ENERGIA I ŚRODOWISKO

Fundacja
na rzecz
Efektywnego
Wykorzystania
Energii

ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII
EFEKTYWNE WYKORZYSTANIE W BUDYNKACH
FINANSOWANIE PRZEDSIĘWZIĘĆ

PORADNIK. Odnawialne źródła energii.
Efektywne wykorzystanie w budynkach. Finansowanie przedsięwzięć.

AUTORZY PORADNIKA
Mariusz Bogacki
Arkadiusz Osicki
Sławomir Pasierb
Jerzy Wojtulewicz

Wydawca:
Fundacja na rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii
ul. Rymera 3/4, 40-048 Katowice
tel./fax: (032) 203-51-14
e-mail: office@fewe.pl
www.fewe.pl
Wydanie II, aktualizacja

© Copyright by Fundacja na rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii 2010

Poradnik zaktualizowany w ramach realizacji projektu FEWE
„Doskonalenie poziomu edukacji w samorządach terytorialnych w zakresie zrównoważonego gospodarowania energią i ochrony klimatu Ziemi"
dzięki wsparciu udzielonemu przez Islandię, Liechtenstein i Norwegię ze środków Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego oraz Norweskiego Mechanizmu Finansowego.

Spis treści

1 Wprowadzenie 3
2 Definicja Czystych Technologii Energetycznych 4
3 Potencjał odnawialnych źródeł energii 6
4 Co i jak możesz zastosować w swoim budynku 9
5 Wykorzystanie energii słonecznej do produkcji ciepła 13
6 Wykorzystanie biomasy do produkcji ciepła 36
7 Wykorzystanie ciepła z otoczenia – pompy ciepła 41
8 Wykorzystanie ogniw fotowoltaicznych do produkcji energii elektrycznej 46
9 Wykorzystanie energii wiatru 51
10 Małe elektrownie wodne 55
11 Działaj ekonomicznie – minimum ekonomii w Twoich decyzjach 61
12 Bibliografia 72

1 Wprowadzenie

Drogi Czytelniku

Liczymy na to, że ten poradnik dotrze do Ciebie i spotka się z Twoim zainteresowaniem.

Do kogo się zwracamy

Do milionów właścicieli , zarządców i deweloperów budynków. Do tych, którzy już mają budynki i zamierzają je modernizować, ale również do tych, którzy będą budować budynki mieszkalne, usługowe, użyteczności publicznej. Nie wszędzie można racjonalnie wykorzystać odnawialne źródła energii, nie wszyscy zdecydują się na taki krok. Ale jest coraz więcej zastosowań, nie tylko wprowadzonych przez entuzjastów, również przez tych, którzy podejmują ekonomiczne decyzje.

Ten poradnik w zasadzie kierujemy dla początkujących, dla tych, którzy pierwszy raz przymierzają się do systemów energetycznych budynków zasilanych z odnawialnych źródeł energii. Również do tych, którzy chcą poszerzyć wiedzę o możliwościach zastosowania odnawialnych źródeł energii w budynkach lub te wiedzę przekazać innym. Czyli do nauczycieli, wykładowców szkoleń lub wprost do uczniów i studentów.

Na pewno nie jest to pierwszy tego typu poradnik, ale być może pierwszy, który próbuje całościowo ująć tematykę zastosowania odnawialnych źródeł energii w budynkach i jest powszechnie dostępny na stronach internetowych.

Dlaczego zachęcamy do stosowania odnawialnych źródeł energii w budynkach

Rośnie nasza świadomość ekologiczna, coraz bardziej jesteśmy przekonani, że zrównoważony rozwój świata, krajów, miast i wsi to nasza potrzeba i obowiązek na rzecz przyszłych pokoleń.

Zasoby paliw kopalnych: węgla, gazu ziemnego, ropy naftowej itp. wystarczą jeszcze na 40 – 50 lat – węglowodorowe i na 200 – 300 lat węgiel. Ale zużywamy coraz więcej energii. Zrównoważoną gospodarkę energetyczną musimy oprzeć na bardziej efektywnym wykorzystaniu paliw i energii, na zwiększającym się udziale odnawialnych źródeł w zaopatrzeniu w paliwa i energię. W budynkach zużywa się coraz więcej energii, ponad 40% paliw i energii jest zużywanych w gospodarstwach domowych, czyli w budynkach mieszkalnych. Do tego dochodzi zużycie energii w budynkach usługowych, administracyjnych i użyteczności publicznej.

W budynkach paliwa i energię zużywa się na ogrzewanie pomieszczeń, przygotowanie ciepłej wody do użycia, oświetlenie, napędy sprzętu gospodarstwa domowego itp. Część energii w postaci ciepła i energii elektrycznej mogą dostarczyć odnawialne źródła energii. Polska jako członek Unii Europejskiej musi się dostosować do wspólnych przepisów prawnych i celów zwiększania udziału odnawialnych źródeł energii w produkcji energii elektrycznej i ciepła.

Na przykład musimy w Polsce osiągnąć 7,5% udział odnawialnych źródeł energii w bilansie zaopatrzenia kraju w paliwa pierwotne w 2010. Na razie mamy około 5% udział i wiele do zrobienia w krótkim czasie. Wiele możemy zrobić w budynkach. Wiele więc zależy od Ciebie.

Świadomość ekologiczna i społeczna – świadomością ale czy to jest opłacalne?

Oczywiście dobre pytanie, na które ma Ci odpowiedzieć i pomóc nasz poradnik.

W skrócie – odnawialne źródła energii w niektórych przypadkach mogą zmniejszyć Twoje rachunki za paliwa i energię. Bowiem:

- albo już są bardziej opłacalne od systemów energetycznych budynków opartych na kopalnych paliwach i energii przetworzonej z tych paliw,
- albo istnieją fundusze pomocowe dofinansowujące (dotacje, niskooprocentowane pożyczki) przedsięwzięcia odnawialnych źródeł energii.

Z drugiej strony musisz sobie zdawać sprawę, że systemy energetyczne w Twoim budynku mają żywotność 15 – 20 lat i więcej. W tym czasie na pewno drożeć będą nośniki energii jak: węgiel, gaz ziemny, energia elektryczna, olej opałowy i napędowy, benzyna itp.

A więc w rachunku ekonomicznym w cyklu żywotności urządzeń energetycznych budynków zwiększać się będzie opłacalność odnawialnych źródeł energii, bo:

- postęp technologiczny i rynkowy dostarczać będzie coraz tańszych urządzeń odnawialnych źródeł energii,
- drożeć będą paliwa i energia, być może nawet do 50 – 100% i może więcej.

Warto więc myśleć i działać na przyszłość.

Które technologie i urządzenia w budynkach

Poradnik skupia się na tych technologiach i urządzeniach odnawialnych źródeł energii, które z punktu widzenia technicznego mogą być zastosowane w budynkach, a z punktu widzenia ekonomicznego dzisiaj lub w przyszłości mogą być opłacalne w praktyce.
Dlatego też przedstawiamy:

- wykorzystanie energii promieniowania słonecznego do produkcji ciepła lub biernego ogrzewania budynków: wodne i powietrzne kolektory słoneczne oraz do produkcji energii elektrycznej w ogniwach fotowoltaicznych,
- wykorzystanie ciepła powierzchniowych (do 100 m w głąb) warstw gruntu i produkcję ciepła w pompach ciepła.

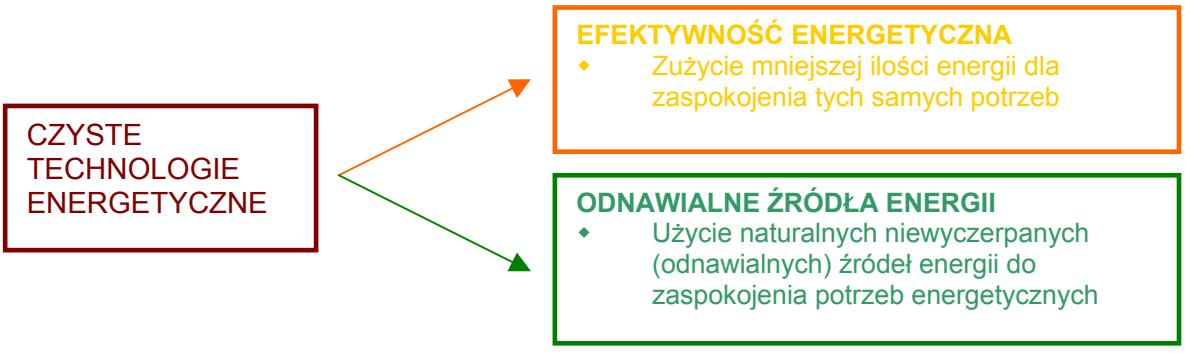
W tym poradniku przedstawiamy także możliwości wykorzystania energii wiatru w przybudynkowych siłowniach wiatrowych oraz wody jako mających szanse wykorzystania w budynkach, tak jak obiecywaliśmy przy okazji publikacji poprzedniej wersji poradnika.

Stawiamy na kompleksowość
Chcemy zaprezentować Ci poradnik ujmujący całościowo to co potrzebne jest w podejmowaniu decyzji inwestycyjnych, to jest:

- minimum techniki,
- energia – do czego zastosować,
- ekologia – jakie skutki korzystne dla środowiska,
- ekonomia – rachunek kosztów i efektów,
- finansowanie – ile kosztuje, skąd wziąć dofinansowanie.

2 Definicja Czystych Technologii Energetycznych

Pojęcie czyste technologie energetyczne obejmuje zarówno przedsięwzięcia poprawiające efektywność energetyczną, a więc zaspokojenie tych samych potrzeb mniejszą ilością energii oraz odnawialne źródła energii (OZE), które zastępują konwencjonalne nośniki energii.



Warto natomiast pamiętać, aby kolejność rozpatrywania przedsięwzięć z zakresu czystych technologii energetycznych zawsze w pierwszej kolejności obejmowała możliwość poprawy efektywności energetycznej (np. ocieplenie ścian i dachu budynku), a w następnej kolejności zastosowanie odnawialnych źródeł energii. Pozwoli to na zmniejszenie zapotrzebowania na energię, którą to mniejszą ilość można będzie w całości lub częściowo zastąpić energią odnawialną. Dzięki temu urządzenia wykorzystujące OZE będą mniejsze i oczywiście tańsze. Nie dojdzie też do sytuacji, w

której zainstalowana w budynku technologia OZE, w wyniku późniejszej jego termomodernizacji, będzie przewymiarowana przez co pogorszą się jej parametry pracy.

