



**Parametry ekonomiczne i energetyczne wód kopalnianych jako źródła energii
Metoda i studia przypadków dla CONCERTO Remining-lowex**

Data **14 stycznia 2009 r.**
Odnosnik **Pakiet roboczy 4.3**



Odnośnik Pakiet roboczy 4.3
Tytuł raportu Parametry ekonomiczne i energetyczne wód kopalnianych jako źródła energii
Metoda i studia przypadków dla CONCERTO Remining-lowex

Data 14 stycznia 2009 r.

Przygotowany dla CONCERTO Remining-lowex

Przygotował ing. E.J.A. Roijen
 ir. T. Fijlstra
 Cauberg-Huygen Raadgevende Ingenieurs BV
 St. Annalaan 60
 6217 KC MAASTRICHT
 P.O. box 480
 6200 AL MAASTRICHT
 Tel. 043-3467878
 Fax. 043-3476347

Spis treści

Rozdział	Tytuł	Strona
1	Wstęp	4
2	Ocena parametrów bezpośredniego ogrzewania i chłodzenia przy pomocy wód kopalnianych	5
2.1	Zasada techniczna	5
2.2	Aspekty kosztów	6
2.2.1	Koszty inwestycyjne infrastruktury wód kopalnianych i instalacji wewnętrznych	6
2.3	Koszty eksploatacyjne pompowania, rozprowadzania i kontroli	6
3	Ocena parametrów pośredniego ogrzewania i chłodzenia przy pomocy wód kopalnianych	8
3.1	Opis techniczny	8
3.2	Aspekty kosztów	9
3.2.1	Koszty inwestycyjne infrastruktury wód kopalnianych i instalacji wewnętrznych	9
3.2.2	Koszty pompowania	10
3.2.3	Koszty i wpływ na środowisko dodatkowych paliw kopalnych do ogrzewania i chłodzenia	10
4	Przetwarzanie końcowe ciepła i zimna przy pomocy pomp ciepła	11
4.1	Wstęp	11
4.2	Współczynnik wydajności (COP)	11
4.3	Pompy ciepła dla przetwarzania końcowego energii wód kopalnianych	13
4.3.1	Sezon grzewczy	13
4.3.2	Sezon chłodzenia	15
5	Studium przypadku 1: mieszkania	16
5.1	Opis przypadku	16
5.1.1	Ogólne	16
5.1.2	Opis techniczny	17
5.2	Oszczędności energii	19
5.3	Aspekty kosztów	20
6	Studium przypadku 2: wysoki budynek biurowy	21
6.1	Opis przypadku	21
6.1.1	Ogólne	21
6.1.2	Opis techniczny	21
6.2	Oszczędności energii	21
6.2.1	Odbośnik	23
6.2.2	Ogrzewanie i chłodzenie przy pomocy wód kopalnianych	24
6.3	Aspekty kosztów	25
7	Studium przypadku 3: chłodzenie towarów w supermarketach	26
7.1	Opis przypadku	26
7.1.1	Ogólne	26

Rozdział	Tytuł	Strona
7.1.2	Opis techniczny	26
7.2	Oszczędności energii	26
7.2.1	Odkośnik	26
7.2.2	Chłodzenie wodami kopalnianymi	27
7.3	Wnioski	27
8	Podsumowanie i wnioski	28

1 Wstęp

W ramach programu CONCERTO Remining-lowex pakiet roboczy 4 skupia się na ekonomicznej i energetycznej wydajności wód kopalnianych jako źródła energii. Pierwsze studium wrażliwości zostało wykonane przez Cauberg-Huygen, wskazując parametry ekonomiczne i energetyczne, które mogą wpływać na realność wykorzystania wód kopalnianych jako źródła energii.

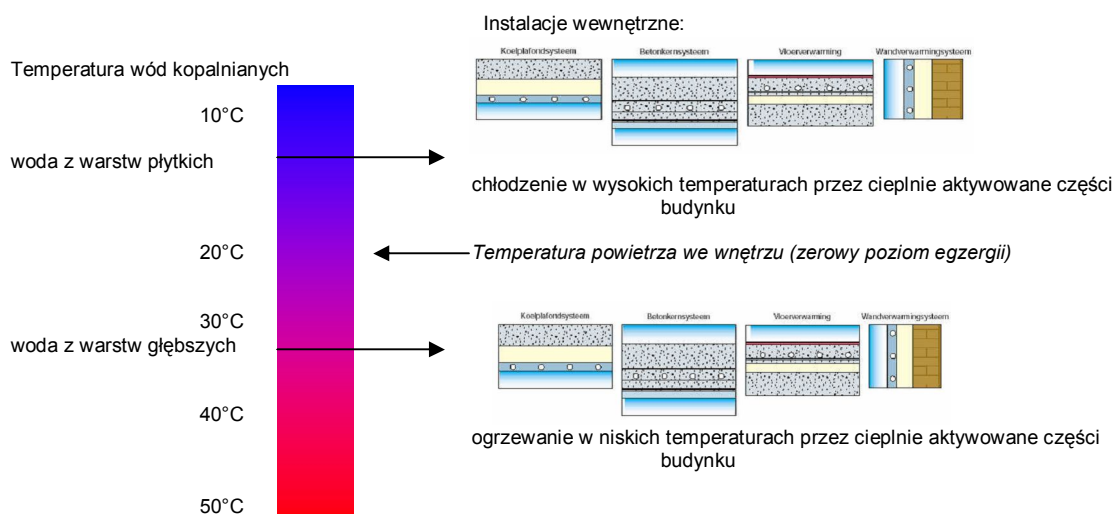
Należy dokonać wyraźnego rozróżnienia pomiędzy bezpośrednim ogrzewaniem i chłodzeniem budynków przy pomocy wód kopalnianych z jednej strony a wodami kopalnianymi jako cieplnym półproduktem, który wymaga przetwarzania końcowego z drugiej strony. Oba przypadki zostaną następnie omówione.

Ogólne koszty energii i wydajność ogrzewania i chłodzenia przy pomocy wód kopalnianych są porównane z rozwiązaniami tradycyjnymi opartymi na paliwach kopalnych. Dlatego wszystkie koszty zostały przeliczone na 1 GJ energii cieplnej (ciepła lub zimna).

2 Ocena parametrów bezpośredniego ogrzewania i chłodzenia przy pomocy wód kopalnianych

2.1 Zasada techniczna

W tym przypadku osiąga się wyraźne dopasowanie pomiędzy temperaturą wód kopalnianych a poziomami temperatury systemu klimatycznego budynków. Rys. 2.1 przedstawia przykład, w którym poziom temperatury płytkich wód kopalnianych (np. 14°C) pasuje do poziomów temperatury, np. aktywowania trzonu betonowego. Wody kopalniane są używane bezpośrednio do chłodzenia masy budynku, na przykład przy zmianie temperatury 15 → 21°C. Wody kopalniane wracają z budynku w temperaturze ok. 22°C.



Rysunek 2.1: Dopasowanie temperatury wód kopalnianych i systemów klimatycznych „low-ex” (o niskiej egzergii)

Warunki graniczne

- Często konieczne jest hydrauliczne rozdzielanie pomiędzy układem wody kopalnianej a instalacjami wewnętrznymi. Przeciwny wymiennik ciepła powoduje spadek temperatury i straty ciepła. Należy to uwzględnić. Zimna woda kopalniana powinna być trochę zimniejsza (ok. 2°C) niż temperatura zasilania dla chłodzenia; ciepła woda kopalniana powinna być trochę cieplejsza (ok. 2°C) niż temperatura zasilania dla ogrzewania.
- Pojemność grzewcza i chłodząca cieplnie aktywowanych części budynków jest ograniczona. Te systemy emisji są wrażliwe na nadmierne straty przesyłania i wentylacji. Dlatego bardzo ważna jest kontrola strat ciepła i zimna poprzez dobrą izolację cieplną, dobrą szczelność powłoki budynku oraz energetycznie sprawną wentylację (np. przez odzysk ciepła), ale nie ma bezpośredniego związku z wodami kopalnianymi jako źródłem energii.

2.2 Aspekty kosztów

Dwoma głównymi aspektami kosztów są:

- koszty inwestycyjne infrastruktury wód kopalnianych i instalacji wewnętrznych „low-ex” (o niskiej egzergii);
- koszty eksploatacyjne pompowania, rozprowadzania i kontroli.

2.2.1 Koszty inwestycyjne infrastruktury wód kopalnianych i instalacji wewnętrznych

W związku z konturem zbiornika wód podziemnych i lokalizacją budynków, trzeba zrealizować więcej lub mniej inwestycji dla:

- wiercenia i rozbudowy studni;
- pomp i rurociągów do transportu wód kopalnianych;
- wymienników ciepła i filtrów do przekazania energii do instalacji wewnętrznych;
- zarządzania i kontroli systemu.

Większość z tych kosztów inwestycyjnych może się w przyszłości zmniejszyć z powodu nowych technologii. Techniki wiercenia precyzyjnego w celu trafienia w chodnik są kosztowne, konieczne są nowe (tańsze) techniki wiercenia. Jeśli jest to możliwe, używa się szybu kopalnianego do wydobywania i infiltracji wód kopalnianych, unikając w ten sposób kosztów wiercenia.

Koszty inwestycyjne pomp, rurociągów, wymienników ciepła itp. można zmniejszyć, jeśli znany jest dokładnie minimalny poziom jakości i wymagany okres eksploatacji tych elementów i nie jest zbyt krótki (sama wiedza na ten temat nie wydłuża okresu amortyzacji). W sytuacji pilotażowej należy zastosować pewne (zwiększające koszt) środki ostrożności ze względu na brak precyzyjnych informacji i wiedzy.

