Designers of Shallow Geothermal Systems. Geotrainet, European Federation of Geologists, Brussels. 7-14

OŚWIADCZENIE

Wydawca i redaktorzy oraz osoby uczestniczące w opracowanie tej Instrukcji nie gwarantują, iż jej zawartość jest kompletna lub pod każdym względem precyzyjna. Udostępniają oni tę Instrukcję pod warunkiem, że nie będą ponosić odpowiedzialności za wszelkie zobowiązania powstałe z wszelkich czynności lub zaniedbań wynikłych z jej zawartości.

OKŁADKA

Zdjęcia na okładce przedniej zgodnie z ruchem wskazówek zegara od góry: Vista Health Care Clinic, Naas, Co. Kildare, Irlandia, 400 kW system z układem otwartym; zapuszczenie pionowego GWC z rozwijaka, Szwajcaria; Schematyczne przedstawienie systemu otworowego z układem otwartym; Wiercenie płytkiego otworu geotermalnego dla gospodarstwa domowego, Co. Cork, Irlandia.

Obrazek na okładce książki: Budynek jest centrum marketingowym i dystrybucyjnym dla żywności ekologicznej w górnej Austrii; jest ogrzewany i klimatyzowany przez dwie pompy ciepła typu woda-woda, zainstalowane w otworach wykorzystujących poziomy wodonośne. © Ochsner



ROZDZIAŁ 1 - PRZEGLĄD PŁYTKICH SYSTEMÓW GEOTERMALNYCH

autor Burkhard Sanner

I. WPROWADZENIE

Energia geotermalna jest najczęściej kojarzona z wulkanami i gejzerami. Istnieje także mniej spektakularny jej rodzaj - to przepływ ciepła z głębszych warstw Ziemi na jej powierzchnię. Choć sięga on około 40 TW produkcji termicznej, nie jest bezpośrednio odczuwalny przez ludzi. Wzrost temperatury wraz z głębokością określa się za pomocą dwóch parametrów - gradientu lub stopnia geotermicznego. Gradient geotermiczny określa liczbę stopni Celsjusza, o jakie wzrasta temperatura na kilometr, a stopień geotermiczny oznacza liczbę metrów, w obrębie których temperatura wzrasta o jeden stopień Celsjusza. Średni gradient termiczny w skali globalnej wynosi około $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$, a stopień geotermiczny - około $33 \text{ m}/^{\circ}\text{C}$. W miejscach tzw. anomalii geotermalnych szybkość ta ulega podwojeniu lub potrojeniu.

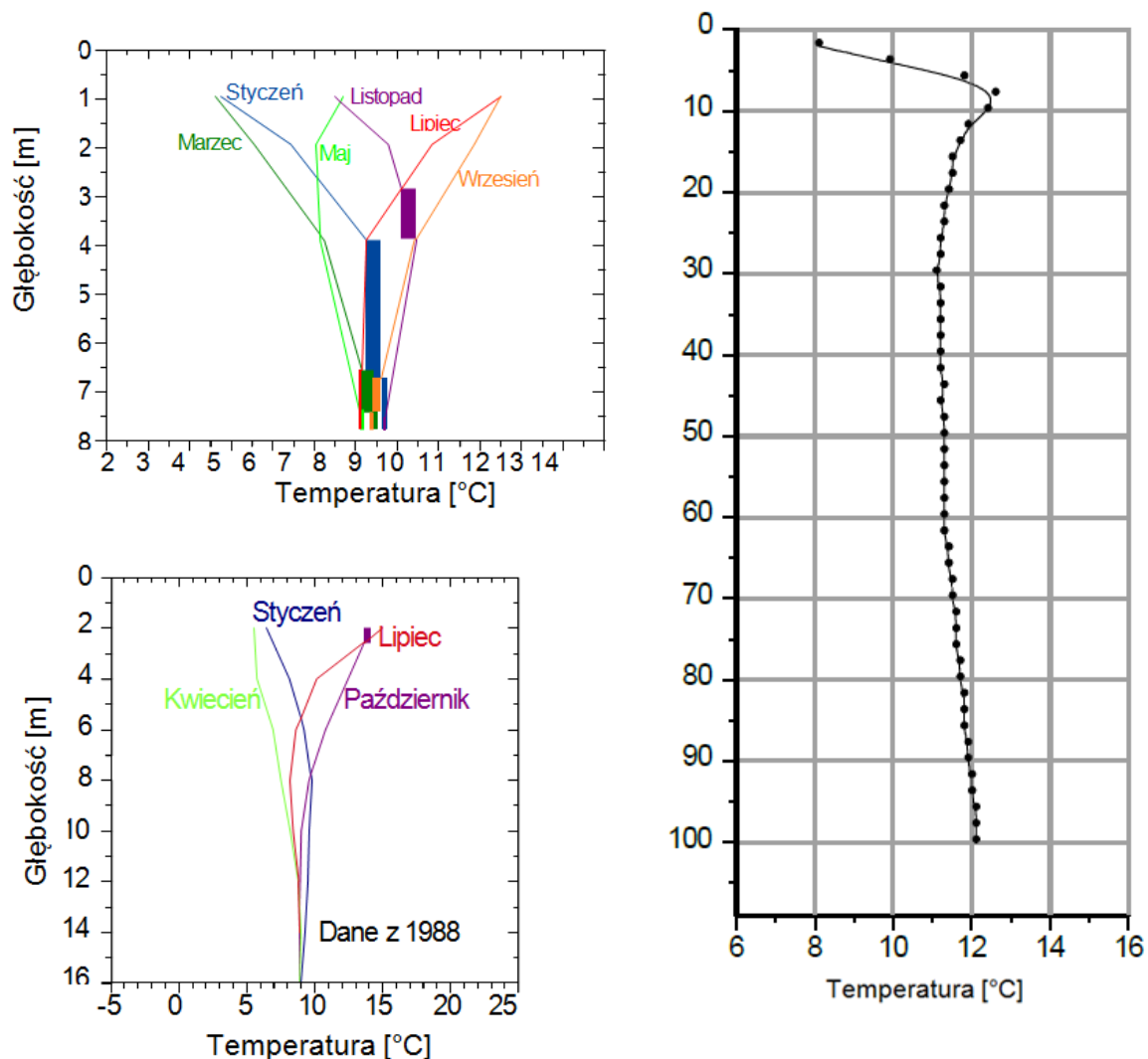
Ujednolicona definicja energii geotermalnej była niezwykle potrzebna dla technicznych, administracyjnych oraz regulacyjnych aspektów zastosowań ciepła Ziemi. Na podstawie praktyk niemieckich, Europejska Rada Energii Geotermalnej (EGEC) przyjęła definicję energii geotermalnej jako energii składowanej w formie ciepła pod powierzchnią ziemi. Od 2009 roku definicja ta obowiązuje w prawodawstwie Unii Europejskiej. *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE* podaje (artykuł 2 punkt c):

„Energia geotermalna” oznacza energię składowaną w postaci ciepła pod powierzchnią ziemi.

W definicji nie określono różnic pomiędzy płytką a głęboką geotermią. Historycznie stosowana jest tu granica głębokości około 400 m, opierająca się na szwajcarskich ustaleniach z lat 80-tych XX wieku. Za płytkie systemy geotermalne przyjmuje się powszechnie te, które nie odznaczają się wyższymi temperaturami (charakterystycznymi jedynie na większej głębokości), lecz stosują rozwiązania techniczne celem wykorzystania względnie niskich temperatur dostępnych w górnych 100 metrach skorupy ziemskiej (lub więcej niżej, zależnie od lokalnych uwarunkowań). W Ameryce Północnej technologia płytkiej geotermii określana jest również terminem „geo-wymiana”. Dla płytkiej geotermii, ustalona temperatura podłoża, która stanowi podstawę dla poboru ciepła lub iniekcji ciepła waha się między 2°C a 20°C , w zależności od warunków klimatycznych w regionie i głębokości otworu wiertniczego.

Istnieją dwie opcje wykorzystania stałych, niskich temperatur podłoża:

1. zwiększenie lub zmniejszenie temperatury ciepła geotermalnego do poziomu użytkowego za pomocą pomp ciepła (gruntowe pompy ciepła)
2. zwiększenie lub zmniejszenie temperatury podłoża przez magazynowanie lub pobór ciepła (podziemne magazynowanie energii cieplnej, UTES).

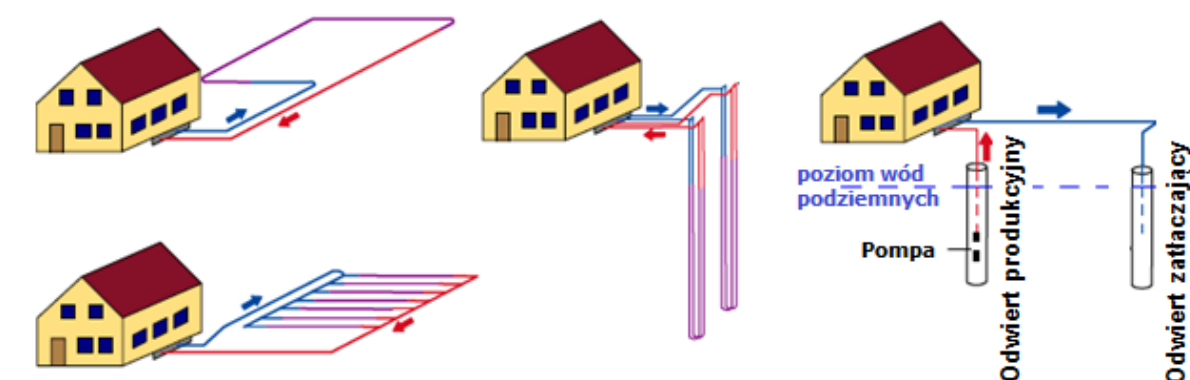


Rysunek 1. Kształtowanie się stałych temperatur w „strefie neutralnej” na głębokości 10-20 m oraz kształtowanie się temperatur do głębokości 100 m (przeciwnie do ruchu wskazówek zegara od górnego lewego rogu): pomierzone w Obserwatorium Królewskim w Edynburgu, średnia z lat 1838-1854 (wg danych Everetta, 1860); pomierzone w polowej stacji testowej otworowego wymiennika ciepła w Schwalbach, Niemcy; przed TRT w Niemczech, 2007 (dzięki uprzejmości UBeG GbR).

Płytkie geotermalne metody przekazywania ciepła od lub do gruntu obejmują:

• poziome gruntowe wymienniki ciepła	głębokość 1,2 - 2,0 m	(układy poziome)
• otworowe wymienniki ciepła	głębokość 10 - 250 m	(układy pionowe)
• strumienie energii	głębokość 5 - 45 m	
• studnie ujmujące wody podziemne	głębokość 4 - >50 m	
• wody z odwadniania kopalń i tuneli		

Systemy wykorzystujące wymiennik ciepła zainstalowany w podłożu gruntowym zwane są również systemami „zamkniętymi”, natomiast systemy wykorzystujące wody podziemne i wyposażone w wymiennik ciepła na powierzchni terenu (np. parownik) nazywane są systemami „otwartymi”. Schematy tych systemów pokazano na rysunku 2, a zalety i wady systemów zamkniętych i otwartych wymieniono w Tabeli 1.



Rysunek 2. Schematyczny diagram popularnych metod gruntowych (od lewej): obwody poziome, pionowy GWC (układy pionowe) i studnie wody podziemnej

Tabela 1. Podstawowe kryteria transportu ciepła i zalety/wady związane z systemami otwartymi lub zamkniętymi

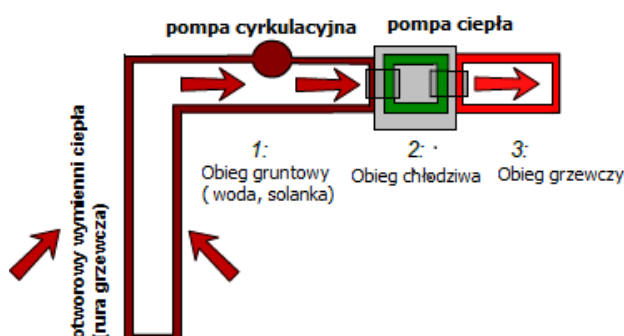
Systemy otwarte wykorzystujące wody podziemne	Systemy zamknięte z pionowym (otworowym) wymiennikiem ciepła (pionowy GWC)
Transport ciepła od powierzchni ziemi do odwiertu lub vice versa	Transport ciepła od powierzchni do pionowego, GWC, poziomego GWC lub vice versa
Zalety: - wysoka wydajność przy względnie niskim koszcie wykonania - względnie wysoki poziom temperatury źródła ciepła / niski poziom źródła chłodu	Zalety: - nie wymaga regularnej konserwacji - bezpieczny w użytkowaniu - może być stosowany praktycznie wszędzie
Wady: - utrzymanie odwiertu (odwiertów) - wymaga warstwy wodonośnej o wystarczającej wydajności - konieczność wykonania badań chemizmu wody	Wady: - ograniczona wydajność z otworu wiertniczego - względnie wysoki poziom temperatury źródła ciepła / niski poziom źródła chłodu

O ile rysunek 2 przedstawia ogólny, zewnętrzny schemat różnych metod gruntowych, to rysunek 3 pokazuje szczegóły układów wewnętrznych wykorzystywanych przy zamkniętych płytach systemach geotermalnych. Różnią się one typem nośnika ciepła w obiegu gruntowym i sposobem, w jaki obieg ten jest sprzężony z obiegiem chłodniczym pompy ciepła. Najpopularniejszym układem jest wykorzystanie cieczy jako nośnika ciepła (najczęściej jest to woda z dodatkiem środka zapobiegającego zamarzaniu), który krąży w układzie gruntowym dzięki pracy pompy obiegowej.

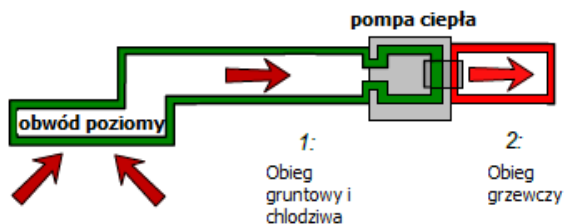
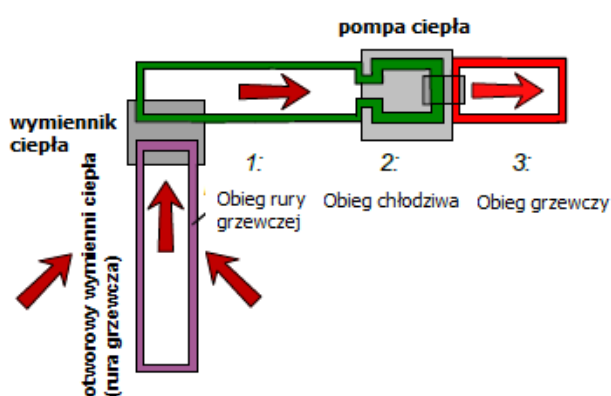
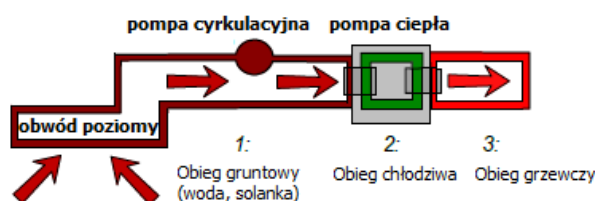
Systemy bezpośredniego odparowania charakteryzują się rozszerzeniem obiegu chłodzenia do układu gruntowego, tj. nośnik ciepła jest medium roboczym pompy ciepła, a wewnątrz w układzie gruntowym zachodzi przepływ dwufazowy (ciecz/para). W praktyce, bezpośrednie odparowanie (DX) zostało zastosowane z sukcesem w gruntowych pompach ciepła z układem poziomym, podczas gdy połączenie z układami pionowymi wywołało problemy, m.in. z powrotem oleju do sprężarki. Zaleta

systemu DX polega na braku pompy obiegowej i strat temperaturowych wymiany ciepła między obiegiem gruntowym i obiegiem chłodzącym; jednakże, część energii dla obiegu chłodniczym przez układ gruntowy musi być zapewniona przez sprężarkę pompy ciepła.

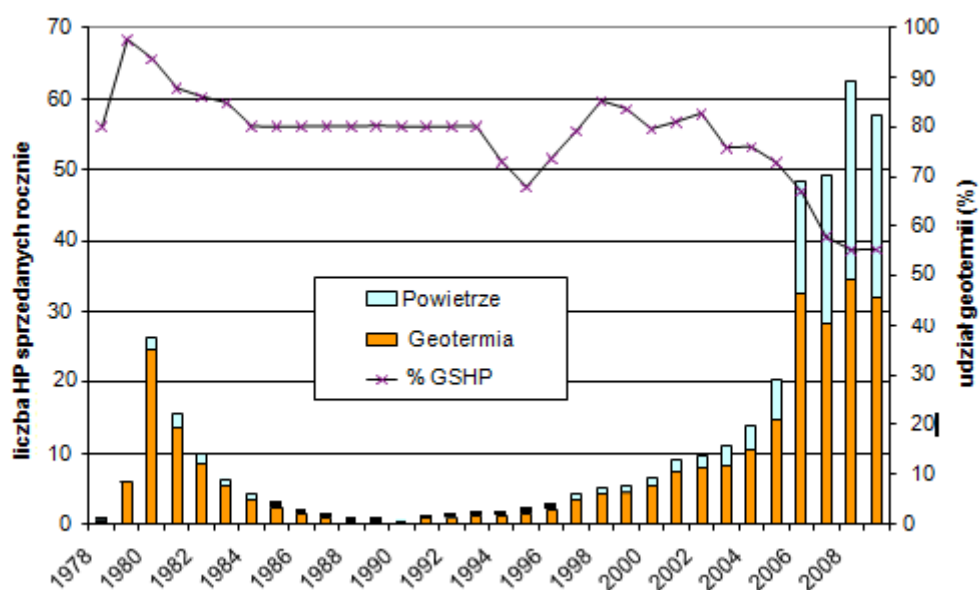
Rurki ciepła (Heat Pipe) korzystają z dwufazowego systemu wewnątrz pojedynczej pionowej rury. Czynnik roboczy z niską temperaturą wrzenia jest odparowany przez ciepło ziemi w dolnym odcinku rury. Powstała para wznosi się do szczytu rury ze względu na jej mniejszą gęstość i przenosi ciepło do obiegu chłodzenia przez wymiennik ciepła. Tym samym, para ogrzewa się i ponownie skrapla, przepływając ponownie w postaci ciekłej po ścianie rury ku dnie rury. O ile zarówno systemy solankowe i systemy DX mogą być stosowane zarówno do ogrzewania i chłodzenia, rura grzewcza jest odpowiednia jedynie do celów ogrzewania, gdyż ciepło nie może być transportowane w dół do gruntu (siła napędzająca jest zapewniona przez grawitację, która działa tylko w jednym kierunku).



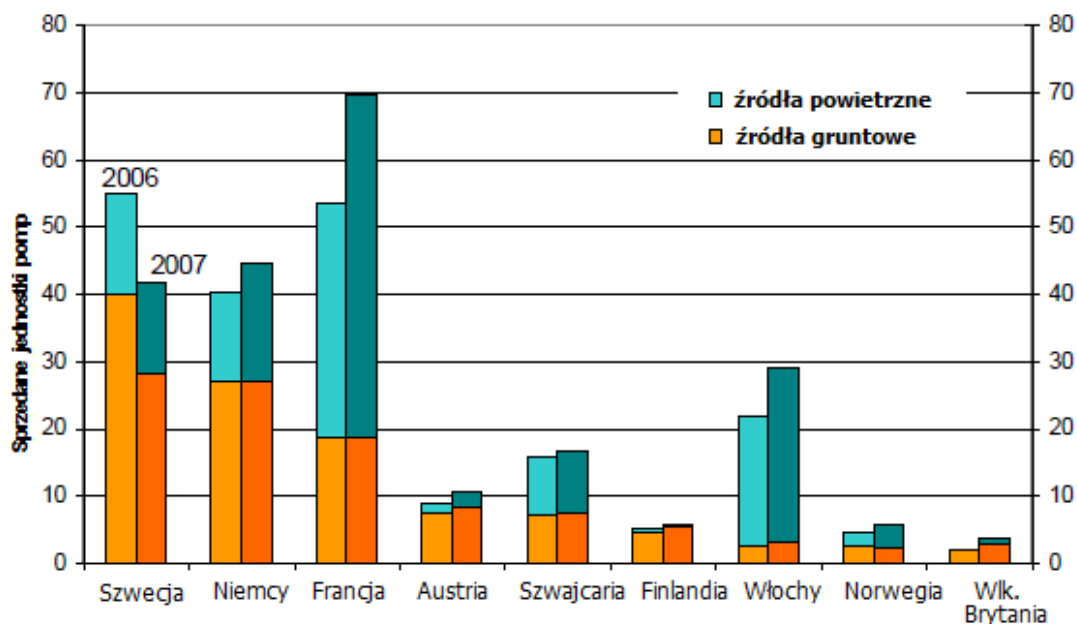
Rysunek 3. Możliwe obiegi układów gruntowych: obieg cieczy (solanki) dla układów pionowych i poziomych (góra i lewo-środek), obwód rury grzewczej dla układu pionowego (lewo dół) i obwód bezpośredniego odparowania (DX) dla układu poziomego (prawo dół)



Najstarszy przykład gruntowa pompa ciepła w literaturze pochodzi z 1945 r. z Indianapolis w USA i przedstawia system DX w układzie z poziomym wymiennikiem (Crandall, 1945). Już w 1947 r. w swoim artykule Kemler przedstawił wszystkie podstawowe konfiguracje gruntowa pompa ciepła, jakie stosujemy dzisiaj. W Europie (Austria, Niemcy, Szwecja, Szwajcaria) pierwsze gruntowe pompy ciepła ze studniami wód gruntowych i pierwsze układy poziome pojawiły się około 1970 r., a pierwsze pionowe GWC przed 1980 r. Po krótkim boomie, który miał miejsce około 1980 r. i był powiązany z drugim kryzysem cen ropy, rozwój systemów gruntowych w Europie był powolny aż do lat 90-tych, za wyjątkiem Szwecji i Szwajcarii.



Rysunek 4. Rozwój sprzedaży pomp ciepła w Niemczech (wg danych z BWP i GtV-BV)



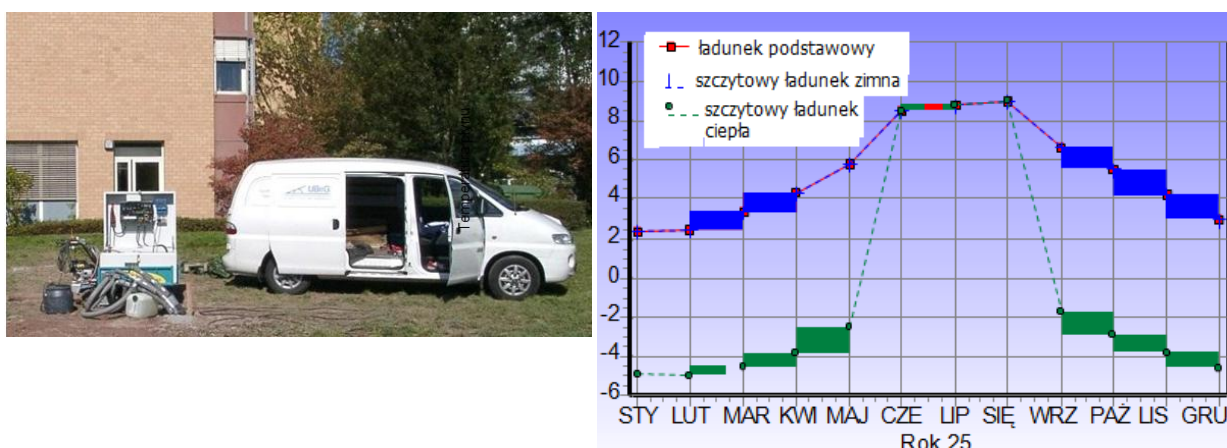
Rysunek 5. Sprzedaż pomp ciepła w 2006 i 2007 r. w wybranych krajach Europy (wg danych z EHPA)

Od około 2000 r. nastąpił intensywny rozwój rynku w Niemczech (Rys. 4), a następnie we Francji. W 2010 r. technologia gruntowych pomp ciepła rozszerzyła się na wszystkie kraje UE. Rysunek 5 przedstawia jednostki pomp ciepła sprzedawane w wybranych krajach europejskich w 2006 i w 2007 r. Widać wyraźnie, że wysoki udział gruntowych pomp ciepła jest w regionach chłodniejszych, a powietrzne pompy ciepła są popularniejsze w krajach cieplejszych (Francja, Włochy).

Materiały o odpowiednio wysokiej jakości, z których wytwarzane są elementy systemów gruntowych pomp ciepła, są dziś dostępne u producentów: prefabrykowane pionowe GWC, materiał cementujący, rury, rury rozgałęźne, pompy ciepła (Rys. 6). Dostępne są także sposoby ustalania parametrów gruntowych (termicznych i hydraulicznych) (Rys. 7). Opracowano zasady projektowania i metody obliczeniowe, a wytyczne i standardy wyznaczają ramy dla niezawodnych i trwałych instalacji.



Rysunek 6. Przykłady produktów dla gruntowych pomp ciepła: prefabrykowane pionowe GWC, przetestowane i doręczone na plac wiertni (Foto: lewa - Haka, środek - Rehau)



Rysunek 7. Przykład testu reakcji termicznej dla ustalenia parametrów gruntowych (po lewej) i kalkulacja schematu pionowy GWC z użyciem oprogramowania EED (po prawej)

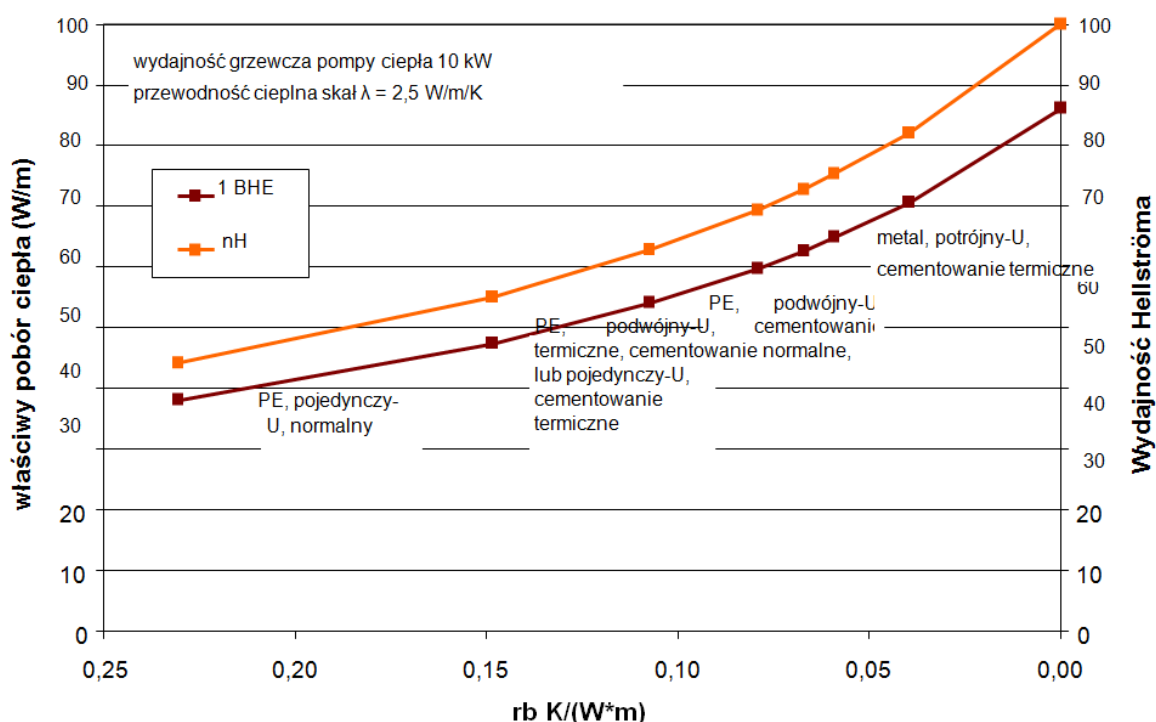
Przydatnym narzędziem dla porównywania różnych instalacji pionowych GWC jest jednostkowa wydajność poboru ciepła. Jest to maksymalna pojemność cieplna na parowniku pompy ciepła (wydajność chłodnicza), podzielona przez całkowitą długość pionowych GWC, podana w watach na metr długości pionowego GWC (W/m). W pierwszych latach stosowania pionowych GWC w Europie (około 1980 r.), wartość 50 W/m była podawana jako standardowa dla Niemiec, zaś 55 W/m - dla Szwajcarii. Wartości te były wówczas stosowane dla projektowania mieszkalnych gruntowych pomp ciepła, zaś 50 W/m jest nadal stosowane dzisiaj jako przybliżona reguła obowiązująca z grubsza dla wielu mniejszych instalacji. Jednakże, rzeczywisty właściwy pobór ciepła możliwy dla konkretnego projektu jest silnie zależny od warunków gruntowych (przewodność cieplna), wymagań systemu (godzin pracy), wielkości systemu (ilość i odległość pionowych GWC, interferencja) itd. (Sanner, 1999).

Co za tym idzie, system pionowych GWC nie powinien być projektowany w oparciu o zasadę poboru ciepła równego 50 W/m, a wartość właściwego poboru ciepła stosowana jedynie dla porównania po tym, jak dokonano dokładnej kalkulacji projektowej.

W ostatnim czasie producenci niektórych nowych typów pionowych GWC twierdzili, że osiągnęli wartości właściwego poboru ciepła powyżej 100 W/m (najwyraźniej, niezależnie od wszelkich właściwości cieplnych panujących pod ziemią). Zastosowanie prostych rozważań pozwala na sprawdzenie prawdziwości takich deklaracji.

Transport ciepła w systemie pionowych GWC może być podzielony na dwa etapy:

1. transport w niezaburzonym gruncie wokół otworu wiertniczego (kontrolowany głównie przez przewodność cieplną gruntu k)
2. transport od ściany otworu wiertniczego do płynu wewnątrz rur, kontrolowany przez typ cementowania, materiał rury, geometrię otworu wiertniczego i rury itd., i podany jako sumaryczny parametr R_b (opór cieplny otworu wiertniczego).



Rysunek 8. Prędkości właściwego poboru ciepła (brązowa krzywa) i wydajności Hellströma (pomarańczowa krzywa) jako funkcja oporu cieplnego otworu wiertniczego różnych typów pionowych GWC w typowym domu jednorodzinnym w średnich warunkach gruntowych; z dobranymi parametrami, maksymalna prędkość poboru ciepła w teoretycznym maksimum $\eta H = 100$ nie może przekroczyć ok. 85 W/m

Jednostkowa wydajność poboru ciepła pionowych GWC może być policzona jedynie dla konkretnej instalacji, biorąc pod uwagę wszystkie parametry wymienione powyżej. Nowa konstrukcja, reklamowana jako udoskonalenie, może jedynie wpłynąć na parametry wewnątrz otworu wiertniczego, dając niższą wartość r_b . Najlepszym pionowym GWC byłby system z $R_b = 0$ K (W/m), tj. samoczynnym transferem ciepła między ścianą otworu wiertniczego i płynem. Może być to osiągnięte jedynie teoretycznie, lecz może funkcjonować jako reper dla ustalenia wydajności rzeczywistego systemu pionowych GWC. Wydajność ta, zwana jest wydajnością Hellströma, i podana jest jako:

ηH = trwały pobór ciepła możliwy w konkretnym projekcie/pobór ciepła z $r_b = 0$ gdzie: $\eta H = 100$ dla teoretycznego maksimum (Rys. 8).

II. DODATKOWE INFORMACJE

Bibliografia

1. Crandall, A.C. 1946. House Heating with Earth Heat Pump. Electrical World 126/19, 94-95, New York.
2. Everett, J.D. 1860. On a method of reducing observations of underground temperatures. Trans. Royal Society Edinburgh, Vol. XXII, Część II, 429-439, Edynburg.
3. Kemler, E.N. 1947. Methods of Earth Heat Recovery for the Heat Pump. Heating and Ventilating, Sept. 1947, 69-72, New York.
4. Sanner, B. 1999. Kann man Erdwärmesonden mit Hilfe von spezifischen Entzugsleistungen auslegen? Geothermische Energie 26-27/99, 1-4, Geeste.



ROZDZIAŁ 2 - OGRANICZENIA

autor: Olof Andersson

I. WPROWADZENIE

Jak pokazano w poprzednim rozdziale, istnieje kilka różnych płytkich systemów geotermalnych, które mogą być stosowane komercyjnie. Są to, w skrócie: gruntowe pompy ciepła (gruntowa pompa ciepła) dla poboru ciepła (i zimna) i podziemne magazyny energii cieplnej (UTES) dla aktywnego przechowywania ciepła i/lub zimna. W niniejszym rozdziale omówiono potencjał tych systemów oraz warunki ograniczające ich stosowanie w praktyce.

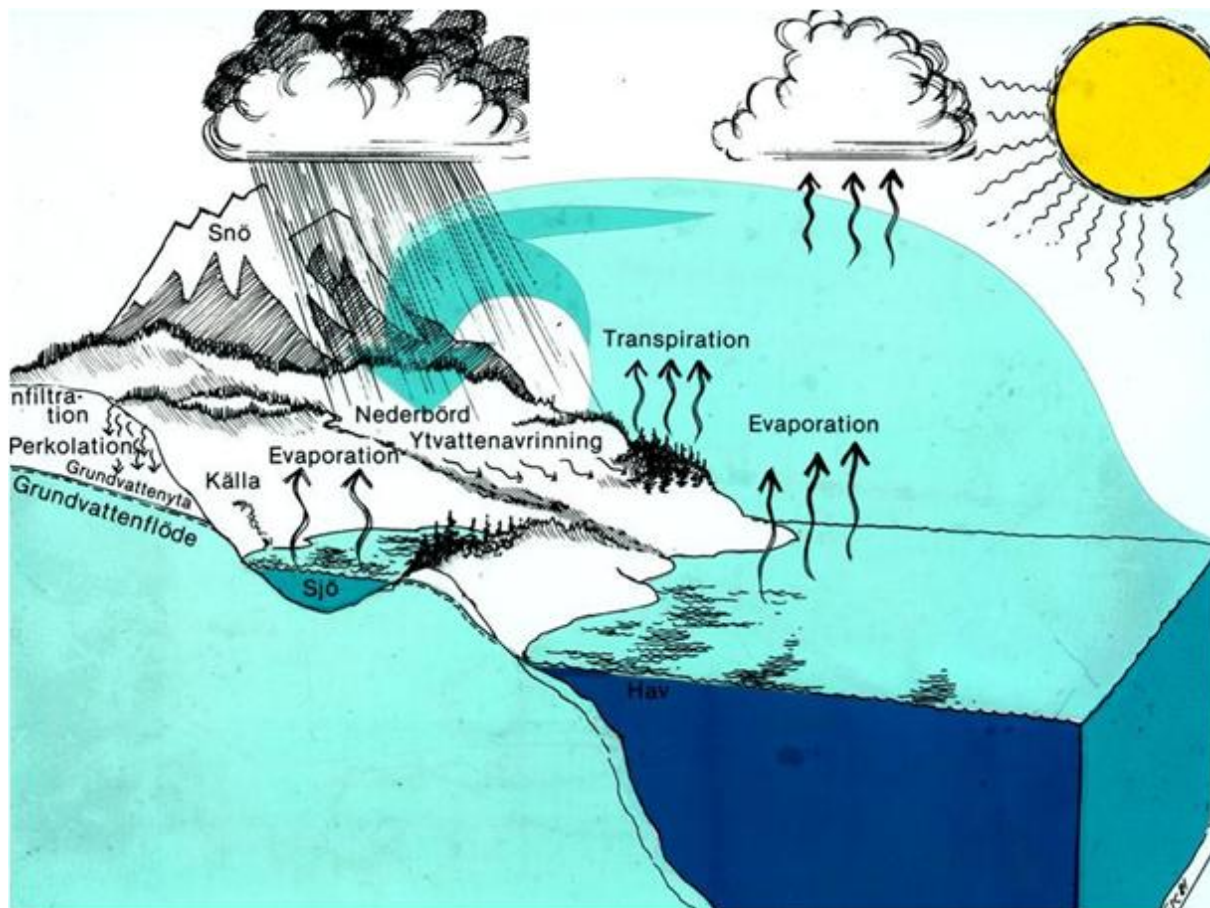
Potencjał dla stosowania płytkich systemów geotermalnych jest pod wieloma względami powiązany z lokalnymi warunkami charakterystycznymi dla danej lokalizacji; nie tylko klimatem i geologią, lecz również możliwością zastosowania. Mogą to być np. domy rodzinne, budynki komercyjne i instytucjonalne, sieciowe systemy grzewcze i chłodzące lub nawet obiekty przemysłowe. Wszystkie wymienione obiekty charakteryzują się różnymi cechami i posiadają odmienne parametry, co jest istotne przy projektowaniu systemu geotermalnego. Ograniczenia mogą być postrzegane jako zewnętrzne warunki brzegowe, które prowadzą do zatwierdzenia lub też nie zatwierdzenia koncepcji projektu. Ograniczenia mogą być fizyczne, takie jak klimat i warunki geologiczne, lecz mogą być również połączone z innymi warunkami miejscowymi, na przykład z dostępnością gruntu lub innymi celami użytkowania gruntu. W zależności od kraju, istnieje również wiele innych potencjalnych ograniczeń. Mogą mieć one charakter społeczny, kulturowy lub polityczny, a także ekonomiczny lub prawny. Jednakże, ograniczenia te są elastyczne i mogą dyskwalifikować jeden typ systemu, lecz dopuszczać inny. Bardzo ważne jest, by wszystkie potencjalne ograniczenia były rozważone jak najwcześniej (już na etapie oceny wykonalności) dla każdego projektu.

II. DLACZEGO PROJEKTANTOM I WYKONAWCOM WIERCEŃ POWINNO ZALEŻEĆ NA DOBRYM STUDIUM WYKONALNOŚCI?

Przy właściwym wykonaniu, każdy projekt gruntowej pompy ciepła powinien zacząć się od sporządzenia studium wykonalności. Jest to konieczne dla opracowania planu działań i podjęcia decyzji odnośnie dalszego rozwoju projektu. Na tym etapie plan projektu powinien być sprawdzony pod kątem wszystkich technicznych, ekonomicznych, prawnych i środowiskowych ograniczeń, jakie mogą wpłynąć na projekt i jego realizację. Jeśli projektant lub wiertnik nie jest świadom limitów i ograniczeń, wówczas istnieje ryzyko, iż koncepcja gruntowej pompy ciepła może okazać się być niewykonalna w późnym etapie. Będzie to oczywiście prowadzić do odstąpienia klienta od realizacji inwestycji i może doprowadzić do przedstawienia roszczeń wobec osób zaangażowanych w realizację obiektu. Może to również negatywnie wpłynąć na reputację i zaufanie do tego typu systemów, czego również należy unikać.

III. POTENCJALNE ASPEKTY

Dwa główne odnawialne pobory ciepła (lub zimna) z płytko zalegających warstw geologicznych są pokazane na rysunku 1. Energia słoneczna jest siłą napędzającą dla cyklu hydrologicznego, a także dla procesów, które są podstawą dla tradycyjnej energii odnawialnej, takich jak energia wodna, wiatr i biomasa.



Rysunek 1. W cyklu hydrologicznym można odnaleźć wszystkie tradycyjne odnawialne źródła energii. Geotermalny przepływ ciepła jest kolejnym odnawialnym źródłem energii.

Średnie promieniowanie słoneczne, które jest adsorbowane przez grunt, jest rzędu 1500 kWh/m^2 rocznie, podczas gdy geotermalny przepływ ciepła jest ograniczony do około $0,6 \text{ kWh/m}^2$. W praktyce oznacza to, iż duża część ciepła pobranego płytko spod ziemi pochodzi z energii słonecznej, a nie ciepła geotermalnego z wnętrza Ziemi.

Podstawowa wiedza o tym, jak działa transfer ciepła pod ziemią sugeruje, iż płytkie zastosowania geotermalne mogą być traktowane jako energia słoneczna. Z tego powodu potencjał jest duży i niemal nieograniczony. Jednakże, umieszczenie pojedynczych systemów pionowych z układem zamkniętym zbyt blisko siebie prowadzić będzie do ciągłego ochładzania partii podziemnych. W zależności od warunków geologicznych i klimatycznych oraz tego, jak dużo energii jest pobieranej, „bezpieczna” odległość waha się między 20 a 30 m.

W normalnych warunkach, temperatura na głębokości około 10 m odzwierciedla średnią temperaturę w powietrzu (średnio $+14,3^\circ\text{C}$). Jednakże, w miejscach ośnieżonych zimą, temperatura gruntu będzie o kilka stopni wyższa, gdyż śnieg będzie izolować powierzchnię. Na większych głębokościach temperatura gruntu będzie rosła ze względu na termiczny przepływ ciepła. Ten przepływ wytwarza geotermalny gradient, który wynosi średnio $3^\circ\text{C}/100 \text{ m}$. W krajach, w których w budowie geologicznej

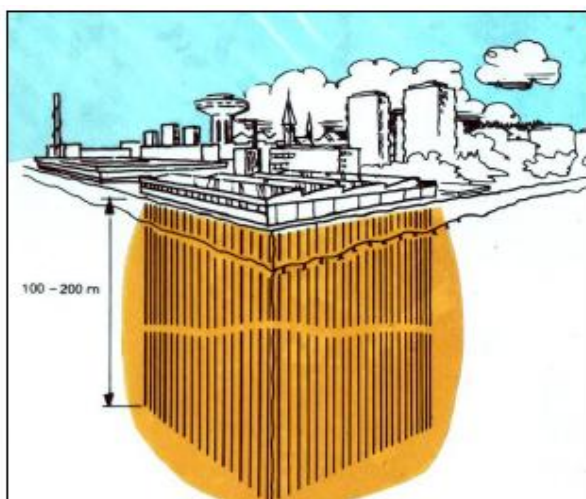
dominują skały krystaliczne, gradient jest często o wiele mniejszy, podczas gdy w krajach, gdzie w budowie geologicznej istotne znaczenie mają skały ilaste, gradient jest wyższy. Przepływ ciepła geotermalnego wynosi około $0,07 \text{ W/m}^2$. Jednakże, zróżnicowanie jest raczej duże i zależy w dużym stopniu od pozycji geograficznej i lokalnych warunków geologicznych.

IV. LIMITY I OGRANICZENIA

IV. 1. Ograniczenia techniczne

W poprzednim rozdziale pokazano, iż naturalne źródła dla systemów gruntowych pomp ciepła (energii atmosferycznej i geotermalnej) są praktycznie nieograniczone, pod warunkiem, że obiekty nie będą położone zbyt blisko siebie. Generalnie, źródło ciepła zawsze istnieje i z technicznego punktu widzenia nie ma ograniczeń w jego wykorzystaniu.

Dla podziemnych systemów sezonowego (lub krótkoterminowego) magazynowania ciepła i chłodu, źródła przechowywanej energii mogą być różne. Takim źródłem jest na przykład ciepło odpadowe z przemysłowych procesów chłodzenia. Innym źródłem może być zimno odpadowe z parowników pomp ciepła. Takie typy źródeł zawsze mają ograniczenia techniczne, takie jak: obciążenie, czas trwania, temperatura, dostępność itd., które są charakterystyczne dla danej lokalizacji. Te ograniczenia powinny zostać ustalone na wczesnym etapie danego projektu.



Rysunek 2. Techniczne ograniczenia projektu podziemnego magazynowania mogą być związane z charakterystyką obciążenia, temperaturami pracy, dostępnością źródła energii itd. Istotne jest zdefiniowanie tych ograniczeń na wczesnym etapie projektu.

IV. 2. Ograniczenia geologiczne

Zasadniczo, w wybranych warunkach geologicznych, są możliwości techniczne dla realizacji jednego lub kilku typów systemów gruntowych pomp ciepła. Wybór dotyczy bardziej znalezienia właściwej metody konstrukcji, związanej z określonymi warunkami geologicznymi w miejscu instalacji. Pomimo to, kryteria geologiczne różnią się według tego, jaki typ systemu ma być zainstalowany, co podsumowano poniżej.

- **Systemy z układem zamkniętym** są ogólnie możliwe do stosowania w każdych warunkach geologicznych. Jednakże, czynnik ograniczający mogą stanowić właściwości termiczne i problemy z wierceniem.
- **Systemy otwarte** (oparte o pompowanie wody gruntowej) wymagają warunków geologicznych zawierających jedną lub kilka warstw wodonośnych. Pomimo to, geometria warstwy wodonośnej,

właściwości hydrauliczne i chemizm wód mogą być czynnikami ograniczającymi dla każdej lokalizacji.

IV. 3. Ograniczenia hydrogeologiczne

O projektowaniu każdego systemu z układem otwartym decydują w praktyce warunki hydrogeologiczne. Parametry wejściowe, takie jak typ warstwy wodonośnej, geometria, poziom i gradient wody podziemnej, skład teksturalny, właściwości hydrauliczne i granice są w rzeczywistości podstawą dla projektowania i realizacji takich systemów. Dla systemów z układem zamkniętym te parametry są mniej istotne, lecz mogą w niektórych przypadkach stanowić warunki ograniczające.

- **Na systemy z układem otwartym** może mieć wpływ przepływ wód podziemnych. Dla systemów z poborem ciepła w normalnych warunkach stanowi to zaletę. Dla systemów z magazynowaniem ciepła i zimna (BTES), może być to niekorzystne dla poboru zimna. Co więcej, niski poziom wód podziemnych będzie ograniczać pobór ciepła i zimna, jeśli nie będzie stosowane podsadzanie.
- **Warstwy wodonośne wykorzystywane przy systemach otwartych** mogą mieć ograniczoną produkcję (wydajność odwiertu) i/lub niekorzystny skład chemiczny. Może również zająć okoliczność, gdy wielkość i geometria nie są odpowiednie. Co więcej, warstwa wodonośna może być już wykorzystywana przez, na przykład, źródło wody pitnej. Będzie to czynnik ograniczający, który nie może być pominięty. W takich okolicznościach jako alternatywa powinien być rozważony system z układem zamkniętym.

IV. 4. Warunki klimatyczne

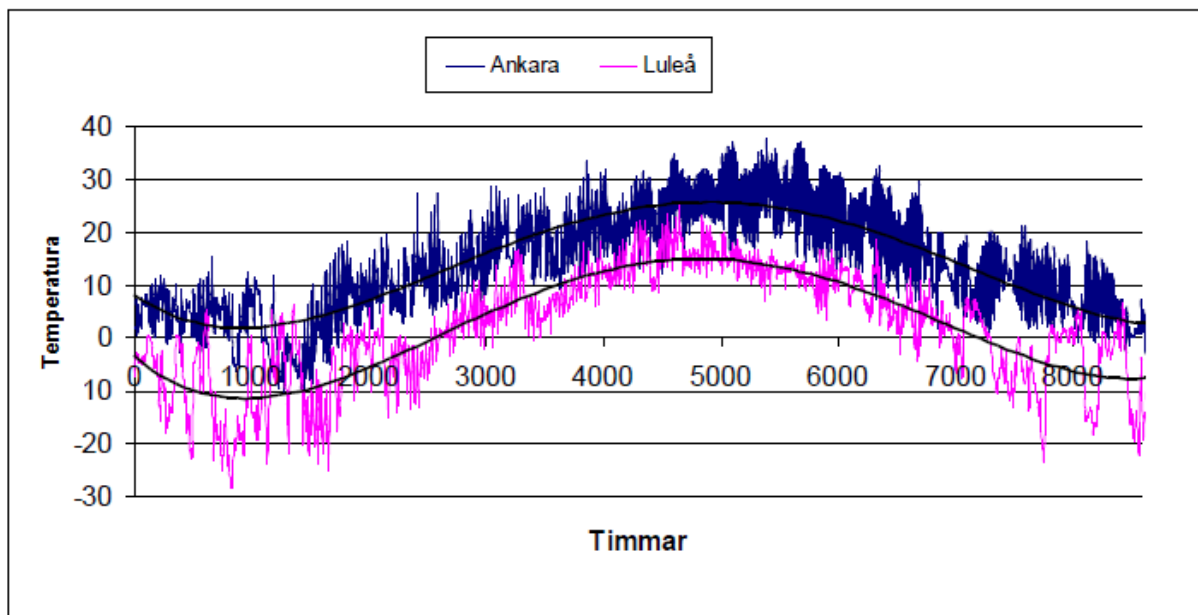
Klimat odgrywa istotną rolę w stosowaniu systemów gruntowych pomp ciepła. Składa się na to wiele powodów, lecz najważniejszym warunkiem jest to, że temperatura otoczenia gruntowego jest odzwierciedleniem średniej temperatury powietrza. Typ klimatu (tropikalny, suchy, śródziemnomorski, morski i kontynentalny) również ograniczy stosowanie niektórych systemów (Tabela 1).

Tabela 1. Zasady wykonalności dla systemów gruntowych pomp ciepła w różnych klimatach

Typ klimatu	Warunki pogodowe	Systemy gruntowych pomp ciepła	
		gruntowa pompa ciepła	UTES
Tropikalny	Gorący, bez pór roku	Niewykonalne	Niewykonalne
Suchy	Gorący, chłodne noce	Niewykonalne	Magazynowanie chłodu noc - dzień
Śródziemnomorski	Ciepłe lato	Czasami	Sezonowe magazynowanie ciepła i zimna
Morski	Łagodna zima	wykonalne	Sezonowe magazynowanie ciepła i zimna
Kontynentalny	Ciepłe lato	Wykonalne	Sezonowe magazynowanie ciepła i zimna

Innym czynnikiem klimatycznym jest wilgotność. W gorących klimatach z wysoką wilgotnością istnieje wymóg temperaturowy dla chłodzenia, pozwalający na skraplanie. W praktyce oznacza to, że nie jest możliwe bezpośrednie chłodzenie budynku od gruntu. Jednakże, w takim przypadku istnieją inne rozwiązania techniczne.

Jak wskazano w Tabeli 1, najlepsza wydajność systemów UTES powiązana jest z klimatem kontynentalnym, z sezonowanymi wahaniami temperatur od lata do zimy. Takie warunki mogą również występować lokalnie w nieoczekiwanych lokalizacjach (patrz przykład z rys. 3).



Rysunek 3. Warunki klimatyczne dla stosowania UTES są niemal równoważne w Luleå (północna Szwecja) i Ankarze (Turcja).

IV. 5. Ograniczenia środowiskowe

Systemy energetyczne gruntowych pomp ciepła przyczyniają się do mniejszej globalnej emisji dwutlenku węgla i innych niekorzystnych dla środowiska substancji. Jednakże, w zależności od kraju, i być może również lokalnie, mogą istnieć kwestie ograniczające, takie jak:

- zanieczyszczenie gruntu i wody gruntowej przez otwory wiertnicze łączące się z powierzchnią, otwory wiertnicze łączące różne warstwy wodonośne i stosowanie środków przeciwmazających,
- zmiana podziemnej temperatury, która może wpłynąć na chemizm oraz skład i wzrost bakterii pod ziemią,
- emisje, uszkodzenia i lokalne zaburzenia (hałas itd.) wywoływane przez wiercenie i konstrukcję,
- uszkodzenie budynków, fauny i flory obsługujących systemy.

W większości krajów takie typy ograniczeń są przedmiotem legislacji. Wynik wniosków o pozwolenie może czasem być taki, że plan gruntowej pompy ciepła jest odrzucony przez instytucje prawne lub władze lokalne.

Generalnie, systemy z układem otwartym są trudniejsze do uzyskania akceptacji w porównaniu z systemami z układem zamkniętym. Jest to spowodowane faktem, iż korzystanie z wód podziemnych w większości krajów wywołuje najwięcej obaw.

IV. 6. Ograniczenia ekonomiczne

W większości przypadków systemy gruntowych pomp ciepła na rynku komercyjnym powinny być opłacalne. Jednakże, na etapie badawczo-rozwojowym, realizowane mogą być instalacje niedochodowe oraz systemy, które spełniają cele środowiskowe. W takich przypadkach, korzystne finansowanie będzie w wielu przypadkach ograniczało mniej korzystny ekonomiczny efekt systemu. Mimo to, z czysto komercyjnego punktu widzenia, limity kosztów mogą być objaśnione jako:

- połączone koszty operacyjne i utrzymania muszą być mniejsze, niż dla systemów konkurencyjnych,
- dodatkowy koszt inwestycji dla systemu gruntowej pompy ciepła musi zwrócić się dzięki wartości zaoszczędzonej energii i kosztowi utrzymania podczas technicznej żywotności systemu,
- obliczony bezpośredni okres zwrotu różni się między różnymi sektorami i krajami, lecz często uznaje się 10-15 lat jako rozsądną górną granicę.

IV. 7. Legislacja jako czynnik ograniczający

Legislacja obejmuje złożoną mieszankę praw, kodeksów, standardów i norm. Szczegółowo, przepisy takie są częstsze w krajach, które już stosują powszechnie systemy gruntowych pomp ciepła. W kwestii przepisów, w innych krajach mogą istnieć bardzo ograniczone sytuacje rodem z „dzikiego zachodu”. Sytuacja ta tworzy czynnik ograniczający sam w sobie, gdyż władze nie wiedzą jak reagować na wnioski o pozwolenia. W rzeczy samej, czasem powoduje to, iż dobre plany nie rozwijają się już dalej.

Na tym etapie wygląda na to, że prawodawcy nie wiedzą jak oceniać systemy gruntowych pomp ciepła z punktu widzenia zagrożeń. Tym samym, dla stworzenia w różnych krajach funkcjonalnej legislacji, prawodawca musi być bardziej świadomy, poinformowany i możliwie również wyszkolony na temat tego, jak działają systemy gruntowych pomp ciepła i co sobą reprezentują.



ROZDZIAŁ 3 - STUDIA KONCEPCYJNE I WYKONALNOŚCI

autor Burkhard Sanner

I. WPROWADZENIE

Dla studium koncepcyjnego najpierw należy odpowiedzieć na następujące pytania:

- Czy w określonej lokalizacji będzie dozwolone wykonanie gruntowej pompy ciepła (GHP) z ujęciami wody podziemnej lub otworowy wymiennik ciepła (pionowy GWC)?
- Jakie są warunki geologiczne podłoża warunkujące parametry termiczne, kwestie wiertnicze i środowiskowe?
- Jakie jest zapotrzebowanie cieplne?

Mając te dane można wstępnie ocenić projekt od strony geologicznej. Na etapie studium koncepcyjnego typowo nie wykonuje się badań penetrujących grunt (wiercenie, geofizyka) dla uzyskania danych o podłożu, co ma na celu obniżenie kosztów inwestycji.

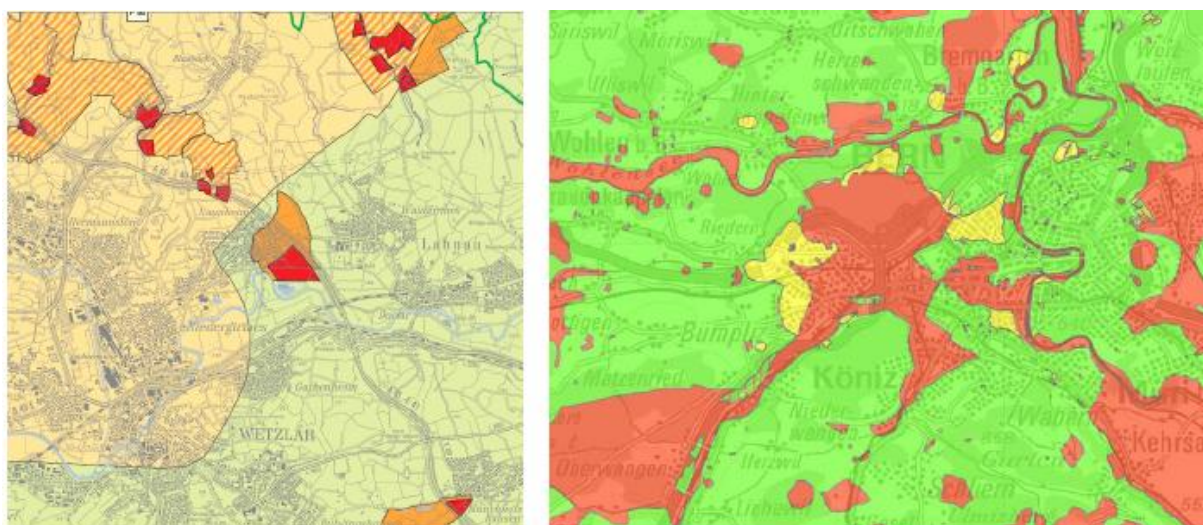
Na końcu, dla sprawdzenia wykonalności ekonomicznej, należy zadać pytanie:

- Jakie są szacowane koszty inwestycyjne i operacyjne?

II. MOŻLIWOŚĆ UZYSKANIA ZEZWOLENIA INSTALACYJNEGO

Temat ten powinien być poruszony na początku, bądź to przez analizę odpowiednich map (rys. 1) lub systemów informacyjnych dostępnych np. w Internecie lub przez bezpośredni kontakt ze stosownymi organami i instytucjami.

Na tym etapie nie zostanie udzielona ostateczna odpowiedź, gdyż organy nie podejmą decyzji, póki projekt nie zostanie wykonany i przesłany. Jednakże, podstawowe przeszkody, takie jak strefy ochrony wód podziemnych, obszary z artezyjskimi warstwami wodonośnymi itd. mogą być szybko zidentyfikowane i lokalizacja projektu, która nie ma szans na uzyskanie zezwolenia, może być odrzucona, zanim poniesie się zbyt wysokie koszty. Mapy lub bazy danych GIS są dostępne dla wielu regionów Szwecji, Niemiec i Szwajcarii. Pierwsza mapa tego typu została wykonana dla Kantonu Bern w Szwajcarii około roku 1990, a dzisiejsze dane są dostępne poprzez interaktywny system GIS (Rys. 1). W krajach bez wystarczającej ilości udostępnionych informacji, można je uzyskać przez bezpośredni kontakt z odpowiednimi organami, instytucjami lub placówkami badawczymi.



Rysunek 1. (po lewej) Przykład szczegółowej mapy niewielkiej części niemieckiego kraju związkowego Hessen, przedstawiającej obszary odpowiednie dla gruntowej pompy ciepła (zielone), obszary wymagające indywidualnego zbadania i decyzji (jasnobrązowe), i obszary zastrzeżone (czerwone); (po prawej) podobna mapa dla Kantonu Berno w Szwajcarii, z internetowej bazy danych:

<http://www.bve.be.ch/site/geo>

III. PARAMETRY PODZIEMNE

Z oczywistych przyczyn budowa geologiczna jest tą częścią projektu gruntowa pompa ciepła, której nie można zmienić. Dlatego też to projekt musi dostosować się do geologii, i tym samym wymaga dokładnego rozeznania sytuacji geologicznej i danych na ten temat:

- Typ skały i jej twardość (dla wiercenia odwiertów pod pionowe GWC gruntowej pompy ciepła)
- Charakterystyka termiczna podłoża (dla pracy gruntowej pompy ciepła)
- Warunki wody podziemnej (dla wiercenia i pracy gruntowej pompy ciepła)

Dla studium koncepcyjnego, informacja może być uzyskana tylko z map geologicznych sąsiadujących otworów wiertniczych. Wymagane dane dotyczą głównie litologii dla systemów pionowych GWC i hydrogeologii dla systemów wody podziemnej. Dzięki informacji litologicznej można oszacować zarówno preferowaną technologię wiercenia i parametry termiczne. W przełożeniu typu skały na parametry termiczne pomocna może być tabela z niemieckich wytycznych VDI 4640 (Tabela 1).

Tabela 1. Część tabeli parametrów termicznych podanych w VDI 4640, część 1, wydanie z 2010 r.

Typ skały		Przewodność cieplna w W/(mK)		Objętościowa właściwa pojemność cieplna w MJ/(m ³ K)	Gęstość w 10 ³ kg/m ²
		Wartość średnia	Wartość rekomendowana		
nieskonsolidowane	il/pył suchy	0,4 - 1,0	0,5	1,5 - 1,6	1,8 - 2,0
	il/pył nasycony wodą	1,1 - 3,1	1,8	2,0 - 2,8	2,0 - 2,2
	piasek, suchy	0,3 - 0,9	0,4	1,3 - 1,6	1,8 - 2,2
	piasek, wilgotny	1,0 - 1,9	1,4	1,6 - 2,2	1,9 - 2,2
	piasek, nasycony wodą	2,0 - 3,0	2,4	2,2 - 2,8	1,9 - 2,3
	żwir, kamienie, suche	0,4 - 0,9	0,4	1,3 - 1,6	1,8 - 2,2

Typ skały	Przewodność cieplna w W/(mK)		Objętościowa właściwa pojemność cieplna w MJ/(m³K)	Gęstość w 10³kg/m²
	Wartość średnia	Wartość rekomendowana		
żwir/kamienie, nasycone wodą	1,6 – 2,5	1,8	2,2 – 2,6	1,9 – 2,3
skały osadowe	glina/ił	1,1 – 2,9	2,4	1,5 – 2,5
	torf, miękki lignit	0,2 – 0,7	0,4	0,5 – 3,8
	iłowiec, pyłowiec	1,1 – 3,4	2,2	2,1 – 2,4
	piaskowiec	1,9 – 4,6	2,8	1,8 – 2,6
	złepieniec, brekcja	1,3 - 5,1	2,3	1,8 – 2,6
	margiel	1,8 - 2,9	2,3	2,2 – 2,3
	wapień	2,0 - 3,9	2,7	2,1 – 2,4
	dolomit	3,0 - 5,0	3,5	2,1 – 2,4
	anhydryt	1,5 - 7,7	4,1	2,0
	gips	1,3 - 2,8	1,6	2,0

Budowa geologiczna podłoża ma także duże znaczenie w kwestii ochrony gruntu i wód podziemnych. Dlatego należy zbadać możliwe problemy środowiskowe związane z gruntową pompą ciepła w miejscu jej instalacji. Wpływ na grunt i wodę podziemną może być wywierany poprzez:

- wyciek środka zapobiegającego zamarzaniu,
- połączenie różnych pięt wodonośnych lub połączenie warstw wodonośnych z powierzchnią (jakość cementowania / długoterminowa szczelność),
- wiercenie w warstwach wodonośnych typu artezyjskiego,
- skutki termiczne.

Mogą wystąpić także inne niekorzystne efekty środowiskowe, wywołane np. pęczniejącymi iłami lub anhydrytem. Kwestie wpływu na środowisko omówiono szczegółowo w Rozdziale 19.

IV. DANE O OBCIĄŻENIU BUDYNKU

Główne parametry budowlane, jakie są istotne dla projektu to:

- szczytowe obciążenia cieplne (kW) w warunkach projektowych dla danego projektu,
- roczne obciążenia cieplne (MWh),
- wymagania temperaturowe systemów dystrybucji (ogrzewania i chłodzenia).

Wymagane jest ustalenie i przedstawienie rocznych wahań obciążenia gruntu. Dla większych projektów, minimalnym zakresem parametrów, jakie muszą być znane są miesięczne obciążenia energetyczne i obciążenia szczytowe.

Dane o budynku zawierają także pewne informacje niezwiązane bezpośrednio z zapotrzebowaniem na ciepło i zimno, lecz z zagospodarowaniem przestrzennym:

- obszar dostępny dla wiercenia,
- inne ograniczenia poniżej lub powyżej powierzchni gruntu.

V. WSTĘPNY PROJEKT SYSTEMU

Dzięki informacjom opisanym powyżej ustalić można niezbędny rozmiar i schemat systemu gruntowej pompy ciepła. Pompa ciepła wykorzystująca wody podziemne, przy wydajności 1 m³/h wody może zapewnić 3,5 – 4,5 kW. Dla systemu z pionowym GWC (bardziej konserwatywny) szacunek wydajności pionowego GWC o głębokości 100 m wyniesie 3 - 4 kW. Zawsze lepiej jest wykonać obliczenie wymaganej długości otworu wiertniczego, np. za pomocą programu EED, lecz ogólna przybliżona zasada może pomóc rozwiązać przypadki, gdzie nie są znane wystarczające dane dla wiarygodnych obliczeń.

Należy zawsze pamiętać, że takie wstępne oszacowanie schematu systemu jest wykonane tylko dla studium koncepcyjnego, a właściwy projekt dla instalacji musi przestrzegać określonych zasad i być oparty o dane z rzeczywistych pomiarów parametrów gruntowych, jak również dokładnie wyliczony przy użyciu EED lub podobnych programów.

VI. OPŁACALNOŚĆ EKONOMICZNA

Dla wstępnej oceny aspektów związanych z ekonomiką przedsięwzięcia wykonuje się obliczenia dla projektowanej inwestycji:

- pionowy GWC z ceną jednostkową (np. 50 €/m),
- pompa ciepła z ceną jednostkową (np. 800 €/kW).

Ponadto, podsumowane powinny być spodziewane koszty operacyjne:

- zużycie elektryczności, cena energii elektrycznej (w tym stawki specjalne / poza szczytem),
- konserwacja i naprawy.

Zaleca się obliczenie rocznego udziału kosztu inwestycji i finansowego, wraz z rocznym kosztem operacyjnym. Wówczas wynik jest porównany z kosztem inwestycji i operacji wymaganym dla alternatywnej instalacji konwencjonalnej.

Jeśli w wyniku wykonania studium koncepcyjnego/wykonalności stwierdzony zostanie brak przeszkód utrudniających wiercenie w danej lokalizacji oraz zarówno techniczne jak i finansowe aspekty planowanego systemu gruntowej pompy ciepła są korzystne, można przejść do kolejnego etapu - rozpoznania terenowego i związanych z tym działań.



ROZDZIAŁ 4 - GRUNTOWY TRANSPORT CIEPŁA

autor Burkhard Sanner

I. WPROWADZENIE

Generalnie, możliwe są trzy rodzaje transportu ciepła:

- przewodnictwo ciepła,
- konwekcja ciepła,
- promieniowanie cieplne.

Promieniowanie cieplne zachodzące wewnątrz gleby i skał może zostać pominięte. Stąd rozważone powinny być tylko dwa pierwsze z wymienionych mechanizmów transportu ciepła. W wielu przypadkach rzeczywisty transport ciepła w podłożu jest wynikiem i wypadkową zarówno przewodnictwa, jak i konwekcji. W skałach litych bez przestrzeni porowej transport ciepła zachodzi tylko przez przewodnictwo.

II. PRZEWODNICTWO CIEPŁA

Ciepło zawsze przepływa od ciała o wyższej temperaturze do obszaru o niższej temperaturze. Ilość transportowanego ciepła jest uwarunkowana głównie przez dwa czynniki: różnicę temperatur między rozważanymi obszarami oraz właściwości materiału między dwoma obszarami. Zdolność materiału do przewodzenia ciepła może być opisana jako „przewodność cieplna”, podane w $W/m/K$ (lub $W\ m^{-1}\ K^{-1}$) i jest ona typowo oznaczona przez literę λ . Czasami używane jest jej przeciwieństwo, „opór cieplny” (w szczególności przy materiałach izolacyjnych); jest ona podana w $K/(W\ m)$ i oznaczona przez literę R .

Parametry przewodnictwa ciepła mogą być postrzegane analogicznie jak inne zjawiska transportowe, takie jak prąd elektryczny lub hydraulika, jak podano w poniższej tabeli:

Ciepło	Elektryczność	Hydraulika
Różnica temperatur	Napięcie	Ciśnienie hydrauliczne
Przewodność cieplna	Przewodnictwo elektryczne	Przewodnictwo hydrauliczne
Rezystancja termiczna	Oporność elektryczna	Opór przepływu
Przepływ ciepła	Prąd elektryczny	Przepływ płynu

Parametr przewodnictwa termicznego jest warunkowany przez następujące składniki gleby i skały:

- przewodność cieplna masy litej (minerałów lub kombinacji minerałów),
- przewodność cieplna wypełnień porów,
- transport ciepła na granicach między cząsteczkami masy litej, lub między masą litą a wypełnieniem porów.

Rodzaj i typ skały			Przewodnictwo termiczne (W/m/K)	
				rekomendowane
Skała nieskonsolidowana	Ił/pył, suchy		0,4 - 1,0	0,5
	Ił/pył, nasycony wodą		0,9 - 2,3	1,7
	Piasek, suchy		0,3 - 0,8	0,4
	Piasek, nasycony wodą		1,5 - 4,0	2,4
	Żwir, suchy		0,4 - 0,5	0,4
	Żwir, nasycony wodą		1,6 - 2,0	1,8
	Torf, miękki węgiel brunatny		0,2 - 0,7	0,4
Lite osady	Iłowiec, pyłowiec		1,1 - 3,5	2,2
	Piaskowiec		1,3 - 5,1	2,3
	Złepieńce		1,3 - 5,1	2,3
	Margiel		1,5 - 3,5	2,1
	Wapień		2,5 - 4,0	2,8
	Dolomit		2,8 - 4,3	3,2
	Anhydryt		1,5 - 7,7	4,1
	Gips		1,3 - 2,8	1,6
	Sól		5,3 - 6,4	5,4
	Węgiel kamienny		0,3 - 0,6	0,4
Magmowe	Tuf		1,1	1,1
	Wulkaniczne, kwaśne do pośrednich	np. ryolit, trachit	3,1 - 3,4	3,3
		np. latyt, dacyt	2,0 - 2,9	2,6
	Wulkaniczne, alkaliczne do ultra-alkalicznych	np. andezyt, bazalt	1,3 - 2,3	1,7
	Plutoniczne, kwaśne do pośrednich	Granit	2,1 - 4,1	3,4
		Sjenit	1,7 - 3,5	2,6
	Plutoniczne, alkaliczne do ultra-alkalicznych	Dioryt	2,0 - 2,9	2,6
		Gabro	1,7 - 2,5	1,9
Skała metamorficzna	Lekko metamorficzna	Łupek ilasty	1,5 - 2,6	2,1
		Czert	4,5 - 5,0	4,5
	Umiarkowanie do wysoce metamorficznych Wulkaniczne, kwaśne do pośrednich	Marmur	1,3 - 3,1	2,5
		Kwarcyt	5,0 - 6,0	5,5
		Łupek	1,5 - 3,1	2,2
		Gnejs	1,5 - 3,1	2,2
		Amfibolit	1,9 - 4,0	2,9
		np. ryolit, trachit	2,1 - 3,6	2,9

W twardych skałach tylko lita masa kontroluje zachowanie termiczne podłoża. W glebie, osadach nieskonsolidowanych lub skałach porowatych (np. spękanych lub z krasem), istotne znaczenie ma wypełnienie tych pustek. Odzwierciedla to fakt, iż zróżnicowanie przewodnictwa termicznego w materiale porowatym jest o wiele wyższe niż dla litej skały, co przedstawia poniższa tabela. Dla porów wypełnionych powietrzem (np. suchy żwir lub suchy piasek), przewodność cieplna całego materiału jest raczej słaba, podczas gdy przy wypełnieniu porów wodą jest ona o wiele lepsza. Jest to powodem tego, że w materiałach porowatych przewodność cieplna jest w dużym stopniu uzależniona od stopienia wilgotności. W twardej skale zawartość kwarcu jest dobrym znacznikiem przewodności cieplnej, gdyż kwarc jest jednym z najczęściej występujących minerałów, o najwyższej przewodności cieplnej (7-14 W/m/K, w zależności od orientacji kryształów w kierunku pomiaru).

Wartości przewodności cieplnej poszczególnych skał i typów gruntów można znaleźć w kilku publikacjach - lista podana jest np. w wytycznych niemieckich VDI 4640 część 1. Dla projektów

powyżej ok. 30 kW, rekomendowane jest zbadanie tego parametru bezpośrednio na miejscu, z zastosowaniem testu reakcji termicznej (TRT, patrz rozdział 8). Wartości w powyższej tabeli zacytowano za wytycznymi VDI 4640 (wydanie 2010).

III. KONWEKCJA CIEPŁA

Transport ciepła przez konwekcję oznacza, iż ciepło jest przenoszone z materiałem o wyższej temperaturze do obszarów o niższej temperaturze. W hydrogeologii termin „konwekcja” jest zazwyczaj stosowany dla naturalnych, pionowych ruchów płynów wywołanych przez różnice gęstości, spowodowanych różnicami temperatur. Dla w przewodzie poziomego transportu płynu wywołanego różnicą ciśnień w warstwie wodonośnej stosowany jest termin „adwekcja”.

Woda ma dość wysoką właściwą pojemność cieplną wynoszącą około 4,2 kJ/kg/K (lub 4,2 MJ/m³/K), a tym samym dobrze nadaje się do konwekcyjnego transportu ciepła. Jednakże, istnieje zawsze interakcja płynu z masą skalną, przez którą migruje, i tym samym wymiana ciepła między płynem a masą litą. W efekcie, konwekcyjny transport ciepła jest o wiele wolniejszy, niż sam przepływ wody podziemnej.

Dla transportu ciepła przez konwekcję nie wystarczy określenie pojedynczego parametru, takiego jak np. przewodność cieplna. Proces jest o wiele bardziej złożony i obejmuje właściwości płynu, właściwości masy litej (matrix), wielkość i charakterystykę porów, właściwości hydrauliczne, itd. O ile przewodnictwo termiczne może być uproszczone matematycznie w sposób, dzięki któremu może być obliczone analitycznie, jest to praktycznie niemożliwe dla konwekcyjnego transportu ciepła. Z kolei, jeśli zachodzi konwekcyjny transport ciepła, zawsze istnieje powiązana z nim składowa przewodząca. Stąd, obliczenie konwekcyjnego transportu ciepła wymaga symulacji numerycznej przez połączenie modelu termicznego i hydraulicznego.



ROZDZIAŁ 5 - KRYTERIA PROJEKTOWE

autor Walter J. Eugster

I. WPROWADZENIE

Najistotniejsze kryteria projektowe (także dla do procedur rozruchu) dla systemów gruntowych pomp ciepła są następujące:

- Wysoka wydajność
- Wysoka niezawodność
- Wysokie bezpieczeństwo systemowe
- Opłacalność

Poza tymi kryteriami istnieje główna zasada, której należy przestrzegać w procesie projektowania: prostota. Systemy powinny być tak proste, jak to możliwe. Ta zasada pomaga zminimalizować wiele możliwych usterek systemu podczas pracy.

Instalacja gruntowej pompy ciepła musi mieć wysoką efektywność. Celem uzyskania wysokiej efektywności systemu jest zminimalizowanie kosztów operacyjnych i kompensacja strat powstałych podczas poboru energii elektrycznej. Wydajność wytwarzania energii elektrycznej może różnić się w zależności od kraju, a także w niektórych przypadkach może stanowić kwestię lokalną. Dla zaspokojenia celów klimatycznych, nowo zainstalowane systemy gruntowych pomp ciepła muszą rekompensować zawiązką straty generacyjnej, zarówno obecne jak i przyszłe.

II. PODSTAWY

Projektanci muszą być świadomi, iż istnieje duża różnica między żywotnością elementów podziemnych systemu i instalacji w pomieszczeniu technicznym budynku.

Pompa ciepła, pompy cyrkulacyjne i większość innych istotnych części systemu wymieniane są dwa do trzech razy podczas funkcjonowania instalacji podziemnych. Tym samym, otworowe wymienniki ciepła (pionowe GWC) muszą pracować z maksymalnie trzema nowymi generacjami pomp ciepła. Jest to przyczyną, dla której przestrzegana powinna być inna maksyma istotna dla projektu: otworowy wymiennik ciepła nigdy nie jest za długi.

Od strony technicznej, wysoka wydajność systemowa jest osiągnięta przez utrzymanie różnicy temperatur między źródłem ciepła i dostawą ciepła na poziomie tak niskim jak to możliwe i przez zminimalizowanie wszystkich możliwych strat, w tym energii, ciśnienia oraz temperatury.

Systemy gruntowych pomp ciepła nie potrzebują okresowych prac konserwacyjnych; takie systemy mają być w zamierzeniu pozbawione konserwacji. Osiągnięcie wysokiej niezawodności systemu podczas żywotności całego systemu nie jest już jedyną kwestią właściwego projektu. O wiele bardziej istotne są:

- prace instalacyjne,
- oddanie do użytku,
- ogólna kontrola jakości,

- stosowanie w instalacji tylko certyfikowanych, przetestowanych i dopuszczonych do obrotu materiałów i części systemowych.

W celu zagwarantowania wysokiego bezpieczeństwa systemu, zarówno sama instalacja, jak i przyszła jej praca muszą dokładnie przestrzegać wszelkich instrukcji i specyfikacji producenta oraz stosownych instytucji. Rekomenduje się, aby uwagi dotyczące bezpieczeństwa i zagrożeń były umieszczone oraz pokazywane blisko głównych komponentów systemowych.