Poprawa efektywności energetycznej w budynkach może obejmować wiele zagadnień, a do najbardziej typowych należą:

- **termomodernizacja skorupy budynku** (ocieplenie ścian zewnętrznych, stropów i dachów, wymiana okien i drzwi, poprawa systemu wentylacji, itp.),
- **modernizacja instalacji ogrzewania i ciepłej wody** (wymiana źródła ciepła, wymiana grzejników, poprawa izolacji rur, montaż zaworów termostatycznych, montaż automatyki pogodowej i regulatorów w pomieszczeniach itp.),
- **modernizacja systemu wentylacji** (montaż nawiewników okiennych, montaż wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła, zastosowanie gruntowego wymiennika ciepła itp.),
- **wymiana oświetlenia na energooszczędne** (np. zmiana żarówek na świetlówki kompaktowe),
- **wymiana sprzętu AGD i biurowego na energooszczędny** o wysokiej klasie energetycznej.

Natomiast odnawialnymi źródłami energii nazywamy źródło energii wykorzystujące w procesie przetwarzania energię wiatru, promieniowania słonecznego, geotermalną, fal, prądów i pływów morskich, spadku rzek oraz energię pozyskiwaną z biomasy, biogazu wysypiskowego, a także z biogazu powstałego w procesach odprowadzania lub oczyszczania ścieków albo rozkładu składowanych szczątek roślinnych i zwierzęcych. Są to źródła niewyczerpalne (odnawialne) czyli takie, których zasoby odnawiają się same w wyniku procesów naturalnych. Ich przeciwieństwem jest energia konwencjonalna uzyskiwana z paliw kopalnych (wydobywanych z wnętrza ziemi, np. gaz ziemny, ropa, węgiel).

Odnawialne źródła energii to:

- **wiatr** – energia kinetyczna wiatru przetwarzana jest za pomocą turbin wiatrowych w energię elektryczną,
- **woda** – energia płynącej wody, spadku wody, fal morskich czy prądów oceanicznych wykorzystywana jest do produkcji energii elektrycznej,
- **słońce** – promieniowanie słoneczne wykorzystuje się do produkcji ciepła i energii elektrycznej,
- **biomasa** – drewno, trociny, słoma, zrębki drzewne, uprawy roślin energetycznych, biogaz z odpadów zwierzęcych i z przemysłu spożywczego itd. itp. wykorzystywane jako paliwo do wytwarzania energii cieplnej i elektrycznej,
- **geotermia** –wykorzystanie energii zgromadzonej w gruncie czy wodach podziemnych głównie do produkcji ciepła.

Cechy odnawialnych źródeł energii w stosunku do technologii konwencjonalnych:

- zwykle wyższy koszt początkowy
- generalnie niższe koszty eksploatacyjne
- przyjazne środowisku
- zwykle opłacalne ekonomicznie w oparciu o metodę obliczania kosztu w cyklu żywotności

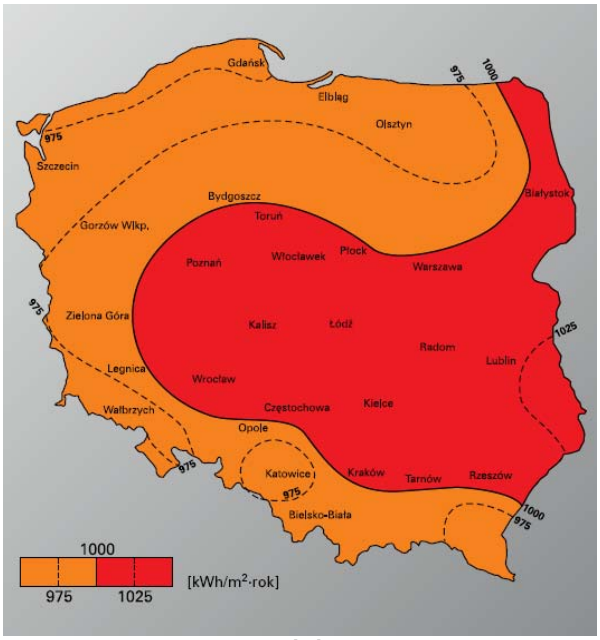
Powody stosowania odnawialnych źródeł energii

- **Środowiskowe** – każda oszczędność i zastąpienie energii i paliw konwencjonalnych (węgiel, ropa, gaz ziemny) energią odnawialną prowadzi do redukcji emisji substancji szkodliwych do atmosfery co wpływa na lokalne środowisko oraz przyczynia się do zmniejszenia globalnego efektu cieplarnianego.
- **Ekonomiczne** – technologie i urządzenia wykorzystujące odnawialne źródła energii, jak już zostało wspomniane, nie należą do najtańszych, chociaż dzięki dużemu rozwojowi tego rynku, ich ceny sukcesywnie maleją. Ich przewagą nad źródłami tradycyjnymi jest natomiast znacznie tańsza eksploatacja (np. energia słońca czy wiatru jest darmowa, podczas gdy ceny ropy i gazu nieustannie rosną). Z tego też powodu, patrząc w dłuższej perspektywie czasu, wiele z zastosowań OZE będzie opłacalne ekonomicznie. Nie bez znaczenia jest też możliwość ubiegania się o dofinansowanie takiego przedsięwzięcia z krajowych lub zagranicznych funduszy ekologicznych, które przede wszystkim preferują właśnie stosowanie OZE.

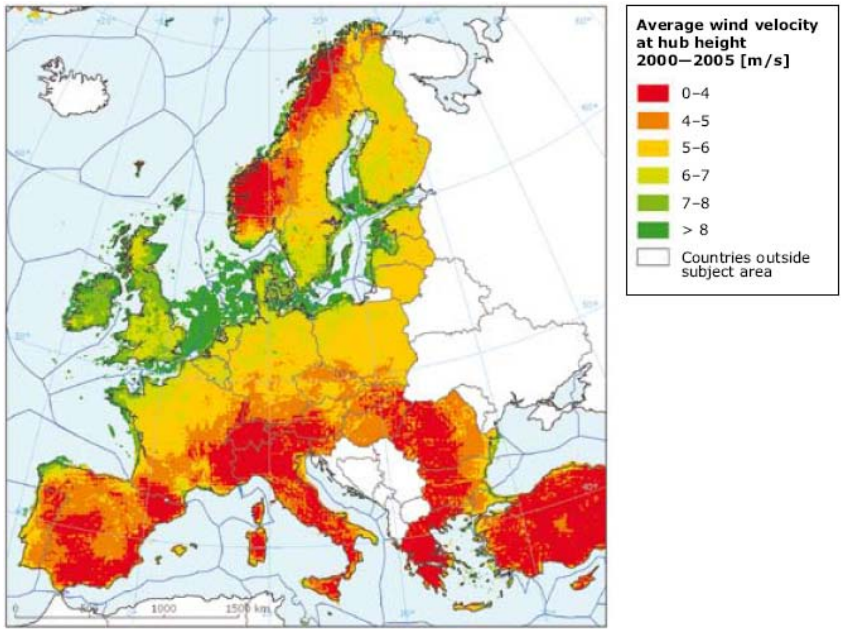
- **Społeczne** – rozwój rynku odnawialnych źródeł energii to praca dla wielu ludzi, zmniejszenie lokalnych wydatków na energię (np. wydatków gminy/miasta na utrzymanie własnych budynków) powoduje, że zaoszczędzone pieniądze można zainwestować w coś innego (np. w budowę ścieżek rowerowych), także rosnące zapotrzebowanie świata na energię i jednocześnie wyczerpujące się zasoby paliw tradycyjnych są powodem poszukiwania możliwości wykorzystania energii odnawialnych.
- **Prawne** – umowy międzynarodowe, zobowiązania niektórych krajów oraz Unii Europejskiej do ochrony klimatu Ziemi i produkcji części energii z energii odnawialnej, prawo krajowe narzucające obowiązki na wytwórców energii, projektantów budynków, deweloperów oraz właścicieli, wszystko to ma przyczynić się do wzrostu udziału OZE w produkcji energii na świecie.

3 Potencjał odnawialnych źródeł energii

Prawdą jest stwierdzenie, że odnawialne źródła energii są wszędzie. Czy to duże miasto, czy mała wieś słońce świeci, a wiatr wieje wszędzie. Jednak ilość tej energii (ilość dni słonecznych, natężenie promieniowania słonacznego, prędkość wiatru) w zależności od lokalizacji może być znacząco różna, a różnica ta jeszcze bardziej uwidacznia się w przypadku wody, biomasy czy geotermii. Odnawialne źródła energii charakteryzuje bowiem duża zmienność oferowanej przez nie energii w zależności od pory dnia i roku, warunków pogodowych czy lokalizacji geograficznej miejsca ich pozyskiwania. Nie trudno zgadnąć, że w pochmurny zimowy dzień kolektory słoneczne wyprodukują mniej energii niż w środku lata przy bezchmurnym niebie. Poniżej dwa przykładowe rysunki pokazujące te różnice.



Rysunek 1. **Promieniowanie słoneczne w Polsce** (źródło: Viessmann: Zeszyty fachowe)



Rysunek 2. **Średnie prędkości wiatru w Europie** *(źródło: EEA Technical report „Europe's onshore and offshore wind energy potential")*

Mówiąc bowiem o dostępności odnawialnych źródeł energii powinniśmy mieć na myśli takie ich zasoby, które nie są jedynie teoretycznie dostępnymi, ani nawet możliwymi do pozyskania i wykorzystania przy obecnym stanie techniki, ale takimi, których pozyskanie i wykorzystanie będzie opłacalne ekonomicznie. Takie podejście sprawia, że wykorzystywane zasoby energii odnawialnej (te obecne jak i przyszłe) są dużo mniejsze od zasobów teoretycznych co obrazuje poniższy rysunek.