Przypuszczalnie najważniejszym parametrem jest koszt samego kapitału. Stopa procentowa i dodatkowe koszty inwestycji mogą się wahać od 4 do 15 % rocznie i przez to mogą spowodować, że prognoza finansowa się sprawdzi lub nie. Ten rodzaj systemów energetycznych posiada horyzont długofalowy, którego nie można połączyć z krótkim okresem zwrotu.

2.3 Koszty eksploatacyjne pompowania, rozprowadzania i kontroli

Koszty pompowania są związane z:

- sprawnością pompy (typowa wartość $\eta = 0,60$ dla elektrycznych pomp podwodnych /głębinowych/);
- różnicą ciśnień pompy (hydrostatycznego, ciśnienia przewodzenia (?), oporu rurociągu itp.);
- różnicą temperatury przy pobieraniu ciepła lub zimna.

Następne rysunki przedstawiają wpływ tych parametrów na PER (stosunek energii pierwotnej) dla energii pompowania. Wartość PER poniżej 1 wskazuje, że pompowanie wód kopalnianych wymaga więcej energii, niż wynosi energia pobierana. Wartość PER powyżej 5 jest korzystna; 10 lub więcej jest doskonała.

Tabela 2.1: PER energii pompowania

Pobór ciepła [°C]	całkowita różnica ciśnienia pompy [bar]				
	5	10	15	20	25
2	3,6	1,8	1,2	0,9	0,7
4	7,3	3,6	2,4	1,8	1,5
6	10,9	5,4	3,6	2,7	2,2
8	14,5	7,3	4,8	3,6	2,9
10	18,1	9,1	6	4,5	3,6

Tabela 2.2: Energia pompowania w związku z pobraną energią

Pobór ciepła [°C]	całkowita różnica ciśnienia pompy [bar]				
	5	10	15	20	25
2	28%	56%	83%	111%	143%
4	14%	28%	42%	56%	67%
6	9%	19%	28%	37%	45%
8	7%	14%	21%	28%	34%
10	6%	11%	17%	22%	28%

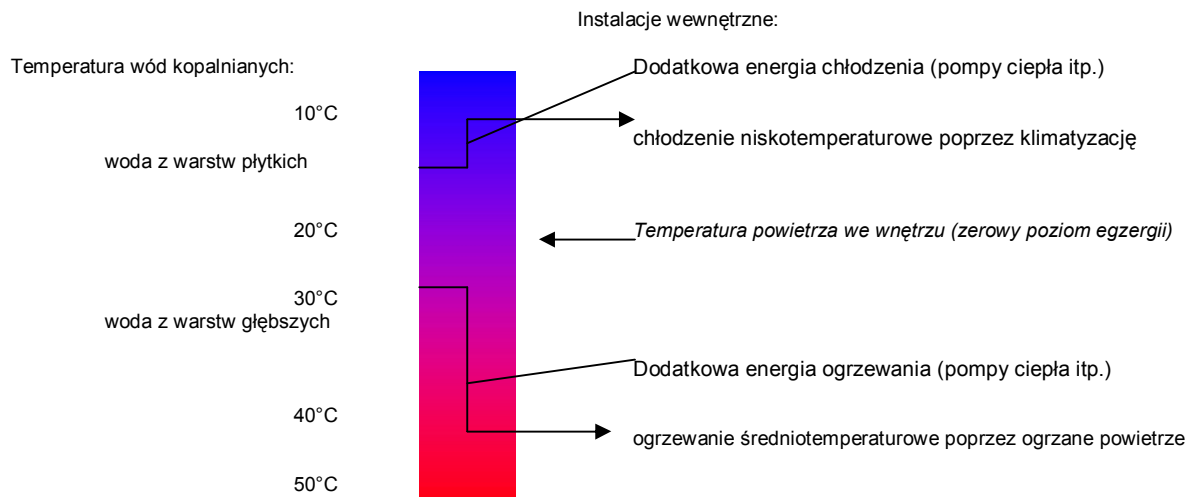
Obie tabele pokazują, że:

- rosnąca różnica ciśnienia pompy;
 - pobór ciepła przy rosnącej różnicy temperatur;
- obniża gwałtownie sprawność wód kopalnianych jako źródła energii.

3 Ocena parametrów pośredniego ogrzewania i chłodzenia przy pomocy wód kopalnianych

3.1 Opis techniczny

W tym przypadku temperatura wód kopalnianych i poziomy temperatury systemu klimatycznego budynku nie pasują do siebie. Rys. 3.1 przedstawia przykład, w którym poziom temperatury wód kopalnianych (np. 30°C) nie odpowiada poziomowi temperatury np. dla ogrzewania powietrzem (np. 45°C).



Rysunek 3.1: Pośrednie ogrzewanie i chłodzenie przy pomocy wód kopalnianych

Pompa ciepła może zlikwidować lukę temperatury, jednak wymaga energii elektrycznej. Wydajność pompy ciepła (wartość COP) zależy od różnicy temperatury pomiędzy wodami kopalnianymi a systemem klimatycznym i wymaganym poziomem temperatury. Niewielka różnica temperatury i niska temperatura końcowa powodują wysoką wydajność pompy ciepła.

Zazwyczaj bardziej opłacalne jest połączenie pompy ciepła z kotłem na paliwo kopalne dla momentów szczytowych, niż samodzielna pompa ciepła o 100% wydajności. Jest to określane jako system dwuwartościowy. Koszty inwestycyjne na kW mocy cieplnej pompy ciepła są 5 do 10 razy wyższe, niż cena konwencjonalnego kotła na kW. Zgodnie z niepisaną regułą, 20% do 40% wymaganej mocy grzewczej jest zainstalowane jako wydajność pompy ciepła a reszta jako konwencjonalny kocioł. Pompa ciepła pokrywa w ten sposób do 90% rocznego zapotrzebowania cieplnego, podczas gdy w momentach szczytowych (wymagane są najwyższa moc i temperatury) może pomóc kocioł. Ponadto, konwencjonalny kocioł stanowi rezerwę w przypadku awarii systemu wody kopalnianej / pompy ciepła.

Z ekonomicznego punktu widzenia ta mieszanka paliwa składająca się z wód kopalnianych, energii kopalnej i energii elektrycznej i daje pewną swobodę w zakupach na rynku energii. Natomiast łączna suma stałych praw dla każdego podłączenia do sieci może wpływać na zwrot z projektu.

3.2 Aspekty kosztów

Trzema głównymi aspektami kosztów są:

- koszty inwestycyjne studni, infrastruktury i instalacji wewnętrznych „low-ex” (o niskiej energii);
- koszty pompowania;
- koszty paliw kopalnych dla wtórnego ogrzewania i chłodzenia.

3.2.1 Koszty inwestycyjne infrastruktury wód kopalnianych i instalacji wewnętrznych

W zależności od rodzaju zbiornika wód podziemnych i lokalizacji budynków, trzeba zrealizować więcej lub mniej inwestycji dla:

- wiercenia i rozbudowy studni;
- pomp i rurociągów do transportu wód kopalnianych;
- wymienników ciepła i filtrów do przekazywania energii do instalacji wewnętrznych;
- pomp ciepła i/lub opalanych gazem kotłów;
- zarządzania i kontroli systemu.

Większość z tych kosztów inwestycyjnych może się zmniejszyć z powodu nowych technologii. Techniki wiercenia precyzyjnego w celu trafienia w chodnik są kosztowne, konieczne są nowe (tańsze) techniki wiercenia. Jeśli jest to możliwe, używa się szybu kopalnianego i w ten sposób unika kosztów wiercenia.

Koszty inwestycyjne pomp, rurociągów, wymienników ciepła itp. można zmniejszyć, jeśli znany jest dokładnie minimalny poziom jakości i wymagany okres eksploatacji tych elementów i nie jest zbyt krótki (sama wiedza na ten temat nie wydłuża okresu amortyzacji). W sytuacji pilotażowej należy zastosować pewne (zwiększające koszt) środki ostrożności ze względu na brak informacji i wiedzy.

Przydzielenie kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych urządzeń (pomp ciepła itp.) do podniesienia energii wód kopalnianych do odpowiedniego poziomu temperatury może stanowić część negocjacji pomiędzy dostawcą energii i odbiorcą. Właściciel budynku zazwyczaj zrealizuje te inwestycje przy założeniu, że jego łączne koszty energii będą o tyle niższe, iż te inwestycje mogą być odzyskane w rozsądnych ramach czasowych. Jeśli dostawca wód kopalnianych sam dokona wymaganego podniesienia, cena końcowa dostarczonej energii może oczywiście być równa cenie zwyczajnej energii (kopalnej).

Przypuszczalnie najważniejszym parametrem ekonomicznym jest koszt samego kapitału. Stopa procentowa i dodatkowe koszty inwestycji mogą się wahać od 4 do 15 % i przez to mogą spowodować, że prognoza finansowa się sprawdzi lub nie. Ten rodzaj systemów energetycznych posiada horyzont długofalowy, którego nie można połączyć z krótkim okresem zwrotu.

3.2.2 Koszty pompowania

Patrz paragraf 2.3.

3.2.3 Koszty i wpływ na środowisko dodatkowych paliw kopalnych do ogrzewania i chłodzenia

Koszt gazu ziemnego i energii elektrycznej jest ważnym czynnikiem w porównaniu ogrzewania tradycyjnego z ogrzewaniem przy pomocy pomp ciepła na wody kopalniane. Ogrzewanie tradycyjne jest często oparte na kotłach opalanych gazem. Przy zużyciu hurtowym, gaz ziemny jest stosunkowo tanim źródłem energii. Ogrzewanie przy pomocy pomp ciepła na wody kopalniane jest zazwyczaj oparte na energii elektrycznej (pompy w studniach, pompy ciepła).