III. OPŁACALNOŚĆ

Opłacalność jest zawsze istotna, chociaż może być kwestią ryzykowną i tzw. bronią obosieczną. Opłacalność w przypadku systemów gruntowych pomp ciepła oznacza unikanie wszelkich zbędnych kosztów. Nie oznacza to jednakże obniżenia kosztów ogólnych przez obniżenie wymaganej jakości instalacji lub jej części. Istnieje kilka zasad dla utrzymania niskich kosztów przy zachowaniu ogólnej wysokiej jakości:

- instalowanie systemu gruntowej pompy ciepła tylko w energetycznie odnowionych lub nowych budynkach,
- uwzględnianie w całkowitym zestawieniu kosztów nie tylko kosztów instalacji, lecz także wszystkich kosztów konserwacyjnych i operacyjnych,
- uwzględnianie oszczędzania CO₂ w korzyściach systemowych,
- wykorzystanie nieuniknionych dodatkowych kosztów wywołanych przez gruntową pompę ciepła na zbilansowanie „słabych rachunków”, takich jak świadomość środowiskowa lub zielony obraz budynku, lub „mocnych rachunków”, takich jak pozyskiwanie miejsca w budynku dla innej działalności lub wartości specjalnie zaprojektowanych płytek ściennych/podłogowych, nadmiernie zaprojektowanych kuchni itd.

Można zauważyć, że w Szwajcarii 80% nowo wybudowanych małych domów wyposażonych jest w pompy ciepła – dzieje się tak z powodów ekonomicznych. W większości zurbanizowanych obszarów nie ma chętnych na kupno domu bez pompy ciepła, dlatego jej brak obniża znacznie cenę budynku.



ROZDZIAŁ 6 - OTWOROWE WYMIENNIKI CIEPŁA

autor Göran Hellström

I. WPROWADZENIE

Dla domów jednorodzinnych i innych zastosowań w małej skali, celem gruntowej pompy ciepła jest zasadniczo wykorzystanie naturalnej temperatury podłoża jako źródła ciepła podczas trybu ogrzewania i jako odbiornika ciepła podczas trybu chłodzenia. Zmiana temperatury podłoża wokół otworów wiertniczych powinna być utrzymana na niewielkim poziomie w celu uniknięcia zmniejszonej wydajności systemu. Pożądana jest maksymalna interakcja termiczna z otaczającym gruntem, gdyż zamiarem jest rozproszenie energii termicznej w gruncie. Grunt jest także wykorzystany do magazynowania energii termicznej (podziemne magazynowanie energii cieplnej), w którym to przypadku interakcja termiczna z gruntem otaczającym magazynującą masę gruntu jest niepożądana.

Istotną kwestią przy projektowaniu systemów wykorzystujących otworowe wymienniki ciepła jest identyfikacja niskokosztowych metod konstrukcji otworowego wymiennika ciepła, tak iż ciepło może być podawane lub pobierane z gruntu bez nadmiernych różnic temperatury między płynem przenoszącym ciepło i otaczającym gruntem. Wydajność gruntowego urządzenia sprzężonego, takiego jak gruntowa pompa ciepła (zarówno w trybie ogrzewania jak i chłodzenia), wymiennik ciepła dla darmowego chłodzenia lub ładowanie kolektora słonecznego jest wyższa dla mniejszych różnic temperatur. Ten rozdział przedstawia przegląd różnych projektów otworowych wymienników ciepła (pionowy GWC).

II. KONCEPCJE

Zacniemy od krótkiego opisu podstawowych procesów termicznych zachodzących, gdy ciepło jest przenoszone między krążącą cieczą przenoszącą ciepło w rurach w otworach wiertniczych i otaczającym gruncie.

II. 1. Opór cieplny od płynu do gruntu

Transport ciepła między płynem przenoszącym ciepło i otaczającym gruntem zależy od ułożenia kanałów przepływu, konwekcyjnego transportu ciepła w przewodach i właściwości termicznych materiałów uczestniczących w procesie termicznym. Rezystancje termiczne powiązane z tymi elementami łączą się dla utworzenia rezystancji termicznej płyn - grunt. Dwie główne części tej rezystancji to rezystancja termiczna między płynem przenoszącym ciepło i ścianą otworu wiertniczego, która jest zwykle zwana rezystancją termiczną otworu wiertniczego, i rezystancja termiczna otaczającego gruntu od ściany otworu wiertniczego do pewnego odpowiedniego średniego poziomu temperatury. Wpływ rezystancji termicznej otworu wiertniczego może być względnie duży w projektach konwencjonalnych. Jest to ważne zwłaszcza w zastosowaniach z wysokimi wymogami odnośnie jednostkowej wydajności poboru ciepła i wysokich temperatur, takich jak solarne systemy ogrzewania i zastosowania niskotemperaturowe z wysokimi wymogami odnośnie osiągania wysokich jednostkowych wydajności poboru ciepła przy niewielkich różnicach temperatur.

II. 2. Opór cieplny gruntu

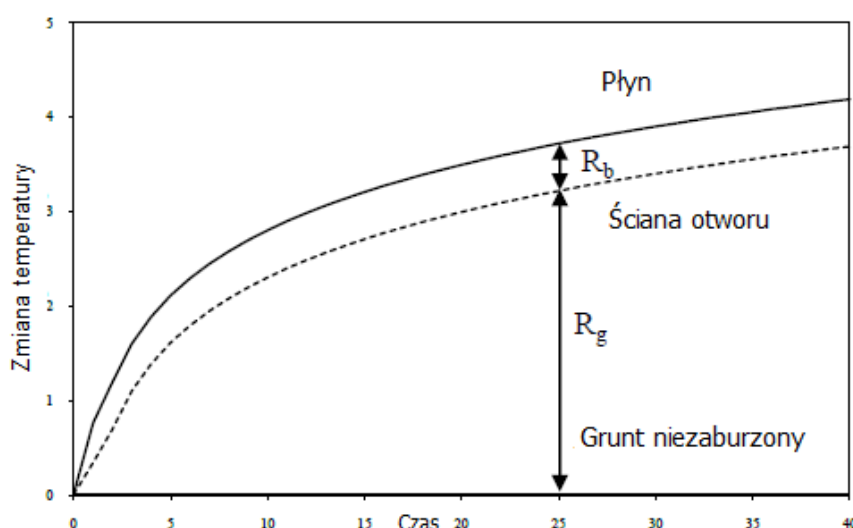
Rezystancja termiczna gruntu dotyczy gruntu otaczającego ściany otworu wiertniczego do określonego, odpowiedniego średniego poziomu temperatury. Ten poziom temperatury jest często wybierany jako naturalna niezaburzona temperatura podłoża T_0 w systemach typu dysypatywnego, podczas gdy lokalna średnia temperatura podłoża T_m jest bardziej odpowiednia w zastosowaniach dla magazynowania.

II. 2. 1. Zastosowania typu dysypatywnego

Dla dysypatywnego typu zastosowań, proces termiczny w gruncie cechuje się zróżnicowanym zachowaniem, na które należy wziąć poprawkę. Dobrze jest rozważyć odpowiedź termiczną wywołaną krokową zmianą w jednostkowej wydajności poboru ciepła q (W/m) podanej na jednostkę długości otworu wiertniczego, oraz powiązać ewolucję temperatury z zależną od czasu rezystancją termiczną gruntu R_g , tak, iż $T_b - T_0 = q R_g$

Gdzie T_b jest temperaturą w ścianie otworu wiertniczego.

Tym samym, jednostką rezystancji termicznej gruntu R_g staje się K/(W/m) (Rys. 1).



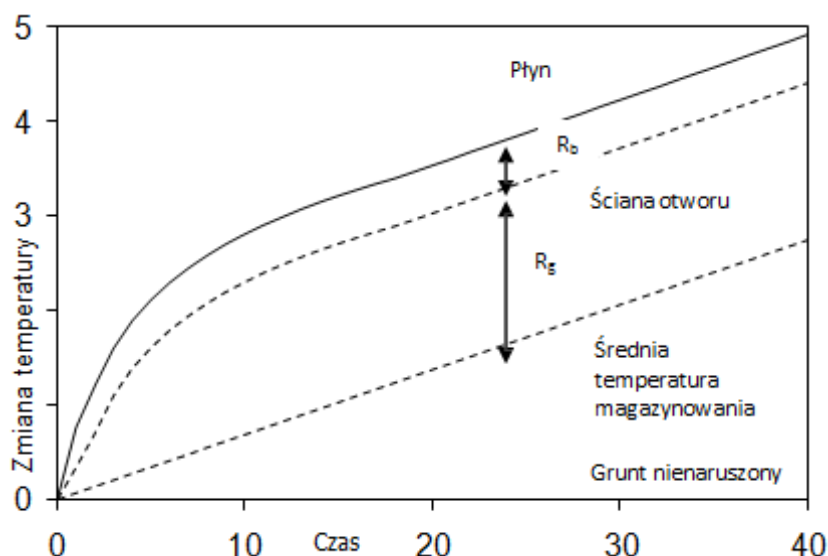
Rysunek 1. System dysypatywny: Zmiana temperatury (°C) wywołana oporem termicznym otworu wiertniczego i oporem termicznym gruntu dla stałej jednostkowej wydajności poboru ciepła. Niezaburzona temperatura podłoża jest stosowana jako temperatura odniesienia

II. 2. 2. Zastosowania typu magazynowania

W wyborze typu magazynowania, wybrany rejon gruntu może być przypisany do każdego gruntowego wymiennika ciepła. Temperatura w tym rejonie gruntu nazywana jest lokalną średnią temperaturą T_m . Rezystancja termiczna R_g między T_b i lokalną średnią temperaturą T_m jest zdefiniowana przez:

$$T_b - T_m = q R_g$$

Dla względnie blisko rozmieszczonych otworów wiertniczych interakcja termiczna między sąsiednimi otworami wiertniczymi jest w pełni rozwinięta dla impulsów dostarczania i poboru ciepła o czasie trwania około tygodnia lub większym. Na ten proces nałożone są krótkoterminowe różnice, gdzie interakcja termiczna między sąsiednimi otworami wiertniczymi może być typowo pominięta. Względne znaczenie rezystancji termicznej otworu wiertniczego jest większe dla zastosowań typu magazynowania (Rys. 2).



Rysunek 2. System typu magazynowania: Zmiana temperatury wywołana oporem termicznym otworu wiertniczego i oporem termicznym gruntu dla stałej jednostkowej wydajności poboru ciepła. Średnia temperatura magazynowania jest stosowana jako temperatura odniesienia

II. 3. Rezystancja termiczna otworu wiertniczego

Ważnym czynnikiem dla projektowania systemów otworów wiertniczych jest opór termiczny między płynem przenoszącym ciepło w kanałach przepływu otworu wiertniczego i ścianą otworu wiertniczego. Opór termiczny płyn - ściana otworu wiertniczego informuje o różnicy temperatur między temperaturą płynu w kolektorze (T_f) i temperaturą w ścianie otworu wiertniczego (T_b) dla pewnej jednostkowej wydajności poboru ciepła q (W/m):

$$T_f - T_b = R_b \cdot q$$

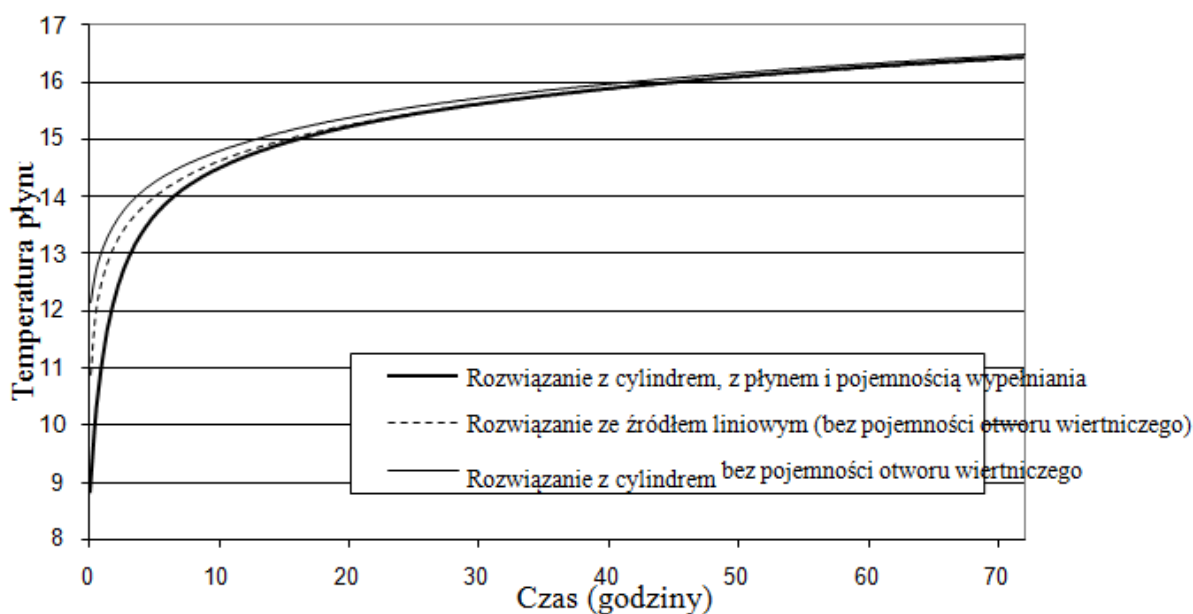
Ten tak zwany opór termiczny otworu wiertniczego zależy od ułożenia kanałów przepływu i termicznych właściwości uczestniczących materiałów. Wartości zaobserwowane w testach polowych wahają się między 0,01 K/(W/m) dla otwartego układu współosiowego (płyn przenoszący ciepło w bezpośrednim kontakcie ze skałą) a około 0,25 K/(W/m) dla pojedynczej U-rurki w cemencie bentonitowym, gdzie nie podjęto specjalnych środków zapobiegawczych dla utrzymania rur blisko ściany otworu wiertniczego. Różnica temperatur między płynem przenoszącym ciepło i ścianą otworu wiertniczego jest proporcjonalna do jednostkowej wydajności poboru ciepła. Dla typowej jednostkowej wydajności poboru ciepła wynoszącej 50 W/m, odpowiadająca różnica temperatur wynosi 0,5°C do 12,5°C. Opór termiczny otworu wiertniczego może mieć znaczny wpływ na wydajność systemu i powinna być utrzymana na poziomie tak niskim, jak to możliwe. Materiały wypełniające (np. bentonit, beton itd.) w zacementowanych otworach wiertniczych zwykle zapewniają lepszy transport ciepła niż otwór wypełniony stojącą wodą. Jednakże, w wypełnionych wodą otworach wiertniczych, transport ciepła wywołuje naturalną konwekcję w wodzie otworu wiertniczego i w otaczającym gruncie przepuszczalnym. To zjawisko, które jest bardziej zaznaczone w wysokich temperaturach i dużych jednostkowych wydajnościach poboru ciepła, prowadzi do redukcji ogólnej rezystancji termicznej otworu wiertniczego. Ogólna wydajność termiczna obszaru otworów wiertniczych narażonych na pewne zróżnicowanie ładunku cieplnego zależy nie tylko od oporu termicznego otworu wiertniczego, lecz także od przejściowej oporu termicznego otaczającego gruntu i wpływu termicznego innych otworów wiertniczych.

II. 4. Transport ciepła między kanałami przepływu

Temperatury płynu wzdłuż kanałów przepływu będą zróżnicowane zgodnie z bilansem ciepła między osiowym konwekcyjnym transportem ciepła i poprzecznym transportem ciepła do otaczającego gruntu. Różnica temperatur, która powstaje między kanałami ku górze i ku dołowi może stać się duża przy niskich prędkościach przepływu. Powstająca wymiana ciepła między kanałami przeciwnego przepływu może prowadzić do zmniejszenia wydajności gruntowego wymiennika ciepła. Dla konwencjonalnych otworowych wymienników ciepła z U-rurką, efekty te są zwykle istotne, gdy przepływ jest laminarny, zwłaszcza w kombinacji z głębokimi otworami wiertniczymi. Efekt ten zaobserwowano także we współosiowych otworowych wymiennikach ciepła ze słabą izolacją między wewnętrznymi i zewnętrznymi kanałami przepływu.

II. 5. Efekty wydajności cieplnej w otworze wiertniczym

Kiedy w transporcie ciepła do pionowego GWC zachodzi zmiana krokowa, powoduje ona gwałtowny wzrost temperatury płynu przenoszącego ciepło. Duża część dostarczonego ciepła jest początkowo absorbowana przez płyn i następnie przez inne materiały pojemnościowe w otworze wiertniczym, takie jak materiał wypełniający na zewnątrz kanałów przepływu. Po fazie początkowej, pojemnościowy efekt otworu wiertniczego jest praktycznie pomijalny, i prawie całe dostarczane ciepło jest transportowane do gruntu. Krótkoterminowe impulsy często wymagają uwzględnienia wpływu pojemności cieplnej otworu wiertniczego.



Rysunek 3. Wzrost temperatury płynu jako funkcja czasu (godziny) dla przypadku opartego o dane z testu reakcji termicznej. Początkowa temperatura podłoża to 8 °C

W przeciwnym razie, obliczone temperatury płynu będą zbyt wysokie (podczas dostarczania ciepła) lub zbyt niskie (podczas poboru ciepła). Jest to istotne zwłaszcza wtedy, jeśli istnieje duży opór termiczny między pojemnością cieplną otworu wiertniczego i ścianą otworu wiertniczego. Dla impulsów dostarczania ciepła o dłuższym czasie trwania, wpływ pojemności cieplnej otworu wiertniczego zazwyczaj może być pominięty.

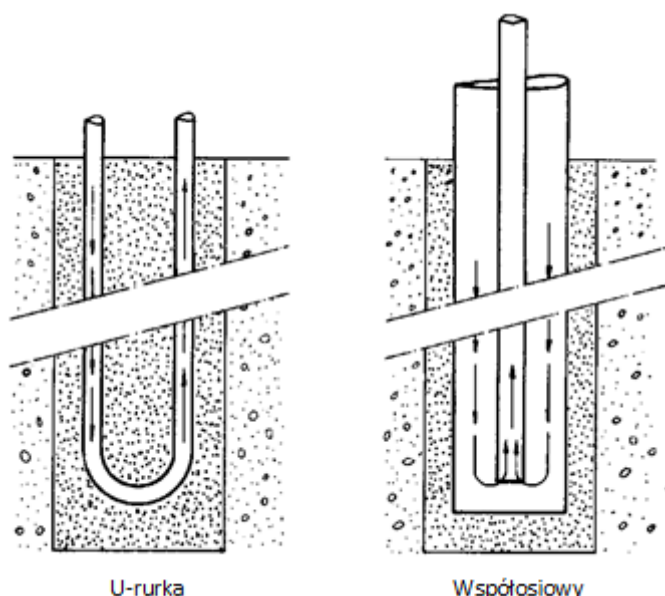
Rysunek 3 przedstawia numeryczny przykład oparty o typowe dane z testu reakcji termicznej, gdzie ciepło zatłaczane jest ze stałą prędkością do otworu wiertniczego. Takie testy są często oceniane z zastosowaniem modelu ze źródłem liniowym lub źródłem cylindrycznym. Podany przykład wskazuje, iż pojemności cieplne płynu i materiału wypełniającego mają istotny wpływ przynajmniej podczas

pierwszych 10-15 godzin, co wyjaśnia, dlaczego pomierzone dane z pierwszych 15 godzin są wyłączone z oceny wyników próby.

III. RÓŻNE WERSJE OTWOROWYCH WYMIENNIKÓW CIEPŁA

Konfiguracje rur pionowego gruntowego wymiennika ciepła (GWC) mogą być sklasyfikowane w oparciu o to, jak zachodzi wymiana ciepła z kanałów przepływu, oraz geometrię ich przekroju.

Rysunek 4 przedstawia dwie podstawowe wersje.



Rysunek 4. Dwa podstawowe projekty otworowego wymiennika ciepła

W pionowym GWC typu U-rurka, zarówno kanał przepływu ku górze jak i ku dołowi uczestniczy w wymianie ciepła z otaczającym gruntem. Charakterystyka współosiowego (lub typu rura w rurze) rodzaju pionowego GWC jest taka, iż wymiana ciepła zachodzi od góry lub od dołu przepływu w kanale przepływu (kierunek przepływu może także być różny podczas załaczania lub poboru ciepła). Wewnętrzna rura zwrotna jest (idealnie) izolowana w celu uniknięcia termicznego zwarcia między kanałami przepływu ku górze i ku dołowi. W tym rozdziale przedstawione zostaną przykłady otworowych wymienników ciepła przeznaczonych do pracy według dwóch podstawowych koncepcji. Większość projektów stosuje zamknięte obiegi, co oznacza że płyn przenoszący ciepło nigdy nie jest w bezpośrednim kontakcie z otaczającym gruntem. Kilka projektów pozwala na taki bezpośredni kontakt, tym samym możliwie minimalizując opór termiczny między płynem przenoszącym ciepło i gruntem.

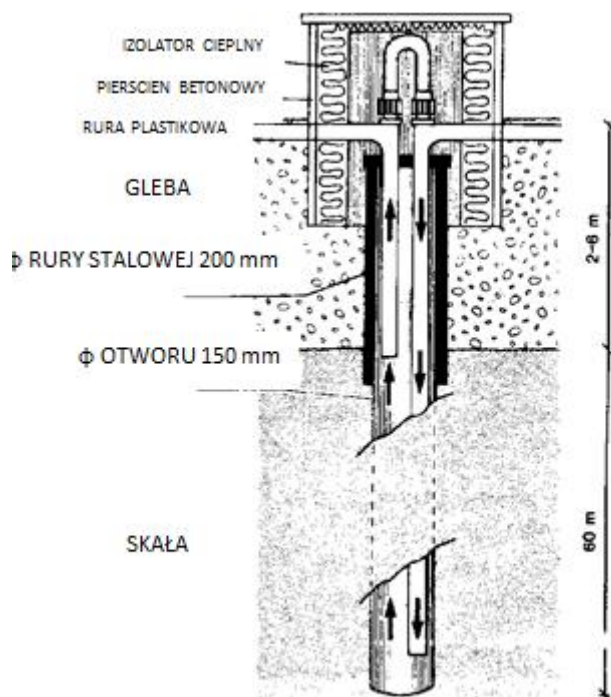
III. 1. Współosiowy typ pionowego GWC

Charakterystyczną cechą współosiowego typu pionowego GWC jest wymiana ciepła między płynem i gruntem, która zachodzi od kanału przepływu ku górze lub ku dołowi.

III. 1. 1. Współosiowy pionowy GWC bez linera

Najprostszym ułożeniem kanałów przepływu w otworowym wymienniku ciepła jest włożenie pojedynczej rury tworzywowej na dno otworu wiertniczego. Pierścieniowy obszar między rurą tworzywową i ścianą otworu wiertniczego zapewnia kanał dla przepływu zwrotnego. Ten typ otwartego otworowego wymiennika ciepła jest bardzo korzystny z punktu widzenia transportu ciepła, ponieważ płyn transportujący ciepło może być w bezpośrednim kontakcie ze ścianą otworu wiertniczego. W USA

taki układ jest także nazywany studnią ze stojącym słupem. Otaczająca skała może być przepuszczalna, w którym to przypadku drugorzędny obieg płynu w formacji przyczynia się do rozpraszania ciepła.



Rysunek 5. Współosiowy pionowy GWC bez lineru (Luleå, Szwecja)

III. 1. 2. Współosiowy pionowy GWC z rurą w rurze

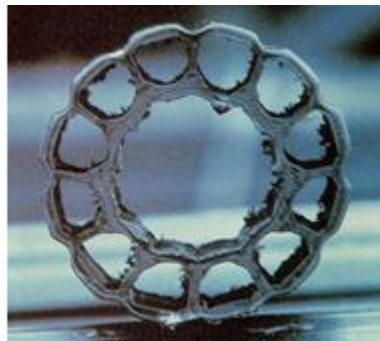
Zamknięty system jest często wymagany ze względu na niestabilne ściany otworu wiertniczego lub z powodu uwarunkowań geochemicznych. Zamknięty przewód pierścieniowy może być wykonany przez wyłożenie otworu wiertniczego materiałem nieprzepuszczalnym. Włożenie i zacementowanie rur PVC (lub rur stalowych) w otworach wiertniczych jest raczej trudne i drogie w porównaniu z U-rurkami, tak więc metoda ta została zastosowana tylko kilka razy we względnie płytkich otworach wiertniczych w skałach krystalicznych. Ze względu na znaczącą rezystancję termiczną materiału wypełniającego między zewnętrzną rurą i ścianą otworu wiertniczego, pomierzona rezystancja termiczna otworu wiertniczego dla tych układów była podobna do tej dla prostszych pojedynczych U-rurek. Jednakże, w głębokich formacjach ilowych pionowo wpychana rura współosiowa była stosowana z większymi sukcesami, gdyż il wokół zewnętrznej rury w większości przypadków ostatecznie dostosuje się do powierzchni rury (nie istnieje materiał „wypełniający”).

III. 1. 3. Współosiowy pionowy GWC z miękkim linerem

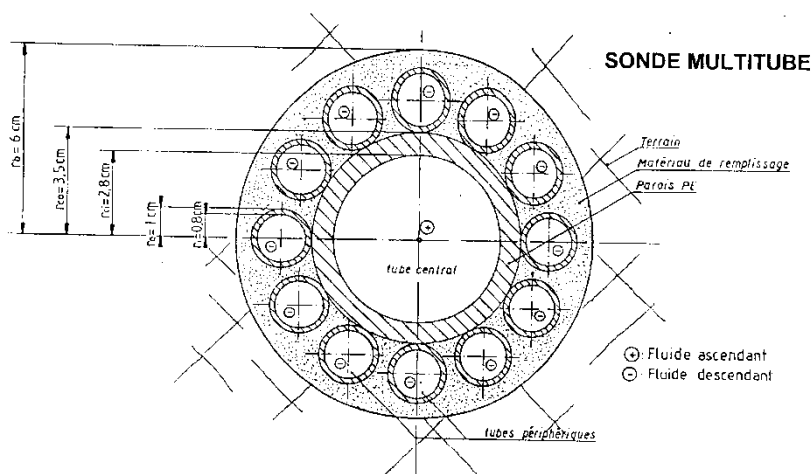
Istnieje także możliwość zastosowania elastycznego miękkiego lineru, który po włożeniu będzie dopchnięty do ściany otworu wiertniczego, gdy wewnątrz jest wypełnione płynem. Zaletą tego projektu jest to, że nie ma materiału wypełniającego między linerem i ścianą otworu wiertniczego. Jednakże, kilka prób polowych pokazało problemy z przeciekaniem.

III. 1. 4. Wielokomorowy pionowy GWC

Zewnętrzny, wymieniający ciepło kanał przepływu może być podzielony na wiele mniejszych komór (Rys. 6). Ze względu na rezystancję termiczną materiału wypełniającego między zewnętrznym rurą i ścianą otworu wiertniczego oraz możliwe zwarcie termiczne między wewnętrznym i zewnętrznym kanałem przepływu, wydajność tego projektu jest podobna do U-rurki.



Rysunek 6. Wielokomorowy pionowy GWC (Burgdorf, Szwajcaria)



Rysunek 7. pionowy GWC z wieloma rurami. Przykład z 12 obwodowymi zasilającymi rurami polietylenowymi (średnica 20 mm) i jedną centralną rurą zwrotną (średnica 70 mm) w otworze wiertniczym bez linera (średnica 120 mm) (Mathey, Szwajcaria)

III. 1. 5. pionowy GWC z wieloma rurami.

Zewnętrzny wymieniający ciepło kanał przepływu może być także złożony z wielu mniejszych rur (Rys. 7). Próby polowe pokazały, że ten układ kanału przepływu może osiągnąć wysoką wydajność. Kanałami przepływu są standardowe polietylenowe rury różnych rozmiarów. Obecnie nie ma tego typu komercyjnych produktów dostępnych na rynku. Wyzwaniami są izolacja wewnętrznej rury, projekt części dennej, procedura instalacji i całkowite koszty.

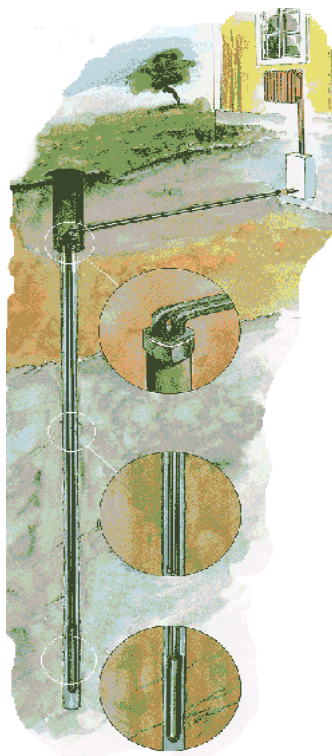
III. 2. pionowy GWC typu U-rurka

Częstą metodą osiągnięcia wymiany ciepła w otworze wiertniczym jest włożenie jednej lub więcej U - kształtnych pętli rur polietylenowych do otworu wiertniczego. Pojedyncze U-rurki są stosowane w północnej Europie i Ameryce Północnej, podczas gdy podwójne U-rurki są popularne w centralnej Europie. W północnej Europie otwory wiertnicze są często wypełnione wodą podziemną do kilku metrów poniżej powierzchni gruntu. W USA i w centralnej Europie popularną i często wymaganą praktyką jest podsadzanie otworów wiertniczych pewnym materiałem uszczelniającym, takim jak bentonit, beton lub piasek kwarcowy. Specjalne mieszanki, tak zwane cementy wzmacniane termicznie, zostały opracowane dla zapewnienia lepszego transportu ciepła w porównaniu z czystym bentonitem.

III. 2. 1. Pojedyncza U-rurka

Pojedyncza U-rurka jest standardem w branży od około 30 lat. Głównymi zaletami są prostota projektu, łatwość transportu i prosta instalacja w porównaniu z innymi alternatywami. Instalacja oparta

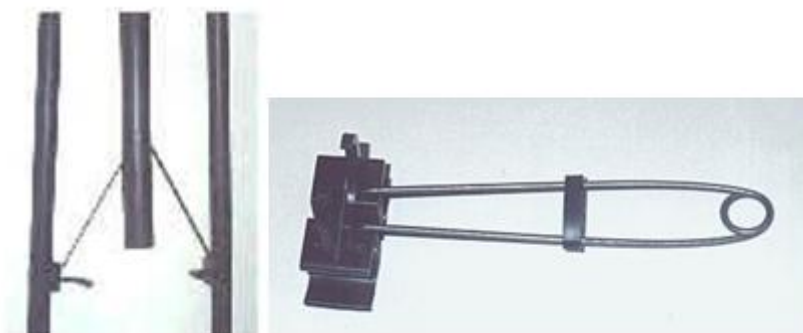
o sprawdzone procedury dobrych praktyk ma niemal nieograniczoną żywotność. Główne problemy wiązały się z przeciekaniem wywołanym nieprawidłowym łączeniem zagięć U-kształtnych i słabych części dennych. Główną wadą pojedynczej U-rurki jest względnie słaba pojemność transportu ciepła, zwłaszcza w nieturbulentnych warunkach przepływu.



Rysunek 8. Pojedyncza U-rurka z głowicą obejmującą obciążnik

III. 2. 2. Pojedyncza U-rurka z dystansownikami

Wydajność termiczna z pojedynczą U-rurką jest zwiększona, jeśli rurki są położone blisko ściany otworu wiertniczego. Może być to osiągnięte przez zastosowanie tak zwanych dystansowników. Przykłady takich urządzeń są przedstawione na rysunkach 9 i 10.



Rysunek 9. Pojedyncza U-rurka z dystansownikiem (GeoClip, GBT Inc.): działanie sprężynujące dystansownika jest uwolnione, gdy rura pionowa (środkowa rura na rys.) jest podciągnięta w górę.

III. 2. 3. Wielokrotne U-rurki



Rysunek 10. Podwójna U-rurka z dystansownikami (Neckarsulm, Niemcy)

Podwójne, potrójne i wielokrotne U-rurki są prostymi rozszerzeniami koncepcji pojedynczej U-rurki. Głównymi zaletami układów z wielokrotnymi rurami w porównaniu z pojedynczymi U-rurami jest to, że pole efektywnego transportu ciepła zwiększa się, i że wpływ względnie dużej rezystancji termicznej rur tworzywowych zmniejsza się.

Wpływ współczynnika konwekcyjnego transportu ciepła także zmniejsza się, co oznacza, że znaczenie nielaminarnego przepływu przy obciążeniach projektowych jest poniekąd mniej zasadnicze. Może to wówczas umożliwić znacznie mniejsze spadki ciśnienia w otworowych wymiennikach ciepła w celu osiągnięcia pewnej prędkości transportu ciepła.

III. 2. 4. Układy z trzema rurami

Wariantem otworowego wymiennika ciepła z U-rurką jest układ z dwiema rurami w jednym kierunku i jedną rurą w innym kierunku. Był on stosowany we wczesnych latach 1980-tych, gdy gruntowe pompy ciepła wprowadzano w Szwecji, lecz szybko zniknął z rynku ze względu na złożoność konstrukcji.

IV. WYDAJNOŚĆ TERMICZNA pionowego GWC TYPU U-RURKI

W tej sekcji bliżej przyjrzymy się wydajności termicznej najpopularniejszego typu otworowego wymiennika ciepła – U-rurki. Najbardziej istotnymi parametrami wpływającymi na rezystancję termiczną otworu wiertniczego są prędkość przepływu płynu, materiał rury, liczba rur, pozycja rury i przewodność cieplna materiału wypełniającego.

IV. 1. Materiał rury

U-rurki dla normalnych zastosowań wykorzystują rury polietylenowe. Są one elastyczne i trwałe. Jednakże, opór termiczny rury jest względnie wysoki, zwłaszcza przy grubszych ścianach rur SDR-11 i PN12 (Tabela 1). Ciśnienie znamionowe dotyczy temperatury 20°C. Wytrzymałość poprawia się przy niższych temperaturach, lecz zwiększa przy wyższych. Inne materiały muszą być rozważone, gdy rury są wystawione na temperatury wyższe niż 30 - 40°C. Rury polibutylenowe wykorzystywano w zastosowaniach wysokotemperaturowych.

Tabela 1. Właściwości rur tworzywowych stosowanych do układów gruntowych

Typ	Materiał	Zewnętrzna średnica (mm)	Grubość ścian (mm)	Warunki termiczne (W/(m, K))	Rezystancja termiczna (K/(W/m))
PE DN25 PN8	Polietylen	25,0	2,0	0,42	0,066
PE DN32 PN8	Polietylen	32,0	2,0	0,42	0,051
PE DN40 PN8	Polietylen	40,0	2,3	0,42	0,046
PE DN50 PN8	Polietylen	50,0	2,9	0,42	0,047
PE DN20 PN12	Polietylen	20,0	2,0	0,42	0,085
PE DN25 PN12	Polietylen	25,0	2,3	0,42	0,077
PE DN32 PN12	Polietylen	32,0	3,0	0,42	0,079
PE DN40 PN12	Polietylen	40,0	3,7	0,42	0,078
PE DN50 PN12	Polietylen	50,0	4,6	0,42	0,077
SDR-11 3/4"	Polietylen	26,7	2,5	0,42	0,079
SDR-11 1"	Polietylen	33,4	3,0	0,42	0,075
SDR-11 1-1/4"	Polietylen	42,2	3,9	0,42	0,077
SDR-11 1-1/2"	Polietylen	48,3	4,4	0,42	0,076
SDR-11 2"	Polietylen	60,3	5,5	0,42	0,076
SDR-13.5 1"	Polibutylen	28,6	2,2	0,22	0,121
SDR-13.5 1-1/4"	Polibutylen	34,9	2,6	0,22	0,117
SDR-13.5 1-1/2"	Polibutylen	41,3	3,1	0,22	0,118
SDR-13.5 2"	Polibutylen	54,0	4,0	0,22	0,116

IV. 2. Materiał wypełnienia

Pionowy otwór wiertniczy może wymagać zastosowania pewnego rodzaju materiału wypełniającego do wypełnienia przestrzeni między kanałami przepływu i ścianą otworu wiertniczego. Jednym z powodów może być zapewnienie dobrego kontaktu termicznego z otaczającym gruntem ze względu na niską przewodność cieplną naturalnego materiału wypełniającego lub niski poziom wody gruntowej. Inną istotną kwestią jest uszczelnienie otworu wiertniczego w celu ograniczenia pionowego ruchu wody wzdłuż otworu wiertniczego, co może spowodować problemy środowiskowe, takie jak migracja wody zanieczyszczonej, drenaż warstw gleby blisko powierzchni gruntu i zaburzenia charakterystyki hydraulicznej formacji artezyjskich.

Do zapewnienia niskiej przepuszczalności odpowiedniej do uszczelnienia otworu wiertniczego stosowane są specjalne cementy. Istotne jest, by cementy te były zdolne do wiązania się zarówno ze ścianą otworu wiertniczego, jak i z rurami. Mieszanina musi być łatwa do sporządzenia i możliwa do pompowania podczas instalacji, z niewielką kurczliwością podczas utwardzania. Jeśli występuje kurczliwość, może wystąpić ryzyko powstania dróg migracji płynu. Popularne cementy, takie jak bentonit, często mają niską przewodność cieplną. Specjalne cementy termiczne zostały opracowane dla zwiększenia przewodności cieplnej. Rekomendowane jest stosowanie dostępnego na runku produktu już wymieszanego. Przewodność cieplna niektórych popularnych materiałów wypełniających są podane w Tabeli 2.

Tabela 2. Przewodność cieplna (W/m,K) materiałów wypełniających otwór wiertniczy

Material	Przewodnictwo termiczne (W/m,K)
Piasek, żwir – suchy	0,4
Woda (stagnująca)	0,6
Bentonit 10 %, woda	0,7
Bentonit/cement/piasek, 9/9/20 %, woda	0,7-0,8
Piasek, wilgotny	1,0
Bentonit 10 %, zamrożony	1,4
Bentonit/piasek kwarcowy, 12/50 %, woda	1,5
Żwir, nasycony wodą	1,8
Lód	2,3
Cement/piasek, 27 %/58 %, woda	2,4
Piasek kwarcowy, nasycony wodą	2,4-2,7
ThermoCem (cement/grafit)	2,0

Najlepszym sposobem umieszczenia cementu w otworze wiertniczym jest pompowanie go pod ciśnieniem za pomocą rury pionowej (po tym, jak oczyszczono przestrzeń pierścieniową za pomocą wody lub innej płuczki wiertniczej) w celu uniknięcia powstawania zasypów i pustek. W USA rekomendowaną procedurą jest opuszczenie rury pionowej do strefy dennej będącej cementowaną, a następnie podnoszenie jej powoli, podczas gdy materiał jest wprowadzany. W Europie rekomenduje się wykonanie cementowania bez podnoszenia rury pionowej i następnie pozostawienie jej na miejscu w wykonanym otworze.

Cement o wysokiej przewodności cieplnej znacząco zmniejsza opór cieplny otworu wiertniczego. Całkowita różnica temperatur między płynem przenoszącym ciepło i gruntem niezaburzonym zależy od połączonego oporu termicznego otworu wiertniczego i gruntu. Ustalono iż największa redukcja wymaganej długości otworu wiertniczego pętli gruntowej miała miejsce przy wyższej wartości przewodności cieplnej gruntu. Tam, gdzie przewodność cieplna cementu i gruntu jest podobna, średnica otworu wiertniczego nie jest czynnikiem decydującym o wydajności otworowego wymiennika ciepła. Jeśli przewodność cieplna gruntu jest wyższa niż przewodność cieplna cementu, większa średnica otworu wiertniczego spowoduje wyższą łączony opór termiczny otworu wiertniczego i gruntu. Mniejsze otwory wiertnicze wymagają mniej cementu i mają mniejszą rezystancję całkowitą, co wskazuje, że średnica otworu wiertniczego ma znaczenie ekonomiczne. Ustalenie optymalnego cementu dla danego projektu będzie wymagać rzeczywistych kosztów cementu, rur i wiercenia.

IV. 2. 1. Zaczyny cementowe

- Zalety: Odpowiednia przepuszczalność, łatwo pompowane i mieszane, stosowne dla większości formacji, właściwości mogą być zmieniane dzięki ogólnodostępnym dodatkom.
- Wady: Kurczliwość, długi czas utwardzania, wysoka gęstość powoduje utratę w formacji, ciepło nawadniania, wpływa na jakość wody.

IV. 2. 2. Cementy bentonitowe

- Zalety: Odpowiednia przepuszczalność z cementami o wysokiej zawartości części stałych, niekurczliwe i samoregenerujące się w środowisku nasycenia wodą, bez ciepła nawadniania, niska gęstość, bez czasu utwardzania.
- Wady: Przedwczesne pęcznienie, wysoka lepkość, wysoka gęstość powodująca utratę w formacji, trudne mieszanie, duża kurczliwość w suchym środowisku.

Jedną poważną zaletą cementu bentonitowego jest wysoka wrażliwość na działanie mrozu. Gdy woda najpierw zamarza, a następnie topi się, bentonit traci swoją właściwość adsorpcji i woda oddziela się od mieszaniny. Upřednio mocny bentonit staje się prawie ciekły podczas topnienia. Zamrożenie mieszaniny bentonitowej o niskiej przepuszczalności z wysoką zawartością wody może wywołać

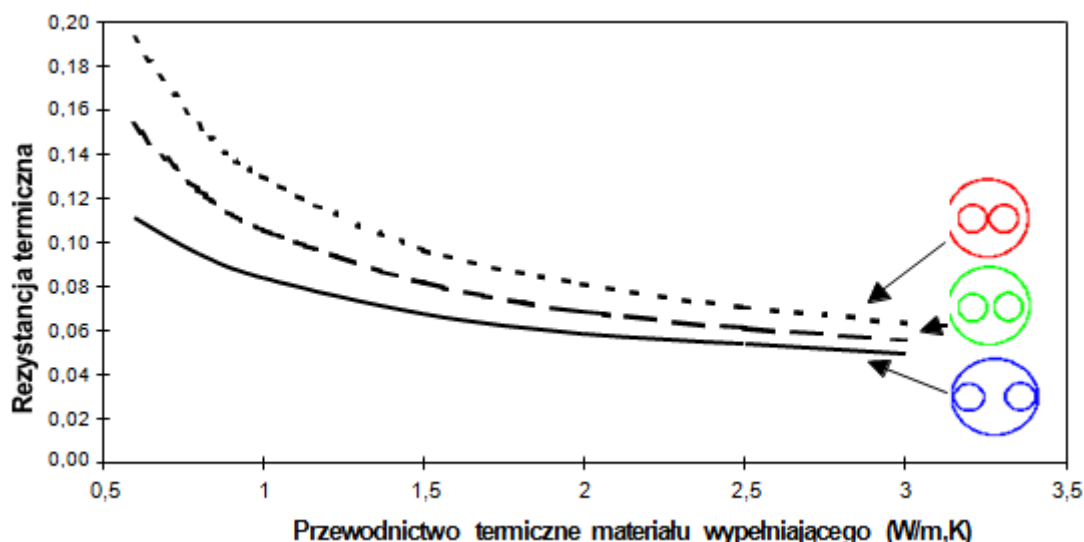
ciśnienie sprężania na rurach poprzez rozszerzalność objętościową podczas zmiany faz woda - lód. Sprężanie może uszkodzić rury i spowodować wyciek.

IV. 3. Położenie rury

Opór termiczny wiertniczego zależy od pozycji króćców U-rurki w otworze wiertniczym. Opór termiczny zwiększa się wraz z odległością między rurami i ścianą otworu wiertniczego. Opór termiczny w materiale wypełniającym jest odwrotnie proporcjonalna do jego przewodnictwa termicznego. Rysunek 11 przedstawia szacowaną opór termiczny otworu wiertniczego o typowej instalacji z pojedynczą U-rurką dla trzech różnych pozycji króćców i przewodnictwa termicznego wypełnienia.

Wskazane są trzy różne konfiguracje rur: rury stykające się w środku otworu (Konfiguracja A), te same odległości między rurami jak między rurami i ścianą otworu wiertniczego (Konfiguracja B), i każda rura dotykająca ściany otworu wiertniczego w średnicowo przeciwległych punktach (Konfiguracja C).

Konfiguracja A daje najwyższy opór termiczny otworu wiertniczego i jest uważana za bardzo konserwatywne założenie projektowe. Konfiguracja C jest optymalnym położeniem rur, lecz nie będzie ona występować stale wzdłuż otworu wiertniczego, chyba że stosowane są rozpórki do kontroli rozstawu rur. Konfiguracja B jest przyjęta za rozsądne założenie projektowe w większości sytuacji bez rozpórek.



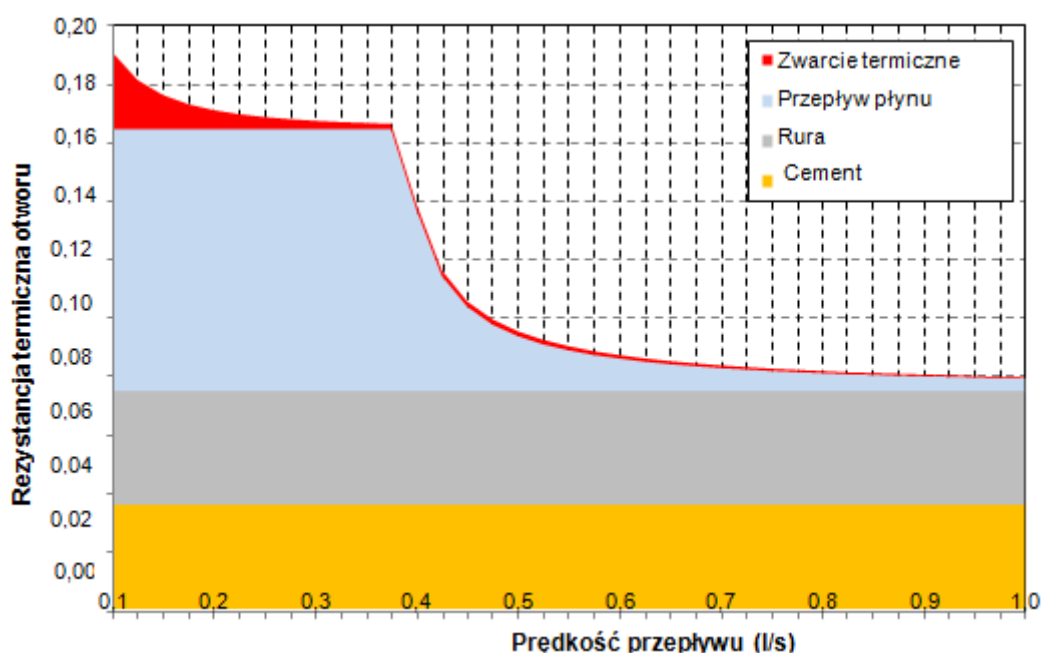
Rysunek 11. Rezystancja termiczna otworu wiertniczego ($K/(W/m)$) dla pojedynczej U-rurki jako funkcja przewodności cieplnej materiału wypełniającego ($W/m,K$) dla trzech różnych pozycji króćców U-rurki; nielaminarne warunki przepływu ($Re \approx 3000$)

Rysunek 11 przedstawia także zaletę zastosowania cementów termicznych (przewodność cieplna 1,5 - 2,0 $W/m,K$) zamiast standardowych cementów bentonitowych (przewodność cieplna 0,7 - 0,8 $W/m,K$).

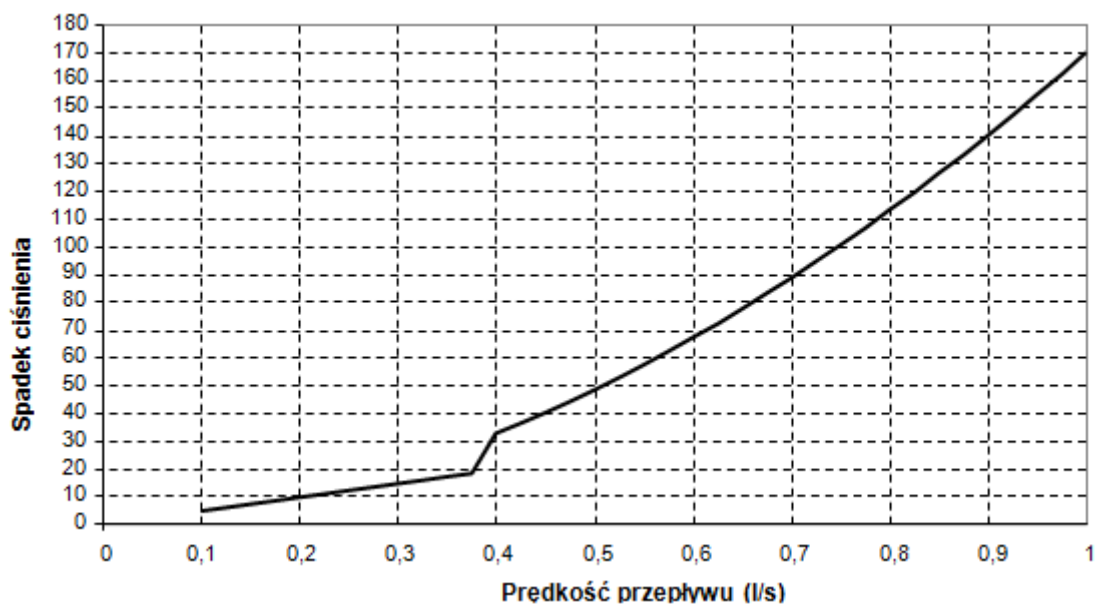
IV. 4. Prędkość przepływu płynu

Konwekcyjny transport ciepła z płynącego płynu w rurze do wewnętrznej ściany rury może mieć znaczący wpływ na rezystancję termiczną otworu wiertniczego. Chociaż ekwiwalentny opór termiczny procesu konwekcyjnego transportu ciepła jest niewielka w turbulentnych warunkach przepływu, stanowi ona około połowę całkowitej rezystancji otworu wiertniczego w laminarnych warunkach przepływu. Wpływ wewnętrznego transportu ciepła między kanałem przepływu ku górze i ku dołowi, zwarcie termiczne, może być także uwzględniony w końcowej rezystancji termicznej otworu wiertniczego. Zwarcie termiczne zwiększa się wraz ze wzrostem głębokości otworu wiertniczego i spadkiem prędkości przepływu. Przykład składu finalnej rezystancji termicznej otworu wiertniczego jako funkcji prędkości przepływu jest przedstawiony na Rysunku 12.

Połączony opór termiczny materiału rury i konwekcyjnego transportu ciepła wewnątrz rury musi być utrzymywana na niskim poziomie. Udział w całkowitej rezystancji termicznej otworu wiertniczego jest duży dla pojedynczych U-rurek z polietylenu, lecz często zmniejsza się wraz z liczbą rur w otworze wiertniczym. Rezystancja termiczna otworu wiertniczego zwiększa się ze zmniejszającą prędkością przepływu ze względu na rozwój laminarnego przepływu i zwiększające się zwarcie termiczne między kanałami przepływu ku górze i ku dołowi. Dla podanej prędkości poboru ciepła obniża to temperaturę źródła i współczynnik efektywności (COP) pompy ciepła, co niepotrzebnie zwiększa ilość energii pierwotnej wymaganej dla dostarczenia pewnej ilości ciepła potrzebnej do ogrzania budynku. Wyższe prędkości przepływu poprawiają wydajność transportu ciepła, lecz korzyść ta jest w pewnym punkcie równoważona przez wyższe zużycie energii przez pompę obiegową, które jest w przybliżeniu proporcjonalne do trzeciej potęgi prędkości przepływu. Spadek ciśnienia w pojedynczej U-rurce dla powyższego przykładu (rys.12) jest podany na rysunku 13.

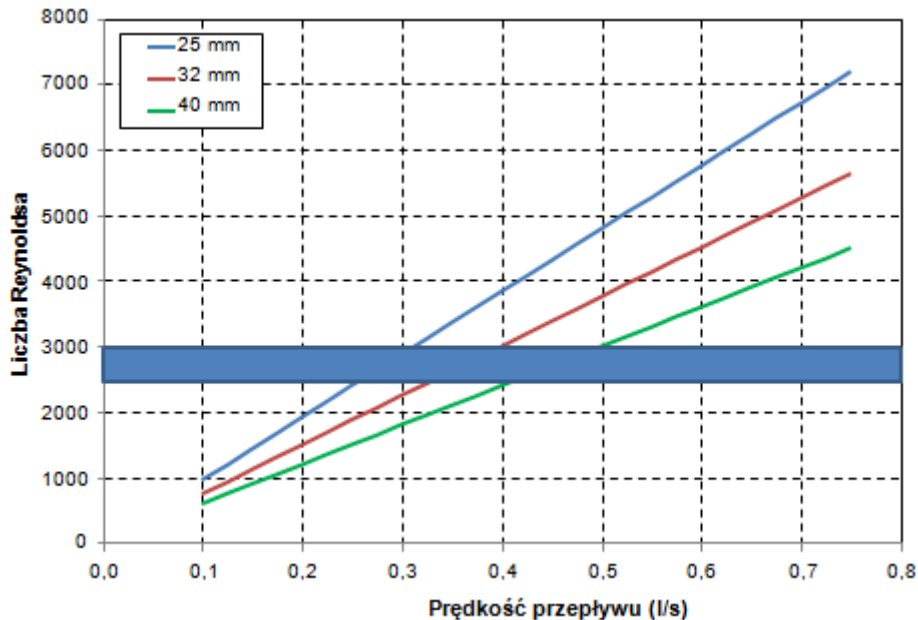


Rysunek 12. Składowe rezystancje termicznej otworu wiertniczego ($K/(W/m)$) dla pojedynczej U-rurki jako funkcja prędkości przepływu płynu (l/s). Przykład jest oparty o głęboki na 100 m 14 cm otwór wiertniczy wyposażony w pojedynczą U-rurkę wykorzystującą 40 mm rurki polietylenowe (SDR11) i cement termiczny (przewodność cieplna $2,0 W/m,K$). Właściwości płynu to 28% roztwór etanol-woda w $0^{\circ}C$.



Rysunek 13. Spadek ciśnienia (kPa) w otworowym wymienniku ciepła jako funkcja prędkości przepływu płynu (litr/sek.). Przykład jest oparty o głęboki na 100 m otwór wiertniczy z pojedynczą U-rurką wykorzystującą 40 mm rurki polietylenowe (SDR11). Właściwości płynu to 28% roztwór etanol-woda w 0°C.

Rekomendacje wytycznych projektowych ASHRAE (Kavanaugh & Rafferty, 1997) podają, by dążyć do liczby Reynoldsa wynoszącej 2500-3000 przy parametrach projektowych (Rys. 14). Jest to ogólna zasada wyrażająca rozsądny kompromis między wydajnością pompy ciepła i wymogiem energetycznym pompy obiegowej.



Rysunek 14. Liczba Reynoldsa jako funkcja prędkości przepływu płynu (l/s) 25 mm, 32 mm, lub 40 mm rury polietylenowej (SDR11); właściwości płynu to: 28% roztwór etanol-woda w 0°C (strefa z liczbą Reynoldsa 2500-3000 wskazana na niebiesko)

V. UWAGI OGÓLNE

Wydajność cieplna różnych wersji otworowych wymienników ciepła może być kwantyfikowana według rezystancji termicznej otworu wiertniczego, ocenionej dzięki testom polowym lub laboratoryjnym. Chociaż większość tych wartości pozostaje w ogólnej zgodzie z szacunkami teoretycznymi, powinny być one stosowane z rozważaniem.

V. 1. 1. Test reakcji termicznej (odpowiedzi termalnej)

Wiele wartości pochodzi z testu reakcji termicznej (test odpowiedzi termicznej), gdzie ciepło jest idealnie zatłaczane ze stałą wydajnością i mierzona jest wynikowa zmiana temperatury płynu. Ocena tych prób zazwyczaj wykorzystuje efektywną przewodność cieplną gruntu i opór termiczny otworu wiertniczego jako wolne parametry dla osiągnięcia najlepszego dopasowania między wartościami pomierzonymi i symulowanymi. Modele symulacyjne zakładają, że transport ciepła na zewnątrz kanałów przepływu zachodzi jedynie przez przewodnictwo ciepła. Jednakże, mogą istnieć odchylenia od tego założenia. W przepuszczalnym materiale nasyconym wodą istnieje konwekcyjny transport ciepła przez poruszającą się wodę podziemną. Parowanie i skraplanie zachodzą w warunkach nienasyconych. Zamarzanie może mieć miejsce, gdy test reakcji termicznej wykorzystuje pobór ciepła. Te inne tryby transportu ciepła mogą zakłócić ocenę przy użyciu modelu przewodzącego, tak, iż dopasowane parametry nie odzwierciedlają „prawdziwej” rezystancji termicznej otworu wiertniczego.

V. 1. 2. Wewnętrzny transport ciepła

Różnica temperatur między kanałem przepływu ku dołowi i ku górze wywołuje wewnętrzny transport ciepła, tak zwane zwarcie termiczne, które redukuje wydajność otworowego wymiennika ciepła. Ten efekt może być uwzględniony w efektywnym oporze termicznym otworu wiertniczego dla całego otworu. Można udowodnić teoretycznie, że wartość ta składa się z lokalnego oporu termicznego otworu wiertniczego między kanałami przepływu i ścianą otworu wiertniczego i dodatkową częścią wykonującą zwarcie, która zależy od rezystancji termicznej między kanałami przepływu ku górze i ku dołowi, długości otworu wiertniczego i prędkości przepływu. Test reakcji termicznej mierzy tę efektywny opór termiczny otworu wiertniczego. Ten sam projekt otworowego wymiennika ciepła może wówczas przynieść nieco inną efektywną rezystancję termiczną otworu wiertniczego ze względu na różnice w długości otworu wiertniczego i prędkości przepływu. Prędkość przepływu (i typ płynu przenoszącego ciepło) oczywiście także wpłynie na współczynniki transportu ciepła między płynem i ścianami kanałów przepływu.

V. 1. 3. Ruch wody podziemnej

W zacementowanych otworach wiertniczych ruch wody podziemnej może zachodzić tylko na zewnątrz otworu wiertniczego. Może istnieć regionalny przepływ wody podziemnej, a niezależnie od tego zachodzi wielkoskalowa, naturalna konwekcja wywołana przez gradienty temperaturowe wokół otworu wiertniczego. Wielkość naturalnej konwekcji zależy od prędkości transportu ciepła i poziomu temperatury. Siłą napędzającą jest różnica gęstości wody podziemnej, a opór przepływu zależy od przepuszczalności gruntu i lepkości wody podziemnej. Siła napędzająca jest zwykle wyższa przy widocznie niższym oporze przepływu w wyższych temperaturach. Oceniana efektywna *przewodność cieplna* i rezystancja otworu wiertniczego z testu reakcji termicznej mogą wówczas zależeć od tego, czy ciepło było zatłaczane czy pobierane podczas testu.

Sytuacja staje się bardziej skomplikowana, gdy stosowane są otwory wiertnicze wypełnione wodą. Jeśli otwór wiertniczy jest wiercony w gruncie nieprzepuszczalnym, wciąż istnieje możliwość lokalnej naturalnej konwekcji między przestrzenią zewnętrzną kanałów przepływu i ścianą otworu wiertniczego. Ta naturalna konwekcja poprawia transport ciepła przez wodę podziemną w otworze wiertniczym. Poprawa zależy od temperatury, właściwej prędkości transportu ciepła i geometrii pola otworu wiertniczego wypełnionego wodą gruntową (Littlefield & Desai, 1986).

W gruncie przepuszczalnym, takim jak ośrodki porowate i skały spękane, otwór wiertniczy wypełniony wodą służy jako przewód dla pionowego ruchu wody. Różnica ciśnień powodująca ruch pionowy może być wywołana warunkami artezyjskimi lub zmianami temperatury w wodzie w otworze wiertniczym.

V. 1. 4. Różnice krótkoterminowe

Opór termiczny otworu wiertniczego, jest najczęściej zdefiniowany w oparciu o quasi-stały stan różnicy temperatur między płynem przenoszącym ciepło i ścianą otworu wiertniczego podczas stałej właściwej prędkości transportu ciepła. Ten warunek stałego stanu potrzebuje trochę czasu, aby być ustanowionym. Czas trwania początkowego okresu przejściowego zależy od pojemności cieplnej materiału w otworze wiertniczym. Duża pojemność cieplna jest korzystna, gdyż zmniejsza wzrost temperatury dla wahań krótkoterminowych. Ten aspekt różnych projektów otworowego wymiennika ciepła nie jest uwzględniony w oporze termicznej otworu wiertniczego w „stanie ustalonym”.

V. 1. 5. Średnica otworu wiertniczego

Należy wziąć pod uwagę, że pokazane tu wartości rezystancji termicznej otworu wiertniczego odnoszą się do otworów wiertniczych, które mogą mieć różne średnice. Odpowiedź termiczna otworowego wymiennika ciepła zależy zarówno od rezystancji termicznej otworu wiertniczego jak i przejściowej rezystancji termicznej otaczającego gruntu. Większa średnica otworu wiertniczego daje niższą rezystancję termiczną gruntu. Jednakże, jeśli materiał wypełniający ma niższą przewodność cieplną niż grunt, większy otwór wiertniczy może prowadzić do większego wzrostu rezystancji termicznej otworu wiertniczego! Wówczas zwiększa się połączona rezystancja termiczna otworu wiertniczego i gruntu. Przy odpowiednim projekcie, większa średnica otworu wiertniczego może być stosowana do zredukowania całkowitego oporu termicznego, zredukowania wewnętrznego transportu ciepła dla pionowego GWC typu U-rurki przez zwiększony rozstaw króćców i zwiększenie pojemności cieplnej dla pożądanego zachowania krótkoterminowego.

V. 1. 6. Łączenie szeregowe lub równoległe

Innym interesującym aspektem przy rozważaniu zastosowań wielu otworów wiertniczych są wady i zalety równoległych i szeregowych połączeń hydraulicznych różnych pionowych GWC. Choć samo w sobie nie jest to cechą pionowych GWC, łączenie hydrauliczne wpływa na warunki przepływu i tym samym transport ciepła w pionowych GWC.

V. 2. Współosiowy typ pionowych GWC

Opory termiczne otworu wiertniczego współosiowego typu pionowego GWC ustalone w niektórych eksperymentach są wymienione w Tabeli 3.

Wydajność termiczna współosiowego typu pionowego GWC zależy od:

- kształtu kanałów przepływu (pierścieniowy, wielokomorowy, wiele rur, spiralny),
- materiału (miękki liner, rura w rurze),
- materiału wypełniającego otwór wiertniczy.

Tabela 3. Rezystancja termiczna otworu wiertniczego ($K/(W/m)$) współosiowego typu pionowego GWC

Lokalizacja	Typ, materiał wypełniający	Otwór wiertniczy - Rez. term. $K/(W/m)$
Luleå	bosy, turbulentny	0,01
Schwalbach	rura w rurze (stal), piasek	0,09-0,13
Sigtuna	rura w rurze (pofalowana), beton	0,09
Grafenberg	rura w rurze	0,09
Djursholm	rura w rurze, lód	0,09
Djursholm	rura w rurze, piasek kwarcowy	0,09
Djursholm	rura w rurze, woda, pobór ciepła	0,11
Stocksundstorp	miękki liner	0,02
Muskö	miękki liner	0,03
Cormontreuil	miękki liner	0,03
Lund (laboratorium)	Wiele rur (C-rurka)	0,01-0,03
Zurich	wiele rur	(0,03)*

* Wartość szacowana.

Bosy otwór wiertniczy z koncentryczną rurą wewnętrzną ma najniższy opór termiczny otworu wiertniczego ze wszystkich badanych otworowych wymienników ciepła. Zaletą tego projektu jest to, że płyn przenoszący ciepło jest w bezpośrednim kontakcie z gruntem, co podczas turbulentnego przepływu daje bardzo korzystną wydajność transportu ciepła. Takie pionowe GWC są także bardzo proste w produkcji i instalacji. Niestety, istnieje kilka wad takiego rozwiązania. Wymaga on, by:

- ściana otworu wiertniczego była stabilna,
- woda była stosowana jako płyn przenoszący ciepło,
- geochemiczny skład wody nie powodował korozji lub wytrącania minerałów w wymiennikach ciepła,
- zastosowane były środki ostrożności, by zapobiec utratom wody w magazynie.

Otworowe wymienniki ciepła z konstrukcją typu rura w rurze mają raczej wysoki opór termiczny otworu wiertniczego. W celu włożenia względnie sztywnych zespołów typu rura w rurze, musi istnieć pewien prześwit między zewnętrzną rurą i ścianą otworu wiertniczego. Stosunki między średnicą rury i otworu wiertniczego dla projektów wahają się od 0,5 do 0,8. Przestrzeń między rurą i ścianą otworu wiertniczego musi być wypełniona wodą podziemną lub stałym materiałem wypełniającym. Sytuacje takie, jak wypełnione wodą otwory wiertnicze w niskich temperaturach (pobór ciepła) lub otwory wiertnicze zacementowane standardowym bentonitem, przyniosą szczególnie wysokie rezystancje termiczne. Plastikowe rury zewnętrzne, które są względnie łatwe w obsłudze, mają duże rezystancje termiczne. Konwencjonalne rury polietylenowe (SDR11; PN12, PN18) mają wartości około 0,075 $K/(W/m)$. Zakładając stosunek rura-otwór wiertniczy wynoszący 0,8 w połączeniu z wypełnieniem cementu termicznego o wysokim przewodnictwie (2,4 $W/(m,K)$), wynikowy opór termiczny otworu wiertniczego wynosi 0,055 $K/(W/m)$ (nie uwzględniając wewnętrznego transportu ciepła). Projekty typu rura w rurze raczej nie oferują jakiegokolwiek wyraźnej przewagi w porównaniu z popularnymi projektami z U- rurką, poza możliwością ograniczenia wewnętrznego transportu ciepła, co może być niezbędne przy bardzo głębokich otworach wiertniczych i niskich prędkościach przepływu.

Innym alternatywnym celem łączenia zalet bosego otworu wiertniczego z koncentrycznymi rurami wewnętrznymi i pionowym GWC typu rura w rurze jest zastosowanie miękkiego lineru (guma, wzmocniony poliuretan itd.) i wewnętrznej rury tworzywowej. Projekty te mają względnie niskie rezystancje, lecz występowało wiele problemów z wyciekaniem i instalacją miękkich linerów.

Projekty ze współosiowym typem pionowego GWC stosujące wiele rur są wciąż w fazie rozwoju. Wydają się istnieć możliwości osiągnięcia niskich, lub nawet bardzo niskich rezystancji termicznych

otworów wiertniczych. Głównym wyzwaniem jest obecnie znalezienie układu (część denna, wiele rur i część górna), który może być zainstalowany bez nadmiernej trudności i wciąż zapewnić, że rury będą bardzo blisko ściany otworu wiertniczego.

V. 3. pionowy GWC typu U-rurki

V. 3. 1. Pojedyncze U-rurki

Pojedyncze U-rurki są najczęstszym typem pionowego GWC stosowanym na świecie. W USA i w centralnej Europie są one często umieszczane w zacementowanych otworach wiertniczych. W ostatnich latach objawiało się znaczne zainteresowanie stosowaniem cementów termicznych. Obecnie istnieje kilka marek przygotowanych zmieszanych cementów termicznych dostępnych komercyjnie. Stosowane są także rozpórki utrzymujące króćce w rozstawie i blisko otworu wiertniczego. W Skandynawii i Kanadzie częste jest pozostawianie otworów wiertniczych wypełnionych wodą podziemną. Woda w otworze wiertniczym może zamarzać podczas szczytowych okresów poboru ciepła. Opory termiczne otworów wiertniczych z pojedynczymi U-rurkami są wymienione w Tabeli 4.

Tabela 4. Opór termiczny otworu wiertniczego (K/(W/m) dla pojedynczych U-rurek

Lokalizacja	Materiał wypełnienia	Otwór wiertniczy Opór term. K/(W/m)
USA, kilka lokalizacji	bentonit	0,13-0,15
USA, kilka lokalizacji	Cementowanie termiczne	0,09-0,10
Luleå	woda, ogrzewanie	0,05-0,06
Norwegia	woda, ogrzewanie	0,05-0,07
Lund (laboratorium)	woda, ogrzewanie	0,05-0,07
Lund (laboratorium)	(miedź), woda, ogrzewanie	0,03-0,05
Studsvik	lód	0,09

Opór termiczny otworu wiertniczego z pojedynczą U-rurką zależy od:

- rur: średnicy, grubości, przewodnictwa termicznego,
- pozycji rury: rozstaw króćców,
- materiału wypełniającego otwór wiertniczy.

W zacementowanych otworach wiertniczych często stosuje się rurę polietylenową o średnicy około 40 mm (SDR 11 1" lub PEM DN40 PN10). Rury te mają rezystancję termiczną wynoszącą 0,075 - 0,078 K/(W/m). Pojedyncza U-rurka z takimi rurami włożonymi z dystansownikami i połączonymi z wypełnieniem cementem termicznym o wysokim przewodnictwie (2,4 W/(m,K)) powinna skutkować oporem termicznym otworu wiertniczego na poziomie około 0,08 K/(W/m) (bez dystansowników około 0,09 K/(W/m)). Polietylenowe rury o rezystancji termicznej mniejszej o połowę obniżają rezystancję do 0,06 K/(W/m).

W otworach wiertniczych wypełnionych wodą zajdzie wzmocniony transport ciepła między rurami i ścianą otworu wiertniczego ze względu na konwekcję wody w otworze wiertniczym. Wzmocnienie to zwiększa się wraz z wyższymi temperaturami, prędkościami transportu ciepła i wielkością przepływów wody typu artezyjskiego. Wartości uzyskane podczas testu reakcji termicznej z dostarczaniem ciepła leżą w zakresie 0,05 - 0,07 K/(W/m) przy 40 mm rurach (PEM DN40 PN6,3). Jeśli wartości te są dostosowane do uwzględnienia o wiele niższych prędkości pompowania płynu podczas faktycznej pracy, wówczas zakres powinien wynieść około 0,06 - 0,08 K/(W/m). Podczas poboru ciepła, gdy wpływ naturalnej konwekcji staje się niższy, wartości powinny wynieść około 0,08 - 0,10 K/(W/m). Wydajność otworu wiertniczego wypełnionego wodą jest lepsza niż (załaczanie ciepła) lub podobna do (pobór ciepła) pojedynczych U-rurek z dystansownikami w cementie o wysokim przewodnictwie.

V. 3. 2. Wielokrotne U-rurki

Podwójne U-rurki są popularne w centralnej Europie, gdzie są często stosowane w zacementowanych otworach wiertniczych. W Szwecji podwójne U-rurki w otworach wiertniczych wypełnionych wodą były wykorzystywane w zastosowaniach chłodniczych o dużych, krótkoterminowych wahaniami ładunku ciepła. Projekty z więcej niż dwiema U-rurkami były testowane tylko w kilku układach eksperymentalnych. Rezystancje termiczne otworów wiertniczych z wieloma U-rurkami są wymienione w Tabeli 5.

Tabela 5. Opór termiczny otworu wiertniczego ($K/(W/m)$) z wieloma U-rurkami

Lokalizacja	Typ, materiał wypełniający	Otwór wiertniczy Opór. term. $K/(W/m)$
Luleå	U2, woda, ogrzewanie	0,03
Lund (laboratorium)	U2, woda, ogrzewanie	0,035-0,055
Burgdorf	U2, woda, chłodzenie	0,04
Montezillon	U2, bentonit	0,13
Montezillon	U2, bentonit, rozpórka	0,12
Montezillon	U2, bent./piasek, rozpórka	0,11
Montezillon	U2, piasek kwarcowy, rozpórka	0,08
Grafenberg	U2, bentonit, rozpórka	0,10-0,11
Niemcy, kilka lokalizacji	U2, bentonit	0,10-0,13
Niemcy, kilka lokalizacji	U2, cement termiczny	0,06-0,08

Rezystancja termiczna otworu wiertniczego z wieloma U-rurkami zależy od:

- rury: liczba rur, średnica, grubość, przewodnictwo termiczne
- pozycja rury: rozstaw króćców
- materiał wypełniający otwór wiertniczy.

Podwójne U-rurki są typowo wykonane z 32 mm rur polietylenowych (PEM DN32 PN12 lub PN18). Rury są ułożone wokół centralnej rury pionowej stosowanej do zatłaczania cementu do otworu wiertniczego. Rura pionowa jest często pozostawiona w otworze wiertniczym. Podwójna U-rurka z rozpórkami i wypełnieniem cementem termicznym o wysokim przewodnictwie powinna powodować rezystancję termiczną otworu wiertniczego wynoszącą około 0,05 $K/(W/m)$. Polietylenowe rury o rezystancji termicznej mniejszej o połowę przez ścianę rury obniżają rezystancję do 0,035 $K/(W/m)$.

Testy reakcji termicznej wykonane na podwójnych U-rurkach w otworach wiertniczych wypełnionych wodą powodowały opory cieplne rzędu 0,03 - 0,04 $K/(W/m)$. Jeśli wartości te są dostosowane do uwzględnienia o wiele niższych prędkości pompowania płynu podczas faktycznej pracy, wówczas zakres powinien wynieść około 0,03 - 0,05 $K/(W/m)$ podczas zatłaczania ciepła i 0,05 - 0,07 $K/(W/m)$ podczas poboru. Wydajność otworu wiertniczego wypełnionego wodą jest lepsza niż (zatłaczanie ciepła) lub podobna do (pobór ciepła) podwójnych U-rurek z rozpórkami w cemencie o wysokim przewodnictwie. W Szwecji podwójne rury zainstalowane na głębokościach poniżej 200 m wykorzystywały 40 mm rury polietylenowe (PN8).

V. 4. Optymalna wydajność otworowych wymienników ciepła

Podsumowanie zagadnień optymalnej wydajności i możliwej poprawy w sekcjach IV - V zostało przedstawione w Tabeli 6. Zakłada się, że cement termiczny ma przewodność cieplną wynoszącą 2,4 W/(m,K), dystansowniki umieszczają króćce U-rurki w przyjętej odległości około 2 mm od ściany otworu wiertniczego, a rura o niskim oporze cieplnym ma połowę rezystancji termicznej zwykłej rury polietylenowej.

Tabela 6. Szacowana „optymalny” opór termiczny otworu wiertniczego ($K/(W/m)$) dla różnych typów otworowych wymienników ciepła.

Typ	Materiał wypełnienia	Otwór wiertniczy Opór term. $K/(W/m)$
Pojedyncza U-rurka (40 mm)	woda, dostawa ciepła	0,06-0,08
Pojedyncza U-rurka (40 mm)	woda, pobór ciepła	0,08-0,10
Pojedyncza U-rurka (40 mm)	cement termiczny	0,09
Pojedyncza U-rurka (40 mm)	cement termiczny, dystansowniki	0,08
Pojedyncza U-rurka (40 mm)	cement termiczny, dystansowniki, rura o niskim oporze cieplnymi	0,06
Podwójna U-rurka (32 mm)	woda, dostawa ciepła,	0,03-0,05
Podwójna U-rurka (32 mm)	woda, pobór ciepła	0,05-0,07
Podwójna U-rurka (32 mm)	cement termiczny	0,055
Podwójna U-rurka (32 mm)	cement termiczny, dystansowniki	0,05
Podwójna U-rurka (40 mm)	cement termiczny, dystansowniki, rura o niskiej rezystancji	0,035
Potrójna U-rurka (25 mm)	cement termiczny, dystansowniki	0,035
Potrójna U-rurka (25 mm)	cement termiczny, dystansowniki, rura o niskiej rezystancji	0,025
Bosy otwór wiertniczy	cement termiczny, woda	<0,01
Rura w rurze		0,055
Miękki liner	cement termiczny, woda	0,02-0,03
Wielokrotna rura		0,01-0,03

VI. DODATKOWE INFORMACJE

Bibliografia

- Allan, M., Kavanaugh, S.P. 1999. Thermal Conductivity of Cementitious Grouts and Impact on Heat Exchanger Length Design for Ground Source Heat Pumps. HVAC&R Research, Vol. 5., No. 2, Kwiecień 1999.
- Eskilson, P. 1987. Thermal Analyses of Heat Extraction Boreholes. Praca doktorska Department of Mathematical Physics, Lund Institute of Technology, Box~118, S-221~00 Lund, Szwecja.
- Gehlin, S. 1998. Thermal Response Test – In-situ measurements of thermal properties in hard rock. Praca Licencjacka, 1998:37. Luleå University of Technology 1998.