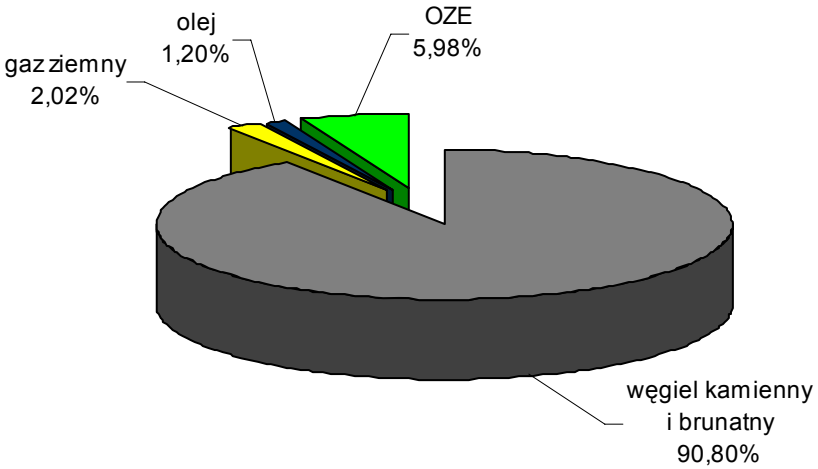
Rysunek 3. **Różnica potencjałów dostępności zasobów odnawialnych źródeł energii**

Z tego powodu potencjał teoretyczny ma małe znaczenie praktyczne i w większości opracowań oraz prognoz wykorzystuje się potencjał techniczny. Określa on ilość energii, którą można pozyskać z zasobów krajowych za pomocą najlepszych technologii przetwarzania energii ze źródeł odnawialnych w jej formy końcowe (ciepło, energia elektryczna), ale przy uwzględnieniu ograniczeń przestrzennych i środowiskowych. Jednym z takich ograniczeń są obszary NATURA 2000, które wg informacji Ministerstwa Środowiska zajmą docelowo 18% powierzchni naszego kraju. Obszary te zostały utworzone w celu ochrony zagrożonych wyginięciem siedlisk przyrodniczych oraz gatunków roślin i zwierząt. Obszary NATURA 2000 często obejmują tereny rolne oraz doliny rzeczne, a więc wpływają

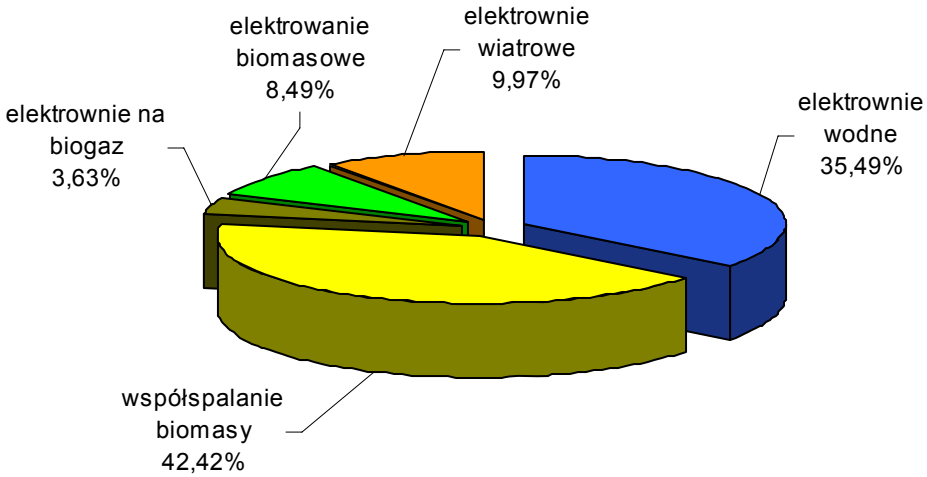
na możliwości wykorzystania energii wiatru i wody, co oczywiście nie powinno stać się powodem ograniczania czy likwidacji tychże obszarów. Przecież głównym celem stosowania OZE jest ochrona środowiska, a nie jego niszczenie.

Szacowany potencjał odnawialnych źródeł energii w Polsce jednoznacznie wskazuje, na najwyższy udział w tym zestawieniu energii wiatru oraz biomasy, przy czym wykorzystuje się obecnie około 20% tego potencjału.

Udział produkcji energii ze źródeł odnawialnych też nie jest najwyższy. Polska zobligowana jest różnymi umowami międzynarodowymi do produkcji 7,5% energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych na koniec 2010 roku. Tymczasem (grudzień 2009) udział ten wynosi niespełna 6%, przy czym znaczna cześć tej energii produkowana jest w elektrowniach wodnych oraz poprzez współspalanie biomasy z węglem w elektrowniach zawodowych i przemysłowych.



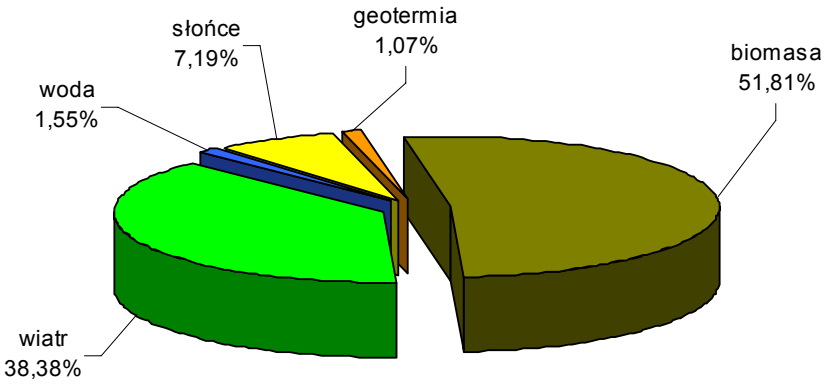
Rysunek 4. **Struktura produkcji energii elektrycznej w polskim systemie elektroenergetycznym.**



Rysunek 5. **Udział poszczególnych technologii OZE w produkcji energii elektrycznej w Polsce.**

Widać więc, że jest jeszcze sporo do zrobienia, a analizy ekspertów pokazują, że potencjał odnawialnych źródeł energii w naszym kraju jest nie mały. Największą szansę we wzroście udziału OZE w produkcji energii w Polsce upatruje się w energii wiatru oraz biomasie.

Wyniki prognoz na rok 2020 potwierdzają to założenie.



Rysunek 6. **Szacowany na 2020 rok, udział poszczególnych źródeł odnawialnych w produkcji energii w Polsce.**

4 Co i jak możesz zastosować w swoim budynku

W celu określenia możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii (OZE) przede wszystkim należy zdać sobie sprawę jakie potrzeby energetyczne obecnie mamy oraz jakie przewidujemy w perspektywie kilku najbliższych lat.
Działania związane z gospodarką energetyczną budynków to działania głównie nastawione na długoterminowy cykl żywotności, np. dla kotłów ok. 20 lat. Z tego też względu poprawny wybór technologii i dobór urządzeń ma tak ogromne znaczenie już na etapie podejmowania pierwszych decyzji.
Za komfort użytkowania energii trzeba płacić i obserwując sytuację na rynku paliw i energii płacić coraz więcej. W obecnej chwili mamy do czynienia z dużą niepewnością cen głównie dla paliw i ich pochodnych importowanych z zagranicy, jak ropa naftowa czy gaz ziemny. Należy jednak przypuszczać, że ceny węgla w najbliższych również zaczną znacząco wzrastać, dlatego też istotnym jest stopniowe uniezależnienie się od tego typu źródeł energii i sposobem na to jest wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii. Przy obecnych cenach energii i paliw oraz wysokich kosztach inwestycyjnych technologii wykorzystujących OZE, analizy opłacalności często nie wykazują dodatniego efektu ekonomicznego lub jest on niski. Mając jednak w perspektywie wzrost cen nośników i prawdopodobny spadek kosztów inwestycyjnych technologii OZE, należy się spodziewać, że opłacalność rzeczowych inwestycji zacznie wzrastać z roku na rok.
Wysokie koszty energii są również wynikiem jej nadmiernego zużycia, co najczęściej dotyczy budynków użyteczności publicznej, ale nie tylko. Przyjrzyjmy się najpierw jakie i do jakich celów najczęściej zużywane są nośniki energii w budynkach.

Tabela 1. **Rodzaje nośników energii oraz sposoby ich wykorzystania**

Energia elektryczna	**Ciepło sieciowe**	**Gaz ziemny**	**Paliwa stałe i ciekłe** (węgiel, koks, olej opałowy, gaz LPG)
• oświetlenie • napędy • sprzęt biurowy • gotowanie • ogrzewanie • przygotowanie c.w.u. • inne	• przygotowanie c.w.u. • ogrzewanie pomieszczeń	• ogrzewanie pomieszczeń • przygotowanie c.w.u. • gotowanie	• ogrzewanie pomieszczeń • przygotowanie c.w.u. • gotowanie

Różne typy budynków i obiektów cechują się odmiennymi potrzebami, wynikającymi przede wszystkim z różnic związanych z charakterem użytkowania, a którymi należy się kierować podejmując decyzje o wyborze takiej czy innej technologii. Inne potrzeby energetyczne posiada budynek administracyjny (np. urząd miasta), inne budynek edukacyjny (szkoła, przedszkole), a jeszcze inne szpital, obiekt sportowy czy też budynek mieszkalny.
W celu określenia charakterystycznych potrzeb energetycznych dla różnych typów obiektów wprowadzono podział dla kilku głównych i najczęściej spotykanych grup budynków, czyli:

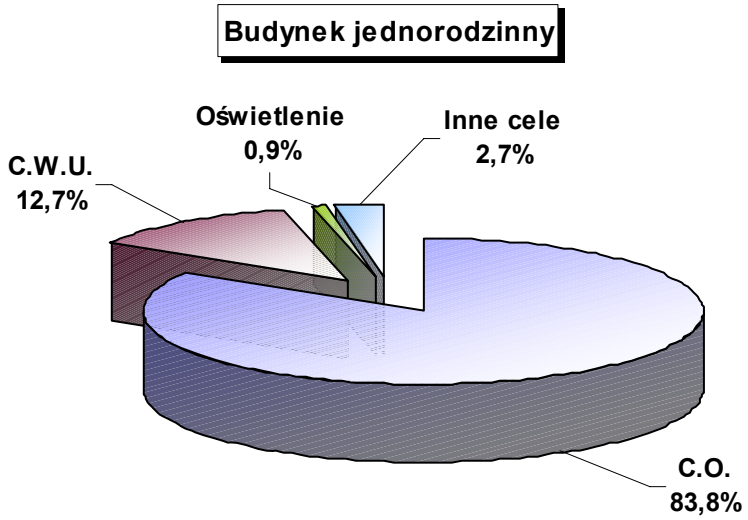
a. budynki mieszkalne:
    - jednorodzinne,
    - wielorodzinne,
b. budynki użyteczności publicznej – szkoła.

Niestety zastosowanie takiego podziału pozwoli nam jedynie na przybliżone określenie struktury zużycia energii w danym typie obiektu. Nie trudno bowiem wyobrazić sobie różnicę w zużyciu energii na poszczególne cele w szkole z basenem i stołówką i w szkole bez pływalni, w której nie przygotowuje się posiłków. Tak więc ilość i przeznaczenie zużywanych w obiekcie paliw i energii jest sprawą mocno indywidualną i zależy od specyfiki użytkowania każdego z obiektów.