Przy rzeczywistych holenderskich taryfach hurtowych można dokonać następnego porównania:

Tabela 3.1: Ceny energii i emisje

Paliwo	Cena jednostkowa	Zawartość energii	Cena za jednostkę	Emisja CO ₂
Gaz ziemny	€ 0,46 bez VAT	31,65 MJ/m ³	€ 0,015 / MJ bez VAT	0,056 kg / MJ
Energia elektryczna	€ 0,12 bez VAT	3,6 MJ/kWh	€ 0,033 / MJ bez VAT	0,157 kg / MJ

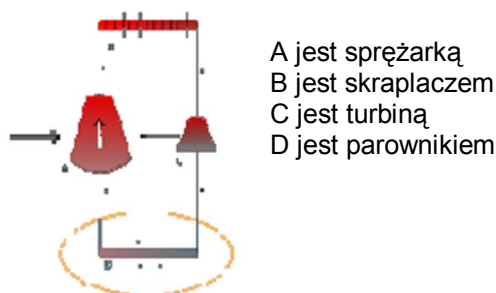
Różnica ceny jednostkowej i emisji CO₂ jest spowodowana głównie przez słabą sprawność konwersji paliw kopalnych na energię elektryczną (typowa wartość $\eta = 0,40$) w porównaniu z technologiami kotłów wysokosprawnych do wytwarzania ciepła z gazu ziemnego. W ogólnym porównaniu ten efekt należy wziąć pod uwagę.

Wady wyższej emisji CO₂ dla energii elektrycznej można uniknąć przez zrównoważoną energię elektryczną generowaną przez wiatraki, panele słoneczne itp. Przez ostatnich pięć lat cena gazu w Holandii wzrosła o 9% w porównaniu z 6% dla energii elektrycznej. Z ekonomicznego punktu widzenia, oczekuje się ogólnie, że cena energii elektrycznej ustabilizuje się ze względu na większe (odnawialne) obiekty produkcyjne oraz iż cena gazu będzie nadal rosła. Jest to korzystny scenariusz dla eksploatacji energii wód kopalnianych.

4 Przetwarzanie końcowe ciepła i zimna przy pomocy pomp ciepła

4.1 Wstęp

Pompa ciepła polepsza ciepło z poziomu niskiej temperatury na ciepło na poziomie wyższej temperatury, na którym może być używane dla celów ogrzewania. Nawet w okresie zimowym przy temperaturach znacznie poniżej 0°C pompa ciepła może pobierać energię ze środowiska. Jest to realizowane poprzez niekończący się cykl „chłodzenia”. Ciecz chłodząca odparowuje przy bardzo niskiej temperaturze i pobiera znaczną ilość energii ze środowiska (powietrza, wody, gruntu) przy zmianie z fazy ciekłej na fazę gazową. Sprężarka spręża ten gaz chłodniczy i w ten sposób przenosi go na poziom wysokiej temperatury. Gorący gaz jest następnie kondensowany w skraplaczu, gdzie przekształca się w stan ciekły i oddaje ciepło do układu grzewczego. Następnie czynnik chłodniczy / płyn roboczy jest ponownie rozprężany przy przejściu przez zawór rozprężny, tak że proces cykliczny może być kontynuowany. Pompa ciepła pobiera energię cieplną ze środowiska – gruntu, wody lub powietrza – i dostarcza ją plus moc napędową w postaci ciepła do układów ogrzewania i gorącej wody budynku.



Rysunek 4.1: Schematyczny widok cyklu pompy ciepła

4.2 Współczynnik wydajności (COP)

Współczynnik wydajności COP wskazuje dostarczoną ilość ciepła w stosunku do wymaganej mocy napędowej.

$$\text{COP} = \frac{\text{ilość dostarczonego ciepła}}{\text{moc napędowa}} = \frac{\text{energia środowiskowa} + \text{moc napędowa}}{\text{moc napędowa}}$$

Dlatego współczynnik wydajności o wartości 4 oznacza, że poczwórna wartość zużytej energii elektrycznej jest dostępna jako użyteczna wydajność cieplna. Współczynnik wydajności jest wartością chwilową. Roczna wartość wydajności wynika z dostarczonej energii w stosunku do elektrycznej mocy napędowej wymaganej dla całego sezonu grzewczego. Jest to średnia wartość zintegrowana wszystkich wartości COP skumulowanych w okresie roku.

Cykl pompy ciepła jest mniej więcej zgodny z (idealnym) cyklem Carnota silnika spalinowego w kierunku wstecznym. Tak więc możemy również obliczyć COP biorąc różnicę temperatur pomiędzy źródłem ciepła (parownik) a ujściem ciepła (skraplaczem).

$$e_c = T / (T - T_u) = T / DT$$

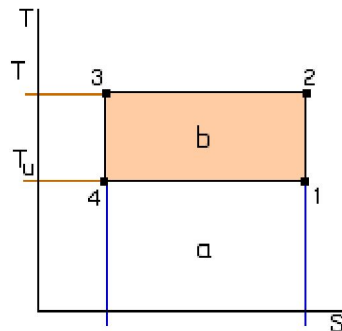
e_c = współczynnik wydajności zgodnie z idealnym cyklem Carnota

T_u = temperatura środowiska, z którego pobierane jest ciepło (zimna strona) [K]

T = temperatura ujścia ciepła, do którego ciepło jest przenoszone (ciepła strona) [K]

DT = różnica temperatur pomiędzy stroną ciepłą i zimną [K]

Przedstawienie wartości zmiennych T (temperatura) i S (entropia), przechodzących przez cykl Carnota:



Krzywa składa się z dwóch krzywych adiabatycznych ($S = \text{const}$) i dwóch izoterm ($T = \text{const}$)
 S = entropia = zawartość energii

- Energia pobrana ze środowiska: Powierzchnia a;
- Sprężarka mocy napędowej: Powierzchnia b;
- Całkowita energia dostarczona: Powierzchnia a + b;
- 1 - 2: wzrost (skok) temperatury w czasie sprężania;
- 4 - 1: odparowanie;
- 2 - 3: kondensacja;
- 3 - 4: rozprężanie.

Przykład:

$$T_u = 0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}, T = 50^\circ\text{C} = 323 \text{ K}$$

$$e_c = T / (T - T_u) = 323 / 323 - 273 = 6,46$$

Procesy idealne nie są możliwe. Jednakże współczynnik wydajności procesu pompy ciepła uwzględniający straty będzie w rzeczywistości niższy. Ze względu na straty cieplne, mechaniczne i elektryczne oraz zapotrzebowanie mocy pompy pomocniczej (np. obiegu solanki) efektywnie osiągnąć COP lub E jest mniejszy, niż E_c . Dla zgrubnego oszacowania E może być ustalone jako równe $0,6 \times E_c$

We wszystkich przypadkach współczynnik wydajności zależy od różnicy temperatur pomiędzy źródłem ciepła a wykorzystaniem ciepła: im niższy jest wymagany wzrost temperatury, tym bardziej sprawnie i ekonomicznie działa pompa ciepła. Dlatego bardzo ważna jest optymalna konstrukcja całej instalacji do zastosowań „low-ex”.

Bardziej szczegółowym wzorem dla COP jest:

$$\text{COP} = \eta \frac{T_{\text{high}} + \Delta T_{\text{con}}}{(T_{\text{high}} - T_{\text{low}}) + \Delta T_{\text{evap}} + \Delta T_{\text{con}}}$$

gdzie:

η	= sprawność Carnota $\approx 0,6$
T_{high}	= maks. temperatura skraplacza [K]
T_{low}	= min. temperatura parownika [K]
ΔT_{evap}	= różnica temperatury na parowniku [K]
ΔT_{con}	= różnica temperatury na skraplaczu [K]

4.3 Pompy ciepła dla przetwarzania końcowego energii wód kopalnianych

Jeśli temperatura wód kopalnianych i temperatura instalacji wewnętrznych nie pasują do siebie, przetwarzanie końcowe przy pomocy pomp ciepła stanowi jakąś możliwość. W tym przypadku konieczna jest optymalizacja różnicy temperatur pobierania ciepła. Wynika to z dwóch przeciwnych efektów:

- liniowe powiększenie różnicy temperatur dla pobierania ciepła z wód kopalnianych zmniejsza wymaganą ilość wód kopalnianych i w ten sposób koszty pompowania i transportu;
- powiększenie różnicy temperatur dla pobierania ciepła z wód kopalnianych zmniejsza nieliniowo COP pompy ciepła i w ten sposób zwiększa koszty przetwarzania końcowego.

4.3.1 Sezon grzewczy

Jeśli wody kopalniane nie są wystarczająco ciepłe do celów grzewczych, może wkroczyć pompa ciepła dla uzyskania odpowiedniego poziomu temperatury (patrz rozdział 3). W następnym tabeli porównano szereg sytuacji dla ogrzewania odnośnie sprawności i PER (stosunek energii pierwotnej). Dla celów ogrzewania, ΔT_{evap} jest równa różnicy temperatur dla poboru ciepła z wód kopalnianych. ΔT_{con} jest przyjmowana za 10°C we wszystkich przypadkach. Oznacza to, że potrzeba 24 m^3 wód kopalnianych do dostarczenia 1 GJ ciepła w wymienniku ciepła obiegu pierwotnego. Przy 10% strat na wymienniku ciepła dla 1 GJ potrzeba $26,4 \text{ m}^3$ wód kopalnianych.