- Hellström, G., Kjellsson, E. 1998. Thermal Performance of Borehole Heat Exchangers. Proc. of Conf. at the Richard Stockton College, Pomona, USA, 16-17 marca 1998.
- Kavanaugh, S.P., Allan, M.L. 1999. Testing of thermally enhanced cement ground heat exchanger grouts. ASHRAE Transactions: Symposia 1999, CH-99-2-2.
- Kavanaugh, S.P., Rafferty, K. 1997. Ground-Source Heat Pumps. Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, Georgia. ISBN 1- 883413-52-4.
- Littlefield, D., Desai, P. 1986. Buoyant Laminar Convection in a Vertical Cylindrical Annulus, Journal of Heat Transfer, Vol. 108, November 1986, 814-821.
- Mands, E., Sanner, B. 2001. Erfahrungen mit kommerziell durchgeführten Thermal Response Tests in Deutschland. Geothermische Energie, Nr. 32/33, März/Juni 2001, Geothermische Vereinigung e.V., Gartenstr. 36, D-49744 Geeste, Niemcy.
- Mathey, B., Pahud, D., Buchi, J. 1996. Geothermie – Energie der Zukunft, Konstanz, 18-20 września 1996.
- Müller, R. 1985. Experimentelle und theoretische Untersuchungen an vertikalen Wärmetauschersonden für Speicherung von Wärme im Erdboden. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Lehrstuhl Physik, Weihenstephan, TU München.
- Remund, C.P. 1999. Borehole Thermal Resistance: Laboratory and Field Studies. ASHRAE Transactions: Symposia 1999, CH-99-2-1.
- Smith, M.D., Perry, R.L. 1997. Borehole grouting: Field studies and thermal performance testing. ASHRAE Transactions: Symposia 1999, CH-99-2-3.



ROZDZIAŁ 7 - GEOLOGIA

autor Iñigo Arrizabalaga

I. WPROWADZENIE

Poznanie budowy geologicznej danej lokalizacji jest obowiązkowe w każdej procedurze projektowania płytkiego systemu geotermalnego. W porównaniu z konwencjonalnymi instalacjami grzewczymi i chłodzącymi, grunt jest dodatkowym elementem w gruntowej pompie ciepła. Podczas projektowania instalacji gruntowej pompy ciepła, dokładna wiedza na temat warunków geologicznych w miejscu lokalizacji gruntowej pompy ciepła oraz sposób integracji tych danych podczas doboru wymiarów pompy ciepła są parametrami kluczowymi dla sukcesu projektu. Różnice między skałami a glebą, podstawowa klasyfikacja różnych rodzin skał, zrozumienie ich rozmieszczenia w gruncie, znajomość fundamentalnej mechaniki gruntów, zachowania termicznego i hydrogeologicznego są kwestiami koniecznymi dla projektu medium i dużych systemów gruntowych pomp ciepła.

W małych systemach podstawowa wiedza geotechniczna i hydrogeologiczna może być przydatna dla zachowania bezpieczeństwa dla ludzi i uniknięcia zagrożeń dla środowiska. Duża liczba projektantów wywodzi się z branży budowlanej lub zajmuje się budowlaną stroną technologii. Często projekt układu nawet dużych instalacji jest wykonywany przez wykonawców pompy ciepła kilkaset kilometrów od miejsca pracy. Nie mają oni wtedy zazwyczaj wystarczającej wiedzy o warunkach gruntowych i metodach rozpoznania miejsca, aby móc wykorzystać to w projekcie. Rozpoznanie takie, zwłaszcza w nowych miejscach wierceń, będzie rzutowało na koszt i rentowność systemu geotermalnego, jak również na sprawy bezpieczeństwa środowiskowego.

Najczęstszym problemem jest niedocenienie znaczenia kwestii geologicznych w procesie projektowania. W najlepszym wypadku będzie ono powodować zbyt duże koszty projektu. W innych przypadkach system nie będzie pracować prawidłowo.

Najważniejsze pytania to:

- Jak wybrać między układem otwartym a zamkniętym?
- Jak możemy policzyć długość układu zamkniętego?
- Jak możemy policzyć wydajność przepływu z odwiertu dla dopasowania do obciążenia termicznego budynku?
- W jaki sposób geologia wyznacza sposób wiercenia, wykonanie otworu wiertniczego i koszty?

Podjęcie geologiczne jest potrzebne od początkowej fazy projektu. Zgromadzenie wszelkiego rodzaju informacji geologicznej, geotechnicznej, hydrogeologicznej i termogeologicznej dla obszaru projektu będzie pomocne i może zaoszczędzić dużo pieniędzy.

Ten rozdział ma na celu odświeżenie, objaśnienie i rozszerzenie geologicznej wiedzy projektantów gruntowych pomp ciepła zajmujących się budowlaną stroną technologii. Poprawi to ich zrozumienie tego, jak pracuje grunt, oraz ułatwi nawiązywanie komunikacji między członkami interdyscyplinarnych zespołów projektowych.

II. KONCEPCJE ENERGII GEOTERMALNEJ

Ten rozdział spróbuje wyjaśnić niektóre koncepcje związane z energią geotermalną:

1. Skąd pochodzi energia geotermalna?
2. Jakie są jej główne parametry?
3. Geologia
4. Jaki jest stosunek między energią cieplną i wodą w gruncie?
5. W jakim celu wykonuje się pilotowy otwór wiertniczy?

Ad. 1. Energia geotermalna jest energią magazynowaną w postaci ciepła pod powierzchnią ziemi.

Energia geotermalna o niskiej entalpii lub płytka energia geotermalna jest energią magazynowaną przy bardzo niskim potencjale temperaturowym, zazwyczaj poniżej 25°C.

Gruntowa pompa ciepła jest najpopularniejszą technologią opracowaną dla stosowania energii geotermii płytkiej lub o niskiej entalpii, zazwyczaj, lecz nie zawsze, za pomocą pompy ciepła.

Energia geotermalna o niskiej entalpii ma kilka źródeł. W wielu miejscach zastosowana energia może być mieszkanką:

- Głębokiego przepływu geotermalnego. Reaktor, jakim jest jądro Ziemi zapewnia, w skali ludzkiej, nieskończony przepływ ciepła ku powierzchni planety. W efekcie gradient geotermalny wynosi średnio 3°C/100 m głębokości, a prędkość przepływu ciepła na powierzchni Ziemi między 30 a 100 mW/m².
- Absorbowane promieniowanie słoneczne - transport ciepła na powierzchni. Należy wziąć pod uwagę kilka czynników, takich jak: procent promieniowania słonecznego rozproszonego w gruncie, przesączenie się wody i transport ciepła z powietrzem przez konwekcję i promieniowanie termiczne. Często zakłada się, że temperatura gruntu (dla pierwszych 10-25 m) jest funkcją temperatury powierzchniowej. Poniżej tej granicy temperatura gruntu nie jest już wrażliwa na roczne wahania temperatury powietrza.
- Adwekcja wody gruntowej. Przepływ wody gruntowej jest w stanie przetranszować duże ilości energii wzdłuż gruntu. Ten proces, znany jako przepływ adwekcyjny, jest głównym czynnikiem w wielu płytkich systemach geotermalnych.
- Pojemność skały dla magazynowania ciepła. Skała, ze swoją zdolnością do magazynowania energii cieplnej, średnio $\approx 0,65 \text{ kWh/m}^3/^{\circ}\text{C}$, zapewnia dużą ilość energii, zwłaszcza w systemach pionowych z układem zamkniętym, gdzie otwór wiertniczy może angażować tysiące metrów sześciennych skały.
- Uzupełnianie sztuczne (regeneracja). Pojemność skały dla magazynowania ciepła może zapewnić doskonale niedrogi magazynowanie termiczne w skali sezonowej z możliwością wykorzystania ciepła odpadowego z procesu chłodzenia, mrożenia, nadwyżki słonecznej itd.

Ad. 2. Głównymi parametrami definiującymi termiczne właściwości gruntu są:

- Przewodnictwo termiczne gruntu
- Objętościowa pojemność cieplna
- Temperatura gruntu nienaruszonego

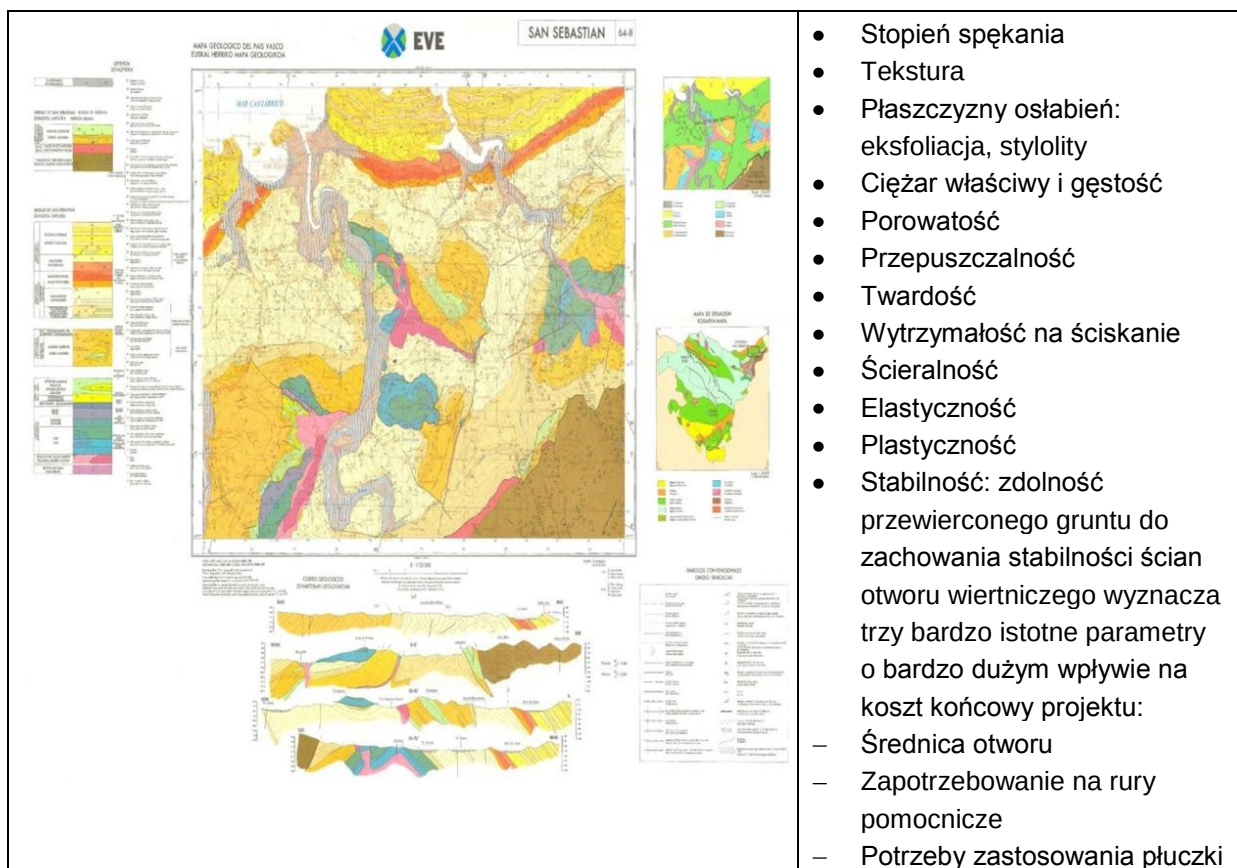
Zdolność gruntu do transportowania i magazynowania ciepła zależy od pewnej liczby czynników, głównie:

- Mineralogii skał. Ogólnie, im wyższa zawartość kwarcu, tym wyższe przewodnictwo cieplne.
- Gęstości. Wysoka gęstość materiału zazwyczaj oznacza zamkniętą teksturę i brak pustek. Im wyższa gęstość, tym wyższa przewodność cieplna i dyfuzyjność.
- Wilgotności. Obecność wody poprawia transport ciepła nawet przy braku przepływu. Wypełnia ona pustki, zwiększając przewodność cieplną skały lub gleby.

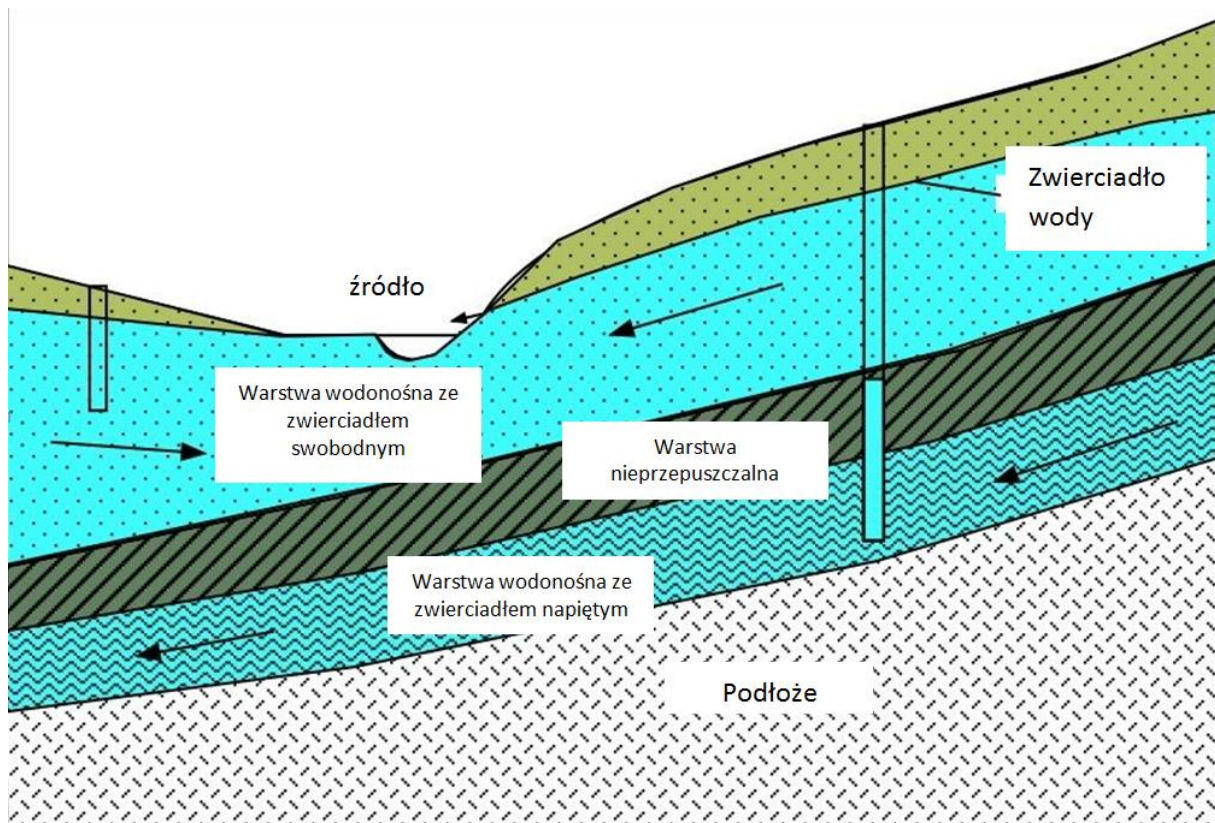
Ad.3. Geologia jest również głównym czynnikiem kształtującym krajobraz. Siły tektoniczne fałdują i tworzą uskoki w skałach. Czynniki wietrzenia, transportu i depozycji są kwestiami kluczowymi w nieustannej transformacji wszystkich środowisk geologicznych. Warunki krajobrazowe będą ustalać warunki w miejscu projektu, które pasują do sprzętu wiercącego.

Dodatkowo, geologia dostarcza odpowiedniej informacji o mechanicznych i geotechnicznych właściwościach skały, które mają kluczowy wpływ na koszt prac wiertniczych (Rys. 1). Głównymi parametrami, według ich wpływu na koszt, są:

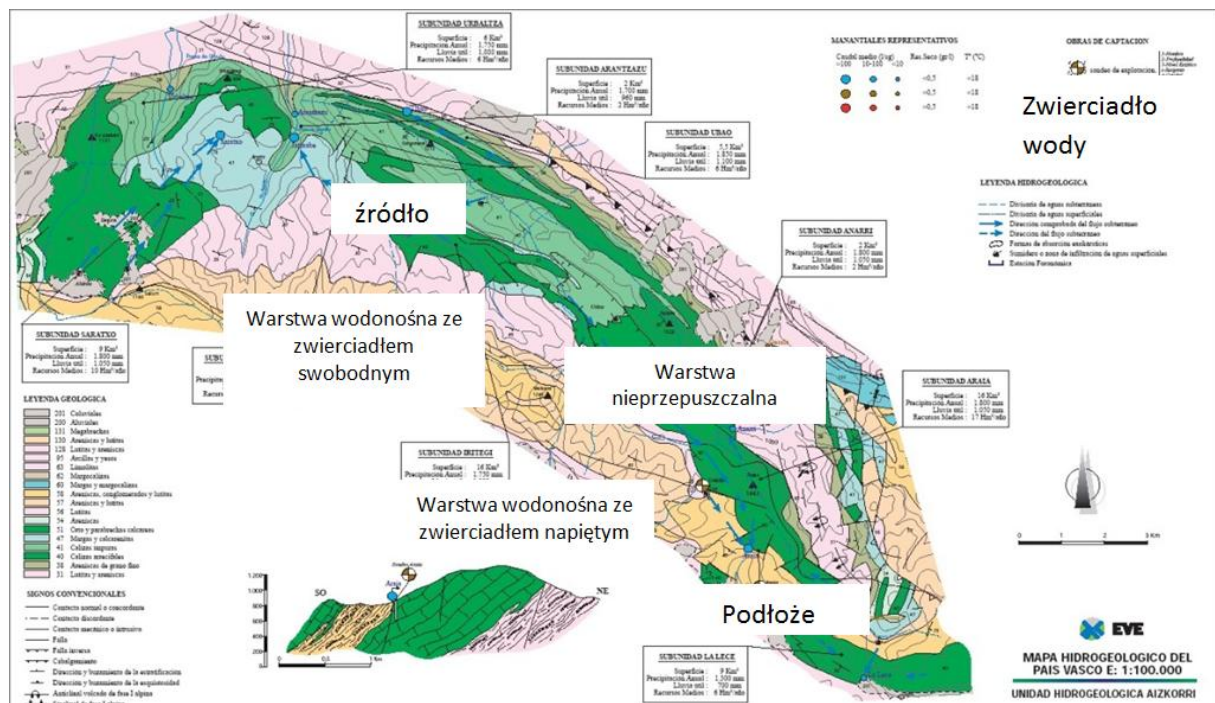
Prędkość penetracji (ROP). ROP będzie zależeć od różnych właściwości skały, z których główne to:



Rysunek 1. Przykład mapy geologicznej podłoża skalnego



Rysunek 2. Hydrogeologia, schemat warstwy wodonośnej



Rysunek 3. Mapa hidrogeológica

Ad.4. Hydrogeologia jest kolejną dziedziną konieczną do uwzględnienia przy analizach wstępnych (Rys. 2 i 3). Obecność wody gruntowej ma podstawowe znaczenie w procedurach projektowania systemów gruntowych pomp ciepła, jak przedstawiono w poniższych punktach:

- Wyznacza ona typologię systemu geotermalnego. Przy produkcji z wystarczającej liczby warstw wodonośnych, typologia układu może być nakierowana na układ otwarty lub system odwiertu ze stojącą kolumną, czasem nawet jako wynik niespodziewanej produkcji wody w pilotowym otworze wiertniczym. W przeciwnym przypadku, system z układem zamkniętym może być ostatecznym rozwiązaniem.
- Pozycja zwierciadła wody wyznacza przewodność cieplną gruntu.
- Przepływ adwekcyjny może przekazywać dużą ilość energii, zwiększając widoczną przewodność cieplną gruntu i zapewniając wyższe współczynniki poboru i odrzutu.
- Z drugiej strony, adwekcja może wykluczać sezonowe magazynowanie termiczne w gruncie.
- Zanieczyszczenie wody gruntowej jest głównym ryzykiem środowiskowym technologii gruntowej pompy ciepła. Stosowna wiedza na temat hydrogeologii w miejscu instalacji geotermalnej jest obowiązkowa dla oceny zagrożenia zanieczyszczeniem i dla zaprojektowania schematu uszczelnienia otworu wiertniczego, w miarę potrzeby.

Ad.5. Pilotowy otwór wiertniczy. Dobrym przykładem narzędzia rozpoznania geologicznego dla systemów geotermalnych o pionowym układzie zamkniętym jest pilotowy otwór wiertniczy. Wiercenie pilotowego otworu wiertniczego z odpowiednią kontrolą geologiczną dostarcza pełnowartościowej informacji o:

- Profilu litologicznym
- Stopniu spękania podłoża
- Hydrogeologii
 - Pozycji zwierciadła wody
 - Warstwach wodonośnych
 - Produktowności, właściwej prędkości przepływu, depresji
 - Hydrochemii
 - Wyborze wypełnienia/cementu
- Parametrach wiercenia
 - Stabilności formacji, pustkach i próżniach
 - Zdolności do przewiercenia
 - Średnicach
 - Zapotrzebowaniu na rury pomocnicze
 - Prędkości wiercenia
- Koszcie wiercenia
- Otwór wiertniczy dla instalacji wymiennika PE dla testu reakcji termicznej (TRT).
- Dodatkowa rura dla profilowania otworu wiertniczego, temperatury gruntu niezaburzonego, profilowania temperatury przed, podczas i po TRT, innych rodzajach profilowań geofizycznych itd.

III. ZASOBY TECHNICZNE I ZAWODOWE

Zasoby techniczne potrzebne dla tej fazy będą różnić się według skali projektu. W małych instalacjach, poniżej 30 kW wystarczyć może podstawowa wiedza geologiczna, a także wyszkolenie i doświadczenie. Wiele krajów i wiele rejonów autonomicznych ma służby geologiczne dysponujące kompleksową dokumentacją dotyczącą lokalizacji projektu, mapy geologiczne i hydrogeologiczne, bazy danych wód podziemnych, mapy gleb i spadków terenu, szacuje ryzyko skażenia wód podziemnych, itd.

Dodatkowo, wiele firm wiercących może dostarczyć informacji na temat litologii, profilu geologicznego, prognozy wód podziemnych itd. Pomaga to dostarczyć informację geologiczną potrzebną dla urzędów górniczych, właściwych do spraw wodnych i lokalnych instytucji.

Instalacje większe, przekraczające 30 kW, wymagają pogłębionej i bardziej szczegółowej wiedzy geologicznej. Włączenie geologa lub hydrogeologa do zespołu projektowego może być niezbędne, zwłaszcza w systemach z układem otwartym opartych o wody podziemne.

Profile profesjonalistów pracujących w branży geotermalnej, tak jak w hydrogeologicznej, są różne. Przygotowanie zawodowe osób pracujących w tej branży powinno być potwierdzone kwalifikacjami: z dziedziny geologii, górnictwa lub inżynierii lądowej, z dobrą wiedzą na temat hydrogeologii. Projektant musi umieć zrozumieć mapę geologiczną. Musi znać przynajmniej podstawową klasyfikację skał i potrafić zidentyfikować główne typy skał w rejonie swojej pracy. Powinien również znać podstawy geologii strukturalnej i rozumieć stosunki geologiczne między różnymi materiałami podłoża, ich orientacji i procesów deformacji.

W wielu projektach o średniej i dużej skali może być obowiązkowe posiadanie istotnych kwalifikacji geotermalnych w celu uzyskania odpowiedniego zabezpieczenia przed zagrożeniami lub do zintegrowania części geotermalnej z projektem budynku.

III. 1. Wykorzystanie zasobów

Wiedza geologiczna musi być zintegrowana w gruntowej pompie ciepła od pierwszego etapu i będzie obecna przez cały czas realizacji projektu. Geologia wyznacza bezpośrednio lub pośrednio:

- typologię układu: otwarty, zamknięty, odwiert ze stojącą kolumną,
- termiczne właściwości gruntu/wód podziemnych,
- rentowność układu: system kopany/wiercony, wykonanie studni/otworu wiertniczego,
- kwestie środowiskowe.

Zakres jest bardzo złożony i odpowiada wybranej typologii. Może obejmować on kartografię geologiczną/geotechniczną aż po próbne pompowanie ujęcia wód podziemnych lub odwiertu do ponownego zatłaczania.

Rozdział 16 przedstawia szczegółowe informacje o rozpoznaniu terenowym w projekcie gruntowej pompy ciepła.

IV. WYDAJNOŚĆ ENERGETYCZNA I EKONOMICZNA KORZYŚĆ KOSZTOWA

Energetyczna wydajność systemu geotermalnego jest w pełni związana z typologią obiegu. Wydajność w systemie geotermalnym waha się od współczynnika sezonowej efektywności (SPF) <3 w wielu poziomych kopanych systemów geotermalnych z układem zamkniętym do >5 w kilku systemach z układem otwartym mających źródło w wodach podziemnych. Dla tej samej typologii, np. systemu pionowego z układem zamkniętym, obciążenia termicznego budynku, wsp. efektywności może wahać się od <3,5 do >4,5 w zależności od przewodności cieplnej gruntu i prędkości wody podziemnej w Darcy.

Właściwości gruntu, obciążenia termiczne budynku i koszt energii będą określać rentowność alternatywy geotermalnej. Typologia układu będzie definiować zakres kosztowy systemu geotermalnego. Systemy pionowe z układem zamkniętym mogą zazwyczaj dostarczać nawet kilkaset kW mocy cieplnej. Koszt może łatwo osiągnąć >1200 € per za kW zainstalowanej mocy kW, z okresem zwrotu wynoszącym ponad 12 lat.

Dla odmiany, system wody gruntowej z układem otwartym może dostarczyć kilka MW mocy termicznej i jego koszt może być mniejszy niż 100 €/kW, z kilkumiesięcznym okresem zwrotu.

IV. 1. Przepisy

Główne przepisy odnośnie tej dziedziny dotyczą materiałów i procedur wypełniania oraz cementowania. Kilka państw centralnej Europy, takich jak Francja, Niemcy, Austria i Szwajcaria

wymaga cementowania otworu wiertniczego masą uszczelniającą, zazwyczaj mieszankami cementowo-bentonitowymi, w celu uniknięcia zanieczyszczenia warstwy wodonośnej. Jednakże, zazwyczaj po umieszczeniu mieszanki cementowej i zdjęciu rur nie są już wykonywane dalsze testy weryfikujące jakość zacementowania otworów. Przepisy te mogą być przydatne w niektórych warunkach geologicznych, np. w terenach krasowych, o niskim położeniu zwierciadła wody, terenach z gipsem, terenach nieskonsolidowanych gławowisk, lecz nie w innych.

W innych krajach, takich jak obszar Skandynawii, otwór wiertniczy jest wypełniony wodą. Pierścień osłaniający głowicę jest zacementowany i przestrzeń wewnętrzna między U-rurą i osłoną jest uszczelniona pakerem z gumy ekspansywnej. Takie wykonanie jest uważane za wystarczająco bezpieczne by zagwarantować, że przez otwór wiertniczy nie zachodzi skażenie warstw wodonośnych od powierzchni.

W wielu krajach brak jest adekwatnych przepisów. Jak wiele innych spraw, procedura uszczelniania jest uwarunkowana przez warunki geologiczne i hydrogeologiczne. Często nie jest możliwe zapobieganie zanieczyszczeniom krzyżowym między różnymi potencjalnymi warstwami wodonośnymi przez samo cementowanie. Wymaga to specjalnej procedury, na przykład umieszczenia zacementowanych rur okładzinowych izolujących górną warstwę wodonośną przed przewierceniem dolnej warstwy wodonośnej. Bardzo podobna sytuacja może mieć miejsce w przypadku warstw wodonośnych o charakterze artezyjskim. Z drugiej strony, nie jest potrzebne uszczelnienie formacji o niskiej przepuszczalności bez warstw wodonośnych wzdłuż całego otworu wiertniczego. Takie rozwiązanie jedynie zwiększa koszty wiercenia i zmniejsza transport ciepła przez pierścień otworu wiertniczego.

Taka sama recepta nie zawsze jest najlepsza na różne choroby. Wyszkolony i doświadczony personel musi zbadać i zaprojektować bezpieczne rozwiązania dla każdej sytuacji geologicznej i hydrogeologicznej.

V. WNIOSKI

Geologia definiuje zachowanie przekazywania ciepła w gruncie. Optymalnie dopasowany projekt średniej lub dużej wielkości płytkiego systemu geotermalnego nie może być wykonany bez analizy kwestii geologicznych. Projektanci muszą zrozumieć podstawowe kwestie transportu ciepła w gruncie, różne czynniki wpływające na budżet energii, ładowanie i rozładowanie ciepła i rolę wody gruntowej. Muszą również znać pewne podstawowe kwestie geologiczne i hydrogeologiczne, główne formacje skalne i litologie w podłożu, położenie warstw wodonośnych i ich wrażliwość na zanieczyszczenie, przynajmniej konkretnego obszaru roboczego, w celu wyboru najlepszej typologii obiegu w każdym miejscu. Muszą być oni świadomi konsekwencji i zagrożeń wynikających ze złej oceny geologicznej.

Najczęstszą konsekwencją nieprawidłowego zastosowania jest zwiększony koszt i nieprawidłowe funkcjonowanie wykonanego systemu geotermalnego. W przypadku wyboru niewłaściwej typologii obiegu może być wybrana droższa alternatywa, zwiększając koszt systemu geotermalnego. Czasami limit ekonomiczny może być przekroczony i alternatywa geotermalna będzie odrzucona. Niedostateczna wiedza o termicznych właściwościach gruntu może prowadzić również do złych decyzji. Jeszcze gorsza sytuacja może mieć miejsce w przypadku źle wykonanego projektu. System nigdy nie będzie pracował prawidłowo lub kłopoty pojawią się po kilka latach operacji. Ponadto, niewłaściwa ocena geologiczna może powodować zagrożenia geotechniczne i środowiskowe, niektóre nawet o konsekwencjach karnych.

V. 1. Przyszłość

Rozwój tej branży i dziedziny wiedzy będzie powodował zwiększenie wpływu profesjonalistów o odpowiednim doświadczeniu w projektowaniu geotermalnym związanym z gruntem na

podejmowane decyzje. W projektach o średniej i dużej skali ich wiedza będzie niezbędna i będą stanowić nieodzowną część multidyscyplinarnych zespołów roboczych. Ustalenie właściwości gruntu, zachowania wody gruntowej, zdolności magazynowania termicznego w lokalizacji projektu lub wybór najlepszego i najbezpieczniejszego schematu środowiskowego przekazywania ciepła dla otworu wiertniczego będzie zadaniem dla dobrze wykwalifikowanego specjalisty. Narzędzia hydrogeologiczne i geofizyczne będą stosowane szeroko i zostaną dostosowywane dla poprawy projektów odwiertów i kontroli jakości pracy.

VI. DODATKOWE INFORMACJE

Bibliografia

Wiele podręczników dotyczących projektowania geotermalnego poświęca przynajmniej jeden rozdział objaśnieniu niektórych podstawowych kwestii geologicznych.

Strony internetowe

Wiele krajów Unii Europejskiej posiada swoje służby geologiczne, a wiele z nich udostępnia przydatne informacje na swoich stronach internetowych, w tym dane geologiczne i hydrogeologiczne, bazy danych ujęć wód podziemnych, zestawienia przewodności cieplnej gruntu, temperatur wód gruntowych, hydrochemiczne itd.

Patrz: <http://www.uni-mainz.de/FB/Geo/Geologie/GeoSurv.html>

Innymi interesującymi stowarzyszeniami są:

Międzynarodowe Stowarzyszenie Hydrogeologów (IAH): www.iah.org

Narodowe stowarzyszenia geologiczne, górnicze oraz budowlane na swoich stronach internetowych dysponują obszernymi informacjami na te tematy.

Patrz: <http://geology.about.com/>, gdzie można znaleźć obszerną informację geologiczną dla odświeżenia swojej szkolnej wiedzy na temat geologii.



ROZDZIAŁ 8 - WIERCENIE

autor Iñigo Arrizabalaga

I. WPROWADZENIE

Płytke systemy geotermalne są oparte głównie o otwory wiertnicze i studnie. Są to podstawowe elementy, które definiują pionowe systemy z układem zamkniętym, podstawy energetyczne i otwarte obiegi oparte o wodę gruntową.

Bardzo ważną kwestią jest wiedza na temat różnych metod i narzędzi wiertniczych, obszar zastosowania, ich ograniczenia, koszty i zagrożenia. Projektant powinien posiadać wiedzę o systemach okładzinowych rur, alternatywach orurowaniach, materiałach wypełniających i uszczelniających otwór oraz metodach jego wykonania.

Projektant powinien posiadać umiejętność wyboru odpowiedniej metody wiercenia dla danego systemu, być zaznajomiony z narzędziami, być zdolny do ustalenia średnic i konieczności stosowania pomocniczych rur okładzinowych oraz przewidywania kosztów w celu oceny technicznej i ekonomicznej wykonalności różnych alternatyw.

Najważniejsze kwestie dotyczą najbardziej odpowiedniej metody wiercenia, optymalnych średnic, materiału oraz metod orurowania i uszczelnienia, niezbędnych pomocniczych rur okładzinowych, szacowanych kosztów i zagrożeń związanych z tego typu pracą.

Projektant musi wiedzieć, że koszty wierceń pionowego systemu z układem zamkniętym mogą wahać się od 50 do 70% dodatkowych kosztów obiegu wymiany ciepła w gruncie, w porównaniu z konwencjonalnym systemem klimatyzacji. Uzyskanie pełnej wiedzy na początkowym etapie studium wykonalności jest tym samym niezwykle istotne. Pierwszym krokiem w procesie dobierania wymiarów gruntowej pompy ciepła jest zdefiniowanie zapotrzebowania systemu. Proces ten powinien obejmować analizę różnych możliwych alternatyw, od najbardziej do najmniej ekonomicznych, w oparciu o warunki geologiczne i hydrogeologiczne miejsc pracy oraz wykluczenie tych, które są niewykonalne.

Celem tego rozdziału jest przedstawienie krótkiego podsumowania różnych aspektów związanych z wierceniem otworów. Złożoność tego tematu jest istotna, lecz głównym celem jest pokazanie najczęściej stosowanych metod wiercenia, które mogą być stosowane do wykonania konstrukcji obiegów wymiany geotermicznej.

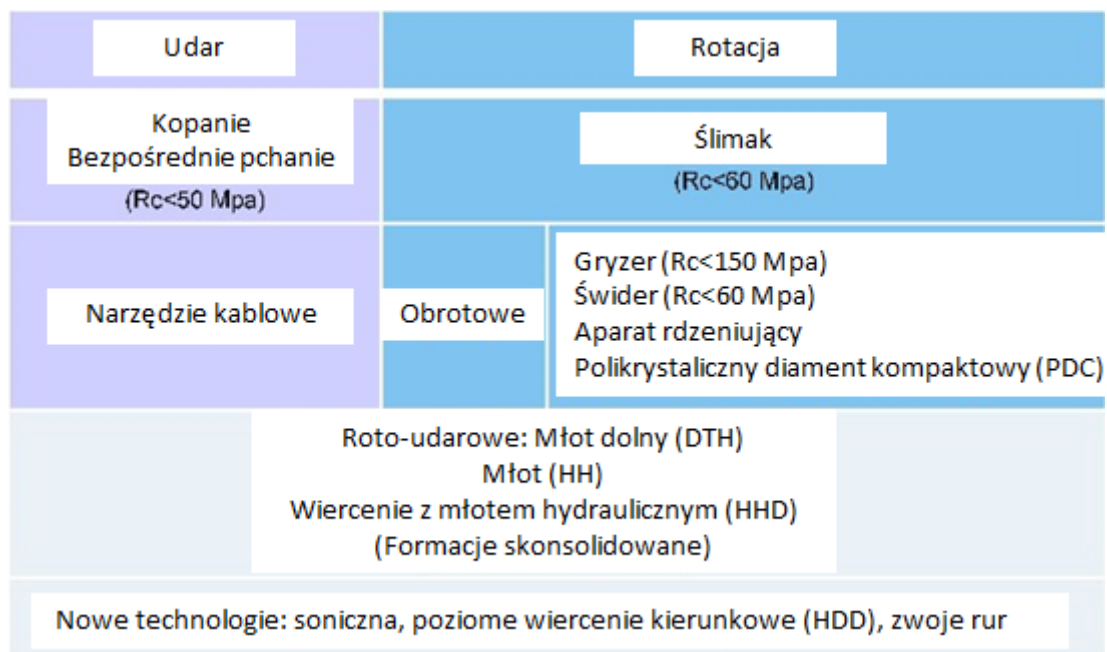
II. KONCEPCJE

Ten rozdział ma na celu opisanie głównych systemów wiercenia stosowanych przy wykonywaniu znacznej większości konstrukcji systemów geotermalnych, zwłaszcza dla instalacji <30 kW. Podstawowa część systemu geotermalnego to oczywiście obieg wymiany geotermalnej. Istnieją geotermalne instalacje niskotemperaturowe bez pomp ciepła, lecz nie bez obiegu wymiany ciepła geotermalnego.

II. 1. Metody wiercenia

Otworki wiertnicze i wiercenia mają długą historię. Istnieją dowody na wykonywanie otworów wiertniczych ponad 2000 lat temu, głębokich na setki metrów i wywierconych prymitywnym sprzętem, z zastosowaniem trzciny bambusowych jako rur.

Od dawna istnieje tradycyjny podział na dwa popularne sposoby wiercenia: metoda udarowa i metoda obrotowa. Niemniej jednak, istnieją też inne metody, które bądź to zawierają elementy tych dwóch, jak metoda obrotowo-udarowa, bądź są względnie nowymi rozwiązaniami technologicznymi, które, pomimo wyewoluowania z tych wcześniejszych, posiadają istotne cechy wyróżniające, np. wiercenie soniczne, poziome wiercenie kierunkowe itd.



Rysunek 1. Metody wiercenia

Metoda udarowa

Niektórzy autorzy uwzględniliby dwa typy dodatkowej konstrukcji odwiertów: kopanie i bezpośrednie pchanie. Ze względu na jej rzadkie stosowanie nie będzie ona tu opisywana bardziej szczegółowo. Warto jednakże wspomnieć dwa interesujące aspekty:

- Obecnie istnieją prefabrykowane pale do uderzania (struktury głębokiego posadowienia, które są umieszczane w ziemi z powtarzającym się udarem, dopóki nie jest możliwa dalsza penetracja), w które inkorporuje się obieg wymiany, lub mające pusty w środku rdzeń dla umieszczenia obiegu przy jego instalacji.
- Systemy bezpośredniego wciskania, które w istotny sposób poprawiają ich wydajność. Systemy te mogą być opcją ekonomiczną dla instalacji współosiowych wymienników w nieskonsolidowanych formacjach.

Główną metodą udarową jest udar narzędziem przewodowym. Według Calvera *“Ta metoda wiercenia wykorzystuje ciężki świder, który jest na przemian podnoszony i opuszczany, miażdżący i kruszący formację skalną. Mając urządzenie z narzędziem przewodowym, doświadczony wiertacz może wiercić w dowolnej formacji, w tym przez duże szczeliny i kawerny, które mogą wywoływać problemy przy innych metodach wiercenia. Wiercenie jest wykonywane napiętym przewodem wiertniczym. Ramię kierownicze i belka powodują ruch góra-dół przewodu i świdra. Długość kabla jest regulowana, tak iż przesuwie w dół narzędzia rozciągając przewód, gdy świder uderza w dno otworu, wykonując*

silne uderzenie i natychmiast wycofując się. Skręt lub obrót przewodu wywołuje lekki ruch obrotowy narzędzia, tak, iż świder z każdym suwem uderza w nową powierzchnię. Pozostawiony skręt przewodu jest stosowany tak, że ruch skrętny zacieśnia złącza śrubowane narzędzi przy każdym wysuwie. Jeśli otwór wiertniczy jest suchy, woda jest dodawana dla utworzenia zawiesiny, która jest wyczerpywana. Zazwyczaj między czerpaniami wiercone jest około 1,5 m otworu.”

Wolna prędkość penetracji (ROP) tej metody, często poniżej 10 m dziennie, zwiększa koszty znacznie powyżej granicy wykonalności dla systemów z układem zamkniętym. W konsekwencji, jej zastosowanie jest w praktyce ograniczone do dwóch przypadków:

- otwartego układu, konstrukcji głębokich odwiertów, z wysokim współczynnikiem wydajności w nieskonsolidowanych warstwach wodonośnych lub obszarach krasowych,
- posadawiania pali energetycznych ; wiercenie w strefach gławowisk dla konstrukcji pali in situ.

Metoda obrotowa

Wiercenie obrotowe jest najlepszą znaną metodą wiercenia dla ropy, eksploracji górniczej i hydrogeologicznej. Podstawowe zabiegi obejmują przekazywanie momentu obrotowego, z użyciem stołu wiertniczego lub głowicy wiertniczej, na gwintowany przewód wiertniczy wyposażony na końcu w świder. Ten świder może być gryzerem dla wiercenia kruszącego, lub aparatem rdzeniującym dla wiercenia z ciągłym pozyskiwaniem prób. W ostatnich kilku latach wprowadzono nowy typ świda, wykorzystywany dotychczas w wierceniach za ropą naftową i gazem ziemnym - PDC (polikrystaliczny diamentowy kompaktowy). Ponadto, w wierceniach powierzchniowych do 50 m, w nieskonsolidowanych skałach i przy posadawianiu, popularną metodą jest system ślimakowy. Wydobywany materiał jest tu wybierany turbiną Archimedesesa, zachowując bosy charakter otworu.

Większość metod obrotowych wykorzystuje płuczkę jako płyn wiertniczy i jest podzielona na obieg prawy lub lewy, w zależności od funkcji przepływu płuczki wiertniczej:

- obieg prawy: płuczka jest pompowana do przewodu wiertniczego, oczyszczając dno otworu z zastosowaniem dysz znajdujących się na końcu świda. Płuczka wraca na powierzchnię przez pierścień między otworem wiertniczym i przewodem. Płuczka przenosi zwierciny i pozostałości z dna otworu. Metody obiegu prawego dobrze nadają się do otworów wiertniczych o wąskiej średnicy <300 mm i do skonsolidowanych formacji o wytrzymałości na ściskanie do 150 Mpa,
- obieg lewy: płuczka jest pompowana w dół pierścienia i ponownie w górę przez przewód. Ciśnienie wewnątrz przewodu spada, co pozwala na wydostanie się płuczki i pozostałości ku powierzchni, gdzie są one osadzone w naczyniu dekantacyjnym. Systemy te są stosowane w wielkośrednicowych otworach wiertniczych >300 mm i w formacjach nieskonsolidowanych.

Metoda obrotowo-udarowa (młot obrotowy)

Metody obrotowo-udarowe są obecnie najczęstszymi metodami wierceń dla geotermalnych otworów wiertniczych, integrując elementy zarówno metody obrotowej, jak i udarowej. Narzędziem wierzącym jest młot pneumatyczny lub młot hydrauliczny, który rozbija i kruszy formację naprzemiennymi uderzeniami z częstotliwościami między 500 i 2000 uderzeń na minutę. Młot jest aktywowany przez przewód i zatrzymywany przez moment obrotowy. Stale zmienia on punkt uderzenia, tym samym unikając klinowania się narzędzia i ułatwiając dezintegrację skały i zachowanie pionu przez otwór wiertniczy. Zwierciny wydostają się za pomocą wody lub sprężonego powietrza.

Systemy obrotowo-udarowe są sklasyfikowane według punktu uderzenia:

- Młot górny. Uderzenie zachodzi przy głowicy przewodu i jest przenoszone na młot u podstawy łańcucha. Jest to częsta metoda dla płytkich strzałowych otworów wiertniczych <50 m. Jest to standardowa metoda wiercenia w dołach strzałowych kamieniołomów i przy robotach publicznych, a także przy wierceniu tuneli i chodników.

- Młot dolny. Tłok wewnątrz młota na dnie przewodu wiertniczego uderza w powierzchnię skały. Powietrze pod wysokim ciśnieniem jest zatłaczane przez przewód, normalnie pod 12-30 bar, powodując naprzemienny ruch przy wyzwalaczu młota. Wyzwalacz uderza w świder, wypychając sprężone powietrze przez dyszę świdra, tym samym kończąc sekwencję i transportując zwierciny skalne na powierzchnię. W zależności od kierunku płuczki wiertniczej istnieją dwa główne typy:
 - Obieg prawy: płyn jest zatłaczany przez przewód i wraca przez pierścień. System ten jest odpowiedni dla silnie lub bardzo silnie skonsolidowanych formacji i dużych głębokości, przy średnicach porównywalne mniejszych, <300 mm, oraz przy niewielkich wystąpieniach wody lub przy głębokim zwierciadle wody.
 - Obieg lewy: stosowane są podwójne przewody wiertnicze. Płyn jest zatłaczany przez pierścień między obiema rurami. Falownik łączący ścianę przewodu z młotem jest umieszczony bezpośrednio powyżej młota. Po uderzeniu i pchnięciu, postępująca powierzchnia przenosi płyn z wypełnieniem do środka wewnętrznego przewodu gdy wraca na powierzchnię. Metoda ta jest odpowiednia do stosowania w formacjach zmieniających się od skonsolidowanych do nieskonsolidowanych, dla wierceń wielkośrednicowych, >300 mm i dla otworów wiertniczych z częstym występowaniem wody i wysokim poziomem zwierciadła wody.

Wiercenie w silnie skonsolidowanych formacjach z dużym nadkładem lub w nieskonsolidowanych poziomach jest znacznym wyzwaniem dla każdego systemu wiercenia. W oparciu o rozwiązanie klasyczne powstały różne metody, takie jak rury okładzinowe nadwymiarowe i pomocnicze oraz teleskopowe, mające na celu przejście tych obszarów bez utraty średnicy. Są to systemy, które umożliwiają wiercenie i rurowanie w pojedynczym manewrze, tym samym gwarantując stabilność formacji, brak zawałów i odzyskiwanie zwiercin – nawet w kawernach często znajdujących w obszarach krasowych – i zapobiegając zakłóceniom przepływu powrotnego. Najczęstszymi systemami są podwójna głowica obrotowa i podwójne rury: typ Odex i typ Symmetrix.

II. 2. Płuczki wiertnicze

Podstawową częścią wiercenia jest właściwy dobór płuczek wiertniczych. Normalnie jest to woda lub płuczka oparta o mieszaninę wody i łu bentonitowego. Niemniej jednak, w oparciu o skład mineralogiczny utworów znajdujących się w podłożu, skład wód podziemnych oraz ciśnienie formacji i ryzyko erupcji, dodane mogą być bardzo różnorodne związki.

Oparta o powietrze	Powietrze Powietrze / woda Powietrze / polimer
Oparta o wodę	Woda Woda / polimer Woda / bentonit Płuczka specjalna: Wysoka gęstość Nasycona Z węglowodorami Tracone materiały cyrkulacyjne

Rysunek 2. Typy płuczek wiertniczych

Jako płuczkę można stosować również powietrze pod wysokim ciśnieniem. Powietrze może być wymieszane z wodą w celu redukcji pyłu, a na koniec powodować spienienie, dla ułatwienia wzniosu zwiercin i wody oraz dla oczyszczenia otworu wiertniczego.

Płuczki wiertnicze spełniają wiele funkcji, służąc przede wszystkim jako:

- podstawowe funkcje: chłodzenie świdra,
- do usuwania zwiercin w miarę, jak są one wytwarzane,
- transport zwiercin w górę otworu.

Ponadto, płuczki są często stosowane do:

- stabilizacji otworu dla zapobiegnięcia obsypkom,
- zminimalizowania migracji płynu formacji do otworu,
- zminimalizowania utrat płynu w formacji,
- smarowania pompy płuczkowej, świdra i pierścienia między przewodem wiertniczym i otworem,
- redukcji korozji przewodu wiertniczego,
- zawieszenia zwiercin podczas okresów bez cyrkulacji,
- pomagania przy pobieraniu i interpretacji prób i karotażu,
- uwalniania zwiercin w dole płuczkowym.

II. 3. Ocena kosztów

Koszt wiercenia w projekcie wymiany ciepła geotermalnej może być o ponad 50% wyższy niż dla technologii konwencjonalnych. Koszty wiercenia wahają się w bardzo istotny sposób. Otwór wiertniczy o głębokości 60 m i o średnicy 90 mm, wykonany w nieskonsolidowanych materiałach spójnych, mógłby kosztować 30 €/m. Z drugiej strony, otwór wiertniczy o głębokości 1500 m wykonany dla celów geotermalnych lub eksploracji węglowodorów mógłby przekroczyć koszt 1000 €/m. Odnośnie zamkniętych obiegów pionowych i formacji z dobrą prędkością jednostkową wiercenia (>100 m/d), koszty wiercenia wypadają pomiędzy 20 i 40 €/m. Różnice są znaczne, w zależności od kraju i warunków rynkowych: dysponowania sprzętem, zapotrzebowania itd.

Głównymi czynnikami ustalającymi koszty wiercenia, jeśli chodzi o lokalizację inwestycji, są:

- głębokość i średnica,
- typ formacji/potrzeba pomocniczych rur okładzinowych,
- skonsolidowane: wapień, piaskowce, łupek,
- nieskonsolidowane: piasek, żwir, muł, głązy,
- twardość formacji/ścieralność,
- stopień spękania,
- woda podziemna: słup wody i prędkość przepływu.

Ponadto, istnieje pewna liczba czynników związanych z badaniem obszaru konstrukcji geotermalnego otworu wiertniczego. Te o największym wpływie to:

- dostępna powierzchnia,
- konfiguracja posadowienia, sieć drenażu, sieć ziemna,
- harmonogram robót strukturalnych: kopanie, palowanie, ściany,
- ingerencje między podwykonawcami,
- przygotowanie miejsca wiertni,
- gospodarka zwiercinami i/lub płuczką,
- gospodarka odpadami,
- wpływ usług innych podmiotów, sieć elektryczna, telefoniczna, gazowa, wodna, tunelowa,
- wydostawanie się wody gruntowej.

II. 4. Ocena ryzyka

Innym aspektem związanym z wierceniem o dużym znaczeniu jest ocena zagrożeń związanych z tym typem pracy. Są one zasadniczo rozbite na pięć kategorii zagrożeń:

- bezpieczeństwo i zdrowie w miejscu odwiertu,

- ryzyko środowiskowe: wpływ na zasoby wód podziemnych, źródła, zanieczyszczenia krzyżowe, niepożądane kontakty hydrauliczne pomiędzy różnymi warstwami wodonośnymi,
- ryzyko energetyczne: zły projekt, słabe wykonanie, zbyt niskie/wysokie obliczenia, niska wydajność, niski komfort,
- ryzyko ekonomiczne: zły bilans koszt/zysk, mniej wydajna prędkość przepływu, zła jakość dostarczanej wody,
- ryzyko geotechniczne: uszkodzenia strukturalne, posadowienia, koleje, drogi.

Wszystkie powyższe aspekty powinny być rozważone i ocenione w oparciu o konkretne warunki polowe.

Wiercenie wymaga kosztownego sprzętu i wyspecjalizowanego personelu. Przy układaniu planu wiercenia należy dokonać dalszego rozróżnienia między domowymi projektami geotermalnymi <30 kW, a instalacjami instytucjonalnymi i komercyjnymi. Dla tych pierwszych wystarczające mogą być firmy wykonawcze z doświadczeniem w dziedzinie projektowej. Będą one zaznajomione z warunkami wiercenia, zagrożeniami i pozwoleniami wymaganymi dla obszaru i mogą tym samym informować projektantów o koniecznych procedurach.

Dla dużych projektów >30 kW rekomendowane jest, by pilotowy otwór wiertniczy był wywiercony z odpowiednią kontrolą hydrogeologiczną jako pierwszy etap projektu. Ten otwór wiertniczy będzie także rurowany dla TRT i umożliwi ustalenie litologii, prędkości penetracji, warstw wodonośnych, pozycji zwierciadła wody, prędkości produkcji wody gruntowej, zapotrzebowania na pomocnicze rury okładzinowe i innych informacji, tak, iż wybrany jest najlepszy program wiercenia, łącznie z oceną kosztów.

III. ZASOBY TECHNICZNE I ZAWODOWE

Projektant powinien znać główne systemy wiercenia, ich wymagania, wpływ warunków geologicznych na zadanie, rozmiar, możliwość manewrowania i mobilność sprzętu wierzącego oraz wymagane środki pomocnicze. Powinno się także znać ograniczenia i koszty każdego systemu.

W niektórych krajach i regionach osoba wykonująca projekt wiercenia powinna posiadać akredytowaną wiedzę z geologii, górnictwa lub inżynierii lądowej wraz z obszernym wykształceniem w dziedzinie materiałów podłoża.

Projektant powinien wybrać metodę wiercenia wykorzystującą najmniejszą możliwą średnicę, w celu zagwarantowania prawidłowej instalacji wybranych rur i wypełnień i powinien zrobić to przy minimum kosztów i oddziaływań. Najczęstszą opcją dla skonsolidowanych formacji i twardego podłoża jest młot dolny. Młot dolny bardzo często osiąga ROP powyżej 25 m/h, często przy średnicach między 127 i 140 mm i głębokościach przekraczających 150 m.

Płuczka wiertnicza	Zwykle płuczka wiertnicza oparta o wodę
Teleskopowe rury okładzinowe	Kilka średnic wiercenia
Systemy OD	ODEX TUBEX Do 25 m głębokości
Rota-OD	Rota-ODEX Do 40 m głębokości
Podwójna głowica obrotowa	Do 150 m głębokości

Rysunek 3. Formacje nieskonsolidowane

W nieskonsolidowanych formacjach, bezpośredni obieg może nie być wykonalny ze względu na zapadania, jakie wywołuje w formacji. Rozwiązaniem jest często instalowanie tymczasowych rur okładzinowych i zmniejszenie średnicy otworu wiertniczego (wiercenie teleskopowe). Ta technika może podwoić koszt na metr okładzin. Obieg lewy może rozwiązać ten problem, lecz wymaga o wiele większej średnicy wiercenia i zazwyczaj płuczka musi być spreparowana. Średnica, objętość wypełniacza i zwiercin oraz koszt otworu wiertniczego zwiększają się.

Wydajność i koszt wiercenia wahają się znacznie w zależności od wykonawcy wiercenia i ekipy wierzącej. Doświadczenie, przeszkolenie, sprawność i odpowiedzialność załogi są najtrudniejszymi zmiennymi do oszacowania przy planowaniu robót wiertniczych. Ich wpływ na koszty prac wiertniczych jest bardzo często zasadniczy. Często spotyka się kilka wiertnic tego samego modelu pracujących w tym samym miejscu, z bardzo różnymi wydajnościami.

IV. WYDAJNOŚĆ ENERGETYCZNA

Z punktu widzenia wydajności energetycznej wpływ metody wiercenia stosowanej dla układów zamkniętych jest ograniczony. Wybrana metoda decyduje o średnicy wiercenia. Dla przykładu, otwory wiertnicze wykonane z lewym obiegiem wymagają minimalnej średnicy 300 mm. W praktyce, często powoduje to istotne zwiększenie oporu termicznego otworu wiertniczego w każdej sytuacji, gdzie przewodność cieplna wypełnienia otworu wiertniczego jest niższa niż gruntu. W konsekwencji, lepszy gradient temperaturowy jest potrzebny w celu przesłania tego samego przepływu ciepła jak przy mniejszej średnicy wiercenia, tym samym dostarczając niższej wydajności.

W systemach otwartych z pompowaniem i ponownym zatłaczaniem wody podziemnej, niewłaściwa decyzja co do metody wiercenia może, prócz innych konsekwencji, spowodować uszkodzenie formacji, redukcję właściwej prędkości przepływu i zmniejszenie poziomu dynamicznego. Zwiększyłoby to ciśnienie pompowania i zużycie energii.

Wiercenie jest najbardziej wrażliwą zmienną w analizie wykonalności niskotemperaturowych systemów geotermalnych. W dużych projektach – pionowe obiegi powyżej łącznej długości 3000 m – różnice kosztów + 10% w konstrukcjach otworów wiertniczych powodują większe różnice rocznego zwrotu. Wybór odpowiedniej metody dla uzyskania maksymalnych wydajności przy minimalnym koszcie jest tym samym najbardziej istotny. Jednocześnie metoda powinna być kompatybilna z innymi równoczesnymi obowiązkami w zadaniu. W otwartych obiegach, błędny wybór metody lub wadliwa praca projektowa może wywołać nieakceptowalne poziomy turbulencji, pyłu i piasku w pompie i wymienniku termicznym, tym samym psując całą operację i poprzedzającą inwestycję.

	Łużny piasek Zwir	Stożki aluwialne Moreny lodowcowe z łuznymi głazami	It, Pył, łupek	Piaskowiec zacementowa ny Zlepieńce	Wapień	Wapień kawernisty	Warstwy bazaltowe	Bazalt silnie spiekany - strefy utraty cyrkulacji	Granity i inne niespekane metamorfiki
Narzędzie kablowe	Wolne	Wolne - trudne	Wolne - średnie w kruchym łupku	Wolne	Wolne	Srednie	Wolne do średniego	Wolne, czasem trudne	Wolne
Bezpośrednie obrotowe (powietrze)	Nie rekomenduje się			Szybkie	Szybkie	Wolne	Szybkie	Srednie	Srednie do szybkiego
Bezpośrednie obrotowe (płyn)	Szybkie		Szybkie	Srednie do szybkiego	Srednie do szybkiego	Wolne do niemożliwego	Wolne do średniego	Wolne do niemożliwego	Wolne do średniego
Młot pneumatyczny	Nie rekomenduje się			Twardsze typy Szybkie	Bardzo szybkie	Szybkie	Szybkie	Srednie do szybkiego	Szybkie
Odwrócone obrotowe	Szybkie	Srednie	Szybkie	Srednie do szybkiego	Srednie	Wolne do niemożliwego	Wolne do średniego	Wolne do niemożliwego	Wolne do średniego
Wiercenie przez rury okładzinowe	Bardzo szybkie	Srednie do trudnego	Szybkie	Nie stosuje się					
Podwójna ściana	Bardzo szybkie	Srednie	Szybkie	Srednie do szybkiego	Srednie do szybkiego	Szybkie	Szybkie	Srednie do szybkiego	Wolne do średniego

Rysunek 4. Prędkości wiercenia (wg: Gene Culver 1998, rozdział 6, *Drilling and Well Construction*.
W: Linieu, P. (red.). *Geothermal Direct Use Engineering and Design Guidebook* (wydanie 3)

V. WNIOSKI

Projektant powinien posiadać wiedzę o głównych metodach wierceń otworów, zaletach i wadach oraz obszarze zastosowania dla każdej technologii. Ponadto, projektant powinien znać koszty powiązane z każdym systemem i możliwe zagrożenia wynikające ze złego projektu lub złej praktyki, które mogą okazać się bardzo istotne. Można wyróżnić pięć możliwych obszarów zagrożeń:

- bezpieczeństwo i zdrowie w miejscu odwiertów/studni,
- zagrożenie środowiskowe: wpływ na dostawy wody, źródła, zanieczyszczenie krzyżowe, niepożądane,
- mieszanie między różnymi warstwami wodonośnymi,
- ryzyko energetyczne: zły projekt, słabe wykonanie, zbyt niskie/wysokie obliczenia, niska wydajność, niski komfort,
- ryzyko ekonomiczne: zły bilans koszt/zysk, mniej wydajna prędkość przepływu, zła jakość dostarczanej wody,
- ryzyko geotechniczne: uszkodzenia strukturalne, posadowienia, koleje, drogi.

W większości obiegów wymiany geotermalnej wiercenie jest zasadniczą zmienną w kosztach wykonania. Tym samym, redukcja kosztów przez możliwe postępy w technologii wiercenia wywierałaby powielający skutek na instalacje energii geotermicznej.

Za kilka lat zostaną opracowane zapewne nowe systemy wiercenia, które są dostosowane do geotermii niskotemperaturowej, mniejszych i lepszych w manewrowaniu wiertnic, mniejszych średnic wiercenia, większych ROP, itd.

VI. DODATKOWE INFORMACJE

Bibliografia

Istnieją dobre instrukcje wiertnicze opublikowane w prawie każdym języku, chociaż większość z nich jest zorientowana na wiercenie głębokich otworów wiertniczych. W języku hiszpańskim interesujące są następujące książki:

- Pozos y sondeos. Carlos López Jimeno et al. 2006. Manual de sondeos (2 volúmenes) UPM. ETSI Minas de Madrid.
- Drilling: The manual of methods, applications, and management. 1997. Australian Drilling Industry Training Committee Limited.

Strony internetowe

Istnieje także wiele przydatnych stron internetowych. Należą do nich:

- <http://www.geoheat.oit.edu/pdf/tp65.pdf>
<http://www.welldrillingschool.com/courses/pdf/DrillingMethods.pdf> <http://www.atlascopco.com>
- <http://www.bauer.de>
- <http://www.americawestdrillingsupply.com/>
http://www.hfdrilling.co.uk/products/overburden_drilling_systems



ROZDZIAŁ 9 - ROZPOZNANIE TERENOWE (WARUNKI GRUNTOWE / LICENCJE I POZWOLENIA)

autor: David Banks

I. WPROWADZENIE

W rozdziale omówiono rolę rozpoznania wstępnego przed finalizacją projektu gruntowego źródła ogrzewania i chłodzenia (gruntowa pompa ciepła) i oddaniem systemu do eksploatacji. Pokazuje on argumenty świadczące o tym, że istnieją co najmniej trzy fazy rozpoznania wstępnego:

1. Prace kameralne. Co już wiadomo o warunkach gruntowych i zagrożeniach podpowierzchniowych w danym miejscu? Czy można przewidzieć, jakie zagrożenia i ryzyka będą prawdopodobnie napotkane przy kopaniu lub wierceniu?
2. Kwestie prawne i regulacyjne Jakie pozwolenia są wymagane przed (a) rozpoczęciem wiercenia lub (b) rozpoczęciem realizacji planu? Jakich informacji może wymagać organ regulujący przed udzieleniem pozwolenia?
3. Rozpoznanie terenowe. W jakich okolicznościach potrzebne będzie stosowanie geofizyki, wiercenia / wkopu próbnego, pompowania próbnego lub próby odpowiedzi termicznej dla scharakteryzowania warunków gruntowych? Jak wykonywać i interpretować te testy?

Należy zauważyć, że istnieje pewien stopień interakcji i pokrywania się między tymi trzema kategoriami. Ilość i jakość już istniejącej wiedzy o warunkach gruntowych zadecyduje, ile dodatkowych badań terenowych jest niezbędnych. Organ regulujący może wymagać formalnej oceny zagrożeń (prace kameralne) lub wyników próbnego pompowania (rozeznanie terenowe) przed dopuszczeniem planu gruntowej pompy ciepła.

II. DLACZEGO PROJEKTANT POWINIEN INTERESOWAĆ SIĘ ROZEZNANIEM WSTĘPNYM?

Jeśli projektant (lub wiertnik albo instalator) nie poświęci czasu i wysiłku na rozpoznanie wstępne, wówczas istnieje ryzyko, że otwór wiertniczy będzie wywiercony „na ślepo” i napotkane będą niespodziewane zagrożenia.

Przykładowo:

- Zanieczyszczony grunt – ryzyko zdrowia i bezpieczeństwa dla personelu, zagrożenie zanieczyszczeniem głębszych warstw wodonośnych.
- Infrastruktura podziemna – kable telekomunikacyjne, gazociągi wysokiego ciśnienia, wyrobiska górnicze, podziemne linie kolejowe. Lepiej upewnić się, że polisa ubezpieczeniowa jest aktualna!
- Wiele warstw wodonośnych, artezyjskie warunki wód podziemnych.

Ponadto, należy także przyjąć rozsądne parametry hydrogeologiczne (przewodnictwo hydrauliczne, porowatość, pojemność, przesączalność, słup wody podziemnej) i termiczno-geologiczne (przewodnictwo termiczne, temperatura gruntu, objętościowa pojemność cieplna) podczas projektowania planu gruntowej pompy ciepła. Posiadanie pewnej wiedzy o geologicznych i hydrogeologicznych warunkach lokalnych umożliwi dokonanie rozsądnych wyborów dla tych parametrów i tym samym wybór wydajnych i zrównoważonych projektów. Jeszcze lepiej, jeśli można

dokonać empirycznych, właściwych dla konkretnej lokalizacji ustaleń tych parametrów. Zamiast stosować typowe wartości z literatury, będziemy dysponować większą pewnością dla projektu i mieć możliwość ulepszenia go z o wiele mniejszym marginesem niepewności.

III. PRACE KAMERALNE I OCENA ODDZIAŁYWANIA / ZAGROŻEŃ

Przed rozpoczęciem jakichkolwiek inwazyjnych prac badawczych dla układu ogrzewania lub chłodzenia wykorzystującego grunt (gruntowa pompa ciepła), a nawet przed wystąpieniem o licencje i pozwolenia, niezbędne będzie przeprowadzenie:

- Prac kameralnych, dla możliwie najlepszego określenia warunków gruntowych, jakie prawdopodobnie zostaną napotkane.
- Pewnej formy oceny oddziaływania lub oceny ryzyka, dla zidentyfikowania możliwych zagrożeń geologicznych lub geotechnicznych, które można napotkać podczas wiercenia lub kopania. Umożliwi to opracowanie planów i roboczych metodologii dla zminimalizowania tych zagrożeń do dopuszczalnego poziomu.

Rozważając tutaj pojęcie „*prace kameralne*” nie mówimy o projekcie otworu wiertniczego lub układu wykopów lub powierzchniowych części planu gruntowej pompy ciepła. Ograniczymy nasze rozważania tylko do oceny, której głównym zadaniem jest odpowiedź na pytanie:

„Czy wiemy, jakie warunki gruntowe i jaką sekwencję geologiczną najprawdopodobniej napotkamy, gdy rozpoczniemy wiercenie lub wykop?”

W ramach tej oceny najprawdopodobniej wykonamy następujące ustalenia:

- Opracowanie opartego o zagrożenia planu bezpieczeństwa i higieny pracy dla prac wiertniczych / wykopów
- Identyfikacja wszelkiej infrastruktury podziemnej, którą możemy napotkać podczas prac wiertniczych lub wykopów. Mogą one obejmować (lecz nie mogą być ograniczone do):
 - wodociągi i rury kanalizacyjne,
 - ciekły z przepustami,
 - gazociągi,
 - kable elektryczne,
 - kable telekomunikacyjne / światłowodowe,
 - strategiczne gazociągi lub rurociągi transportu paliwa,
 - podziemne zbiorniki,
 - tunele transportowe, podziemne linie kolejowe,
 - pomieszczenia podziemne (tajne bunkry),
 - kopalnie i znane jaskinie (zwłaszcza, jeśli stosowane są w celach rekreacyjnych),
 - pozostałości archeologiczne.

Przed rozpoczęciem wiercenia lub wykopu normalnie stosuje się także narzędzie do wykrywania kabli (CAT), najpierw na powierzchni, a później w podstawie płytkiego ręcznie wykopanego dołu inspekcyjnego, dla potwierdzenia braku struktur podziemnych. Należy zauważyć, że CAT jest skomplikowanym urządzeniem i musi być stosowane tylko przez wykwalifikowanego, przeszkolonego operatora. Należy także zauważyć, że wykryje ono tylko pewne typy zakopanych przewodów i nie wykryje wszystkich struktur podłoża.

W końcu, należy także zarejestrować wszelkie struktury naziemne - na przykład, zawieszone kable elektryczne lub linie telefoniczne - i ustalić bezpieczne odległości robocze dla wiertnicy lub koparki od tych kabli (może być to regulowane przepisami prawnymi).

- Prognoza geologiczna i hydrologiczna - czy można przewidzieć, jakie geologiczne warstwy / sekwencje napotkamy podczas wiercenia i tym samym wybrać odpowiednie metody wiercenia?
- Czy istnieje ryzyko napotkania artezyjskich warunków występowania wody podziemnej? Jeśli niespodziewanie napotkamy silne artezyjskie przepływy wody, kontrola nad nimi może być bardzo trudna. Niekontrolowane zużycie zasobów artezyjskich wód podziemnych będzie wbrew przepisom odnośnie zasobów wodnych obowiązującym w wielu krajach i może być podstawą do ścigania lub postępowania karnego. Jeśli można wcześniej przewidzieć występowanie wód artezyjskich, mogą być one zagospodarowane przez doświadczonego wiertnika z zastosowaniem odpowiednich technik okładzinowych i cementujących.
- Czy istnieje ryzyko napotkania wielu horyzontów wodonośnych? Niekontrolowane połączenie hydrauliczne niezależnych horyzontów wodonośnych będzie wbrew przepisom odnośnie zasobów wodnych obowiązującym w wielu krajach. Takie horyzonty mogą być utrzymywane w separacji przez doświadczonego wiertacza z zastosowaniem odpowiednich technik okładzinowych i cementujących.
- Czy prawdopodobne jest napotkanie miększej sekwencji ewaporatów? Minerały będące ewaporatami (np. halit, anhydryt, gips) wiążą się z poważnym zagrożeniem rozpuszczenia lub nawodnienia przez wyciek wody podziemnej wzdłuż otworu wiertniczego, chyba że zastosowane zostaną rygorystyczne techniki wiercenia i cementowania. Na przykład, w miejscowości Staufen w Niemczech doszło prawdopodobnie do znacznego uszkodzenia geotechnicznego, spowodowanego migracją wody podziemnej wzdłuż osi otworów wiertniczych zamkniętego układu gruntowych pomp ciepła i nawodnienia anhydrytu do gipsu, co z kolei wywołało pęcznienie minerałów i wysadzania gruntu (Goldscheider & Bechtel, 2009).
- Czy jest jakiegokolwiek ryzyko napotkania zanieczyszczonego terenu lub zanieczyszczonych wód podziemnych w obrębie lokalizacji (przydatny będzie tu archiwalny dokument dotyczący zagospodarowania terenu)? Jeśli tak, zastosowane zostaną dodatkowe środki dotyczące bezpieczeństwa i higieny pracy dla personelu w terenie. Często będzie także niezbędny kontakt z odpowiednim organem środowiskowym lub lokalną instytucją, dla opracowania metod wiercenia lub kopania, które są (a) bezpieczne i (b) które nie grożą dalszym rozprzestrzenianiem się zanieczyszczenia w wodzie podziemnej, na powierzchni terenu lub w powietrzu atmosferycznym. Ponadto, wszelkie zwierciny i odpady wydobyte z otworu wiertniczego lub wykopu mogą wymagać traktowania jako odpad niebezpieczny - będą wymagały zatem odpowiedniej gospodarki i utylizacji.
- Czy istnieje jakiegokolwiek ryzyko, że nasze prace wiertnicze / wykopy, lub faktyczna docelowa praca układu gruntowej pompy ciepła, wpłynie niekorzystnie na jakiegokolwiek zewnętrzne:
 - zbiorniki lub zasoby wodne,
 - siedliska środowiskowe (rezerваты przyrody, miejsca specjalnego zainteresowania naukowego itd.),
 - infrastrukturę,
 - ujęcia wody podziemnej (sąsiadujące studnie lub źródła). Czy jesteśmy w granicach strefy ochrony źródła jakiegokolwiek komunalnej studni zasilającej w wodę? Trzeba być świadomym, że działalność wiertnicza może spowodować zmętnienie lub uruchomić chemikalia, które mogłyby dostać się do źródła zasilania w wodę.
 - sąsiadujące systemy ogrzewania / chłodzenia o źródle gruntowym?
- Czy praca systemu niesie ze sobą ryzyko ruchu gruntu lub subsydencji (patrz „ewaporaty” w punkcie 3 powyżej)? W szczególności:

- czy system ogrzewania o źródle gruntowym spowoduje zamrożenie znaczących ilości gruntu? Może to nieść ze sobą ryzyko „wysadzin mrozowych”. Czy jest to dopuszczalne?
- czy nasz system gruntuwej pompy ciepła będzie pracował w wysokich temperaturach przez dłuższe okresy? Jeśli tak, może istnieć pewne ryzyko termicznej ekspansji gruntu. Prawdopodobnie nie jest to wielkie ryzyko dla systemów gruntuwych pomp ciepła w normalnym zakresie operacyjnym. Jaki będzie rząd wielkości? Raczej kilka mm, do > 10 mm w najgorszych przypadkach.
- czy termiczna ekspansja wód porowych spowodowana ociepleniem spowoduje czasowe zwiększenie ciśnień porowych, co może zredukować stabilność sekwencji osadowej?
- czy naprzemienne cykle zamrażania / topnienia doprowadzą do osiadania mięjszych sekwencji osadowych?
- czy naprzemienne cykle zamrażania / topnienia doprowadzą do uszkodzenia podsadzki cementowej i utraty integralności cementu (może dotyczyć cementów bogatych w bentonit - VDI 2001)?
- czy pompowanie wody podziemnej ze studni o układzie otwartym doprowadzi do znaczących spadków słupa wody podziemnej i tym samym do ryzyka osiadania lub kompaktacji bogatych w ił lub organikę gleb?
- czy pompowana woda podziemna z otworu wiertniczego o układzie otwartym zawiera znaczące ilości zawieszonego osadu? (nie powinna, jeśli studnia ma prawidłową okładzinę, zacementowanie i filtr). Jeśli tak, istnieje możliwość, że po prostu wypompowuje się grunt pod swoimi stopami i ryzykuje przyszłe osiadanie.

Więcej porad w tych kwestiach przedstawiono w rozdziale 13.

IV. POZWOLENIA I LICENCJE

Ramowa Dyrektywa Wodna UE (2000/60/EC lub WFD) i jej pochodna, Dyrektywa w sprawie wód podziemnych (2006/118/EC), są głównymi elementami europejskiej legislacji, które regulują użytkowanie wody podziemnej i ciepła podpowierzchniowego.

Jednoznacznie ustalają one ramy dla gospodarki (a) zasobami wody (ilość) i (b) jakości wody zbiorników wodnych, takich jak warstwy wody podziemnej. Niemniej jednak, szczegóły WFD odnośnie ciepła są otwarte na znaczny zakres interpretacji. Paragraf 33 podaje, że: *„Zanieczyszczenie” oznacza bezpośrednio lub niebezpośrednio wprowadzenie, w wyniku aktywności człowieka, substancji lub ciepła do powietrza, wody lub lądu, co może być szkodliwe dla zdrowia ludzkiego lub jakości ekosystemów wodnych lub lądowych bezpośrednio zależnych od ekosystemów wodnych, co powoduje uszkodzenie własności materialnej, lub co pogarsza lub zakłóca działanie obiektów usługowych i innych prawowitych zastosowań środowiska.*

Wydaje się to wskazywać, że:

- Wprowadzenie ciepła do gruntu lub wody podziemnej może spowodować zanieczyszczenie, lecz tylko, jeśli zidentyfikowany może być właściwy scenariusz zagrożenia. Wprowadzenie ciepła do gruntu lub wody podziemnej może także być postrzegane jako działanie pozytywne, jeśli wytwarza lub wzmacnia zasoby.
- Pobór ciepła (wprowadzenie „chłodu”) nie jest klasyfikowany jako zanieczyszczenie. Ponadto, paragraf 31 WFD definiuje „substancję zanieczyszczającą” jako „dowolną substancją mogącą wywołać zanieczyszczenie”. Przysparza to brytyjskim regulatorom środowiskowym sporych problemów, ponieważ „ciepło” (np. z systemu gruntuwej pompy ciepła o układzie zamkniętym) nie jest substancją i nie może tym samym być koniecznie kontrolowane jak zanieczyszczenie. Jednakże, gorąca woda (z systemu o układzie otwartym) jest substancją i może być

kontrolowana. Bez wątpienia, różne kraje UE znalazły różne sposoby na interpretację tych określeń i może być to częściowo odzwierciedlone w wielu różnych podejściach regulacyjnych.

IV. 1. Pozwolenia ogólne

Należy rozważyć, czy któreś z następujących pozwoleń są wymagane przed rozpoczęciem wiercenia lub wykopu:

- Pozwolenie od właścicieli gruntów - nie tylko do wiercenia na ich terenie, lecz dla uzyskania przejazdu przez niego dla koparki lub wiertnicy.
- Pozwolenie od dostawcy mediów: na wiercenie lub wykop w strefie ochrony wokół gazociągu wysokiego ciśnienia lub strategicznego rurociągu paliwa, lub innej infrastruktury.
- Pozwolenie od dostawcy wody na wiercenie lub wykop w strefie ochrony ujęcia komunalnego (lub innego chronionego) ujęcia wody.
- Może być wymagane także pozwolenie od organu ds. planowania. Jednakże, w Zjednoczonym Królestwie (UK) istnieje ogólny konsensus, że projekt budowlany nie jest zwykle wymagany dla otworu wiertniczego, o ile nie istnieją stałe struktury hydrologiczne powyżej poziomu gruntu.

W kilku, lecz nie wszystkich, krajach UE, może być wymagane pozwolenie od zarządcy zasobów wodnych, nadzoru górniczego lub państwowej służby geologicznej, przed tym, nim rozpoczęte będzie wykonanie otworu wiertniczego.

Na przykład w Anglii oraz w Walii sytuacja jest niejasna. Wymagane jest pozwolenie od Agencji Środowiskowej na wywiercenie otworu wiertniczego dla wody (np. system z układem otwartym) i istnieje także wymóg powiadomienia Brytyjskiej Służby Geologicznej o jakimkolwiek otworze wiertniczym wywierconym w celach wodnych lub złożowych. Jednak obecnie nie jest wymagane żadne pozwolenie (stan na 2009 rok) w Anglii lub Walii na wywiercenie otworu wiertniczego gruntuwej pompy ciepła z układem zamkniętym dla ogrzewania i nie istnieje wymóg powiadamiania kogokolwiek.

