

## 21 Inteligentne ogrzewanie

W poprzednim rozdziale pokazaliśmy, że elektryfikacja mogłaby zmniejszyć zużycie energii w transporcie do 1/5 obecnego zużycia oraz że transport publiczny i jazda rowerem mogą być nawet 40 razy bardziej efektywne energetycznie niż jazda samochodem. A co z ogrzewaniem? Jakiego rodzaju oszczędności energetyczne oferuje technologia lub też zmiana zachowań użytkowników?

Energię zużywaną do ogrzania budynku liczymy za pomocą poniższej formuły:

$$\text{zużyta energia} = \frac{\text{średnia różnica temperatur} \times \text{współczynnik strat ciepła budynku}}{\text{sprawność systemu ogrzewania}}$$

Formułę tę (omówioną szczegółowo w rozdziale E) zilustruję przykładem. Mój dom to bliźniak z trzema sypialniami zbudowany około 1940 roku (fot. 21.1). Średnia różnica temperatur w domu i za oknem zależy od ustawień termostatu oraz pogody. Jeżeli termostat jest stale ustawiony na 20 °C, **średnia różnica temperatur** może wynosić 9 °C. **Współczynnik strat ciepła budynku** opisuje, jak szybko ciepło ucieka przez ściany, okna i szpary w odpowiedzi na różnicę temperatur. Współczynnik strat ciepła można określić jako *współczynnik nieszczelności*. Mierzony jest on w kWh dziennie na 1 stopień różnicy temperatur. W rozdziale E obliczam, że współczynnik strat ciepła mojego domu w roku 2006 wyniósł 7,7 kWh/dzień/°C. Oto wzór określający tempo, w jakim ciepło ucieka na zewnątrz w procesie przewodnictwa i wentylacji:

$$\text{średnia różnica temperatur} \times \text{współczynnik strat ciepła budynku}$$

Dla przykładu, jeżeli średnia różnica temperatur wynosi 9 °C, wówczas utrata ciepła wynosi:

$$9^{\circ}\text{C} \times 7,7 \text{ kWh/dzień/}^{\circ}\text{C} \approx 70 \text{ kWh/dzień}$$

Na zakończenie, by obliczyć potrzebną energię, dzielimy straty ciepła przez sprawność systemu ogrzewania. W moim domu kondensacyjny kocioł gazowy ma sprawność rzędu 90%, dlatego też:

$$\text{zużyta energia} = \frac{9^{\circ}\text{C} \times 7,7 \text{ kWh/dzień/}^{\circ}\text{C}}{0,9} = 77 \text{ kWh/dzień}$$

To więcej niż wartość przyjęta dla ogrzewania w rozdziale 7. Ma to dwie przyczyny. Po pierwsze formuła zakłada, że całe ciepło pochodzi z kotła gazowego, podczas gdy faktycznie nieco ciepła generują użytkownicy budynku, sprzęt domowy oraz słońce. Po drugie, w rozdziale 7 założyliśmy, że użytkownik stale utrzymuje temperaturę 20 °C tylko w dwóch pomieszczeniach; utrzymanie takiej temperatury w całym domu wymagałoby więcej energii.

No dobrze, jak możemy zatem zmniejszyć ilość energii zużywanej na ogrzewanie? Istnieją trzy linie ataku.

1. Zmniejszenie średniej różnicy temperatur. Można to osiągnąć poprzez przykręcenie termostatu (lub też zmianę pogody, jeżeli mamy chody na górze).
2. Zmniejszenie nieszczelności budynku. Można to osiągnąć poprzez termomodernizację – potrójne szyby w oknach, uszczelnienie szpar oraz wełna izolacyjna na poddaszu – lub też, co bardziej radykalne, poprzez zburzenie



Fot. 21.1. Mój dom

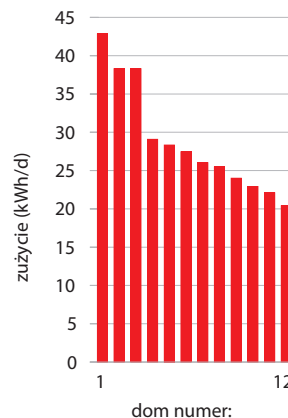
budynku i zastąpienie go nowym, lepiej izolowanym. Albo poprzez przeprowadzkę do budynku o mniejszej przestrzeni na osobę (zazwyczaj większe budynki są bardziej nieszczelne, bo większa jest też powierzchnia ścian zewnętrznych, okien i dachu).

3. Zwiększenie sprawności systemu ogrzewania. Można pomyśleć, że trudno będzie przebić 90%, w rzeczywistości może być znacznie lepiej.

Fajna technologia: termostat

Trudno pobić termostat (w połączeniu z wełnianym swetrem), jeżeli chodzi o stosunek wartości do ceny. Przykręcasz go i twój dom zużywa mniej energii. Magiczne! W Wielkiej Brytanii z obniżeniem temperatury o jeden stopień utrata ciepła zmniejsza się o 10%. Przykręcenie termostatu z 20 °C do 15 °C ograniczyłoby straty ciepła niemal o połowę. Dzięki dodatkowym źródłom ciepła (sprzęt, użytkownicy, słońce), oszczędność energii grzewczej będzie nawet większa niż wynikałoby z samej redukcji strat ciepła.

Niestety, ta znakomita technologia oszczędzania energii ma skutki uboczne. Niektórzy przykręcenie termostatu nazwą zmianą przyzwyczajęń i zaczną kręcić nosem. W dalszej części poczynię kilka sugestii, jak podejść do problemu zmian w zwyczajach. Tymczasem w dowód na to, że „najważniejszym inteligentnym elementem budynku z inteligentnym systemem ogrzewania jest użytkownik”, na wykresie 21.2. pokazujemy dane ze studium Carbon Trust dotyczące zużycia ciepła w 12 identycznych współczesnych budynkach. Możemy krzywić się na rodzinę nr 1, która zużywa dwukrotnie więcej energii do ogrzania domu niż państwo Opatuleni spod nr 12. Niemniej jednak, zwróćmy uwagę na liczby: rodzina nr 1 zużywa 43 kWh dziennie. Szokujące? Chwileczkę, przecież właśnie oszacowaliśmy, że mój dom zapewne zużywa więcej. W istocie, moje zużycie gazu w latach 1993–2003 wyniosło nieco ponad 43 kWh dziennie (rys. 7.10, str. 61). A ja myślałem, że jestem oszczędny! Problemem jest sam dom. Wszystkie współczesne domy w studium Carbon Trust mają współczynnik strat ciepła rzędu 2,7 kWh/dzień/°C, a mój dom – 7,7 kWh/dzień/°C! Drodzy mieszkańcy nieszczelnych domów...