Tabela 4.1: Porównanie systemów pompy ciepła dla ogrzewania

Układ grzewczy		ΔT_{evap}	Sprawność lub COP*	PER**	Zmniejszenie CO ₂
Odośnik	0. Odośnik HE kotła opalanego gazem	nie dot.	0,95	0,95	0 % (odn.)
	1. Odośnik HP solanka / woda (12°C / 35°C)	6°C	4,2	1,68	43 %
	2. Odośnik HP solanka / woda (12°C / 55°C)	6°C	3,1	1,24	23 %
Ogrzewanie przy wysokiej temperaturze (>55°C)	3. HP wody kopalniane / woda (25°C / 55°C)	6°C	4,0	1,60	40 %
	4. HP wody kopalniane / woda (25°C / 55°C)	10°C	3,3	1,32	28 %
	5. HP wody kopalniane / woda (25°C / 55°C)	15°C	2,9	1,16	12 %
Ogrzewanie przy niskiej temperaturze (35°C) [low-ex]	6. HP wody kopalniane / woda (25°C / 35°C)	6°C	6,0	2,40	60 %
	7. HP wody kopalniane / woda (25°C / 35°C)	10°C	4,8	1,92	50 %
	8. HP wody kopalniane / woda (25°C / 35°C)	15°C	3,8	1,52	37 %

* COP jest obliczana teoretycznie i sprawdzana przy pomocy danych z praktyki. Dla każdego poszczególnego przypadku COP należy sprawdzić z danymi producenta, szczególnie gdy obliczona jest wysoka wartość COP (8 i wyżej).

** PER jest obliczana z gazem ziemnym lub ropą = 1 i z energią elektryczną = 0,40. Dla pompy ciepła (HP): PER = 0,4 * COP.

Tabele pokazują, że emisja CO₂ jest zmniejszona o ponad połowę przez układ pompy ciepła przy korzystnych warunkach:

- wysokiej temperaturze wód kopalnianych;
- niskiej temperaturze systemów emisji;
- małej temperaturze poboru z wód kopalnianych.

Temperatura wód kopalnianych 25°C oraz niskotemperaturowy system emisji 35°C (scenariusz 7) może być przypuszczalnie zastosowany w praktyce i może dać COP równą 4,0 przy zmniejszeniu o połowę emisji CO₂. Wysokotemperaturowe systemy emisji (55°C lub więcej) powodują słabe oszczędności energii.

4.3.2 Sezon chłodzenia

Jeśli wody kopalniane nie są wystarczająco zimne do celów bezpośredniego chłodzenia, może wkroczyć pompa ciepła dla uzyskania odpowiedniego poziomu temperatury (patrz rozdział 3). W następnym tabeli porównano szereg sytuacji dla chłodzenia odnośnie sprawności i PER (stosunek energii pierwotnej). Dla celów chłodzenia, ΔT_{cond} jest równa różnicy temperatur dla poboru ciepła z wód kopalnianych. ΔT_{evap} jest przyjmowana za 6°C we wszystkich przypadkach. Oznacza to, że 40 m^3 wód kopalnianych dostarcza 1 GJ zimna. Przy 10% strat na wymienniku ciepła dla każdego 1 GJ zimna potrzeba 44 m^3 wód kopalnianych

Tabela 4.2: Porównanie systemów pompy ciepła dla chłodzenia

System chłodzenia		ΔT_{cond}	lub COP*	PER**	Zmniejszenie CO_2
Odośnik	0. HP chłodzona powietrzem ($30^{\circ}\text{C} / 6^{\circ}\text{C}$)	6°C	3,5	1,4	0% (odn.)
	1. Chłodzenie powietrzem ($20^{\circ}\text{C} / 6^{\circ}\text{C}$)	6°C	4,7	1,9	25 %
Chłodzenie przy niskiej temperaturze (6°C)	2. HP wody kopalniane / woda ($10^{\circ}\text{C} / 6^{\circ}\text{C}$)	6°C	7,0	2,8	49 %
	3. HP wody kopalniane / woda ($15^{\circ}\text{C} / 6^{\circ}\text{C}$)	6°C	5,7	2,3	39 %
	4. HP wody kopalniane / woda ($18^{\circ}\text{C} / 6^{\circ}\text{C}$)	6°C	5,1	2,0	30 %
Chłodzenie przy wysokiej temperaturze (35°C) [low-ex]	5. chłodzenie bezpośrednie wody kopalniane / woda ($10^{\circ}\text{C} / 12^{\circ}\text{C}$)	n/a	>20	>8	82 %
	6. HP wody kopalniane / woda ($125^{\circ}\text{C} / 12^{\circ}\text{C}$)	6°C	7,6	3,0	54 %
	7. HP wody kopalniane / woda ($18^{\circ}\text{C} / 12^{\circ}\text{C}$)	6°C	6,6	2,6	46 %

* COP jest obliczana teoretycznie. Dla każdego poszczególnego przypadku COP należy sprawdzić z danymi producenta, szczególnie gdy obliczona jest wysoka wartość COP.

** PER jest obliczana z energią elektryczną = 0,40. Dla pompy ciepła (HP): $\text{PER} = 0,4 \cdot \text{COP}$.

Pierwszym odnośnikiem dla HP chłodzonej powietrzem jest COP przy zwyczajnych warunkach projektowych, co oznacza, że tradycyjny system klimatyzacji musi produkować wodę o 6°C przy ok. 37°C na zewnątrz. Drugim odnośnikiem dla HP chłodzonej powietrzem jest COP przy progowych warunkach zewnętrznych (20°C), przy których zazwyczaj zaczyna się zapotrzebowanie na chłodzenie. W praktyce, COP pompy ciepła dla chłodzenia będzie się wahać pomiędzy tymi wartościami ekstremalnymi.

Tabele pokazują, że emisja CO_2 jest zmniejszona o ponad połowę przez układ pompy ciepła przy korzystnych warunkach:

- niskiej temperaturze wód kopalnianych;
- wysokiej temperaturze systemów emisji chłodzenia.

5 Studium przypadku 1: mieszkania

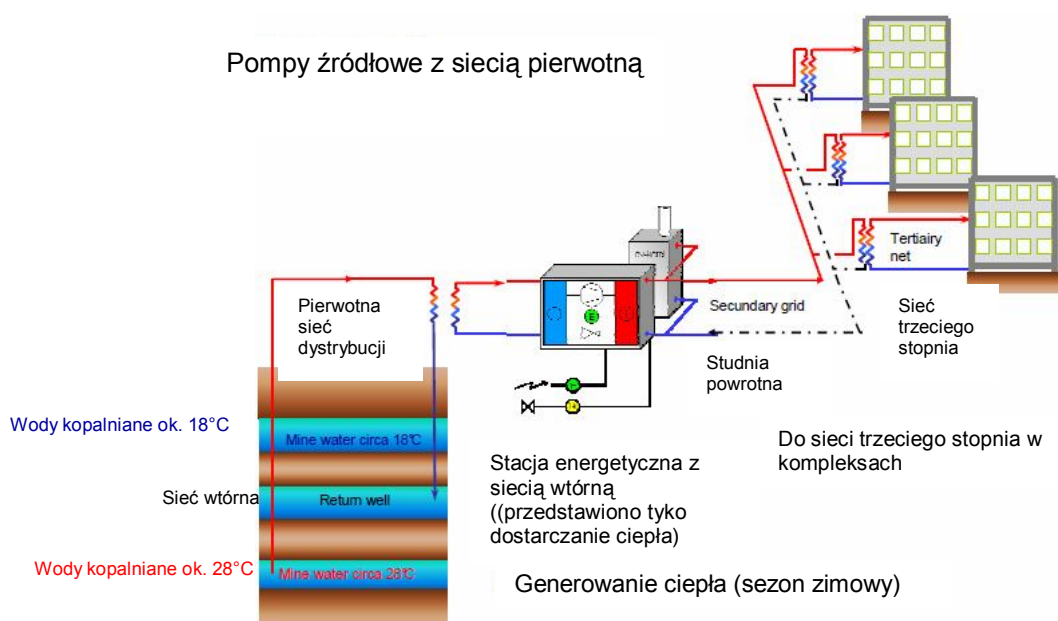
5.1 Opis przypadku

5.1.1 Ogólne

Mieszkania są powszechnym zastosowaniem energii geotermalnej o niskiej wartości. Zbiorowe instalowanie magazynów ciepła i zimna w warstwach wodonośnych, pomp ciepła i niskotemperaturowych systemów emisyjnych.

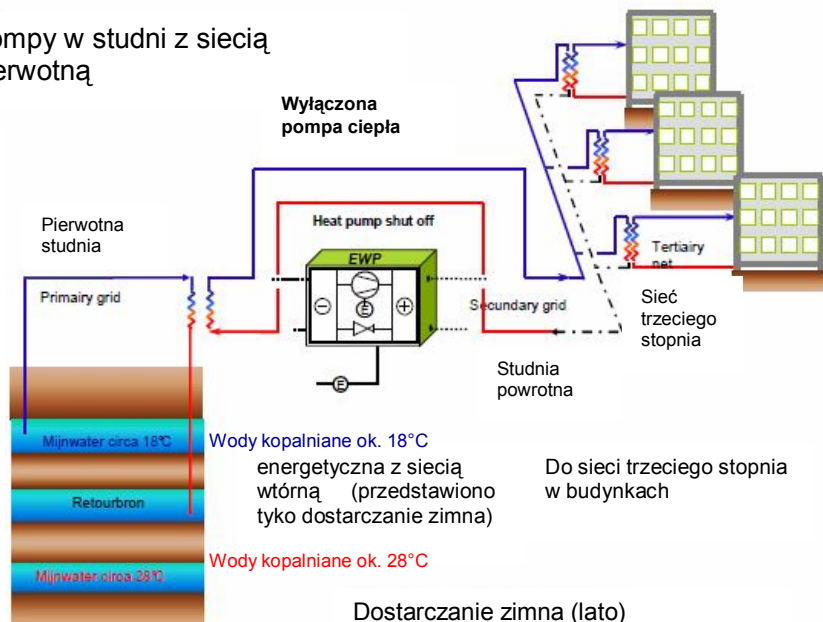
W tym przypadku dzielnica ok. 300 mieszkań, pewne budynki handlowe i kulturalne oraz szkoła powinny być ogrzewane i chłodzone przy pomocy wód kopalnianych. Centralna stacja energetyczna jest usytuowana w dzielnicy i jest również hydraulicznym rozdzielaniem wód kopalnianych i instalacji wewnętrznych. Podstawową ideą centralnego ogrzewania jest sieć rur przewodzących ciepło z niewielkiej liczby źródeł energii do wielu konsumentów energii.