Budynki mieszkalne jednorodzinne stanowią chyba najwdzięczniejszą grupę ze wszystkich pozostałych. Dlaczego? Przede wszystkim dlatego, że za decyzje podejmowane przy wyborach inwestycyjnych odpowiada jeden podmiot, którym zazwyczaj jest właściciel. Tak więc w takiej sytuacji oprócz warunków technicznych, jedynymi ograniczeniami ze strony inwestora są jego możliwości finansowe. Celem tego poradnika jest pomoc w podejmowaniu trafnych decyzji inwestycyjnych, tak aby dobór technologii był jak najlepiej dopasowany do rodzaju potrzeb energetycznych oraz ich wielkości.
Potrzeby energetyczne budynku mieszkalnego jednorodzinnego można podzielić na kilka podstawowych grup:

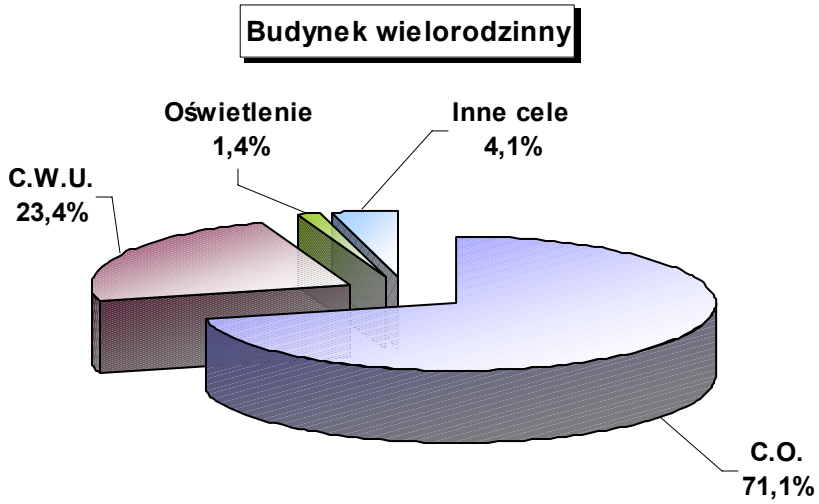
a. ogrzewanie pomieszczeń (c.o.),
b. przygotowanie ciepłej wody użytkowej (c.w.u.),
c. oświetlenie,
d. potrzeby bytowe (gotowanie, inne urządzenia elektryczne).

Powyższe rodzaje potrzeb energetycznych różnią się nie tylko sposobem ich zaspokajania (energia elektryczna, gaz, paliwa stałe, itp.) ale także wielkością zapotrzebowania na energię, wielkością mocy oraz czasem ich występowania zarówno w cyklu dobowym jak i rocznym.
Tak więc ogrzewanie w sposób naturalny występuje w okresie zimowym podczas gdy np. przygotowanie c.w.u. występuje prawie niezmiennie w ciągu roku. Również bardzo trudno jest dopasować jedno urządzenie, które może zaspokoić oba typy potrzeb przez cały rok bez utraty sprawności. Problem ten dotyczy zarówno urządzeń konwencjonalnych jak i wykorzystujących zasoby OZE. Inny przykład stanowią urządzenia zasilane energią elektryczną jak np. oświetlenie, gdzie już sam rodzaj dostarczanej energii stwarza ograniczenia w doborze alternatywnej technologii umożliwiającej prace takich urządzeń i w sposób zdecydowany zawęża obszar wyboru technologii. W przypadku celów bytowych oraz zasilania urządzeń powszechnego użytku głównymi nośnikami energii wykorzystywanymi do ich pokrywania są nośniki sieciowe, jak: energia elektryczna czy gaz sieciowy oraz rzadziej zwłaszcza do gotowania: gaz płynny LPG i paliwa stałe. Do tej pory dosyć powszechnym zjawiskiem, zwłaszcza na wsiach jest wykorzystywanie biomasy w postaci drewna i odpadów drzewnych do przygotowywania posiłków. Wynika to raczej z braku technicznych możliwości podłączenia do sieci gazowej oraz łatwej dostępności i niskiej ceny drewna a nie świadomej chęci korzystania z odnawialnych źródeł energii jakim jest biomasa.
Jak już wspomniano dobór urządzeń i technologii uzależniony jest od kilku czynników, najbardziej przydatnym wskaźnikiem dla projektanta są zapotrzebowanie na energię oraz moc niezbędne do zaspokojenia określonych potrzeb, a także struktura zużycia energii na poszczególne cele w całkowitym zużyciu energii.
Na poniższych wykresach przedstawiono strukturę zużycia energii na różne cele dla przykładowego budynku mieszkalne jednorodzinnego.



Rysunek 7. **Struktura zużycia energii na poszczególne cele w budynkach jednorodzinnych**

Budynki mieszkalne wielorodzinne cechują się podobnymi parametrami potrzeb energetycznych jak budynki jednorodzinne, co wynika przede wszystkim z takich samych potrzeb oraz rozkładu tych potrzeb w czasie, czyli od charakteru użytkowania. Podstawową różnicą występującą pomiędzy budynkami jedno i wielorodzinnymi to powierzchnia tych budynków, a więc można przyjąć, że powierzchnia średniego mieszkania w budynku wielorodzinnym jest dwu a nawet trzykrotnie większa przy podobnej liczbie mieszkańców. Mniejsza powierzchnia mieszkań w budownictwie wielorodzinnym to również mniejsze zużycie ciepła na ich ogrzewanie w stosunku do innych potrzeb. Sposób zaspakajania potrzeb w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych jest również podobny jak w budynkach jednorodzinnych, choć zdecydowanie częściej tego typu budynki podłączone są do sieci ciepłowniczych. Rzadziej jako podstawowe źródło ciepła stosuje się obecnie paliwa stałe, choć problem ten nadal występuje i dotyczy głównie ogrzewania piecowego.



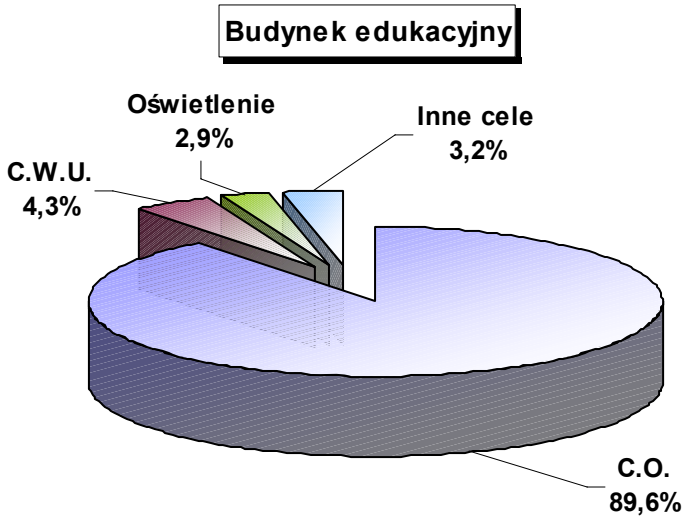
Rysunek 8. **Struktura zużycia energii na poszczególne cele w budynkach wielorodzinnych**

W przypadku budynków wielorodzinnych występuje jedna podstawowa różnica w stosunku do budynków jednorodzinnych, mianowicie często decyzje o inwestycjach nie zależą od woli użytkowników, np. w sytuacji gdy mamy do czynienia ze spółdzielniami mieszkaniowymi, lub rozbieżność zdań wśród najemców i współwłaścicieli stwarza niemożliwe do sforsowania bariery,

często mentalne, jak np. występuje we wspólnotach mieszkaniowych. Z kolei przewagą budownictwa wielorodzinnego nad jednorodzinnym są istniejące na krajowym rynku systemy wspierania przedsięwzięć energetycznych w tym technologii OZE, mniej lub bardziej atrakcyjne, ale są, czego praktycznie nie można powiedzieć o budynkach indywidualnych, jednorodzinnych.

Budynki użyteczności publicznej to przede wszystkim budynki utrzymywane z budżetów jednostek samorządowych: wojewódzkich, powiatowych i gminnych, a więc głównie dotyczy to obiektów typu: szkoły, przedszkola, szpitale i przychodnie, budynki administracyjne, obiekty kulturalne i sportowe itp. Jak widać jest bardzo szeroki wachlarz typów obiektów, a więc również bardzo zróżnicowane struktury pokrywania potrzeb energetycznych. Na temat każdego z tych typów obiektów zapewne można by było stworzyć oddzielny poradnik jak w nich zarządzać energią i jakie technologię OZE można w nich zastosować. Praktycznie w celu prawidłowego oszacowania wielkości i rodzaju potrzeb energetycznych w konkretnych budynkach, a nawet nie obiektach należałoby odwołać się do przeprowadzenia pełnego audytu energetycznego.

Biorąc „pod lupę" najbardziej rozpowszechnioną grupę budynków użyteczności publicznej, jakimi są szkoły, mamy do czynienia z tak dużymi rozbieżnościami, że trudno jest przedstawić przybliżoną strukturę potrzeb energetycznych. Często mamy do czynienia z sytuacją, że w budynkach tych ciepła woda użytkowa nie jest przygotowywana w ogóle, czasami jedynie w kuchni, a czasami jest jej przygotowywanej bardzo dużo np. w obiektach, w których znajduje się pływalnia. Na podstawie kilkunastu audytów energetycznych sporządzono uśrednioną strukturę zużycia energii na poszczególne cele, należy się jednak liczyć z faktem, że w szerzej stosowanych układach przygotowania ciepłej wody udział tego typu potrzeb w ogólnej strukturze zużycia energii może być nieco większy.



Rysunek 9. **Struktura zużycia energii na poszczególne cele w budynkach edukacyjnych – przykład szkoły**

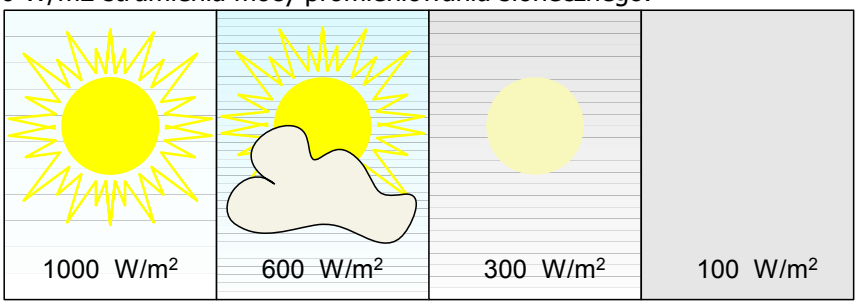
Trudno jest ocenić na wyczucie jakie przedsięwzięcia są opłacalne w konkretnym obiekcie a jakie nie. Dlatego, aby się dowiedzieć dokładnie najlepszym rozwiązaniem jest skorzystanie usługi fachowca, który sporządzi audyt energetyczny budynku. Zanim jednak wyda się pieniądze na audytora warto samemu przeprowadzić wstępną, uproszczoną analizę, która pozwoli na oszacowanie potencjału zmian zużycia energii, opłacalności inwestycji oraz efektu ekologicznego, możliwych do osiągnięcia w wyniku zastosowania technologii wykorzystujących OZE. Ponadto otrzymana w wyniku obliczeń wiedza pozwoli osobie odpowiedzialnej za podejmowanie istotnych decyzji zabrać głos w dyskusji między audytorem, projektantem, czy też nawet dystrybutorem danego typu technologii próbującego przedstawić swój produkt jako najlepszy i idealnie dopasowany do naszych potrzeb, a co jak pokazuje życie nie zawsze jest prawdziwe.