Rys. 21.2. Rzeczywiste zużycie energii w 12 identycznych domach z identycznymi systemami ogrzewania. Wszystkie domy miały powierzchnię 86 m<sup>2</sup> oraz współczynnik strat ciepła rzędu 2,7 kWh/dzień/°C.  
Źródło: Carbon Trust (2007)

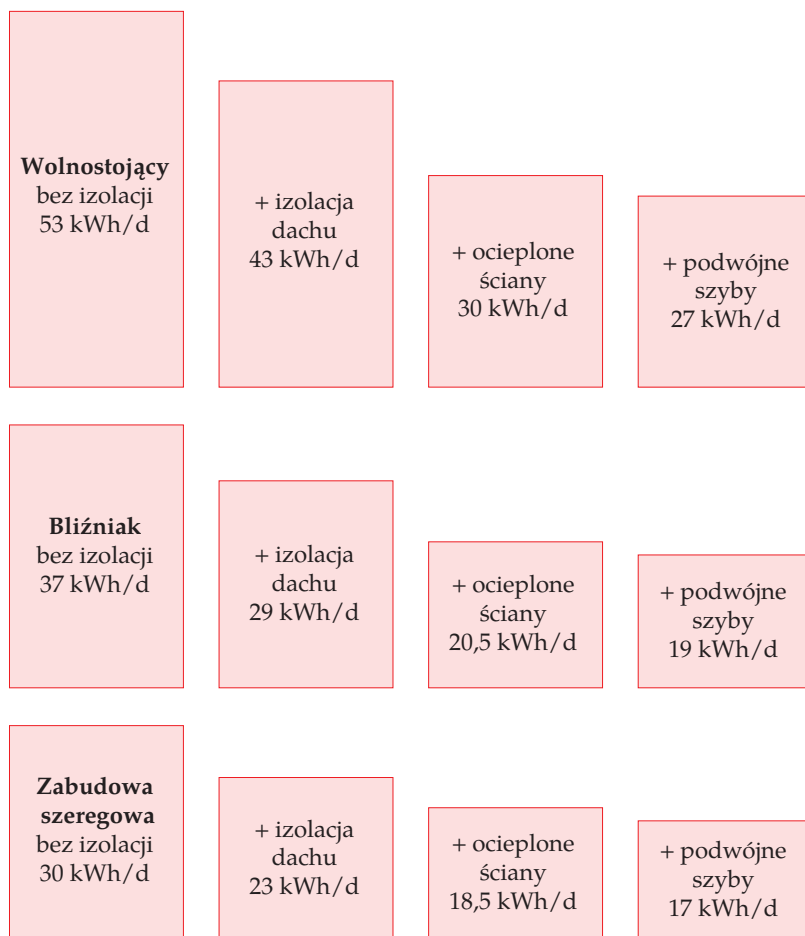
## Wojna z nieszczelnością

Co możemy zrobić ze starymi, nieszczelnymi domami oprócz wezwania buldożerów? rys. 21.3 pokazuje, jak zmienia się ilość energii potrzebnej do ogrzania starych domów wolnostojących, bliźniaków i szeregowców w miarę wykonywania inwestycji modernizacyjnych. Ocieplenie poddasza i ścian dwuwarstwowych ogranicza straty ciepła w przeciętnym domu o jakieś 25%. Dzięki dodatkowym źródłom ciepła (słońce, użytkownicy) ta 25-procentowa redukcja przekłada się na około 40% redukcji zużycia ciepła.

Przetestujmy tę ideę.

## Studium przypadku

Zaprezentowałem mój dom na str. 151. Cofnijmy się odrobinę. W 2004 roku zainstalowałem kocioł kondensacyjny, który zastąpił stary kocioł gazowy (kotły kondensacyjne wyposażone są w wymiennik ciepła, który odbiera ciepło ze spalin i przekazuje go wodzie obiegowej). Jednocześnie usunąłem zasobnik ciepłej wody (teraz wodę grzeje się wedle potrzeb) i zainstalowałem termostaty przy wszystkich grzejnikach w sypialniach. Oprócz kotła kondensacyjnego zainstalowałem regulację ogrzewania, dzięki czemu mogę ustawiać różne



Rys. 21.3. Ilość energii potrzebna do ogrzania różnych typów domów w Wielkiej Brytanii.

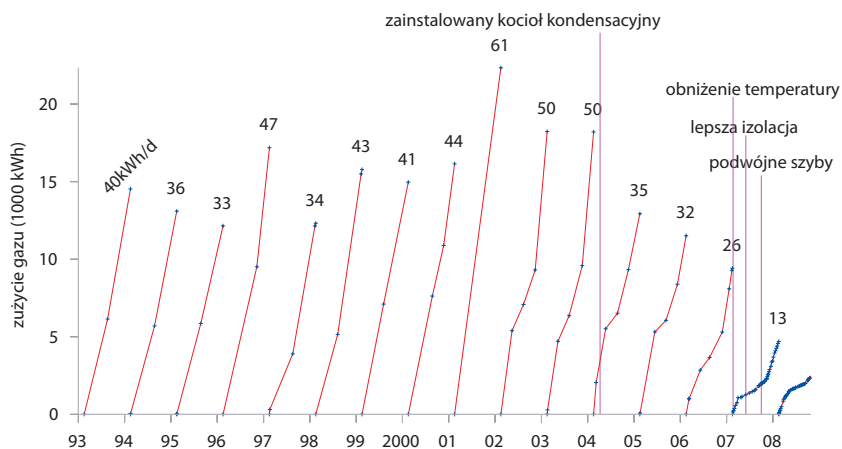
Źródło: Eden i Bending (1985)

temperatury w różnych porach dnia. Po tych zmianach zużycie energii spadło z 50 kWh dziennie do mniej więcej 32 kWh dziennie.

Ograniczenie z 50 do 32 kWh dziennie robi wrażenie, ale jest zupełnie niewystarczające, jeżeli naszym celem jest redukcja osobistego śladu węglowego poniżej 1 tony CO<sub>2</sub> na rok. 32 kWh dziennie pozyskane z gazu odpowiada ponad 2 tonom CO<sub>2</sub> rocznie.

W 2007 roku zacząłem zwracać większą uwagę na wskazania licznika energii. Ociepliłem ściany (fot. 21.5) i poprawiłem izolację poddasza. Tylne drzwi z pojedynczą szybą zastąpiłem drzwiami z szybą podwójną i założyłem drzwi frontowe ze wzmocnioną szybą podwójną (fot. 21.6). Najważniejsze, że zacząłem zwracać większą uwagę na wskazania termostatu – dzięki temu zużycie gazu spadło o połowę. W zeszłym roku zużycie energii wyniosło 13 kWh dziennie!

Z uwagi na to, że w przedstawionym przypadku zmiany zaszły i w budynku i w zachowaniach użytkowników, trudno oszacować, co było najważniejsze. Według moich obliczeń (w rozdziale E) ocieplenie domu zmniejszyło współczynnik strat ciepła o 25%, z 7,7 kWh/dzień/°C do 5,8 kWh/dzień/°C. To nadal więcej niż w domach współcześnie budowanych. To frustrujące, jak trudno zwiększyć szczelność domu już wybudowanego! Moją podstawową radą



Rys. 21.4. Zużycie gazu w moim domu w latach 1993–2007. Linie pokazują łączne zużycie w kWh. Liczba na końcu każdej linii wskazuje średnie zużycie gazu w danym roku w kWh dziennie. Odczyty licznika zaznaczono niebieskimi punktami. Najwyraźniej, im częściej odczytuję licznik, tym mniej gazu zużywam!

jest sprytnie przykręcanie termostatu. Jakie ustawienie termostatu jest rozsądne? Obecnie wielu ludzi uważa, że przy 17 °C jest nieznośnie zimno. Niemniej jednak w latach 70. średnia temperatura w zimie w brytyjskich domach wynosiła 13 °C! Odczucie ciepła zależy od tego, co się robi i co się robiło przez ostatnią godzinę. Sugerowałbym, by *nie myśleć w kategoriach ustawień termostatu*. Zamiast ustawiać termostat w jednej pozycji, spróbuj zostawić go przez większość czasu na naprawdę niskiej temperaturze (dajmy na to 13 albo 15 °C) i podkrecaj go na moment, kiedy robi ci się zimno. To jak z oświetleniem w bibliotece. Jeżeli zadasz sobie pytanie: „Jakie jest właściwe natężenie światła na półkach z książkami?”, bez wątpliwości odpowiesz sobie: „Wystarczające do odczytania tytułów” i pozwolisz, by jasne światło paliło się tam cały czas. Niemniej jednak to pytanie zakłada, że musimy ustalić poziom światła, a przecież nie musimy. Możemy założyć włączniki światła, które uruchamia czytelnik, a po jakimś czasie same się wyłączą. Analogicznie, termostaty nie muszą być cały czas ustawione na 20 °C.