Należy być świadomym, że na obszarach aktywnego lub historycznego górnictwa podziemnego może istnieć wymóg uzyskania pozwolenia od nadzoru górniczego przed rozpoczęciem wiercenia. W Zjednoczonym Królestwie, pozwolenie od Nadzoru Węglowego wymagane jest przed wierceniem w jakichkolwiek warstwach węglowych lub penetrującym jakiejkolwiek aktywne lub zamknięte wyrobiska. Proces uzyskania takiego pozwolenia powinien służyć skupieniu uwagi wiertacza na potencjalnych zagrożeniach płynących z zanieczyszczonej wody kopalnianej i gazu kopalnianego (CO₂ lub wybuchowy metan) i na zagrożeniach utraty płuczki wiertniczej lub cementu do otwartych porzuconych wyrobisk górniczych.

Gdy otwór wiertniczy jest ukończony, dobrą praktyką jest przekazanie szczegółów konstrukcyjnych, mapy lokalizacyjnej i profilu wiercenia do krajowego archiwum informacji geologicznych (często państwowej służby geologicznej). W wielu krajach może być to wymogiem prawnym.

IV. 2. Schematy z układem zamkniętym

W większości krajów systemy gruntowych pomp ciepła z układem zamkniętym podlegają luźniejszym przepisom, niż systemy o układzie otwartym. W niektórych krajach może nie być wymagane żadne pozwolenie od jakiegokolwiek organu (np. Anglia i Walia, stan na 2009 rok), ponieważ otwór wiertniczy nie wydobywa żadnej substancji fizycznej z podłoża. Organy środowiskowe jedynie zachęcają instalatorów do przestrzegania kodeksu dobrych praktyk (np. Sekcja 10 EA 2008).

W innych krajach otwory wiertnicze o układzie zamkniętym mogą być objęte stosowaną legislacją geotermalną, górniczą, wodną lub środowiskową.

Na przykład, w Szwajcarii, otwory wiertnicze układu zamkniętego są regulowane przez legislację wodną / środowiskową. Istnieją nawet „strefy wyłączenia” gdzie takie otwory wiertnicze nie są dozwolone, w celu ochrony zasobów i ujęć wody podziemnej przed nieselektywnym wierceniem

(Rybach, 2003). W Niemczech (VDI 2000) systemy gruntowych pomp ciepła o układzie zamkniętym mogą być objęte legislacją dotyczącą zasobów wodnych (tj. zdefiniowane jako „korzystanie z wody”, pomimo iż woda podziemna nie jest fizycznie ujmowana) i także legislacją górniczą (choć jest to typowo stosowane tylko do instalacji z otworami wiertniczymi >100 m).

IV. 3. Schematy z układem otwartym

Systemy gruntowych pomp ciepła o układzie otwartym obejmują ujmowanie i odprowadzanie wody - często wody podziemnej - i tym samym objęte są Ramową Dyrektywą Wodną i jej krajowymi przełoženiami.

Zazwyczaj, przepisy krajowe będą wymagać pewnych form licencji dla ujmowania wody podziemnej ze studni, otworu wiertniczego lub źródła, przynajmniej powyżej pewnej wartości granicznej. W Anglii / Walii, każde ujęcie powyżej 20 m³ dziennie wymaga licencji na ujmowanie, niezależnie od tego, czy woda jest zatłaczana z powrotem do warstwy wodonośnej. Warunkiem wstępnym dla wydania licencji będzie pewna forma oceny oddziaływania hydraulicznych wpływów ujmowania na pobliskie studnie i siedliska, wrażliwe na wahania wód podziemnych. Organ nadzorczy będzie często wymagać wykonania próbnego pompowania. W niektórych przypadkach, tam gdzie dostępne zasoby zbiornika wody podziemnej (warstwy wodonośnej) są w pełni wykorzystane, licencja może nie być przyznana, jeśli 100% wody nie jest zatłaczane ponownie do warstwy wodonośnej, z której ona pochodzi.

Oddzielne pozwolenie może być wymagane na odprowadzanie wody z powrotem do warstwy wodonośnej lub na powierzchnię zbiornika wodnego (rzeki, jeziora itd.). W Zjednoczonym Królestwie (UK) jest to określane mianem pozwolenia na odprowadzanie. Może być wymagana ocena ryzyka prawdopodobnych oddziaływań (np. zanieczyszczenie cieplne) wynikających z odprowadzania. Organ nadzorczy może ustalić granice co do:

- maksymalna dozwolona temperatura odprowadzania,
- dozwolona jakość wody odprowadzanej,
- prędkość przepływu odprowadzania,
- oraz, ewentualnie, maksymalne odbiór ciepła netto (MWh/a). To podejście może stać się częstsze przy zwiększającym się zagęszczeniu systemów chłodzenia o układzie otwartym na obszarach zurbanizowanych, gdzie pojemność cieplna warstw wodonośnych może zbliżać się do punktu krytycznego (Ferguson & Woodbury, 2006; Fry, 2009).

Jeśli termicznie „zużyta” woda z systemu o układzie otwartym jest odprowadzana do kanału, często będzie wymagane pozwolenie (wraz z należną opłatą) od odpowiedniego zarządcy mediów lub władzy lokalnej.

W niektórych krajach EU praca systemów gruntowych pomp ciepła o układzie otwartym może być objęta właściwą legislacją geotermalną lub nawet górniczą, a nie tylko legislacją zasobów wodnych. VDI (2000) opisuje w szczegółach, jak systemy gruntowych pomp ciepła o układzie otwartym są licencjonowane w Niemczech.

V. ROZPOZNANIE TERENOWE

W krajach europejskich, w których płytka geologia jest bardzo dobrze skartowana i warunki hydrogeologiczne są dobrze zrozumiane, można sądzić, że istnieje niewielka potrzeba wykonania pilotowego / badawczego otworu wiertniczego mającego jedynie potwierdzić geologię.

Na obszarach, gdzie geologia i hydrogeologia są słabo rozpoznane, będzie istniała celowość wykonania pilotowego otworu wiertniczego przed pełnoskalową konstrukcją systemu gruntovej pompy ciepła. W rzeczy samej, VDI (2001) rekomenduje wiercenie pilotażowe, które powinno być

profilowane geofizycznie, dla wszystkich systemów gruntowych pomp ciepła przekraczających 30 kW wydajności szczytowej.

Inną funkcją pilotażowego otworu wiertniczego jest możliwość przeprowadzenia dwóch typów prób, które będą mieć znaczący wpływ na późniejszy projekt i określenie wymiarów gruntowego systemu ogrzewania i chłodzenia. Są to:

- próby hydrauliczne ("próbne pompowanie") - dla ustalenia przesączalności (i tym samym przewodnictwa hydraulicznego), pojemności i wydajności studni. Są one szczególnie istotne dla projektowania systemu gruntowej pompy ciepła o układzie otwartym,
- próby odpowiedzi termicznej (TRT) - dla ustalenia termicznego odbioru ciepła (i tym samym średniego przewodnictwa termicznego) i oporu termicznego otworu wiertniczego. Są one szczególnie istotne dla projektowania systemu gruntowej pompy ciepła o układzie zamkniętym.

Nie wolno zapominać, że pilotażowy lub próbny otwór wiertniczy rzadko oznacza zmarnowane pieniądze. Może być on często przerobiony na funkcjonujący otwór wiertniczy gruntowej pompy ciepła o układzie zamkniętym lub studnię wodną o układzie otwartym, która może być oddana do użytku jako część systemu końcowego.

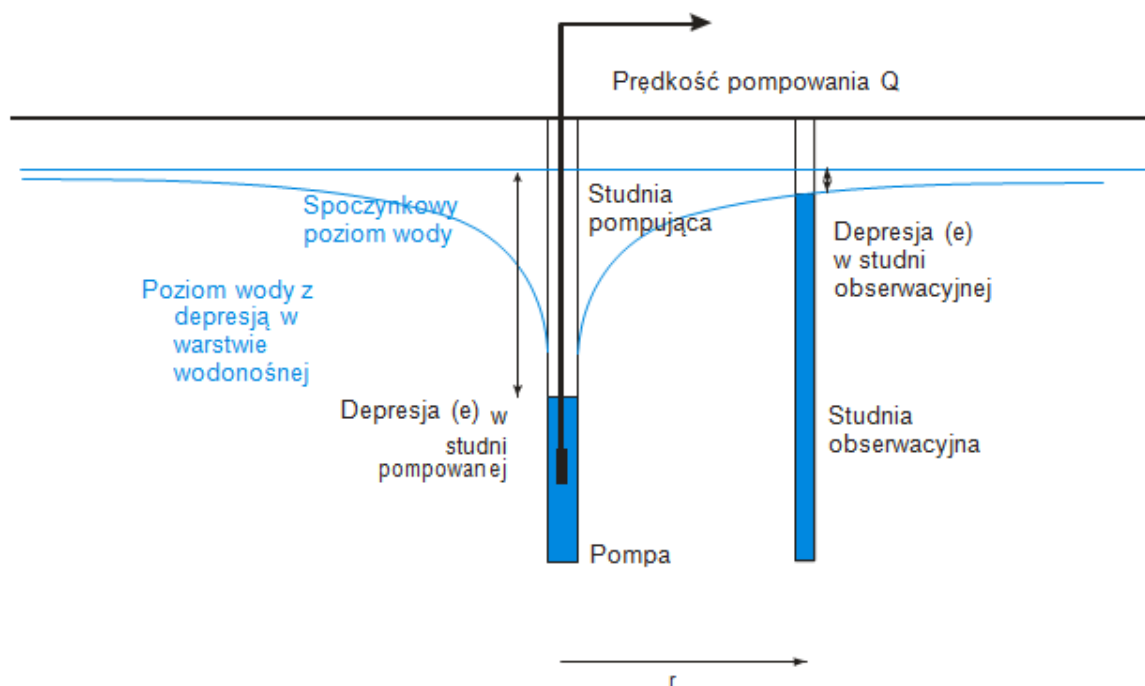
VI. PRÓBY HYDRAULICZNE - PRÓBNE POMPOWANIA

Proces próbnego pompowania studni wodnej jest znany wszystkim hydrogeologom i opisaniu tej procedury nie będzie tu poświęcone dużo miejsca. Dobrze wprowadzenie przedstawione zostało przez Misstear et al. (2006), a ostateczne zestawienie technik interpretacji próbnych pompowań zostało sporządzone przez Krusemana i in. (1990). Pokróćce, w hydraulicznym próbnym pompowaniu:

- mierzymy „statyczny” spoczynkowy poziom wody podziemnej (h_0) w warstwie wodonośnej (dokładniej, powinno się mówić o „słupie” wody podziemnej. Słup jest miarą hydraulicznej energii potencjalnej,
- następnie zaczynamy pompowanie studni wywierconej w warstwie wodonośnej przy stałej prędkości (Q). Innymi słowy, napieramy na warstwę wodonośną,
- mierzymy odpowiedź warstwy wodonośnej na napór przez mierzenie poziomu wody podziemnej (h) w podanych czasach (t), bądź to pompowanej studni (o promieniu r_w) lub w studni obserwacyjnej w pewnej odległości r od studni pompowanej (Rys. 1),
- dla każdego punktu danych w czasie t liczymy depresję poziomu wody $s = h_0 - h$.

Dla większości konwencjonalnych studni wody podziemnej, normalnie istnieją dwa typy prób, jakie wykonujemy:

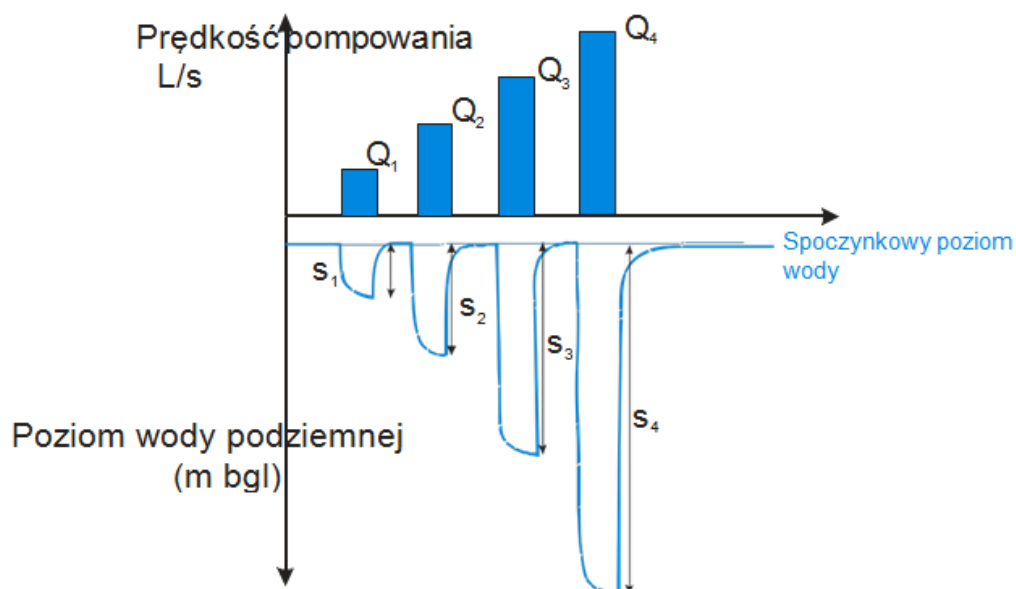
- Krótkoterminowe próby etapowe. Normalnie obejmuje to sekwencję czterech lub pięciu krótkich 100 - 120 minutowych prób przy zwiększających się wydajnościach pompowania $Q_1 \dots Q_5$ (Rys. 2)
- Próby ze stałą wydajnością. Dłuższe próbne pompowanie, przy stałej prędkości, reprezentatywne dla warunków operacyjnych, dla czasu trwania typowo 24 to 72 godzin (choć może on być dłuższy).



Rysunek 1. Schematyczny układ dla hydraulicznego próbnego pompowania

VI. 1. Próby etapowe

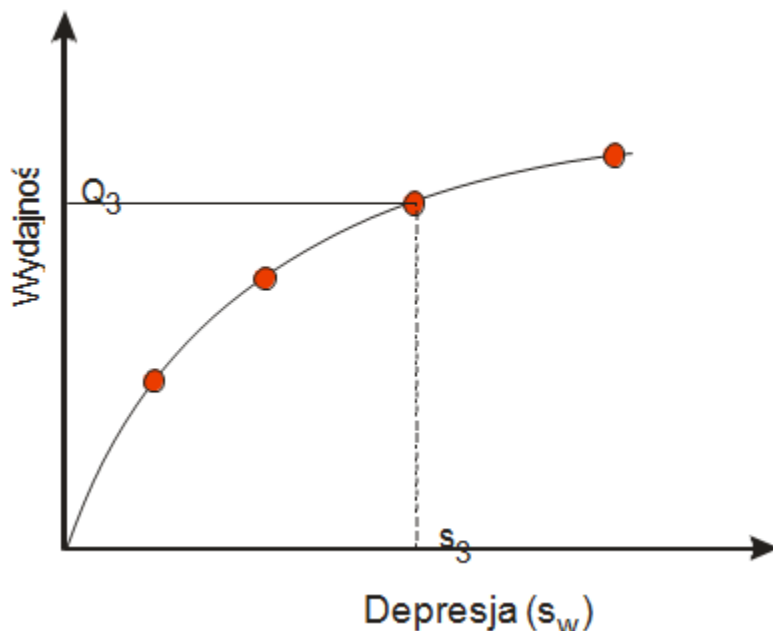
Normalnie obejmują sekwencję czterech lub pięciu krótkich 100 - 120 minutowych prób przy zwiększających się prędkościach pompowania $Q_1 \dots Q_5$ (Rys. 2). Ich celem jest dostarczenie miary hydraulicznej wydajności studni i wskazanie maksymalnej produkcji studni.



Rysunek 2. Schematyczny diagram przedstawiający proces prób etapowych. Czas trwania każdego etapu to typowo 100 do 120 minut. Depresja jest zmierzona w studni pompującej

Na końcu próby będziemy mieć cztery lub pięć punktów danych - tj. cztery lub pięć wartości prędkości pompowania Q i odpowiadającą wartość depresji w studni pompującej (s_w). Możemy wykreślić je na diagramie Q w zależności od s_w (Rys. 3). Ten typ diagramu pozwala nam, przy jednym spojrzeniu, odnieść podaną produkcję do podanej depresji, i tym samym do podanej wysokości pompowania i wydajności energetycznej.

Q (L/s)	s_w (m)
14,7	1,43
31,5	3,46
44,4	5,41
57,6	8,90



Rysunek 3. Wykreślenie współrzędnych produkcji i depresji na diagramie produkcja/depresja (należy zauważyć, że s_w dotyczy depresji w studni pompowanej)

Dość uproszczona teoria odnośnie wydajności studni podaje, że:

$$(1) \quad s_w = BQ + CQ^2$$

gdzie: B i C są stałymi, odpowiadającymi odpowiednio oporowi hydraulicznemu warstwy wodonośnej (B) i oporowi hydraulicznemu studni (C). Dla idealnej studni, $s_w = BQ$, powinniśmy dostrzec prostą linię wiążącą s_w i Q na Rysunku 3. Rzeczywiste studnie zawsze dają krzywą nieco wypukłą ku górze i z tej wypukłości możemy oszacować, jak wydajnie pracuje studnia.

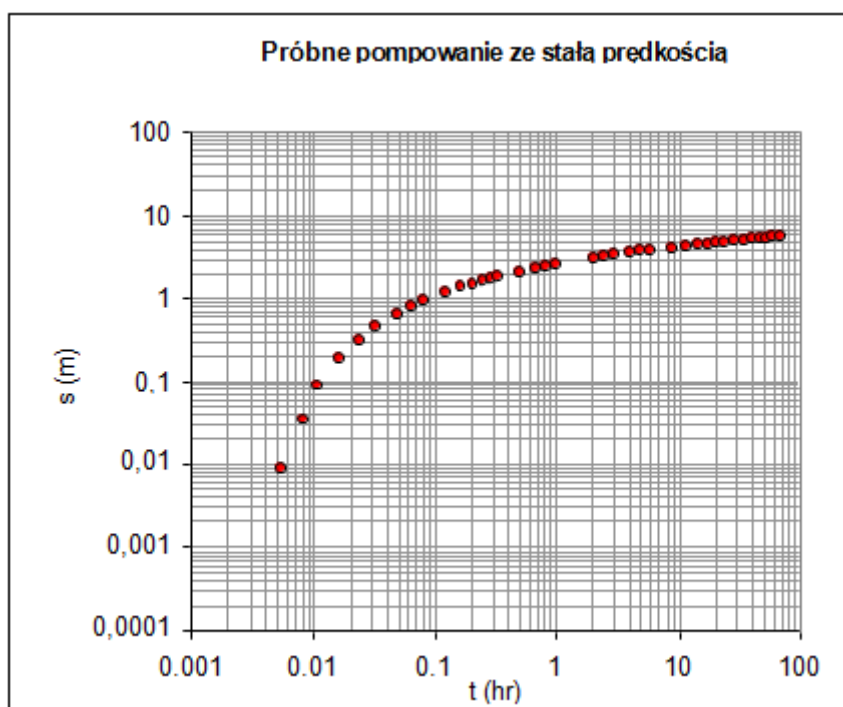
VI. 2. Próby ze stałą prędkością

Tu zazwyczaj wykresła się depresję (s) względem czasu (t), jaki upłynął od początku próby. Depresja ewoluuje początkowo szybko, a później coraz wolniej wraz z przyrostem czasu. Jeśli rysujemy s względem t na wykresie podwójnie logarytmicznym, otrzymamy krzywą podobną do przedstawionej na Rysunku 4.

Krzywa na Rysunku 4 powinna pasować do wyidealizowanego równania, zwanego równaniem Theisa:

$$(2) \quad s = \frac{Q}{4\pi T} W\left(\frac{r^2 S}{4Tt}\right)$$

gdzie: T = przesączalność, S = magazynowanie wody podziemnej, a $W(u)$ to złożony wzór wielomianowy, zwany funkcją studni.



Rysunek 4. Typowa krzywa próbnego pompowania ze stałą prędkością, rysowana na wykresie podwójnie logarytmicznym. Zmodyfikowano za Missstear et al. (2006)

Przez porównywanie kształtu krzywej na Rysunku 4 z wyidealizowaną krzywą Theisa możemy uzyskać wartość przesączalności. Przesączalność jest inaczej rzecz ujmując, przewodnictwem hydraulicznym zintegrowanym z określoną miąższością warstwy wodonośnej. Tym samym, jeśli warstwa wodonośna składa się z n warstw, każdej z przewodnictwem hydraulicznym K_n i miąższością D_n , przesączalność to:

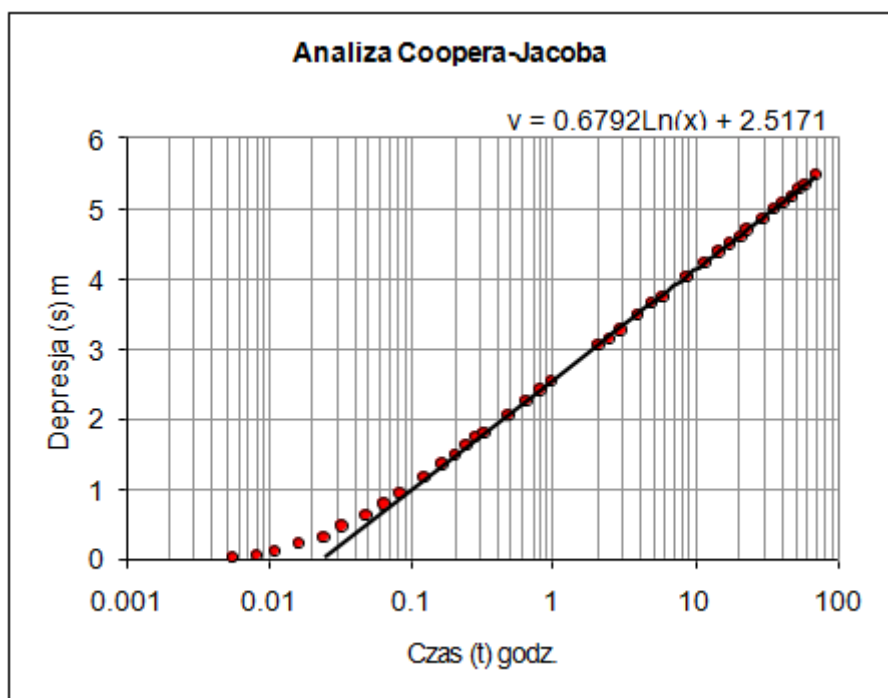
$$(3) \quad T = \sum_{1}^n K_n D_n$$

Alternatywnie, jeśli rozważymy tylko dane dla dużego t i/lub względnie niewielkiego r , możemy zastosować tak zwane równane Coopera-Jacoba, które jest przybliżeniem równania Theisa:

$$(4) \quad s \approx \frac{Q}{4\pi T} \left[\ln \left(\frac{4Tt}{r^2 S} \right) - 0.5772 \right]$$

Przewiduje ono, że depresja (s) jest w przybliżeniu proporcjonalna do $I_n(t)$. Tym samym, na wykresie s względem $\log(t)$, nachylenie trendu danych będzie odwrotnie powiązane z T (Rys. 5). Przecięcie linii da nam wartość S .

Jeśli zmierzmy depresję w studni pompującej (tj. S_w), możemy normalnie uzyskać rozsądną wartość T . Jednakże, jeśli chcemy mieć wiarygodną wartość magazynowania wody podziemnej S , standardowo musimy zmierzyć depresję (s) w obserwacyjnym otworze wiertniczym (Rys. 1).



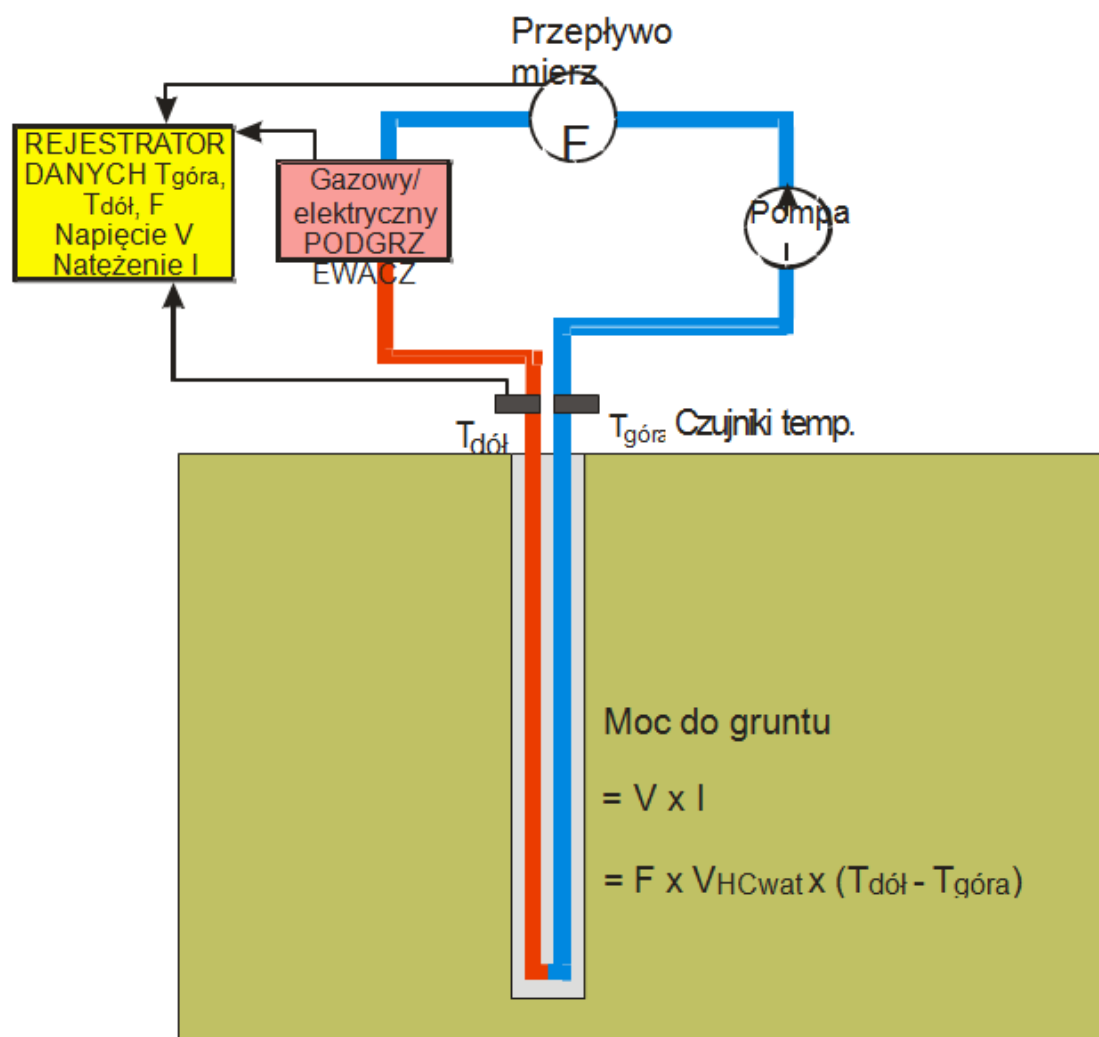
Rysunek 5. Typowa krzywa próbnego pompowania ze stałą prędkością, wrysowana na wykresie półlogarytmicznym. Zmodyfikowano za Misstear et al. (2006)

VII. TESTY REAKCJI TERMICZNEJ

W próbie reakcji termicznej (test odpowiedzi termicznej):

- mierzymy początkową średnią temperaturę podłoża (T_0) „strefy dalekiej” w aestiferze (temperatura jest miarą potencjalnej energii termicznej. Aestifer – to geologiczna jednostka, która magazynuje i transportuje ciepło w ilościach możliwych do ekonomicznej eksploatacji. Z łaciny aestus = lato / ciepło, ferre = nosić / przenosić)
- następnie zaczynamy zatłaczać (lub pobierać) ciepło z otworu wiertniczego gruntowej pompy ciepła o układzie zamkniętym w aestiferze ze stałą wydajnością (q) na przewiercony metr. Innymi słowy, napieramy na aestifer.
- mierzymy jego odpowiedź na napór przez pomiar średniej temperatury krążącego płynu nośnikowego (T) w danym czasie (t)
- dla każdego punktu danych w czasie t liczymy przesunięcie termiczne w temperaturze płynu nośnikowego $\Delta T = T_b - T_0$.

W większości urządzeń do próby odpowiedzi termicznej, źródłem ciepła jest jeden lub więcej elektrycznych podgrzewaczy oporowych, których wydajność jest znana (moc = natężenie prądu x napięcie), chociaż palniki gazowe są stosowane jako alternatywa w niektórych urządzeniach dla uniknięcia zależności od źródła elektryczności (jeśli wykonamy próbę poboru ciepła, typowo zastosujemy pompę ciepła). Konfiguracja większości urządzeń do prób jest taka, jak przedstawiono na Rysunku 6.



Rysunek 6. Schematyczna konfiguracja próby odpowiedzi termicznej

Temperatura krążącego płynu nośnikowego (zwykle wody) jest rejestrowana, gdy wchodzi on ($T_{dół}$) i wychodzi ($T_{góra}$) z podpowierzchniowego układu zamkniętego. Przepływ płynu nośnikowego (F) jest rejestrowany, często przez przepływomierz w linii. Moc cieplna transportowana do gruntu może być obliczona z zastosowanego napięcia x natężenia prądu do podgrzewaczy (plus dodatkowa niewielka ilość ciepła wyzwalanego przez pompę cyrkulacyjną), lub przez:

$$(5) \quad Moc = (T_{dół} - T_{góra}) \times V_{HCwat} \times F$$

gdzie: V_{HCwat} to objętościowa pojemność cieplna płynu –nośnika ciepła = c. 4,19 kJ/L/K - jeśli jest to woda. Średnia temperatura płynu nośnikowego (T_b) jest obliczona przez:

$$(6) \quad T_b = (T_{dół} + T_{góra})/2$$

VII. 1. Wytyczne międzynarodowe

Istnieje szeroki międzynarodowy konsensus odnośnie standardowej procedury. IGSHPA (2007) opublikowała zestaw norm, które w pełni odzwierciedlają rekomendację Amerykańskiego Stowarzyszenia Inżynierów Ogrzewnictwa, Chłodnictwa i Klimatyzacji (ASHRAE 2002, 2007). Ich główne punkty są posumowane poniżej (jednak czytelnik znajdzie pełne wersje w oryginalnych dokumentach):

- Rekomendowany jest czas trwania prób 36 do 48 godzin.

- Odchylenie standardowe stosowanej mocy powinno być <1,5% mocy średniej, a skoki powinny być <10% mocy średniej.
- Należy zastosować moc cieplną wynoszącą 50 do 80 W na wywiercony metr.
- Minimum 5 dni powinno minąć między wykonaniem układu / cementowaniem i rozruchem próbnym.
- Początkowy pomiar temperatury gruntu niezaburzonego powinien być wykonany na końcu okresu zrównoważenia przez:
 - bezpośrednie włożenie sondy do wymiennika ciepła układu zamkniętego na różnych głębokościach, lub,
 - pomiar temperatury zwrotnej płynu z układu przy rozpoczęciu próby.
- Rekomendowane są prędkości przepływu płynu nośnikowego skutkujące różnicą 3 do 7°C między temperaturami przepływu i zwrotną.
- Podgrzewacz urządzenia i wyższe części gruntowe układu powinny być dobrze izolowane dla ograniczenia utraty ciepła do mniej niż 2% całkowitego ciepła wejściowego przy minimalnej temperaturze zewnętrznej możliwej podczas próby.
- Średnica otworu wiertniczego powinna wynosić <6 cali (150 mm) według IGSHA (2007 r.).
- Jeśli próba musi być rozpoczęta ponownie, należy przedtem pozwolić temperaturze układu naturalnie powrócić do zakresu plus minus 0,5°C od oryginalnej temperatury niezaburzonej. ASHRAE podaje, że po próbie 48-godzinnej prawdopodobnie niezbędny będzie okres ponownego zrównoważenia wynoszący 10-12 dni w formacjach o wyższym przewodnictwie i 14 dni w formacjach o niższym przewodnictwie.

Projekt wytycznych (Sanner et al., 2005) został także opracowany przez grupę roboczą Aneksu 13 „studnie i otwory wiertnicze” umowy wdrożeniowej o konserwacji energii przez dział magazynowania energii Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA). Ich najistotniejsze punkty można podsumować następująco:

- Próba powinna przebiegać ze stałym obciążeniem termicznym przez przynajmniej 50 godzin.
- Urządzenie powinno być umieszczone tak blisko głowicy otworu wiertniczego, jak to możliwe, a wszystkie rury łączące powinny być termicznie zaizolowane.
- Początkowa temperatura podłoża powinna być ustalona jedną z dwóch metod:
 - pomiar profilu temperatury wewnątrz rur wymiennika ciepła (bez cyrkulacji),
 - po uruchomieniu pompy cyrkulacyjnej, zarejestrować pierwsze 10-20 minut pompowania przez rurę bez stosowania ładunku ciepła.
- Typowe wartości stosowanego obciążenia termicznego podczas próby załączania ciepła powinny wynosić między 30 W/m (formacja o niskim przewodnictwie) a 80 W/m (formacja o wysokim przewodnictwie). W przypadku próby poboru ciepła, prof. Javier Urchueguía sugeruje 20-50 W na wywiercony metr.
- Prędkość przepływu płynu nośnikowego powinna być turbulentna w całej próbie i nigdy laminarna. Przeprowadzenie próby przy laminarnym przepływie może przeszacować rezystancję termiczną otworu wiertniczego.



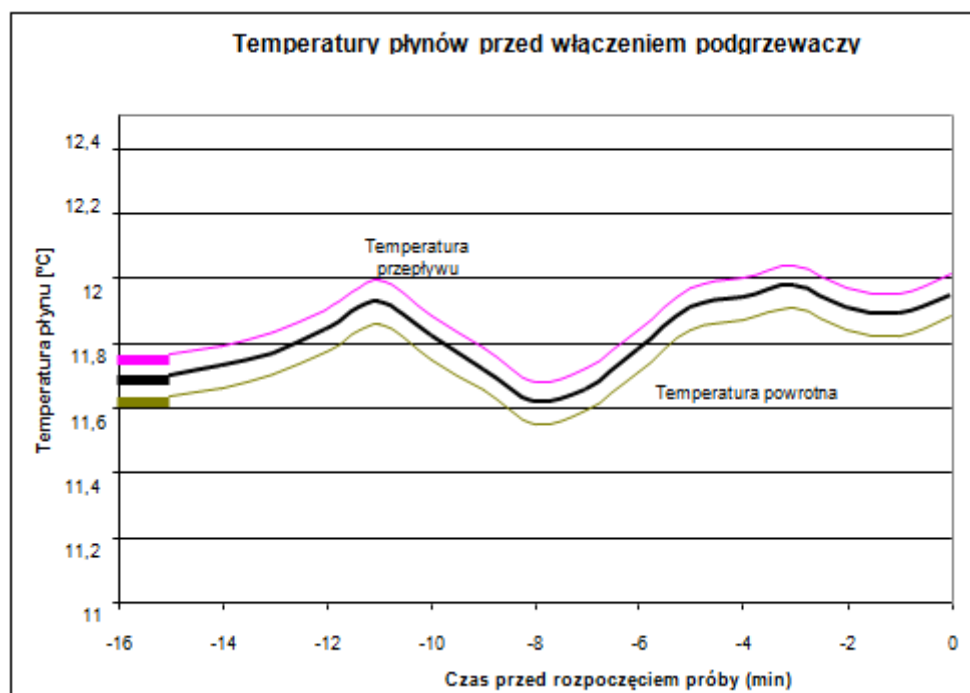
Rysunek 7. Przykład temperatur „zanurzeniowych” w otworze wiertniczym gruntowej pompy ciepła o układzie zamkniętym. Należy zauważyć „wahania sezonowe” w górnych około 10 m otworu wiertniczego.

Średnia temperatura T_0 jest obliczona jako $11,7^{\circ}\text{C}$

VII. 2. Pomiar temperatury początkowej

Jak można zobaczyć powyżej, istotny jest pomiar początkowej średniej temperatury gruntu (T_0) wzdłuż długości otworu wiertniczego o układzie zamkniętym. Może być to osiągnięte przez „zanurzenie” otworu wiertniczego za pomocą termoelementu na taśmie z podziałką, i pobieranie średnich odczytów, np. co 2 m (Rys. 7).

Alternatywnie, płyn nośnikowy może krążyć w pętli (bez żadnego ciepła wejściowego). Temperatura płynu zwrotnego może być obserwowana przez czas trwania jednego cyklu płynu w pętli (Rys. 8). Średnia temperatura płynu zwrotnego w tym czasie trwania będzie bliska T_0 .



Rysunek 8. Przykład temperatur płynu w fazie przedtestowej, gdzie płyn nośnikowy krąży przed włączeniem podgrzewacza; średnia temperatura płynu w początkowych 8 minutach to 11,7°C (warto zauważyć, że temperatura zasilania jest nieznacznie cieplejsza niż temperatura powrotu, ze względu na niewielkie ciepło wejściowe z samej pompy cyrkulacyjnej)

VII. 3. Próba ogrzewania

Po tym, jak podgrzewacze są włączone w czasie $t = 0$, średnia temperatura płynu zmienia się najpierw szybko, a później coraz wolniej wraz z przyrostem czasu. Jeśli wykreślimy średnią temperaturę płynu (T_b) względem t , uzyskamy krzywą podobną do przedstawionej na Rysunku 9. Próba odpowiedzi termicznej może być oczywiście postrzegana jako analogowa do próby warstwy wodonośnej o stałej prędkości; temperatura (T_b) jest analogiczna do depresji (s) i prędkość zatłaczania ciepła (q) jest analogiczna do prędkości pompowania wody podziemnej (Q).

Średnia temperatura płynu w otworze wiertniczym po włączeniu podgrzewacza (T_b) ewoluuje analogicznie do depresji (s) w próbie warstwy wodonośnej o stałej prędkości. Proste założenie dotyczące transportu ciepła w samym otworowym wymienniku ciepła (rezystancja termiczna otworu wiertniczego R_b) prowadzi do równania teoretycznego opisującego to, jak T_b ewoluuje po włączeniu podgrzewacza:

$$(7) \quad T_b - T_0 = \frac{q}{4\pi\lambda} E\left(\frac{r_b^2 S_{VC}}{4\lambda t}\right) + qR_b$$

gdzie:

q = ciepło wejściowe na zainstalowany metr układu (W/m)

λ = przewodnictwo termiczne skały (W/m/K)

SVC = pojemność cieplna skały

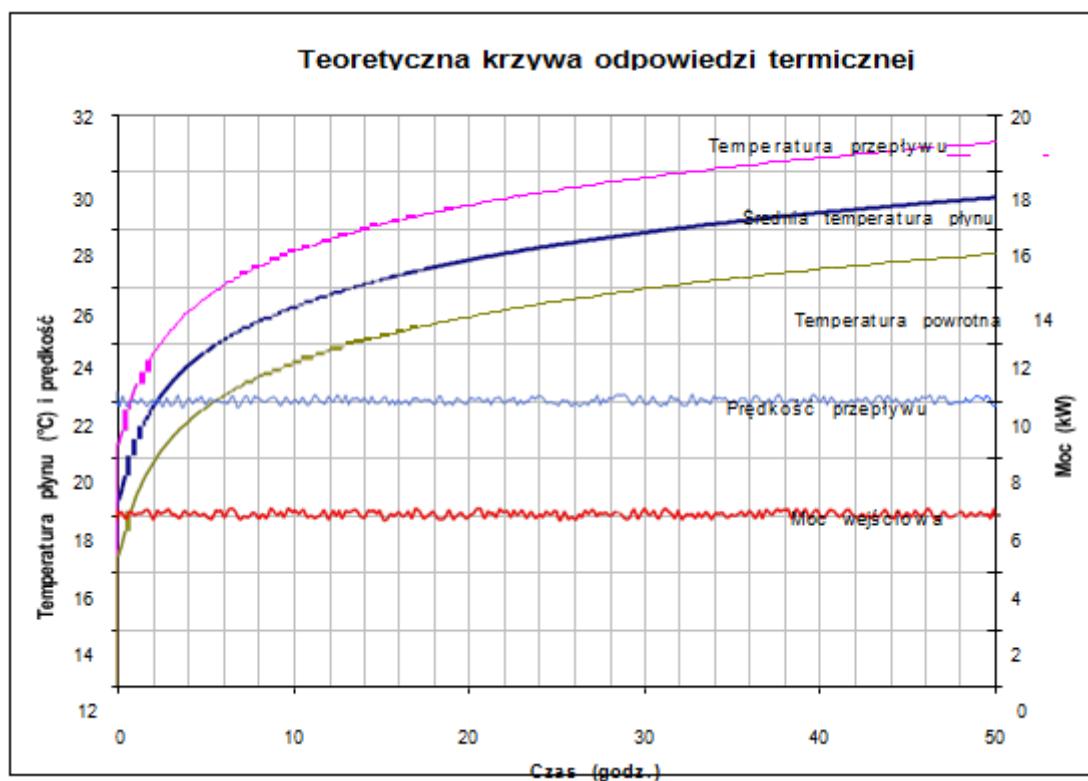
r_b = promień otworu wiertniczego

$E(u)$ = złożona funkcja wielomianowa, która wygląda podejrzenie podobnie do funkcji Theisa

R_b = opór termiczny otworu wiertniczego (Km/W)

Przy dużych wartościach t (typowo $t > 10$ godzin), równanie to może być uproszczone do wyrażenia logarytmicznego (które wygląda podejrzanie podobnie do przybliżenia Coopera-Jacoba (równanie (4))

$$(8) \quad T_b - T_0 = \frac{q}{4\pi\lambda} \left[\ln \left(\frac{4\lambda t}{S_{VC} r_b^2} \right) - 0.5772 \right] + qR_b$$



Rysunek 9. Typowa ewolucja temperatur płynów w próbie odpowiedzi termicznej (wyidealizowana krzywa)

Tym samym, jeśli wykreślimy zmianę temperatury

$$9) \quad \Delta T = T_b - T_0$$

względem naturalnego logarytmu z czasu (t), powinniśmy otrzymać prostą linię, której nachylenie to

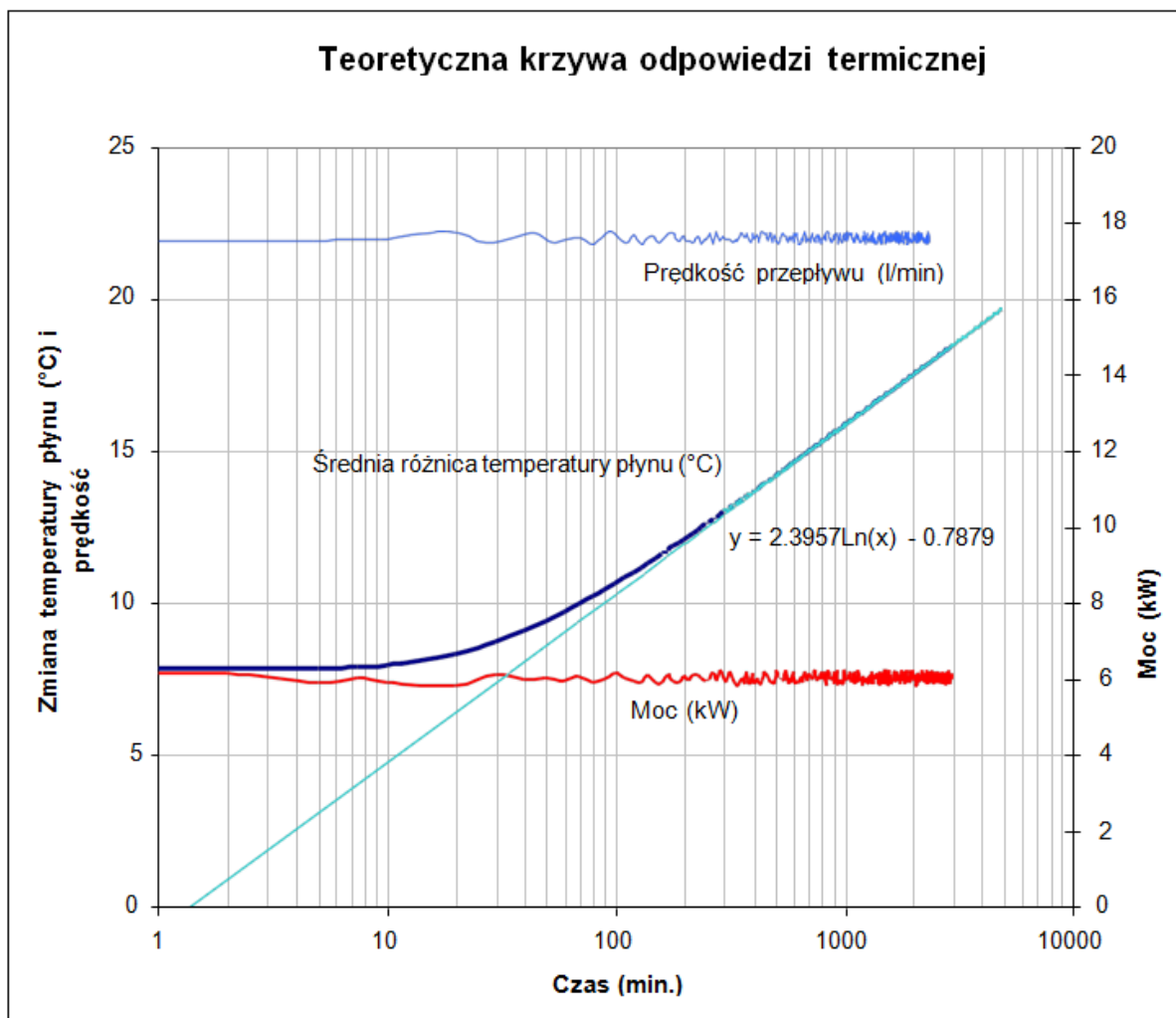
$$\frac{q}{4\pi} \quad (\text{Rys. 10}).$$

Tym samym, na Rysunku 10, nachylenie wykresu logarytmicznego to 2,3957 (nachylenie wykresu $\log_{10}$ jest bliższe 5,52). Jeśli moc ogrzewania to 6 kW i głębokość otworu wiertniczego to 100 m, wówczas $q = 60$ W/m i przewodnictwo termiczne jest podane jako:

$$(10) \quad \lambda = 60 \text{ W/m} / (4 \times 3,1415 \times 2.3957 \text{ K}) = 1,99 \text{ W/m/K}$$

Jeśli przyjmiemy wartość pojemności cieplnej gruntu (S_{VC}), która normalnie nie waha się znacznie dla warstw nasyconych (typowo 2 do 2,5 MJ m⁻³ K⁻¹), wówczas możemy także zastosować przecięcie wykresu na osi y do obliczenia wartości rezystancji termicznej otworu wiertniczego (R_b) w Km/W (Banks 2008). Sanner et al. (2000) oraz Mands i Sanner (2001) cytują wartości rezystancji termicznej otworu wiertniczego między 0,06 i 0,50 Km/W dla prób odpowiedzi termicznej w Niemczech.

Wszystkie próby niemieckie poza dwiema dały wartości poniżej 0,12 Km/W, jednakże, otwory wiertnicze wypełnione termicznie udoskonalonym cementem dały wartości 0,06 – 0,08 Km/W.



Rysunek 10. Typowa ewolucja temperatur płynu w teście reakcji termicznej, wykreślona jako zmiana temperatury na wykresie półlogarytmicznym (krzywa wyidealizowana)

VII. 4. Alternatywne metody analizy

Metoda analizy opisana w VII.3. jest określona jako „metoda źródła liniowego”. Właściwie nie symuluje ona w sposób realistyczny ewolucji temperatury w podsadzce samego otworu wiertniczego - jedynie traktuje otwór wiertniczy jako ustalony stan oporu termicznego. Z tego powodu potrzebne są długotrwałe próby, aby „zajrzeć” do skały poza ścianą otworu wiertniczego.

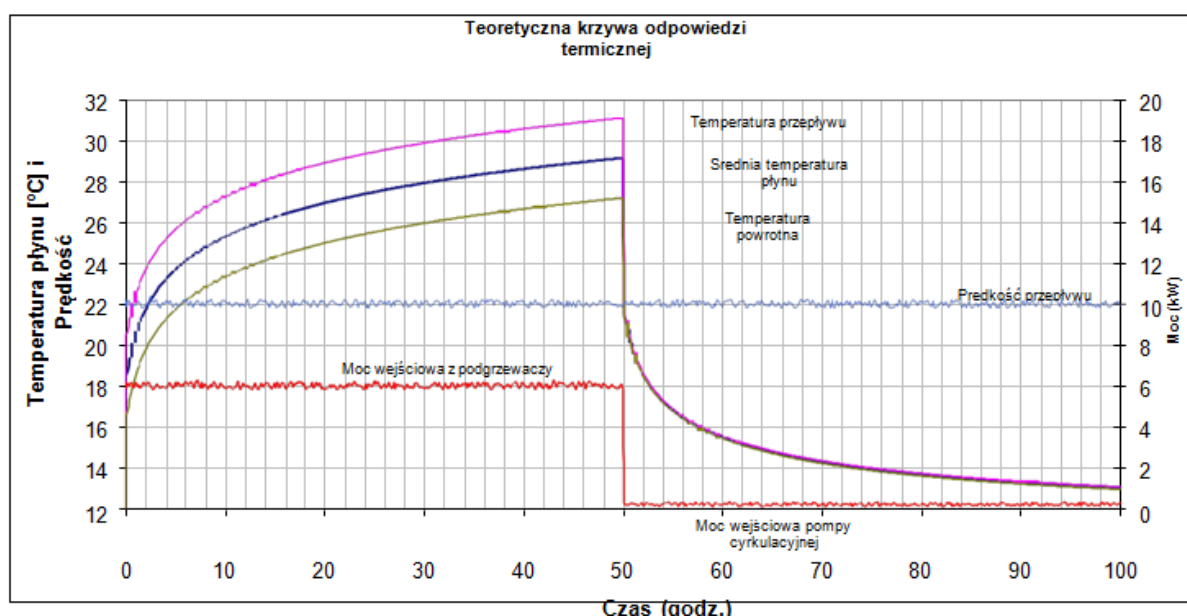
Dostępne są inne metody analizy, o coraz większej złożoności, traktujące otwór wiertniczy w coraz bardziej wysublimowany sposób. Na przykład metoda źródła cylindrycznego traktuje otwór wiertniczy raczej jako skończony walec, niż „linię” o pomijalnym promieniu. Jeśli mamy dostępny czas i pieniądze, lub jeśli chcemy ocenić inne parametry (takie jak pojemność cieplna) w bardziej szczegółowy sposób, możemy zastosować modele numeryczne do symulacji próby odpowiedzi termicznej.

Metoda opisana powyżej wymaga, aby ciepło wejściowe dla otworu wiertniczego było stałe. Czasem może być to ciężkie w podtrzymaniu - być może ze względu na nieprzewidziane wahanie mocy urządzenia grzewczego lub na utratę ciepła do (lub uzysk z) atmosfery przez rury kolektora między urządzeniem i górą otworu wiertniczego (choć te rury kolektora powinny być izolowane izolacją

refleksyjną dla zminimalizowania tego efektu). Jeśli mamy zestaw danych próbnych, który nie ma stałej mocy wejściowej, są sposoby na obejście tej przeszkody. Możemy symulować zróżnicowane ciepło wejściowe przez nakładanie funkcji krokowych, przy czym każdy krok przestrzega równania w formie (7) lub (8). Możemy też stosować niektóre formy dopasowanego parametrami modelu typu opracowanego przez Shondera i Becka (2000) i stosowanego w ich ogólnie dostępnym kodeksie GPM (Pomiar własności geotermicznych). Inne dynamiczne modele symulacyjne, które mogą być stosowane dla dopasowania parametrów, obejmują TRNSYS, EPlus i 3D-CFD.

VII. 5. Próba uzupełniania

Na końcu naszej próby ogrzewania, podgrzewacze będą wyłączone i temperatury płynu wrócą do początkowej temperatury podłoża w sposób, który niemal dokładnie odzwierciedla krzywą grzewczą (Rys. 11). Odzwierciedla on tylko „niemal dokładnie” krzywą grzewczą, ponieważ, w fazie uzupełniania, nadal będzie istniało niewielkie ciepło wejściowe (jakieś 100-300 W) pochodzące z pompy cyrkulacyjnej / strat płynu w rurze wywołanych tarciami. Tym samym, krzywa nigdy nie wraca całkiem do punktu początkowego. Jednakże, krzywa uzupełniania może być przeanalizowana, jeśli moc pomp obiegowych jest mniej więcej znana jako dająca „rezerwową” zestaw wartości λ i R_b .



Rysunek 11. Teoretyczne krzywe dla ewolucji temperatury płynu podczas testu reakcji termicznej i późniejszej próby odzysku termicznego

VII. 6. Niepewność wyników testu reakcji termicznej

Wyniki testu reakcji termicznej muszą być podawane z powiązaniem określeniem niepewności (lub, jak lubią nazywać to konsultanci, zaufania!). Tym samym można powiedzieć, że:

$$\lambda = 2,0 \pm 0,2 \text{ W/m/K}$$

Należy zauważyć, że poziom zaufania cytowany w wynikach analizy o źródle liniowym prób odpowiedzi termicznej typowo osiąga około 10% (Gehlin, 2002; Signorelli et al., 2007). Zervantonakis i Reuss (2006) cytują typowe poziomy zaufania jako 9% w λ i 14% w R_b . Na koniec zauważmy, że wynikiem próby odpowiedzi termicznej jest, mówiąc dokładnie, przenikalność termiczna penetrowanej sekwencji geologicznej. Przepuszczalność termiczna jest po prostu przewodnictwem termicznym zintegrowanym z określoną miąższością aestiferu. Tym samym, jeśli otwór wiertniczy układu zamkniętego gruntu pompy ciepła penetruje sekwencję skalną zawierającą n warstw, każdą o przewodnictwie termicznym λ_n i miąższości D_n , przewodnictwo termiczne to:

$$(11) \quad T_{th} = \sum_1^n \lambda_n D_n$$

Mówiąc dokładnie, nachylenie wykresu półlogarytmicznego próby odpowiedzi termicznej typu jak na Rysunku 9 jest równe:

$$(12) \quad Gradient = \frac{q}{4\pi\lambda} = \frac{Q}{4\pi\lambda H} = \frac{Q}{4\pi T_{th}}$$

gdzie: Q = całkowita wejściowa moc ciepła i H = głębokość otworu wiertniczego. Wartość przewodnictwa termicznego (λ), jaką określamy z próby, jest tak naprawdę tylko średnim przewodnictwem termicznym sekwencji geologicznej - innymi słowy, T_{th}/H . Może być to istotne, jeśli sekwencja geologiczna obejmuje pewną liczbę warstw o różnym przewodnictwie termicznym.

VIII. KOSZT KONTRA KORZYŚĆ PŁYNĄCA Z ROZPOZNANIA TERENOWEGO

Przed instalacją systemu gruntowej pompy ciepła powinny być zawsze wykonane prace kameralne. Koszt takich prac kameralnych pod względem czasu i wysiłku jest często niski (prawdopodobnie tylko kilkaset € dla systemów domowych), lecz potencjalne zagrożenia związane z ich zaniechaniem są ogromne.

Na przykład, można znaleźć się w sytuacji, gdzie nie wiadomo, jakich warunków geologicznych i hydrogeologicznych można się spodziewać przy wierceniu otworu wiertniczego. Wiercenie przez 60 m gliny zwałowej przed osiągnięciem granitu może dodać tysiące € do faktury wystawionej przez wiertacz, jeśli spodziewano się tylko 6 m gliny przed dotarciem do podłoża. Podobnie, penetracja nieoczekiwanych zalanych wyrobisk górniczych na głębokości 50 m może wymagać kosztownych kolumn stałych rur okładzinowych. Napotkanie silnie artezyjskiej (przelewającej się) warstwy wodonośnej może wiązać się z dużą ilością czasu i wysiłku koniecznego do jej kontrolowania i może prowadzić do ścigania przez organy nadzoru.

Bardziej poważnie, wiercenie przez grunt zanieczyszczony węglikiem prowadzi do poważnych zagrożeń zdrowia wiertaczy. Kopalnia węgla wypełniona metanem lub wysokociśnieniowy gazociąg może prowadzić do wywołania eksplozji wystarczającej do zniszczenia kilku domów. Przewiercenie przez kabel światłowodowy może pozostawić nas z rachunkiem przekraczającym nawet 1 milion €. Prace kameralne są zdecydowanie warte poświęconego wysiłku. Podobnie, wczesna współpraca z organami nadzoru powinna prowadzić do podejścia nastawionego na rozwiązywanie problemów, udzielanie pozwoleń i licencji, a nie powinna polegać na konfrontacji. Nie można zapomnieć, że większość organów środowiskowych powinna, wedle zasady być chętna, aby zobaczyć gotowy i pracujący system gruntowej pompy ciepła oszczędzający węgiel; nie powinny one wykazywać chęci stawiania przeszkód na każdym kroku. Trzeba pamiętać, że dobre stosunki z organami środowiskowymi mogą być na wagę złota – często dysponują one cenną informacją geologiczną, a nawet mogą być źródłem darmowej porady i konsultacji.

Pieniądze zainwestowane w inwazyjne badania terenowe mogą być trochę trudniejsze do uzasadnienia, zwłaszcza, jeśli system gruntowej pompy ciepła jest niewielki i/lub geologia oraz warunki gruntowe na miejscu są dobrze wytypowane przez prace kameralne. Użyjmy jednak przykładu: wyobraźmy sobie, że projektujemy gruntowy system ogrzewania na obszarze wapiennym. Literatura naukowa mówi nam, że przewodność cieplna jest bliskie $2,9 \pm 0,5$ W/m/K. Tym samym, w najgorszym przypadku przewodność cieplna mogłoby wynieść 2,4 W/m/K (a w najlepszym przypadku 3,4 W/m/K). Jeśli zaprojektujemy nasz system na podstawie wartości 2,9 W/m/K, może okazać się, że wymaganych jest 8 otworów wiertniczych do 100 m. Jednakże, jeśli jesteśmy odpowiedzialnymi

projektantami, możemy wybrać zastosowanie czynnika bezpieczeństwa i użycie najgorszej możliwej wartości równej 2,4 W/m/K, co prowadzi do rekomendowanych 10 otworów wiertniczych do 100 m (łącznie 1000 m).

Teraz powiedzmy, że wykonamy próbę odpowiedzi termicznej i w wyniku otrzymamy $3,1 \pm 0,3$ W/m/K. Otrzymaliśmy zwrot z naszej inwestycji w próbę: nasz margines niepewności jest znacznie zredukowany. Nasze przewodnictwo termiczne dla najgorszego przypadku to teraz 2,8 W/m/K i możemy zarekomendować układ 8 otworów wiertniczych do 105 m (łącznie 840 m). Oszczędziliśmy 160 m wiercenia – potencjalna oszczędność kosztów to jakieś 6400 €, w porównaniu z kosztem TRT, który wyniósł może 3000 €.

Sytuacja, w której test reakcji termicznej staje się opłacalna, zależy tym samym od względnych kosztów wiercenia dodatkowych metrów otworu wiertniczego i samej próby. Wedle ogólnej przybliżonej zasady, wykonanie próby odpowiedzi termicznej często staje się celowe, gdy mamy do czynienia z około 800-1000 m wiercenia (8-10 otworów do 100 m).

Pamiętajmy oczywiście, że nasz test reakcji termicznej mogła przynieść wartość równą $2,2 \pm 0,2$ W/m/K! Jeśli zastosowaliśmy nasz pierwotny „najgorszy” wariant równy 2,4 W/m/K, moglibyśmy skończyć z układem o zbyt małych wymiarach. Nasz test reakcji termicznej ocalił nas przed tym niechlubnym losem.

VIII. WNIOSKI

Czas i wysiłek poświęcone na wykonanie dokładnych prac kameralnych badających warunki gruntowe (infrastruktura podziemna, ryzyko zanieczyszczenia, historia górnictwa, geologia, hydrogeologia i termogeologia) przed rozpoczęciem projektu i fazą instalacji systemu gruntowej pompy ciepła są zawsze dobrze zainwestowane. Podobnie, dobre zrozumienie ram regulacyjnych oraz niezbędnych licencji i pozwoleń pozwoli na wczesne zwrócenie się do nadzoru, z perspektywą rozwiązania potencjalnie spornych kwestii na wczesnym etapie i uzyskania licencji systemu na czas. Przy coraz większych systemach gruntowych pomp ciepła, inwestycja w inwazyjne badania terenowe staje się coraz bardziej atrakcyjna, mając na celu ściślejsze opisanie podpowierzchniowych warunków hydrogeologicznych i termogeologicznych.

IX. DODATKOWE INFORMACJE

Bibliografia

- ASHRAE 2002. Methods for determining soil and rock formation thermal properties from field tests. ASHRAE Research Summary – ASHRAE 1118-TRP. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- ASHRAE 2007. ASHRAE Handbook on HVAC Applications. Chapter 32. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Banks, D. 2008. An Introduction to Thermogeology: Ground Source Heating and Cooling. Blackwell, Oxford, 339 str.
- Ramowa Dyrektywa Wodna UE. 2000. Dyrektywa 2000/60/EC Parlamentu i Rady Europejskiej ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej.
- EA 2008. Ochrona wody podziemnej: Polityka i Praktyka (GP3) - Część 4 Legislacja i Polityka. Environment Agency, Bristol, Lipiec 2008.
- Ferguson, G., Woodbury, A.D. 2006. Observed thermal pollution and post-development simulations of low temperature geothermal systems in Winnipeg, Canada. Hydrogeology Journal 14: 1206-1215.

- Luty, V. 2009. Lessons from London: ground source heat pumps in Central London. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology.
- Gehlin, S. 2002. Thermal response test: Method development and evaluation. Luleå University of Technology, Praca doktorska 2002:39.
- Goldscheider, N., Bechtel, T.D. 2009. The housing crisis from underground - damage to a historic town by geothermal drillings through anhydrite, Staufen, Niemcy. Hydrogeology Journal 17: 491-493.
- IGSHPA 2007. Closed-loop/Geothermal Heat Pump Systems: Design and Installation Standards. Revised edition 2007. International Ground Source Heat Pump Association, Oklahoma State University.
- Kruseman, G.P., De Ridder, N.A. i Verweij, J.M. 1990. Analysis and evaluation of pumping test data, wyd. 2 International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, Netherlands.
- Mands, E., Sanner, B. 2001. In-situ-determination of underground thermal parameters. Proc. International Geothermal Days Germany 2001, Supplement, S. 45-54, GtV, Geeste.
- Misstear, B., Banks, D., Clark, L. 2006. Water wells and boreholes. Wiley, Chichester, UK: 498 str.
- Rybach, L. 2003. Regulatory framework for geothermal in Europe, with special reference to Germany, France, Hungary, Romania, and Switzerland. United Nations University, Geothermal Training Programme, International Geothermal Conference IGC2003 Short Course, September 2003, Reykjavík, Iceland: 43-52.
- Sanner, B., Reuss, M., Mands, E., Mueller, J. 2000. Thermal Response Test - Experiences in Germany. Proc. TERRASTOCK 2000, S. 177-182, Stuttgart.
- Sanner, B., Hellström, G., Spitler, J., Gehlin, S. 2005 Thermal response test – current status and world-wide application. Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turcja, 24-29 kwietnia 2005. Dokument ten zawiera projekt wytycznych dla prób przewodnictwa cieplnego, opracowany przez grupę roboczą Aneksu 13 „studnie i otwory wiertnicze” umowy wdrożeniowej o konserwacji energii w dziale magazynowania energii Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA)
- Shonder, J.A., Beck, J.V. 2000. A new method to determine the thermal properties of soil formations from in-situ field tests. Oak Ridge National Laboratory (US) Report ORNL/TM-2000/97.
- Signorelli, S., Bassetti, S., Pahud, D., Kohl, T. 2007. Numerical evaluation of thermal response tests. Geothermics 36: 141-166.
- VDI 2000. Thermal use of the underground: Fundamentals, approvals, environmental aspects. Verein Deutscher Ingenieure. Richtlinien VDI 4640, Blatt 1 / Część 1, Grudzień 2000, Düsseldorf: 32 str.
- VDI 2001. Thermal use of the underground: Ground source heat pump systems. Verein Deutscher Ingenieure. Richtlinien VDI 4640, Blatt 2 / Część 2, Wrzesień 2001, Düsseldorf: 43 str.
- Zervantonakis, I.K., Reuss, M. 2006. Quality requirements of a thermal response test. Proc. 10th International Conference on Thermal Energy Storage “Ecstock „06”

Prawa do wykorzystania tego rozdziału: Rozdział ten został stworzony przez © Davida Banksa (2009) z Holymoor Consultancy Ltd. dla programu EU GEOTRAINET. David Banks i Holymoor Consultancy Ltd. zastrzegają sobie nieograniczone prawa do stosowania tego rozdziału dla dowolnego celu, lecz prawa są udzielone za darmo Uniwersytetowi Newcastle i partnerstwu GEOTRAINET dla wszelkich niekomercyjnych celów szkoleniowych i edukacyjnych.

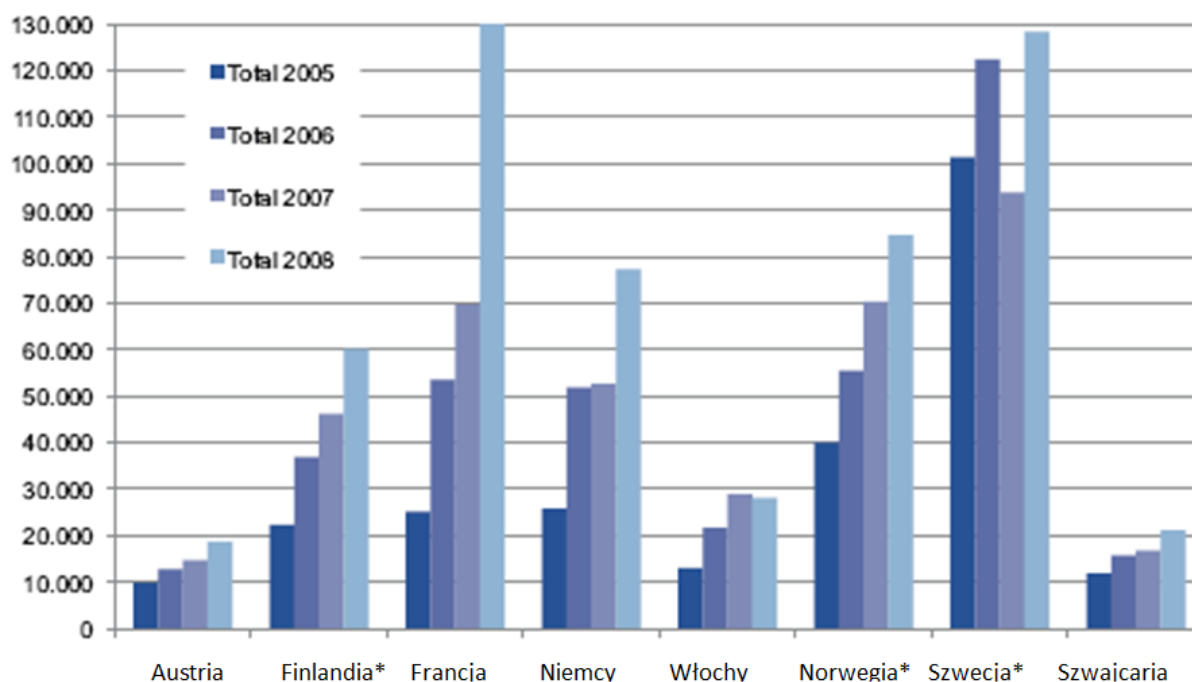
ROZDZIAŁ 10 - TECHNOLOGIA POMPY CIEPŁA

autorzy Javier Urchueguía i Paul Sikora

I. WPROWADZENIE

Wśród końcowych konsumentów energii, sektor mieszkaniowy zajmuje jedną z głównych pozycji. W ostatnich latach Unia Europejska wykazała rosnące zainteresowanie w uczynieniu zużycia energii przez budynki bardziej wydajnym i lepszym dla środowiska. Technologie pomp ciepła są szeroko stosowane do podnoszenia naturalnej niskotemperaturowej energii ze źródeł odnawialnych, takich jak powietrze, woda, grunt i ciepło odpadowe, do temperatur użytecznych. Są one stosowane do ogrzewania przestrzeni mieszkalnej i komercyjnej oraz do ogrzewania wody, chłodzenia, mrożenia, a także w procesach przemysłowych.

Pompa ciepła jest bardzo efektywnym systemem. Zaleta ta jest wzmocniona przy integracji zastosowania energii odnawialnych (słoneczna, termiczna) w procesach, które stosują pompy ciepła wykorzystywane dla budynków. Na Rysunku 1 możemy zobaczyć ewolucję sprzedaży energii odnawialnej w Europie od 2005 do 2008 r. Między 2007 a 2008 sprzedaż zwiększyła się o prawie 50%.



Rysunek 1. Sprzedaż energii odnawialnej w Europie, 2005 – 2008.

Celem tego rozdziału jest poinformowanie projektantów o technologii pompy ciepła, tak by mogli dokonać prawidłowego wyboru przy projekcie gruntuwa pompa ciepła. Faza wyboru pompy ciepła musi być wykonana po fazie analizy obciążenia termicznego i po tym, jak zdefiniowany jest system instalacji odbioru ciepła.

Projektant musi zrozumieć różnice między gruntowa pompa ciepła i konwencjonalnym systemem pompy ciepła.

Bardzo istotne jest zachowanie rygoru w wyborze pompy ciepła, ponieważ od tego zależy projekt geotermicznego wymiennika ciepła.

II. TEORIA

II. 1. Definicja

Wydaje się oczywiste, że ciepła będzie przepływać od obiektu gorącego do zimnego. Pompy ciepła pracują tak, by odwrócić „naturalny” kierunek przepływu ciepła.

Pompa ciepła jest maszyną lub urządzeniem, które przenosi ciepło z jednej lokalizacji („źródło”) do innej („odbiornik ciepła”) z zastosowaniem pracy mechanicznej. Pompa ciepła podlega tym samym ograniczeniom płynącym z drugiej zasady termodynamiki, co dowolna inna maszyna cieplna i tym samym maksymalna efektywność może być obliczona z obiegu Carnota.

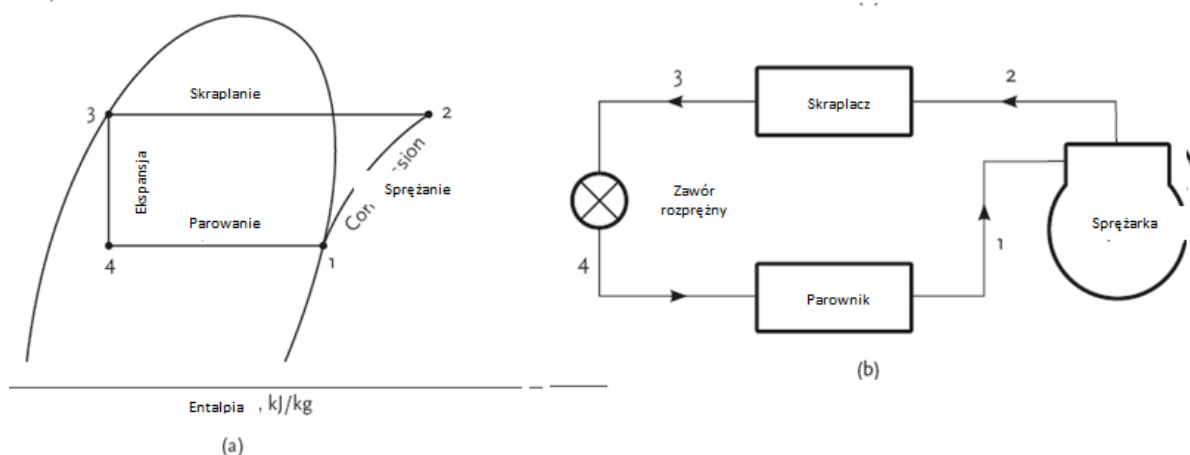
Europejska norma dla testowania i oceniania wydajności pompy ciepła, EN 14511 – Część 1, definiuje pompę ciepła w sposób następujący:

„pompa ciepła [to] obudowany zespół lub zespoły zaprojektowane jako jednostka do dostarczania ciepła. Obejmuje obsługiwany elektrycznie system chłodniczy dla ogrzewania. Może mieć środki dla chłodzenia, cyrkulacji, czyszczenia i osuszania powietrza. Chłodzenie zachodzi przez odwrócenie obiegu chłodniczego”.

Zaletą pomp ciepła jest to, że potrzeba mniej energii elektrycznej niż do konwersji energii elektrycznej na ciepło (jak w piecach elektrycznych, płytach grzewczych i promiennikach). W istocie, w łagodnych temperaturach zimowych można zyskać trzy-cztery razy więcej ciepła z każdego wata elektryczności w porównaniu z piecem elektrycznym.

II. 2. Jak działa pompa ciepła

Płyn roboczy w swoim stanie gazowym jest poddany działaniu ciśnienia i krąży w systemie za pomocą sprężarki (Rys. 2). Po stronie wylotowej sprężarki, gaz, który jest teraz gorący i pod wysokim ciśnieniem, jest chłodzony w wymienniku ciepła, zwanym skraplaczem, dopóki nie skropli się w ciecz o umiarkowanej temperaturze i wysokim ciśnieniu.



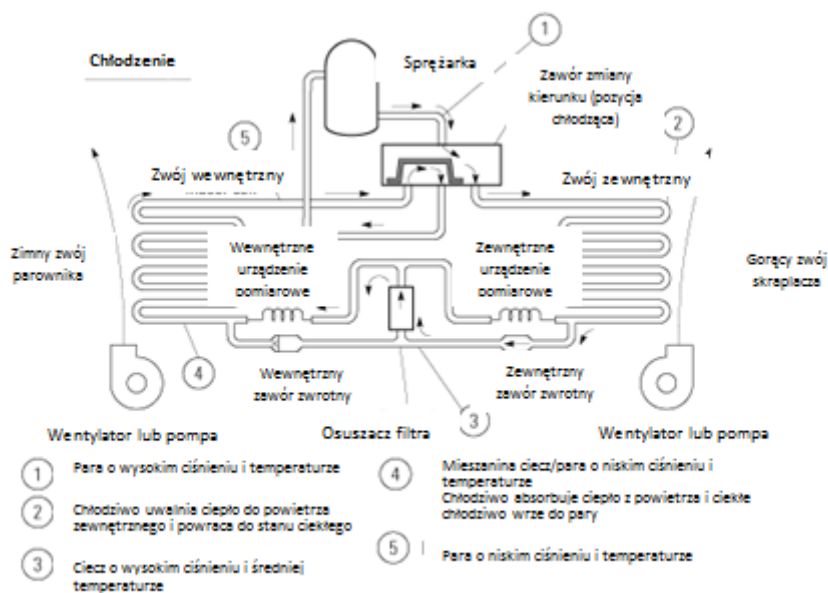
Rysunek 2. Schemat (a) Carnota i (b) pompy ciepła

Skroplony czynnik chłodniczy (roboczy) następnie przechodzi przez urządzenie obniżające ciśnienie, takie jak zawór rozprężny lub rurkę kapilarną. Urządzenie to następnie przekazuje niskociśnieniowe,

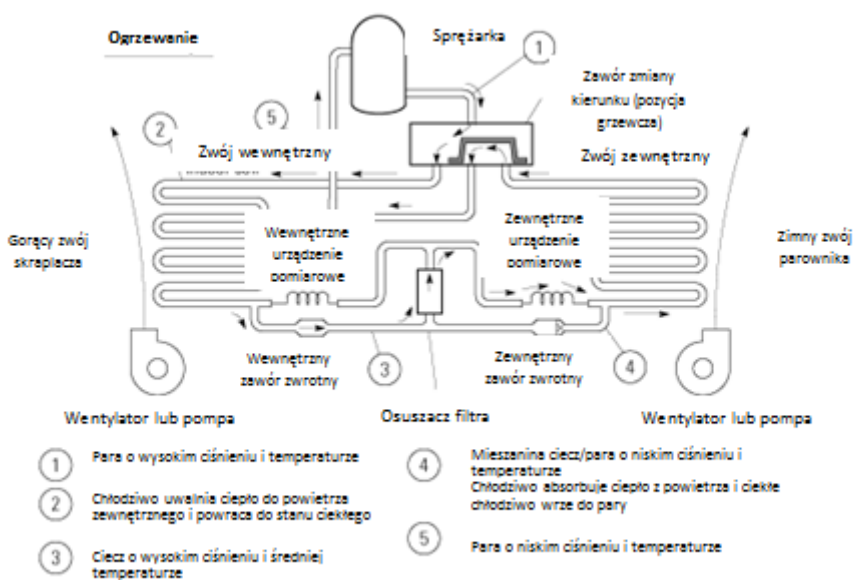
(prawie) ciekły czynnik chłodniczy do innego wymiennika ciepła, parownika, gdzie czynnik paruje absorbując ciepło. Następnie czynnik wraca do sprężarki i cykl jest powtórzony.