Jak już wiadomo największy udział w pokryciu potrzeb energetycznych stanowią: ogrzewanie pomieszczeń i przygotowanie c.w.u..

5 Wykorzystanie energii słonecznej do produkcji ciepła

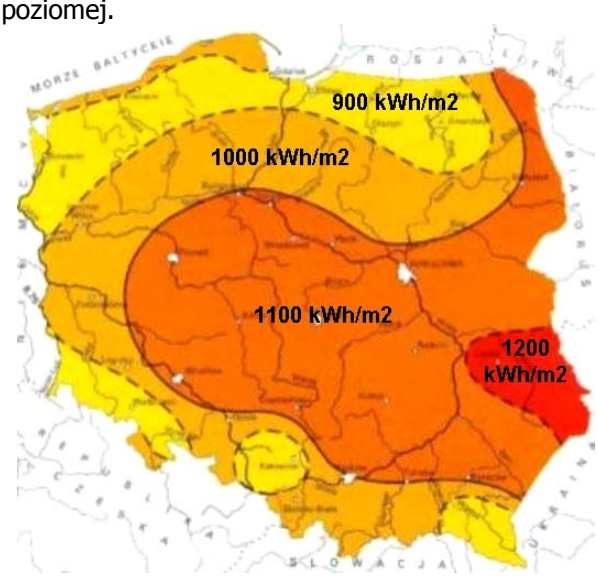
Aktywne wykorzystanie promieniowania słonecznego

Już 5 minut promieniowania słonecznego na powierzchnię Ziemi odpowiada rocznemu zużyciu energii na całym świecie. Słońce dostarcza Ziemi energię od 5 milionów lat i będzie to czynić przez następnych 5 miliardów lat. Ilość tej energii nie jest jednak jednakowa dla każdego miejsca na naszym globie. Dodatkowo ilość energii słońca docierająca do powierzchni ziemi zależy od lokalnych warunków pogodowych np. od ilości dni bezchmurnych w ciągu roku i w związku z tym może docierać do powierzchni Ziemi jako promieniowanie bezpośrednie lub dyfuzyjne. Promieniowanie dyfuzyjne powstaje w wyniku rozpraszania, odbijania i załamywania promieniowania słonecznego na chmurach i cząsteczkach zawartych w powietrzu. Pomimo tego promieniowanie dyfuzyjne jest, z punktu widzenia techniki solarnej, promieniowaniem użytecznym. I tak w ciągu pochmurnego dnia, gdy promieniowanie dyfuzyjne stanowi powyżej 80% promieniowania całkowitego, ciągle możemy zmierzyć do 300 W/m2 strumienia mocy promieniowania słonecznego.



Rysunek 10. **Moc promieniowania słonecznego w zależności od stopnia zachmurzenia**

W Polsce, w zależności od miejsca, słońce dostarcza w ciągu roku od 900 kWh do 1200 kWh energii na każdy m^2 powierzchni poziomej.



Rysunek 11. **Rozkład ilości promieniowania słonecznego na obszarze Polski** *(źródło: www.cire.pl)*

W uproszczeniu przyjmuje się, że średnio w Polsce do 1 m^2 powierzchni dociera w ciągu roku 1000 kWh energii słonecznej, co odpowiada energii zawartej w 100 litrach oleju opałowego. Nie jest to ilość mała, ale i nie na tyle duża aby w 100% pokryć zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania naszych domów, zwłaszcza, że efektywnie można wykorzystać 30 – 50% rocznego promieniowania słonecznego. Z tego względu instalacje solarne w Polsce służą głównie do celów

przygotowania ciepłej wody użytkowej i sporadycznie jako wspomaganie systemu ogrzewania. Do obliczeń konkretnych przypadków instalacji solarnych należy przyjmować dokładne wartości promieniowania słonecznego dla danej lokalizacji.

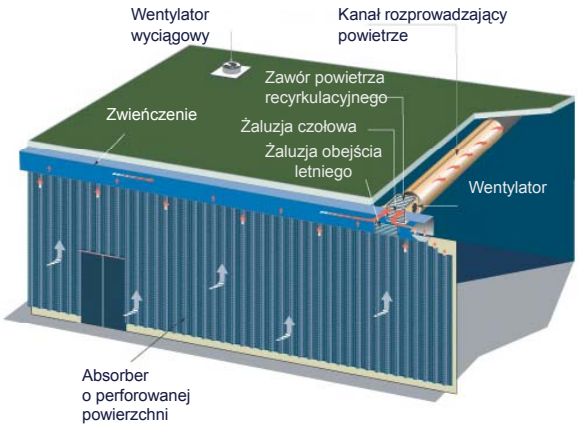
Jak przetworzyć energię promieniowania słonecznego na efekt użyteczny?

Powietrzne kolektory słoneczne

W Polsce powietrzne kolektory słoneczne są jak dotąd mało rozpowszechnioną technologią. Oparte o nie systemy solarnego podgrzewania powietrza (SPP) wykorzystują energię promieniowania słonecznego do podgrzewania powietrza. Ogrzane w ten sposób powietrze można wykorzystać do wentylacji budynku lub do procesów technologicznych, które wymagają ciepłego powietrza takich jak np. suszenie. Ponieważ słońce nie świeci na Ziemi przez cały czas jednakowo intensywnie, systemy solarnego podgrzewania powietrza zazwyczaj dostarczają jedynie pewną część energii wymaganej do ogrzania powietrza wentylacyjnego lub technologicznego. W ten sposób systemy te pozwalają na zmniejszenie zapotrzebowania na energię konwencjonalną, pochodzącą np. z gazu zimnego czy oleju opałowego, przez co generują znaczne oszczędności.

Korzyści wynikające z solarnego podgrzewania powietrza nie dotyczą tylko podgrzewu powietrza. Tego typu systemy solarne równocześnie spełniają funkcję układów zwiększających odporność budynku na warunki pogodowe. Kolektor słoneczny stanowi zwykle pomalowana na ciemny kolor płyta stalowa lub aluminiowa, w której wykonano perforację w postaci bardzo drobnych, regularnie rozmieszczonych otworków. Woda, która może przedostać się poprzez te otworki spływa po wewnętrznej powierzchni osłony i wypływa dołem. Nie wykonuje się szklenia, a konstrukcja kolektora jest prosta i stabilna.

System solarnego podgrzewania powietrza obejmuje szczelinę powietrzną pomiędzy osłoną zewnętrzną a ścianą budynku. Szczelina ta stanowi równocześnie dodatkową izolację budynku. Ponadto, dzięki temu, że w szczelinie gromadzi się ogrzane ciepłem słonecznym powietrze, ciepło uchodzące przez ścianę budynku w większym stopniu podlega rekuperacji niż ucieka na zewnątrz. Z tego względu systemy SPP zmniejszają straty ciepła przez ściany, na których są zainstalowane.



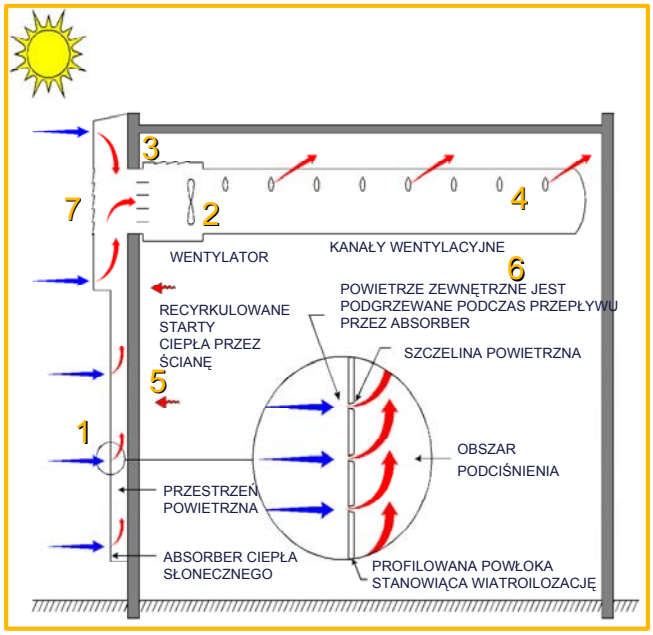
Rysunek 12. **Elementy systemu solarnego podgrzewania powietrza** *(źródło: RETScreen)*

W budynkach przemysłowych o dużej kubaturze, ciepłe powietrze często gromadzi się pod stropem, a poniżej zalegają kolejne warstwy coraz chłodniejszego powietrza. Tam, gdzie występuje takie zjawisko stratyfikacji, dochodzi do strat ciepła przez dach budynku, przy czym równocześnie osoby pracujące na poziomie podłogi odczuwają chłód. Solarny układ podgrzewania powietrza może wykorzystać ciepło nagromadzone pod stropem i ograniczyć zjawisko stratyfikacji.
Dodatkowo w wielu budynkach obserwuje się niekorzystne zjawisko podciśnienia, co wynika z tego, że układy wentylacji wyprowadzają więcej powietrza niż dopływa go przez wloty. Rezultatem tego jest infiltracja zimnego powietrza i powstawanie przeciągów i przewiewów w korytarzach. Dodatkowo, solarne podgrzewanie może wyeliminować ten problem.

Działanie systemu SPP

Pomimo tego, że zasada działania systemu SPP jest bardzo prosta, to zapewnia ona konwersję od 50 do 80% chwilowej energii słonecznej na ciepło użyteczne.
Solarny system podgrzewania składa się ze stosunkowo niewielkiej liczby podzespołów. Zawiera ciemnej barwy, perforowany kolektor, często zainstalowany na ścianie jako osłona pogodowa. Kolektor jest wykonany ze stali lub z aluminium, nie posiada powłoki szklanej, a jego wykonanie jest niezbyt kosztowne i proste. Za osłoną znajduje się szczelina powietrzna, dzięki której możliwy jest ruch powietrza ku górze, do sklepienia, które równomiernie odbiera powietrze płynące wzdłuż ściany. Przepływ powietrza jest wymuszany przez wentylator, natomiast dystrybucja powietrza wokół i w budynku następuje poprzez kanały wentylacyjne.