Zanim porzucę temat termostatów, powinienem wspomnieć o klimatyzacji. Czy latem nie doprowadzają Cię do szału budynki z klimatyzacją ustawioną na 18 °C? Pomyleni zarządcy budynków wystawiają wszystkich na temperatury, które zimą uznaliby za zbyt niskie! W Japonii rządowe wytyczne dotyczące klimatyzacji rekomendują temperaturę 28 °C.

## Lepsze budynki

Jeżeli masz szansę wybudować nowy budynek, istnieje wiele sposobów na to, by zużywał znacznie mniej energii niż budynki stare. Rys. 21.2 pokazuje, że współczesne domy mają znacznie wyższy standard izolacji niż te z lat 40. Niemniej jednak, standardy budynków mogłyby być jeszcze wyższe, co pokazuje rozdział E. Trzy kluczowe idee dające najlepsze efekty to: (1) naprawdę grubą warstwę izolacyjną w podłodze, ścianach i dachach; (2) pełne uszczelnienie budynku z zapewnieniem aktywnej wentylacji w celu wprowadzania świeżego i usuwania zanieczyszczonego i zawilgoconego powietrza, z wymiennikami ciepła pasywnie odzyskującymi większość ciepła z usuwanego powietrza; (3) takie zaprojektowanie budynku, by wykorzystywał światło słoneczne w możliwie najwyższym stopniu.



Fot. 21.5. Ocieplanie budynku



Fot. 21.6. Nowe drzwi frontowe

## Koszt energetyczny ciepła

Do tej pory w niniejszym rozdziale skupialiśmy się na kontroli temperatury oraz szczelności. Teraz zajmiemy się trzecim elementem równania:

$$\text{zużyta energia} = \frac{\text{średnia różnica temperatur} \times \text{współczynnik strat ciepła budynku}}{\text{sprawność systemu ogrzewania}}$$

Jak bardzo efektywnie można uzyskać ciepło? Czy można uzyskać je tanio? Obecnie większość ogrzewania w Wielkiej Brytanii oparta jest na spalaniu paliwa kopalnego – gazu – w kotłach o sprawności rzędu 78–90%. Czy możemy jednocześnie odejść od paliw kopalnych i usprawnić ogrzewanie budynków?

Jedną z technologii, która ma być odpowiedzią na brytyjski problem z ogrzewaniem, jest kogeneracja (wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła w skojarzeniu – ang. CHP) i jej kuzynka „mikrokogeneracja”. Wyjaśnię teraz, czym jest kogeneracja, aczkolwiek doszedłem do wniosku, że sama w sobie jest złym pomysłem. Lepszą technologią są pompy ciepła, które opiszę nieco dalej.

Średnie roczne zużycie energii na ogrzewanie w Wielkiej Brytanii w roku 2007 wynosiło 155 kWh/m<sup>2</sup>. W Polsce nowo wybudowane domy potrzebują rocznie 90–120 kWh/m<sup>2</sup>, jednak większość domów powstała wcześniej i zużycie energii w nich jest znacznie większe – od 120 do 200 kWh/m<sup>2</sup> dla domów budowanych po roku 1985 do 300 do 400 kWh/m<sup>2</sup> rocznie dla starszych domów, które nie przeszły termomodernizacji. Rząd wielkości zapotrzebowania na energię grzewczą w Polsce i Wielkiej Brytanii jest więc podobny. A jak jest ze źródłami energii w Polsce? Połowa ciepła jest dostarczana za pomocą sieci ciepłowniczych. Dominującym paliwem jest węgiel, z jego spalania pochodzi blisko 90% ciepła, resztę energii dają głównie: gaz, ropa i biomasa.

$\frac{3}{4}$  użytkowników indywidualnych w Polsce opala domy węglem (ze sprawnością 50–80%), a 18% gazem (ze sprawnością 75–80%).

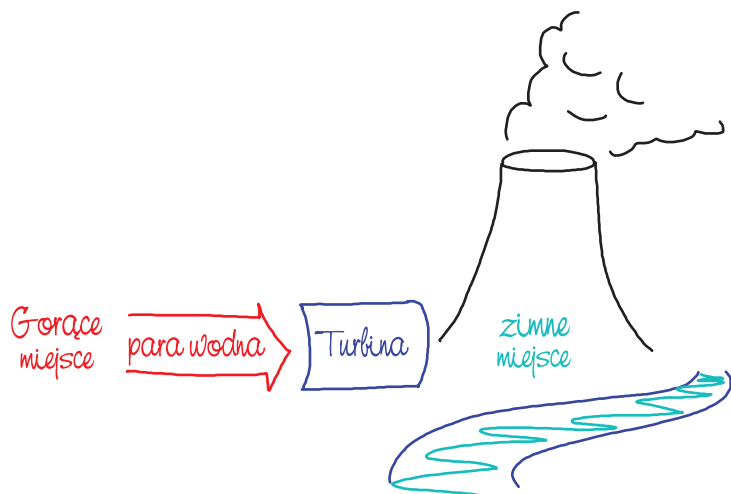


Rys. 21.7. Eggborough. Tu nie ma elektrociepłowni wykorzystujących powstające przy produkcji prądu ciepło.

## Kogeneracja

W obiegowej opinii konwencjonalne, scentralizowane elektrownie dużych mocy są szalenie nieefektywne, bo wyrzucają ciepło kominami oraz wieżami chłodniczymi. Wtajemniczeni wiedzą jednak, że po to, by przekształcić energię termiczną w elektryczność, musimy zrzucić ciepło w chłodnym miejscu (fot. 21.8). Tak właśnie działa silnik cieplny. Musi istnieć to chłodne miejsce. A może by tak – mówią niektórzy – potraktować *budynki* jako miejsca zrzutu tego ciepła „odpadowego” zamiast wież chłodniczych czy też wody w rzece? Ten pomysł nazywamy wytwarzaniem energii elektrycznej i ciepła w skojarzeniu lub kogeneracją, od dziesięcioleci szeroko stosowaną na kontynencie europejskim – w wielu miastach elektrownie dużych mocy są zintegrowane z siecią ciepłowniczą. Orędownicy nowoczesnej odmiany kogeneracji – mikrokogeneracji – proponują, by każdy budynek lub grupa budynków miała własną, małą elektrociepłownię generującą ciepło i elektryczność oraz oddającą część elektryczności do sieci.

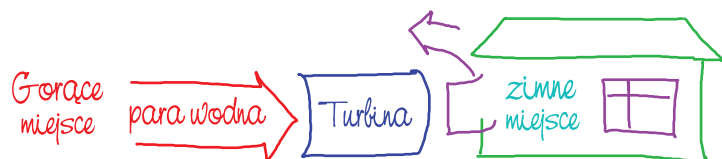
Jest ziarno prawdy w stwierdzeniu, że Wielka Brytania pozostaje w tyle w zakresie sieci ciepłowniczych oraz kogeneracji. Dyskusję utrudnia jednak brak danych liczbowych oraz dwa specyficzne błędy. Po pierwsze, przy porównywaniu



Rys. 21.8. Oto jak działa elektrownia. Musi istnieć chłodne miejsce, gdzie kondensuje się parę, która napędza turbinę. To zimne miejsce to zazwyczaj wieża chłodnicza lub rzeka.