Należy zwrócić szczególną uwagę na taryfy centralnego ogrzewania dla indywidualnych użytkowników końcowych (konsumentów), które nie mogą przekraczać taryf w stacji odniesienia z indywidualnym (kopalnym) ogrzewaniem i chłodzeniem.



Rysunek 5.1: Schematyczna zasada ogrzewania przy pomocy wód kopalnianych

Pompy w studni z siecią pierwotną



Rysunek 5.2: Schematyczna zasada bezpośredniego chłodzenia przy pomocy wód kopalnianych

5.1.2 Opis techniczny

Ważnym warunkiem wstępnym dla optymalnego wykorzystania niskiej energii wód kopalnianych jest system emisji „low-ex”. W tym przypadku zostanie wykorzystane ogrzewanie podłogowe do ogrzewania i chłodzenia przy następujących poziomach temperatury:

- ogrzewanie: temperatura zasilania 40°C przy -10°C na zewnątrz oraz 30°C przy 15°C na zewnątrz;
- chłodzenie: temperatura zasilania 17°C (niezależnie od temperatury na zewnątrz).

Ze względu na straty temperatury spowodowane przez wymienniki ciepła i w czasie przesyłania z centralnego [punktu] wytwarzania ciepła i zimna do użytkowników końcowych, te temperatury powinny wynosić:

- wytwarzanie ciepła: 50°C przy -10°C na zewnątrz;
- wytwarzanie zimna: 15°C ciągle.

Ponadto straty ciepła na przesyłanie są ograniczone przez dobrą izolację cieplną ($U \approx 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$) oraz wysokosprawne przeszklenia ($U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, $ZTA = 0,60$) w izolowanej ramie. Straty ciepła na wentylację są minimalizowane przez indywidualną wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła ($\eta = 0,90 \%$) oraz szczelną powłokę budynku.

Specjalną uwagę należy zwrócić na ciepłą wodę użytkową, która zaczyna dominować w domach o niskiej efektywności i nie może być zapewniona przez wody kopalniane ze względu na stałe zapotrzebowanie 65°C. Dla tego przypadku instalacje wewnętrzne w każdym kompleksie mieszkalnym w dzielnicy są przedstawione na Rys. 5.3.

**Centralne
ogrzewanie**

HE zimno

Zimna woda (18°C) do chłodzenia powierzchni

Ciepła woda 25..45°C do ogrzewania powierzchni

HE ciepło

Spaliny

HE DHW

Kocioł opalany gazem

Sieć cyrkulacji DHW

Magazynowanie

Mieszkanie

Chłodzenie powierzchni

chłodzenie podłogowe

Ogrzewanie powierzchni

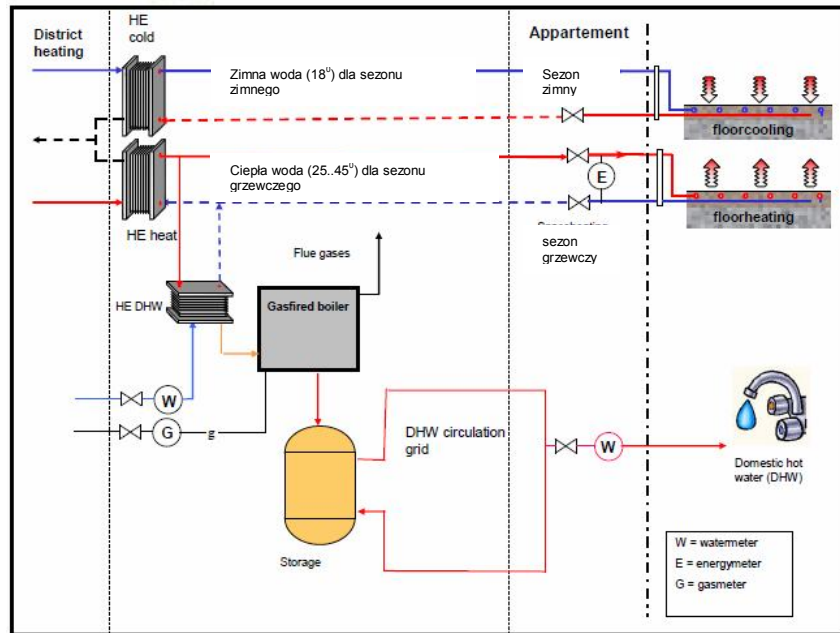
ogrzewanie podłogowe

Ciepła woda użytkowa (DHW)

W = wodomierz

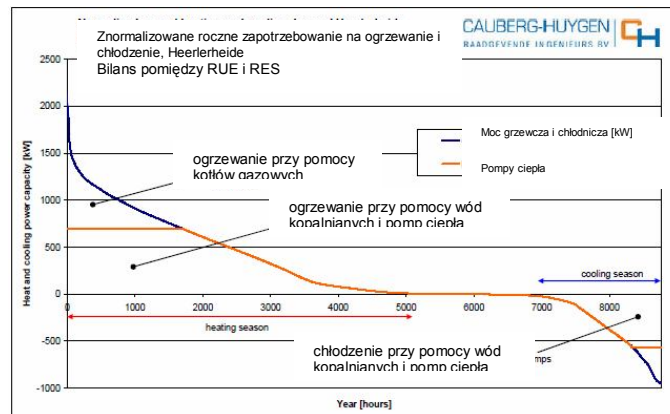
E = licznik energii

G = licznik gazu



Rysunek 5.3: Schematyczny widok instalacji wewnętrznych

Łączne
zapotrzebowanie
na energię [kWh]



Rok [godziny]

Rysunek 5.4: Znormalizowane roczne zapotrzebowanie na ogrzewanie i chłodzenie, Heerlerheide

5.2 Oszczędności energii

Oszczędności energii są obliczane jako różnica ogrzewania i chłodzenia przy pomocy paliw tradycyjnych (kopalnych) w stosunku do wód kopalnianych połączonych z pompami ciepła. Roczne zapotrzebowanie na energię i godzinowe obciążenie grzewcze i chłodnicze jest obliczone przy pomocy TRNSYS. TRNSYS jest narzędziem komputerowym, przeznaczonym do symulowania charakterystyki czasowej systemów energii cieplnej i do przewidywania zużycia energii w budynku.

Jako odnośnik, wytwarzanie ciepła jest realizowane przy pomocy wysokosprawnego kotła opalanego gazem. Zazwyczaj w budynkach mieszkalnych nie ma chłodzenia, ale pożądane jest posiadanie porównania na poziomie równego komfortu i dlatego zakłada się, że wytwarzanie zimna jest realizowane przez konwencjonalne chłodzenie (sprężanie (COP = 3)).

W scenariuszu z wodami kopalnianymi, wytwarzanie ciepła jest realizowane pierwotnie przez pompę ciepła o mocy 700 kW (COP = 5,5) oraz wtórnie przez kocioł opalany gazem o mocy 2000 kW ($\eta = 0,85$). Pompa ciepła pokrywa do 80% rocznego zapotrzebowania na ciepło, podczas gdy pozostałe obciążenie szczytowe jest pokrywane przez kocioł. Zimne wody kopalniane (15°C) są używane do bezpośredniego chłodzenia „low-ex” mieszkań.

Tabela 5.1: Studium przypadku mieszkań

Studium przypadku mieszkań	Scenariusz	
	Konwencjonalny (energia kopalna)	Pompy ciepła z wodami kopalnianymi
<i>Zapotrzebowanie na energię:</i>		
Łączne zapotrzebowanie na ciepło (ogrzewanie powierzchni)	9.322 GJ	9.322 GJ
Łączne zapotrzebowanie na zimno (chłodzenie powierzchni)	2.306 GJ	2.306 GJ
<i>Stacja energetyczna – wytwarzanie ciepła:</i>		
- wody kopalniane	nie dot.	6.100 GJ [149.700 m ³]
- pompy ciepła	nie dot.	1.355 GJ [376.400 kWh _e]
- kotły opalane gazem	9.322 GJ [gaz, 346.500 m ³]	1.865 GJ [gaz, 69.300 m ³]
<i>Wytwarzanie zimna:</i>		
- wody kopalniane COP = 20	nie dot.	2.306 GJ [32.000 kWh _e] oraz [wody kopalniane, 101.500 m ³]
- czynnik chłodniczy COP = 3	2.306 GJ [213.500 kWh _e]	nie dot.
<i>Przegląd:</i>		
Łączne zużycie gazu centralnej stacji energetycznej	gaz, 346.500 m ³	gaz, 69.300 m ³
Łączne zużycie energii elektrycznej centralnej stacji energetycznej	213.500 kWh _e	408.400 kWh _e
Emisje CO ₂	738 ton	355 ton (- 52 %)

5.3 Aspekty kosztów

Następna tabela przedstawia wcześniejsze wyniki uzupełnione o podstawowe porównanie kosztów paliwa. Koszt zużycia samych wód kopalnianych nie został uwzględniony ze względu na brak jednolitej taryfy. Zależy to od lokalizacji kosztów inwestycyjnych i produkcyjnych wód kopalnianych. Różnicą pomiędzy kosztami energii odniesienia a scenariuszem z wodami kopalnianymi jest w istocie dostępna przestrzeń finansowa dla produkcji wód kopalnianych oraz możliwe dodatkowe inwestycje dla budynków „low-ex”.