Poszczególne elementy składowe systemu pracują w opisany poniżej sposób.
Najpierw, światło słoneczne operuje na kolektor ogrzewający powietrze, który, dzięki swej ciemnej barwie, absorbuje promieniowanie i nagrzewa się. Powietrze znajdujące się blisko kolektora również się ogrzewa.
Następnie, wentylator zasysa powietrze z zewnątrz poprzez perforację w kolektorze, do przestrzeni (szczeliny) i do sklepienia systemu. Należy zauważyć, ze zawarte w powietrzu będącym blisko kolektora ciepło, które inaczej byłoby tracone przez konwekcję, jest doprowadzane do budynku. Ponadto temperatura kolektora ustala się stosunkowo blisko temperatury otoczenia (powietrza), co dodatkowo zmniejsza straty ciepła. Są to zasadnicze powody, dla których nieoszklony kolektor działa tak efektywnie.
Po trzecie, urządzenia kontrolne regulują temperaturę powietrza wpływającego do budynku. Te urządzenia mogą również nastawiać stopień zmieszania powietrza recyrkulowanego i powietrza podgrzanego w systemie solarnym, a także regulować moc dodatkowej nagrzewnicy, zazwyczaj zasilanej gazem, olejem lub energią elektryczną.
Po czwarte, powietrze jest rozprowadzane w budynku poprzez kanały powietrzne.
Należy zauważyć, że ciepło uchodzące przez ścianę budynku (nr 5 na schemacie powyżej), dopływa do powietrza zasysanego z powrotem do budynku. W efekcie, o około 50% zmniejszają się straty ciepła przez ścianę.



Rysunek 13. **Schemat działania kolektorów słonecznych powietrznych** *(źródło: RETScreen)*

W budynkach, w których występuje stratyfikacja, temperatura powietrza rozprowadzanego wokół stropu, może być mniejsza od wymaganej wewnętrznej temperatury powietrza. Kiedy to chłodniejsze powietrze miesza się z górnymi warstwami gorącego powietrza, powstająca w ten sposób

mieszanina osiąga wymaganą temperaturę. Pozwala to na wykorzystanie ciepła, które w przeciwnym razie byłoby rozpraszane poprzez strop lub przez zamontowane wydmuchowe wentylatory dachowe. Natomiast żaluzja obejściowa w sklepieniu pozwala na to, aby niepodgrzane powietrze dopływało w lecie do systemu wentylacyjnego, kiedy to podgrzewanie nie jest wymagane.

Zwykle stosuje się jeden z dwóch systemów wentylacji w budynkach komercyjnych i mieszkalnych.

W budynkach mieszkalnych i w szkołach na ogół stosuje się układy wentylacyjne, które działają niezależnie od układów ogrzewania i chłodzenia zainstalowanych w budynku. Takie układy wentylacyjne są odpowiedzialne tylko za odświeżanie powietrza w budynku. W innych budynkach mogą znajdować się układy kombinowane: wentylacyjne i grzewcze lub chłodzące. Kanały powietrzne służą do rozprowadzania powietrza ogrzanego lub schłodzonego, z czego 10-20% stanowi powietrze świeże. Solarne podgrzewanie powietrza można zastosować w połączeniu z każdym z tych systemów.

W budynkach komercyjnych i mieszkalnych, solarne podgrzewanie powietrza zwykle nie wymaga instalowania dodatkowych wentylatorów i kanałów wentylacyjnych. Sklepienie ponad kolektorem solarnym jest połączone kanałem bezpośrednio z wlotu powietrza układu konwencjonalnego. Powietrze o stałym przepływie jest zasysane poprzez kolektor. Wrezultacie podnosi się temperatura powietrza wpływającego do wlotu, dzięki czemu zmniejsza się zapotrzebowanie na ciepło z ogrzewania konwencjonalnego, wykorzystywane do podwyższenia temperatury powietrza do poziomu zapewniającego komfort użytkownikom budynku. Zastosowanie SPP wiąże się zatem z niskim kosztem samego urządzenia (systemu) i kosztami materiałowymi, a układ można łatwo zintegrować z konwencjonalnymi układami wentylacyjnymi.

Zamierzeniem stosowania solarnego systemu podgrzewania powietrza w budynku komercyjnym lub mieszkalnym nie jest zapewnienie braku stratyfikacji powietrza, powietrze w takich budynkach jest zwykle dobrze wymieszane, a stropy są stosunkowo niskie, tak że stratyfikacja rzadko stanowi tutaj problem.

Poprzez podwyższenie temperatury powietrza dopływającego do konwencjonalnego układu wentylacyjnego, system SPP umożliwia układowi regulacyjnemu w obiegu ekonomizera energii na doprowadzenie większej ilości świeżego powietrza, co może poprawić jakość powietrza wewnątrz budynku. Obieg podgrzewacza realizuje strategię eksploatacyjną w budynku, poprzez stosowanie powietrza świeżego do chłodzenia budynku wtedy, kiedy temperatura powietrza na zewnątrz jest niższa od temperatury powietrza wyprowadzanego z wnętrza budynku. Stanowi to oszczędność energii w porównaniu z eksploatacja mechanicznego układu chłodzenia. Kiedy temperatura powietrza na zewnątrz jest niska, obieg ekonomizera miesza powietrze świeże z powietrzem recyrkulowanym w budynku, w celu uzyskania wymaganej temperatury. Im niższa jest temperatura zewnętrzna, tym mniej stosuje się świeżego powietrza.

Solarne podgrzewanie powietrza ma sens tylko wówczas, gdy ciepło jest generowane wtedy, kiedy jest faktycznie potrzebne. Z tego względu niektóre osoby wątpią w użyteczność tej techniki, ponieważ zakładają, że ciepło jest potrzebne zimą, a wtedy światło słoneczne jest mniej dostępne. Jednak jak pokazała praktyka, już niewielkie ilości słońca mogą znacznie ograniczyć ilość energii potrzebnej na podgrzanie powietrza wentylacyjnego, także w warunkach polskich.

Korzyści i oszczędności systemów SPP

Zakup i instalacja solarnego systemu podgrzewania powietrza wiąże się z pewnymi kosztami, ale i generowanymi korzyściami. Zarówno koszty jak i korzyści można wyrazić w wyniku prostej analizy, w jednostkach na metr kwadratowy kolektora. Solarny system podgrzewania powietrza wymaga niewiele lub wcale nie wymaga czynności utrzymania, co ogranicza ich koszty. Z drugiej jednak strony, systemy te generują roczne oszczędności poprzez zmniejszenie wydatków na paliwo.

W większości instalacji jeden metr kwadratowy kolektora wygeneruje pomiędzy 1 a 3 GJ użytecznego ciepła rocznie. To ciepło pochodzące z energii słonecznej zmniejsza zapotrzebowanie na ciepło konwencjonalne, wytwarzane zwykle w oparciu o gaz ziemny, węgiel czy energię elektryczną. Cena

jednostkowa ciepła dla każdego z tych nośników zmienia się w funkcji czasu i w zależności od lokalizacji.
Na przykład gaz ziemny, tam gdzie jest dostępny, generalnie kosztuje pomiędzy 1,2 a 1,7 zł/m3. Jeśli przyjąć wydajność cieplną typowego solarnego systemu podgrzewania powietrza na poziomie 2 GJ/m2 rocznie i jeśli przyjąć pewne uzasadnione założenia dotyczące sprawności konwencjonalnych układów grzewczych, to można wyliczyć roczne oszczędności w zakresie kosztów w przeliczeniu na metr kwadratowy kolektora. I tak metr kwadratowy kolektora pozwala zaoszczędzić od 30 do 90 zł rocznie jeśli zastępuje ogrzewanie gazowe, od 10 do 40 zł rocznie jeśli zastępuje ogrzewanie węglowe oraz od 60 do 110 zł rocznie jeśli zmniejsza zużycie energii elektrycznej.
Jaki jest koszt metra kwadratowego kolektora? Zakup i instalacja kolektora kosztuje pomiędzy 300 a 800 zł za metr kwadratowy. Zależy to od lokalizacji i wielkości kolektora oraz szczególnych cech budynku. Modyfikacja systemu wentylacji na ogół nie jest wymagana, ale w niektórych sytuacjach może stanowić dodatkowe 300 zł na metr kwadratowy kolektora. Tak więc całkowity koszt kolektora wynosi od 600 do 1100 zł za metr kwadratowy. Ale należy zaznaczyć że kolektor zastępuje tradycyjne wykańczanie elewacji, a zatem koszty materiałów i robocizny tego sposobu należy odjąć od kosztów całkowitych dotyczących kolektora. Te oszczędności stanowią od jednej trzeciej do połowy kosztów zakupu i instalacji kolektora. A zatem koszt netto systemu solarnego będzie zawierać się w przedziale od 300 do 550 zł za metr kwadratowy kolektora, przy czym dla większości instalacji koszt mieszczą się w dolnym zakresie tego przedziału.
Porównanie kosztów początkowych z oszczędnościami rocznymi uwidacznia typowy prosty okres zwrotu wynoszący od dwóch do pięciu lat. Ponadto, solarne systemy podgrzewania mają trwałość sięgającą dziesięcioleci i generują oszczędności rok w rok również po okresie zwrotu nakładów wstępnych.

Uwarunkowania systemów SPP

Solarne podgrzewanie powietrza jest najbardziej efektywne, kiedy instaluje się go w nowym budynku. Dzięki temu kolektor zastępuje niektóre formy wykańczania budynku, redukując w ten sposób koszty netto samego systemu. Ponadto, układ wentylacyjny budynku można zaprojektować i zainstalować w sposób umożliwiający jego integrację z systemem solarnym, przez co unika się budowy dodatkowych kanałów powietrza i wentylatorów.

Następnym najbardziej efektywnym zastosowaniem SPP jest modernizacja, umotywowana potrzebą renowacji lub naprawy istniejącej ściany zewnętrznej, poprawy jakości powietrza wewnątrz budynku lub wyeliminowania problemów z podciśnieniem. W takiej sytuacji system solarny zastąpi niektóre koszty renowacji zewnętrznej, ale może wymagać niewielkich modyfikacji istniejącego układu wentylacji. Jeśli koszt energii jest wysoki, solarne podgrzewanie powietrza może być finansowo korzystne jako składnik modernizacji, lub jako źródło ciepła procesowego, tylko dzięki wnoszonym korzyściom energetycznym.
Kolor czarny absorbuje więcej energii słonecznej niż inne kolory, ale nie zawsze stanowi on najlepszy wybór w przypadku kolektora słonecznego. Większość ciemnych kolorów może przetworzyć 80 do 95% padającej na nie energii słonecznej na ciepło, tak że zamiana kolory czarnego na inny ciemny kolor zmniejsza wydajność kolektora najwyżej o 15%. W związku z tym, względy architektoniczne są często bardziej istotne, niż niewielka poprawa działania kolektora, jaką zapewniłby kolor czarny.
Kiedy w budynku nie przebywają osoby, zapotrzebowanie na wentylację i podgrzewanie powietrza energią słoneczną maleje. To powoduje, że solarne podgrzewanie powietrza jest bardziej konkurencyjne wówczas, gdy w budynku jego użytkownicy przebywają przez całą dobę, również w weekendy i wakacje.