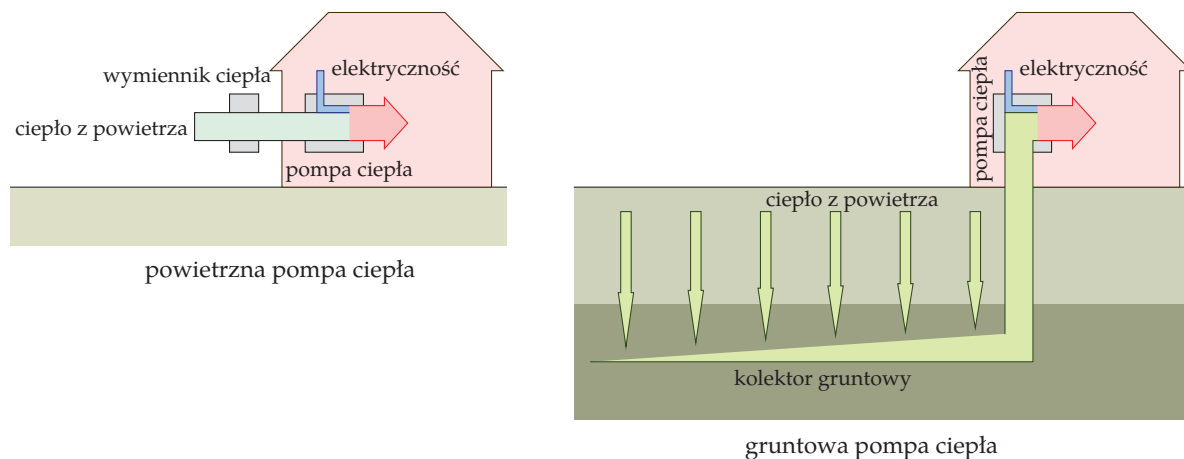
różnych sposobów wykorzystywania paliwa źle definiuje się efektywność, bo zakłada się, że elektryczność ma taką samą wartość jak ciepło. W rzeczywistości elektryczność jest cenniejsza niż ciepło. Po drugie, powszechnie zakłada się, że ciepło „odpadowe” w tradycyjnej elektrowni można odzyskać i spożytkować *bez uszczerbku dla produkcji prądu*. Niestety to nieprawda, co pokażą liczby. Dostarczenie odbiorcy ciepła użytkowego zawsze w pewnym stopniu zmniejsza ilość wyprodukowanej energii. Prawdziwy zysk netto z wytwarzania prądu i ciepła w skojarzeniu jest często mniejszy niż twierdzi rozdmuchana reklama.

Elektrociepłownie w Polsce wytwarzają 63% ciepła sieciowego (czyli około 1/3 całości ciepła). Zasilają one systemy ciepłownicze większości dużych miast, w tym Warszawy, Krakowa, Katowic, Poznania, Łodzi, Gdańska i Wrocławia.



Rys. 21.9. Kogeneracja. Miejski system ciepłowniczy odbiera ciepło, które inaczej uleciałoby wieżą chłodniczą.

Ostatnią przeszkodą w racjonalnej dyskusji na temat kogeneracji jest niedawno powstały mit, jakoby decentralizacja energetyki w jakiś sposób czyniła ją bardziej zieloną. Tak więc scentralizowane elektrownie węglowe są „złe”, a gromady mikroelektrowni są dobre z definicji. Jeżeli jednak decentralizacja jest tak dobrym pomysłem, idea „małe jest piękne” powinna mieć pokrycie w liczbach. Decentralizacja powinna przecież poradzić sobie sama. Liczby pokazują jednak, że *scentralizowana* produkcja energii niesie wiele korzyści zarówno w sensie ekonomicznym, jak i energetycznym. Jedynie w dużych budynkach opłaca się montować lokalne systemy generacyjne, a i tak korzyść wyniesie zaledwie 10 czy 20%.



Rys. 21.10. Pompy ciepła

Brytyjski rząd przyjął za swój cel rozwój kogeneracji do poziomu 10 GW mocy do roku 2010. Sądzę jednak, że rozwój kogeneracji w oparciu o gaz byłby błędem. Taka kogeneracja nie jest zielona – opiera się na paliwie kopalnym i sprawia, że nadal będziemy korzystać z paliw kopalnych. Zważywszy, że pompy ciepła są lepszym rozwiązaniem, sądzę, że powinniśmy przeskoczyć od razu do pomp ciepła z pominięciem kogeneracji opartej na gazie.

## Pompy ciepła

Tak jak w przypadku miejskich sieci ciepłowniczych oraz kogeneracji pompy ciepła są szeroko stosowane na kontynencie europejskim, ale rzadko w Wielkiej Brytanii. Pompy ciepła są odwrotnością lodówek. Dotknij tyłu obudowy swojej lodówki – jest ciepła. Lodówka oddaje ciepło z jednego miejsca (swojego wnętrza) w inne (na tył obudowy). Można więc ogrzać budynek, wywracając lodówkę na drugą stronę – umieść *wnętrze* lodówki w ogrodzie, w ten sposób ochładzając ogród i zostaw tylną ściankę lodówki w kuchni, tym samym ogrzewając dom. Mało kto wie, że ten zabawny pomysł jest naprawdę skutecznym sposobem ogrzania domu. Używając jednego kilowata energii z sieci „lodówka na odwrót”, może wpompować 3 kilowaty ciepła z ogrodu, co oznacza, że do domu dostają się 4 kilowaty ciepła. Pompy ciepła są więc na oko 4 razy bardziej efektywne energetycznie niż standardowy grzejnik elektryczny. Jeżeli efektywność grzejnika wynosi 100%, efektywność pompy ciepła wyniesie 400%. Efektywność pompy ciepła najczęściej definiuje się za pomocą *współczynnika wydajności* (CoP). Jeżeli efektywność wynosi 400%, współczynnik wydajności CoP wynosi 4.

Pompy ciepła można montować na różne sposoby (rys. 21.10). Pompa ciepła może ochładzać *powietrze* w Twoim ogrodzie za pomocą wymiennika ciepła (zazwyczaj jest to mniej więcej metrowe białe pudełko – patrz: fot. 21.11) – w takim wypadku mamy do czynienia z powietrzną pompą ciepła. Opcjonalnie, pompa ciepła może ochładzać *grunt* za pomocą podziemnego systemu rur (długich na wiele dziesiątków metrów) – w tym wypadku mamy do czynienia z gruntową pompą ciepła. Ciepło można również pompować z rzek i jezior.

Niektóre pompy ciepła pompują ciepło dwukierunkowo. Kiedy powietrzna pompa ciepła działa w drugim kierunku, to używa prądu, by ogrzać powietrze na zewnątrz i schłodzić powietrze *wewnątrz* budynku. To klimatyzacja. Wiele systemów klimatyzacji to w gruncie rzeczy pompy ciepła, pracujące właśnie w taki sposób. Gruntowe pompy ciepła również mogą działać jako klimatyzacja. Tak oto jedno urządzenie może ogrzewać dom zimą i chłodzić latem.

Niektórzy twierdzą, że gruntowe pompy ciepła wykorzystują energię geotermalną. To nie tak. Jak widzieliśmy w rozdziale 16, energia geotermalna w większości miejsc na świecie dostarcza zaledwie strużkę mocy na jednostkę powierzchni (jakieś  $50 \text{ mW/m}^2$ ); pompy ciepła nie mają nic wspólnego z tą strużką i mogą służyć zarówno do ogrzania, jak i schłodzenia budynku. Pompy ciepła po prostu wysysają ciepło z gruntu albo je tam zrzucają. Nawet jeżeli stale wysysają ciepło z gruntu, grunt jest stale ogrzewany przez słońce.

W tym rozdziale musimy jeszcze zrobić dwie rzeczy: porównać pompy ciepła z kogeneracją i zdiagnozować ograniczenia gruntowych pomp ciepła.