II. 3. Tryb grzewczy i chłodzący

Tryby ogrzewania i chłodzenia pompy ciepła realizują dokładnie tę samą czynność. „Pompują” ciepło z jednej lokalizacji do innej (Rys. 3). W trybie chłodzenia funkcjonuje ona podobnie jak klimatyzator, przenosząc ciepło od wewnątrz budynku na zewnątrz; w trybie ogrzewania, przepływ czynnika chłodniczego jest odwrócony, tak że pobiera ona niskotemperaturowe ciepło ze źródła i mechanicznie koncentruje je, by wytwarzało ciepło wysokotemperaturowe, które następnie jest dostarczone do budynku.



3a. Tryb chłodzący pompy ciepła



3b. Tryb grzewczy pompy ciepła

Rysunek 3. Schematyczny diagram pracy pompy ciepła powietrze-powietrze (zaadaptowano z ASHRAE)

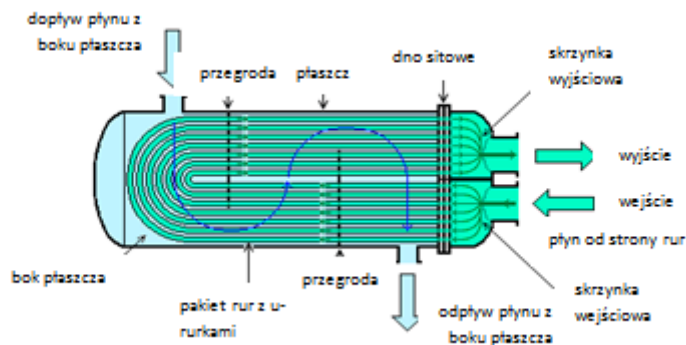
II. 4. Komponenty pompy ciepła

Komponentami pompy ciepła są:

- czynnik chłodniczy (roboczy) - substancja, która krąży w pompie ciepła, naprzemiennie absorbując, transportując i przekazując ciepło,
- zawór czterodrogowy - kontroluje kierunek przepływu czynnika w pompie ciepła,
- parownik - (wymiennik ciepła), w której czynnik absorbuje ciepło z jego otoczenia i wrze celem zamiany w niskotemperaturową parę,
- kompresor - ścisza cząsteczki gazu – czynnika chłodniczego, zwiększając temperaturę i ciśnienie,
- skraplacz - (wymiennik ciepła), w której czynnik oddaje ciepło do jego otoczenia i staje się cieczą,
- Zawór rozprężny - uwalnia ciśnienie stworzone przez sprężarkę.

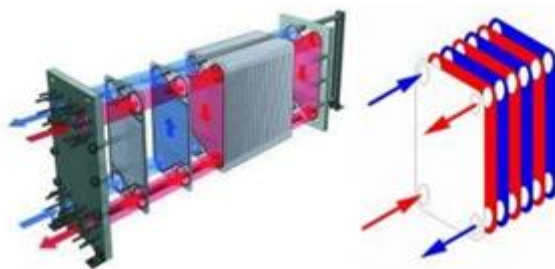
Istnieją różne typy wymiennika ciepła (skraplacza lub parownika) w pompie ciepła, z czego najczęstsze to:

- Płaszczowo-rurowe wymienniki ciepła (Rys. 4) są wytwarzane z okrągłych rur montowanych w cylindrycznych płaszczach, przy czym ich osie przebiegają zgodnie z osią płaszcza. Istnieją różne rozważania projektowe, jakie mogą być wzięte pod uwagę, takie jak przepływ płynów (płaszcz lub rura), spadek ciśnienia itd.



Rysunek 4. Schemat rurowego wymiennika ciepła

- Płytowe wymienniki ciepła (Rys. 5) są często budowane z cienkich płyt. Płyty są gładkie lub mają pewną falistość, i są one płaskie lub zwinęte w wymienniku. Zasadniczo wymienniki te nie mogą obsługiwać bardzo wysokich ciśnień i temperatur.

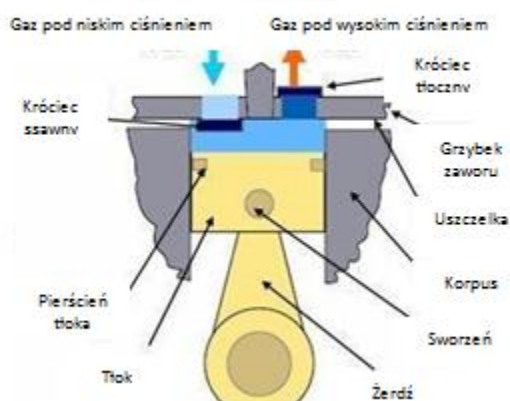


Rysunek 5. Płytowo-ramowy wymiennik ciepła

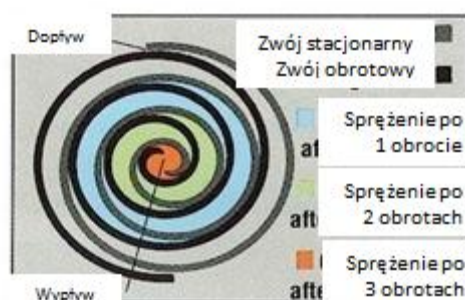
Typowe płaszczowo-rurowe wymienniki ciepła stosują „pakiet” rur otoczony płaszczem, w którym energia cieplna jest transportowana od gorących cieczy lub gazów dopływających przez rury do cieczy lub czynnika chłodniczego, które przepływa ponad i wokół rur w płaszczu, przechwytyując energię cieplną i ponownie wypływając na zewnątrz. Płytowe wymienniki ciepła działają podobnie, przy komorach gorącej i zimnej cieczy oddzielonych przez płyty metalowe.

Wśród sprężarek można wyróżnić trzy różne typy stosowane w pompie ciepła:

- Sprężarki tłokowe - wyporowe sprężarki (Rys. 6), które wykorzystują tłoki napędzane przez wał korbowy dla dostawy gazów pod wysokim ciśnieniem. Gaz wlotowy wchodzi do układu ssącego, następnie przepływa do cylindra sprężającego, gdzie jest sprężany przez tłok napędzany w ruchu posuwisto-zwrotnym przez wał korbowy i następnie jest wypuszczany.
- Sprężarka śrubowa - typ sprężarki gazowej (Rys. 7), który stosuje mechanizm wyporowy typu obrotowego. Sprężarka obrotowo-śrubowa wykorzystuje dwa zazębione obrotowe wirniki spiralne w obudowie do wtłoczenia gazu w mniejszą przestrzeń.
- Sprężarka spiralna - sprężarka (Rys. 8), która ma dwie spiralne ściany lub komponenty obrotowe, które zazębiają się ze sobą i są stosowane do sprężania chłodziwa. Jeden ze spiralnych komponentów jest nieruchomy, a drugi jest napędzany w układzie okrężającym w celu wykonania swojej funkcji. Sprężarki spiralne są prostsze i bardziej wydajne, niż jednostki tłokowe.



Rysunek 6. Schemat sprężarki tłokowej



Rysunek 8. Schemat sprężarki spiralnej



Rysunek 7. Schemat sprężarki śrubowej

III. Czynniki chłodnicze

Czynnik chłodniczy jest związkiem stosowanym w cyklu grzewczym, który przechodzi zmianę fazy od gazowej do ciekłej i z powrotem. Dwa główne miejsca zastosowania czynnika chłodniczego to lodówki/zamrażarki i klimatyzatory.

Idealne czynnik chłodniczy ma dobre właściwości termodynamiczne, nie jest korozyjny i jest bezpieczny. Pożądane właściwości termodynamiczne to temperatura wrzenia nieco poniżej temperatury docelowej, wysokie ciepło parowania, umiarkowana gęstość w postaci ciekłej, a względnie wysoka gęstość w postaci gazowej oraz wysoka temperatura krytyczna. Ponieważ na temperaturę wrzenia i gęstość gazu ma wpływ ciśnienie, czynnik chłodniczy może być bardziej dopasowany dla konkretnego zastosowania przez wybór ciśnienia roboczego. Właściwości korozyjne są kwestią kompatybilności materiałów z elementami stosowanymi dla sprężarki, rur, parownika i skraplacza. Kwestie bezpieczeństwa obejmują toksyczność i palność.

Główne czynniki chłodnicze mogą być sklasyfikowane w trzech różnych grupach:

- CFC - były stosowane jako czynniki chłodnicze w klimatyzatorach i lodówkach, w puszkach aerozoli, w produkcji pianek jako rozcieńczalniki przemysłowe oraz jako środki czyszczące w produkcji elektroniki. Przemysł chemiczny w USA kiedyś nadał im nazwę handlową „freony” i termin ten od tamtego czasu stał się powszechny. Z chemicznego punktu widzenia CFC są podzbiorem bardziej ogólnej klasy związków znanych jako halowęglowodory (związki zawierające węgiel i halogenki). CFC są halowęglowodorami, które zawierają tylko pierwiastki węgiel, chlor i fluor. Najpopularniejsze CFC to niewielkie molekuły zawierające tylko jeden lub dwa atomy węgla. CFC mają najwyższy potencjał niszczenia warstwy ozonowej (ODP).
- HCFC - dotyczy chemicznego składu czynnika chłodniczego. Chlorowodór-Fluor-Węgiel wskazuje, że chłodziwo składa się z wodoru, chloru, fluoru i węgla. HCFC to wyprodukowane przez człowieka chemikalia stosowane jako czynnika chłodniczego i w produkcji materiałów piankowych. Są to niepalne gazy. Wraz z innymi substancjami działają one w górnej atmosferze niszcząc dla warstwy ozonowej ponad Ziemią, która pomaga chronić powierzchnię Ziemi przed szkodliwym promieniowaniem ultrafioletowym. Przyczyniają się także do globalnego ocieplenia. Głównymi źródłami wydostawania się HCFC są wycieki ze sprzętu chłodniczego i klimatyzacyjnego. Nie istnieją naturalne źródła HCFC.
- Wodorofluorowęglowodory (HFC) - grupa związków obejmująca węgiel, fluor i wodór (w przeciwieństwie do HCFC, która zawiera także chlor). W temperaturach środowiskowych są one zasadniczo bezbarwnymi i bezzapachowymi gazami, w większości nie reagującymi chemicznie. HFC są głównie stosowane jak substytuty dla CFC i HCFC (substancji niszczących ozon), wycofywanych w związku z Protokołem Montrealskim z 1987 roku. Główne zastosowanie obejmuje chłodziwa w chłodnictwie i sprzęcie klimatyzacyjnym, oraz jako materiały napędowe w aerozolach przemysłowych i nowszych MDI (inhalatorów z dozownikiem, np. na astmę). Rzadsze zastosowania obejmują produkcję pianek (np. wykonywanie pian plastikowych dla pakowania żywności), czyszczenie rozpuszczalnikami i niektóre systemy gaśnicze.

III. 1. Protokół Montrealski

Odkąd w latach 1980-tych odkryto, że najczęściej stosowane czynniki chłodnicze (CFC) były głównymi przyczynami niszczenia warstwy ozonowej, rozpoczęto światowe wycofywanie chłodziw niszczących ozon. Zostały one zastąpione chłodziwami „przyjaznymi dla ozonu” (HCFC, HFC). W 1987 Protokół Montrealski, będący międzynarodową umową środowiskową, ustanowił wymagania, który rozpoczęły światowe wycofywanie niszczących ozon CFC (chlorofluorowęgle).

Harmonogram wycofywania HCFC i CFC dla krajów rozwiniętych	
Data	Środek kontrolny
1 stycznia 1996	CFC wycofane (1) HCFC zamrożone na poziomach HCFC z 1989 + 2,8% zużycia CFC z 1989 (poziom bazowy)
1 stycznia 2004	HCFC zredukowane o 35% poniżej poziomów bazowych
1 stycznia 2010	HCFC zredukowane o 65%
1 stycznia 2015	HCFC zredukowane o 90%
1 stycznia 2020	Wycofanie HCFC umożliwiające do 0,5% pozostałości w użyciu do 2030 dla istniejącego sprzętu chłodniczego i klimatyzacyjnego

IV. EFEKTYWNOŚĆ

Istnieją różne terminy, które definiują wydajność pompy ciepła. Wszystkie te terminy zależą od:

- efektywności pompy ciepła (wyznaczona głównie przez jakość jej komponentów),
- temperatury ogrzewanej lub chłodzonej wody/powietrza realizowanej przez pompę ciepła,
- temperatury dopływającej solanki (mieszanina wody/środka zapobiegającego zamarzaniu) od pętli gruntowej (w przypadku gruntowej pompy ciepła) lub powietrza na zewnątrz (w przypadku powietrznej pompy ciepła).

IV. 1. Klasyfikacja terminów

Współczynnik wydajności (COP) jest miarą efektywności pompy ciepła. Jest on ustalony przez podzielenie wydajności energetycznej pompy ciepła przez energię elektryczną potrzebną do obsługi pompy ciepła, w określonej temperaturze. Im wyższy COP, tym bardziej wydajna pompa ciepła. Liczba ta jest porównywalna do wydajności w stanie ustalonym pieców opalanych olejem i gazem.

COP dla pompy ciepła w zastosowaniach grzewczych lub chłodniczych, przy pracy w stanie ustalonym, to:

$$COP_{\text{heating}} = \frac{\Delta Q_{\text{hot}}}{\Delta A} \leq \frac{T_{\text{hot}}}{T_{\text{hot}} - T_{\text{cool}}}$$

$$COP_{\text{cooling}} = \frac{\Delta Q_{\text{cool}}}{\Delta A} \leq \frac{T_{\text{cool}}}{T_{\text{hot}} - T_{\text{cool}}}$$

gdzie:

ΔQ_{cool} to ilość ciepła pobranego z zimnego odbiornika w temperaturze T_{cool}

ΔQ_{hot} to ilość ciepła dostarczonego do gorącego odbiornika w temperaturze T_{hot}

ΔA to dostarczona praca sprężarki.

Wszystkie temperatury wyrażono w wartościach bezwzględnych w K.

Współczynnik wydajności sezonowej (SPF). SPF dotyczy efektywności w całym sezonie. Moc wejściowa i wyjściowa jest skumulowana dla sezonu; wówczas całkowita moc wyjściowa jest podzielona przez całkowitą moc wejściową, aby uzyskać SPF.

Całkowita moc wyjściowa (KWh)/Całkowita moc wejściowa (KWh) = SPF.

SPF jest lepszą metodą porównywania efektywności pompy ciepła, gdyż wartość ta pozwoli na bardziej dokładny szacunek kosztów obsługi w całym sezonie.

Współczynnik efektywności energetycznej (EER) mierzy wydajność chłodzenia w stanie ustabilizowanym pompy ciepła. Jest on ustalany przez podzielenie wydajności chłodniczej pompy ciepła w Btu/h przez wejściową energię elektryczną w watach w określonej temperaturze. Im wyższy EER, tym bardziej wydajna jest jednostka.

$$EER = COP * 3,412$$

Pompy ciepła są bardziej wydajne przy ogrzewaniu niż chłodzeniu, jeśli różnica temperatur jest utrzymana na równym poziomie. Jest tak, ponieważ energia wejściowa sprężarki jest w większości konwertowana na użyteczne ciepło podczas trybu ogrzewania, i jest odprowadzana wraz z ruchem ciepła przez skraplacz. Jednakże, w celu chłodzenia, skraplacz jest normalnie na zewnątrz, a rozproszona praca sprężarki jest oddalona, nie zaś wykorzystana w użytecznym celu.

V. TYPY POMP CIEPŁA

Systemy pomp ciepła są dostępne w różnych typach i kombinacjach, które można dostosować do niemal dowolnego zastosowania.

Dla celów grzewczych systemy te mogą być podzielone na podstawowe typy, określone przez źródło i cel wykorzystania ciepła oraz medium, jakie pompa ciepła wykorzystuje do absorpcji lub odprowadzenia ciepła w każdej z tych lokalizacji.

Przy wybranym wymienniku ciepła, mediami transportującymi ciepło może być albo ciecz (woda lub często mieszanina glikolowa) lub powietrze; czasem jest to ich kombinacja. Przy klasyfikowaniu typu pompy ciepła, źródło ciepła wymienione jest zazwyczaj jako pierwsze, a następnie pod uwagę brany jest jego cel lub inaczej odbiornik ciepła.

Najczęściej stosowanymi wariantami są systemy typu:

- Powietrze - powietrze
- Woda - woda
- Woda - powietrze
- Powietrze - woda
- Grunt - woda
- Grunt - powietrze

V. 1. Powietrze - powietrze

Systemy typu powietrze - powietrze wykorzystują energię cieplną zawartą w powietrzu zewnętrznym jako źródło ciepła. To ciepło jest następnie dostarczane bezpośrednio przez jednostki wspomagane wentylatorami do wnętrza pomieszczeń.

Ten typ pomp ciepła jest dobrym wyborem dla obszarów o łagodniejszym klimacie, ponieważ nie działają one poprawnie w skrajnych temperaturach. W przypadkach, gdy temperatura jest skrajnie ujemna, uruchomi się pomocnicze grzanie elektryczne, w którą jest wyposażona pompa. Grzałka ta będzie wytwarzać o wiele więcej ciepła, niż sama pompa ciepła, lecz jest także znacznie droższa w eksploatacji.

Innym typem systemu o źródle powietrznym jest pompa ciepła pracująca na powietrzu wyrzutowym, wentylacyjnym. Jednostka ta, jako swoje źródło termiczne, wykorzystuje strumień powietrza wyrzutowego (wydostającego się) z budynku. Ponieważ źródło powietrza ma zasadniczo temperaturę wnętrza domu, nie ucierpi z powodu tej samej redukcji efektywności, co pompa ciepła o zewnętrznym źródle powietrza. Zasadniczo zaleca się, aby pompa ciepła wykorzystująca powietrze wyrzutowe była tylko dodatkiem do innego systemu grzewczego, gdyż jej źródło ciepła musiało być gdzie indziej. Jeśli dom nie jest ogrzewany, pompa ciepła na powietrze wyrzutowe musi zasadniczo stosować temperaturę powietrza otoczenia. Ponadto, strumień objętościowy powietrza źródłowego jest ograniczony do prędkości wymiany powietrza obsługiwanego przez nią mieszkania.

Systemy mono split obejmują dwie części instalacji zlokalizowane odpowiednio wewnątrz i na zewnątrz, połączone przez orurowanie i złącza elektryczne. Systemy multi-split mają podobną konfigurację jednej głównej jednostki zewnętrznej, lecz z dwoma lub większą ilością jednostek wewnętrznych obsługujących różne lokalizacje w budynku. W wielu przypadkach są one zdolne do niezależnej kontroli swojej własnej przestrzeni.

V. 2. Woda - woda

Systemy woda - woda działają w ten sam sposób, co systemy powietrze - powietrze, poza tym, że źródłem ciepła jest woda - zasadniczo woda podziemna, powierzchniowa z rzeki lub stawu lub nawet ciepło odpadowe z procesów wytwórczych. Następnie ciepło jest dostarczane do grzejników lub klimakonwektorów w przestrzeni zamkniętej. W przypadku wody rzecznej lub jeziornej, ciecz źródłowa jest rzadko w cyrkulacji, ze względu na zarastanie rur, itd. Dla tego typu instalacji potrzebne są liczne zgody i istnieją ograniczenia, co do typu stosowanego roztworu zapobiegającego zamarzaniu. Systemy woda - woda mogą być skonfigurowane jako tylko grzewcze lub są one dostępne jako odwracalne systemy ogrzewania/chłodzenia.

V. 3. Woda - powietrze

Źródło ciepła jest takie, jak opisano w systemie woda - woda; ciepło jest oddawane do powietrza w przestrzeni zamkniętej. Systemy są dostępne w podobnym zakresie rozmiarów.

Podobna elastyczność obciążenia, skutkująca jednoczesnym ogrzewaniem/chłodzeniem, może być uzyskana z zastosowaniem układu obiegu ciepłej wody, znanego jako system transportu o wodnym źródle energii. Budynek jest wyposażony w pierścieniowy obwód przepływu wody i rurę zwrotną do każdego pomieszczenia, przez które ciepła woda wykonuje cyrkulację za pomocą centralnej pompy.

Z kolei każde pomieszczenie jest wyposażone w niewielką, samodzielną, odwracalną jednostkę pompy ciepła. Dwa wymienniki ciepła w pompie ciepła są kombinacją źródła wodnego i powietrznego. Powietrze z pomieszczenia przechodzi przez jeden z nich, woda z obwodu pierścieniowego przez drugi, podczas gdy sprężarka pompy ciepła wykonuje cyrkulację czynnika chłodniczego przez wewnętrzne rury w wymiennikach ciepła.

Pomieszczenie wymagające ogrzania ma swoje źródło ciepła z ciepłej wody. Jeśli wymagane jest chłodzenie, absorbowane ciepło jest oddalane do obiegu wodnego.

Dla wydajnej pracy system wymaga, by bilans ogrzewania/chłodzenia w budynku pozostawał w równowadze przez większość czasu pracy. Tam, gdzie temperatura obiegu wody przekracza granice operacyjne podczas silnego zapotrzebowania na chłodzenie, nadmiar ciepła może być oddalony do powietrza zewnętrznego przez chłodnię kominową lub suchą chłodnicę powietrzną. Odwrotnie, jeśli potrzebne jest dodatkowe ciepło, do obiegu podłączony jest niewielki kocioł, dla zwiększenia temperatury. W optymalnych warunkach roboczych zapotrzebowanie termiczne budynku jest w równowadze i jest on samowystarczalny pod względem ciepła, przy czym zarówno chłodnia kominowa, jak i kocioł pozostają w trybie gotowości.

V. 4. Powietrze - woda

Ciepło jest absorbowane z powietrza zewnętrznego i dostarczane do opartego o wodę wewnętrznego systemu grzejników lub klimakonwektorów. Ciepło może być także absorbowane z powietrza wyrzutowego. Metoda ta może być stosowana do odzyskiwania części ciepła, które w przeciwnym przypadku zostałyby utracone. Mieszanie powietrza wyrzutowego z powietrzem otoczenia zwiększy temperaturę powietrza źródłowego. Należy dopilnować, by bardziej wilgotne powietrze wyrzutowe nie spowodowało zjawiska narastania szronu na parowniku.

V. 5. Systemy ze źródłem gruntowym

Energia cieplna jest pobierana z gruntu z zastosowaniem zamkniętych układów rur zakopanych poziomo w wykopach lub w pionowych otworach wiertniczych, które są połączone ponownie z gruntowa pompa ciepła. Płynem krążącym w układzie zamkniętym będzie zwykle mieszanina woda/glikol propylenowy lub akceptowalny równoważnik środka zapobiegającego zamarzaniu mieszaniny. Jednakże, niektóre bezpośrednio działające gruntowa pompa ciepła mogą stosować czynnik chłodniczy w układach zamkniętych. Układy otwarte mogą być także stosowane do poboru wody z jednej warstwy wodonośnej i odprowadzania przez inną warstwę wodonośną znajdującą się poniżej. Jednakże, na taki proceder wymagane są pozwolenia środowiskowe.

Ciepło może także być pobrane z wód powierzchniowych: rzek, stawów, jezior lub morza. Takie systemy określane są zwykle mianem hydrotermalnych. Projektując takie systemy należy wziąć pod uwagę jakość i temperaturę wody, a często będą wymagać odpowiednich pozwoleń środowiskowych.

Ciepło jest wprowadzone do strefy bytowej i dystrybuowane do systemu ogrzewania wody (pompy grunt-woda) lub do systemu dystrybucji powietrza (pompy grunt-powietrze).

VI. WAHANIA COP

COP zwiększa się, gdy zmniejsza się różnica temperatur między źródłem ciepła i źródłem docelowym. COP może być zmaksymalizowane przy projekcie w zależności od wybranego systemu. W trybie ogrzewania, przez wybór systemu wymagającego niskiej temperatury i źródła ciepła o wysokiej temperaturze możemy zwiększyć COP. W trybie chłodzenia, przez wybór systemu wymagającego wysokiej temperatury i źródła ciepła o niskiej temperaturze możemy zwiększyć COP.

COP spada, gdy zwiększa się różnica temperatur między źródłem i źródłem docelowym. Zimą uzyskane COP powietrznej pompy ciepła jest niskie, spowodowane niską temperaturą powietrza zewnętrznego

(-5 °C), która zwiększa różnicę termiczną z punktem docelowym.

COP może się również zwiększyć, jeśli mamy wymóg jednoczesnego ogrzewania i chłodzenia.

System, który może wykonywać chłodzenie w jednej części i oddalać ciepło absorbowane w procesie do innej części. W tych przypadkach COP dla pompy ciepła to:

$$COP = \frac{\Delta Q_{heat} + \Delta Q_{cool}}{\Delta A}$$

gdzie:

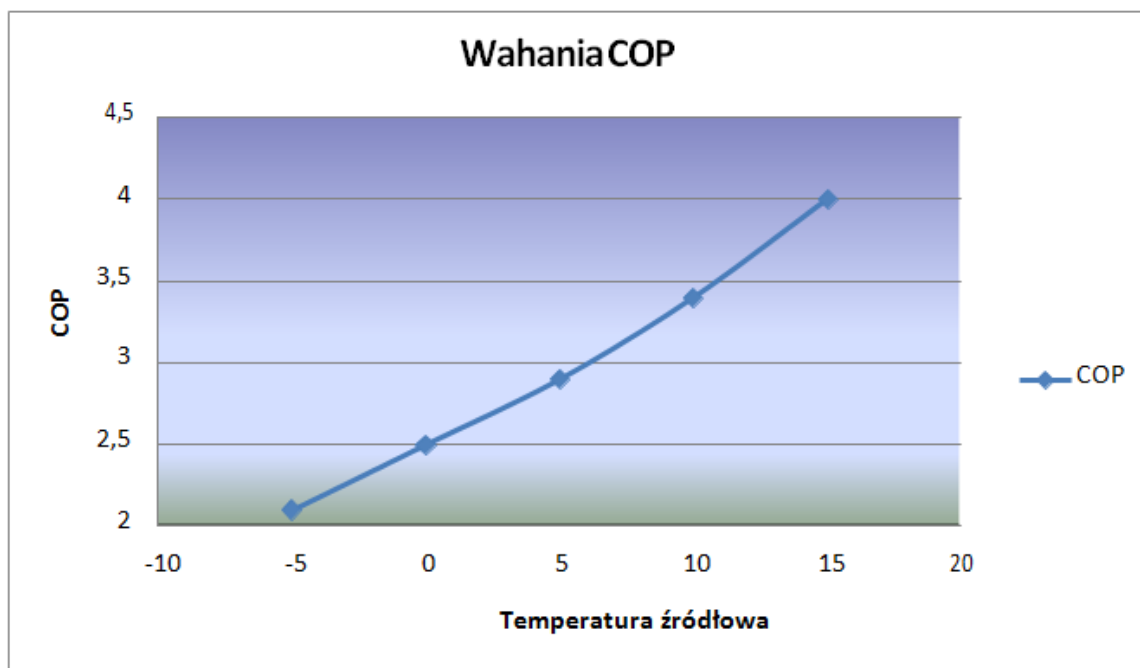
ΔQ_{cool} to ilość ciepła pobranego z zimnego zbiornika w temperaturze T_{cool}

ΔQ_{heat} to ilość ciepła dostarczonego do gorącego zbiornika w temperaturze T_{heat}

ΔA to dostarczona praca sprężarki.

W celu umożliwienia porównania efektywności różnych pomp ciepła, producenci zwykle publikują wartości COP przy standardowych temperaturach dla podgrzewanej wody i solanki/powietrza. Dla gruntowych pomp ciepła, wartości COP są zwykle podane przy temperaturze parownika (temperaturze solanki) 0°C i przy temperaturach podgrzewanej wody równych 35°C (typowa temperatura dla dobrze zaprojektowanego systemu ogrzewania podłogowego), 45°C (typowa temperatura dla ogrzewania grzejnikami) i 60°C (typowa temperatura dla produkcji ciepłej wody użytkowej). Dla powietrznych pomp ciepła, wartości COP są zwykle określone w tych samych temperaturach dla podgrzewanej wody i przy temperaturze zewnętrznej 7°C lub 2°C.

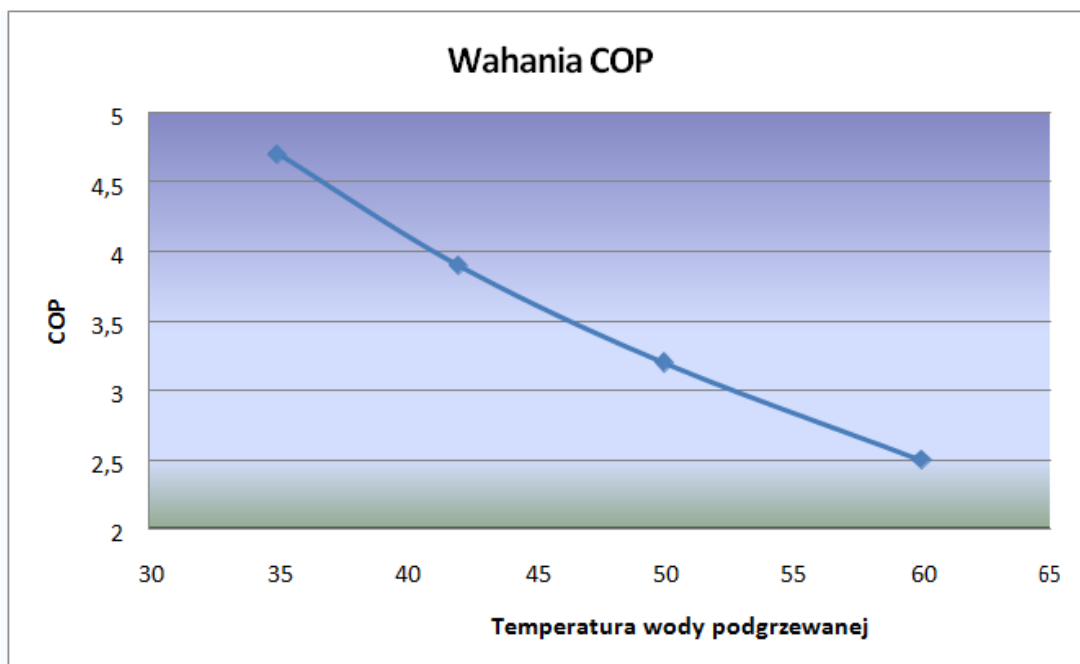
COP pomp ciepła powinno być ustalone wedle odpowiednio zdefiniowanej normy. Obecna europejska norma to EN14511. Ta norma zastąpiła dotychczasową normę EN 255. Wielu producentów nadal podaje swoje wartości COP wedle starej normy, co czasem stanowi źródło zamieszania. Nowa norma jest bardziej zachowawcza, gdyż bierze pod uwagę nie tylko zużycie elektryczności przez sprężarkę, lecz także zużycie przez pompy cyrkulacyjne. Ze względu na bardziej zachowawcze definicje, COP tej samej pompy ciepła może być do jednej jednostki niższe wedle nowej normy w porównaniu z wartością dla starej normy.



Rysunek 9. Wahania COP

Projekt systemu centralnego ogrzewania ma duży wpływ na COP; im niższa temperatura zasilania, tym wyższe COP. Najwyższe COP dla ogrzewania są tym samym osiągnięte w budynkach dobrze izolowanych, z właściwie wykonanym ogrzewaniem podłogowym.

Dla gruntowych pomp ciepła projekt systemu gruntowego wymiennika ciepła także wpływa na COP. Większy rozmiar wymiennik będzie skutkować wyższymi średnimi temperaturami napływającej solanki, i tym samym wyższym COP.



Rysunek 10. Wahania COP

Wykres (Rys. 9) przedstawia zróżnicowanie COP względem temperatury źródła ciepła produkującego ciepłą wodę w temperaturze 45°C (klimakonwektory). Aby otrzymać COP równe 4, niezbędne jest uzyskanie temperatury źródłowej równej 15°C (źródło gruntowe). Możemy zobaczyć, że gdy temperatura źródła spada do 0°C, COP jest równe 2,5°C (przyjęta temperatura powietrza zimą).

Wykres (Rys. 10) przedstawia zróżnicowanie COP względem temperatury ciepłej wody produkowanej przy temperaturze parownika równej 0°C. Aby otrzymać COP równe 4 niezbędne jest utrzymanie podgrzewanej wody na 35°C. Jest to możliwe tylko z odpowiednim systemem ogrzewania podłogowego. Jeśli stosowane są grzejniki, wówczas muszą być one dużych rozmiarów dla utrzymania temperatury tak niskiej, jak to możliwe. Jeśli chcemy wytwarzać ogrzewaną wodę o 60°C, COP spada do 2,5.

VII. ODNAWIALNE POMPY CIEPŁA

„DYREKTYWA 2009/28/EC” definiuje minimalne normy efektywności i udział produkcji odnawialnej dla pomp ciepła.

Ilość energii aerotermalnej, geotermalnej lub hydrotermalnej przekazywanej przez pompy ciepła uznawaną za energię ze źródła odnawialnego dla celów tej Dyrektywy (E_{odn}), będzie obliczona zgodnie z następującym wzorem:

$$E_{odn} = Q_{użył} * (1 - 1/SPF)$$

gdzie:

Qużyt = szacowane całkowite ciepło użyteczne dostarczane przez pompy ciepła spełniające kryteria podane w Artykule 5(4), stosowane następująco: Tylko pompy ciepła z $SPF > 1,15 \cdot 1/\eta$ będą brane pod uwagę

SPF = szacowany średni współczynnik wydajności sezonowej dla tych pomp ciepła

η jest stosunkiem między całkowitą produkcją elektryczności brutto i zużyciem energii pierwotnej dla produkcji elektryczności i jest obliczany jako średnia dla UE oparta o dane Eurostat. Obecnie wynosi on $SPF_{min} = 2,5$

Komisja Europejska ustanowiła wytyczne odnośnie tego, jak kraje członkowskie mają szacować wartości $Q_{użyte}$ i SPF dla różnych technologii i zastosowań pomp ciepła, uwzględniając różnice w warunkach klimatycznych (zwłaszcza dla bardzo chłodnego klimatu).

VIII. WNIOSKI

Pompa ciepła jest sercem gruntowej pompy ciepła. Główne aspekty, jakie projektant musi znać, by dokonać odpowiedniego wyboru pompy ciepła, są następujące:

- znać termodynamiczne procesy, o które oparte są pompa ciepła i różne komponenty (skraplacz, parownik, czynnik, zawór czterodrogowy)
- wiedzieć, jak działa pompa ciepła, zwłaszcza zróżnicowanie COP względem temperatury skraplacza i skraplacza parownika
- projektant musi poznać różnicę pomiędzy konwencjonalną pompą ciepła i gruntową pompą ciepła, oraz jej zalety.

Projektant musi dokładnie i starannie wykonać tę fazę, ponieważ wpływa ona na pozostały projekt gruntowa pompa ciepła.

IX. DODATKOWE INFORMACJE

Bibliografia

- ASHRAE Handbook. 2004. The Systems and Equipment volume. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta, GA.
- Outlook. 2009. European Heat Pump Statistic Summary. EHPA (European heat pump association).
- European Heat Pump Action Plan. EHPA 2008. European Heat Pump Association. <https://www.ehpa.org/script/tool/forg/doc496/EHPA%20action%20plan.pdf>
- Howell and Buckius, 1987. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. McGraw-Hill, New York.
- „DYREKTYWA 2009/28/EC PARLAMENTU I RADY EUROPEJSKIEJ” z 23 kwietnia 2009 w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych, zmieniająca i w następstwie uchylająca Dyrektywy 2001/77/EC i 2003/30/EC.
- Heating and cooling with a heat pump. 2009. Natural Resources Canada, Office of Energy Efficiency. http://oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/home/Heating_and_Cooling_with_a_Heat_Pump_Section4.cfm

Strony internetowe

- <http://www.ehpa.org/>
- <http://www.heatpumpcentre.org>
- <http://www.energysavers.gov>
- <http://www.uniseo.org/heatpump.html>
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>

- <http://www.energy.eu/directives/pro-re.pdf>



ROZDZIAŁ 11 – ZAPOTRZEBOWANIE CIEPŁA

autorzy Javier Urchueguía i Paul Sikora

I. WPROWADZENIE

Przy projektowaniu i opracowaniu zoptymalizowanego gruntowego wymiennika ciepła (GCHE) istotne są następujące parametry:

- warunki klimatyczne,
- typ budynku i jego profil zapotrzebowania energetycznego,
- warunki geologiczne i termiczne parametry podpowierzchniowe,
- konstrukcja otworu wiertniczego/wykopu, podsadzanie otworu wiertniczego/wykopu,
- właściwości hydrauliczne, typ i wymiary wymiennika ciepła (odporność na transport ciepła, utratę ciśnienia i moc pompowania) oraz właściwości ośrodka,
- hydrogeologia, wpływ na systemy pionowe i poziome (sezonowo zmienne poziomy wody podziemnej, strefy częściowego nasycenia itd.).

W podręczniku skupimy się na analizie profilu zapotrzebowania energetycznego budynku oraz na szczegółowych obliczeniach obciążenia cieplnego dla chłodzenia i ogrzewania, co będzie niezbędne dla przyszłych zadań w projekcie i dla ogólnego projektowania gruntowego wymiennika ciepła (GCHE). Obie te rzeczy reprezentują podstawowe aspekty koncepcji i końcowego wymiarowania systemu opartego o GCHE, gdyż wpływają na podstawowy bilans energii między gruntem otaczającym GCHE i instalacją.

Przy projektowaniu instalacji GCHE musimy wziąć pod uwagę zarówno szczytową moc, jak i zapotrzebowanie energetyczne, ponieważ tylko wtedy, gdy pompa ciepła pracuje, gruntowy wymiennik ciepła będzie pobierał lub absorbował ciepło. Ponieważ pompa ciepła ma moc dostosowaną do najgorszych warunków operacyjnych, to w momencie, gdy obciążenie cieplne budynku jest mniejsze, niż moc pompy ciepła, będzie to działać w sposób nieciągły. Wpływa to na opór termiczny gruntu, gdyż dla jej obliczenia musimy znać całkowitą ilość ciepła, jakie jest dostarczane lub pobierane podczas całego sezonu.

Projekt wszystkich instalacji cieplnych powinien być oparty o znajomość różnych czynników, takich jak: warunki wewnętrzne, jakie mają być osiągnięte, wpływ warunków zewnętrznych, oraz kryteria i zasady, które umożliwiają osiągnięcie korzyści, bezpieczeństwa i racjonalnego stosowania energii w budynku.

Każdy budynek ma różne poziomy komfortu, zastosowania końcowe, charakterystykę projektu itd. Tym samym, dzięki przestrzeganiu przepisów i wskazań podanych przez odpowiednie instytucje, można osiągnąć wzorzec projektu optymalnego i według wymaganej specyfikacji. Poza tym, parametry określające warunki zewnętrzne, takie jak: temperatura termometru suchego/mokrego, względna wilgotność, promieniowanie słoneczne itd., są niezbędne do ustalenia maksymalnego, natychmiastowego zapotrzebowania na ciepło, w celu dostosowania całego osprzętu i systemów budynku.

Gdy ustalone są warunki projektowe (tj. warunki wewnętrzne i zewnętrzne, izolacja termiczna budynku itd.), należy wziąć pod uwagę czynniki projektowe, istotne dla określenia wszystkich obciążeń cieplnych w każdym systemie ogrzewania i chłodzenia:

- konstrukcja fasady i jej orientacja,
- nasłonecznienie i ochrona powierzchni oszklonej,
- wpływ otoczenia budynku,
- godzinowa praca podsystemów,
- zyski termiczne ogrzewania,
- wskaźnik wentylacji i wyprowadzania.

Wszystkie obliczenia będą wykonywane oddzielnie dla każdej lokalnej części budynku, tak, iż uzyskany może być ładunek maksymalny i minimalny. Moc ogrzewania i chłodzenia, która powinna zostać dostarczona przez system pompy ciepła, musi być powiązana z sumą wszystkich obciążeń cieplnych uzyskanych przedtem, biorąc pod uwagę straty ciepła przez sieć dystrybucji. Z drugiej strony, dynamiczne symulacje są potrzebne w celu obliczenia profilu zapotrzebowania energetycznego budynku.

II. PODSTAWY TEORETYCZNE

Znajomość tych zagadnień jest zasadnicza dla projektantów. W zależności od ich podstawowego wykształcenia i doświadczenia (inżynier, geolog itd.), kwestie rozwoju mogą być bardziej lub mniej złożone.

II. 1. Przyrosty i obciążenia

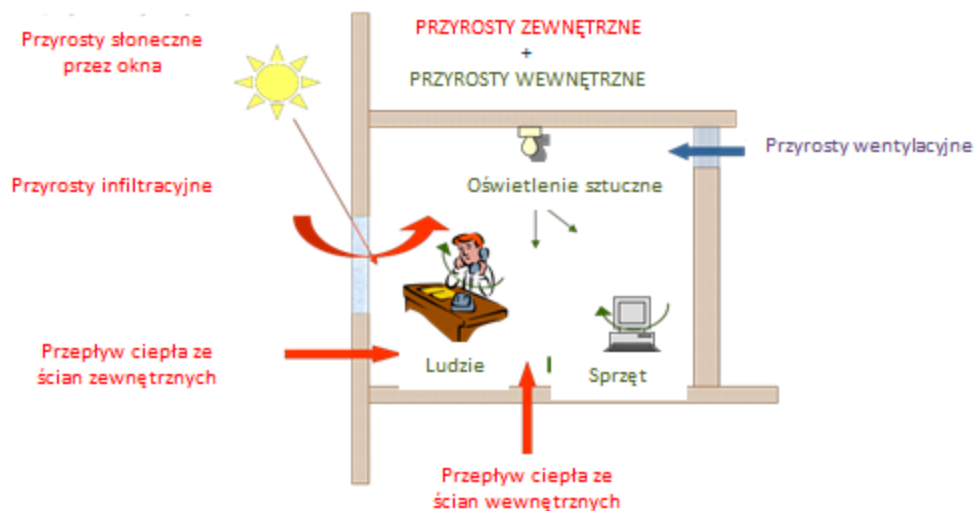
Obciążenie cieplne jest zdefiniowane jako moc grzewcza, która ma być pobrana lub dostarczana do budynku w celu utrzymania temperatury i wilgotności na poziomie stałym i równym ustalonej z góry wartości w warunkach projektowych.

Proces obliczenia obciążenia cieplnego ma dwa etapy:

- obliczenie strat i zysków ciepła. Przyrosty ciepła reprezentują natychmiastowy przepływ ciepła (pozytywny lub negatywny) z zewnątrz (otoczenie lub przyległe pomieszczenia) do wewnątrz,
- obliczenie obciążenia cieplnego.

Przepływ ciepła możemy podzielić na dwie grupy (Rys. 1):

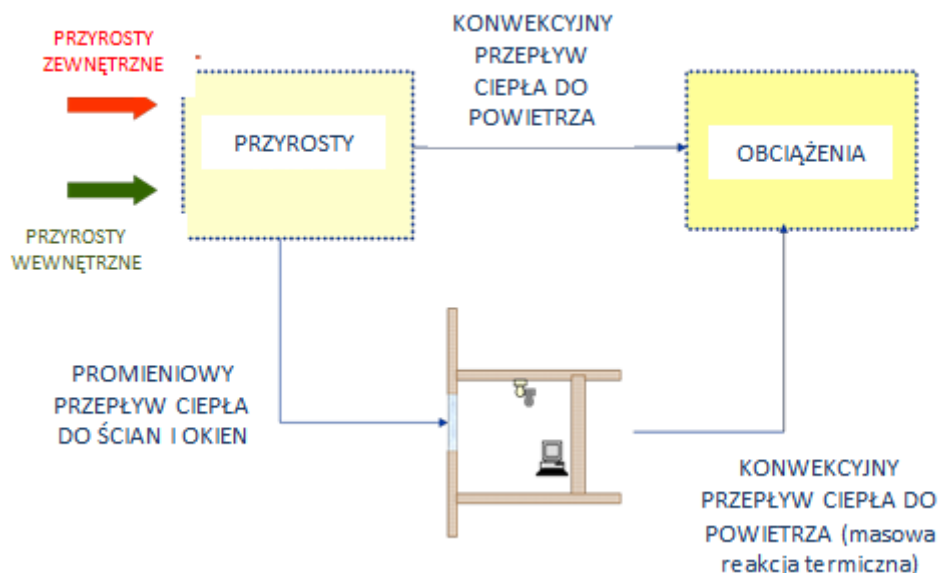
- Zyski zewnętrzne
 - zyski ciepła z promieniowania wchodzącego oknami i świetlikami,
 - zyski ciepła dzięki przewodnictwu przez ściany, sufity, okna będące w kontakcie z otoczeniem zewnętrznym,
 - zyski ciepła dzięki przewodnictwu przez ściany, sufity itd., będące w kontakcie ze środowiskiem o innej temperaturze,
 - zyski ciepła dzięki przewodnictwu przez ściany, podłogi będące w kontakcie z gruntem,
 - zyski infiltracyjne (przepływ powietrza tylko od wewnątrz).
- Zyski wewnętrzne
 - przyrost ciepła spowodowany wydzielaniem ciepła przez ludzi,
 - przyrost ciepła spowodowany sztucznym oświetleniem,
 - przyrost ciepła spowodowany pracą sprzętu.



Rysunek 1. Dynamiczna interakcja podsystemów w kontekście budowlanym

Oprócz powyższych, należy rozważyć zyski wentylacyjne (przepływ powietrza od zdefiniowanego przez użytkownika źródła, takiego jak system ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji).

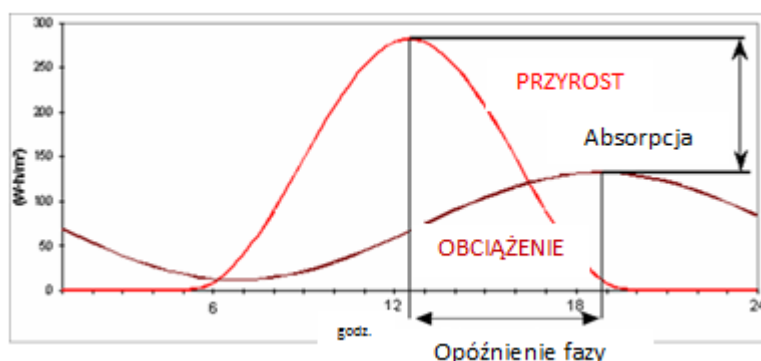
Każdy zysk ciepła ma dwie części: część konwekcyjną i część promieniowania (Rys. 2 i 3). Pierwsza bezpośrednio wpływa na wewnętrzną przestrzeń, dopóki druga jest absorbowana i magazynowana przez ściany wewnętrzne i jest dostarczana później do wewnętrznej przestrzeni przez konwekcję powietrza. Tym samym, konwekcyjna część zysków ciepła natychmiast zmienia się w obciążenie cieplne i część promieniowania przyrostu ciepła jest stłumiona i opóźniona, zanim zostanie uznana jako obciążenie cieplne. W celu uzyskania obciążenia cieplnego z części promieniowania przyrostu ciepła stosowana jest metoda funkcji transportu lub współczynników odpowiedzi.



Rysunek 2. Związek między przyrostami ciepła i obciążeniami

Metoda funkcji transportu lub współczynników odpowiedzi może być opisana jako metoda termicznej historii ściany. Ściana jest traktowana jak czarna skrzynka i w zależności od jej komponentów (warstwy, materiały itd.) cechuje się różnym zachowaniem termicznym.

Zasadniczo możemy rozróżnić ciężkie lub lekkie ściany z niską lub wysoką masą termiczną. Ciężka ściana jest utworzona przez materiały o wysokiej gęstości i znaczącej grubości, zaś masa termiczna ściany jest scharakteryzowana przez przewodnictwo termiczne i pojemność cieplną materiałów.



Rysunek 3. Graficzny przykład obciążenia i przyrostu

II. 2. Obliczenie zysków ciepła

Ten rozdział opisuje matematyczne modele do obliczenia przyrostów ciepła. Celem jest podstawowe zrozumienie modeli, które są wdrażane w różnych kodach numerycznych dostępnych na rynku dla obliczania ładunków ciepła i symulacji profilu energetycznego budynku.

II. 2. 1. Ściany zewnętrzne

Zazwyczaj ściany zewnętrzne są modelowane według stosunków funkcji transportu według Mitalasa (1971) zdefiniowanych od powierzchni do powierzchni. Dla dowolnej ściany, przewodnictwo ciepła na powierzchni wewnętrznej w obecnym czasie n jest opisane następująco:

$$(1) \quad \dot{Q}(n) = \sum_{i=0} a_i E(n-i) - \sum_{i=1} b_i Q(n-i)$$

gdzie:

a i b to współczynniki funkcji transformaty „z”

E reprezentuje temperaturę powierzchni zewnętrznej.

Liczba kroków czasowych (n) potrzebnych do obliczeń przedstawia to, czy ściana jest ciężka lub lekka, o wysokiej lub niskiej masie termicznej. Jeśli dla opisu termicznego zachowania ściany należy uwzględnić tylko kilka kroków czasowych, wyrażenie (1) może być zastąpione przez definicję rezystancji termicznej z pominięciem masy termicznej.

II. 2. 2. Ściany wewnętrzne

W celu obliczenia przyrostów ciepła dla wewnętrznych ścian (Rys. 4), hipoteza niskiej masy termicznej i stałych warunków granicznych (temperatura powierzchni ściany) jest następująca:

$$(2) \quad \dot{Q} = \frac{\Delta T}{\frac{1}{h_1} + \sum_n \frac{\Delta x_i}{K_i} + \frac{1}{h_2}}$$

gdzie:

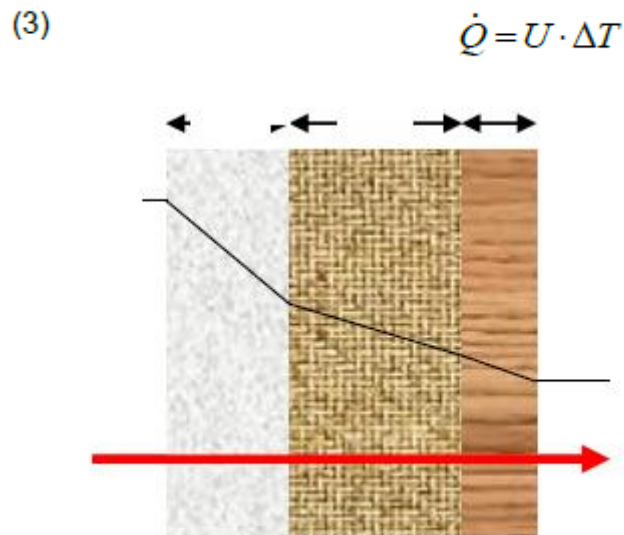
h jest współczynnikiem konwekcyjnego transportu ciepła na powierzchni (W/m^2K)

T jest gradientem temperaturowym przez ścianę (K)

x to miąższość warstwy I (m)

K to przewodnictwo termiczne warstwy I (W/mK).

Powyższe wyrażenie może być także zapisane jako (3), gdzie U jest globalnym współczynnikiem transportu:

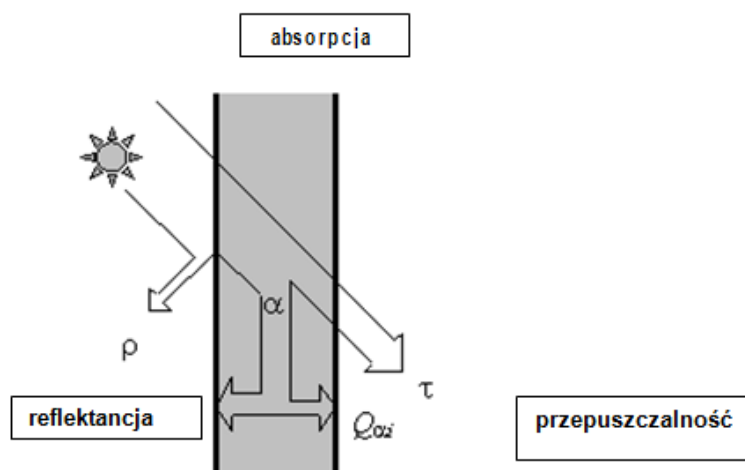


Rysunek 4. Przesył ciepła w ścianach wewnętrznych

Na przykład, w Hiszpanii maksymalne wartości U rekomendowane dla ścian zewnętrznych różnią się według klimatu obszaru (1,2 (obszar ciepły) i 0,74 (strefa zimna)). Dla ścian wewnętrznych wartości te wahają się od 1,22 (strefa gorąca) do 1,00 (strefa zimna)).

II. 2. 3. Przyrosty ciepła przez okna

Transport ciepła przez powierzchnie szklane jest z jednej strony spowodowany gradientem temperaturowym między dwiema powierzchniami szklanymi, który określa przewodzenia ciepła, a z drugiej strony, ze względu na padające promieniowanie słoneczne, powodując zjawisko znane jako promieniowanie (Rys. 5).



Rysunek 5. Skutki promieniowania słonecznego przez okna

W celu obliczenia transportu ciepła przez przewodnictwo możemy zastosować wyrażenie (3), ze względu na niską pojemność cieplną powierzchni szklanych.

Aby uwzględnić efekt promieniowania słonecznego, można zdefiniować współczynnik solarny szkła (SF) jako stosunek między całkowitą energią, jaka dostaje się przez przeszklenie, i energią słoneczną, jaka uderza w powierzchnię na zewnątrz szkła.

Energia ta jest sumą bezpośredniego transportu ciepła i zaabsorbowanej części energii słonecznej transportowanej przez okno z powodu konwekcji:

$$(4) \quad SF = \tau_D I_D + \tau_d I_d + h_i \frac{\alpha_D I_D + \alpha_d I_d}{h_e + h_i}$$

gdzie:

τ , α i ρ są współczynnikami przepuszczalności, absorpcji i reflektancji o wartościach pomiędzy 0 i 1 według właściwości szkła

h jest współczynnikiem konwekcyjnego transportu ciepła na wewnętrznej lub zewnętrznej powierzchni okna (W/m^2K)

I_D jest bezpośrednim promieniowaniem słonecznym (W/m^2)

I_d jest rozproszonym promieniowaniem słonecznym (W/m^2)

II. 2. 4. Przyrosty infiltracyjne i wentylacyjne

Cała energia przedostająca się przez infiltrację i/lub wentylację może być uznana za czysto konwekcyjną, dlatego dowolny przyrost ciepła natychmiast staje się obciążeniem cieplnym. Przyrost (lub strata) ciepła jest uzyskany przez bilans energii wykonywany na objętości powietrza zewnętrznego:

$$(5) \quad \dot{Q}_{inf} = \dot{m}_{inf} \rho C_p (T_{outside} - T_{inside})$$

$$(6) \quad \dot{Q}_{vent} = \dot{m}_{vent} \rho C_p (T_{vent} - T_{inside})$$

gdzie:

ρ (Kg/m^3) i C_p (J/KgK) to gęstość powietrza i właściwa pojemność cieplna powietrza.

Dla obliczenia infiltracyjnego ładunku ciepła, masowe natężenie przepływu ($\dot{m}_{inf}$) (m^3/s) oszacowane jest metodami empirycznymi, podczas gdy parametry wentylacji (masowe natężenie przepływu, $\dot{m}_{vent}$ (m^3/s) i temperatura T_{vent}) (K) są ustalone przez legislację krajową.

II. 2. 5. Wewnętrzne zyski ciepła

Wewnętrzne zyski ciepła są czynnikami, których wspólną cechą jest to, że źródło ciepła znajduje się wewnątrz klimatyzowanej przestrzeni: ludzie, oświetlenie sztuczne i sprzęt. Natychmiastowy przyrost ciepła z tych źródeł może być wyrażony następująco:

$$(7) \quad \dot{Q} = n \dot{Q}_0 f$$

gdzie:

Dla ludzi, Q zależy od n (liczby), Q_0 (stopnia aktywności, czynników ubioru itd.), f (harmonogram)

Dla oświetlenia sztucznego, Q zależy od n (liczby), Q_0 (typu lampy), f (strategii kontroli, harmonogramu)

Dla sprzętu, Q zależy od n (liczby), Q_0 (zainstalowanej mocy), f (harmonogramu)

W obliczaniu przyrostów wewnętrznych powinno się uwzględnić zarówno ciepło wyczuwalne, jak i ciepło utajone, ze względu na fakt, iż efekt bilansu wilgoci jest istotny dla chłodzenia.

III. PODSTAWY PRAKTYCZNE

III. 1. Metody obliczeń obciążeń termicznych

III. 1. 1. Normy europejskie (Dick van Dijk i Marleen Spiekman)

Norma EN ISO 13790 Wydajność termiczna budynków - Obliczenia zużycia energii dla ogrzewania i chłodzenia przestrzeni.

W Europie, po publikacji z grudnia 2002 r. na temat dyrektywy o energetycznej wydajności budynków (EPBD, EPBD 2002) nastąpiło upoważnienie dla CEN do opracowania zestawu norm dotyczących wydajności energetycznej w budynkach (M343 2004), w celu wsparcia państw członkowskich UE w narodowym wdrażaniu EPBD. Więcej informacji na temat norm CEN podano w tak zwanym „dokumencie ogólnym” CEN (CEN/TR 15615 2007 r.).

W 1995 r. została opracowana europejska norma EN 832 (EN 832 1995 r.), zawierająca metodę uproszczonego obliczania zużycia energii dla ogrzewania budynków mieszkalnych. Jej następczynią jest cytowana wyżej EN ISO 13790:2003, obejmująca także budynki niemieszkalne. W ramach upoważnienia 343 dla CEN dla wspierania EPBD, wersja tej normy międzynarodowej z 2004 r. została uzupełniona o obliczenia energii stosowanej dla chłodzenia przestrzeni i dodatkowe cechy (EN ISO 13790 2007 r.).

W skrócie, nowa EN ISO 13790:2008 podaje metody obliczeń dla oceny rocznego zużycia energii dla ogrzewania i chłodzenia przestrzeni budynku mieszkalnego lub niemieszkalnego, lub jego części, określanej jako „budynek”.

Metoda ta obejmuje obliczenia:

- transportu ciepła przez przekazywanie i wentylację w strefie budynku podczas ogrzewania lub schładzania do stałej wewnętrznej temperatury,
- udział wewnętrznych i słonecznych przyrostów ciepła w bilansie ciepła budynku,
- roczne potrzeby energetyczne dla ogrzewania i chłodzenia, dla utrzymania określonych punktów nastawy temperatur w budynku – nie uwzględniając ciepła utajonego,
- roczne zużycie energii na ogrzewanie i chłodzenie budynku, stosując dane z odpowiednich norm systemowych podanych w ISO 13790:2008 i określonych w Aneksie A.

Norma ISO 13790:2008 podaje także alternatywną, prostą metodę godzinową, stosującą godzinowe harmonogramy użytkownika (takie jak punkty nastawy temperatur, tryby wentylacji lub harmonogramy pracy ruchomych przesłon słonecznych).

Podane są procedury dla stosowania bardziej szczegółowych metod symulacji, w celu zapewnienia kompatybilności i spójności między zastosowaniem i wynikami różnych typów metody. Na przykład, norma ISO 13790:2008 przedstawia wspólne zasady dla warunków granicznych i fizycznych danych wejściowych niezależnie od wybranego podejścia do obliczenia.

Norma ISO 13790:2008 została opracowana dla budynków, które są, lub zakłada się, że są, ogrzewane i/lub chłodzone dla komfortu termicznego ludzi, lecz może być stosowana dla innych typów budynków lub innych typów użytkowania (np. przemysłowe, rolnicze, baseny), o ile wybrane są odpowiednie dane wejściowe i uwzględniony jest wpływ specjalnych warunków fizycznych na dokładność.

Procedury obliczeń w ISO 13790:2008 są ograniczone do odczuwalnego ogrzewania i chłodzenia. Zużycie energii spowodowane nawilżaniem jest obliczone w odpowiedniej normie dotyczącej wydajności energetycznej systemów wentylacji, jak określono w Aneksie A; podobnie, zużycie energii spowodowane osuszaniem jest obliczone w odpowiedniej normie dotyczącej wydajności energetycznej systemów chłodzenia, jak określono w Aneksie A.

Norma ISO 13790:2008 ma zastosowanie do budynków projektowanych i do budynków istniejących. Dane wejściowe wymagane bezpośrednio lub pośrednio przez ISO 13790:2008 powinny być dostępne z akt budynku lub samego budynku. Jeśli tak nie jest, w odpowiednich miejscach w ISO 13790:2008 jest jasno podane, że na poziomie krajowym może zapaść decyzja pozwalająca na wykorzystanie innych źródeł informacji. W tym przypadku użytkownik raportuje, które dane wejściowe zostały zastosowane i z którego źródła. Zazwyczaj, dla oceny wydajności energetycznej wykonanej dla świadectwa wydajności energetycznej, na poziomie krajowym lub regionalnym zdefiniowany jest protokół dla określenia typu źródeł informacji i warunków, w których mogą być one zastosowane, zamiast pełnego wymaganego wkładu.

III. 1. 2. Normy ASHRAE

Metoda funkcji transportu (TFM) jest dobrze znaną normą rekomendowaną przez ASHRAE (Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Ogrzewnictwa, Chłodnictwa i Klimatyzacji). Może być uznana za najczęściej stosowane narzędzie dostępne obecnie dla analizy termicznej budynku. (ASHRAE Handbook of Fundamentals, 2005. Chapter 32, Energy Estimating and Modelling Methods; ASHRAE Handbook of Fundamentals, 2009. Chapter 18, Non-residential Cooling and Heating Load Calculation).

III. 1. 3. Metoda stopniodni

Stopniodnie chłodzenia lub ogrzewania (CDD, HDD) to ilościowe wskaźniki zaprojektowane, aby odzwierciedlać zapotrzebowania na energię potrzebną do chłodzenia lub ogrzewania budynku. Wskaźniki te pochodzą od dziennych obserwacji temperatury, a wymagania dla ogrzewania lub chłodzenia danej struktury w konkretnej lokalizacji są uznane za wprost proporcjonalne do ilości HDD/CDD w tej lokalizacji.

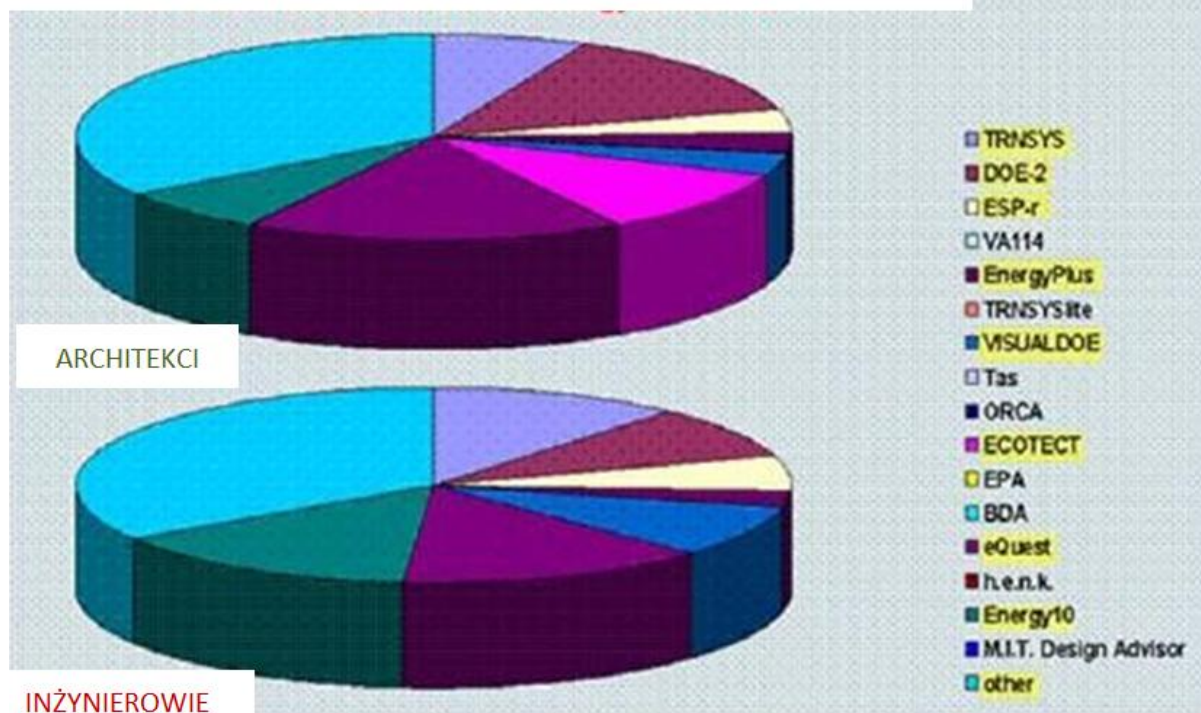
Na przykład, HDD są zdefiniowane w odniesieniu do temperatury bazowej - temperatury zewnętrznej, powyżej której budynek nie wymaga ogrzewania. Najbardziej odpowiednia temperatura bazowa dla dowolnego wybranego budynku zależy od temperatury, do której budynek jest ogrzewany oraz od charakteru budynku (w tym będący źródłem ciepła mieszkańców i sprzęt wewnątrz budynku). Dla obliczeń dotyczących wybranego konkretnego budynku, HDD powinny być dobrane z najbardziej odpowiednią temperaturą bazową dla tego budynku.

Istnieją różne sposoby obliczenia HDD; im bardziej szczegółowy zapis danych temperaturowych, tym bardziej dokładne jest HDD, które może być obliczone. Jednakże, większość HDD jest obliczana z zastosowaniem prostych metod przybliżenia, które stosują dzienne odczyty temperatury zamiast bardziej szczegółowych zapisów temperatury, takich jak odczyty co pół godziny. Jedną z popularnych metod przybliżenia jest pobieranie średniej temperatury z dowolnego danego dnia i odjęcie jej od temperatury bazowej. Jeśli wartość jest mniejsza niż, lub równa zero, dzień ten ma zerowe HDD. Jeśli wartość jest dodatnia, liczba ta przedstawia liczbę HDD na ten dzień.

III. 2. Programy do symulacji zapotrzebowania energetycznego budynku

Pomimo dużej liczby programów modelujących energetykę budynku dostępnych na rynku, większość nie jest dedykowana profesjonalnym projektantom lub ich stosowanie jest ograniczone do obliczania obciążeń cieplnych dla dobierania wymiarów systemów klimatyzacji. Według badania Czeskiego Uniwersytetu Technicznego (Rys. 6), najczęściej stosowanymi programami do modelowania używanymi przez architektów i inżynierów są: eQuest, Energy10, DOE-2, TRNSYS, VISUALDOE, ECOTECT, ESP-r, EnergyPlus.

Jakie OPROGRAMOWANIE jest stosowane w symulacji energetycznej?



Rysunek 6. Oprogramowanie stosowane w symulacji energii (Altavilla et. al, 2004)

Nowa Dyrektywa 2010/31/EU (przeredagowana dyrektywa w sprawie charakterystyki energetycznej budynków), zatwierdzona 19 maja 2010 r., przewiduje rozwój europejskiego programu symulacji energetyki budynków.

III. 3. Przykład

Jako przykład przedstawimy studium przypadku dla profilu obciążenia, wykonane dla istniejącego obszaru mieszkalnego w mieście Walencja (Hiszpania). Oprogramowanie stosowane do oceny profilu obciążenia dla ogrzewania i chłodzenia to CALENER (2001), pakiet wykonany dla scharakteryzowania wydajności energetycznej budynków w Hiszpanii.

III. 3. 1. Ogólny opis kompleksu mieszkalnego

Kompleks mieszkalny składa się z 10 bloków; każdy blok ma parter z przestrzenią do parkowania i obszary komercyjne oraz trzy piętra apartamentów. Każde piętro liczy sobie dwa mieszkania mające identyczny rozkład, rozlokowane wokół wewnętrznego patio, w kierunku którego zorientowane są trzy z czterech sypialni. Okno w klatce schodowej jest także zwrócone ku wewnętrznemu patio.

Każde mieszkanie ma powierzchnię 65,33 m² i składa się z kuchni, salonu, toalety, łazienki, magazynu, czterech sypialni i korytarza. Ponadto, każde piętro posiada korytarz klatki schodowej i wewnętrzne patio. Dwie fasady budynku zorientowane są na północ i na południe; po każdej stronie są balkony. Główne wejście do budynku jest usytuowane na fasadzie południowej. Ze względu na ich

identyczne funkcje i zorientowanie, toaleta i łazienka zostały wymodelowane jako pojedyncza przestrzeń. To samo dotyczy sypialni 3 i 4.

Salon i cztery sypialnie są strefami klimatyzowanymi, podczas gdy reszta pomieszczeń i garaż uznawane są za nieklimatyzowane.

Łącznie (m²)	Klimatyzowane (m²)	Nieklimatyzowane (m²)
56,3	25,4	30,9

III. 1. 2. Profile obciążenia dla ogrzewania i chłodzenia

Tabela 1 przedstawia zapotrzebowania na ogrzewanie i chłodzenie dla każdego miesiąca w roku, rozróżnione w następujący sposób:

- dla ogrzewania: przewodnictwo ścian, przewodnictwo dachów, przewodnictwo gruntu, infiltracje, przewodnictwo okien, ogrzewanie słoneczne przez okna, obecność osób, oświetlenie i sprzęt,
- dla chłodzenia: przewodnictwo ścian, przewodnictwo dachów, przewodnictwo gruntu, infiltracje wyczuwalne, infiltracje utajone, przewodnictwo okien, ogrzewanie słoneczne przez okna, obecność osób wyczuwalna, obecność osób utajona, oświetlenie i sprzęt wyczuwalne oraz sprzęt utajony.

Dla lepszego zrozumienia wyników przedstawionych w tabeli należy wziąć pod uwagę przedstawione poniżej kwestie.

Po pierwsze, poziomy temperatury i wilgotności względnej ustalone dla oceny zapotrzebowania energetycznego są różne dla trybów ogrzewania i chłodzenia. Z tego powodu, dla tego samego czasu można znaleźć różne zapotrzebowania dla różnych temperatur i poziomów wilgotności. Wartość 20°C może być ustalona jako temperatura dla zapotrzebowania na ogrzewanie, a 24°C dla oceny zapotrzebowania na chłodzenie.

Należy także wziąć pod uwagę, że podczas okresu symulacji (np. jeden miesiąc) różne części obciążenia mogą mieć przeciwne znaki, podczas gdy to suma tych części, wartość całkowita lub netto, określa zapotrzebowania na ogrzewanie (w przypadku wartości ujemnej) lub na chłodzenie (dodatnia wartość netto). Podczas analizy obciążenia grzewczego, na przykład w styczniu, można znaleźć pewne części o wartościach ujemnych (zwykle przewodnictwo przez ściany, dachy, okna i grunt oraz infiltracje) i inne części o wartościach dodatnich (zwykle energia zużyta przy oświetleniu, sprzęt elektryczny, energia generowana przez ludzi w budynku i promieniowanie słoneczne, jakie dostaje się przez okna).

Niełatwo jest przewidzieć, czy budynek podczas danego okresu będzie objęty reżimem ogrzewania czy chłodzenia (poza sytuacjami oczywistymi). Tym samym, zapotrzebowanie energetyczne musi być ocenione dla każdego reżimu i każdego okresu (choćby CALENER ocenia każdą godzinę, przedstawione wyniki podają tylko informację miesięczną). Następnie, całkowite wartości (suma części obciążenia) dla ogrzewania i chłodzenia mogą być porównane dla każdego miesiąca w celu przewidzenia reżimu, jaki będzie miał miejsce.

Tabela 1. Zapotrzebowanie na ogrzewanie i chłodzenie dla każdego miesiąca

TRYB GRZEWczy (kWh) – BLOK MIESZKALNY W WALENCJI

Komponent	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień	paźdz.	listop.	grudzień	łącznie
Przewodzenie ściany	-	-	-9590	-2400	-870	0	0	0	10	-370	-9720	18340	-72230
Przewodzenie dachy	-	-	-3810	-380	-360	0	0	0	0	-330	-5580	10220	-37190
Przewodzenie grunt	-1950	-1750	-1860	-1550	-780	-20	0	0	-10	-620	-1690	-1950	-12180
Przewodzenie okna	-	-	-7180	-3550	-1390	-10	0	0	-10	-1220	-6930	10880	-50790
Promieniowanie słoneczne	7750	6870	6350	3270	1120	0	0	0	10	820	5050	7120	38360
Oświetlenie	6060	5040	4720	2830	1270	10	0	0	10	1040	4690	6050	31720
Infiltracja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	33590	26600	24420	13620	-5560	-50	0	0	-50	-4380	20790	32140	161200
Osoby	7330	6240	6080	4150	2010	40	0	0	30	1780	6010	7320	40990
Sprzęt	6060	5050	4720	2830	1270	10	0	0	10	1040	4690	6050	31730
łącznie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	48080	32490	24990	-8420	-3290	-20	0	0	0	-2240	24270	46990	190790

TRYB CHŁODZENIA (kWh) – BLOK MIESZKALNY W WALENCJI

Komponent	Sty	Lut	Mar	Kwi	Maj	Cze	Lip	Sier	Wrz	Paź	Lis	Gru	łącznie
Przewodzenie Ściany	-790	-1270	-1410	-1040	4680	13160	21690	22800	16420	4030	-730	-810	76730
Przewodzenie Dachy	-180	-470	-640	640	5180	9020	13010	12230	7670	870	-570	-160	46600
Przewodzenie Grunt	0	-10	-90	-340	-1170	-1870	-1950	-1950	-1880	-1330	-190	0	-10780
Przewodzenie Okna	-280	-440	-680	-1290	0	3100	6800	7080	3980	-190	-420	-290	17370
Promieniowanie słoneczne Okna	3120	5500	10880	15500	19810	21640	23370	22280	19430	15360	6150	2770	165810
Oświetlenie	440	830	1780	3460	5230	6270	6500	6500	6280	5450	1600	450	44790
Infiltracja	-1370	-2400	-4420	-7410	-6680	80	9410	10760	3620	-4890	-2610	-1270	-7180
Osoby	380	730	1630	3300	5700	7420	7710	7710	7430	5930	1450	380	49770
Sprzęt	440	830	1780	3470	5240	6280	6500	6500	6280	5460	1600	450	44830
łącznie	1760	3300	8830	16290	37990	65100	93040	93910	69230	30690	6280	1520	427940

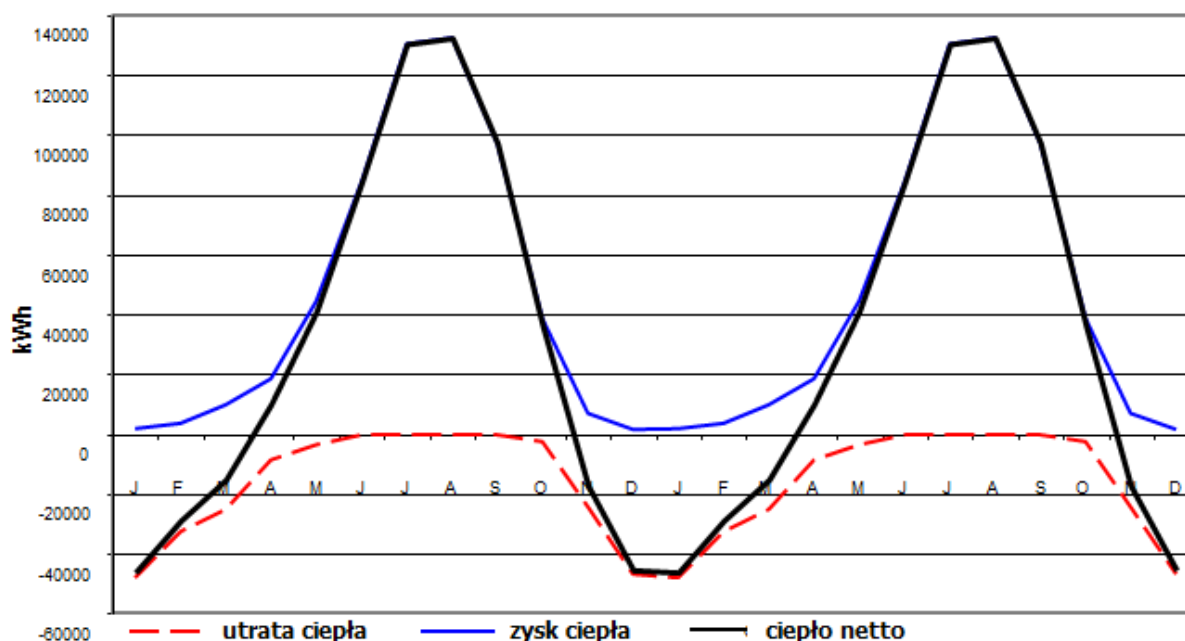
Uwaga: Należy podkreślić, że o ile obciążenia chłodzenia widoczne są w miesiącach wyraźnych warunków zimowych, to użytkownik musi z różnych powodów bardzo ostrożnie interpretować te dane:

- Po pierwsze, pojawienie się wartości dodatnich netto w miesiącach zimowych oznacza tylko tyle, że podczas niektórych godzin w miesiącu bilans netto był dodatni, stąd miał miejsce przyrost ciepła.
- Po drugie, stosunek między godzinami przyrostu ciepła (chłodzenie) i godzinami straty ciepła (ogrzewanie) określa, czy podczas konkretnego miesiąca budynek jest w trybie ogrzewania, chłodzenia lub czy jest obiektem inwersji termicznej.
- W pewnych strefach budynku, takich jak przestrzeń wewnętrzna, chłodzenie może być potrzebne podczas całego roku, gdyż straty ciepła są bardzo niskie i zawsze mniejsze, niż wewnętrzne przyrosty ciepła.