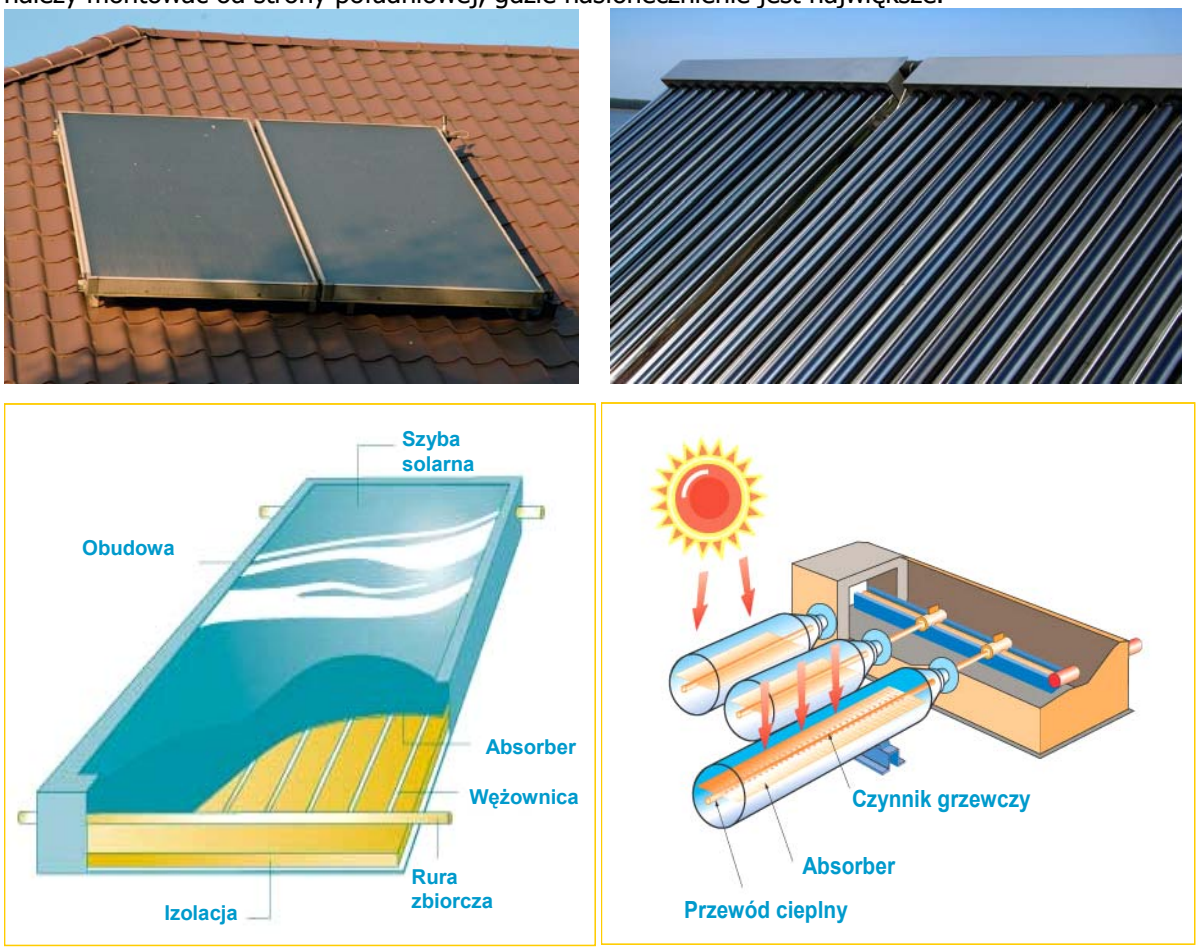
Kolektor solarny najłatwiej jest zainstalować na ścianie, w której nie ma okien ani drzwi przechodzących przez kolektor, ale jeśli jest to konieczne, można się dostosować i do innej sytuacji.
Systemy solarnego podgrzewania powietrza generują małe lub wcale nie generują kosztów utrzymania. Letnie obejście żaluzjowe może być obsługiwane w taki sam sposób, jak inne tego typu elementy układu wentylacji. Wentylatory układu wentylacji budynku wymagają takiej samej konserwacji bez względu na to, czy zasysają powietrze przez kolektor słoneczny czy przez zwykły wlot. Stalowy kolektor nie ma wymagań dotyczących utrzymania, innych niż te, które miałaby elewacja,

jaką zastąpił, a w razie konieczności może być przemalowany. Zabrudzenia nie zmniejszają znacząco sprawności kolektora. Pyłki roślinne, kurz ani śnieg nie zatykają perforacji, a natężenie przepływu powietrza jest zbyt małe, aby spowodować ich zasysanie w kierunku ściany budynku. Przepływ ciepłego powietrza osusza przestrzeń poza kolektorem, dzięki czemu nie jest ona gościnna dla insektów. Każdy z tych względów jest istotny z punktu widzenia właścicieli i projektantów budynków, którzy rozważają zastosowanie podgrzewania powietrza energią słoneczną.

Wodne kolektory słoneczne

Kolektory słoneczne są w Polsce jedną z najbardziej rozpowszechnionych technologii wykorzystujących odnawialne źródło energii. Kolektory w naszych warunkach klimatycznych służą głownie do podgrzewania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) oraz podgrzewania wody basenowej. Rzadziej służą do wspomagania systemu grzewczego w budynkach.

Sercem systemu solarnego jest kolektor słoneczny. W Polsce stosuje się dwa główne typy kolektorów, a mianowicie kolektory płaskie i rurowe (próżniowe). Oba typy różnią się oczywiście budową co z kolei ma wpływ na ich sprawność oraz, jak to zwykle bywa, na cenę. Kolektory próżniowe charakteryzują się wyższą sprawnością aniżeli kolektory płaskie. Dodatkowo można je montować na powierzchniach pionowych (np. na ścianie budynku) lub płasko na powierzchniach poziomych (np. na dachu). W przypadku kolektorów płaskich, dla naszej szerokości geograficznej należy montować je z kątem pochylenia wynoszącym od 35^{o} do 60^{o}. Wszystkie rodzaje kolektorów należy montować od strony południowej, gdzie nasłonecznienie jest największe.



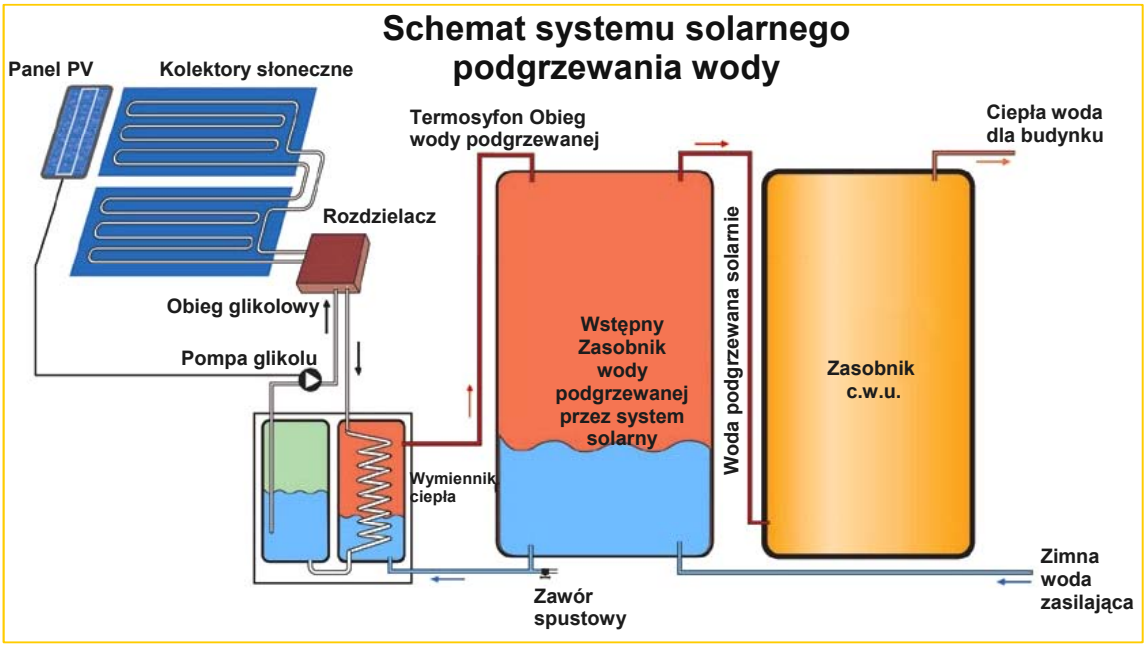
Rysunek 14. **Kolektor płaski (z lewej) oraz próżniowy (z prawej)** *(źródło: RETScreen)*

Zasada działania układu kolektorów słonecznych jest stosunkowo prosta. Słońce ogrzewa absorber kolektora i krążący w nim nośnik ciepła, którym zazwyczaj jest mieszanina wody i glikolu. Nośnik ciepła za pomocą pompy obiegowej (rzadziej grawitacyjnie) transportowany jest do dolnego wymiennika ciepła, gdzie przekazuje swoją energię cieplną wodzie.

Regulator solarny włącza pompę obiegową w przypadku, gdy temperatura w kolektorze jest wyższa od temperatury w dolnym wymienniku. W praktyce przyjmuje się, że opłacalny uzysk energii słonecznej jest możliwy przy różnicy temperatur powyżej 3 K. Gdy różnica ta będzie mniejsza może się okazać, że zużyta energia elektryczna na pracę pompki obiegowej przewyższa wartością uzyskaną energię słoneczną. W przypadku gdy promieniowanie słoneczne nie wystarcza do nagrzania wody do wymaganej temperatury, to wówczas musimy dogrzać ją przy wykorzystaniu konwencjonalnych źródeł energii.

Przypadek ten pokazuje jedną z głównych wad układów wykorzystujących energię słoneczną, a mianowicie ich dużą zależność od zmiennych warunków pogodowych co wprowadza konieczność równoległego stosowania układów opartych o energię konwencjonalną, które będą mogły wspomagać oraz w razie konieczności zastąpić energię słoneczną. Ponadto dla optymalnego wykorzystania energii słonecznej powinno stosować się podgrzewacze zasobnikowe do magazynowania energii.

Drugą i zdaje się ostatnią wadą stosowania systemów solarnych jest ich cena. Niestety koszt kompletnej instalacji solarnej wraz z montażem jest duży w stosunku do możliwości budżetowych polskich gospodarstw domowych oraz miast i gmin, do których należą budynki użyteczności publicznej. Koszt jednostkowy kolektora płaskiego w zależności od producenta wynosi od 700 do 1200 zł/m2 dla kolektorów próżniowych koszt ten jest dwukrotnie wyższy. Do tego dochodzą koszty zakupu zasobnika wody, regulatora, instalacji, pompki obiegowej, konstrukcji dla montażu kolektora itp.