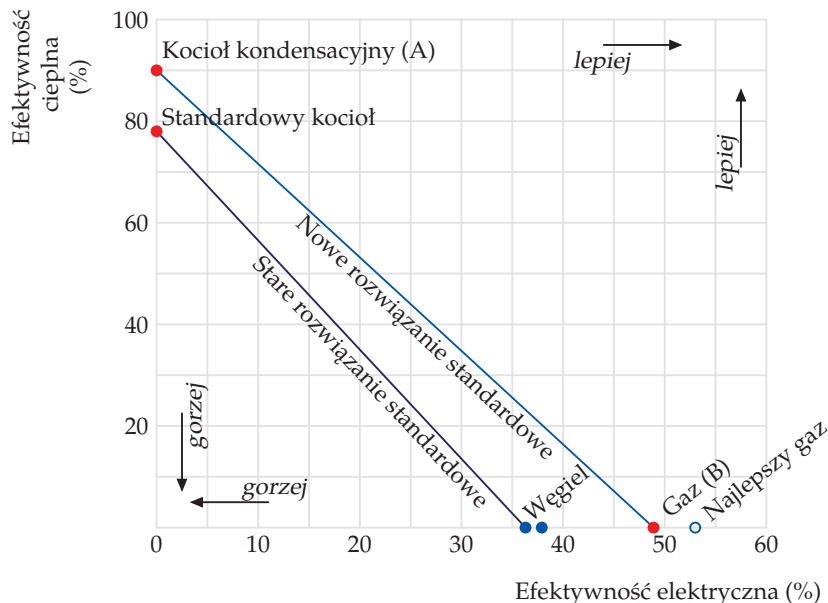
### Pompy ciepła w porównaniu z kogeneracją

Wydawało mi się kiedyś, że korzyści z kogeneracji są oczywiste. „To przecież jasne, że powinniśmy używać ciepła zrzucanego z elektrowni do ogrzewania budynków, zamiast wypływać je wieżą chłodniczą!” Niemniej jednak, przyjrawszy się uważnie liczbom dotyczącym funkcjonujących systemów kogeneracyjnych, doszedłem do wniosku, że istnieją lepsze sposoby produkowania energii elektrycznej i ciepłej.

Posłużę się wykresem, który zbuduję trzyetapowo. Wykres pokaże, ile energii elektrycznej lub ciepłej można pozyskać z energii chemicznej. Oś pozioma zilustruje sprawność elektryczną, a oś pionowa – sprawność cieplną.

### Systemy standardowe bez kogeneracji

W pierwszym etapie zilustrujemy zwykłe elektrownie (produkujące tylko prąd) i systemy grzewcze (produkujące tylko ciepło).



Fot. 21.11. Zewnętrzne i wewnętrzne elementy powietrznej pompy ciepła o współczynniku wydajności 4. Dla porównania obok wewnętrznej części umieszczono długopis. Ta pompa ciepła Fujitsu może dostarczyć  $3,6 \text{ kW}$  ciepła, przy zużyciu zaledwie  $0,845 \text{ kW}$  prądu. Może też pracować w odwrotną stronę, dostarczając  $2,6 \text{ kW}$  chłodu i zużywając  $0,655 \text{ kW}$  prądu.



Kotły kondensacyjne (kropka po lewej, na górze, A) mają sprawność rzędu 90%, ponieważ 10% ciepła ucieka kominem. Brytyjskie elektrownie gazowe (kropka na dole, po prawej, B) obecnie przekształcają energię chemiczną z gazu na energię elektryczną ze sprawnością 49%. By uzyskać z gazu dowolny mix prądu i ciepła, należy spalić odpowiednią ilość gazu oddzielnie w elektrowni i w kotle. „Nowoczesne rozwiązanie standardowe” polegać więc będzie na produkcji prądu i ciepła w dwóch oddzielnych systemach, a może charakteryzować się każdą sprawnością elektryczną i ciepłą na linii A-B.

By umieścić te dane w kontekście historycznym, na wykresie ilustrujemy również przestarzałe systemy produkcji ciepła (zwykły kocioł niekondensacyjny o sprawności 79%) i produkcji prądu sprzed kilku dekad (elektrownia węglowa o sprawności wytwarzania energii elektrycznej 37%).

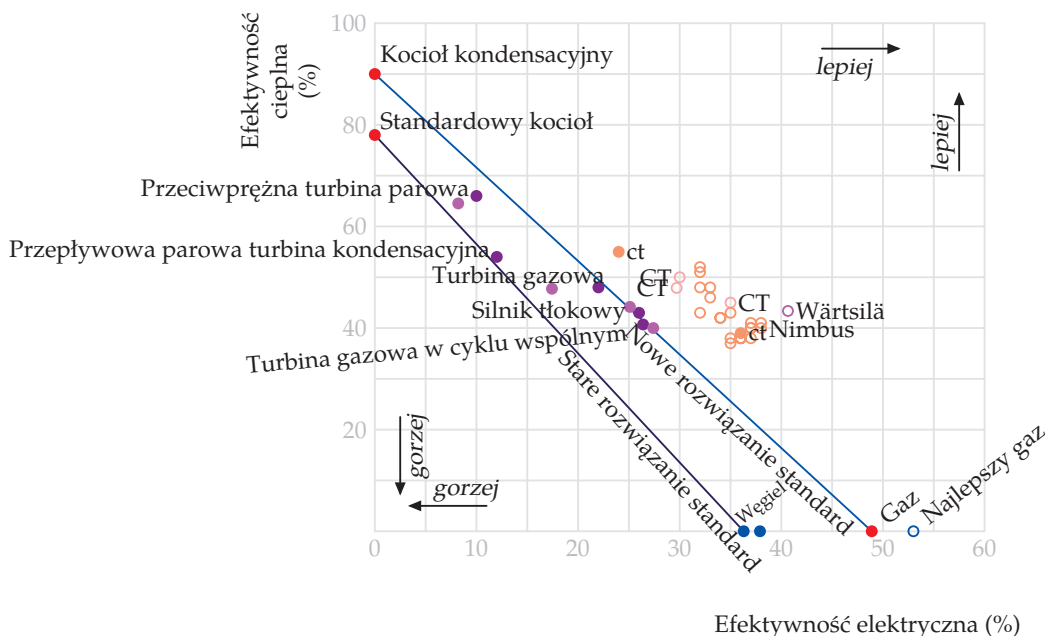
## Kogeneracja

Teraz dodamy do wykresu systemy kogeneracyjne, które energię chemiczną przekształcają jednocześnie w prąd i ciepło.