Ujemne wartości reprezentują straty ciepła, dodatnie wartości reprezentują przyrost ciepła. Przy chłodzeniu, straty ciepła są skutkiem pozytywnym, ponieważ redukują ilość energii, jaka musi być rozproszona przez systemy chłodzące.

Analiza danych przedstawionych w powyższych tabelach pokazuje, że częścią wywołującą najwyższe obciążenie chłodnicze jest promieniowanie słoneczne przez okna, o wartości całkowitej równej

165 810 kWh na rok. W celu redukcji słonecznego przyrostu ciepła zainstalowane może być szkło odbijające (które będzie miało negatywny wpływ na obciążenie grzewcze), lub można zastosować inne rodzaje ochrony. Wyniki pokazują także, że głównymi czynnikami, jakie mają wpływ na obciążenie grzewcze, są infiltracja (-161 200 kWh/rok), następnie straty przewodnictwa przez ściany (-72 230 kWh/rok) i w mniejszym stopniu przez okna i dachy. Istotne jest, by pamiętać, że jest to przykładem obliczeń obciążenia ogrzewania i chłodzenia dla prawdziwego bloku mieszkalnego w Walencji (Hiszpania).



Rysunek 7. Całkowite wartości miesięczne zarówno dla chłodzenia jak i ogrzewania w bloku mieszkalnym w Walencji

Profil obciążenia może różnić się znacznie w zależności od kilku czynników, takich jak: orientacja budynku, klimat, cienie rzucone przez sąsiednie budynki, materiały stosowane w ścianach, dachach, drzwiach, oknach i podłogach, liczba lokatorów, oświetlenie sztuczne i naturalne, sprzęt, zróżnicowanie wilgotności powietrza, infiltracje, wentylacja, kontrola oświetlenia itd.

Wykres przedstawiony na Rysunku 7 przedstawia przewagę chłodzenia w obrazie rocznym: podczas siedmiu miesięcy wymagane jest chłodzenie, natomiast tylko podczas pięciu miesięcy włączone musi być ogrzewanie. Ponadto, maksymalne obciążenie chłodzenia jest dwa razy wyższe, niż maksymalne obciążenie grzewcze.

III. 4. Obszary i zastosowania w Europie

Regionalne różnice klimatu, tradycji budowlanej i zachowania użytkowników w Europie będą mieć wpływ na procedury obliczeń, dane wejściowe i w konsekwencji na wydajność energetyczną.

Kilka norm umożliwia wykonanie wyborów między różnymi opcjami na poziomie krajowym. Niektóre normy zawierają metodę odniesienia (często szczegółową) i dopuszczają aneksy krajowe z (często uproszczonymi) metodami krajowymi. Większość norm pozwala, by dane wejściowe i warunki brzegowe były określone na poziomie krajowym. Dotyczy to także EN ISO 13790.

IV. WYDAJNOŚĆ ENERGETYCZNA I OCENA EKONOMICZNEJ KORZYŚCI KOSZTOWEJ

Obliczenie zapotrzebowania energetycznego budynku wpływa na projekt gruntowego wymiennika ciepła w następujące sposoby:

- długoterminowa ocena warunków termicznych gruntu w obliczu wymagań opartych o zapotrzebowanie na energię termiczną (obciążenie bazowe), tj. zwiększona lub obniżona temperatura podłoża
- zachowanie gruntu przy mocy szczytowej wymaganej przez instalację (obciążenie szczytowe), tj. analiza degradacji, która może nastąpić w zakopanych rurach ze względu na pracę w skrajnej temperaturze w pompie ciepła.

Z tego powodu, właściwy szacunek profilu energetycznego budynku jest istotny dla dobrze zwymiarowanego gruntowego wymiennika ciepła w celu uzyskania odpowiedniej wydajności systemu, co także wpływa na inwestycję w jego wybudowanie. Poza zapotrzebowaniem energetycznym budynku, przedstawia on główne dane potrzebne do obliczenia zwrotu z instalacji.

V. WNIOSKI

Według ogólnego wniosku, wymagane są dwa kroki dla konfiguracji systemów ogrzewania i chłodzenia:

- obliczenia obciążenia cieplnego,
- analiza zapotrzebowania ciepła lub chłodu.

Oba są podstawowymi aspektami przy tworzeniu i końcowym wymiarowaniu systemu opartego o gruntowe wymienniki ciepła (GCHE), ponieważ wpływają one na zachowanie się gruntu i wydajność systemu.

Tym samym, w celu ustalenia obciążenia cieplnego niezbędne są:

- zidentyfikowanie charakterystyki konstrukcji (materiały, wymiary, kształt i kolor zewnętrzny), informacje środowiskowe (dane klimatyczne, wybór warunków projektu),
- wybranie wewnętrznych warunków projektowych (temperatura, wilgotność i wentylacja),
- wybór charakterystyki miejsca (wymagania oświetleniowe, działalność mieszkańców, powiązany sprzęt i procesy),
- wybór dnia i godziny, dla której ustalane jest obciążenie, korzystnie dla maksymalnych i minimalnych wymagań.

Dobrym narzędziem dla tych obliczeń jest norma EN ISO 13790:2008, która podaje metodę dla oceny rocznego zużycia energii dla ogrzewania i chłodzenia przestrzeni budynku mieszkalnego lub niemieszkalnego. Bardziej skomplikowanymi narzędziami do obliczania profilu zapotrzebowanie energetycznego budynku są programy do symulacji dynamicznej.

VI. DODATKOWE INFORMACJE

Bibliografia

1. Stephenson, D.G., Mitalas, G.P. 1971. Calculation of Heat Conduction Transfer Functions for Multi-Layer Slabs. Doroczne Spotkanie ASHRAE, Washington, D.C., 22-25 sierpnia 1971.
2. Mitalas, G.P., Arseneault, J.G. 1967. FORTRAN IV Program to Calculate z-Transfer Functions for the Calculation of Transient Heat Transfer Through Walls and Roofs. Division of National Research Council of Canada, Ottawa.
3. Van Dijk, D., Spiekman, M. 2007. CEN STANDARDS FOR THE EPBD – CALCULATION OF ENERGY NEEDS FOR HEATING AND COOLING Business unit Building and Systems, TNO Built Environment and Geosciences, Delft, Holandia.
4. CALENER. 2001. Manual de Usuario Versión 2.0. Grupo de Termotecnia, Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla.

Normy obciążenia termicznego

1. EN ISO 13790:2008 Thermal performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling.
2. ASHRAE Handbook of Fundamentals 2009.

Programy symulacyjne dla energetyki budynków

1. www.doe2.com/equest [www.nrel.gov/buildings/energy10 simulationresearcher.lbl.gov](http://www.nrel.gov/buildings/energy10_simulationresearcher.lbl.gov)
2. sel.me.isc.edu/trnsys
3. www.ecotec.com
4. www.energyplus.gov www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm

ROZDZIAŁ 12 - KONSTRUKCJA OTWOROWYCH WYMIENNIKÓW CIEPŁA

autor: Burkhard Sanner

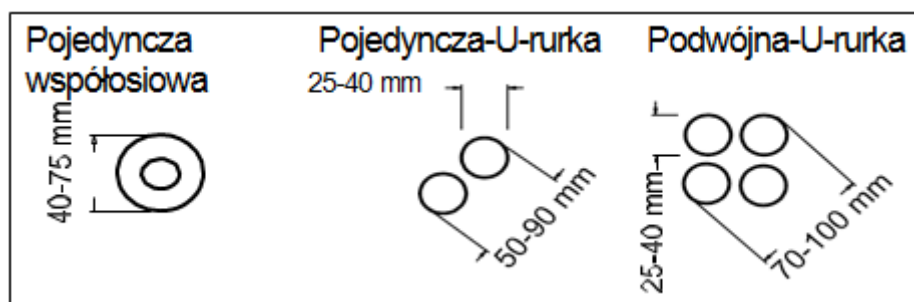
I. WPROWADZENIE

Otworowy wymiennik ciepła (pionowy GWC) ma na celu przenoszenie płynu pod ziemią i umożliwienie wymiany ciepła od podłoża do płynu (pobór ciepła, systemowy tryb ogrzewania) lub dla wymiany od płynu do podłoża (załaczanie ciepła, systemowy tryb chłodzenia). pionowy GWC składa się z rur zawierających płyn; ponieważ musi on być zainstalowany do konkretnej głębokości, jest typowo długi i smukły. pionowy GWC musi zawierać projekt powrotu płynu z najgłębszego punktu w otworze wiertniczym z powrotem na powierzchnię.

W Rozdziale 1, Rysunek 3 pokazano różne metody sprzęgania obiegu płynu wewnątrz pionowy GWC z pompą ciepła. Ze względu na potrzebę cyrkulacji płynu w dół do ziemi i ponownie w górę, istnieje kilka podstawowych opcji dla pionowy GWC:

- rury współosiowe (lub koncentryczne), znane także jako rura w rurze,
- u-rury (dwie lub więcej prostych rur połączonych na spodzie),
- tylko dla rur grzewczych (patrz Rozdział 1, Rysunek 3). Pojedyncza rura jest wystarczająca, gdyż para może wznosić się w górę w centrum rury, podczas gdy skropliny przepływają w dół wzdłuż ścian rury.

Na przestrzeni ponad 60 lat rozwoju pionowego GWC opracowane i przetestowane zostały różne alternatywy dla takich projektów. Ze względu na opłacalność, przeważa kilka raczej prostych projektów (Rys. 1). Pionowy GWC są umieszczane w otworach wiertniczych, a pierścień pozostający między rurami i ścianą otworu wiertniczego jest wypełniony specjalnym materiałem cementującym (patrz Rozdział 15) lub wodą, jeśli otwór wiertniczy jest stabilny (ograniczone do Skandynawii).

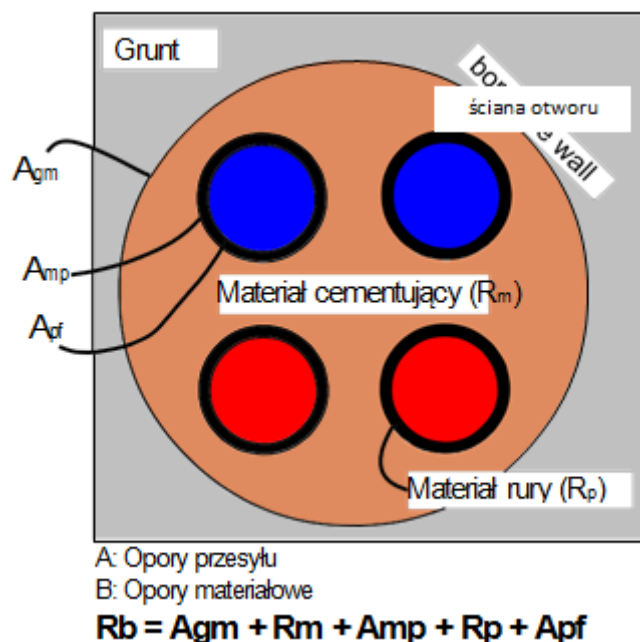


Rysunek 1. Przekroje przez trzy najczęstsze typy pionowy GWC

Skuteczność działania pionowego GWC może być opisana z zastosowaniem parametru sumarycznego, oporu termicznego otworu wiertniczego R_b . Parametr ten obejmuje wszystkie zjawiska transportu ciepła z gruntu na zewnątrz otworu wiertniczego, aż do płynu wewnątrz rury (Rys. 2). Dla projektu pionowego GWC, inżynieria może wpływać jedynie na te parametry, gdyż podłoża na zewnątrz otworu wiertniczego nie może być zmienione.

Maksymalna wydajność pionowy GWC w danych warunkach obciążenia (tj. dopuszczalna różnica temperatur grunt-płyn i planowany czas pracy) może być obliczona i wykreślona w stosunku do R_b .

(patrz Rozdział 1, Rysunek 8). Tym samym, jakość typu pionowy GWC może być reperowana z zastosowaniem R_b i η_H wydajności Hellströma. Zależy ona głównie od materiału rury, wielkości rury, konfiguracji rury i wypełnienia pierścienia.



Rysunek 2. Składowe R_b pokazane w przekroju pionowy GWC z podwójnym U

Dla zwymiarowania pionowy GWC do danego obciążenia grzewczego i/lub chłodniczego, dostępne są różne metody, zarówno dla mniejszych, jak i większych projektów. Dla mniejszych systemów, np. dla domów jednorodzinnych, projekt jest wykonany z zastosowaniem tabel lub nomogramów (np. VDI 4640 lub SIA 384/6) lub obliczeń z zastosowaniem łatwego w użyciu oprogramowania. Dla większych systemów wymagane są obliczenia projektowe z użyciem prostego oprogramowania takiego, jak program EED lub nawet z symulacją numeryczną. Granica między rozmiarem małym a dużym jest ustalana zazwyczaj na około 30 kW mocy cieplnej. Poszczególne procedury opisane są w rozdziale 13.

ROZDZIAŁ 13 - PRZYKŁADY PROJEKTÓW pionowy GWC. MAŁE SYSTEMY

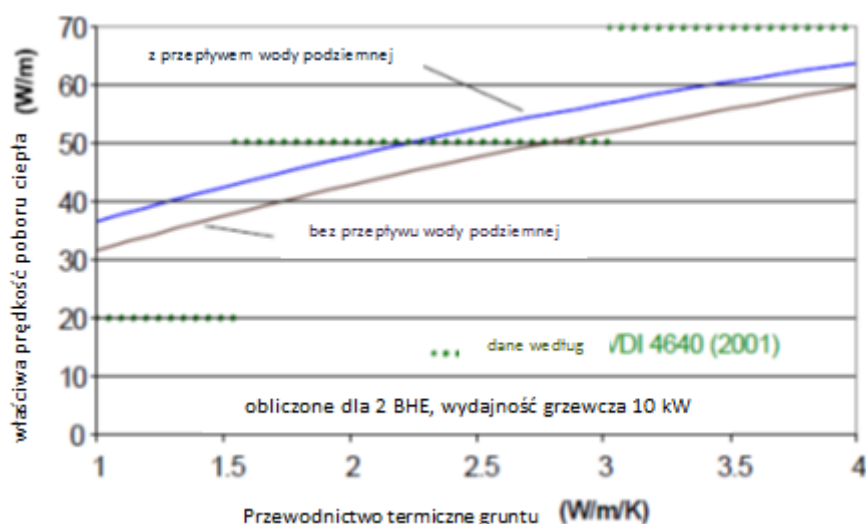
(a) autor Burkhard Sanner

I. WPROWADZENIE

Dla niewielkich budynków projekt jest zazwyczaj wykonywany przez zastosowanie właściwej prędkości poboru w W/m. Dla zastosowania tej prostej metody projektu muszą być przestrzegane pewne ograniczenia (lista według VDI 4640, 2001):

- sprawdza się tylko dla ogrzewania (w tym ciepła woda w domu (c.w.u.)), bez chłodzenia,
- długość poszczególnych pionowy GWC nie może być mniejsza niż 40 m i nie przekroczy 100 m,
- najmniejsze odległości między pionowy GWC to 5 m dla głębokości do 50 m, 6 m dla głębokości przekraczających 50 m,
- podwójne U-rurki lub współosiowe rury,
- nie ma zastosowania do większej liczby małych pionowych GWC na ograniczonym obszarze.

Wartości podane w VDI 4640 mogą dać tylko ogólny szacunek i zapobiegają całkowitemu przekroczeniu przez projekt któregośkolwiek ze znaczących wymiarów. Przy porównaniu z wartościami obliczonymi dla konkretnych przypadków, takie podstawowe rozwiązanie staje się oczywiste (Rys. 1). W każdym przypadku wartości VDI mogą zapewnić wyobrażenie zakresu dostawy ciepła od pionowy GWC możliwej w warunkach centralnej Europy. Niektóre ogólne zasady stosowane w przeszłości były o wiele bardziej arbitralne; statystyki pionowych GWC w niektórych niemieckich krajach związkowych pokazują, że znaczna większość pionowych GWC dla mniejszych projektów ma błędne założenia mocy poboru wynoszącej ok. 50 W/m!



Rysunek 1. Porównanie właściwej prędkości poboru ciepła wg oprogramowania VDI 4640 (2001) i EED

Porównanie różnych metod przedstawiono dla domu jednorodzinnego oraz pompy ciepła tylko do ogrzewania. Podstawowe założenia to:

- Częściowe obciążenie cieplne budynku 12 kW
- Średnie godziny pełnego obciążenia pompy ciepła 1800 h/a (typowe dla systemów bez domowej wody gorącej (DHW))
- System dystrybucji ciepła Ogrzewanie podłogowe
- Temperatura zasilania c.o. maks. 35°C
- Spodziewane średnie SPF 3,8
- Geologia podłoża Piaskowiec
- Średnia temperatura na powierzchni gruntu 9,5 °C

Przy użyciu następujących wzorów, wydajność parownika (która w trybie ogrzewania jest równa mocy grzewczej, jaka ma być pobrane od gruntu) może być obliczona z wydajności grzewczej i SPF:

$$P_{ground} = \frac{P_{heating}}{SPF} \cdot (SPF - 1)$$

$$P_{ground} = \frac{12}{3,8} \cdot (3,8 - 1) = 3,16 \cdot 2,8 = 8,8$$

gdzie:

P_{grunt} = wydajność grzewcza parownika pompy ciepła w W lub kW

P_{ogr} = wydajność grzewcza pompy ciepła w W lub kW

SPF = współczynnik efektywności sezonowej (średnie COP w sezonie grzewczym).

Wynikowe dostarczanie ciepła przez grunt (wydajność parownika) to 8,8 kW lub 8800 W.

Ponieważ jednostka jest objęta ograniczeniami podanymi w VDI 4640, właściwa prędkość poboru ciepła może być zastosowana dla projektu pionowy GWC ("wymiarowanie układu"). Podstawowe wzory to:

$$P_{ground} = n_{BHE} \cdot l_{BHE} \cdot P_{BHE}$$

odpowiednio:

$$l_{BHE} = \frac{P_{ground}}{n_{BHE} \cdot P_{BHE}}$$

gdzie: P_{grunt} = wydajność parownika pompy ciepła w W

Pionowy GWC = właściwa prędkość poboru ciepła w W/m

P_{BHE} = (średnia) długość jednego pionowego GWC w m

$n_{pionowy\ GWC}$ = liczba pionowy GWC.

II. VDI 4640

Wartość dla przewodnictwa termicznego piaskowca musi być oszacowana na miejscu; zastosowana została rekomendowana wartość dla piaskowca według VDI 4640 (patrz tabela w Rozdziale 4), czyli $\lambda = 2,3 \text{ W/m/K}$. Wówczas wartość odpowiednia dla właściwej prędkości poboru ciepła może być wzięta z tabeli w VDI 4640 (kolumna dla 1800 h/a):

Metoda	Zakres	Właściwa prędkość poboru ciepła P pionowy GWC
Wartości ogólne	1,5-3,0 W/m/K	60 W/m
Wartości dla konkretnych typów skał	Piaskowiec	65-80 W/m

Wymagana długość otworu wiertniczego może być obliczona z wzoru podanego powyżej (wydajność parownika pompy ciepła musi być przekonwertowana z kW na W):

Z wartości ogólnych

$$l_{BHE} = \frac{8800}{2 \cdot 60} = 73,4 \text{ m}$$

Z wartości dla konkretnych skał

$$l_{BHE} = \frac{8800}{2 \cdot 65} = 67,7 \text{ m} \quad \text{do} \quad l_{BHE} = \frac{8800}{2 \cdot 80} = 55,0 \text{ m}$$

W efekcie wymagane byłyby dwa pionowy GWC długości 55,0 m – 73,4 m – co jest dużym zakresem. Projektant musi dokonać wyboru, na podstawie własnego doświadczenia, czy dobrać wymiar projektu bliżej dolnej lub górnej granicy zakresu, uwzględniając typ skały (spękania, wietrzenie) i przewidzianą dokładność danych dotyczących ładunku cieplnego.

III. SIA 384/6

W SIA 384/6, konstrukcja dla mniejszych projektów podana jest w aneksie D3. Niektóre krzywe są tu przedstawione dla standardowego pionowy GWC i dla różnych współczynników korekcji. Proces przedstawiony jest z zastosowaniem tego samego przykładu, co powyżej.

Właściwa prędkość poboru ciepła standardowego 100 m pionowy GWC według SIA 384/6, D3, Rysunek 7 (średnica rury 32 mm) została odczytana jako: 37 W/m

Taki sam wzór jak powyżej może być zastosowany dla obliczenia wymaganej standardowej długości pionowy GWC:

$$l_{BHE} = \frac{8800}{2 \cdot 37} = 119 \text{ m}$$

Otrzymana wartość dwóch pionowy GWC, każdy o 119 m głębokości (więcej niż dwukrotność najmniejszego wymiaru według VDI 4640) musi zostać dostosowana z użyciem różnych czynników korygujących.

Dla standardowego pionowy GWC przyjęty został czas pracy (godziny pełnego obciążenia) równy 1850 h/a, wymagana jest korekta dla różniących się wartości. Rysunki 11-19 aneksu D3 SIA 384/6 przedstawiają wykresy krzywych dla różnych godzin pełnego obciążenia, wzorów pionowy GWC i odległości pionowy GWC.

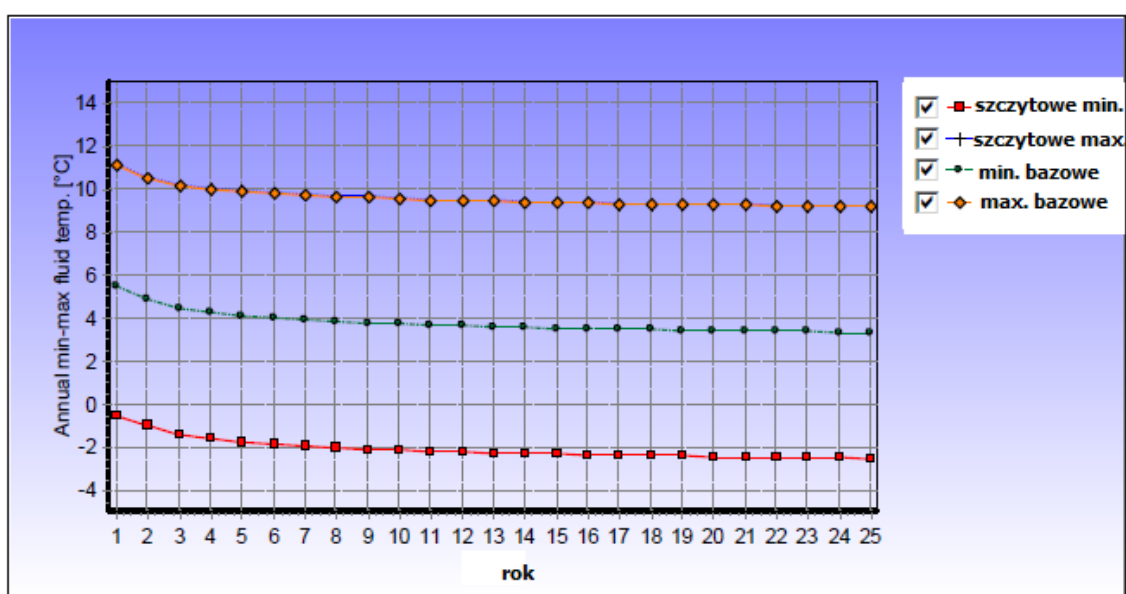
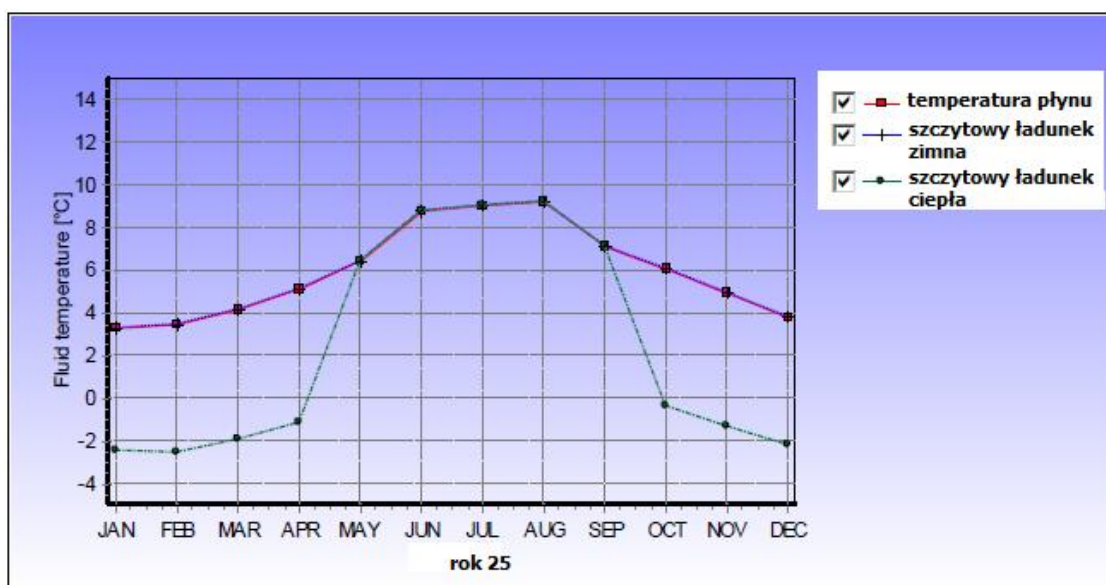
Z tych krzywych można uzyskać współczynniki korygujące. Przykładowo, korekcja czasu pracy nie jest wymagana, lecz fakt, że stosowane są dwa pionowe GWC doprowadziłby do wymaganego

zwiększenia długości pionowego GWC o 3%, jeśli odległość pionowy GWC nie jest poniżej 7,5 m (wartość dla odległości 5 m wyniosłaby 5%; jednakże, ta odległość jest zbyt krótka według VDI 4640). Pośrednim projektem dla odległości 7,5 m byłyby dwa pionowy GWC, każdy o 122,5 m głębokości.

Ostatnim krokiem jest wykonanie korekcji dla temperatur w gruncie i pożądaných temperatur poboru z zastosowaniem wzorów (19) i (20) podanych w aneksie D3 SIA 384/6. Dla analizowanego przykładu, wynik tej korekcji jest pomijalny, także dla każdego pionowy GWC wybierana jest głębokość równa 123 m.

IV. OBLICZENIE Z EED

Niewielkie projekty mogą być także obliczone w szybki sposób z zastosowaniem EED. Obliczona jest roczna praca grzewcza ($12 \text{ kW} \times 1800 \text{ h} = 21,6 \text{ MWh}$) i domyślny miesięczny rozkład zapotrzebowania stosowana dla obciążenia bazowego. Dla obciążania szczytowego podana jest wydajność grzewcza pompy ciepła równa 12 kW i rozsądna liczba godzin na dzień (np. 18 h w styczniu).



Rysunek 2. Obliczenie EED przy pionowych GWC 2 x 110 m, zróżnicowaniem temperatury w 25-tym roku pracy oraz minimami i maksimami w 25 latach

Temperatury przedstawione na Rysunku 2 były obserwowane tam, gdzie obliczenie wykonywane jest przez okres 25 lat, i dla 2 pionowych GWC, każdego o 110 m głębokości, przy odległości 7,5 m. Są one w zasadzie odpowiednie (choć nieco niższe niż granice 0/-3 °C według SIA 384/6, które wyniosłyby -1,5 °C w EED).

Tabela 1. Porównanie wyników dla niewielkiego projektu z 12 kW wydajności grzewczej

Metoda	Liczba BHE	Długość BHE	Długość całkowita
VDI 4640, ogólna	2	73,4 m	147 m
VDI 4640, właściwa	2	55-68 m	110-136 m
SIA 384/6	2	123 m	246 m
EED	2	110 m	220 m

Tabela 1 podsumowuje różne metody projektowania. Istnieją duże wahania od najmniejszego rozmiaru VDI 4640 do największego rozmiaru SIA 384/6; warunki graniczne i metody są różne, a dla VDI 4640 pojawi się wkrótce nowa wersja z poprawionymi obliczeniami.

ROZDZIAŁ 13 - PRZYKŁADY PROJEKTÓW PIONOWEGO GWC. STUDIUM PRZYPADKU DLA DOBRYCH PRAKTYK W OGRZEWANIU / CHŁODZENIU O ŹRÓDLE GRUNTOWYM: SALON SAMOCHODOWY, BIURA I WARSZTAT VW BUKARESZT – RUMUNIA

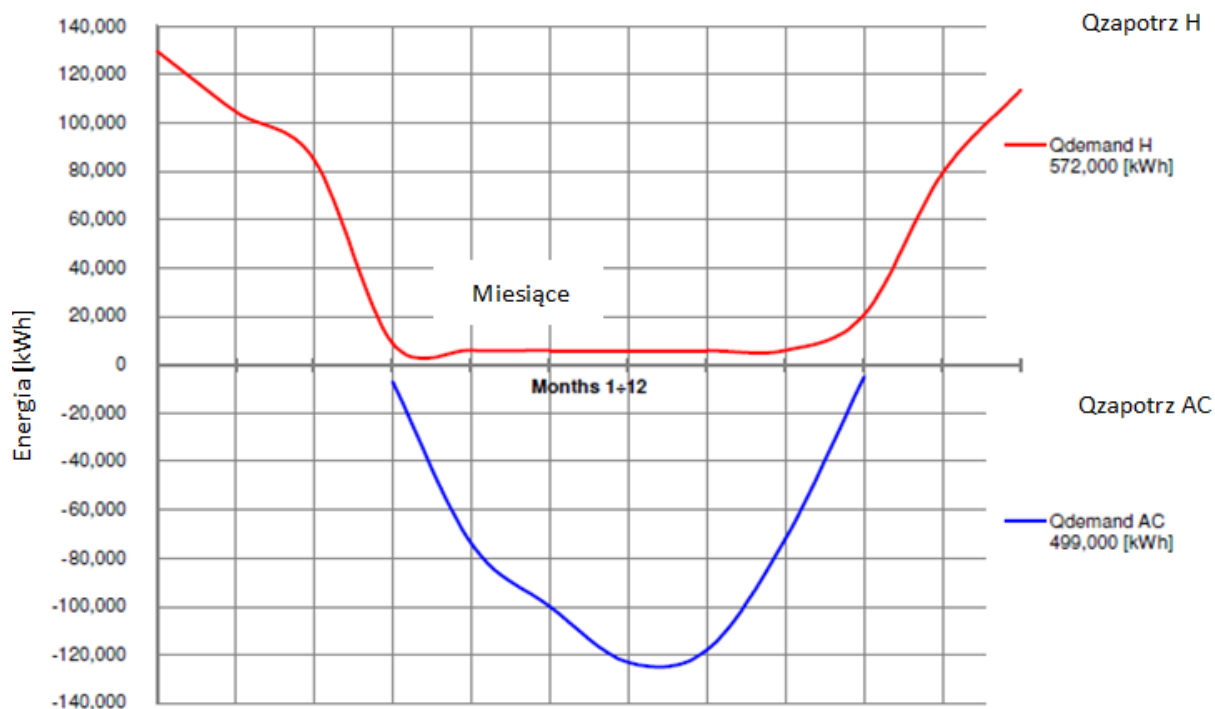
(b) autorzy Radu Polizu i Radu Hanganu-Cucu

I. WPROWADZENIE

Bucharest Midocar jest stałym klientem firmy ASA GEOEXCHANGE. Zastosowano tu koncepcję geotermalnych systemów ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji, z wykorzystaniem systemów z układem otwartym i zamkniętym dla jego budynków położonych w północnym Bukareszcie. Na podstawie wyliczeń operacyjnych, technicznych i ekonomicznych, Bucharest Midocar zdecydował się na instalację zamkniętego układu, opartego o otwory wiertnicze geotermalnego systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji w nowym obiekcie we wschodniej części Bukaresztu.

II. OBSZAR I CEL PROJEKTU

Plany dla Midocar Wschód obejmowały salon sprzedaży, biura i warsztat zlokalizowane na lewym brzegu rzeki Dymbowica. Przy konstrukcji zastosowano duże powierzchnie szklane skierowane na południe i zachód, a inne ściany zewnętrzne i elementy konstrukcyjne charakteryzowały się odpowiednią rezystancją termiczną dla klimatu Bukaresztu. Całkowite zapotrzebowanie budynku na ciepło zostało obliczone jako 1071 MWh/rok, ze szczytowymi obciążeniami ogrzewania zimą wynoszącymi 390 kW i szczytowymi obciążeniami chłodzenia latem wynoszącymi 421 kW (Rys. 1).



Rysunek 1. Zróżnicowanie zapotrzebowania termicznego dla budynku

Rozwiązanie wybrane dla gruntowego wymiennika ciepła było układem zamkniętym zawierającym równo rozstawione pionowe GWC (Rys. 2). Dane odnośnie zapotrzebowania energetycznego budynku i właściwości gleby zostały wprowadzone do programu symulacji układu Ground Loop Design.



Rysunek 2. Równomiernie oddalone otwory wiertnicze

Obliczono, że do przenoszenia obciążeń będzie wymagany układ 16 x 7 zawierający łącznie 112 otworów wiertniczych o średnicy 140 mm o termicznie aktywnej głębokości równej 72 m. Rozstaw otworów wiertniczych wyniósł 5 m. Otwory wiertnicze były zainstalowane z pojedynczą rurą U 33,4 mm OD PE (1 cal SDR11), z rozpórkami króćców umieszczonymi w 3 m interwałach. Otwory wiertnicze były uszczelnione termicznie wzmocnionym cementem z bentonitem/piaskiem krzemionkowym, o minimalnym przewodnictwie 1,7 W/m/K.

W pierwszym otworze wiertniczym przeprowadzono próbę odpowiedzi termicznej, która wskazała na średnią temperaturę podłoża równą 13°C i średnie przewodnictwo termiczne równe 2,01 W/m/K.

Wydajność energetyczna budynku jest kontrolowana przez system sterowania bezpośredniego (DDC). Układ gruntowy jest zaprojektowany w taki sposób, iż temperatura wejścia płynu do pomp ciepła (EWT) nie powinna spaść poniżej $+5^{\circ}\text{C}$ w trybie zimowym, podczas gdy ΔT (różnica temperatur) między pompami ciepła nie powinna przekraczać $3,5^{\circ}\text{C}$. Z tego powodu czysta woda (bez środka zapobiegającego zamarzaniu) została wybrana jako płyn nośnikowy. Stosowanie środka zapobiegającego zamarzaniu jest niekorzystne dla efektywności systemu, gdyż zmniejsza wydajność transportu ciepła i zwiększa koszty pompowania. Utrzymanie wystarczająco wysokiej temperatury płynu dla uniknięcia stosowania środka zapobiegającego zamarzaniu wymaga oczywiście kosztów kapitałowych dla dużego systemu otworów wiertniczych.

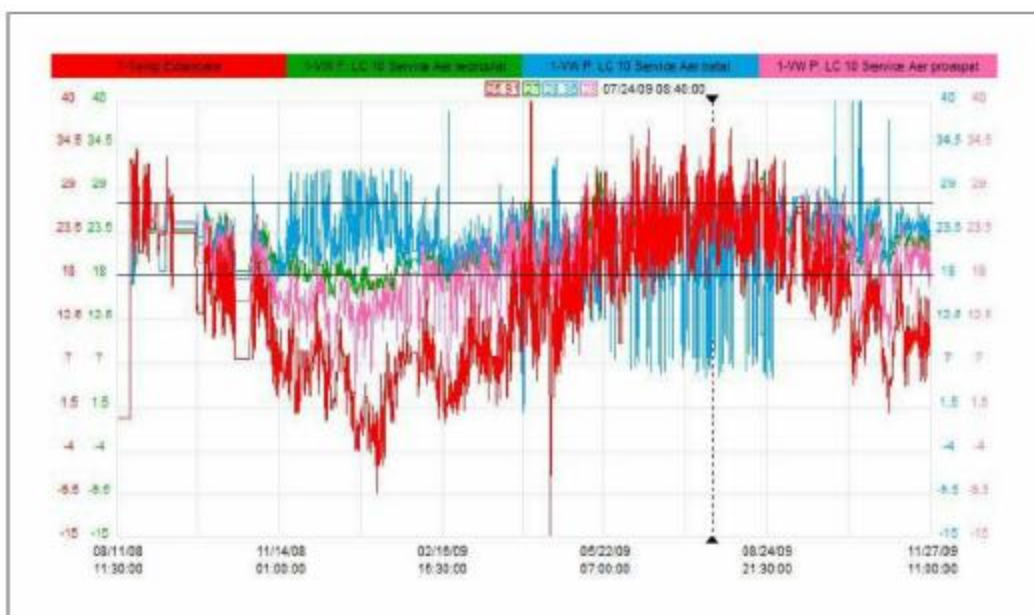
Projekt stosuje łącznie dziesięć pomp ciepła systemu woda-woda zlokalizowanych w dwóch pomieszczeniach jednostek geotermalnych: jednym z salonem i biurami oraz drugim w warsztacie. Spośród nich, siedem pomp ciepła dostarcza dodatkowy płyn termiczny do klimakonwektorów i ogrzewanych podłóg, dwie pompy ciepła są wykorzystywane do wytwarzania gorącej wody dla celów lokalowych, zaś pozostała pompa ciepła pracuje w trybie chłodzenia przez cały rok, obsługując 4 -rurowe klimakonwektory. Dodatkowo, budynek stosuje łącznie osiem pomp ciepła w systemie woda-powietrze, które pracują w zespole z jednostkami odzysku ciepła powietrze-powietrze. System DDC wdrożony w budynku pozwala na precyzyjną kontrolę każdej jednostki systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji. Pozwala także na zdalne przetwarzanie i transportowanie określonych parametrów kontrolnych.

III. WYNIKI MONITOROWANIA BUDYNKU PRZEZ JEDEN ROK KALENDARZOWY

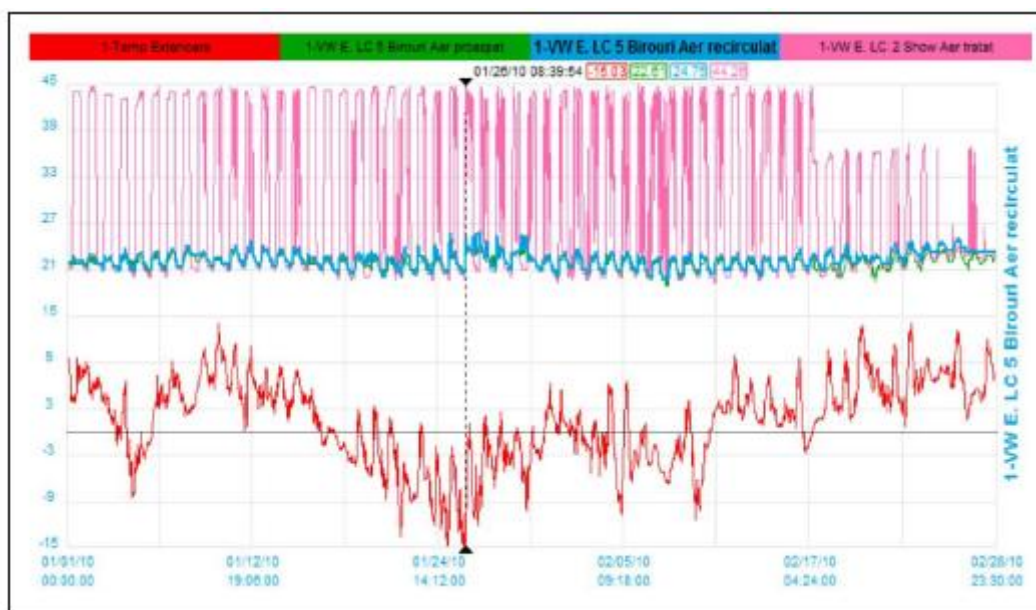
Wyniki monitoringu zostały przedstawione na Figurach 3a-e, 4 i 5.



Rysunek 3a. Salon sprzedaży DDC. Kontrola temperatury powietrza wewnętrznego (na czerwono) a temperatura powietrza na zewnątrz (na zielono)

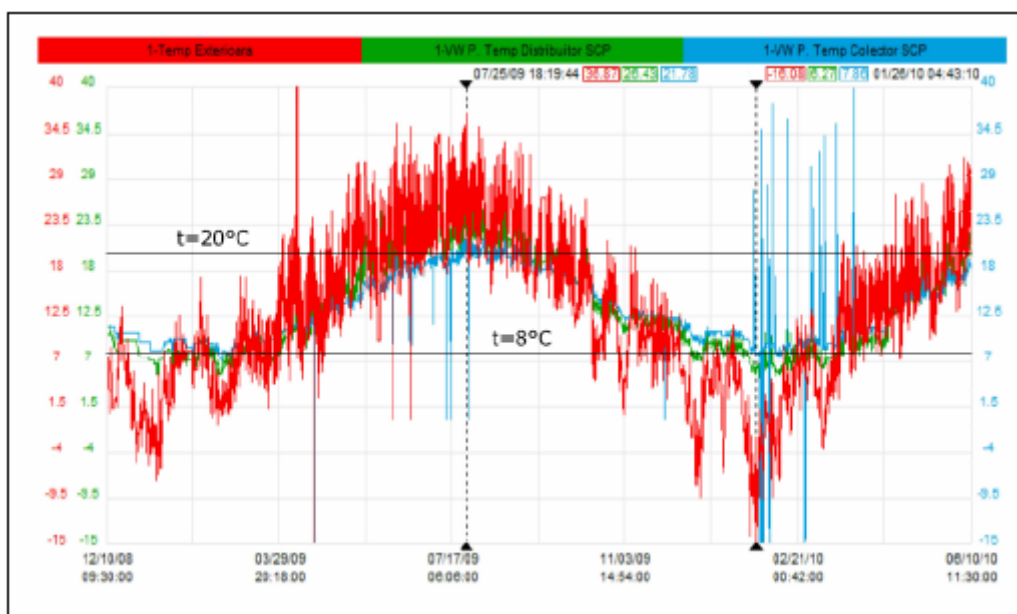


Rysunek 3b. Serwis DDC – Kontrola temperatury powietrza wewnętrznego a temperatura powietrza na zewnątrz (na czerwono)



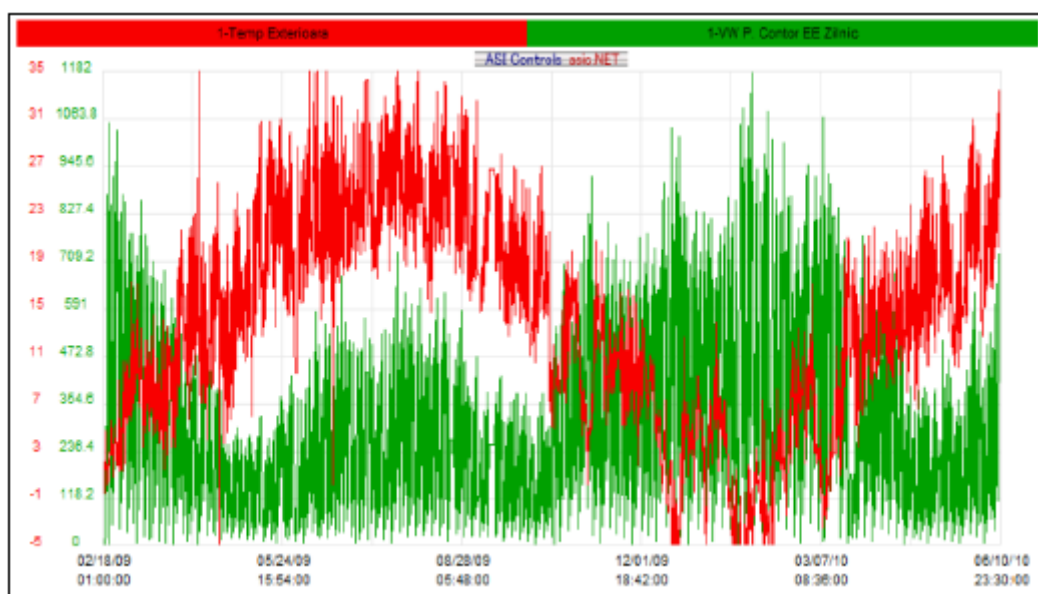
Rysunek 3c. Salon sprzedaży DDC – System odzysku ciepła w styczniu/lutym 2010. Czerwona krzywa przedstawia temperaturę powietrza na zewnątrz.

Na niebiesko zaznaczono temperaturę powietrza recykulowanego z biur, a na zielono - temperaturę świeżego powietrza za jednostką odzysku ciepła. Na różowo zaznaczona jest temperatura powietrza oczyszczanego.

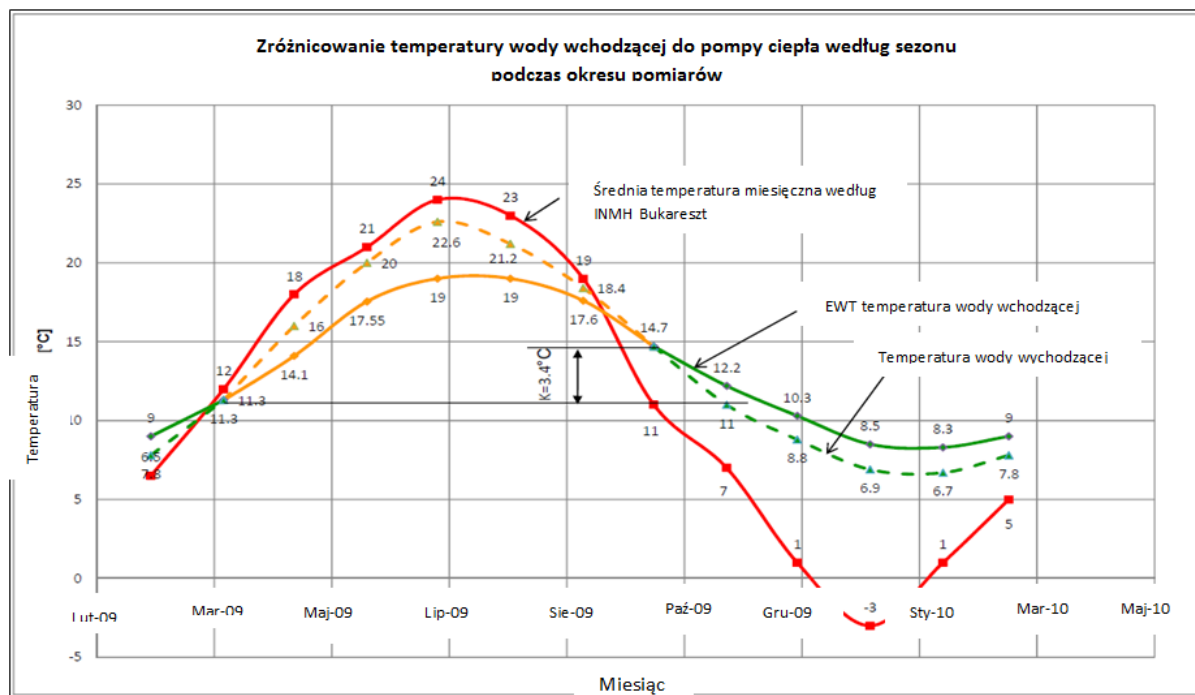


Rysunek 3d. DDC – zróżnicowanie temperatury płynu nośnikowego otworowego wymiennika ciepła

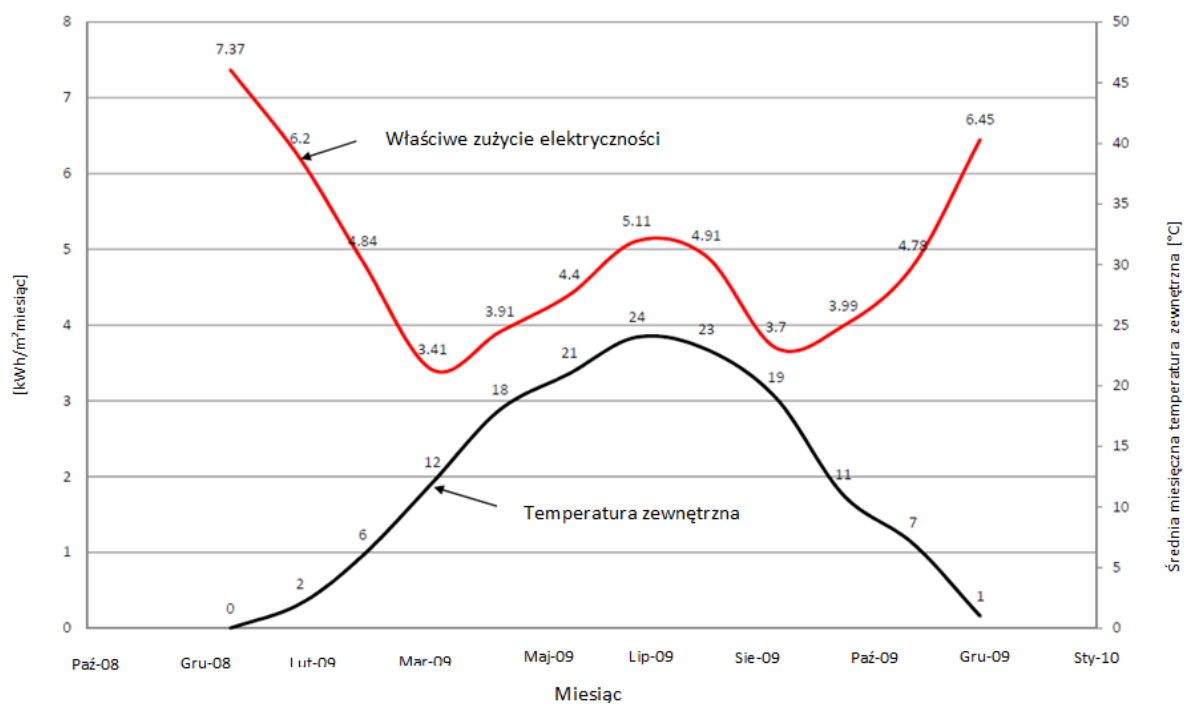
Na czerwono zaznaczono temperaturę powietrza zewnętrznego. Na zielono - płyn dostający się do gruntowego wymiennika ciepła. Niebieski kolor oznacza płyn wchodzący do pompy ciepła z otworowego wymiennika ciepła.



Rysunek 3e. DDC – zużycie elektryczności (zielone) [kWh] względem temperatury powietrza zewnętrznego (czerwona) [°C]

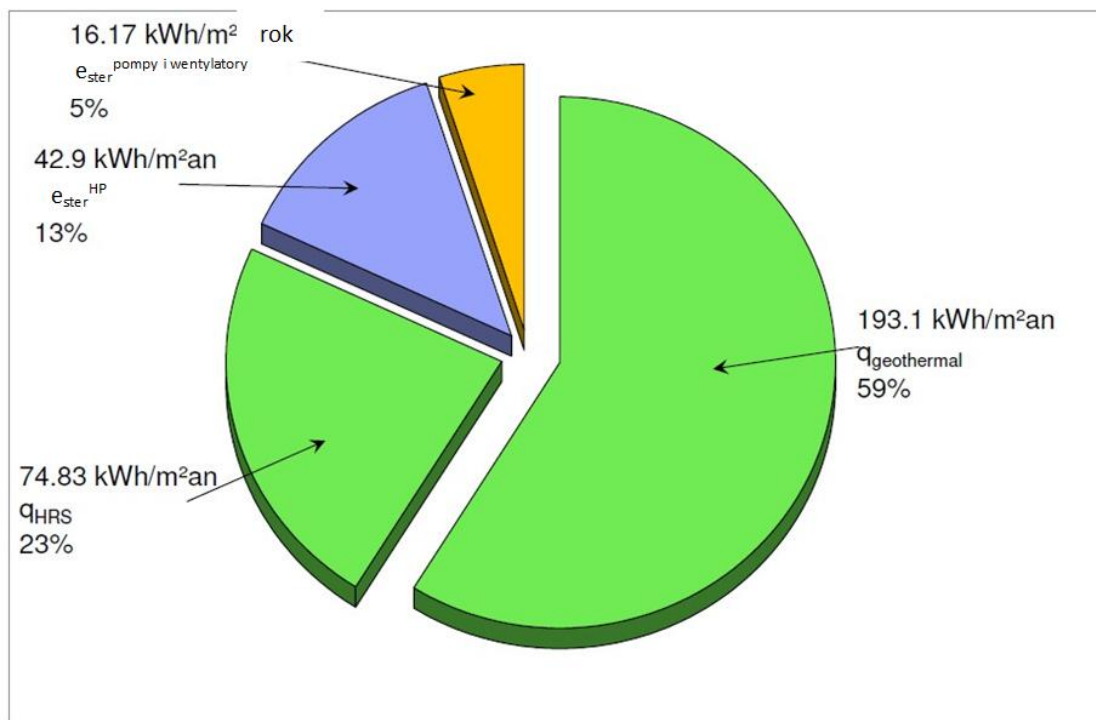


Rysunek 4. Wyniki monitoringu geotermalnego systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji (temperatury płynu nośnikowego)



Rysunek 5. Zróżnicowanie miesięcznego zużycia energii

Roczne właściwe zużycie elektryczności: $\Sigma_{\text{ester}} = 59,07 \text{ kWh/m}^2.\text{rok}$).



Rysunek 6. Graficzne przedstawienie energii systemu

$$q_{\text{uzyt}} = q_{\text{geothermal}} + e_{\text{ster}}^{\text{HP}} + e_{\text{ster}}^{\text{pompy \& wentylatory}} + q_{\text{HRS}} = 327 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$$

(patrz wykres powyżej)

$$\text{SPF}_{\text{rok}} = - \frac{327 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}}{59,07 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}} = 5,5$$

$$e_{\text{RES}} = q_{\text{uzyt}}(1 - 1/\text{SPF}_{\text{rok}}) = 327(1 - 1/5,5) = 268 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$$

IV. WNIOSKI

System ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji stosujący gruntowe pompy ciepła woda-woda i woda-powietrze nie tylko wykorzystuje geotermalny zasób ciepła, lecz odzyskuje znaczące dodatkowe dawki energii z budynku. Energia odnawialna produkowana na miejscu znacząco przekracza elektryczną moc wejściową.

Dla współczynnika konwersji elektryczności $f_{\text{EE}} = 2,5 \text{ kWh}_{\text{energii pierwotnej}}/\text{kWh}_{\text{elektryczności}}$, stosunek energetyczny według Dyrektywy 2010/31/EC jest obliczony jako:

$$\frac{e_{\text{ODN}}}{\sum e_{\text{ester}}} = \frac{268}{2,5 \times 59,07} = 2,2$$

Ponieważ $e_{\text{ODN}} \gg \sum e_{\text{ester}}$, zastosowanie to może być uznane jako „budynek o niemal zerowym zużyciu energii”.



ROZDZIAŁ 14 - PROJEKT POZIOMYCH GWC

autorzy: Paul Sikora i Javier Urchueguía

I. WPROWADZENIE

Spośród wszystkich typów układów geotermicznych układ poziomy jest najbardziej wymagający pod względem pola powierzchni podłoża wymaganego do wyprodukowania określonej ilości energii geotermalnej. Z tego powodu jest bardzo rzadko stosowany w instalacjach miejskich lub podmiejskich. Niemniej jednak, w warunkach wiejskich lub rejonach o niskiej gęstości zabudowy, układ poziomy może być korzystniejszy niż otworowe kolektory geotermalne. Celem tego rozdziału jest identyfikacja i dyskusja dotycząca czynników, które muszą być rozważone w ocenie lokalizacji instalacji, pod kątem możliwości użycia kolektora poziomego.

Zastosowania dla układów poziomych to w większości projekty domów, lub niewielkie projekty komercyjne. W takich przypadkach zazwyczaj nie jest opłacalne przeprowadzenie analizy termicznej, potrzebnej do stworzenia dokładnie wyliczonego projektu kolektora. Dodatkowo, na poziome układy w znaczącym stopniu wpływają wahania sezonowe, które ograniczają użyteczność wszelkich krótkoterminowych pomiarów. Tym samym, projektant systemu geotermalnego powinien posiadać umiejętność pracy z ograniczoną ilością informacji przy podejmowaniu decyzji, czy obszar dostępny w danym miejscu będzie wystarczający dla odpowiedniego kolektora poziomego. Dla optymalizacji projektu dostępne są pakiety oprogramowania i sprzęt pomiarowy o małej skali.

II. PODSTAWY TEORETYCZNE

Płytki układ poziomy (SHA) może być porównany w pewnym sensie do nieoszlonego kolektora słonecznego o dużej masie termicznej. Pojemność cieplna masy glebowej jest wystarczająca, by stłumić dzienne i krótkoterminowe wahania klimatyczne, lecz działka z poziomym GWC wciąż wykazuje znaczące wahania temperatur w ciągu roku. Dodatkowo, SHA odpowiada zarówno na opady jak i na wiatr. W tej sekcji wymienione i krótko omówione są główne wpływy, które decydują o wydajności kolektorów SHA.

II. 1. Klimat

Pierwszym rozpatrywanym czynnikiem jest strumień słoneczny padający na działkę. Wywiera on bezpośredni wpływ na temperaturę działki, na której zlokalizowany jest poziomy GWC. Na nasłonecznienie wpływają właściwości danego miejsca: czy jest ono zacienione lub otwarte, powierzchnia jest pochylona lub płaska, jaki jest azymut stoku (istotne zwłaszcza dla wysokich szerokości geograficznych), oraz typ pokrycia powierzchni terenu. Występowanie pokrywy śnieżnej jest korzystne, gdyż redukuje straty ciepła z powierzchni gruntu. Opady, a szczególnie deszcz, mają znaczny wpływ na wydajność SHA. Wilgotność ma duże znaczenie dla efektywnej pojemności cieplnej gleby. Dodatkowo, wpływa ona na przewodnictwo termiczne większości przepuszczających wilgoć rodzajów gleb. Po trzecie, woda przesączająca się przez działkę, na której znajduje się wymienik, wprowadza transport ciepła przez ruch masowy dodatkowo do mechanizmu przewodnictwa. Aby mechanizm transportu ciepła był skuteczny, gleba musi być przepuszczalna i działka musi cechować się wydajnym drenażem, tak by nie stała się podmokła. Migracja wilgoci przez

naprzemienne parowanie i skraplanie może prowadzić do wyschnięcia gleby wokół rury, gdy SHA jest używane do zastosowań chłodzenia budynku. Wynikiem tego są widocznie gorsze właściwości transportu ciepła.

Wystawienie na działanie wiatru jest również przyczyną powstawania mechanizmu kontaktu termicznego, jednak wpływ ten jest trudny do oszacowania.

II. 2. Gleba

Skład mineralny gleby jest czynnikiem, który wpływa na wydajność SHA, ze względu na swoje główne atrybuty termiczne - pojemność cieplną i przewodnictwo termiczne. W przypadku gleb, w przeciwieństwie do niżej ległych skał, czynniki te są raczej drugorzędnymi wskaźnikami, nie zaś głównymi wyznacznikami geotermalnej wydajności kolektora. Powodem tego jest fakt, że gleby są niejednorodnymi aglomeratami cząstek skalnych oraz substancji organicznej i wody.

O tym, czy gleba nadaje się do zastosowania jako poziomy GWCy decyduje rozkład wymiarów ziaren mineralnych, obok oczywiście samego typu mineralnego tej gleby. Skład granulometryczny ma znaczny wpływ na właściwości suchej gleby, lecz ma równie istotny wpływ na zdolność gleby do magazynowania wody i jej migracji w głąb profilu. Substancja organiczna w glebie odgrywa istotną rolę poprzez swoje powinowactwo z wodą; chociaż, gdy jest sucha, ma bardzo słabe właściwości termiczne. Stąd, gleba, która jest dobrym wyborem do stosowania jako geotermalne SHA będzie zasadniczo glebą głęboką, odpowiednią do produkcji roślin uprawnych. Iły są często mało wydajne ze względu na ich niewielką lub pomijalną przepuszczalność dla wody. Pylaste, piaszczyste i żwirowe gleby mogą być użyteczne, lecz mogą wymagać specjalnego przygotowania dla poprawy ich wodoprzepuszczalności lub ich właściwości magazynowania wilgoci (Boyer i Grondzic, 1987). Nasycone wodą piaski i żwiry mogą oferować doskonałe perspektywy dla poziomych GWC, ze względu na ich wysokie przewodnictwo termiczne i pojemność cieplną.

II. 3. Topografia

Miejsce pochyłe jest zasadniczo korzystniejsze od płaskiego, o ile jest dostępne dla potrzeb instalacji poziomych GWC. Miejsce pochyłe sprzyja migracji wilgoci glebowej i jest mniej prawdopodobne, że będzie podmokłe. Miejsce położone na dłuższym stoku będzie mieć możliwość korzystania z migracji wilgoci glebowej ku dołowi. Zatem jeśli istnieje dostępność wyboru, preferowanym kształtem działki będzie długa, wąska wstęga biegnąca wzdłuż konturu podłoża, w celu przechwycenia maksymalnej ilości ruchu wody glebowej.

Kwestia azymutu lub kierunku położenia ewentualnej działki gruntowej także wpływa na jej prawdopodobną wydajność jako lokalizacja dla poziomego GWC. Zwłaszcza w wyższych szerokościach północnych, pochylona na południe działka gruntu przechwyci więcej promieni słonecznych niż płaska, a jeszcze więcej niż taka, która skierowana jest na północ. Różnica jest nie jak znacząca, jak dla paneli słonecznych, gdyż działka gruntowa w pełni chłonie rozproszone promieniowanie słoneczne; jednakże, gdy inne aspekty są porównywalne, korzystny jest obszar skierowany ku południu.

Stosując to samo rozumowanie, należy unikać miejsca położonego w zagłębieniu, jeśli dostępne są inne alternatywy. Przy tym typie topografii trudne będzie także położenie rurociągu w sposób, który nie wykazuje skłonności do blokowania powietrza.

II. 4. Pokrywa powierzchniowa

Zamierzone lub możliwe zastosowania przewidziane dla działki gruntowej będą miały znaczny wpływ na jej parametry pod kątem stosowania jako poziomy GWC. Chociaż często uważa się, że czarna, matowa powierzchnia będzie najbardziej pożądanym typem pokrywy, faktem jest, że większość naturalnych pokryw gruntowych cechuje się wysoką absorpcją słoneczną. Najistotniejszym atrybutem

powłokę powierzchniową poziomego GWC jest wodoprzepuszczalność. Wilgoć przesączająca się do gruntu niesie ze sobą ciepło. Wilgoć utrzymywana w gruncie znacząco przyczynia się zarówno do zdolności gleby do magazynowania ciepła i do zdolności transportu ciepła do ruchu ku zakopanych rurami, według potrzeby.

Stąd, dowolna powłoka powierzchniowa, jaka jest nieprzepuszczalna dla wody, znacznie pogorszy wydajność termiczną poziomego GWC. Szczególnie dotyczy to poziomych zaprojektowanych do zapewniania użytecznego chłodzenia. Skutek stosowania wodoprzepuszczalnych nawierzchni, takich jak kostka brukowa lub nawet przepuszczalny asfalt, nie został w pełni udokumentowany, chociaż niektóre badania w tej kwestii są w toku (Greene et al., 2008). Preferowany typ powłoki to trawa lub inna niska roślinność.

III. PODSTAWY PRAKTYCZNE

Proces oceny miejsca pod kątem możliwego zastosowania płytkiego poziomego układu kolektora obejmuje znalezienie odpowiedzi na kilka podstawowych pytań:

- Jaki jest wymagany roczny import i eksport ciepła?
- Jakie są średnie temperatury, całkowite promieniowanie słoneczne, opady deszczu i śniegu na danym obszarze?
- Jaka jest charakterystyka gleby na danym obszarze?
- Jaka jest szacowana uzysk termiczna gleby na danym obszarze?
- Czy produktywność uzysk gleby może być poprawiona?
- Czy dostępny obszar jest wystarczający do zapewnienia akceptowalnej wydajności gruntowej pompa ciepła?

Punktem wyjścia dla informacji o obciążeniach cieplnych miejsca (kW ogrzewania i/lub chłodzenia) jest świadectwo wydajności energetycznej budynku, lub podobny dokument wykonany dla danego miejsca przez wykwalifikowanego profesjonalistę. Może on wymagać dopasowania do szczególnych wymagań klienta nieobjętych świadectwem. Dla umiarkowanych i północnych szerokości geograficznych, wymóg ten jest często zdeterminowany przez ogrzewanie. Na niższych szerokościach często pojawiają się wymagania dotyczące chłodzenia, ale także ogrzewania. Podstawowym, pożądanym wynikiem jest roczna energia netto (kWh/rok), jaka ma być dostarczana lub wydalana z kolektora geotermalnego.

Wielkości importu i eksportu energii muszą być zestawione z wydajnością potencjalnego SHA na miejscu. Każdy metr kwadratowy poziomej powierzchni w Europie przyjmuje roczną dawkę promieniowania słonecznego w zakresie od ponad 2000 kWh/m²/rok w najbardziej słonecznych regionach do około 600 kWh/m²/rok w najbardziej na północ wysuniętych częściach Europy (Europejski atlas promieniowania słonecznego, 1984, 1986). Strefy umiarkowane otrzymują około 1200 kWh/m²/rok. Import lub eksport energii termicznej netto przez pobór geotermalny musi pozostać mały w porównaniu z dawką słoneczną, jeśli średnia temperatura gruntu ma pozostać odczuwalnie niezaburzona. Dla stref umiarkowanych, gdzie ogrzewanie jest dominującym, jeśli nie jedynym zapotrzebowaniem obciążenia, a nominalna wytyczona wartość równa 50 kWh/m²/rok jest często stosowana przy szacowaniu wielkości kolektora. VDI cz. 2 sugeruje zakres od 50 do 70 kWh/m²/rok. Jeśli wydajność energetyczna budynku to na przykład 60 kWh/m²/rok i ogrzewany obszar budynku to 150 m², rozmiar działki kolektora powinien być odpowiedni dla dostarczania do budynku 60x150 lub 9000 kWh/rok. Z tej ilości, tylko część (1-1/COP) jest dostarczana przez kolektor. Dla pompy ciepła mającej współczynnik sezonowej wydajności równy 4, obszar działki według wytycznej SHA to:

$$(1-1/4) \times 9000/50=135 \text{ m}^2.$$

Procedura skutkuje stosunkiem prawie jednego metra kwadratowego pola SHA na metr kwadratowy pola ogrzewanego budynku. Ta zależność stała się podstawą przybliżonej reguły, często stosowanej jako miernik wykonalności, lecz jest ona istotna dla realizacji zadania dla każdego przypadku, gdyż konkretne warunki lokalne mogą łatwo zmienić wynik.

Jeśli obszar 135 m^2 jest dostępny do wykorzystania jako strefa dla umieszczenia SHA (bez rur, kabli lub innej podziemnej infrastruktury; nie przeznaczona na obszar przyszłej budowy; nie mająca być pokryta nawierzchnią dla parkingów lub innych zastosowań wymagających drenażu wody), wówczas obszar ten musi być sprawdzony pod kątem produktywności geotermalnej. Produktywność jest zdolnością działki do produkcji lub absorpcji strumieni mocy termicznej bez rozwoju niedopuszczalnie wysokich gradientów temperaturowych.

Konkretne wskazówki dla wykonania tej oceny są dostępne w wielu źródłach. Opisy i terminologia różnią się znacznie, a lokalne doświadczenie również będzie cenne. Zasady nakreślone wcześniej w tym rozdziale powinny być brane pod uwagę podczas oceny miejsca:

- Wizualna inspekcja wykopu do docelowej głębokości instalacji umożliwi poznanie morfologii gleby i może być zastosowana do ustalenia charakterystyki drenażu. Powinna także zostać odnotowana pora roku. Do tego celu bardzo użyteczne będą wkopy próbne wykonywane dla oceny geotechnicznej lub dla prób przesączania.
- Warstwy zwartych ilów, łupków lub innych typów zwięzłej skały stwarzają trudności powodujące wzrost kosztów zagospodarowania działki lub uniemożliwiające taką działalność.
- Występowanie w podłożu piasków lub żwirów może być bardzo korzystne, o ile zawierają one odpowiednią wilgotność podczas sezonu pracy pompy ciepła.

Korzystne typy gleb mogą produkować do 40 W/m^2 , zaś bardzo słabe typy mogą produkować do 10 W/m^2 . Liczby te są oparte o typowy umiarkowany europejski sezon grzewczy trwający około 1800 godzin (VDI cz. 2). Duża część tej różnicy w produkcji kolektora może być wynikiem stopni nasycenia wilgocią, tak, iż sekwencje opadów deszczu i roczne użycie systemu muszą być wprowadzone do procesu oceny.

Dla przykładu omówionego powyżej, działka kolektora wielkości 135 m^2 mogłaby obsłużyć pompę ciepła o wydajności grzewczej około $1,8 \text{ kW}$ (lub wydajności chłodzenia rzędu $1,35 \text{ kW}$) przy najmniej produktywnym typie gleby. Wartości te zwiększyłyby się odpowiednio do $7,2 \text{ kW}$ i $5,4 \text{ kW}$ dla działki kolektora o wysokiej produktywności. Wyniki te pokazują, że sam rozmiar działki kolektora nie gwarantuje uzyskania działającego SHA.

Pół-ilościowa ocena potencjalnej wydajności kolektora wymaga pomiaru właściwości termicznych gleby. Sprzęt zdolny do wytworzenia tego typu informacji dla kolektorów SHA jest teraz dostępny w postaci urządzenia z sondą igłową zdolnego do mierzenia widocznego przewodnictwa termicznego gleby (Soil Heat/Carbon Zero Consulting, Ltd.). Niektóre pakiety oprogramowania, w tym Ground Loop Design (GLD) pozwalają na pół-ilościową symulację różnych kolektorów SHA z zastosowaniem parametrów termicznych gleby, schematu układu, średnicy rury itd. jako parametrów wejściowych.

IV. WYDAJNOŚĆ ENERGETYCZNA I EKONOMICZNA OPŁACALNOŚĆ

Istnieją różne sposoby, dzięki którym projektant gruntowa pompa ciepła może poprawić skuteczność kolektora SHA. Oczywiście jest, że ten typ kolektora może skutkować znaczną redukcją całkowitego kosztu systemu, lecz jego pomyślne wdrożenie będzie wymagać tego, by instalator znał techniki maksymalizacji wydajności kolektora SHA.

Poniżej znajduje się lista kilku środków, które stosowano do udoskonalenia takich kolektorów. Lista nie jest wyczerpująca, lecz może zasugerować inne możliwości, jakie może zaoferować konkretna lokalizacja:

- Redukcja rocznego poboru termicznego netto na działce. Pozwala to na zmniejszenie rozmiaru działki. Może być to wykonane na różne sposoby, w tym przekazywanie powierzchniowej wody opadowej do kolektora; umieszczenie działki SHA poniżej obszaru przesączania się ścieków bytowych; zastosowanie SHA jako źródła darmowego chłodzenia podczas lata; a także inne opcje.
- Poprawa produktywności termicznej działki SHA. Nasiąkliwe gleby mogą być ulepszone przez włączenie warstwy materiału organicznego w pobliżu rur kolektora. Oszczędne opcje dla takich materiałów obejmują kiszonki odpadowe, zużyty kompost stosowany dla wzrostu grzybów, wióry drewna, skoszoną trawę i inne materiały, dostępne na miejscu.
- Poprawa produktywności termicznej działki SHA. Podmakanie działek gruntowych może być wyeliminowane przez dodanie drenażu - przez warstwy żwiru, rury drenażowe lub inne przepuszczalne elementy, według dogodności.
- Wybór najbardziej stosownego układu rur i głębokości położenia. Istnieje wiele opcji dla układu rur, a znaczące oszczędności w pracy instalacyjnej mogą być osiągnięte przez ostrożną selekcję. W umiarkowanej Europie częste jest zakopywanie kolektorów na głębokościach od 1,2 do 1,5 m. Jednakże, w wilgotnych strefach umiarkowanych, kolektory mogą być umieszczone na głębokościach tak płytkich, jak 80 cm, gdzie mróz nie jest problemem, i gdzie pozwalają na to warunki glebowe, a prędkości odbudowy wilgotności są odpowiednie. W każdym przypadku, rozsądny wybór musi uwzględniać ekstremalne warunki pogodowe oraz koszty instalacji kolektora.

V. DODATKOWE INFORMACJE

Bibliografia

1. ASHRAE Handbook; Fundamentals. 2009. ASHRAE Inc USA.
2. Boyer, L.L., Grondzik, W.T. 1987. Earth Shelter Technology, Texas A&M Press. (dobre ogólne omówienie termicznych właściwości gleb; w szczególności Rozdział 4, „Środowisko ziemne”)
3. European Solar Radiation Atlas. 1984 i 1996. (dostępne w internecie).
4. Greene, M. et al., 2008. Ground Temperature and Moisture Content Surrounding Horizontal Heat Pump Collectors in a Maritime Climate Region. 2008. 9th IEA Heat Pump Conference, Zurich.
5. Ground Loop Design Geothermal Design Studio. User's Manual. 2007. Gaia Geothermal.
6. Ochsner, K. 2008. Geothermal Heat Pumps: A Guide for Planning and Installing, Karl, Earthscan Publishing.
7. VDI 4640 Blatt 2. 2001. Thermal use of the underground. Ground source heat pump systems. Verein Deutscher Ingenieure.



ROZDZIAŁ 15 - INSTALACJA PIONOWEGO GWC I CEMENTOWANIE

autor Walter J. Eugster

I. WPROWADZENIE

Instalacja otworowego wymiennika ciepła (pionowy GWC) i cementowanie otworu wiertniczego mają takie same znaczenie dla wykonania i przyszłej pracy systemu przy samym wierceniu, lub przy podłączaniu pionowego GWC do pompy ciepła (HP).

Właściwe działanie instalacji zapewniają poniższe działania.

- Otwór wiertniczy musi pozostać otwarty aż do zakończenia cementowania. Pomocnicze rury okładzinowe są wyjmowane dopiero po cementowaniu.
- Rury pionowy GWC wymagają bardzo ostrożnego traktowania podczas transportu, magazynowania na wiertni i instalacji w otworze.
- Cementowanie wymaga specjalnej uwagi i ostrożności. Istnieją trzy główne funkcje mieszanki cementowej:
 - uszczelnianie otworu wiertniczego dla uniknięcia wszelkich pionowych przepływów wody wzdłuż pionowy GWC (funkcja ochrony wód podziemnych),
 - zapewnienie dobrego kontaktu termicznego między ścianami pionowy GWC i otaczającym podłożem (funkcja termiczna),
 - ochrona wbudowanych rurek pionowy GWC przed mechanicznym uszkodzeniem (funkcja techniczna).
- Prace instalacyjne i cementacyjne są wykonywane przez wiertacza. Jednakże, projektant powinien wiedzieć, czego spodziewać się po tej fazie pracy i jakie czynności należy wykonać.

II. PROCEDURA INSTALACJI

II. 1. Prace wstępne

Zaleca się, aby niektóre prace przygotowawcze zostały wykonane jeszcze przed włożeniem pionowy GWC do otworu wiertniczego. Zespół wierzący może przeprowadzić ten etap podczas fazy wiercenia.

Pionowy GWC musi być przymocowany do rozwijaka (Rys. 1), jeśli długość pionowy GWC jest dłuższa niż 50 m. W ten sposób unika się rozwijania pionowy GWC na ziemi w miejscu konstrukcji, co stanowiłoby duże ryzyko mechanicznego uszkodzenia pionowy GWC. Jeśli pionowy GWC jest dłuższe niż 150 m, dobrze jest wyposażyć rozwijkę w hamulec zapewniający powolne i ostrożne włożenie urządzeń do otworu wiertniczego. Rurki pionowy GWC wymagają wizualnej inspekcji dla wykrycia ewentualnych uszkodzeń. Dla rurek PE100/PN16/SDR11 dopuszczalne są wycięcia i uszkodzenie rzędu maksimum 10% grubości ścian rury.

Jest również zalecane, aby pierwsza kontrola szczelności rury była wykonana z zastosowaniem powietrza pod ciśnieniem około 6 bar, dla wykrycia potencjalnych uszkodzeń. Należy to wykonać zwłaszcza wtedy, gdy transport pionowy GWC na miejsce budowy i/lub przechowywanie pionowy GWC na miejscu nie były wykonane pod nadzorem wiertników. Dodatkowe obciążenia są wówczas normalnie mocowane u spodu pionowego GWC i rura zatłaczająca jest umocowana do pionowego

GWC blisko spodu. Najkorzystniej jest stosować pionowy GWC połączony fabrycznie. Jeśli głowica jest połączona do pionowego GWC na wiertni, wiertnik musi posiadać ważny certyfikat do tych prac.