Tabela 5.2: Przegląd wyników i aspektów kosztów

Punkt	Opis	Zużycie energii	Łączne koszty energii	Emisja CO ₂
5.2	Odośnik	Gaz: 346.500 m ³ En. el.: 213.500 kWh	€ 185.000 bez VAT	738 ton/rok
5.2	Wody kopalniane 28°C do ogrzewania Wody kopalniane 15°C do chłodzenia bezpośredniego	Gaz: 69.300 m ³ En. el.: 408.400 kWh	€ 80.900 bez VAT (- 56 %)	355 ton/rok (- 52 %)

6 Studium przypadku 2: wysoki budynek biurowy

6.1 Opis przypadku

6.1.1 Ogólne

Potencjalnym celem dla ogrzewania i chłodzenia przy pomocy wód kopalnianych są budynki komercyjne, szczególnie budynki biurowe o stosunkowo wysokim zapotrzebowaniu na zimno, które może być zaspokojone przez wody kopalniane. Dlatego zbadano typowy wysoki budynek biurowy o 12 kondygnacjach i ok. 15.000 m² łącznej powierzchni odnośnie potencjalnych oszczędności dzięki wykorzystaniu wód kopalnianych do klimatyzacji wnętrza.

6.1.2 Opis techniczny

Ważnym warunkiem wstępnym dla optymalnego wykorzystania niskiej energii wód kopalnianych jest system emisji „low-ex”. W tym przypadku zostaną wykorzystane sufity klimatyzacyjne do ogrzewania i chłodzenia przy następujących poziomach temperatury:

- ogrzewanie: temperatura zasilania 43°C przy -10°C na zewnątrz oraz 30°C przy 15°C na zewnątrz;
- chłodzenie: temperatura zasilania 17°C (niezależnie od temperatury na zewnątrz).

Ze względu na straty temperatury spowodowane przez wymienniki ciepła i w czasie przesyłania z centralnego [punktu] wytwarzania ciepła i zimna do użytkowników końcowych, te temperatury powinny wynosić:

- wytwarzanie ciepła: 50°C przy -10°C na zewnątrz;
- wytwarzanie zimna: 14°C ciągle.

Ponadto straty ciepła na przesyłanie są ograniczone przez dobrą izolację cieplną ($U \approx 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$) oraz wysokosprawne przeszklenia przyciemniane ($U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, $ZTA = 0,30$) w izolowanej ramie. Straty ciepła na wentylację są minimalizowane przez wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła oraz szczelną powłokę budynku.

W tym przypadku sprawność wytwarzania ciepła i zimna jest porównywana z i bez wód kopalnianych. Zakłada się, że energia przesyłu wewnątrz budynku (energia pomocnicza) i straty ciepła są takie same. Dalszymi założeniami są:

- emisja CO₂ z gazu ziemnego: 1,78 kg/m³;
- emisja CO₂ z wytwarzania energii elektrycznej: 0,566 kg/kWh;
- wartość opałowa gazu ziemnego: 31,65 MJ/m³.

6.2 Oszczędności energii

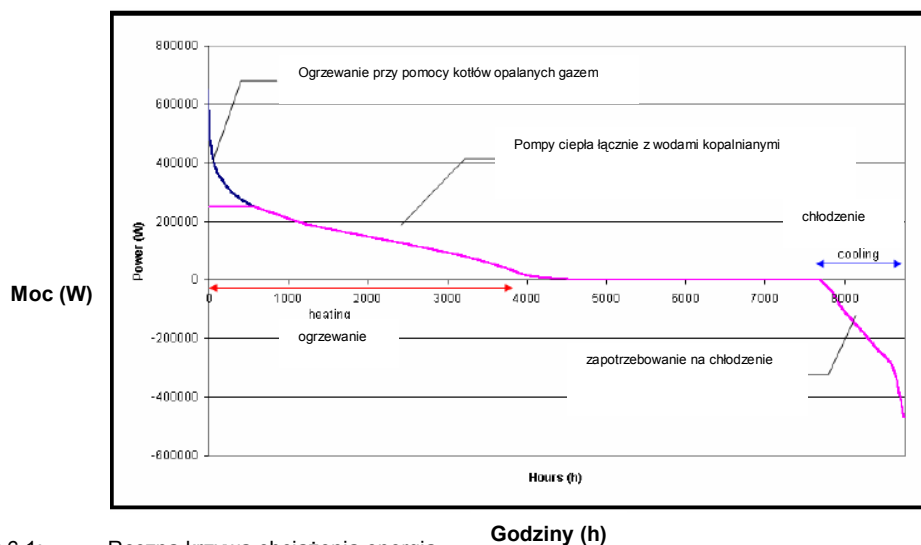
Oszczędności energii są obliczane jako różnica ogrzewania i chłodzenia przy pomocy paliw tradycyjnych (kopalnych) w stosunku do wód kopalnianych połączonych z pompami ciepła. Roczne zapotrzebowanie na energię i godzinowe obciążenie grzewcze i chłodnicze jest obliczone przy pomocy TRNSYS. TRNSYS jest narzędziem komputerowym, przeznaczonym do symulowania charakterystyki czasowej systemów energii cieplnej i do przewidywania zużycia energii w budynku.

Przy pomocy TRNSYS obliczono następujące wartości:

- łączne roczne zapotrzebowanie na ciepło: 2 310 GJ;
- łączne roczne zapotrzebowanie na chłodzenie: 698 GJ;
- maksymalne obciążenie cieplne: 650 kW;
- maksymalne obciążenie zimnem: 470 kW.

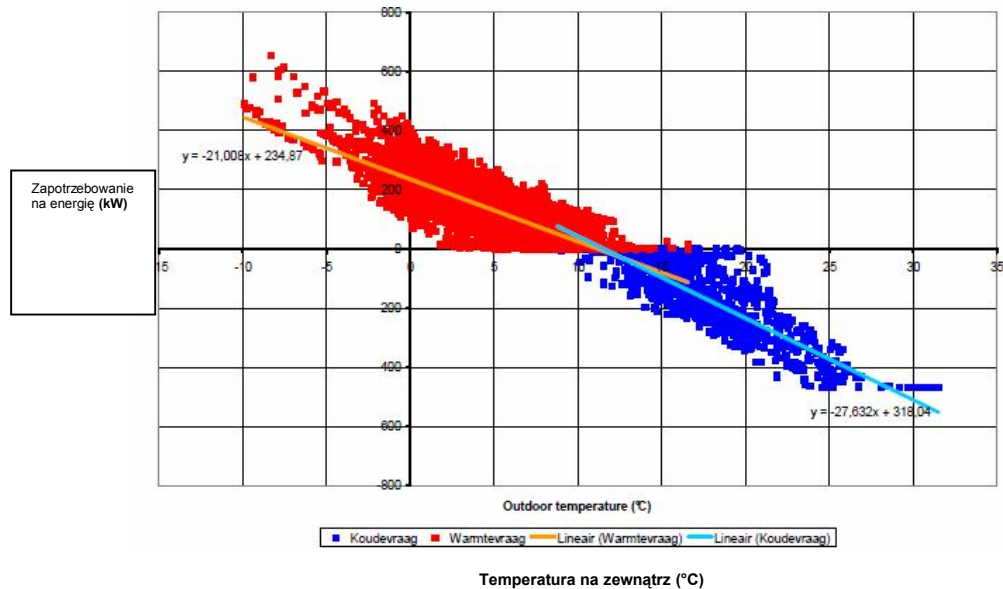
Następny rysunek przedstawia roczny rozkład zapotrzebowania na ciepło i zimno:

Pompy ciepła łącznie z wodami kopalnianymi



Rysunek 6.1: Roczna krzywa obciążenia energią

Godzinowe zapotrzebowanie na ciepło i zimno jako funkcja temperatury na zewnątrz jest przedstawione w następnym punkcie.



Rysunek 6.2: Godzinowe obciążenie ogrzewania lub chłodzenia w funkcji temperatury na zewnątrz

6.2.1 Odnośnik

Jako odnośnik, wytwarzanie ciepła jest realizowane przez kocioł opalany gazem a wytwarzanie zimna przez konwencjonalne chłodzenie (sprężanie).

	Pompy ciepła łącznie z wodami kopalnianymi	<u>Ogrzewanie</u>	
- łączne		roczne zapotrzebowanie na ciepło:	
		2 310 GJ;	
- średnia sprawność wytwarzania ciepła:		85 %;	
- roczne zużycie gazu do ogrzewania powierzchni:		85.900 m ³ .	
		<u>Chłodzenie</u>	
- łączne roczne zapotrzebowanie na chłodzenie:		698 GJ;	
- średnia sprawność wytwarzania zimna (COP) ¹ :		4,0 [-];	
- roczne zużycie energii elektrycznej do chłodzenia:		48.500 kWh.	

Tak więc łączna emisja CO₂ w sytuacji wzorcowej (odnośnika) wynosi 153 + 27 = 180 ton/rok.



¹ Sprawność zgodnie z NEN 2916.

6.2.2 Ogrzewanie i chłodzenie przy pomocy wód kopalnianych

W scenariuszu z dostępnymi wodami kopalnianymi, wytwarzanie ciepła jest realizowane pierwotnie przez pompę ciepła o mocy 200 kW oraz wtórnie przez kocioł opalany gazem o mocy 450 kW ($\eta = 0,85$). Pompa ciepła pokrywa do 87 % rocznego zapotrzebowania na ciepło, podczas gdy pozostałe obciążenie szczytowe jest pokrywane przez kocioł.