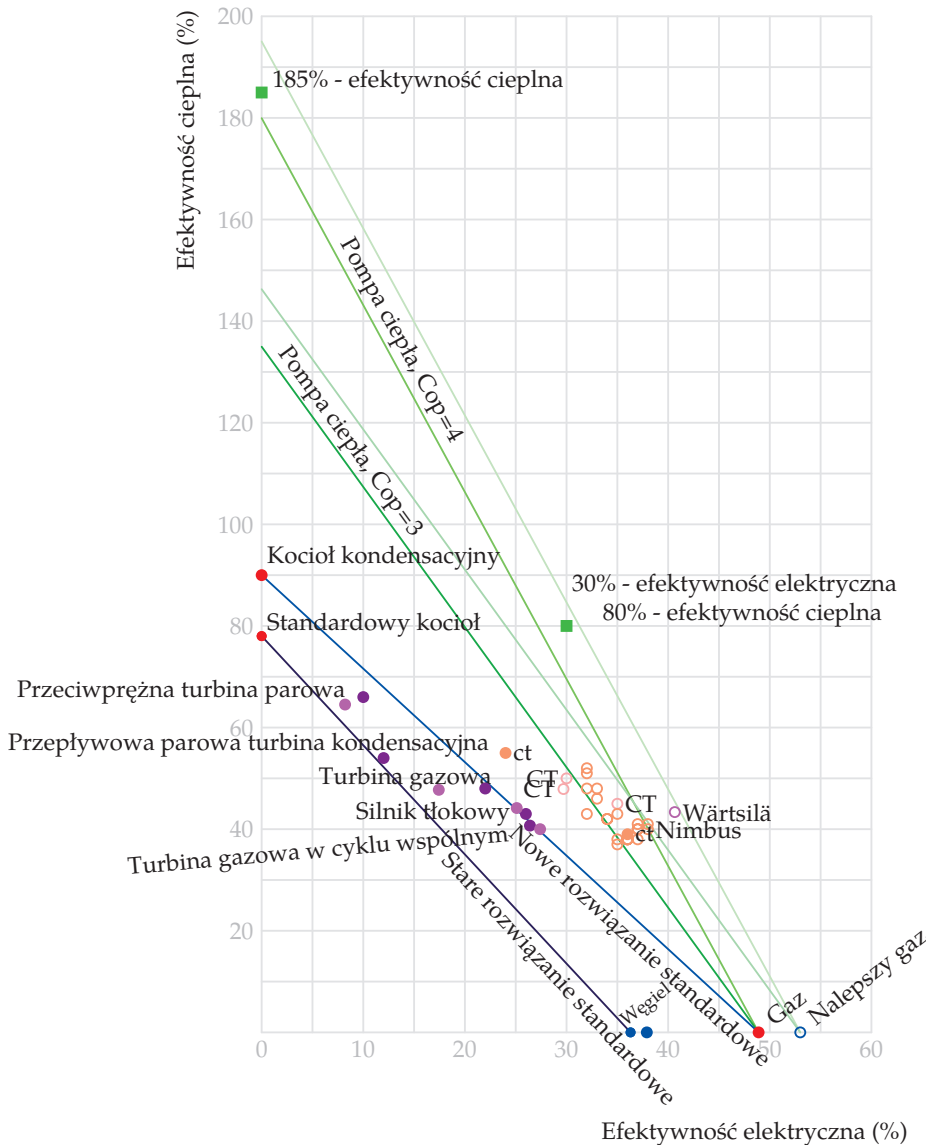
Zapełnione kropki ilustrują średnią wydajność systemów kogeneracyjnych w Wielkiej Brytanii, pogrupowanych według typu. Puste kropki oznaczone jako „CT” ilustrują wydajność idealnych systemów kogeneracyjnych na podstawie danych Carbon Trust; puste kropki oznaczone jako „Nimbus” oparte są na specyfikacjach produktów przygotowanych przez producenta. Kropki oznaczone jako „ct” ilustrują dane Carbon Trust dla dwóch rzeczywiście funkcjonujących systemów (w szpitalu Freemana i hotelu Elizabeth House).

Należy zauważyć, że sprawność elektryczna systemów kogeneracyjnych jest znacznie niższa niż 49-procentowa sprawność zwykłej elektrowni gazowej. Ciepło nie jest więc „darmowym produktem ubocznym”. Zwiększenie produkcji ciepła obniża produkcję prądu.

Powszechnie stosuje się zabieg wrzucania obu liczb (sprawność wytwarzania prądu i sprawność wytwarzania ciepła) do jednego worka sprawności całkowitej



– i tak o turbinach parowych przeciwprężnych dostarczających 10% prądu i 66% ciepła powie się, że mają sprawność 76%. Sądzą jednak, że to mylący sposób sumowania wydajności. Koniec końców, mierząc taką miarą, musielibyśmy uznać, że kocioł kondensacyjny o sprawności 90% jest „bardziej efektywny” niż cały system kogeneracyjny! W rzeczywistości prąd jest cenniejszy niż ciepło.



Wiele kropek ilustrujących na wykresie kogenerację wypada lepiej niż „przeznaczane standardowe metody działania” (produkowanie prądu z węgla i ciepła w kotłach tradycyjnych). Idealne systemy kogeneracyjne wypadają nieco lepiej niż „nowoczesne standardowe metody działania” (produkowanie prądu z gazu, a ciepła w kotłach kondensacyjnych). Musimy jednak brać pod uwagę, że te nieco lepsze osiągi podlegają pewnym ograniczeniom – system kogeneracyjny dostarcza ciepło tylko do miejsc, z którymi jest połączony, a kotły kondensacyj-

ne mogą być instalowane wszędzie tam, gdzie jest dostęp do gazu. W porównaniu do standardowych metod działania systemy kogeneracyjne nie dają elastyczności w zakresie stosunku produkowanego prądu do ciepła – system jest wydajny, kiedy produkuje określony mix prądu i ciepła. Ten brak elastyczności przekłada się na marnotrawstwo, na przykład ciepła – w przeciętnym domu zapotrzebowanie na prąd wzrasta okresowo i w niewielkim stopniu pokrywa się z zapotrzebowaniem na ciepło. Dodatkowo, kiedy małe systemy kogeneracyjne mają na zbyciu energię elektryczną, może być problem z przekazaniem jej do sieci.

Na koniec dodajmy pompy ciepła, używające prądu z sieci do pompowania do budynków ciepła z otoczenia.

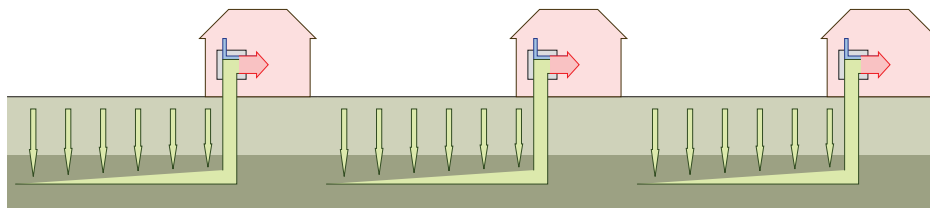
Strome zielone linie ilustrują sprawności elektryczną i cieplną dla pomp ciepła o współczynniku wydajności 3 i 4 przy założeniu, że dodatkowy prąd do pompy jest produkowany przez standardową elektrownię gazową albo przez bardzo nowoczesną elektrownię gazową i że straty na przesyle prądu z elektrowni do budynku, gdzie zainstalowana jest pompa ciepła, wynoszą 8%. Sprawność bardzo nowoczesnej elektrowni gazowej wynosi 53% w warunkach optymalnych (zakładam, że Carbon Trust i Nimbus poczynili podobne założenia przy obliczaniu wartości dla systemów kogeneracyjnych użytych na tym wykresie). W przyszłości pompy ciepła będą pewnie jeszcze wydajniejsze niż tu zakładamy. W Japonii, dzięki dobremu prawodawstwu w zakresie efektywności energetycznej, dostępne są powietrzne pompy ciepła o współczynniku wydajności 4,9.

Warto zauważyć, że pompy ciepła to systemy, które mogą mieć „sprawność większą niż 100%”. Dla przykładu, jeżeli pompę ciepła zasila prąd z „najlepszej elektrowni gazowej”, prąd otrzymujemy ze sprawnością 30%, a ciepło ze sprawnością 80%, co daje „sprawność całkowitą” rzędu 110%. Żaden z systemów kogeneracyjnych nie zbliża się do tej sprawności.

Powiedzmy to głośno. Pompy ciepła mają wyższą sprawność niż kotły kondensacyjne, nawet jeżeli są zasilane prądem z elektrowni gazowych. Jeżeli chcemy ogrzać wiele budynków za pomocą gazu, możemy albo zainstalować kotły kondensacyjne o sprawności 90%, albo przesłać ten sam gaz do nowoczesnej elektrowni gazowej, a we wszystkich budynkach zainstalować pompy ciepła zasilane prądem – w tym drugim przypadku sprawność wahałaby się pomiędzy 140 a 185%. Nie trzeba kopać głębokich dziur w ogrodzie i instalować ogrzewania podłogowego, by skorzystać z dobrodziejstw pompy ciepła – najlepsze powietrzne pompy ciepła (w postaci niewielkiego pudełka na zewnątrz budynku, podobnego do klimatyzatora) mogą zasilić grzejniki w gorącą wodę ze współczynnikiem wydajności powyżej 3. Powietrzna pompa ciepła na fot. 21.11 (str. 158) dostarcza ciepłe powietrze bezpośrednio do pomieszczeń biurowych.