Rysunek 1. pionowy GWC na rozwijaku podczas pierwszej próby gęstości test z zastosowaniem powietrza (rysunek: Polydynamics Engineering Zurich)



Rysunek 2. pionowy GWC gotowy do włożenia z dodatkowym obciążeniem, osłonięty spód i piąta rura zatłaczająca (rysunek: Polydynamics Engineering Zurich)

II. 2. Włożenie pionowy GWC do otworu

Pionowy GWC powinien zostać włożony do otworu wiertniczego w pozycji pionowej (Rys. 2 i 4). Aby tego dopilnować, niektórzy wiertacze stosują rolki przewodnika. Należy przy tym osłaniać ostre końce rur, aby zapobiec uszkodzeniu pionowy GWC przez ścieranie (Rys. 3). Pionowy GWC jest wsuwany do otworu wiertniczego ostrożnie, powoli i z kontrolą prędkości.

Warunki ciśnieniowe wewnątrz i na zewnątrz rur pionowy GWC wymagają specjalnej uwagi podczas wkładania:

- pionowy GWC musi być wypełniony wodą, jeśli w otworze wiertniczym jest woda.
- Należy być świadomym następujących ograniczeń dla rur PE100/PN16/SDR11:
- Δp (wewnętrzna $\rightarrow$ zewnętrzna): maks. 21 bar,
- Δp (zewnętrzna $\rightarrow$ wewnętrzna): maks. 8 bar.

Jeśli wartość ta jest przekroczona, pionowy GWC zaczyna się zapadać!

Po całkowitym włożeniu, pionowy GWC jest przycięty do wymaganej długości (często pionowy GWC są dostępne tylko w pewnych określonych długościach).

Podczas przygotowań do rozpoczęcia cementowania pionowy GWC jest całkowicie wypełniony wodą (Rys. 5), zastosowane jest podstawowe ciśnienie, a pionowy GWC jest hermetycznie uszczelnione (zawór). Należy uwzględnić granice ciśnienia dla rur.



Rysunek 3. Dwie różne osłony końcówek rur (rysunek: Polydynamics Engineering Zurich)



Rysunek 4. Rolki przewodnika zapewniające pionowy kierunek wkładania (obrazek: Polydynamics Engineering Zurich)



Rysunek 5. Przycięcie rury na wymaganą długość, wypełnić je wodą, zastosować pierwsze ciśnienie i uszczelnić je (rysunek Polydynamics Engineering Zurich)

III. CEMENTOWANIE

Materiał cementujący musi spełniać różne wymagania lokalne, krajowe lub rekomendowane przez stowarzyszenia branżowe.

Przepisom mogą podlegać wymienione poniżej cechy materiałowe:

- minimalna gęstość zawiesiny cementującej,
- minimalna stabilność zawiesiny,
- minimalna wytrzymałość na ściskanie utwardzanego materiału podsadzającego,
- maksymalna przepuszczalność hydrauliczna utwardzanego materiału podsadzającego,
- opcjonalnie - minimalna przewodność cieplna,
- opcjonalnie - minimalna odporność na uszkodzenia strukturalne po kilku cyklach mrożenia-odtajania.



*Rysunek 6. Różne typy sprzętu cementującego
(obrazki: Polydynamics Engineering Zurich)*



Rysunek 7. Podczas cementowania, pomocnicze rury okładzinowe wciąż zapobiegają zapadaniu się otworu wiertniczego. pionowy GWC jest pod ciśnieniem (obrazek: Polydynamics Engineering Zurich)

Preferowanym rozwiązaniem jest wytwarzany i pakowany przemysłowo materiał podsadzający o stałym składzie i kontrolowanej jakości. Mieszaniny własnej produkcji wytwarzane na wiertni nie osiągną tej samej stałej jakości, co przemysłowo przygotowane materiały.

Materiał cementujący jest mieszany w zbiornikach o danej objętości i pompowany przez rurę zatłaczającą do otworu wiertniczego lub jest stale mieszany z zastosowaniem pompy dozującej (Rys. 6). Jakość zawiesiny cementującej musi być stała podczas całej procedury cementowania i musi być sprawdzona poprzez pomiary gęstości.

Aby zagwarantować funkcję ochrony wód podziemnych przez materiał cementujący, wiertnik musi dokładnie przestrzegać przepisu mieszania dostarczonego przez producenta.

Otwór jest zacementowany z zastosowaniem uprzednio zamocowanej rury zatłaczającej lub czasem z zastosowaniem metalicznych żerdzi montujących pionowy GWC, które są wówczas wyjmowane żerdź po żerdzi podczas cementowania (Rys. 7). Zasadniczo, cementowanie musi być wykonane od

dna do góry otworu wiertniczego, przestrzegając tak zwanego procesu wykonawczego. Rura zatłaczająca jest pozostawiona w otworze wiertniczym i najgłębsza żerdź musi być trzymana poniżej poziomu materiału cementującego przez cały proces cementowania. Cementowanie od góry z zastosowaniem jakichkolwiek wiader lub pompowanie zawiesiny z powierzchni jest niedozwolone.

Proces cementowania jest zakończony, gdy zawiesina cementująca wypływająca przy głowicy odwiertu ma wymaganą jakość. Teraz pomocnicze rury okładzinowe są usunięte i pionowy GWC jest przygotowane do końcowych testów.

Uwaga: Aby uniknąć niekontrolowanego wypływu gazu lub wody z otworu wiertniczego, proces cementowania musi nastąpić niezwłocznie po włożeniu pionowego GWC!!

Ze względu na ograniczenia dotyczące różnicy ciśnień wewnątrz/na zewnątrz pionowy GWC, następujące ograniczenia systemowe i rekomendacje podane są dla PE100/PN16/SDR11 pionowego GWCs (Tabela 1).

Tabela 1. Ograniczenia techniczne dla pionowy GWC PE100/PN16/SDR11

Gęstość zawiesiny cementowej	Dozwolona długość BHE bez zastrzeżeń	Cementowanie jedynie, gdy BHE są hermetycznie	Długość BHE przekracza ograniczenia
1200 kg/m ³	do 400 m	bez ograniczeń	bez ograniczeń
1400 kg/m ³	200 m	> 200 m	bez ograniczeń
1600 kg/m ³	120 m	120 – 340 m	> 340 m
1800 kg/m ³	100 m	100 – 260 m	> 260 m
2000 kg/m ³	80 m	80 – 200 m	> 200 m

Na rynku istnieje wiele różnych materiałów cementujących. Niektóre z nich mają wyższą przewodność cieplną, inne prezentują wyższą odporność na cykle zamarzania i odtajania, a jeszcze inne wymagają jedynie krótkiego czasu dla uzyskania dość wysokiej kompresji i/lub wytrzymałości na ścinanie.

Tym samym, istnieje szeroki zakres różnych produktów o różnych właściwościach fizycznych. W gestii wiertaczy lub projektantów jest wybór optymalnego materiału dla ich zastosowań. Oczywiście, cena mieszanki cementowej jest istotnym kryterium dla klientów na wolnym rynku.

Przykładowo, wyższa przewodność cieplna obniża opór cieplny otworu wiertniczego i zwiększa pojemność cieplną pionowego GWC. Jest to duża zaleta, zwłaszcza w przypadku chłodzenia. W przypadku ogrzewania, całkowita długość pionowy GWC może być zredukowana (w pewnych warunkach).

Zarówno wyższa przewodność cieplna, jak i wyższa odporność na cykle mrożenia i odtajania przyczyniają się do wyższej gęstości zawiesiny cementującej. Może to doprowadzić do szybszego osiągnięcia technicznych ograniczeń pionowego GWC. Co więcej, jest to kwestią kompleksowego projektu systemu.

IV. WSKAZÓWKI I UWAGI DLA PROJEKTANTÓW

Organy licencjonujące mogą nałożyć specjalne warunki odnośnie jakości pionowy GWC, długości, pozycji, cementowania itd. – należy ich zawsze przestrzegać!

Aby uniknąć opóźnień spowodowanych nieprofesjonalną obsługą, doradza się zatrudniać jedynie doświadczonych, certyfikowanych wiertników montujących pionowe GWC z zatwierdzonymi w kraju lub międzynarodowo ogólnie znanymi uprawnieniami lub certyfikatami, którzy zapewnią:

- doświadczony zespół wiercący dla wykonania pracy objętej zakresem,
- odpowiednią wiedzę ekspercką z dziedziny wierceń pozwalającą na pracę w konkretnych dla lokalizacji warunkach geologicznych i hydrogeologicznych,
- zastosowanie wiertnic wyposażonych w odpowiedni sprzęt ochronny wykrywający np., wypływy gazu i wody artezyjskiej oraz zespół wiertaczy przeszkolony do radzenia sobie z takimi wydarzeniami.



ROZDZIAŁ 16 - KONTROLA FUNKCJI I JAKOŚCI

autor Walter J. Eugster

I. KONTROLA SYSTEMU

Wyciek, ciśnienie, temperatura (Rys. 1)

Obwód otworowego wymiennika ciepła (pionowy GWC) musi być przynajmniej wyposażony w:

- armaturę do wypełniania i płukania,
- urządzenie odpowietrzające,
- nadciśnieniowy zawór bezpieczeństwa,
- manometr,
- urządzenie do kontroli ciśnienia,
- naczynie wzbiorcze

oraz opcjonalnie w:

- urządzenie do kontroli przeciw oblodzeniu (jeśli nie jest dodany środek przeciwwymarzający),
- urządzenia temperaturowe.

Każdy pojedynczy obwód pionowy GWC musi być wyposażony w zawór kontroli przepływu i odcinający, by umożliwić dostosowywanie przepływu i spadku ciśnienia każdego pojedynczego obwodu.

Uwaga: naturalna rozszerzalność głębszych rur pionowy GWC (wymuszona przez wagę słupa płynu przy długościach > ok. 250 - 300 m) może przekroczyć objętość zwykłego naczynia wzbiorczego. Efekt ten zależy od materiału cementującego.

II. PRÓBY, ODBIÓR I DOKUMENTACJA

II.1. Próby końcowe

Końcowe próby pionowego GWC składają się z dwóch etapów:

- a. próba przepływowa
- b. próba szczelności na wycieki (próba ciśnieniowa).

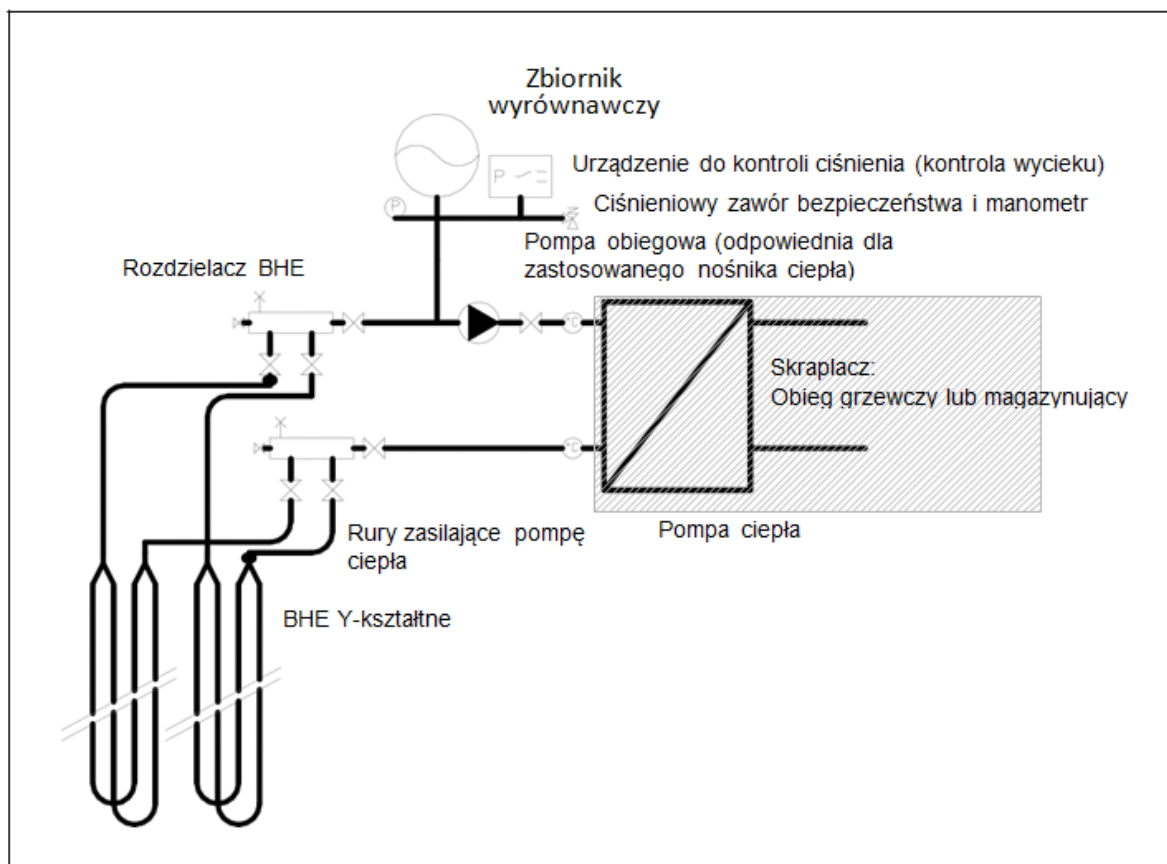
Przed wykonaniem prób konieczne jest przepłukanie rur pionowego GWC (Rys. 2), korzystnie z obu stron, dla wyczyszczenia pionowy GWC i wypłukania brudu oraz wszelkich innych pozostałości z rur.

a. Płukanie pionowy GWC

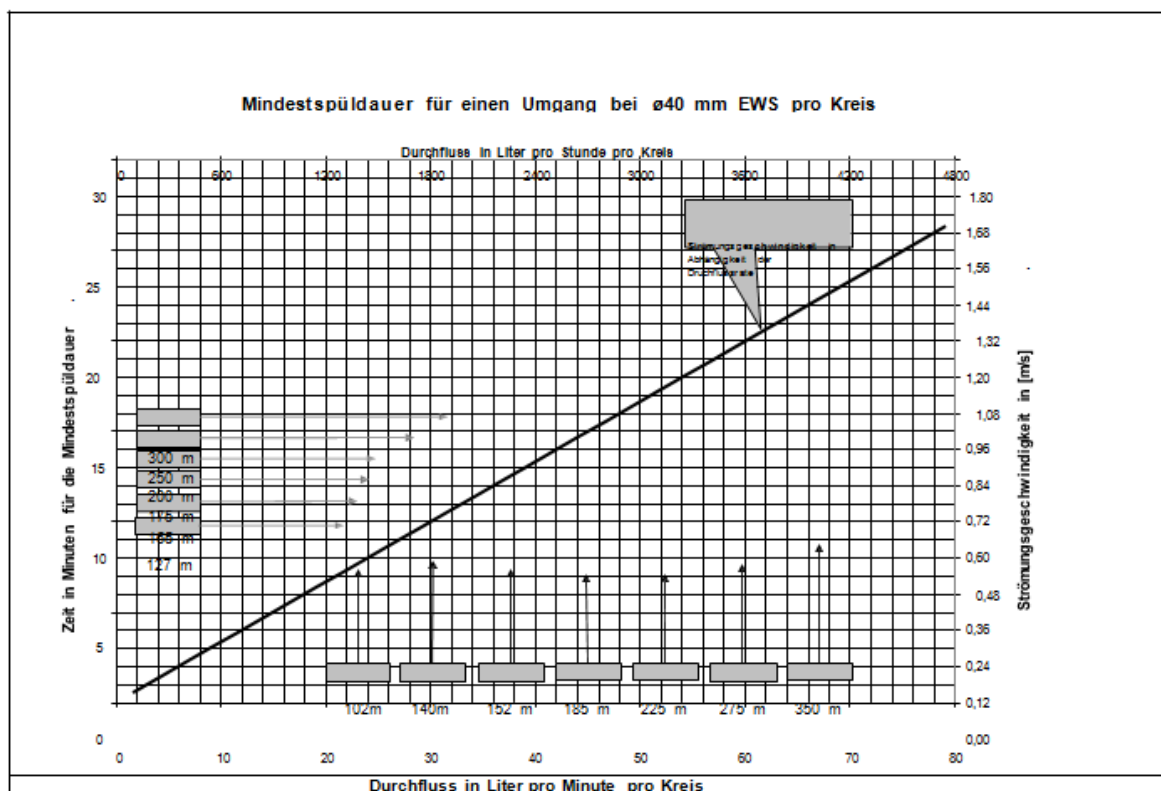
Czysta woda jest pompowana przez każdy obieg pionowego GWC do wypłukania wszelkich cząsteczek brudu, korzystnie z obu stron, dopóki każdy obwód nie będzie jednokrotnie całkowicie przepłukany.

b. Próba przepływowa

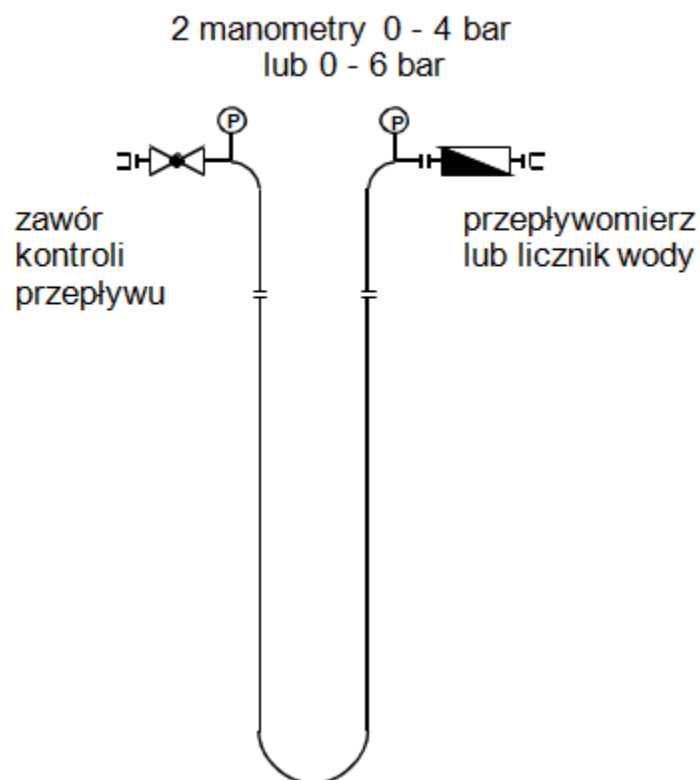
Celem próby przepływowej jest wykazanie, że opróbowany obieg pionowego GWC nie ma zwiększonego spadku ciśnienia, tj. zwiększonego oporu hydraulicznego (Rys. 3, 4).



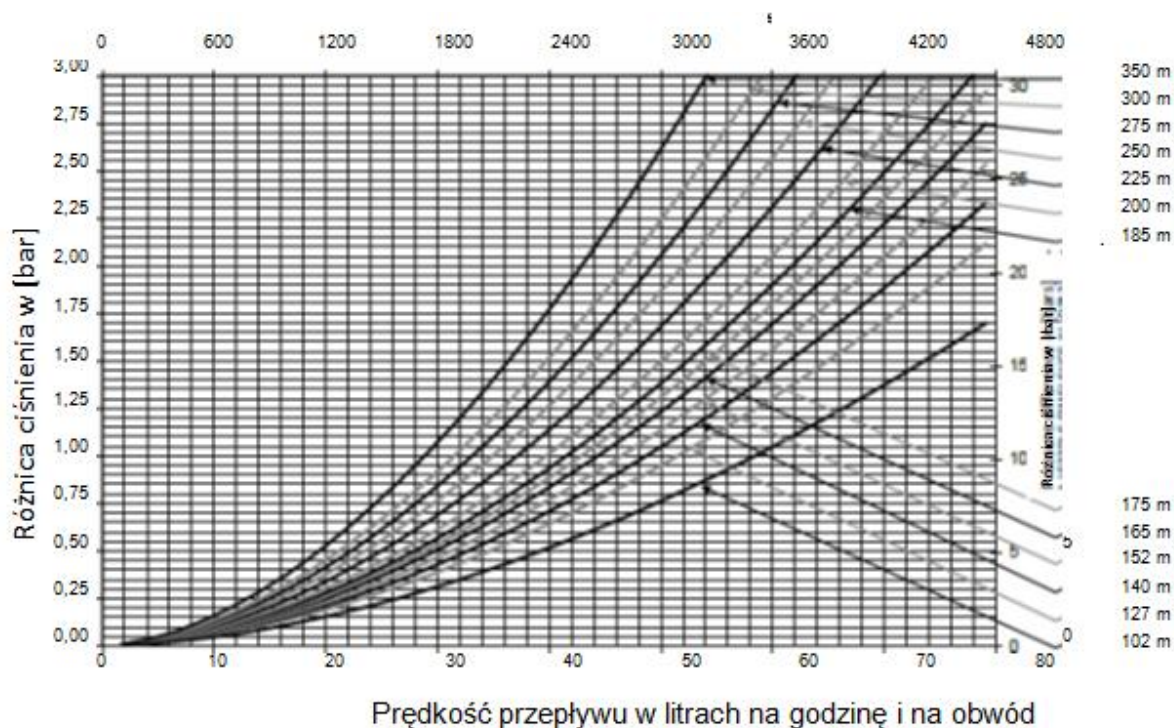
Rysunek 1. Przykład minimalnego osprzętu obiegów głównych obejmujących 2 pionowe GWC (rysunek za SIA 384/6 (SN 546 384/6))



Rysunek 2. Przykład minimalnego czasu płukania na obwód dla rury pionowego GWC $\varnothing 40 \times 32,6$ mm jako funkcji prędkości przepływu i długości pionowy GWC (wykres z SIA 384/6 (SN 546 384/6))



Rysunek 3. Konfiguracja próby przepływu (wykres: Polydynamics Engineering Zurich)



Rysunek 4. Teoretyczny maksymalny dopuszczalny spadek ciśnienia na obwód pionowego GWC, $\varnothing$ rury $40 \times 32,6$ mm (wykres z SIA 384/6 (SN 546 384/6))

Nieznaczne nadciśnienie (na zewnątrz → w środku) podczas instalacji może deformować rury pionowy GWC do kształtu owalnego o mniejszym polu przekroju. Efekt ten zwiększa spadek ciśnienia. Wówczas potrzebna jest możliwie większa cyrkulacja dla zapewnienia przewidzianej prędkości przepływu.

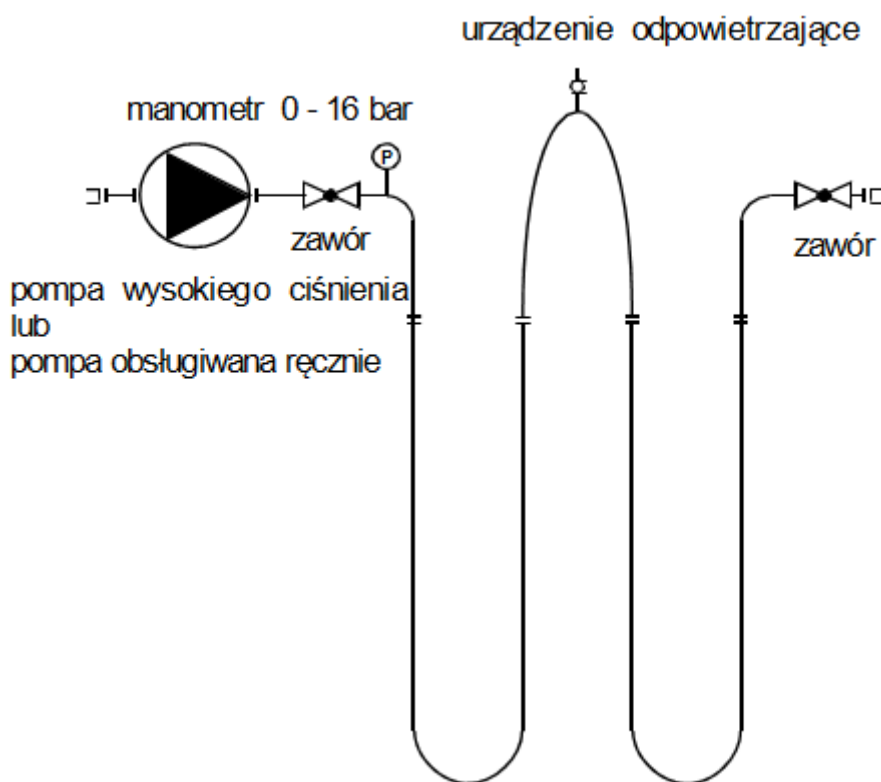
Różnica ciśnień (dopływ – odpływ) przy stałej prędkości przepływu nie może przekroczyć pewnych wartości teoretycznych. Próba przepływu może być połączona z płukaniem rur.

Sprzęt potrzebny do wykonania próby przepływu jest następujący:

- 2 manometry (0 - 4 lub 0 - 6 bar),
- 1 zawór kontroli przepływu,
- 1 miernik przepływu (wirnikowy miernik wody jest wystarczający).

c. Próba szczelności na wycieki (próba ciśnieniowa)

Próba szczelności na wycieki (ciśnieniowa) musi spełniać przepisy EN 805. Dla rur polietylenowych (PE) próba ciśnieniowa musi być wykonana jako „próba kompresji”. Nadciśnienie (wewnątrz → na zewnątrz) jest wywierane na rurę na całej długości. Ten etap powoduje nieznaczne pęcznienie rury PE na całej jej długości. Następnie stosowany jest nagły spadek ciśnienia wynoszący około 10% ciśnienia próbnego (Rys. 5). Ten spadek ciśnienia pozwala na ponowną kompresję rury. Jeśli rura jest szczelna, pomierzony jest wzrost ciśnienia.



Rysunek 5. Konfiguracja próby szczelności na wycieki (wykres: Polydynamics Engineering Zurich)

Dla wykonania takiej próby potrzebny jest następujący sprzęt:

- pompa wysokiego ciśnienia lub pompa obsługiwana ręcznie,
- 2 zawory odcinające,
- 1 manometr 0-16 bar,
- urządzenie odpowietrzające, jeśli oba obwody poddawane są próbie jednocześnie.

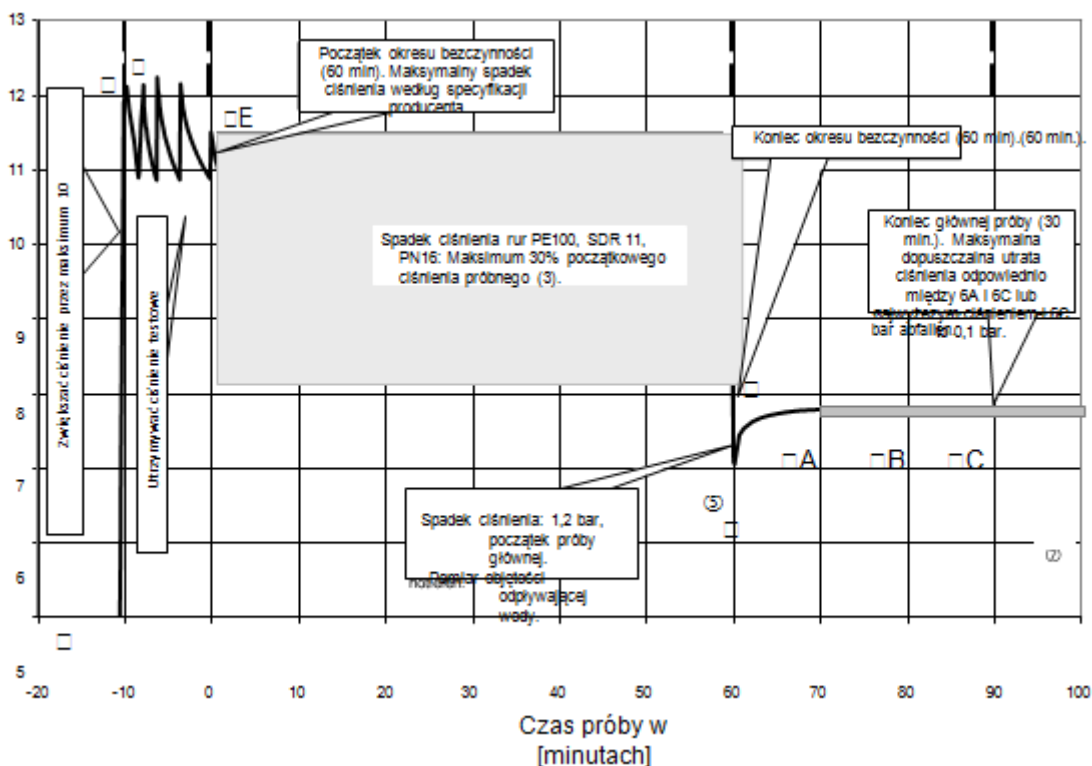
Taka próba ciśnieniowa musi być wykonana niezwłocznie po zakończeniu cementowania, gdy materiał cementujący wciąż jeszcze nie stwardniał.

Ciśnienie testowe dla rur PE100/PN16/SDR11 rekomendowane jak wynika z SIA 384/6 (SN 546 384/6):

- nadciśnienie przy spodzie pionowego GWC: $> 0,5$ bar podczas próby
- ciśnienie przy cieple pionowego GWC: $> 7,5$ bar.

Szczegółowa procedura próby (Rys. 6):

- 1 h - okres beczynności. Bez wywierania nadciśnienia na rurę ①
- Zastosować ciśnienie próbne. Dla pionowy GWC PE100/PN16/SDR11 patrz Tabela 1. Dla innych materiałów przestrzegać specyfikacji producenta ②
- 10 minut - utrzymać próbę ciśnieniową ③
- 1 h - okres beczynności. Rura rozszerzy się na całej długości
- Pomiar ciśnienia. Spadek ciśnienia nie może przekroczyć specyfikacji producenta ④
- Nagły spadek ciśnienia o przynajmniej 10% ciśnienia testowego ⑤
- 10 minut - pierwszy pomiar ciśnienia ⑥ A
- 20 minut - drugi pomiar ciśnienia ⑥ B
- 30 minut - trzeci i ostatni pomiar ciśnienia ⑥ C



Rysunek 6. Graficzna procedura próby (wykres z SIA 384/6 (SN 546 384/6)).

Pionowy GWC zalicza test, jeśli różnica ciśnień (spadek ciśnienia) między ⑥ C i ⑥ A nie przekracza 0,1 bar.

Górna część nie powinna być wypełniona wodą przy zimnej pogodzie, gdyż istnieje ryzyko zamrożenia.

Tabela 1. Ustalenie ciśnienia próbnego dla pionowy GWC PE100/PN16/SDR11 (wg SIA 384/6 (SN 546384/6))

Długość BHE	Gęstość zawiesiny cementowej				
	1200 kg/m ³	1400 kg/m ³	1600 kg/m ³	1800 kg/m ³	2000 kg/m ³
60 m	8,0 bar	8,0 bar	9,0 bar	10,0 bar	11,0 bar
80 m	8,0 bar	9,0 bar	10,0 bar	12,0 bar	14,0 bar
100 m	8,0 bar	9,0 bar	11,0 bar	14,0 bar	17,0 bar
120 m	8,0 bar	10,0 bar	13,0 bar	17,0 bar	21,0 bar
140 m	8,0 bar	11,0 bar	15,0 bar	19,0 bar	24,0 bar
160 m	9,0 bar	12,0 bar	17,0 bar	22,0 bar	27,0 bar
180 m	9,0 bar	13,0 bar	19,0 bar	25,0 bar	31,0 bar
200 m	9,0 bar	14,0 bar	21,0 bar	27,0 bar	34,0 bar
220 m	10,0 bar	15,0 bar	23,0 bar	30,0 bar	brak BHE

	Ciśnienie próbne dla różnych długości BHE i gęstości zawiesiny cementowej
	Bez zwykłych prób szczelności na wycieki. Testowanie jedynie według specyfikacji producenta.

Po końcowych próbach, pionowy GWC są zazwyczaj oddawane do użytku u klienta (odpowiednio, właściciela lub instalatora).



Rysunek 7. Ochrona końcówek pionowy GWC (rysunek: Polydynamics Engineering Zurich)



Rysunek 8. Przykład uszczelnienia pionowy GWC po próbach końcowych (rysunek: Polydynamics Engineering Zurich)

Końcowe podłączenie do kompletnego systemu pompy ciepła może nastąpić później – od kilku dni do kilku miesięcy. W tym czasie pionowy GWC muszą być chronione przed wszelkimi przypadkowymi uszkodzeniami podczas dalszych prac konstrukcyjnych. Końcówki pionowy GWC powinny być dobrze zamknięte, oznaczone i osłonięte (Rys. 7, 8).

III. ODBIÓR

Końcowe próby pionowego GWC reprezentują odbiór prac wiertniczych pionowy GWC. Klient powinien otrzymać zaproszenie do udziału w testach końcowych. Wszystkie profile wierceń i zapisy prób są przekazywane klientowi.

Jest to moment, w którym wiertacz przekazuje swoją odpowiedzialność za pionowy GWC klientowi i zaczyna obowiązywać gwarancja prawna.

Końcowy odbiór ma miejsce, gdy całkowity system pompy ciepła (HP) będzie ukończony. Obejmuje to przynajmniej następujące punkty:

- przeprowadzenie pozytywnej próby szczelności pod kątem wycieku dla kompletnego systemu hydraulicznego,
- sprawdzenie temperatur, ciśnień i prędkości przepływu w systemie,
- sprawdzenie funkcjonalności każdego urządzenia,
- uruchomienie systemu pompy ciepła,
- przekazanie klientowi kompletnej dokumentacji,
- poinstruowanie przyszłego operatora systemu odnośnie użytkowania i konserwacji systemu i czynności w przypadku zakłóceń.

IV. DOKUMENTACJA

Jeśli nie istnieją istotne przepisy krajowe, przynajmniej następujące dane muszą być umieszczone na miejscu (pompa ciepła) i udokumentowane w papierach projektu:

- rok konstrukcji,
- firma wiercąca,
- ilość, długość i odległość pionowy GWC,
- długość i średnice rur zasilających/powrotnych między pompą ciepła i pionowy GWC,
- marka, dokładny opis produktu i mieszanka nośnika ciepła,
- objętość obwodów pionowego GWC,
- prędkość przepływu i wysokość tłoczenia pompy obiegowej (pomp cyrkulacyjnych),
- marka i dokładna nazwa produktu pompy ciepła,
- wydajność grzewcza i chłodnicza pompy ciepła w projektowanej temperaturze.

Następujące dane dodatkowe powinny uzupełnić dokumenty projektu:

- karta i profil wiercenia oraz – jeśli dotyczy – ekspertyza geologiczna
- mapa miejsca z dokładną (pomiarzoną) lokalizacją pionowy GWC i rur zasilających/powrotnych
- obliczona wydajność pionowego GWC (wymiarowanie)
- zapisy prób końcowych i rejestracja odbioru (oddanie do użytku).

V. KONSERWACJA

Zgodnie z założeniami, instalacja pionowy GWC nie wymaga konserwacji! Niemniej, należy sprawdzić kilka punktów:

- zmierzyć lub sprawdzić ciśnienie systemowe (corocznie przez operatora),
- zanotować wartość w rejestrze,
- zapisać każdy dodatek cieczy (woda lub środek przeciwzamarzający, dodana objętość, ciśnienie przed i po dodaniu),
- sprawdzić funkcję ochronną środka przeciwzamarzającego dla nośnika ciepła co 10 lat.

VI. MONITORING

Monitoring systemu stanowi podstawę wszystkich przyszłych optymalizacji systemu. Kontrola systemu powinna zapisać i korzystnie przechowywać następujące parametry systemowe:

- całkowity czas pracy pompy ciepła (sprężarki),
- minimalna temperatura zasilania/powrotna obwodu pionowego GWC,
- temperatura zasilania/powrotna obiegu cieplnego/użytkownika,
- opcjonalnie: zużycie energii elektrycznej.

Jeśli nie istnieje automatyczny rejestrator danych, zapamiętać te wartości z kontroli systemowej i zapisać je w rejestrze.

Dla mniejszych instalacji, należy zapisywać lub zapamiętywać te parametry początkowo codziennie lub cotygodniowo. Później wystarczy zapis/zapamiętanie comiesięczne lub coroczne.

Dla większych instalacji zalecany jest bardziej szczegółowy i automatyczny monitoring.



ROZDZIAŁ 17 - EUROPEJSKA SYTUACJA PRAWNA I NORMY

autorzy: David Norbury i Burkhard Sanner

I. WPROWADZENIE

Wykorzystanie energii geotermalnej do ogrzewania i chłodzenia obiektów ma dość krótką tradycję w Europie. Z tego powodu nie opracowano jeszcze zbyt wielu wytycznych i norm standaryzujących taką działalność na poziomie europejskim. Kraje, w których geotermia jest najlepiej rozwinięta opracowały i wdrożyły przepisy, ujmujące różne aspekty związane z projektowaniem i instalacją gruntowych pomp ciepła.

W rozdziale przedstawiono omówienie standardów normatywnych w Europie biorąc pod uwagę prawo krajowe, a także podsumowano kluczowe aspekty najważniejszych norm. Z pewnością nastąpi dalszy rozwój prawodawstwa związanego z tą dziedziną.

Można wyróżnić trzy główne obszary związane z energią geotermalną i pompami ciepła:

1. Instalacja geotermalna (wiercenie, kładzenie rur, konstrukcja odwiertu itd.). Nie istnieją żadne normy na poziomie UE.
2. Pompy ciepła (praca z systemami chłodzenia/termodynamicznymi, systemami pod ciśnieniem, bezpieczeństwo elektryczne itd.). Istnieje pewna liczba norm na poziomie europejskim lub międzynarodowym.
3. Klasyczna instalacja do ogrzewania i klimatyzacji (hydraulika, grzejniki, przewody powietrzne itd.).

Dla aspektów związanych z elektryką instalacji, IEC opracował pewną liczbę norm w serii IEC 60335 dotyczących bezpieczeństwa gospodarstwa domowego i podobnych urządzeń elektrycznych, jakie są ratyfikowane na poziomie europejskim. Zasady przyjęte dla punktu 3 są takie same, jak dla pozostałych, konwencjonalnych instalacji ogrzewania i chłodzenia.

Ogólny status wdrażania norm w Europie wygląda następująco:

- pompy ciepła – istnieją wyczerpujące i zharmonizowane normy techniczne dla sprzętu,
- państwa członkowskie UE (plus Szwajcaria i Norwegia) zaadaptowały normy EN dla testowania, oceniania i bezpieczeństwa pomp ciepła,
- istnieją jedynie normy EN dla bezpieczeństwa wiertnic (płytkie odwierty) oraz pochodzące z przemysłu naftowego (mogące mieć pewne znaczenie dla wiercenia jakichkolwiek głębokich odwiertów, jakie mogą być wykonywane),
- dla płytkich systemów geotermalnych, normy techniczne istnieją w tych krajach, gdzie rynek jest już dobrze rozwinięty. Obejmują one Niemcy, Szwecję, Austrię i Szwajcarię,
- certyfikacja instalatorów i wiertaczy istnieje tylko w tych krajach, gdzie rynek jest dojrzały.

W sektorze geotermii i pomp ciepła normy i kodeksy mogą być sklasyfikowane na różne sposoby:

- normy techniczne dla wydajności, bezpieczeństwa, trwałości itd. mają zastosowanie głównie dla sektora pomp ciepła,
- normy techniczne dla ochrony środowiska dotyczące wiercenia, otworowych wymienników ciepła, itd. mają zastosowanie głównie dla strony gruntowej (geotermalnej),

- przepisy i wytyczne dla licencjonowania systemów geotermalnych (dotyczące ochrony wód podziemnych), obejmują regulacje prawne dla dostępu i własności zasobów geotermalnych,
- certyfikacja umiejętności i jakości pracy dla instalatorów i wiertaczy.

II. NORMY EUROPEJSKIE

Dla sprzętu wykorzystywanego przy instalacji i funkcjonowaniu pomp ciepła istnieje wyczerpujący i dobrze zharmonizowany zestaw norm technicznych. Dla płytkich systemów geotermalnych normy techniczne opracowano tylko w krajach, gdzie rynek jest już rozwinięty. Główne bariery administracyjne i licencyjne stosowane do prac geotermalnych są dobrze ujęte w całokształcie norm EN.

Sprzęt pomp ciepła jest omówiony wyczerpująco w dobrze zharmonizowanym zestawie norm technicznych. Państwa członkowskie przyjęły podstawowe normy EN dla testowania i oceny, bezpieczeństwa itd. do normalizacji krajowej; Szwajcaria, Norwegia i Islandia dołączyły do tego samego zestawu norm. Choć nie wszystkie istotne normy EN zostały jak dotąd wdrożone we wszystkich krajach członkowskich, proces ten jest już w zaawansowanej fazie.

W tym samym procesie, większość uprzednio istniejących norm krajowych została wycofana i zastąpiona przez normy EN. Normy krajowe istniały zwłaszcza w krajach o tradycjach stosowania pomp ciepła, takich jak Austria, Niemcy, Szwecja i Szwajcaria. W kilku przypadkach, uprzednio istniejące normy krajowe zostały podtrzymane dla konkretnych obszarów nieobjętych przez normy EN.

Dla energii geotermalnej, normy EN istnieją tylko w kwestiach bezpieczeństwa wiertnic (płytki geotermia) i dla sektora przemysłu naftowego (który ma pewne znaczenie dla głębokiej geotermii, wraz z normami US API). Normy przemysłu naftowego są wymienione tylko we wspólnej postaci EN, a ich krajowe dostosowanie jest zaawansowane tylko w Niemczech i Francji.

Dla płytkich systemów geotermalnych normy techniczne istnieją w tych krajach, gdzie rynek jest już rozwinięty. Należą do nich Niemcy, Szwecja, Austria oraz nie będąca państwem członkowskim Szwajcaria. Podobna sytuacja dotyczy także certyfikacji/licencjonowania instalatorów i wiertaczy. Wskazówki dotyczące przepisów prawnych dla instalacji geotermalnych istnieją tylko w niektórych krajach, przy czym najbardziej rozwinięte wymagania dotyczą niektórych niemieckich krajów związkowych i niektórych kantonów szwajcarskich.

Istniejące normy europejskie wymieniono poniżej w celach informacyjnych (Tabela 1), dla osób zaangażowanych w projektowanie systemów geotermalnych. Status specyfikacji krajowych (np. DIN, VDI) różni się w zależności od kraju.

Tabela 1. Normy europejskie

EN 378-1:2008	<i>Systemy chłodzące i pompy ciepła – wymagania bezpieczeństwa i środowiskowe – Część 1: Wymagania podstawowe, definicje, klasyfikacja i kryteria doboru</i> Nowelizacja z 2008 objęła harmonizację z europejską dyrektywą o urządzeniach ciśnieniowych (PED). (EN 378 jest szeroko stosowana jako norma podstawowa w większości)
EN 255-3	<i>Klimatyzatory, ziębiarki cieczy i pompy ciepła ze sprężarkami o napędzie elektrycznym - Tryb ogrzewania - Testy i wymagania dla oznaczania domowych jednostek gorącej wody</i>
EN 14511-1:2004	<i>Klimatyzatory, ziębiarki cieczy i pompy ciepła ze sprężarkami o napędzie elektrycznym wykorzystywane do ogrzewania i oziębiania –</i>
ISO 13256-1:1998	<i>Wodne pompy ciepła -- Testy i ocena wydajności - Część 1: Pompy ciepła woda-powietrze i solanka-powietrze</i>
ISO 13256-2:1998	<i>Wodne pompy ciepła -- Testy i ocena wydajności - Część 2: Pompy ciepła woda-woda i solanka-woda</i>
EN 12171:2002	<i>Systemy grzewcze w budynkach. Procedura przygotowania dokumentów dla obsługi, konserwacji i użytkowania. Systemy grzewcze nie wymagające przeszkolonego operatora</i>
EN 12170:2002	<i>Systemy grzewcze w budynkach. Procedura przygotowania dokumentów dla obsługi, konserwacji i użytkowania. Systemy grzewcze</i>
EN 12828:2003	<i>Systemy grzewcze w budynkach – Projekt dla systemów ogrzewania opartego o wodę</i>
EN 12831:2003	<i>Systemy grzewcze w budynkach - Metoda obliczenia projektowego ładunku ciepła</i>
EN 15316/4/2:2008	<i>Systemy grzewcze w budynkach - Metoda obliczenia systemowych wymagań energetycznych i wydajności systemowych - Część 4-2: Systemy generujące ogrzewanie przestrzeni, systemy</i>
EN 15450:2007	<i>Systemy grzewcze w budynkach. Projektowanie systemów grzewczych z pompami ciepła</i>

Treść tych norm krajowych przedstawia przydatne odwołania do najlepszych praktyk lokalnych i powinna być uwzględniona jako odwołania dla celów technicznych.

Istnieją także różne normy dla wiertnictwa (Tabela 2), które mogą być istotne dla płytkich systemów geotermalnych.

Tabela 2. Normy wiertnicze

EN 791:1996	<i>Wiertnice: Bezpieczeństwo</i>
ISO 3551:1992	<i>Sprzęt do obrotowego wiercenia rdzeniowanego System A</i>
ISO 3552:1992	<i>Sprzęt do obrotowego wiercenia rdzeniowanego System B</i>
ISO 10097:1999	<i>Sprzęt wierzący do rdzeniowania koroną diamentową System A</i>
ISO 10098:1992	<i>Sprzęt wierzący do rdzeniowania koroną diamentową System CSSK</i>
EN 12717:2001	<i>Bezpieczeństwo narzędzi maszynowych, maszyny wierzące</i>
EN ISO 22475/1:2006	<i>Badania i testy geotechniczne – metody opróbowania i pomiary wody podziemnej - Część 1: Zasady techniczne dla wykonawstwa</i>

Standard normatywny „Systemy ogrzewania w budynkach – Projektowanie systemów grzewczych z pompami ciepła”, EN 15450 z października 2007 r. dotyczy projektowania systemów pomp ciepła nie tylko dla źródła wodnego i gruntowego, lecz także dla powietrznego. Jest to pierwsza norma EN dla systemu pompy ciepła w ogóle.

EN 15450 naświetla podstawowy problem dla normy geotermalnej na poziomie europejskim:

- warunki klimatyczne w Europie wahają się znacznie, skutkując dużymi różnicami w zapotrzebowaniu na ogrzewanie/chłodzenie,
- warunki geologiczne wahają się znacznie od nieskonsolidowanych gleb do twardych skał krystalicznych,
- tradycje ogrzewania i chłodzenia wahają się znacznie (np. systemy hydrauliczne a systemy oparte o powietrze, układ zamknięty a układ otwarty).

W efekcie zauważa się, że EN 15450 może zapewnić tylko ogólne, minimalne ramy dla projektu i instalacji, przy czym wiele elementów musi być uzupełnionych lokalnie lub regionalnie.

Norma ta zawiera następujące sekcje:

- Wymagania systemowe
- Wymagania instalacyjne
- Oddanie systemu do użytku
- Wymagania konserwacyjne

Według tej normy europejskiej, pierwszy właściwy parametr do zdefiniowania dla projektu systemu to źródło ciepła, którym może być powietrze, woda lub grunt czy skały. Ponadto zapewnione musi być źródło elektryczności oraz pozycjonowanie instalacji i jej poziomu hałasu. Jeśli potrzebny jest dodatkowy podgrzewacz rezerwowy, jego moc musi być zredukowana do minimum, gdyż nie jest to technologia energii odnawialnej. Ponadto, scharakteryzowany musi być domowy zasobnik ciepłej wody i inne powiązane systemy, takie jak zbiornik buforowy. System kontrolny, układy bezpieczeństwa i wymagania operacyjne są najistotniejsze i muszą być zdefiniowane według norm.

Przy oddaniu systemu do użytku muszą być spełnione następujące kwestie:

- sprawdzenie systemu pod kątem satysfakcjonującej i bezpiecznej pracy,
- sprawdzenie wszystkich komponentów systemu przy pracy zgodnie z warunkami projektowymi,
- dostrojenie parametrów kontrolnych w celu spełnienia warunków operacyjnych według projektu,
- zbilansowanie systemu dystrybucji ciepła.

Odnosnie wymagań dla konserwacji systemu, istnieje odwołanie do EN 12170 i EN 12171. Ponadto, wspomniane jest, że personel zaangażowany w konserwację systemu musi być wykwalifikowany i certyfikowany według EN 13313.

Istnieją ponadto cztery aneksy zawierające:

- Aneks A (informacyjny) – Wskazówki dla ustalania parametrów projektu
- Aneks B (normatywny) – Wskazówki dla projektowania systemów pomp ciepła
- Aneks C (normatywny) – Rekomendowane wartości minimalne i docelowe dla SPF
- Aneks D (normatywny) – Średnie dzienne schematy zużycia dla domowej produkcji gorącej wody

Między różnymi krajami można dostrzec różnice dotyczące implementacji norm europejskich:

- Dania i Szwecja zaadaptowały wszystkie istotne normy EN do norm krajowych i mają szeroki zakres norm krajowych, przepisów prawnych oraz licencjonowania/certyfikacji firm i osób.
- Francja zaadaptowała istotne normy EN do norm krajowych, a także ma pewne własne normy krajowe. Rozpoczęła się certyfikacja wiertaczy i instalatorów.

- Rumunia już zaadaptowała najbardziej istotne normy EN do norm krajowych, a jej normy krajowe nie prezentują zbyt wiele ponad to. W kwestiach licencyjnych i prawnych jak dotąd uwzględniona jest tylko głęboka geotermia.

III. NORMY KRAJOWE

Normy techniczne dla ogrzewania i pomp ciepła istnieją na poziomie państwowym w krajach, gdzie rynek jest dobrze rozwinięty, takich jak Austria, Niemcy, Szwecja i Szwajcaria.

Te normy krajowe są wymienione poniżej (Tabela 3) i istnieją zasadniczo w języku lokalnym, poza VDI 4640, która jest dostępna zarówno po niemiecku i po angielsku.

Najbardziej zaawansowaną i wyczerpującą normą krajową jest niemiecki dokument VDI 4640. Ta niemiecka norma koncentruje się zwłaszcza na systemie gruntuwa pompa ciepła jako całości (głównie w części 2), w przeciwieństwie do innych, które skupiają się bardziej na pojedynczych elementach systemu. Zawartość tego dokumentu jest następująca:

- Część 1: Ogólne/ Licencje / Środowisko, stan na 2001-06
- Część 2: Gruntowe pompy ciepła, stan na grudzień 2001-09, w trakcie aktualizacji
- Część 3: UTES, stan na 2001-06
- Część 4: Zastosowania bezpośrednie (chłodzenie, wymiennik ciepła grunt-powietrze), stan 2004-09.

Tabela 3. Normy krajowe

Kraj	Dokument Numer	Tytuł dokumentu	Data
AT	ÖNORM M 7753	Pompy ciepła ze sprężarkami o napędzie elektrycznym dla	1995
AT	ÖNORM M 7755-2+3	Elektrycznie napędzane pompy ciepła	2000
AT	ÖWAV Regelblatt 207	Termiczne wykorzystanie wody podziemnej i podłoża, ogrzewanie i chłodzenie	2009
CH	AWP T1	System grzewczy z otworowymi wymiennikami ciepła	2007
CH	AWP T2	System grzewczy z poziomym kolektorem gruntowym,	2007
CH	AWP T3	Woda podziemna jako źródło ciepła	2007
CH	AWP T5	Wypełnianie systemów otworowych wymienników	2007
CH	SIA D 0190	Wykorzystanie ciepła Ziemi poprzez pale fundamentowe i inne części budynku będące w	2005
CH	SIA 384/6 (SN 565)	Otworowe wymienniki ciepła dla 2009 ogrzewania i chłodzenia	2009
DE	DIN8901	Systemy chłodnicze i pompy ciepła – Ochrona gleby, podłoża i wody powierzchniowej	2002
DE	VDI 4640 Blatt 1	Wykorzystanie termiczne podłoża - część 1: Podstawy, zgody, aspekty środowiskowe	2009
DE	VDI 4640 Blatt 2	Wykorzystanie termiczne podłoża - część 2: Gruntowe pompy ciepła	2001
DE	VDI 4640 Blatt 3	Wykorzystanie termiczne podłoża - część 3: Podziemne magazynowanie energii cieplnej	2002
DE	VDI 4640 Blatt 4	Wykorzystanie termiczne podłoża - część 4: Zastosowania bezpośrednie	2004
DE	DE DIN 8901	Systemy chłodnicze i pompy ciepła – Ochrona gleby, podłoża i wody powierzchniowej	2002
SE	Normbrunn-07	Wiercenie studni wodnych i dla energetyki	2008
* Należy zauważyć, że w Szwajcarii: AWP T1 jest pierwszą normą podającą, by cementowanie wykonywać od dna do wierzchu instalacji otworu wiertniczego.			

Pierwsza część VDI 4640 dotyczy następujących ogólnych informacji dla systemów gruntowa pompa ciepła:

- Podstawy dotyczące definicji energii geotermicznej i zasad dla projektowania systemu gruntowa pompa ciepła
- Pozwoleń dotyczących praw wodnych oraz prawa górniczego
- Aspektów bezpieczeństwa pomp ciepła
- Oceny lokalizacji dotyczącej niewielkich systemów do 30 kW w zależności od założeń i szacunków
- Aspektów środowiskowych dotyczących doboru materiału dla instalacji w podłożu, takich jak rury, mieszanie wody itd.

Druga część VDI 4640 dotyczy projektu i instalacji kompletnego systemu gruntowa pompa ciepła:

- Systemy studni wody podziemnej (projekt i instalacja)
- Systemy z układem zamkniętym
 - obwody poziome – poziome gruntowe wymienniki ciepła (projekt i instalacja)
 - układy pionowe - otworowe wymienniki ciepła (projekt i instalacja)
 - Specjalne cechy systemów z bezpośrednim parowaniem (projekt i instalacja)
 - Charakterystyka innych źródeł ciepła, takich jak „strumienie energii”, kompaktowe poziome gruntowe wymienniki ciepła itd.
 - Podłączenie systemu (rozdzielacze i kolektory, armatura i pompy, połączenia rurowe między rozdzielaczami i pompami ciepła, wymiary rur i pomp)
 - Systemy wykorzystywania ciepła
 - Demontaż systemów gruntowa pompa ciepła.

Trzecia część VDI 4640 dotyczy magazynowania energii termicznej, a konkretniej:

- Ogólne informacje o magazynowaniu energii termicznej (definicje, specjalne aspekty środowiskowe, wybór materiałów dla wyższych temperatur)
- Włączenie w system dostawy energii (bilans energii, poziomy temperatur, wskaźnik wykorzystania systemu magazynowania, zastosowania: magazynowanie zimna i/lub niskotemperaturowego ciepła z lub bez pompy ciepła, magazynowanie energii słonecznej i ciepła, zakład kogeneracji ciepła i zasilania sprzężony z magazynowaniem ciepła, złożone systemy dostarczania energii wykorzystujące i magazynujące ciepło odpadowe, dalsze warianty systemów podziemnego magazynowania energii termicznej)
- Magazynowanie w warstwie wodonośnej (opis systemu, naturalne wymagania dla miejsca, rozpoznanie miejsca, projekt odwiertów, specjalne aspekty dotyczące licencjonowania magazynowania w warstwie wodonośnej, możliwe problemy operacyjne wynikające ze składu chemicznego wody podziemnej)
- pionowy GWC (geometria systemu magazynowania, schemat, konstrukcja)
- Inne podziemne magazynowanie termiczne (magazynowanie w kavernach, opuszczonych kopalniach, prawie naturalne systemy podziemnego magazynowania energii termicznej).

Czwarta część VDI 4640 dotyczy systemów źródeł termicznych bez stosowania pompy ciepła, a konkretniej:

- Bezpośredniego termicznego wykorzystania wody gruntowej (opis systemu, wpływ na środowisko i specjalne aspekty dotyczące gospodarki wodnej oraz legislacji wodnej, projektowania)
- Bezpośrednie termiczne wykorzystanie podłoża z otworowymi wymiennikami ciepła, strumieniami energii itd. (opis systemu, aspekty środowiskowe i kwestie dotyczące legislacji wodnej, konstrukcji i instalacji, w tym demontażu)
- Ogrzewanie i chłodzenie powietrza pod ziemią (opis systemu, aspekty środowiskowe, higiena powietrza, projekt, instalacja, wybór materiałów, demontaż, strategie kontroli, wydajność ekonomiczna).

Norma dotycząca wierceń i badań gruntu EN ISO 22475/1 wymaga tego, by przynajmniej następujące informacje były dostępne przed pozwoleniem na pracę w terenie:

- cel pomiarów,
- lokalizacja planowanych otworów wiertniczych lub pomiarów wody podziemnej,
- orientacja, nachylenie i akceptowalne odchylenia w otworach wiertniczych,
- wymagania dla pomiarów oraz spodziewane warunki geologiczne i hydrogeologiczne,
- częstotliwość pomiarów,
- zagrożenia dla środowiska i bezpieczeństwa,
- możliwe zagrożenia, np. infrastruktura, ruch, niewybuchy, zanieczyszczenia),
- planowane głębokości otworów wiertniczych i/lub wykopów,
- planowane próby in situ,
- metoda wykonania i przywrócenia otworu,
- ochrona środowiska,
- systemy awaryjne,
- podsadzanie i przywracanie obszarów roboczych celem upewnienia się, że nie pozostały żadne zagrożenia dla społeczeństwa, środowiska lub zwierząt, zgodnie z przepisami.

Testowanie warunków lokalnych w celu określenia przydatności i projektu GSPH jest uwzględnione w kilku innych normach, takich jak: ISO 14686:2003. Ustalenia hydrometryczne. Próbne pompowania dla studni wodnych. Ustalenia i wytyczne dla projektowania, wydajności i użytkowania.

IV. ODDAWANIE DO UŻYTKU, KONSERWACJA, KOMPETENCJE, CERTYFIKACJA, POZWOLENIA

Oddanie skonstruowanego systemu do użytku musi obejmować sprawdzenie, czy:

- system pracuje w sposób satysfakcjonujący i bezpieczny,
- wszystkie elementy systemu pracują według warunków projektowych,
- dostosowane parametry regulatorów i zabezpieczeń,
- zrównoważono przepływy w instalacjach grzewczych.

Ocena kompetencji operatorów i audyt ich kompetencji stałych jest przez wielu uważany za warunek wstępny dla dobrze funkcjonującego rynku gruntowa pompa ciepła. Certyfikacja wiertaczy, instalatorów itd. oraz zasadniczo wszystkich specjalistów, jacy biorą udział w projektowaniu, instalacji i konserwacji systemów gruntowa pompa ciepła jest bardzo istotną kwestią dla zagwarantowania właściwej pracy systemu.

Jedną z najczęstszych barier dla rozwoju stosowania energii geotermalnej jest proces udzielania zezwoleń, gdzie może być wymagane pozwolenie na stosowanie wody podziemnej jako źródła ciepła, a także na wiercenie.

IV. 1. Oddanie do użytku i konserwacja

Testowanie pomp ciepła jest uwzględnione w różnorodnych normach (Tabela 4). Dla wymagań odnośnie konserwacji istnieje odwołanie do EN12170 i EN12171. Personel zaangażowany w konserwację systemu musi być wykwalifikowany i certyfikowany według EN13313.

Tabela 4. Normy dla prób pomp ciepła

ISO 14686:2003	<i>Ustalenia hydrometryczne. Próbné pompowania dla studni wodnych. Ustalenia i wytyczne dla projektowania, wydajności i użytkowania.</i>
ISO 13256-1:1998	<i>Wodne pompy ciepła -- Testy i ocena wydajności - Część 1: Pompy ciepła woda-powietrze i solanka-powietrze</i>
ISO 13256-2:1998	<i>Wodne pompy ciepła -- Testy i ocena wydajności - Część 2: Pompy ciepła woda-woda i solanka-woda</i>
EN 14336:2004	<i>Systemy grzewcze w budynkach – Instalacja i oddawanie do użytku wodnych systemów ogrzewania</i>

IV. 2. Kompetencje i audyt

Ocena kompetencji operatorów i audyt ich kompetencji stałych jest przez wielu uważany za warunek wstępny dla dobrze funkcjonującego rynku gruntowa pompa ciepła. Jest to także jeden z głównych problemów Komisji Europejskiej, gdyż bez takich środków społeczeństwo będzie narażone na słabe usługi mniej sumiennych operatorów. Główna niedawna norma europejska istotna w tej dziedzinie pochodzi z branży geotechnicznej, lecz może mieć znaczenie na polu gruntowa pompa ciepła. Wymagania nie są na tyle wysokie, by stanowiło to problem dla jakiegokolwiek uznanego operatora zaangażowanego w konstrukcję i instalację gruntowa pompa ciepła.

EN ISO 22475/ Badania i testy geotechniczne – metody opróbowania i pomiary wody podziemnej - Część 2: Kryteria kwalifikacyjne dla przedsiębiorstw i personelu definiują wymagane kompetencje:

- odpowiedzialnego eksperta,
- wykwalifikowanego wiertacza,
- przedsiębiorstwa (lub firmy).

Odpowiedzialny ekspert będzie miał potwierdzoną wiedzę odnośnie:

- prawa, przepisów bezpieczeństwa i higieny, zasad i norm,
- geologii, hydrogeologii, gleboznawstwa i mechaniki skał,
- znajomości EN ISO 22475-1,
- systemu zapewniania jakości.

Odpowiedzialny ekspert będzie potrafił zrozumieć cel programu prac, nadzorować pracę wykwalifikowanego wiertacza i jeśli zajdzie taka potrzeba – zlecić wykonanie o dodatkowej ekspertyzy.

Wykwalifikowany wiertnik będzie posiadał udokumentowane kompetencje w kwestii:

- podstawowej wiedzy o celu badania gruntu,
- zasad mechanicznych i hydrogeologicznych,
- metod wykonywania wykopów i pomiarów wody podziemnej, w tym podsadzania otworów wiertniczych,
- wykonywania zapisów według EN ISO 22475-1,
- odpowiednich przepisów dotyczących bezpieczeństwa, higieny i ochrony środowiska,
- funkcjonowania, bezpiecznej pracy i konserwacji sprzętu,
- systemu zapewniania jakości.

Przedsiębiorstwo wykonujące badania lub prace według EN ISO 22475-1 będzie w stanie zapewnić:

- doświadczony personel i odpowiednie obiekty,
- system bezpieczeństwa i higieny,
- system zapewniania jakości,
- to, że cały sprzęt będący w użyciu będzie spełniać odpowiednie specyfikacje techniczne, będzie właściwie konserwowany, kalibrowany i stosowany,
- wykwalifikowanego wiertacza, który będzie stale obecny i odpowiedzialny za wykonanie opróbowania, pomiarów i zapisów na każdej wiertni,

- zgodność z regulaminem, przepisami bezpieczeństwa i higieny oraz zasadami technicznymi,
- rozwiązania związane z odpowiedzialnością publiczną.

EN ISO 22475/3:2007 Badania i testy geotechniczne – metody opróbowania i pomiary wody podziemnej -- Część 3: Zgodność oceny przedsiębiorstw i personelu przez podmiot trzeci wymaga, by ocena zgodności przedsiębiorstwa aplikującego demonstrowała zdolność do spełnienia wszystkich kryteriów kwalifikacyjnych według EN ISO/TS 22475-2. Gdy pełna ocena jest uznana za satysfakcjonującą, organ oceniający zgodność wyda certyfikat dla przedsiębiorstwa, który będzie ważny przez 3 lata.

Istnieją także normy dla certyfikacji w połączeniu z systemami chłodzenia:

- EN ISO 17024:2003. Ocena zgodności - Wymagania ogólne dla organów obsługujących certyfikację osób
- EN 13313:2001. Systemy chłodnicze i pompy ciepła. Kompetencje personelu.

IV. 3. Certyfikacja

Certyfikacja wiertników, instalatorów itd. oraz zasadniczo wszystkich specjalistów, jacy biorą udział w projektowaniu, instalacji i konserwacji systemów gruntowa pompa ciepła jest bardzo istotną kwestią dla zagwarantowania właściwej pracy systemu. Certyfikowani projektanci, producenci i instalatorzy (w tym wiertacze) są niezbędni, by zapewnić wysoką wydajność i trwałość systemu gruntowa pompa ciepła. Ponadto, w celu certyfikacji firm wiertniczych, powinny być opracowane podstawowe wspólne zasady w celu ułatwienia usług transgranicznych.

Tylko kilka krajów ma istniejące systemy licencjonowania i certyfikacji pomp ciepła lub energii geotermalnej dedykowane wszystkim podmiotom zaangażowanym w wiercenie i instalację gruntowa pompa ciepła. Normalnie zastosowanie mają tylko ogólne zasady odnośnie pracy i handlu; w niektórych przypadkach mogą one działać jak bariery handlowe. Należy zapewnić, by istniejące i przyszłe przepisy specjalne nie uniemożliwiały wymiany pracy i usług na wspólnym rynku.

Dla instalacji pomp ciepła może okazać się bardzo pomocny program EUCERT; ma on potencjał dla powszechnego zastosowania w EU-27. Krajowe certyfikaty jakości, takie jak we Francji, są dobrowolne i mogą być ujęte we wspólnym systemie lub mogą bezproblemowo pozostawać we współistnieniu. Nie istnieją jeszcze wspólne czynności dla strony gruntu. Dla ustalenia takich schematów potrzebna będzie współpraca odpowiednich podmiotów profesjonalnych i stowarzyszeń przemysłowych w celu zapewnienia aprobaty programów powstających w sektorze geotermalnym.

Wiercenie studni dla wody lub płytkiej geotermii jest interesem lokalnym, a zatem zasady obowiązujące w skali UE nie były istotne. Pewne certyfikacje krajowe dla firm wiercących mogą przekształcić się w barierę, jeśli będą uczynione obowiązkowymi przez władze regionalne. Odpowiednie certyfikacje od innych państw członkowskich muszą być uczynione akceptowalnymi dla organów w innych częściach Europy. Dlatego też powinna być zainicjowana wspólna norma EN oparta o rozwiązania krajowe.

Obecnie certyfikacja dla wiertników istnieje tylko w Niemczech, Szwecji i Szwajcarii, a w Austrii kwestia ta jest w opracowaniu (Tabela 5).

Tabela 5. Certyfikacja dla wiertaczy

DVGW W 120	Qualifikationsanforderungen für die Bereiche Bohrtechnik, Brunnenbau und Brunnenregenerierung	Certyfikat profesjonalnych firm wiercących	2005-12 (DE)
DACH-Gütesiegel EWS	Gütesiegel für Erdwärmesonden-Bohrfirmen	Certyfikat profesjonalnych firm wiercących	2001/2006 (CH/DE)
RAL/ZDB	RAL-Gütezeichen „Erdwärme“, Gütegemeinschaft Geothermische Anlagen	Certyfikat profesjonalnych firm	2007 (DE)
C-Borrare	Certifiering av brunnsbormingsföretag	Certyfikat firm wiercących studnie	2006 (SE)

Szczególnie istotne jest, by wszystkie operacje na miejscu były wykonywane w sposób bezpieczny, zarówno dla operatorów, społeczeństwa, jak i środowiska. Wymagania bezpieczeństwa mogą być podsumowane przez stwierdzenie, że odpowiednie normy krajowe, specyfikacje lub wymagania statutowe będą stosowane wszędzie tam, gdzie nie są odpowiednie normy międzynarodowe (EN ISO 22475/1).

Oдноśnie prób jakości i certyfikacji pomp ciepła, podstawowe wymagania są podane przez EN 14511 oraz, dla ciepłej wody użytkowej, przez EN 255-3. Inne normy właściwe dla pomp ciepła, jak EN 378 lub EN 60335- 2-40 (odnośnie bezpieczeństwa elektrycznego) są także popularne w Europie. Znaki jakości, takie jak znak P w SE lub Gütesiegel Wärmepumpe w AT, DE i CH są oparte o testy według wspólnych norm EN wspomnianych powyżej. Europejskie Stowarzyszenie Pomp Ciepła pracuje nad ustaleniem zharmonizowanego znaku jakości (znak jakości EHPA), lub przynajmniej zharmonizowaniem tych, które istnieją.

IV. 5. Pozwolenia prawne

Jedną z najczęstszych barier dla zwiększenia stosowania energii geotermalnej jest proces uzyskania pozwolenia. Pozwolenie może być wymagane dla stosowania wody podziemnej jako źródło ciepła, lecz także dla pionowy GWC i dla samego wiercenia.

Oczywiście, przepisy odnośnie pozwoleń są niezbędne w celu ochrony wody podziemnej i gruntu przed zanieczyszczeniem. Problem polega bardziej na tym, że procedury i uzasadnienia podejmowania decyzji różnią się znacznie nie tylko między państwami członkowskimi, a także w poszczególnych krajach na poziomie wojewódzkim. W niektórych przypadkach nawet właściwy organ udzielający pozwoleń nie jest oczywisty, jak pokazuje przykład organów wodnych i górniczych dla większych jednostek gruntowa pompa ciepła w Niemczech. Z drugiej strony, wytyczne dla procedur uzyskania pozwolenia i uproszczone procedury dla niewielkich (mieszkalnych) gruntowa pompa ciepła w lokalizacjach mało konfliktowych ułatwiły rozrost rynku w niektórych niemieckich krajach związkowych i w CH.

Procedura licencjonowania systemów gruntowej pompy ciepła różni się między krajami Europy. W dziedzinie pozwoleń na wiercenia i poszukiwania geotermalne, europejska harmonizacja mogłaby zapewnić ogólne ramy, których szczegóły byłyby uzupełnione na krajowym lub nawet regionalnym poziomie w zgodzie z lokalnymi przepisami.

Na przykład, niemiecki system używa prawa wodnego dla płytkich systemów geotermalnych, lecz istnieją wyjątki, gdzie płytka geotermia jest kontrolowana przez prawo górnicze. Ponadto, federalna ustawa górnicza stosowana jest na poziomie federalnym, a federalna ustawa o wodzie w gospodarstwach domowych na poziomie krajowym, tak więc nie jest jasne, jaki organ jest właściwy do decydowania w przypadku danego zastosowania.

Większość niemieckich krajów związkowych opublikowała własne wytyczne odnośnie przeprowadzania procesu aplikowania i licencjonowania. Publikacje te faktycznie naprowadzają wnioskodawcę na zrozumienie procedury i nakreślenie wymagań dla ochrony wody. Dobre wytyczne zapewniają także łatwą ścieżkę dla projektów gruntowa pompa ciepła poniżej pewnej wydajności i w warunkach hydrogeologicznie nieproblematycznych.

W Austrii pozwolenie dla systemu gruntowa pompa ciepła z otwartym i zamkniętym układem koncentruje się na prawach wodnych. Pierwsza wytyczna odnośnie zastosowania, analogiczna do tych z niemieckich krajów związkowych została opublikowana w górnej Austrii.

W Grecji, w związku z tym, że istnieje oddzielny przepis dla „systemów ogrzewania i chłodzenia przez eksploatację ciepła podłoża i wody podziemnej, które nie są uznawane za potencjał geotermalny (temperatura poniżej 25°C), nie ma kolizji z prawem górniczym. Ponadto, nie istnieje dalsze odwołanie do praw wodnych i kwestii środowiskowych.

Według omówionych przykładów oczywiste jest, że główne odniesienia do pozwoleń prawnych to prawa wodne i wykorzystanie potencjału podłoża.

V. WNIOSKI

Wprowadzenie norm EN dla pomp ciepła ma znaczenie zasadnicze, gdyż produkty te są wytwarzane i sprzedawane w całej Europie. Bariery dla handlu urządzeniami i komponentami praktycznie już nie istnieją na wspólnym rynku dla systemów pomp ciepła. Znaki wydajności lub jakości oparte o te normy są transparentne i porównywalne między państwami członkowskimi.

Pewne techniczne różnice dla instalacji gruntowych (w szczególności pionowy GWC) i wierceń między krajami skandynawskimi i centralną Europą mają główne podłoże w różnych sytuacjach geologicznych i tym samym nie mogą być łatwo zharmonizowane. Technologia geotermalna zawsze musi uwzględniać regionalną sytuację geologiczną, która jest znacznie zróżnicowana na terenie Europy i polityka nie może mieć na nią żadnego wpływu.

Bariery dla pracy i usług istnieją do pewnego stopnia, lecz nie bardziej niż w sektorze konstrukcyjnym w ogólności. Konkretnie certyfikacje są dobrowolne, a dla nowych certyfikacji dla instalatorów pomp ciepła istnieje szansa adaptacji w większości krajów.

Największy problem dotyczy przepisów prawnych, dotyczących zarówno pozwoleń środowiskowych jak i własności / licencji na zasoby. Bez wyraźnego tytułu do wykorzystania zasobów, żadna inwestycja nie jest możliwa. Jednakże, nie może być to regulowane przez normy, lecz musi być załatwione przez organy legislacyjne.

Ponieważ wiercenie i instalacja systemów geotermalnych w dziedzinie płytkiej geotermii są usługą świadczoną typowo przez lokalnych wykonawców, potrzeba zharmonizowanych norm nie jest tak pilna, jak potrzeba stosownych norm w ogóle. W wielu krajach nie istnieją żadne wytyczne i normy, i tym samym ochrona konsumenta nie jest gwarantowana. Można spodziewać się negatywnego wpływu na rynek, jeśli zapotrzebowanie zwiększa się i w krajach bez właściwych norm świadczone będzie słabe wykonawstwo.

Tym samym pożądane są wspólne normy w dziedzinie geotermii. Pierwsza dedykowana norma jest w opracowaniu w Niemczech i będzie obejmować materiał, konstrukcję i instalację otworowych wymienników ciepła.

Punkty, jakie powinny być ujęte w nowych normach europejskich dla płytkich zastosowań geotermalnych, mogłyby objąć:

- Schemat (wymiary) systemu geotermalnego (studnie wody podziemnej, otworowe wymienniki ciepła, obwody poziome itd.), zgodnie z różnymi warunkami klimatycznymi i geologicznymi w Europie
- Materiały dla studni, otworowych wymienników ciepła, innych układów rurowych, rozdzielaczy itd.
- Geotermalne studnie wody podziemnej: Wiercenie, konstrukcja studni i wykonanie studni
- Otworowe wymienniki ciepła: Wiercenie, instalacja i wykonanie (cementowanie lub wykonanie otwarte)
- Kładzenie rur dla obwodów poziomych
- Inne typy gruntowych wymienników ciepła
- Podłączenie do pompy ciepła lub innych systemów, integracja systemu, złącza.

Biorąc pod uwagę duże różnice w klimacie i geologii, rozwiązaniem mogłyby być normy o ogólnych ramach dla Europy i załączniki właściwe dla krajów (lub regionów).

Zasadniczo, certyfikacja specjalistów i komponentów systemu gruntowa pompa ciepła będzie gwarantem jakości i właściwej pracy systemów gruntowa pompa ciepła i pomoże w szybkim rozroście rynku Europejskiego.

VI. DODATKOWE INFORMACJE

Normy

Większość norm może być uzyskana z krajowych organizacji normalizacyjnych, które zasadniczo mają wyszukiwarki internetowe i kanały zamawiania. Darmowe przeglądanie tych norm zasadniczo nie jest dostępne i konieczne jest nabycie ich przez zakup indywidualny lub system subskrypcji.

Literatura

- Eugster W., Sanner, B. 2007. Technology status of shallow geothermal energy in Europe. Proceedings European Geothermal Congress 2007, Unterhaching, Niemcy.
- Mendrinis, D., Karytsas, K., Sanner, B. 2007. Project GROUND-REACH „Reaching the Kyoto targets by means of a wide introduction of ground coupled heat pumps (GCHP) in the built environment”, Proceedings European Geothermal Congress 2007, Unterhaching, Niemcy.
- Sanner, B. 2008. Guidelines, standards, certification and legal permits for Ground Source Heat Pumps in the European Union. Zaprezentowane podczas 9 Międzynarodowej Konferencji IEA Heat Pump, 20 – 22 Maja 2008, Zürich, Szwajcaria.
- PROPOSALS FOR IMPROVING gruntowa pompa ciepła STANDARDS Deliverable 22 Ground-Reach Grudzień 2008. Projekt GROUND-REACH Kontrakt nr: EIE/05/105/S12.420205.



ROZDZIAŁ 18 - PRZEPISY BUDOWLANE DLA ENERGOOSZCZĘDNOŚCI

autor Radu Polizu

I. WPROWADZENIE

Wdrożenie projektu efektywnych systemów ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji z gruntową pompą ciepła nie jest możliwe bez znajomości technicznych szczegółów projektu oraz prawnych aspektów rozwoju. Podczas czynności inżynierskich takiego projektu (badanie, projektowanie, wdrożenie, testowanie, oddanie do użytku i przekazanie), specjaliści muszą rozważyć wszystkie elementy regulacyjne wymagane przez normy.

Zazwyczaj, nie tylko wśród osób zaznajomionych z dziedziną OZE (RES), lecz nawet wśród specjalistów, istnieje popularny pogląd, że system ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji z rozwiązaniem gruntowa pompa ciepła jest wydajny tylko dlatego, że pobiera z gruntu część ciepła użytecznej dla budynku.