Wytwarzanie zimna jest realizowane przez odwracalną pompę ciepła, której skraplacz jest chłodzony przy pomocy wód kopalnianych.

Aby pokazać wpływ temperatury wód kopalnianych na ogólną wydajność, zbadano dwa możliwe scenariusze. W pierwszym scenariuszu dostępne są do ogrzewania ciepłe wody kopalniane o temp. 28°C a także wody kopalniane o temp. 15°C do celów chłodzenia. W drugim scenariuszu dostępne są tylko wody kopalniane o temp. 18°C, zarówno do ogrzewania jak i do chłodzenia.

Scenariusz ogrzewania nr 1 (wody kopalniane o temp. 28°C)

- łączne roczne zapotrzebowanie na ciepło: 2310 GJ

Pierwotny system do wytwarzania ciepła (pompa ciepła)

- łączne roczne obciążenie ciepłem: 2 010 GJ;
 - średnia sprawność wytwarzania ciepła (COP): 5,4 [-];
 - roczne zużycie energii elektrycznej do ogrzewania powierzchni: 124.650 kWh*;
 - Zużycie wód kopalnianych: 43.200 m³

* *Roczne zużycie energii elektrycznej jest sumą godzinowych obciążeń ciepłem i COP. Przy niższej temperaturze na zewnątrz obciążenie ciepłem jest wyższe a COP niższe, dlatego łączne roczne zużycie energii elektrycznej jest wyższe, niż obliczone przy średniej COP.*

System wtórny (kocioł opalany gazem)

- łączne roczne obciążenie ciepłem: 300 GJ;
 - średnia sprawność wytwarzania ciepła: $\eta = 85 \%$;
 - roczne zużycie gazu do ogrzewania powierzchni: 11.150 m³.

Łączna emisja CO₂ w tej sytuacji wynosi więc 90 ton/rok (zmniejszenie o 42%).

Scenariusz ogrzewania nr 2 (wody kopalniane o temp. 18°C)

- łączne roczne zapotrzebowanie na ciepło: 2 310 GJ.

Pierwotny system do wytwarzania ciepła (pompa ciepła)

- łączne roczne obciążenie ciepłem: 2 010 GJ;
 - średnia sprawność wytwarzania ciepła (COP): 4,2 [-];
 - roczne zużycie energii elektrycznej do ogrzewania powierzchni: 158.000 kWh*;
 - zużycie wód kopalnianych: 37.700 m³.

* *Roczne zużycie energii elektrycznej jest sumą godzinowych obciążeń ciepłem i COP. Przy niższej temperaturze na zewnątrz obciążenie ciepłem jest wyższe a COP niższe, dlatego łączne roczne zużycie energii elektrycznej jest wyższe, niż obliczone przy średniej COP.*

System wtórny (kocioł opalany gazem)

- łączne roczne obciążenie ciepłem: 300 GJ;
- średnia sprawność wytwarzania ciepła: $\eta = 85 \%$;
- roczne zużycie gazu do ogrzewania powierzchni: 11.150 m^3 .

Łączna emisja CO₂ w tej sytuacji wynosi więc 109 ton/rok (zmniejszenie o 29 %).

Scenariusz chłodzenia nr 1 (wody kopalniane o temp. 15°C)

- łączne roczne zapotrzebowanie na chłodzenie: 698 GJ;
- sprawność wytwarzania zimna (COP): 11,0 [-];
- roczne zużycie energii elektrycznej do chłodzenia: 32.300 kWh**;
- zużycie wód kopalnianych: 30.700 m^3 .

** brak jest potwierdzenia obliczonej wysokiej wartości COP, zużycie energii elektrycznej jest szacowane przy COP = 6,0.

Łączna emisja CO₂ w tej sytuacji wynosi więc 18 ton/rok (zmniejszenie o 33 %).

Scenariusz chłodzenia nr 2 (wody kopalniane o temp. 18°C)

- łączne roczne zapotrzebowanie na chłodzenie: 698 GJ;
- średnia sprawność wytwarzania zimna (COP): 9,0 [-];
- roczne zużycie energii elektrycznej do chłodzenia: 35.200 kWh***;
- zużycie wód kopalnianych: 30.700 m^3 .

*** brak jest potwierdzenia obliczonej wysokiej wartości COP, zużycie energii elektrycznej jest szacowane przy COP = 5,5

Łączna emisja CO₂ w tej sytuacji wynosi więc 20 ton/rok (zmniejszenie o 26 %).

6.3 Aspekty kosztów

Następna tabela przedstawia wcześniejsze wyniki uzupełnione o podstawowe porównanie kosztów paliwa. Koszt zużycia samych wód kopalnianych nie został uwzględniony ze względu na brak jednolitej taryfy. Zależy to od lokalizacji kosztów inwestycyjnych i produkcyjnych wód kopalnianych. Różnicą pomiędzy kosztami energii odniesienia a scenariuszem z wodami kopalnianymi jest w istocie dostępna przestrzeń finansowa dla produkcji wód kopalnianych oraz możliwe dodatkowe inwestycje dla budynków „low-ex”.

Tabela 6.1: Przegląd wyników i aspektów kosztów

Punkt	Opis	Zużycie energii	Łączne koszty energii	Emisja CO ₂
7.2.1	Odnosnik	Gaz: 85.900 m ³ En. el.: 48.500 kWh	€ 45.300 bez VAT	180 ton/rok
7.2.2	Scenariusz nr 1 Wody kopalniane 28°C do ogrzewania Wody kopalniane 15°C do chłodzenia bezpośredniego	Gaz: 11.150 m ³ En. el.: 157.000 kWh	€ 24.000 bez VAT (- 47 %)	108 ton/rok (- 40 %)
	Scenariusz nr 2 Wody kopalniane 18°C do ogrzewania Wody kopalniane 18°C do chłodzenia	Gaz: 11.150 m ³ En. el.: 193.200 kWh	€ 28.300 bez VAT (- 37 %)	129 ton/rok (- 28 %)

7 Studium przypadku 3: chłodzenie towarów w supermarketach

7.1 Opis przypadku

Płytkie wody kopalniane o stosunkowo niskich temperaturach (pomiędzy 10°C a 20°C) mogą być wykorzystane do celów chłodzenia w środowisku komercyjnym. Specjalnym zastosowaniem jest chłodzenie żywności w supermarkecie. Supermarket potrzebuje ciągłego chłodzenia lub zamrażania swoich towarów w specjalnych ladach chłodniczych. Nawet w okresie zimowym potrzeba zazwyczaj 30% mocy chłodniczej z okresu lata. W rzeczywistości chłodzenie towarów jest jednym z najwyższych kosztów eksploatacyjnych supermarketu. Używając „bezpłatnych” wód kopalnianych do celów chłodzenia można te koszty zmniejszyć.

Zamiast suchych chłodziń można użyć wód kopalnianych do usuwania ciepła skraplacza. Głównymi zaletami są:

- stała temperatura do chłodzenia skraplacza, niezależna od warunków na zewnątrz, która daje lepszą wydajność czynnika chłodniczego;
- ciepło skraplacza może być ponownie wykorzystane do innych celów, jak np. ogrzewanie powierzchni;
- brak energii wentylatora dla suchych skraplaczy.

Główną wadą jest energia pompy potrzebna do dostarczenia wód kopalnianych do supermarketu.

Ten rodzaj optymalizacji nie był wykonywany wcześniej, tak więc następne studium przypadku jest oparte na założeniach, które mogą prowadzić do pewnej niepewności wyników.

7.1.1 Ogólne

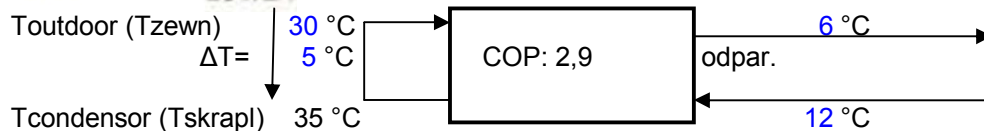
7.1.2 Opis techniczny

Wody kopalniane nie mogą być użyte do bezpośredniego chłodzenia lad chłodniczych, ale wytwarzanie zimna może być zoptymalizowane przez chłodzenie skraplacza systemu energii przy pomocy wód kopalnianych. Zazwyczaj skraplacz czynnika chłodniczego oddaje ciepło do powietrza na zewnątrz przy pomocy suchych chłodziń. Dlatego przy wysokich temperaturach na zewnątrz sprawność czynnika chłodniczego jest niska a elektryczne wentylatory są potrzebne do wydmuchiwanie ciepła. Jeśli do usuwania ciepła odpadowego używa się wód kopalnianych ogólna sprawność czynnika chłodzącego staje się wyższa ze względu na stałą temperaturę wód kopalnianych i brak energii wentylatora dla suchych chłodziń. Ciepło odpadowe sprzętu chłodniczego może być również wykorzystane do ogrzewania powierzchni (np. ogrzewania podłogowego), ale główna część jest zazwyczaj usuwana przez suche chłodzińce. Temperatura suchej chłodzińcy musi być zazwyczaj co najmniej 5°C powyżej temperatury na zewnątrz w celu osiągnięcia wymiany ciepła. Prowadzi to do temperatury obliczeniowej ok. 35°C skraplacza, ale powoduje podoptymalną konstrukcję przy niższych temperaturach na zewnątrz.