Reasumując, kogeneracja, mimo że brzmi atrakcyjnie, nie jest chyba najlepszym sposobem ogrzewania budynków i produkowania prądu z gazu – przy założeniu, że w budynkach da się zainstalować powietrzne i gruntowe pompy ciepła. Należy podkreślić jeszcze kilka zalet pomp ciepła – można je instalować w każdym budynku z dostępem do elektryczności, można je podłączyć do każdego źródła prądu, będą więc pracować, nawet gdy skończy się gaz lub kiedy cena gazu wystrzeli pod niebiosa. Pompy ciepła są rozwiązaniem elastycznym – można je włączać i wyłączać zgodnie z zapotrzebowaniem użytkowników budynku.

Chcę podkreślić, że to moje porównanie na niekorzyść kogeneracji nie oznacza, że wytwarzanie ciepła i prądu w skojarzeniu jest zawsze złe. Tutaj porównuję jednak sposoby ogrzania zwykłych budynków, do czego wystarczy ciepło niskotemperaturowe. Kogeneracja może również dostarczyć ciepło wysokotemperaturowe na potrzeby przemysłu (np. o temperaturze 200 °C). W zastosowaniach przemysłowych pompy ciepła raczej się nie sprawdzają, bo mają niższy współczynnik wydajności.



### Granice rozwoju pomp ciepła

Zima to czy lato temperatury pod powierzchnią gruntu, na głębokości kilku metrów, leniwie oscylują w granicach 11 °C. Grunt teoretycznie daje pompie ciepła lepszą możliwość pochycenia ciepła niż powietrze, które w środku zimy może być nawet o 10–15 °C zimniejsze niż grunt. O ile to tylko możliwe, instalatorzy pomp ciepła doradzają montaż pomp gruntowych (pompy ciepła tracą na sprawności, kiedy różnica temperatur pomiędzy wnętrzem a otoczeniem budynku jest wysoka).

Niemniej jednak grunt nie jest nieograniczonym źródłem ciepła. Ciepło musi skądś pochodzić, a grunt nie jest wcale tak dobrym jego przewodnikiem. Jeżeli wyssimy ciepło z gruntu zbyt szybko, ten znacznie się oziębi i spadnie wydajność pompy gruntowej.

W Wielkiej Brytanii podstawowym zadaniem pomp ciepła byłoby dostarczenie ciepła budynkom w zimie. Pierwotnym źródłem tego ciepła jest słońce, które ogrzewa grunt bezpośrednio przez promieniowanie i poprzez ogrzane powietrze. Tempo wysysania ciepła z gruntu ograniczają dwa czynniki: zimą nie wolno dopuścić do nadmiernego wychłodzenia gruntu, a ciepło wysane zimą musi zostać uzupełnione latem. Jeżeli istnieje ryzyko, że *naturalnie* uzupełnienie ciepła latem nie zrekompensuje ubytku ciepła wysanego zimą, trzeba *aktywnie* stymulować dogrzanie gruntu – np. poprzez uruchomienie instalacji latem w odwrotną stronę, co wpompuje ciepło do gruntu (a schłodzi dom).

Oprzyjmy się na liczbach. Jak dużo gruntu potrzebuje pompa ciepła? Załóżmy, że jesteśmy w okolicy o dużej gęstości zaludnienia – dajmy na to 6200 osób/km<sup>2</sup> (160 m<sup>2</sup> na osobę). To gęstość typowa dla brytyjskich przedmieść. Czy *każdy* mógłby zainstalować sobie pompę ciepła bez aktywnego dogrzewania gruntu latem? Obliczenia w rozdziale E (str. 304) wstępnie *temu przeczą*: gdyby każdy w okolicy wysysał z gruntu strumień ciepła rzędu 48 kWh dziennie na osobę (to moje szacunki typowego zapotrzebowania na ciepło zimą w Wielkiej Brytanii), grunt skułby lód. Rozsądne tempo ssania, które pozwoli uniknąć nadmiernego wychłodzenia gruntu, to mniej niż 12 kWh dziennie na osobę. Przejście na gruntowe pompy ciepła wymagałoby projektowania domów z porządnymi mechanizmami dogrzewania gruntu latem – po to, by magazynować tam ciepło na zimę. Można by tu wykorzystywać ciepło z klimatyzacji lub ciepło z dachowych kolektorów słonecznych (Drake Landing Solar Community w Kanadzie

Rys. 21.12. Jak ciasno można upchnąć gruntowe pompy ciepła?

	powierzchnia na osobę (m <sup>2</sup> )
Bangalore	37
Manhattan	39
Paryż	40
Chelsea	66
Tokio	72
Moskwa	97
Taipei	104
Haga	152
San Francisco	156
Singapur	156
Cambridge MA	164
Sydney	174
Portsmouth	213

Rys. 21.13. m<sup>2</sup> powierzchni na osobę w wybranych miastach

gromadzi latem w gruncie ciepło słoneczne do użytku w zimie [www.dlsc.ca]). Powinniśmy jednak założyć, że nie obejdzie się bez wsparcia w postaci powietrznych pomp ciepła – dopiero wówczas otrzymamy tyle ciepła, ile potrzebujemy (tak długo, jak mamy prąd, by zasilić pompy). W Wielkiej Brytanii temperatury powietrza nie spadają znacznie poniżej zera, stąd też obawy, że spadnie wydajność pomp ciepła, są tu mniej uzasadnione niż w Ameryce Północnej lub Skandynawii.

Rynek pomp ciepła w Polsce jest większy niż w Wielkiej Brytanii. Moc zainstalowana w 2008 roku wynosiła 180 MW(c) w 11 tysiącach instalacji (w stosunku do 135 MW(c) w Wielkiej Brytanii). Jednak rynek ten dopiero się kształtuje. Pompy ciepła, aby były efektywne, wymagają wysokich standardów energooszczędności budynków i systemów grzewczych – te zaś są w Polsce bardzo niskie. Ogranicza to mocno możliwość prostego przechodzenia z ogrzewania konwencjonalnego (węglowego lub gazowego) na systemy oparte na pompach ciepła.

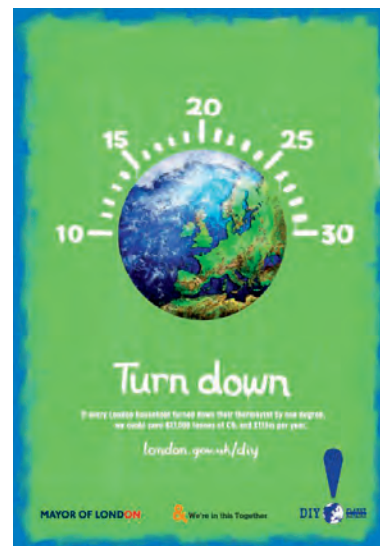
W Polsce, inaczej niż w Wielkiej Brytanii, temperatury powietrza spadają znacznie poniżej zera, przez co wydajność pomp ciepła jest niższa niż na Wyspach. Problem ten można rozwiązać, łącząc pompy ciepła z gruntowymi wymiennikami ciepła (czyli biegnącymi pod ziemią rurami, zimą nagrzewającymi wpadające do budynku powietrze, a latem je schładzającymi).

Gruntowych pomp ciepła nie da się stosować w blokach i wieżowcach, dominujących w krajobrazie polskich miast. Tutaj sprawdzą się raczej powietrzne pompy ciepła, a także tradycyjne kogeneracyjne ciepło sieciowe, oparte jednak raczej na biomase (np. odpadach drzewnych i biogazie), a nie na węglu.