Dwie niedawne Dyrektywy UE (EPBD – Dyrektywa o efektywności energetycznej budynków i RES – Dyrektywa o odnawialnych źródłach energii) objaśniły wiele aspektów efektywnościowych w budynkach z systemami ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji gruntowa pompa ciepła. Dyrektywy te podają, że wydajne są tylko te zastosowania, które mają współczynnik wydajności sezonowej lepszy od pewnej wartości. W tym rozdziale spróbujemy wyjaśnić, jaki jest minimalny poziom efektywności i jak obliczamy energię dodaną z odnawialnych źródeł energii (RES). Zdefiniujemy także EPBD i RESD w odniesieniu do projektów wydajności energetycznej ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji gruntowa pompa ciepła i objaśnimy wykorzystanie koncepcji energii pierwotnej jako elementu ujednolicenia między energią wejściową i wyjściową.

Przedstawione to informacje są wymagane od początku fazy studium wykonalności dla zastosowania gruntowa pompa ciepła i są niezwykle przydatne na etapie monitoringu wykonania, tak więc wszystkie fazy inżynierskie będące częścią projektu z gruntowa pompa ciepła wymagają dostępności przedstawionych tu koncepcji i wytycznych.

W Europie i na świecie podejście do systemów ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji gruntowa pompa ciepła jest na etapie dojrzewania. Dokumenty programowe zaadaptowane przez UE w ostatnich dwóch latach nie są już ograniczone do wyznaczania celów/zamierzeń w dziedzinie RES i powstawania wydajnych budynków, lecz przestawiły się na pomiar energii wytwarzanej przez RES i ustalanie minimalnych wymagań wydajnościowych w tej dziedzinie. W istocie, to nowe podejście poskutkowało skupianiem się na aspektach jakościowych, a nie ilościowych.

Powstanie koncepcji „budynku zużywającego energię na poziomie zerowym netto” w europejskim systemie regulacyjnym, a także w USA, wymagało objaśnienia algorytmów, które ustalą, czy budynek należy do kategorii zużywających energię na poziomie zerowym netto, czy też nie.

W celu właściwego odniesienia się do wymagań przepisów RES i EPBD, specjalista potrzebuje: dokładnego zrozumienia istoty tych dwóch dokumentów; właściwego zrozumienia wydajności energetycznej kwestii zastosowania ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji gruntowa pompa ciepła, współczynnika wydajności, właściwych wymagań obszaru geograficznego, na którym projekt jest

wdrażany i wymagań systemowych w odniesieniu do ogrzewania i/lub chłodzenia. Wiedza ta pozwala każdemu certyfikowanemu specjalście od ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji gruntowa pompa ciepła na realizację dobrych i wydajnych projektów.

Specjalistami zaangażowanymi w tę działalność muszą być inżynierowie, którzy cechują się dogłębnym zrozumieniem koncepcji energii, i którzy przeszli kurs szkoleniowy autoryzowany przez wyspecjalizowany organ, i którzy byli sprawdzeni przez autoryzowaną profesjonalną strukturę certyfikacyjną.

Zapotrzebowanie na spójne i zgodne dane zapewnione przez projekt na etapie monitoringu wydajności, po fazie oddania do użytku, wymaga obowiązkowej certyfikacji specjalistów zaangażowanych w tę działalność.

II. DYREKTYWY

Dla zapewnienia właściwej oceny jakości projektu geotermalnej pompy ciepła, uwzględnione powinny zostać dwie dyrektywy: EPBD i RESD, które zawierają wytyczne dla zastosowania źródła geotermalnego o niskiej entalpii w projektach budynków oraz przedstawiają metody obliczeń stosowane dla gospodarki energetycznej i redukcji emisji CO₂.

Zapotrzebowanie geotermalne może być obliczone tylko dzięki szczegółowej analizie budynku i jego instalacji termicznych, których głównym źródłem energii jest energia geotermalna.

Aby lepiej zrozumieć ten mechanizm, stosujemy schemat z rys. 1, który przedstawia się następująco:

- Istnieje ciągła wymiana ciepła między budynkiem i środowiskiem zewnętrznym, wykonywana przez powłokę budynku. Temperatura zewnętrzna w zimnym sezonie roku odgrywa najbardziej istotną rolę. Bezpośrednie i rozproszone promieniowanie słoneczne wpływa znacząco na temperaturę powietrza zewnętrznego latem i zimą. Zapotrzebowanie na świeże powietrze w budynku jest osiągnięte przez wentylację. Żaden z tych aspektów nie może być pominięty przez roczny bilans energii budynku.
- System ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku jest tym systemem instalacji wewnętrznych, który zapewnia wewnętrzny komfort dla mieszkańców budynku. System ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji obejmuje:
 - podsystem ogrzewania,
 - podsystem domowej gorącej wody,
 - podsystem wentylacji,
 - podsystem chłodzenia (klimatyzacji).

System ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji, przez swoje podsystemy, zaspokaja zapotrzebowanie budynku na energię termiczną, „zapotrzebowanie energetyczne budynku”.

Między „wyjściowym systemem ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku” i „wejściowym systemem ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku” istnieje wartość różnicy reprezentowana przez stratę energii systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku.

Geotermalne pompy ciepła budynku są częścią jego systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji. Dzisiaj większość z nich jest napędzana elektrycznie, a zatem potrzebuje energii elektrycznej do podtrzymania gruntowej wymiany ciepła. W umiarkowanych i głównie gorących krajach Europy, geotermalne pompy ciepła są odwracalne i tym samym mają zarówno funkcję ogrzewania, jak i chłodzenia. W krajach europejskich o głównie zimnym klimacie, pompy ciepła są stosowane tylko do ogrzewania, osiągając ogrzewanie budynku bez zastosowania obiegu chłodzenia budynku.

- Przez wartość rocznego zużycia właściwej energii pierwotnej dla budynku [kWh/m² rok]
- Przez wartość właściwych emisji cieplarnianych wytwarzanych przez źródła systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku [kg CO₂/m²rok].

III. 5. Energia pierwotna

To ta energia, która nie była poddana jakiegokolwiek konwersji lub procesowi przekształcenia i pochodzi ze źródeł energii takich, jak:

- nieodnawialne: paliwa kopalne, energia nuklearna,
- odnawialne: zdefiniowane w Dyrektywie RES.

III. 6. Współczynnik konwersji energii elektrycznej na energię pierwotną w przestrzeni publicznej

Dla elektrycznych pomp ciepła, według decyzji z 9 listopada 2007 opublikowanej w dzienniku urzędowym Unii Europejskiej - L301/14 20 listopada 2007, współczynnik konwersji energii elektrycznej na energię pierwotną ma wartość:

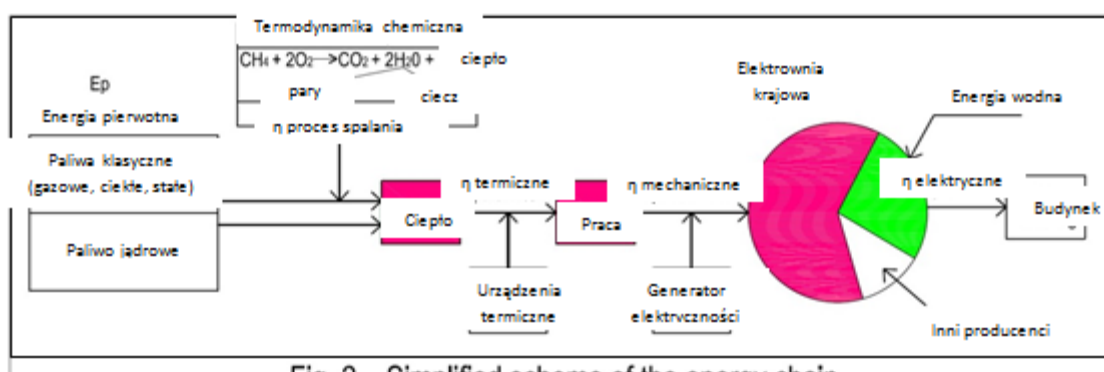
$$(1) \quad f_{EE} = 2.5$$

oznacza to, że:

$$(2) \quad 1 \text{ kWh energii elektrycznej} = 2,5 \text{ kWh energii pierwotnej}$$

Decyzja ta jest oparta o europejską medianę uzysku produkcji dla energii elektrycznej, uwzględniającą stratę z sieci dystrybucji, mającą wartość:

$$(3) \quad \eta_{\text{tot}} = 0,4 \text{ średniej produkcji elektryczności we wspólnocie europejskiej (Aneks II do Dyrektywy 2006/32/EC)}$$



Rysunek 2. Schemat blokowy łańcucha energii dla dostarczania elektryczności dla konsumenta końcowego

Decyzją tej samej komisji, europejska mediana produkcji dla gazu ziemnego stosowanego jako źródło produkcji energii termicznej ma wartość:

$$(4) \quad \eta_{\text{gas}} = 0,91 \text{ średniej wartości konwersji energii gazu ziemnego w energię konsumenta końcowego}$$

Wartość ta dotyczy straty systemu dystrybucji gazu ziemnego i umożliwia obliczenie współczynnika konwersji energii gazu ziemnego na energię pierwotną:

$$(5) \quad f_{\text{gas}} = 1,1 = 1 / \eta_{\text{gas}} = 1,1 \text{ współczynnik konwersji energii gazu ziemnego na energię pierwotną (dziennik urzędowy Unii Europejskiej L114/76: 27.4.2006)}$$

Dla ustalenia wartości współczynnika konwersji wymienionych powyżej wzięto pod uwagę Dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady Europejskiej z 5 kwietnia 2006 nr 2006/32/CE odnośnie wydajności energetycznej dla konsumentów końcowych i usług energetycznych.

III. 7. Wskaźnik efektywności energetycznej budynków jako zużyta energia pierwotna

Wyraża on roczne właściwe zużycie energii pierwotnej budynku ep_{in} wykazane na obszarze klimatyzowanym i jest obliczony z zastosowaniem wzoru:

$$(6) \quad ep_{in} [kWh/m^2 \text{ yr}] = Ep_{in} [kWh/yr] / A_c [m^2]$$

gdzie:

Ep_{in} [kWh/rok] jest rocznym zużyciem energii budynku wyrażonym jako energia pierwotna

A_c [m²] jest klimatyzowaną powierzchnią budynku ustaloną według normy i reprezentuje sumę powierzchni podłóg pomieszczeń, które stosują system ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji. Nie uwzględniono tu przestrzeni niezamieszkałej, takiej jak pomieszczenia nieogrzewane - piwnice, strychy i pomieszczenia magazynowe.

III. 8. Wskaźnik wydajności energetycznej budynków jako emisje gazów cieplarnianych

Wyraża on właściwą emisję zanieczyszczających gazów cieplarnianych GES wykazaną na klimatyzowanym obszarze budynku i jest obliczony z zastosowaniem wzoru:

gdzie:

$$(7) \quad GES [kg \text{ CO}_2/m^2 \text{ yr}] = m \text{ CO}_2 [kg \text{ CO}_2/yr] / A_c [m^2]$$

gdzie:

$m \text{ CO}_2$ [kg CO₂/rok] to suma emisji gazów cieplarnianych obliczona w kg ekwiwalentnych CO₂/rok.

Współczynnik emisji GES właściwy dla produkcji energii elektrycznej na poziomie Wspólnoty, wynikający z ważonego obliczenia krajowych współczynników emisji dla krajów Wspólnoty Europejskiej ma wartość równą:

$$(8) \quad f_{EE} = 0,486 \text{ kg CO}_2/kWh$$

Współczynnik emisji GES właściwy dla spalania gazu ziemnego w kotłach centralnego ogrzewania ma wartość:

$$(9) \quad f_{NG} = 0,29 \text{ kg CO}_2/kWh$$

III. 9. Energia ze źródeł odnawialnych

Energia ze źródeł odnawialnych znana jest jako E_{odn} [kWh/rok] i jest niekopalną energią stosowaną przez system ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku dla zaspokojenia jego zapotrzebowania energetycznego. Energia, która pochodzi ze źródeł odnawialnych obejmuje energię wiatrową, słoneczną, aero-termalną, geotermalną, hydrotermalną, energię oceanu, hydroenergię lub energię spadającej wody, gazy z biomasy i biogazy pochodzące z organicznych i fermentacyjnych miejskich zakładów przetwarzania odpadów.

Grupa energii geotermalnej, aero-termalnej i hydrotermalnej reprezentuje energię magazynowaną jako ciepło pod powierzchnią Ziemi, w powietrzu i ziemskiej wodzie powierzchniowej (jeziora, morza, oceany itd.).

III. 10. Zapotrzebowanie energetyczne budynku

Zapotrzebowanie energetyczne budynku jest znane jako $Q_{zapotr.}$ lub Ep_{out} [kWh/rok] i reprezentuje ważoną sumę zapotrzebowania energetycznego podsystemów ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku.

$$(10) \quad Q_{zapotr.} = Q_{zapotr.-H} + Q_{zapotr.-DHW} + Q_{zapotr.-V} + Q_{zapotr.-AC} [kWh/rok]$$

gdzie:

$Q_{\text{zapotr}.H}$ [kWh/rok] = zapotrzebowanie energetyczne podsystemu ogrzewania

$Q_{\text{zapotr}.DHW}$ [kWh/rok] = zapotrzebowanie energetyczne domowego podsystemu produkcji gorącej wody

$Q_{\text{zapotr}.V}$ [kWh/rok] = zapotrzebowanie energetyczne podsystemu wentylacji

$Q_{\text{zapotr}.AC}$ [kWh/rok] = zapotrzebowanie energetyczne podsystemu chłodzenia

III. 11. Zapotrzebowanie energetyczne dla systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku

Energia dostępna do zaspokojenia zapotrzebowania budynku jest znana jako $Q_{\text{użył}}$ [kWh/rok] lub E_{pin} [kWh/rok] i do obliczenia jej potrzebujemy ocenić utratę energii podsystemów ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku, oznaczoną jako Q_{nr} [kWh/rok].

Wzór na obliczenie $Q_{\text{użył}}$ to:

$$(11) \quad Q_{\text{użył}} = Q_{\text{zapotr}.H} + Q_{\text{zapotr}.DHW} + Q_{\text{zapotr}.V} + Q_{\text{zapotr}.AC} + Q_{\text{nr}} \text{ [kWh/rok]}$$

lub:

$$(12) \quad Q_{\text{użył}} = Q_{\text{zapotr}.} + Q_{\text{nr}}$$

Każdy termin równania (11) jest określony przez właściwą technologię. Na przykład, dla $Q_{\text{zapotr}.H}$ ustanowiono normę EN 15316-1:2007, opartą o różne pakiety oprogramowania (Energy Plus; TRNSYS; TRACE 700 Load Design itd.) oficjalnie przyjęte przez każdą wspólnotę, oprogramowania, które może być ujednolicone do pojedynczego oprogramowania dla wszystkich krajów wspólnoty.

Gdy system ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku jest zredukowany tylko do ogrzewania i produkcji gorącej wody, równanie (11) przybiera postać:

$$(13) \quad Q_{\text{użył}} = Q_{\text{zapotr}.H} + Q_{\text{zapotr}.DHW} + Q_{\text{nr}} \text{ [kWh/rok]}$$

gdzie Q_{nr} [kWh/rok] reprezentuje roczną stratę energii podsystemów ogrzewania i domowej gorącej wody.

III. 12. Zużycie energii elektrycznej dla systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku

Zwane ΣE_{ster} [kWh/rok].

W systemie pomp ciepła dla ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji zużycie energii elektrycznej ΣE_{ster} ma dwie składowe:

1. Roczna energia wymagana do sterowania pompami ciepła; przy stosowaniu 1÷n pomp ciepła, wielkość pierwszej składowej to:

$$(14) \quad \sum_{i=1}^n E_{\text{ster}_i}^{\text{HP}} \text{ [kWh/rok]}$$

2. Roczna energia stosowania do sterowania wszystkimi innymi komponentami systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku, poza pompami ciepła. Ta składowa reprezentuje sumę zużycia energii dla pomp cyrkulacyjnych, wentylatorów i klimakonwektorów dla ogrzewania i chłodzenia:

$$(15) \quad \sum_{i=1}^n E_{\text{ster}}^{\text{pompy}}, \sum_{i=1}^n E_{\text{ster}}^{\text{klimakonwektory}}$$

Stąd można napisać:

$$(16) \quad \Sigma E_{\text{ster}} = \sum_{i=1}^n E_{\text{ster}_i}^{\text{HP}} + (\sum_{i=1}^n E_{\text{ster}}^{\text{pompy}} + \dots)$$

Równanie (15) pomaga nam ocenić roczne zużycie energii elektrycznej przez system ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji dla tych dwóch składowych:

1. Pierwsza część równania (16) reprezentuje „pozytywne” zużycie energii elektrycznej, ponieważ bez energii elektrycznej nie można pobierać energii pierwotnej ze źródła odnawialnego. Ponadto, kaloryczny równoważnik dla rocznej energii aktywności dla pomp ciepła może okazać się przydatną składową ciepła w systemie ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku
2. Druga część równania (16) reprezentuje stratę w systemie ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji. Najlepiej jest, by w opartych o pompy ciepła systemach ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji wszystkie części podane w nawiasach były tak małe, jak to możliwe, i nie większe lub równe 10% wartości $\Sigma Ester$.

Po wykonaniu tego pomiaru możemy przeformułować równanie (16) jako:

$$(17) \quad \Sigma Ester = \sum_{i=1}^n Ester_i^{HP} + Q_{nr}^{ster} \text{ [kWh/rok]}$$

gdzie Q_{nr}^{ster} reprezentuje stratę energii wynikającą ze zużycia energii przy sterowaniu elektrycznymi sprzętami podsystemów ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji. Co oznacza, że:

$$(18) \quad Q_{nr}^{ster} = \sum_{i=1}^n Ester^{pompy} + (\sum_{i=1}^n Ester^{klimakonwektor} + \dots)$$

W przypadku zastosowania gruntuwa pompa ciepła i przyjęcia granicy straty wynoszącej 10% możemy napisać:

$$(19) \quad Q_{nr}^{ster} = 0,1 \Sigma Ester \text{ [kWh/rok]}$$

lub:

$$(20) \quad \Sigma Ester = 1,1 \sum_{i=1}^n Ester_i^{HP} \text{ [kWh/rok]}$$

W innych zastosowaniach z aero-termalnymi lub hydrotermalnymi pompami ciepła, temperatura źródłowa zależy od zróżnicowanej zewnętrznej temperatury powietrza dla pokrycia potrzeb energetycznych budynku i jest możliwa tylko przez zastosowanie dodatkowych źródeł energii (patrz odniesienie [1] w sekcji V!) ze źródeł kopalnych, takich jak energia elektryczna, gaz ziemny i upłynnione paliwo.

Dodatkowe źródła kwantu energii podnoszą wartość $\Sigma Ester$ przez zwiększenie wartości Q_{nr} , gdy uzupełnienie energii grzewczej jest elektryczne:

$$(21) \quad Q_{nr} = Q_{nr}^{ster} + Q_{nr}^{rezystor} \text{ [kWh/rok]}$$

lub

$$(22) \quad Q_{nr} = Q_{nr}^{ster} + Q_{nr}^{rezystor} + Q_{pal} \text{ [kWh/rok]}$$

gdy uzupełnienie energii grzewczej jest zarówno elektryczne i pochodzące z dodatkowego paliwa.

III. 13. Udział energii odnawialnej dostarczany do budynku

Dla grupy energii odnawialnej, stosującej pompy ciepła, energię geotermalną, aero-termalną i hydrotermalną, Dyrektywa RES ustanowiła w Aneksie VII następującą relację:

$$(23) \quad E_{odn} = Q_{uzyt} (1-1/SPF) \text{ [kWh/rok]}$$

gdzie:

E_{odn} to roczna energia odnawialna uzyskana przez stosowanie pomp ciepła

Qużyt jest zapotrzebowaniem energetycznym systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku, obliczonym według równania (11).

SPF jest współczynnikiem wydajności sezonowej systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku, zdefiniowanym jako:

$$(24) \quad \text{SPF} = \text{Qużyt} / \Sigma \text{Ester} [-]$$

gdzie:

ΣEster reprezentuje, przy stosowaniu geotermalnych pomp ciepła, roczną całkowitą energię elektryczną zużywaną przez system ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji dla pokrycia potrzeb ogrzewania, domowej gorącej wody, wentylacji i klimatyzacji.

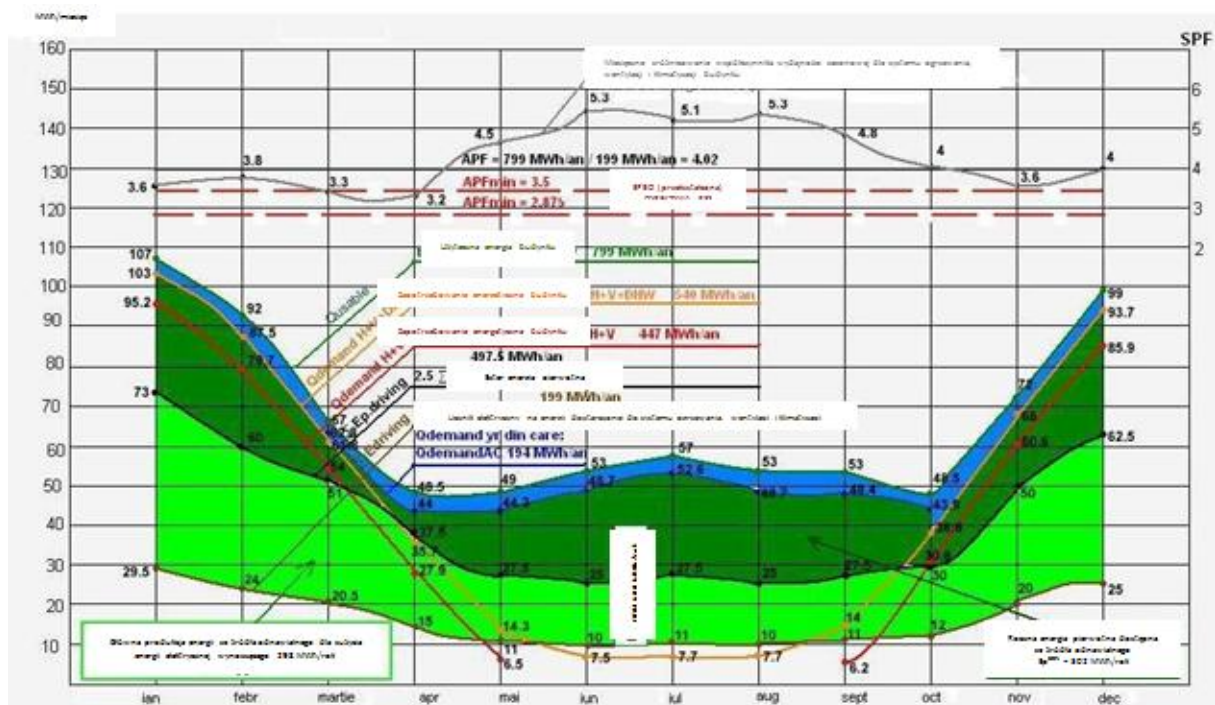
Równanie (24) jest względnie łatwe do zastosowania, ponieważ Qużyt może być uzyskane z zastosowaniem specjalistycznego oprogramowania, które symuluje zużycie energii przez budynek przez rok, a ΣEster jest sumą miesięcznych odczytów licznika energii elektrycznej dla systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku. Odpowiedzialność za ustalenie Qużyt jest nadana osobie autoryzowanej, zwanej Audytorem Energii, ustanowionej przez przepisy EPBD i funkcjonującej niezależnie. Odpowiedzialność za ustalenie teoretycznych wahań energii wymaganej przez podsystemy ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji należy do projektanta systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku.

Analiza rocznego zachowania termicznego budynku znajdującego się w Rumunii jest przedstawiona na Rysunku 3. Budynek zlokalizowany jest na obszarze miejskim, mającym przeprojektowany system ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji stosujący odwracalne pompy ciepła z termicznym źródłem gruntowym, wg modelu przedstawionego na Rysunku 1. Rysunek 3 przedstawia fakt, że SPF jest dynamicznym współczynnikiem wydajności, który dokładnie syntetyzuje wydajność energetyczną budynku. Obserwuje się, że SPF ma maksymalną wartość w lecie, gdy pompy ciepła są stosowane jako schładzarki, i minimalną wartość w okresie przejściowym między zimnymi i gorącymi porami roku.

Średnia wartość jest ustalona z zastosowaniem czynnika sezonowego (określanego miesięczne i w analizowanym przypadku zarówno podczas zimnych [Oct-Dec i Jan-Apr] jak i gorących [Apr-Oct] okresów roku) i wynosi:

$$\text{APF} = \text{SPF}_{\text{rok}} \text{ roczny współczynnik wydajności}$$

APF jest ustalone przez integrację aktualnych wartości miesięcznych.



Rysunek 3. Graficzne przedstawienie miesięcznych wahań energii stosowanych do obliczenia wydajności energetycznej budynku i współczynnika wydajności sezonowej

IV. MINIMALNE WARTOŚCI SPF I APF STOSOWANE PRZEZ PROJEKTANTÓW SYSTEMÓW OGRZEWANIA, WENTYLACJI I KLIMATYZACJI gruntowa pompa ciepła

Dla projektanta gruntowa pompa ciepła, wartościami dla otworowego wymiennika ciepła (pionowy GWC) wymaganymi do obliczenia są:

- miesięczne zróżnicowanie mocy i energii z systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji,
- wydajność pompy ciepła.

Oba są powiązane przez zróżnicowanie energii wyrażone przez Σ Ester. Zmienna ta pojawia się w równaniach:

$$(25) \quad \text{Qużyte} = \text{Eodn} + \Sigma \text{ Ester} \text{ [kWh/rok]}$$

$$(26) \quad \Sigma \text{ Ester} = \text{Qużyte} / \text{SPF} \text{ [kWh/rok]}$$

Jeśli wyeliminujemy zmienną Σ Ester z równania (25), stosując równanie (26) uzyskamy:

lub:

$$(27) \quad \text{Qużyte} = \text{Eodn} + \text{Qużyte} / \text{SPF} \text{ [kWh/rok]}$$

lub

$$(28) \quad \text{Eodn} = \text{Qużyte} (1 - 1/\text{SPF}) \text{ [kWh/rok]}$$

Równanie (28) pokazuje, że roczne zróżnicowanie energii odnawialnej, jakiej potrzebuje pionowy GWC do dostarczenia systemowi ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji gruntowa pompa ciepła budynku, zależy od zapotrzebowania energetycznego systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji oraz sezonowego zróżnicowania współczynnika wydajności.

Tym samym, projektant gruntowa pompa ciepła musi znać i włączyć w taką ocenę dolne granice sezonowego współczynnika wydajności, jak wymaga tego legislacja EC.

Te dwie dyrektywy EU, które tworzą „kodeks budowlany wydajności energetycznej” są bardzo poważne i z powodu tych kryteriów nie każde zastosowanie pompy ciepła typu gruntowa pompa ciepła jest udane. Co za tym idzie, według Aneksu VII Dyrektywy RES: „Dopuszczalne będą tylko te zastosowania naturalnych środowiskowych pomp ciepła, które spełniają warunek (29)”:

$$(29) \quad \text{SPF}_{\text{HP}} > 1,15 \times 1 / \eta_{\text{tot}}$$

Jeśli η_{tot} jest podane z wzoru (3), wówczas

$$(30) \quad \text{SPF}_{\text{HP}} > 2,875$$

Średnia roczna SPF_{HP} , zwana APF przez Dyrektywę RES, widoczna jest na Rysunku 3, gdzie analizowane zastosowanie spełnia równanie (30) według rozporządzenia wspólnotowego i wartości SPF są powyżej minimalnej granicy wynoszącej 2,875.

Co więcej, Dyrektywa EPB (patrz [2] w Sekcji VI) definiuje „BUDYNEK ZUŻYWAJĄCY ENERGIĘ NA POZIOMIE ZEROWYM NETTO”, będący budynkiem, który w rezultacie bardzo wysokiego poziomu wydajności energetycznej ma roczne całkowite zużycie równe lub mniejsze niż produkcja energii ze źródeł odnawialnych. Warunek ten oznacza:

$$(31) \quad \text{Eodn} \geq 2,5 \Sigma \text{Ester}$$

Jeśli uznamy, że z definicji $\text{SPF} = \text{Qu}_{\text{ży}} / \Sigma \text{Ester}$, uzyskamy: (32)

$$\text{Eodn} \geq 2,5 \text{Qu}_{\text{ży}} / \text{SPF}$$

Jeśli połączymy równania (32) i (28), uzyskamy $\text{Qu}_{\text{ży}} (1-1/\text{SPF}) \geq 2,5 \text{Qu}_{\text{ży}} / \text{SPF}$:

$$(33) \quad \text{SPF}_{\text{min}} \text{ Dyrektywa EPB (przekształcona)} \geq 3,5 \text{ dla geotermalnych pomp ciepła o źródle w wodzie gruntowej lub powierzchniowej i } \geq 3,75 \text{ dla źródła gruntowego} \quad (\text{http://www.wp-effizienz.ise.fraunhofer.de/german/index})$$

Na Rysunku 3 możemy zobaczyć, że nawet jeśli APF w analizowanym zastosowaniu ma wartość ponad 3,5, nadal mamy wartości SPF w zimnym sezonie roku poniżej granicy ustalonej przez (33). Jednakże, budynek może nadal być umieszczony w kategorii BUDYNKU ZUŻYWAJĄCEGO ENERGIĘ NA POZIOMIE ZEROWYM NETTO, ponieważ średnia z wartości SPF w sezonie zimnym (październik-grudzień i styczeń-kwiecień) jest większa niż 3,5.

Jeśli będziemy kontynuować naszą analizę z Eodn jako częścią energii pierwotnej pozostającej z Eodn po odjęciu zużytej wartości energii elektrycznej (ΣEster w jednostkach energii pierwotnej), otrzymamy wyrażenia:

$$(34) \quad E_p^{\text{RES}} = \text{Qu}_{\text{ży}} (1-1/\text{SPF}) [1-1,5/(\text{SPF}-1)] \quad [\text{kWh/rok}]$$

$$(35) \quad E_p^{\text{RES}} = \text{Eodn} [1-1,5/(\text{SPF}-1)] \quad [\text{kWh/an}]$$

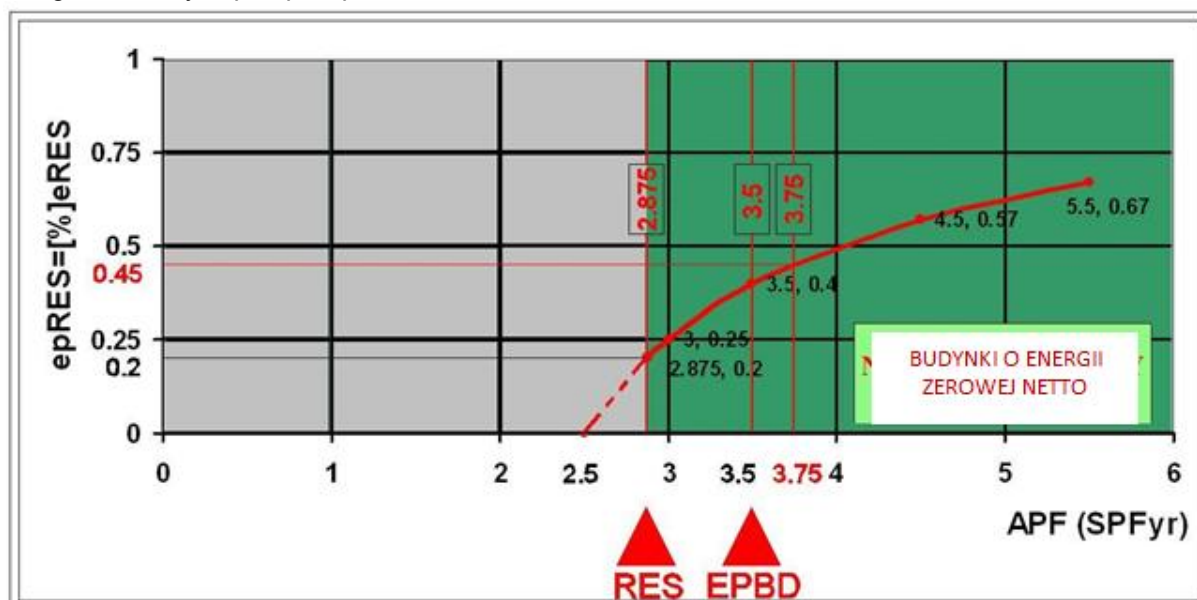
Zarówno (34) jak i (35) pomagają nam szerzej przeanalizować przedstawione wyżej ustawienia. Stąd:

- Jeśli $\text{SPF} = 1$, wówczas $\text{Eodn} = 0$. Ten wynik nie ma sensu
- Jeśli $\text{SPF} = 2,5$, wówczas $E_p^{\text{RES}} = 0,6 \text{Qu}_{\text{ży}}$ i $\text{Eodn} = 0$. Ten wariant nie ma energii pierwotnej dostępnej po uwzględnieniu wartości zużytej energii elektrycznej w systemie ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku. Takie zastosowanie naturalnych środowiskowych pomp ciepła nie jest dopuszczalne w Europie

- Jeśli $SPF \geq 2,875$, wówczas $E_{odn} \geq 0,65 Q_{użyty}$ i $E_{PODN} \geq 0,2 E_{odn}$. Jest to minimalny warunek ustalony przez Aneks VII Dyrektywy RES. Energia pierwotna dostępna ze źródeł odnawialnych, po uwzględnieniu zużycia energii elektrycznej, musi wynosić minimum 20% wartości energii odnawialnej. W zakresie SPF 2,5-2,875, budynek wyposażony w naturalne środowiskowe pompy ciepła zużywa mniej energii pierwotnej niż produkuje, lecz nie jest to dopuszczalne przez RES
- Jeśli $SPF \geq 3,5$, wówczas $E \geq 0,71 Q$ i $E_{ODN} \geq 0,4 E_{odn}$. Europejskie budynki wybudowane w ten sposób, stosujące źródła energii odnawialnej, mogą być nazwane „BUDYNKAMI ZUŻYWAJĄCYMI ENERGIĘ NA POZIOMIE ZEROWYM NETTO”, które produkują ponad 40% więcej energii pierwotnej, niż zużywają ze źródeł kopalnych.

Rysunek 4 przedstawia graficznie funkcję E_{ODN} przedstawioną w równaniu (32). Rysunek zawiera wartości SPF i APF, które przedstawiają projekcje poziomu konstrukcji i eksploatacji przez hydrotermalne i geotermalne pompy ciepła, w trzech kategoriach. Są to:

- NIEAKCEPTOWALNE – gdzie $SPF, APF < 2,875$
- AKCEPTOWALNE – gdzie $2,875 \leq SPF, APF < 3,5$
- DOBRE i NIEMAL ZEROWE – gdzie $SPF, APF \geq 3,5$ dla hydrotermalnych pomp ciepła i $> 3,75$ dla geotermalnych pomp ciepła.



Rysunek 4. Minimalne wydajności technicznych systemów budynków, które stosują naturalne środowiskowe pompy ciepła, według Dyrektywy RES 2009 i przekształconej Dyrektywy EPBD 2009

Tym samym, nie wystarczy, by APF było w granicach ustalonych przez konkretną kategorię, lecz niezbędne jest, by wartości sezonowe, ustalone przez średnie wartości miesięczne, były powyżej tych granic.

V. WYDAJNOŚCI COP I REE USTALONE DLA POMP CIEPŁA O NATURALNYM ŹRÓDLE ŚRODOWISKOWYM

„SPF” to dynamiczny współczynnik wydajności różniący się w zależności od miesiąca, sezonu i roku, który zależy od „ustalonego punktu” wydajności dla pomp ciepła systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku.

„Ustalony punkt wydajności” pompy ciepła oznacza odpowiedź pompy ciepła podczas testów w warunkach fabrycznych. Certyfikacja efektywności pomp ciepła jest oparta o EUROVENT.

Decyzja Komisji z 9 listopada 2007 odnośnie ustanowienia kryteriów ekologicznych dla wspierania ekologicznego oznakowania elektrycznych pomp ciepła jest ograniczona do maksymalnej wydajności grzewczej wynoszącej 100 kW. Wydajność ta faktycznie pokrywa maksymalną moc termiczną pomp ciepła sprzedawanych w Europie. Ta grupa produktów nie uwzględnia:

- Pomp ciepła do wyłącznej produkcji domowej gorącej wody
- Pomp ciepła stosowanych wyłącznie do poboru ciepła z budynku i oddawaniu go do powietrza, gleby lub wody dla chłodzenia budynku.

Wydajność pompy ciepła jest określona przez ustalenie:

- Współczynnika wydajności (COP), który reprezentuje stosunek między mocą ogrzewania i energią elektryczną stosowaną dla danego źródła i pewnej uzyskanej temperatury
- Wartości wydajności (REE), która reprezentuje stosunek między mocą chłodzenia i energią elektryczną stosowaną dla danego źródła i pewnej danej temperatury.

Dla ustalenia, która z naturalnych środowiskowych pomp ciepła może być rozważona w projektowaniu systemów pomp ciepła dla ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji dla uwzględnienia w przepisach Dyrektywy RES (SPF_{min} = 2,875) stosujemy Tabelę 1 (COP) i Tabelę 2 (EER) z Aneksu do Decyzji Komisji i wybieramy pompę termiczną o wysokiej wydajności lub o niskiej wydajności.

VI. RAPORTOWANIE ENERGII PIERWOTNEJ UZYSKANEJ W GEOTERMALNYCH ZASTOSOWANIACH POMP CIEPŁA

Celem pomiarów przewidzianych w Dyrektywie EPB (przekształconej) jest uzyskanie energii pierwotnej przekraczającej zużycie energii ze źródeł kopalnych we wszystkich zastosowaniach naturalnych środowiskowych pomp ciepła przeznaczonych dla nowych budynków, lecz także podczas modernizacji znacznej części istniejącego budynku. W przypadku nowych budynków stosowanie energii odnawialnej jest obowiązkowe.

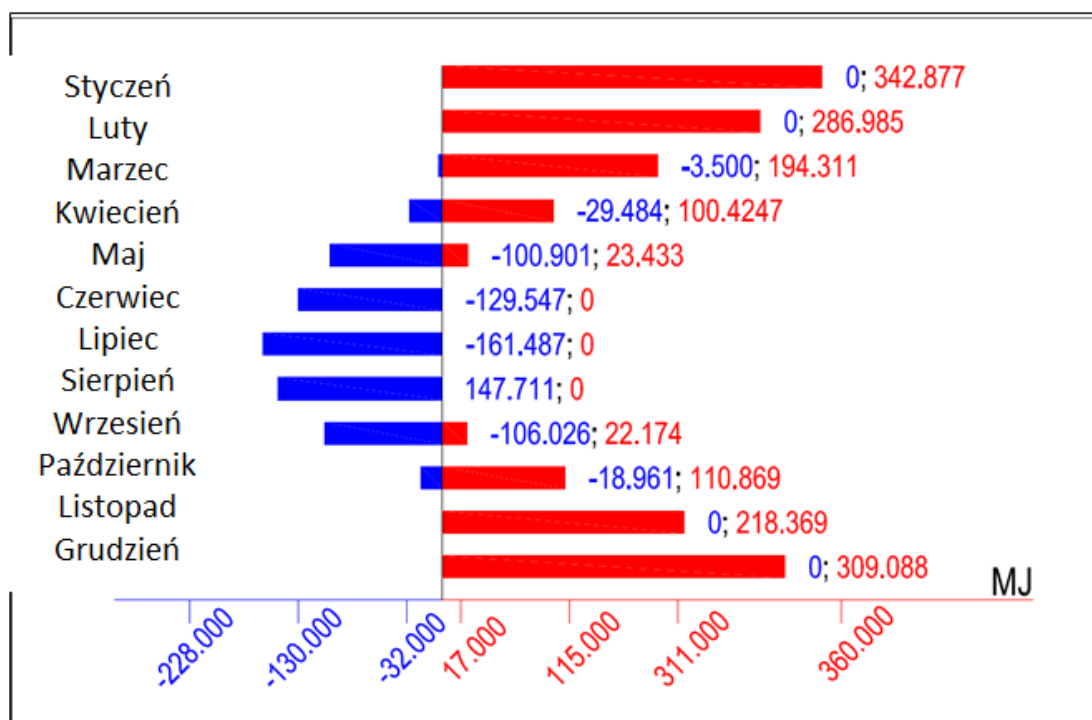
Niemcy, przewidując przepisy Parlamentu i Rady Europejskiej, 1 stycznia 2009 r. wprowadzili prawo proponujące źródła odnawialne w sektorze ogrzewania (sekcja IX [3]), a od 30 kwietnia 2009 r. drugą część prawa, dotyczącą wydajności energetycznej budynku [4]. W styczniu 2007 Komisja Europejska zaproponowała pakiet ENERGIA-KLIMAT, mający na celu redukcję zużycia energii i emisji gazów cieplarnianych o 20% i zwiększenie ilości energii odnawialnej o 20% przed 2020 r.

Termin kompletnego wdrożenia przez władze publiczne środków przewidzianych w Dyrektywie EPB (przekształconej) to 31 grudnia 2010 r. (dla wszystkich budynków o powierzchni >250 m²).

Dokumenty przytaczane powyżej zobowiązują każde państwo członkowskie UE do zapewnienia niezależnego mechanizmu kontrolnego do przyznawania świadectw wydajności energetycznej budynków. Wymagane jest, by świadectwa te wyraźnie przedstawiały roczne właściwe zużycie energii odnawialnej i gospodarkę energią pierwotną.

Jako przykład energii pierwotnej uzyskanej przy stosowaniu geotermalnych pomp ciepła przeanalizujemy przypadek projektu budynku, którego wyniki energetyczne zostały zaprezentowane na Rysunku 3.

Budynek w naszym przykładzie [2] ma miesięczne zapotrzebowanie energetyczne dla ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji takie, jak przedstawiono na Rysunku 5.



Rysunek 5. Miesięczne zapotrzebowanie energetyczne dla podsystemów ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku mieszkalnego mającego P+ 4 piętra, $A_c = 5363 \text{ m}^2$, położonego w Bukareszcie w Rumunii.

Przez zastosowanie konwersji $1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J}$ dostajemy:

$$36 \quad \begin{aligned} Q_{\text{zapotr. H+V}} &= 447 \text{ MWh/rok} \\ Q_{\text{zapotr. AC}} &= 194 \text{ MWh/rok} \end{aligned}$$

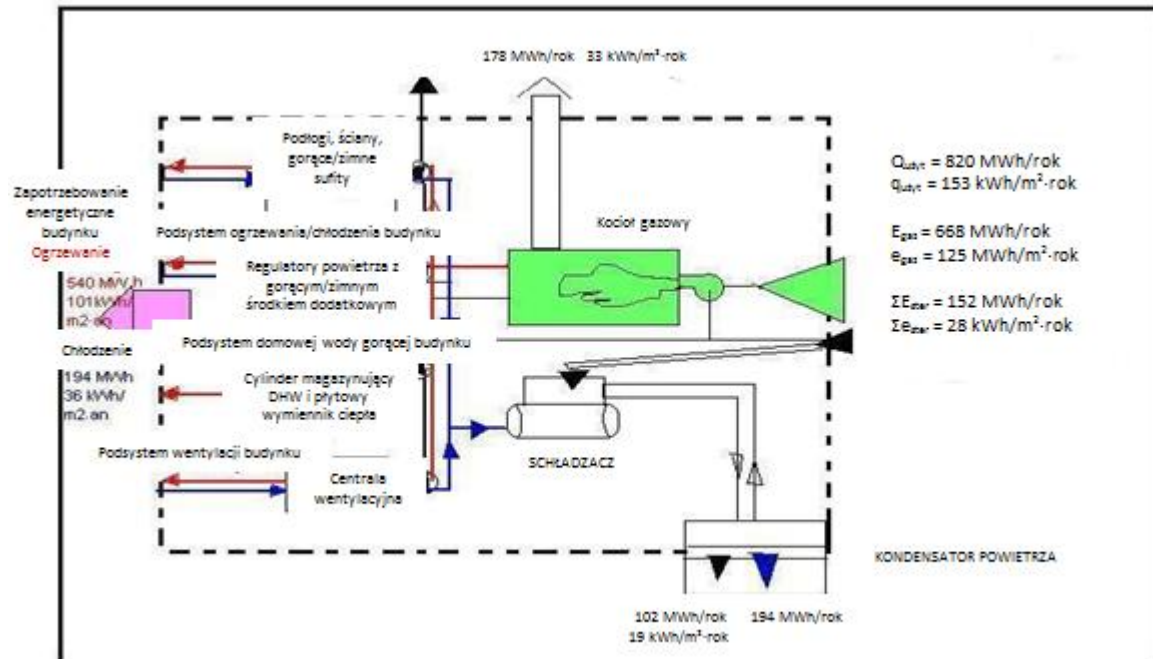
Dla liczby mieszkańców ustalono, że:

$$37 \quad Q_{\text{zapotr. DHW}} = 93 \text{ MWh/rok}$$

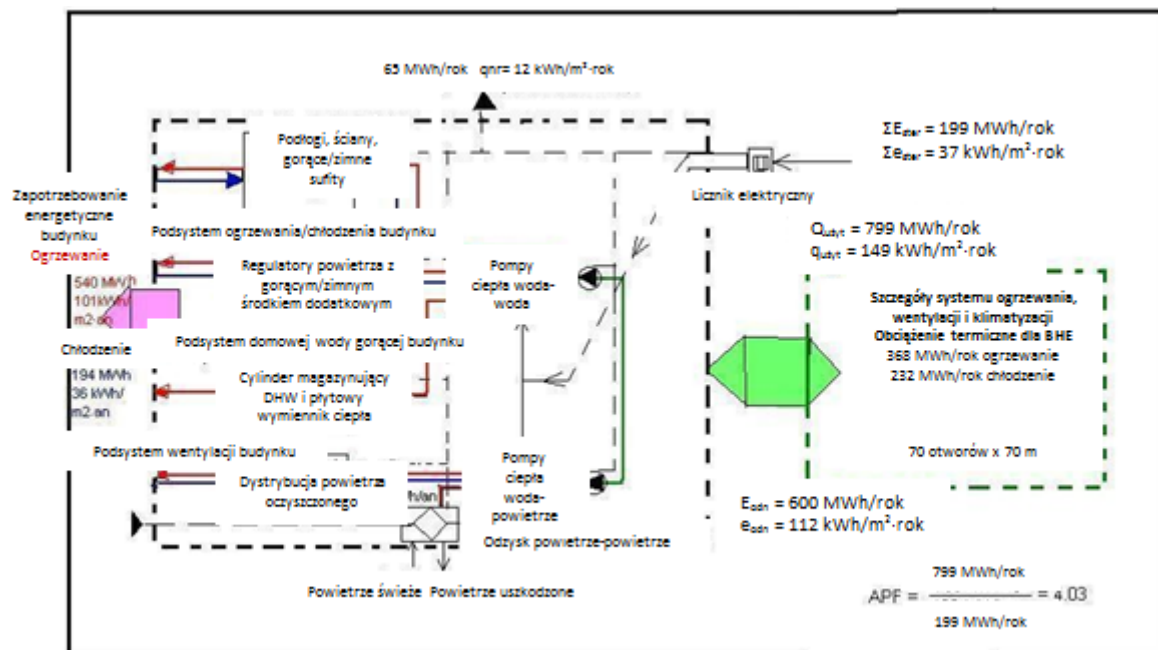
W studium wykonalności projektu ustalono, że dla budynku z naszego przykładu istnieją dwa następujące rozwiązania dla systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku:

- Typowy system ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji, oparty o kopalne źródła energii, który ma zapotrzebowanie na ogrzewanie, wentylację i domową gorącą wodę, co jest zapewnione przez spalanie gazu ziemnego w elektrowni ciepłej z użyteczną pojemnością cieplną równą 250 kW. Zapotrzebowanie budynku na chłodzenie jest osiągnięte przez instalowanie schładzacza na dachu budynku, ze schładzanym powietrzem skraplaczem. Bilans termiczny tego systemu pokazano na Rysunku 6. System ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji ma roczne zapotrzebowanie energetyczne $Q_{\text{użył}}$ równe 820 MWh/rok: 668 MWh/rok z gazu ziemnego (około 82%) i 152 MWh/rok z energii elektrycznej. Strata termiczna systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku Q_{nr} to 280 MWh/rok (około 34%)
- Geotermalny system ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji oparty o zainstalowanie pionowy GWC (otworowa wymiana ciepła = gruntowa wymiana ciepła) mającego odnawialną pojemność cieplną równą 600 MWh/rok, składającą się z 360 MWh/rok dla ogrzewania i 232 MWh/rok dla chłodzenia. 70 otworów wiertniczych o głębokości 70 m jest zainstalowanych na głębokości 2 m pod zieloną przestrzenią budynku. Ich bilans termiczny systemu jest przedstawiony na Rysunku 7. System ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji ma roczne zapotrzebowanie energetyczne $Q_{\text{użył}}$ równe 799

MWh/rok, z czego E_{odn} reprezentuje 600 MWh/rok, a energia elektryczna 199 MWh/rok. Strata termiczna systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku Q_{nr} to 65 W/rok (około 8%).



Rysunek 6. Bilans termiczny typowego systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji



Rysunek 7. Bilans termiczny geotermalnego systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji

Te dwie opcje są podsumowane w Tabeli 1. Analizując dane z Tabeli 1 możemy zobaczyć, że:

- Źródło geotermalne produkuje łącznie 600 MWh/rok energii pierwotnej, z czego 199 x 2,5 - 199 = 298 MWh/rok musi być odejęte jako energia elektryczna zużywana przez system ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku. Pozostaje nadwyżka energii pierwotnej równa 302 MWh/rok (56 kWh/m² rok), która jest wprowadzona w obliczenia rocznego właściwego zużycia energii budynku, którego wartość to 149 kWh/m² rok.

- Przez zastąpienie klasycznego systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji systemem geotermalnym wydajność energetyczna tego samego budynku jest zwiększona o 30% i budynek jest przesunięty z klasy „B” do lepszej klasy energetycznej „A”, a właściwa emisja gazów cieplarnianych spada o współczynnik 2,8.

Wskaźnik wydajności energetycznej budynku	Budynek stosujący klasyczny system ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji	Budynek stosujący geotermalny system ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji
Właściwe roczne zużycie energii pierwotnej dla normalnego użytkowania budynku [kWh/m ² rok]	Właściwe zużycie gazu ziemnego w jednostkach energii pierwotnej: $ep_{\text{gas}} = 137 \text{ kWh/m}^2 \text{ rok}$ Właściwe zużycie energii w jednostkach energii pierwotnej: $\Sigma ep_{\text{driving}} = 71 \text{ kWh/m}^2 \text{ rok}$ Wydajność energetyczna budynku w jednostkach energii pierwotnej. Roczne właściwe zużycie energii: $ep_{\text{gas}} + \Sigma ep_{\text{driving}} = 208 \text{ kWh/m}^2 \text{ rok}$	Właściwe zużycie energii ze źródła odnawialnego z zastosowaniem (35) dla $\text{SPF} = 799/199 = 4.02$ $ep^{\text{RES}} = 56 \text{ kWh/m}^2 \text{ rok}$ Właściwe zużycie energii w jednostkach energii pierwotnej: $\Sigma ep_{\text{driving}} = 93 \text{ kWh/m}^2 \text{ rok}$ Wydajność energetyczna budynku w jednostkach energii pierwotnej. Roczne właściwe zużycie energii: $ep^{\text{RES}} + \Sigma ep_{\text{driving}} = 149 \text{ kWh/m}^2 \text{ rok}$
Właściwe emisje gazów cieplarnianych produkowanych przez źródła systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku [kg CO ₂ /m ² rok]	Właściwa emisja gazu ziemnego: $\text{GES}_{\text{CO}_2} = 36 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ rok}$ Właściwa emisja zużycia energii elektrycznej: $\text{GES}_{\text{EE}} = (152,000 \text{ kWh/yr}) / (5363 \text{ m}^2) \times 0.486$ $\text{GES}_{\text{EE}} = 14 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ rok}$ Wydajność energetyczna budynku:	Właściwa emisja zużycia energii elektrycznej: $\text{GES}_{\text{EE}} = 18 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ rok}$ Wydajność energetyczna budynku $\text{GES} = \text{GES}_{\text{EE}} = 18 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ rok}$

	$GES = GES_{CO_2} + GES_{EE}$ $= 50 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ rok}$	
--	---	--

Oszczędzanie energii pierwotnej i redukcja emisji są obliczone jako:

- Oszczędzanie energii pierwotnej = (roczne właściwe zużycie energii pierwotnej z klasycznego systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji plus roczne właściwe zużycie energii pierwotnej, równoważne rocznemu zużyciu energii elektrycznej na potrzeby systemu geotermalnego ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji) $\times 5363 \text{ m}^2 = 1\,614\,263 \text{ kWh/rok} = 1\,614 \text{ MWh/rok}$. Jeśli chcemy wyrazić oszczędność energii pierwotnej jako równoważnik ton ropy, stosujemy współczynnik konwersji: $1 \text{ Mtoe} = 11,63 \text{ MWh}$. W ten sposób gospodarka energią pierwotną w analizowanym przypadku wyniesie: 139 Mtoe/rok lub 26 Ktoe/m^2 rok, równoważnik $300 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ energii pierwotnej.
- Redukcja emisji gazów cieplarnianych = $(GES \text{ w przypadku budynku z klasycznym systemem ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji} \text{ minus } GES \text{ w przypadku budynku z geotermalnym systemem ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji}) \times A_c [\text{m}^2] = (50 \text{ kg CO} / \text{m}^2 \text{ rok} - 18 \text{ CO} / \text{m}^2 \text{ rok}) \times 5363 \text{ m}^2 = 171,616 \text{ CO}^2 / \text{rok} = 172 \text{ t CO}_2 / \text{rok}$ lub $32 \text{ kg CO}^2 / \text{m}^2 \text{ rok}$.

Oszczędność $172 \text{ t CO}_2 / \text{rok}$ reprezentuje równoważnik autobusu miejskiego w stolicy europejskiej, który przejeżdża ponad 1 milion km.

VII. WYDAJNOŚĆ ENERGETYCZNA I EKONOMICZNE KORZYŚCI KOSZTOWE

Zawartość tego rozdziału przedstawia algorytm dla oceny wydajności energetycznej projektu z ogrzewaniem, wentylacją i klimatyzacją gruntowa pompa ciepła, opartego o ramy zdefiniowane przez EPBD i RESD.

Właściwe zastosowanie algorytmu opisanego w tym rozdziale umożliwia przedsiębiorcy/inwestorowi zaadaptowanie wydajnego rozwiązania ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji gruntowa pompa ciepła, tak iż wyprodukowana energia odnawialna, która przekracza energię wejściową ze źródeł konwencjonalnych, będzie przedstawiać udział/oszczędności/rzeczywisty pobór zastosowań gruntowa pompa ciepła.

EPBD i RESD objaśniają tę kwestię na poziomie europejskim. Niemieckie prawo w tej materii prawidłowo przewidziało opisaną legislację europejską, przedstawiając właściwe metody i algorytm, jaki powinien być przestrzegany.

VIII. WNIOSKI

Projektanci muszą być zaznajomieni z następującymi kwestiami:

- EPBD - kryteria wydajności energetycznej budynku
- Ogrzewanie, wentylacja i klimatyzacja z systemem gruntowa pompa ciepła jest podsystemem budynku
- Budynek i jego system ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji gruntowa pompa ciepła są sklasyfikowane jako jedna całość
- Klasyfikacja energetyczna jest oparta o roczne właściwe zużycie energii pierwotnej $[\text{kWh/rok}]$
- System gruntowa pompa ciepła produkuje energię pierwotną
- RESD wymaga, by energia pierwotna ze źródeł odnawialnych zastępowała energię stosowaną przez system ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynku wykorzystujący źródło kopalne
- Kontrola wydajności systemu ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji z gruntowa pompa ciepła jest przeprowadzona poprzez obliczenie SPF
- Dyrektywa RES wymaga, by $\text{SPF} \geq 2,875$

- Przekształcona EPBD wprowadza koncepcję BUDYNKU ZUŻYWAJĄCEGO ENERGIĘ NA POZIOMIE ZEROWYM NETTO (NZEB), która reprezentuje cel następnej dekady dla Europy i USA.
- W następnej dekadzie, wszystkie nowe budynki, mieszkalne i niemieszkalne, powinny wykorzystywać odnawialne źródła energii
- Budynek będzie umieszczony w kategorii NZEB, jeśli jego sezonowe współczynniki wydajności są większe niż 3,5 wartości, co zapewnia, że >70% całkowitego rocznego zużycia energii termicznej budynku to energia odnawialna
- Główne konsekwencje niewłaściwego lub niekompletnego wykorzystania tych koncepcji to:
 - krótkoterminowo – projekt / wdrożenie energooszczędnego rozwiązania gruntowa pompa ciepła,
 - średnio- i długoterminowo – wyższe koszty operacyjne dla całego cyklu życia budynku, nie tylko w porównaniu z wysokiej jakości rozwiązaniem RES, lecz także w porównaniu z klasycznym rozwiązaniem ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji.

Następny krok obejmuje uwzględnienie zaprezentowanych przepisów EPBD i RESD w ramach krajowych przepisów, zasad i procedur. Wykonanie tego kroku jest gwarancją tego, że w przyszłości projekty ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji gruntowa pompa ciepła zwiększą wydajność w systemach ogrzewania / chłodzenia, przynosząc oszczędności energii i pozytywny wpływ na środowisko.

IX. DODATKOWE INFORMACJE

Bibliografia

1. ASHRAE JOURNAL – Luty 2009 – Heat Pumps for Cold Climates – dr Kurt Roth, dr John Diesckmann i dr Jumes Brodrick. Eng. Radu POLIZU, Ph. D – “NET-ZERO” Energy Buildings – Uppsala, Szwecja, 10-12 czerwca 2009
2. Act on the Promotion of Renewable Energies in the Heat Sector (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz EEWärmeG), Bundesgesetzblatt Jahrgang 2008 Teil I Nr.36 vom 18. Sierpień 2008, S. 1658.
3. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil Nr. 23, ausgegeben zu Bonn am 30 April 2009.
4. Verordnung zur Änderung der Energie-Einsparverordnung. [5] ASHRAE JOURNAL – Sept 2009 – Targeting Net-Zero Energy.

ROZDZIAŁ 19 - KWESTIE ŚRODOWISKOWE

autor: Burkhard Sanner

I. WPROWADZENIE

Środowiskowe aspekty związane z ochroną gruntu i wód podziemnych są niezwykle istotne dla każdego projektu płytkiej geotermii. Główne środowiskowe problemy powiązane z gruntową pompą ciepła są następujące:

Oddziaływanie na grunt i wodę podziemną:

- wyciek środka zapobiegającego zamarzaniu lub czynnika chłodniczego
- połączenie różnych warstw wodonośnych lub połączenie warstw wodonośnych z powierzchnią (jakość cementowania / długoterminowa szczelność)
- wiercenie w artezyjskich warstwach wodonośnych
- skutki termiczne

Inne oddziaływania:

- inne szkodliwe efekty, spowodowane pęcznieniem iłłów, anhydrytu itd.
- zanieczyszczenia przedostające się przez wiertnicę z terenu zanieczyszczonej wiertni, która nie została właściwie oczyszczona.

II. WYCIEK



Za wszelką cenę należy unikać wycieku z zamkniętych systemów (układy poziome lub pionowe). Uczyniłby on wykonywany układ bezużytecznym i mógłby spowodować problemy środowiskowe w przypadkach, gdy płyn przedostaje się z rur, stanowiąc zagrożenie dla wód podziemnych.

Należy powziąć dwa środki zapobiegawcze:

1. Wszystkie etapy tworzenia i instalacji systemu gruntowego muszą być zaprojektowane z myślą o optymalnej szczelności i trwałości; procedury instalacji muszą być ustalone w taki sposób, że niebezpieczeństwo uszkodzenia rury podczas instalacji będzie zminimalizowane (na przykład stosując bęben podwieszony na wiertnicy powyżej otworu wiertniczego do instalacji pionowego GWC w tym otworze (Rys. 1).

Rysunek 1. Instalacja pionowego GWC z bębna wiszącego powyżej otworu wiertniczego

2. Płyny przenoszące ciepło muszą być dobrane w taki sposób, że możliwe oddziaływanie na wodę podziemną w razie wycieku będzie zminimalizowane, tj. płyny powinny być nietoksyczne i ulegające szybkiej biodegradacji.

Idealnym nośnikiem ciepła - z punktu widzenia środowiska, jak i termodynamiki - jest czysta woda. Niestety, w przeważających obszarach centralnej i północnej Europy woda rzadko może być stosowana w układach zamkniętych, gdyż temperatury projektowe w zimie wynoszą zazwyczaj poniżej 0°C. Tym samym, do wody musi być dodawany środek zapobiegający zamarzaniu, dla osiągnięcia niższej temperatury zamarzania mieszaniny. Tabela 1 przedstawia parametry wybranych środków zapobiegających zamarzaniu.

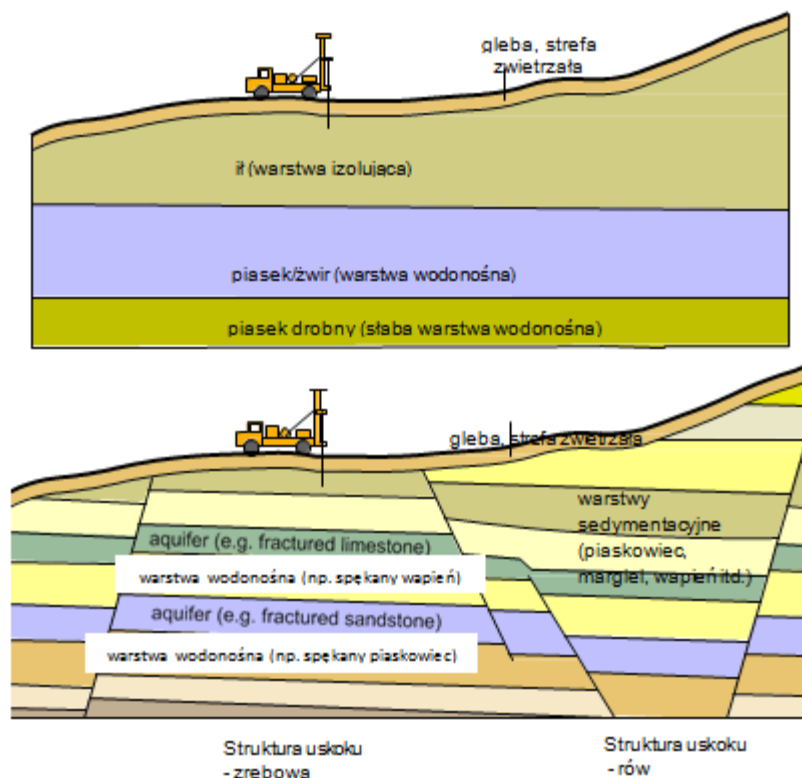
Tabela 1. Wykaz wybranych środków zapobiegających zamarzaniu (zawartość środka zapobiegającego zamarzaniu w mieszaninie z wodą podano w kolumnie „udział procentowy”)

Nazwa	Zawartość procentowa	Temperatura krzepnięcia
Glikol monoetylenowy	25 %	-14 °C
Glikol monoetylenowy	33 %	-21 °C
Glikol monopropylenowy	25 %	-10 °C
Glikol monopropylenowy	33 %	-17 °C
Etanol	25 %	-15 °C
Sól (solanki):		
Węglan potasu	25 %	-13 °C
Węglan potasu	33 %	-20 °C
Chlorek wapnia	20 %	-18 °C

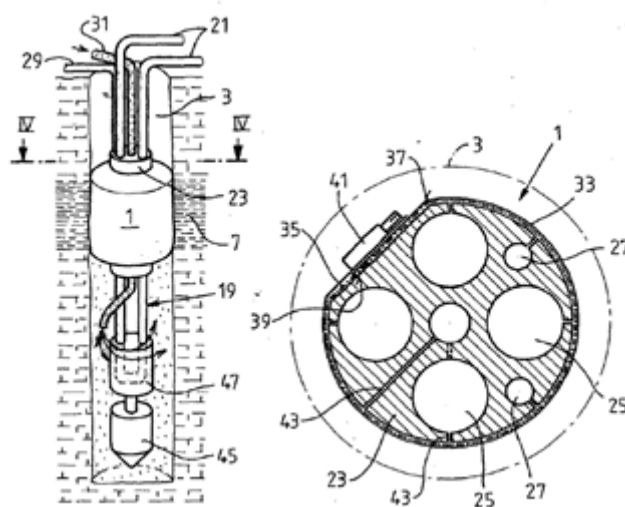
III. ŁĄCZENIE WARSTW WODONOŚNYCH

Przy płytkich wierceniach geotermalnych zasadniczą kwestią jest, aby warstwy wodonośne nie miały bezpośredniego połączenia z powierzchnią terenu. Także poszczególne warstwy wodonośne nie powinny być ze sobą w kontakcie. Połączeniu z powierzchnią można zapobiec poprzez zacementowanie pionowego GWC, lub poprzez zacementowanie pierścienia w przypadku otworu. W Skandynawii zachowanie otwartego otworu i jedynie uszczelnienie go przy powierzchni gruntu jest szeroko akceptowaną praktyką, objaśnioną np. w szwedzkich wytycznych „Normbrunn 07”. Jednakże, przy trudnych sytuacjach, takich jak intruzja wody słonej do gleby od morza, rekomendowane jest jednoczesne cementowanie.

Dla uniknięcia połączenia warstw wodonośnych (Rys. 2) także wymagane jest odpowiednie cementowanie. W skomplikowanych przypadkach można zastosować do uszczelnienia otworu wiertniczego „paker pionowy GWC”, opatentowany w Szwajcarii (Rys. 3). W przypadku otworów, filtr nie może być założony na granicy różnych warstw wodonośnych.



Rysunek 2. Wybrane sytuacje geologiczne z możliwymi problemami dotyczącymi połączenia z powierzchnią lub problemami z łączeniem różnych warstw wodonośnych

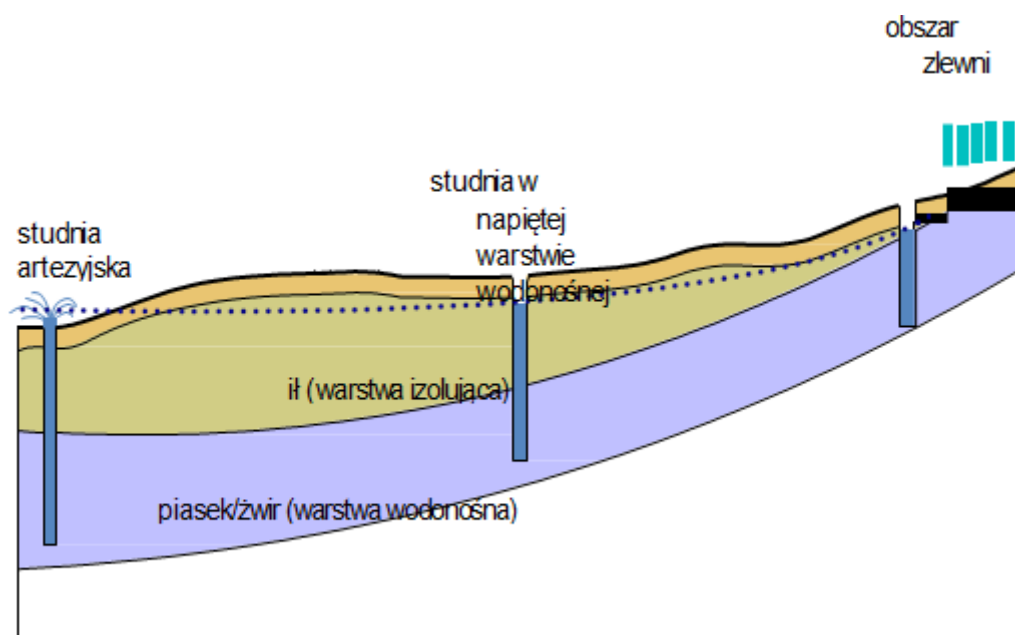


Rysunek 3. Schematyczny diagram „pakera pionowy GWC” przedstawiony przez Haka Gerodur, Szwajcaria (z wniosku patentowego UE: EP 1 865 146 A1)

IV. ARTEZYJSKIE WODY PODZIEMNE

Woda ze studni lub źródła artezyjskiego wypływa samoczynnie na powierzchnię, bez potrzeby pompowania. Zostało to schematycznie przedstawione na Rysunku 4. Swobodny wypływ wody jest spowodowany tym, że obszar zlewni (gdzie woda infiltruje w głąb podłoża) jest położony wyżej,

niż powierzchnia gruntu w miejscu wypływu, a warstwy nieprzepuszczalne uniemożliwiają podnoszenie się zwierciadła tych wód.



Rysunek 4. Schematyczny diagram otworu o zwierciadle napiętym i artezyjskiej

Dla niektórych regionów ogólnodostępne dane geologiczne pozwalają na ocenę ryzyka związanego z natrafieniem na wody podziemne typu artezyjskiego (Rys. 5). Na mapach przedstawiono zarówno znane studnie artezyjskie lub źródła, jak i obszary podobnych możliwych zagrożeń. Zawsze trzeba stosować zasadę: nigdy nie próbuj instalować pionowy GWC w artezyjskiej warstwie wodonośnej! W tym przypadku cementowanie nie zapobiegne migracji wody (byłaby ona możliwa nawet w przypadku niewielkiego nadciśnienia). Wytrysk wody z otworu artezyjskiego może wyglądać dość spektakularnie (Rys. 6).



Rysunek 5. Mapa sporządzona na potrzeby płytkiej geotermii w niemieckim kraju związkowym Baden-Wuerttemberg, przedstawiająca znane artezyjskie studnie/źródła (niebieskie kwadraty) i obszary o potencjalnym zagrożeniu wodą artezyjską (niebieskie cieniowanie); (za: <http://www1.lgrb.uni-freiburg.de/isong/>)



Rysunek 6. Przebicie warstwy wodonośnej typu artezyjskiego podczas wykonywania otworu w miejscowości Hoechst (koło Frankfurtu); duża ilość wody wydostająca się w sposób niekontrolowany przez wylot otworu.

Do wywołania problemów wcale nie jest konieczne, by poziom wody podziemnej był w pełni artezyjski (tj. wysokość ciśnieniowa była powyżej poziomu gruntu). Napięte warstwy wodonośne z wysokością ciśnieniową nieco poniżej powierzchni gruntu także mogą zalać wykop konstrukcyjny, parking podziemny itp., jeśli wiercenie było wykonywane od dna wykopu. Istnieją przykłady w wielu miejscach; we Frankfurcie (Niemcy) zarówno wykop konstrukcyjny jak i parking podziemny zostały zalane w wyniku wiercenia geotermalnego podczas ostatnich 10 lat, przy różnych projektach.

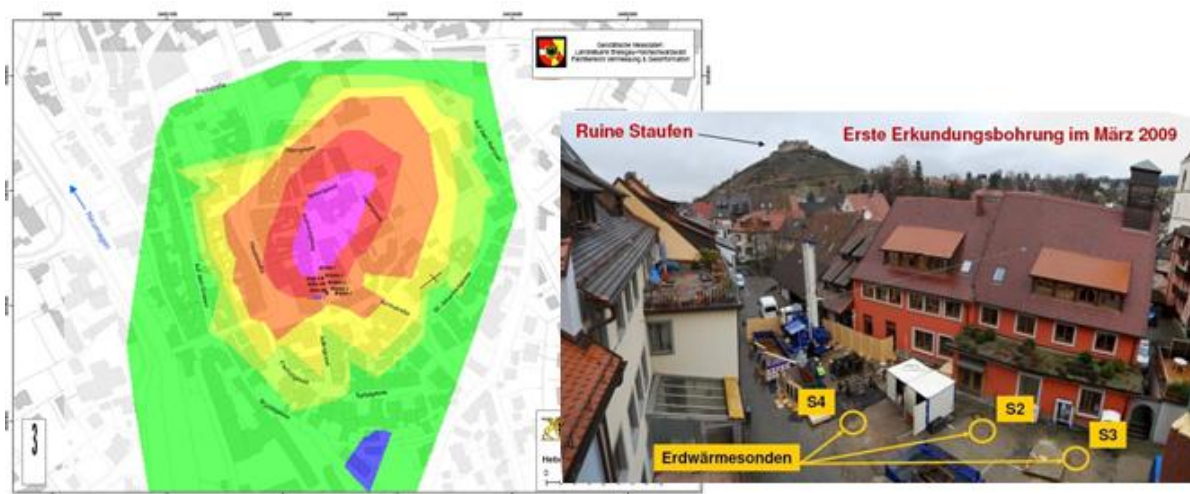
Sztucznie wywołany lej depresyjny wody podziemnej także może zmylić wiertacza. Zwierciadło wody blisko miejsca budowy jest często obniżone przez pompowanie umożliwiające pracę w wykopie. Wiercenie studni lub pionowy GWC w takim wykopie i brak uszczelnienia perforacji spowoduje zalanie wykopu (lub odpowiednio piwnicy lub parkingu podziemnego, który mógł być skonstruowany w wykopie po wierceniu), gdy pompowanie obniżające zwierciadło wody zostało zatrzymane po zakończeniu całej pracy.

V. SKAŁY PĘCZNIEJĄCE

Poważne uszkodzenia spowodowane mogą być przez skały, która pęcznieje pod wpływem obecności wody. Proces destrukcji zachodzi bardzo powoli, lecz po rozpoczęciu nie może być już powstrzymany. Skały podatne na pęcznienie to:

- ił i margiel z 3-warstwowymi minerałami ilastymi,
- anhydryt (CaSO_4).

W południowo-zachodnich Niemczech jedno z niewielkich miast jest zagrożone ruchami podłoża ze względu na anhydryt będący w kontakcie z wodą podziemną, wywołanym wierceniem otworu geotermalnego (Rys. 7). Anhydryt w reakcji z wodą jest przekształcany w gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$), czemu towarzyszy znaczny wzrost objętości minerału.



Rysunek 7. Tempo wypiętrzania w miejscowości Staufen im Breisgau (Badania Wirtembergia), spowodowanego przez kontakt wody podziemnej z anhydrytem, w wyniku wykonywania otworu geotermalnego (mapa RP Freiburg); (po prawej) widok fragmentu miasta z zaznaczonymi obszarami przekształceń (zdjęcia: I. Sass)

PARTNERZY GEOTRAINET

European Federation of Geologists		www.eurogeologists.eu
European Geothermal Energy Council		www.egec.org
Arsenal Research, Austria		www.arsenal.ac.at
Bureau de Recherches Géologiques et Minières, France		www.brgm.fr
GT Skills, Ireland		conodate@mac.com
Romanian Geoexchange Society		www.geoexchange.ro
Universidad Politécnica de Valencia, Spain		informacion@upv.es
University of Lund, Sweden		www.lu.se/lund-university
Newcastle University, United Kingdom		www.ncl.ac.uk



Instrukcja GEOTRAINET

Instrukcja szkoleniowa dla projektantów płytkich systemów geotermalnych została przygotowana w ramach Projektu GEOTRAINET: Geo-edukacja dla rynku zrównoważonego ogrzewania i chłodzenia geotermalnego, przy wsparciu Intelligent Energy – Europe. Projekt był nadzorowany przez europejskie organizacje zrzeszające geologów oraz podmioty i osoby zajmujące się energią geotermalną.

Instrukcja została dedykowana dla europejskich projektantów płytkich systemów geotermalnych i służy zapewnieniu właściwej oraz bieżącej edukacji. Została oparta o program kształcenia opracowywany w czasie trwania projektu przez międzynarodową platformę ekspertów z sektora energii geotermalnej.

Kursy szkoleniowe i spotkania prowadzone były przez partnerów wywodzących się z uniwersytetów, organizacji badawczych i organizacji komercyjnych funkcjonujących na terenie Europy (w Belgii, Austrii, Francji, Niemczech, Irlandii, Rumunii, Hiszpanii, Szwecji i Zjednoczonym Królestwie). Kurs obejmuje wszystkie tematy związane z projektowaniem płytkich systemów geotermalnych: od koncepcji i ocenę wykonalności, przez projektowanie i integrację, aż po instalację i eksploatację.

Instrukcja została zaprojektowana jako podręcznik dla formalnego programu szkoleniowego w projektowaniu płytkich systemów geotermalnych, obejmującego demonstracje praktyczne i rzeczywiste studia przypadku, oparte o doświadczenie. Pomyślne ukończenie szkolenia GEOTRAINET doprowadzi do uzyskania europejskiego certyfikatu, dla którego zaproponowany został system europejskiej akredytacji, jako część projektu.

Więcej informacji znajduje się na stronie GEOTRAINET:

www.geotrainet.eu