7.2 Oszczędności energii

7.2.1 Odnośnik

Typowy supermarket of pow. 2000 m² (2600 m² łącznie z magazynami itp.) ma szacunkowe roczne zużycie energii elektrycznej 350 MWh do chłodzenia sprzętu chłodniczego i zamrażającego. Jest ono wykorzystywane do dostarczenia ok. 290 GJ (1050 MWh, COP = 3) energii cieplnej rocznie:



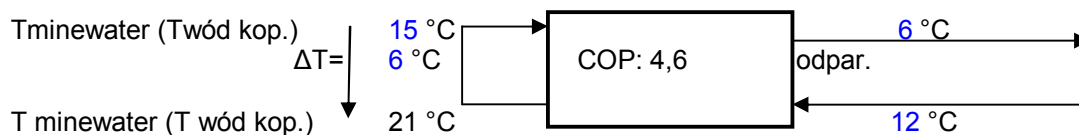
Ponadto wentylatory suchych chłodziń mają szacunkowe zużycie energii elektrycznej 40.000 kWh rocznie.

7.2.2 Chłodzenie wodami kopalnianymi

Niepisana reguła dla poprawy sprawności poprzez obniżenie temperatury skraplaczy mówi o 2% dodatkowej sprawności na stopień obniżki. Średnie obniżenie o 10°C prowadzi do mniejszego o 20% zużycia energii.

Holenderskie badania magazynowania ciepła-zimna dla supermarketów² (solanka) wskazują na zmniejszenie zużycia energii elektrycznej o 8%.

Zgodnie z metodą w rozdziale 4, zużycie energii elektrycznej może być zmniejszone do ok. 230 MWh ze względu na lepszą COP (4,5 zamiast 3):



To podejście prowadzi do wyraźnie wyższego potencjału oszczędności (34%), niż pozostałe dwa badania.

7.3 Wnioski

Ze względu na brak potwierdzonych danych, obecnie zmniejszenie o 20% energii chłodzenia dużego supermarketu. Równa się to ok. 70 ton emisji CO₂ rocznie. W celu zweryfikowania tej liczby potrzeba dalszych badań i monitorowania systemów zrealizowanych na podstawie tej koncepcji.

² Przypis w języku holenderskim:

Eindrapport onderzoek naar duurzame energietechnieken supermarkten (ref. MD.1225.016); Adviesburo Verhoef bv i.o.v. Fri-Jado Installatiegroep BV en SenterNovem; Projectnr. 2020-05-13-28-008; 16 augustus 2006; Apeldoorn.

8 Podsumowanie i wnioski

Energetyczna i finansowa wydajność wód kopalnianych jako źródła energii zależy od różnych parametrów. Podstawowy model obliczeniowy, który porównuje rozwiązanie z wodami kopalnianymi z rozwiązaniem konwencjonalnym na jednostkowym poziomie 1 GJ, jest używany do ich identyfikacji. Ważnymi parametrami są:

- bezpośrednie lub pośrednie ogrzewanie i chłodzenie przy pomocy wód kopalnianych (praktyka: mieszanka systemów);
- efektywność pompowania i rozprowadzania wód kopalnianych;
- rodzaj własności studni i/lub budynków;
- koszty kapitału dla inwestycji;
- koszt energii kopalnej (gaz ziemny a energia elektryczna) i ich przyszły rozwój cen.

Bezpośrednie ogrzewanie i chłodzenie jest zdecydowanie preferowane ze względu na wysokie oszczędności energii, jasną strukturę kosztów, niskie inwestycje i mniejszą zależność od cen paliw kopalnych. Wadą bezpośredniego ogrzewania i chłodzenia przy pomocy wód kopalnianych jest wrażliwość na ewentualne wahania temperatury wód kopalnianych. Jeśli temperatura wód kopalnianych i temperatura instalacji wewnętrznych nie pasują do siebie, przetwarzanie końcowe przy pomocy pomp ciepła stanowi jakąś możliwość. W tym przypadku konieczna jest optymalizacja różnicy temperatur (ΔT) pobierania ciepła.

Ogólna wydajność pompowania i rozprowadzania wód kopalnianych może być poprawiona poprzez stworzenie zamkniętej pętli pomiędzy studniami (zmniejsza różnicę ciśnienia hydrostatycznego) lub poprzez turbinę w studni zasilającej. Obie techniki wymagają dodatkowych badań.

Może być niepożądane, aby posiadać wody kopalniane w instalacjach wewnętrznych, co sprawia, że rozdzielenie hydrauliczne jest konieczne, przede wszystkim w stacji energetycznej z centralnym ogrzewaniem lub instalacjami w dużych budynkach komercyjnych. Systemy centralnego ogrzewania wymagają podejścia długofalowego. Dlatego jest bardzo wskazane, aby zastosować podejście kosztu cyklu życia. Generalnie, mniejsze systemy są łatwiejsze do uruchomienia, jednak większe systemy zapewnią lepsze oszczędności długofalowe. Efektywność ekonomiczna będzie zależała od szeregu czynników, obejmujących rozmiar systemu, czy jest budowany od nowa czy remontowany, mieszankę sektorową oraz dostępne i mające zastosowanie alternatywy zaopatrzenia w energię (np. z lub bez sieci gazowej). Szczególną uwagę należy zwrócić na ciepłą wodę użytkową, która staje się czynnikiem dominującym w domach o niskiej efektywności i nie może być zapewniona przy pomocy wód kopalnianych.

Model biznesowy i prognoza finansowa dla wód kopalnianych jako komercyjnego źródła energii są szczególnie ważne. Najlepiej byłoby, gdyby wszystkie działania dla wykorzystania wód kopalnianych do klimatyzacji budynków były w jednym ręku. W praktyce pompowanie i rozprowadzanie mogą być realizowane przez inny podmiot, niż odbiorca energii. Wymaga to wyraźnego uzgodnienia pomiędzy stroną podaży i popytu wód kopalnianych. Na przykład wycena wód kopalnianych może być oparta na zużyciu objętościowym (m^3 wód kopalnianych) lub, jako alternatywa, na energii pobranej (GJ) z wód kopalnianych. Pierwszy wariant pozwala na stosunkowo proste kontrakty pomiędzy dostawcą a odbiorcą i stymuluje odbiorcę do maksymalnego poboru energii. W drugim przypadku cena za GJ półwyrobu energii powinna być zdefiniowana przy jasnych warunkach, typu poziom temperatury i minimalna różnica temperatur do poboru energii. Ponadto, alokacja kosztów dodatkowych dobrowolnych inwestycji typu systemu zabezpieczającego oraz system klimatyzacji o niskiej efektywności wymaga negocjacji pomiędzy stroną podaży i popytu energii wód kopalnianych. Podstawowa reguła dla dostawy energii wód kopalnianych jest taka, że koszty inwestycyjne powinny być z grubsza pokryte przez koszty stałe typu stałe prawo oraz że koszty zmienne typu energia elektryczna dla pomp powinny być pokryte przez cenę energii za sprzedaną jednostkę.

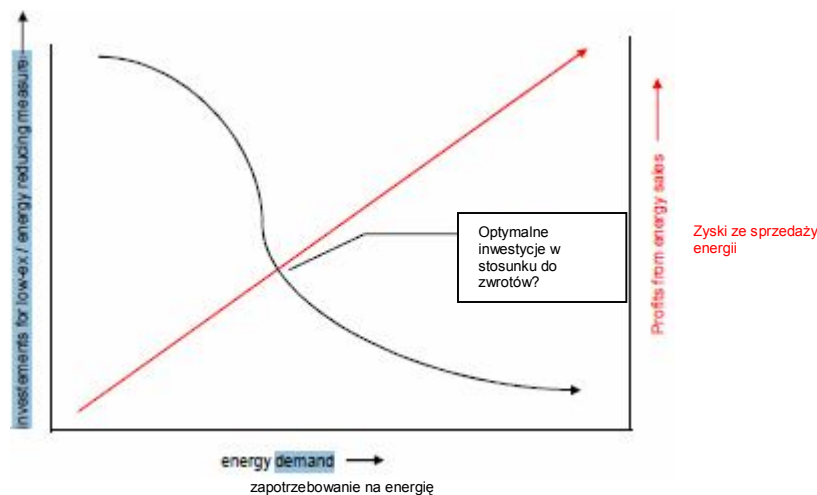
Dostawca energii wód kopalnianych może określić ustalone stałe prawo w celu pokrycia swoich kosztów inwestycyjnych oraz cenę zmienną (€ za GJ lub m³) dla pokrycia kosztów pompowania i rozprowadzania.

Ogólnymi zaleceniami są:

- możliwie mała odległość pomiędzy źródłem wód kopalnianych a odbiorcą(ami) energii;
- dopasowanie temperatur dla wód kopalnianych w stosunku do instalacji wewnętrznych (generalnie, tylko na te ostatnie mogą wpływać systemy emisji „low-ex”);
- jasny model biznesowy oraz prognoza finansowa wyznaczają ekonomiczny i energetyczny zwrot systemu.

W istocie, optimum pomiędzy zmniejszaniem zapotrzebowania na energię dla umożliwienia rozwiązań „low-ex” oraz możliwością odzyskania (dodatkowych) inwestycji zrealizowanych dla umożliwienia źródeł energii „low-ex” poprzez „sprzedanie” wystarczającej ilości energii jest kruche i sprzeczne. Następujący rysunek przedstawia ilustrację:

Inwestycje dla „low-ex” / środków zmniejszających energię



Studia przypadków wskazują na zmniejszenie kosztów energii i emisji CO₂ od 20 do 40% w porównaniu do konwencjonalnego, opartego na [paliwach] kopalnych wytwarzania ciepła i/lub zimna. Różnicą pomiędzy kosztami energii odniesienia a scenariuszem z wodami kopalnianymi jest w istocie dostępna przestrzeń finansowa dla kosztów produkcji wód kopalnianych oraz możliwe dodatkowe inwestycje dla budynków „low-ex”.

Cauberg-Huygen Raadgevende Ingenieurs BV

ing. E.J.A. Roijen
Senior Projectleider