Skonkludujmy, czy można ograniczyć zużycie energii cieplnej? Tak. Czy pozwoli to nam ograniczyć zużycie paliw kopalnych? Tak. Nie zapominając o niskokosztowych inwestycjach w termomodernizację oraz zabiegach z termostatem, powinniśmy zastąpić wszystkie kotły na gaz i węgiel pompami ciepła na prąd – wówczas zużycie energii może spaść do ¼ obecnego poziomu. Naturalnie, taka elektryfikacja zwiększy zużycie prądu. Niemniej jednak, nawet gdyby ta dodatkowa ilość prądu miała pochodzić z elektrowni gazowych, byłoby to znacznie lepsze niż to, co robimy teraz, czyli zwyczajne podpalanie gazu. Pompy ciepła są odporne na energetyczne zwroty akcji – pozwolą nam efektywnie ogrzać budynki, pracując dzięki prądowi z jakiegokolwiek źródła.

Malkontenci twierdzą, że powietrzne pompy ciepła mają nędzny współczynnik wydajności – zaledwie 2 czy 3. Mają nieaktualne dane. Kupując najnowocześniejsze pompy ciepła, możemy liczyć na znacznie lepszy wynik. Inicjatywa, ustawodawca japońskiego rządu, rozpisana na 10 lat, znakomicie przyczyniła się do poprawy wydajności systemów klimatyzacji. Dzięki tym regulacjom pojawiły się powietrzne pompy ciepła o współczynniku wydajności 4,9; takie pompy potrafią podgrzać nie tylko powietrzne, ale też wodę.

A oto kolejny argument sceptyków. „Jeżeli pozwolimy ludziom montować efektywne energetycznie powietrzne pompy ciepła, latem zrobią sobie z tego klimatyzację”. I co z tego? Tak jak wszyscy nie znoszą zbyt mocno odkręconej klimatyzacji, jednak te pompy ciepła są czterokrotnie bardziej efektywne niż jakikolwiek inny sposób grzania zimą! Pokażcie mi lepszą opcję. Drewniane pelety? No jasne, kilku zbieraczy chrustu może sobie nimi palić. Nie ma jednak



Rys. 21.14. Plakat promujący kampanię mera Londynu z 2007 roku pod nazwą „Zrób to sam – remont planety” („DIY planet repairs”). Tekst na plakacie „Przykręć. Gdyby w każdym mieszkaniu w Londynie przykręcić termostat o 1 stopień, zaoszczędzilibyśmy 837 000 ton CO<sub>2</sub> i 110 mln funtów rocznie”.

[london.gov.uk/diy]. W przeliczeniu na osobę, to 0,12 t CO<sub>2</sub> rocznie. To około 1% całkowitych emisji pojedynczej osoby (11 ton), tak więc to dobra rada. Świetna robota, Ken!

tyle drewna, żeby każdy mógł to zrobić. Właściciele lasów niech palą drewnem. Wszyscy inni niech instalują pompy ciepła.

Rolniczy charakter polskiej prowincji i największy w Europie potencjał biomasy pozwala nam bardziej optymistycznie spojrzeć na kwestie kogeneracji i pomp ciepła. Możemy połączyć oba rozwiązania, wykorzystując źródła kogeneracyjne oparte o paliwa odnawialne (np. mikrobiogazownie), zasilaające pompę ciepła. Daje to potencjał nawet pięciokrotnej redukcji zużycia rzeczywistego energii pierwotnej (w paliwach przeznaczonych na rynek ciepła). To rozwiązanie skrojone na miarę rolniczej Polski, gdzie wiele wolnostojących wiejskich domów można ogrzać i oświetlić łatwo dostępną biomasą drzewną i rolniczą.

Czy w polskiej energetyce „małe jest piękne”? Uwzględniwszy powyższe uwarunkowania oraz straty na przesyle prądu z dużych elektrowni, wysokosprawna, „synergiczna” energetyka rozproszona jest perspektywicznym rozwiązaniem dla mniejszych miejscowości.

Powinniśmy też poprawić standardy zużycia energii. Niezależnie od źródła grzewczego, łatwiej ogrzać dom potrzebujący mniej energii – dobrze ocieplony, wyposażony w rekuperator i gruntowy wymiennik ciepła, wykorzystujący do ogrzewania energię słoneczną. Idąc tą drogą, można w domach pasywnych (potrzebujących na ogrzewanie poniżej 15 kWh/m<sup>2</sup> rocznie) praktycznie wyeliminować potrzebę ich ogrzewania – wystarcza do tego ciepło mieszkańców i pracujących w domu urządzeń.



## Przypisy i zalecana literatura

Numer strony:

- 152 Ocieplenie poddasza i ścian dwuwarstwowych ogranicza straty ciepła w przeciętnym domu o jakieś 25%. Eden i Bending (1985).
- 154 W latach 70. średnia temperatura w zimie w brytyjskich domach wynosiła 13 °C! Źródło: Departament Handlu i Przemysłu (2002a, paragraf 3.11).
- 155 ... Wielka Brytania pozostaje w tyle w zakresie sieci ciepłowniczych oraz kogeneracji. Ciepło odpadowe z brytyjskich elektrowni mogłoby zaspokoić potrzeby grzewcze całego kraju (Wood, 1985). W Danii, w roku 1985, miejskie sieci ciepłownicze obsługiwały 42% rynku ogrzewania powierzchni budynków, transportując ciepło na odległość 20 km i więcej, za pomocą gorącej wody pod ciśnieniem. W 1985 roku w RFN 4 miliony mieszkań były podłączone do sieci ciepłowniczej, skąd otrzymywały przeciętnie 7 kW ciepła. 2/3 dostarczonego ciepła pochodziło z elektrowni. W szwedzkim Vasteras w 1985 roku 98% miejskiego ciepła pochodziło z elektrowni.
- 157 Pompy ciepła są na oko 4 razy bardziej efektywne energetycznie niż standardowy grzejnik elektryczny. Więcej na stronie: [www.gshp.org.uk](http://www.gshp.org.uk)  
Niektóre pompy ciepła dostępne już w Wielkiej Brytanii mają współczynnik wydajności powyżej 4 [yok2nw]. Są nawet dotacje rządowe na zakup wodnych pomp ciepła, ale tylko tych o współczynniku wydajności powyżej 4,4. [2dtx8z].  
Na rynku dostępne są gruntowe pompy ciepła o współczynniku wydajności 5,4 dla chłodzenia i 4,9 dla ogrzewania. [2fd8ar].
- 161 ... powietrzne pompy ciepła o współczynniku wydajności 4,9. Według HPTCJ (2007) od 2006 roku w Japonii są dostępne pompy ciepła o współczynniku wydajności 6,6. Dzięki rządowym regulacjom współczynnik wydajności pomp ciepła w Japonii wzrósł z 3 do 6 na przestrzeni dekady. HPTCJ (2007) opisuje podgrzewacz wody z powietrzną pompą ciepła o nazwie Eco Cute o współczynniku wydajności 4,9. Eco Cute pojawił się na rynku w 2001 roku [[www.ecosystem-japan.com](http://www.ecosystem-japan.com)]. Więcej na temat pomp ciepła publikuje Europejska Sieć Pomp Ciepła (European Heat Pump Network): [ehpn.fiz-karlsruhe.de/en/](http://ehpn.fiz-karlsruhe.de/en/), [www.kensa-engineering.com](http://www.kensa-engineering.com), [www.heatking.co.uk](http://www.heatking.co.uk), [www.iceenergy.co.uk](http://www.iceenergy.co.uk)
- 164 Daje to potencjał nawet pięciokrotnej redukcji zużycia rzeczywistego energii pierwotnej. – Źródło: J. Popczyk, *Energetyka rozproszona* (2010). [32pldfm].