Rysunek 15. **Przykładowy schemat przygotowania ciepłej wody użytkowej w układzie solarnym** *(źródło: RETScreen)*

Zdecydowanie lepiej wygląda sprawa kosztów samej eksploatacji instalacji solarnej. Praktycznie oprócz kosztu energii elektrycznej zużywanej przez pompkę obiegową o niewielkiej mocy (80W – 360W) użytkownik nie ponosi żadnych dodatkowych kosztów. Obecnie producenci kolektorów deklarują ich żywotność na ponad 20 lat, tak więc w przypadku odpowiednio dobranej wielkości instalacji jest możliwy zwrot poniesionych nakładów inwestycyjnych z oszczędności kosztów energii. Odpowiedni dobór powierzchni kolektorów zależy od indywidualnych potrzeb energetycznych budynku, jednak istnieją pewne ogólne zasady doboru tego typu urządzeń. I tak, za racjonalne uznaje się instalacje kolektorów słonecznych, które pokrywają około 60% zapotrzebowania na ciepło do przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz do 30% zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania pomieszczeń. Dogrzewanie pomieszczeń z zastosowaniem układów solarnych jest najbardziej wydajne w okresach przejściowych: marzec-kwiecień i wrzesień-październik. Średnio przyjmuje się 1m^2 kolektora słonecznego na 10m^2 powierzchni ogrzewanej. Coraz częściej można też spotkać instalacje solarne wykorzystywane do ogrzewania wody basenowej. W okresie od czerwca do sierpnia,

utrzymanie temperatury wody na poziomie 23 – 24°C, wymaga zainstalowania 0,4 – 0,6 m^2 kolektora na 1m^2 basenu.
Podstawowym powodem stosowania kolektorów słonecznych na całym świecie jest ich wpływ, a może raczej brak ich wpływu na środowisko naturalne. W porównaniu z nowoczesnym kotłem grzewczym już 4 m^2 powierzchni kolektorów słonecznych pozwala uniknąć do jednej tony dwutlenku węgla wyemitowanego do atmosfery!
Głównym warunkiem opłacalności stosowania kolektorów słonecznych jest odbiór i zagospodarowanie wytworzonego ciepła. Dlatego też najlepiej nadają się do tego obiekty o dużym i ciągłym zużyciu ciepłej wody. Będą to:

- domy opieki społecznej,
- internaty,
- szpitale,
- baseny,
- szkoły z basenami,
- obiekty sportowe.

Dobór powierzchni kolektora pracującego na przygotowanie ciepłej wody użytkowej

Określenie zapotrzebowania na energię cieplną do przygotowania ciepłej wody użytkowej

Ogólny wzór na obliczenie jednostkowego zapotrzebowania na ciepło qcwu do przygotowania 1 m3 ciepłej wody wygląda następująco:

$$q_{cwu} = \frac{c_w \cdot \rho \cdot V \cdot (t_c - t_z)}{1000000 \cdot \eta_{cwu}} \quad [GJ/m^3]$$

gdzie:
c_w - ciepło właściwe wody, [kJ/(kg •°C)]
ρ - gęstość wody, [kg/m^3]
V – objętość podgrzewanej wody, [m^3] (V = 1m^3)
tc - temperatura wody w podgrzewaczu, [°C]
tz -temperatura wody zimnej, [°C]
η_{cwu} - sprawność całkowita układu przygotowania ciepłej wody

Do obliczeń szacunkowych można przyjąć następujący uproszczony wzór dla którego przyjęto, że temperatura wody zimnej wynosi 10 °C, a ciepłej 55 °C:

$$q_{cwu} = \frac{0{,}18855 \cdot k}{\eta_{cwu}} \quad [GJ/m^3]$$

gdzie:
k – współczynnik korekcyjny temperatury,

Temperatura wody w podgrzewaczu °C	Współczynnik korekcyjny
70	0,75
65	0,818
60	0,90
55	1,00
50	1,125
45	1,286

Tabela 2. Współczynniki korekcyjne k

Jeżeli woda w twoim podgrzewaczu ma temperaturę inną niż 55 ºC, należy posłużyć się współczynnikiem korygującym tę różnicę. W tabeli 1 zestawiono kilka współczynników dla różnych temperatur podgrzanej wody.

Sprawność całkowita układu przygotowania ciepłej wody zależy od trzech czynników: sposobu przygotowania ciepłej wody, a więc rodzaju źródła, przesyłu wody, czyli rodzaju instalacji oraz akumulacji, a więc poziomu izolacji zasobników c.w.u.
Sprawność całkowitą układu η_{cwu} liczymy za pomocą poniższego wzoru:

$$\eta_{cwu} = \eta_w \cdot \eta_p \cdot \eta_a$$

gdzie:
η_w – sprawność wytwarzania
η_p – sprawność przesyłu
η_a – sprawność akumulacji
podstawiając wartości odczytane z dokumentacji technicznej urządzeń, korzystając z tabel zawartych w Rozporządzeniu dot. metodologii sporządzania świadectw energetycznych budynków lub z poniższych tabel 2, 3 i 4.

Rodzaj systemu przygotowania ciepłej wody	Sprawność przygotowania c.w.u.
Lokalna kotłownia gazowa	0,85
Lokalna kotłownia gazowa kondensacyjna	0,92
Lokalna kotłownia olejowa	0,85
Lokalna kotłownia węglowa	0,75
Lokalna kotłownia na biomasę	
Ogrzewacze elektr. bezpośrednie (podgrzewacze przepływowe)	1,00
Ogrzewanie elektr. akumulacyjne (podgrzewacze pojemnościowe)	0,93
Ciepło z systemu zdalaczynnego	1,00

Tabela 3. **Sprawności wytwarzania ciepłej wody użytkowej**

Rodzaje instalacji ciepłej wody	Sprawność przesyłu wody ciepłej
1. Miejscowe przygotowanie wody ciepłej, instalacje c.w. bez obiegów cyrkulacyjnych	
Miejscowe przygotowanie ciepłej wody bezpośrednio przy punktach poboru wody ciepłej	1
Miejscowe przygotowanie ciepłej wody dla grupy punktów poboru wody ciepłej w jednym pomieszczeniu sanitarnym, bez obiegu cyrkułacyjnego	0,8
Mieszkaniowe węzły cieplne	0,85
2. Centralne przygotowanie wody ciepłej, instalacja c.w bez obiegów cyrkulacyjnych	
Instalacje c.w. bez obiegu cyrkuł acyjnego	0,6
3. Centralne przygotowanie wody ciepłej, instalacje z obiegami cyrkulacyjnymi, piony instalacje nie izolowane, przewody rozprowadzające izolowane	
Instalacje małe, do 30 punktów poboru c.w.	0,6
Instalacje średnie, 30-100 punktów poboru c.w.	0,5
Instalacje duże, powyżej 100 punktów poboru c.w.	0,4
4. Centralne przygotowanie wody ciepłej, instalacje z obiegami cyrkulacyjnymi, piony instalacje i przewody rozprowadzające izolowane	
Instalacje małe, do 30 punktów poboru c.w.	0,7
Instalacje średnie, 30-100 punktów poboru c.w.	0,6
Instalacje duże, powyżej 100 punktów poboru c.w.	0,5
5. Centralne przygotowanie wody ciepłej, instalacje z obiegami cyrkulacyjnymi z ograniczeniem czasu pracy, piony instalacje i przewody rozprowadzające izolowane	
Instalacje małe, do 30 punktów poboru c.w.	0,8
Instalacje średnie, 30-100 punktów poboru c.w.	0,7
Instalacje duże, powyżej 100 punktów poboru c.w.	0,6
Objaśnienia: [1)] Układy instalacji wody ciepłej bez obiegu cyrkulacyjnego dopuszcza się tylko w budynkach mieszkalnych jednorodzinnych [2)] Przewody izolowane wykonane z rur stalowych lub miedzianych lub przewody nieizolowane wykonane z rur z tworzyw sztucznych [3)] Ograniczenie zakresu pracy pompy cyrkulacyjnej do ciepłej wody w godzinach nocnych lub zastosowanie pomp obiegowych ze sterowaniem za pomocą układów termostatycznych	

Tabela 4. **Sprawności przesyłania ciepłej wody użytkowej**

L.p.	Parametry zasobnika i jego usytuowanie	η_a
1	Zasobnik w systemie wg standardu z lat 1970-tych	0,6
2	Zasobnik w systemie wg standardu z lat 1977-1995	0,7
3	Zasobnik w systemie wg standardu z lat 1995-2000	0,8
4	Zasobnik w systemie wg standardu budynku nieskoenergetycznego	0,9

Tabela 5. **Sprawności akumulacji systemu ciepłej wody użytkowej**

Obliczenie dobowego zapotrzebowania na energię do przygotowania ciepłej wody użytkowej w badanym budynku wyrażamy jako:

$$E_{cwu} = q_{cwu} \cdot V_{dobowe} \quad \text{GJ/d}$$

gdzie:
q_{cwu} – jednostkowe zapotrzebowanie na ciepło do ogrzania 1 m3 wody do temperatury 55 ºC;
V_{dobowe} – dobowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową obliczane ze wzoru:

$$V_{dobowe} = \frac{(j.o.) \cdot v_{jedn.}}{1000}$$

gdzie:
(j.o.) – jednostka odniesienia;
$v_{jedn.}$ – dobowa ilość wody do podgrzania w przeliczeniu na jednostkę odniesienia np. osobę, łóżko szpitalne, ucznia itp. przyjmowane wg tabeli 5, [dm3/((j.o.)•d)];
1/1000 - współczynnik przeliczenia jednostek dm^3/m^3.

Roczne zapotrzebowanie na energię do przygotowania c.w.u. obliczamy wg zależności:

$$Q_{cwu} = E_{cwu} \cdot L_{dni} \quad \text{GJ/rok}$$

gdzie:
L_{dni} – liczba dni użytkowania budynku w ciągu roku

Rodzaje budynków	Jednostka odniesienia [j.o.]	Jednostka dobowa ilości c.w.u. [dm^3/((j.o.)d)]	
		min - max	śr.
1. Budynki mieszkalne (jedno- i wielorodzinne)	[osoba]	30 - 90	60
2. Budynki zamieszkania zbiorowego (hotele, motele, itp.)	[miejsce noclegowe]	40 - 120	90
3. Budynki użyteczności publicznej:			
3.1. Szpitale	[łóżko]	80 - 350	150
3.2. Szkoły	[uczeń]	1 - 10	5
3.3. Budynki biurowe	[pracownik]	1 - 10	4
Objaśnienia: [1)] W budynkach wielorodzinnych wyposażonych w wodomierze mieszkaniowie do rozliczania za c.w.u., podane wskaźniki jednostkowe można zmniejszyć o 20%			

Tabela 6. **Jednostkowe dobowe ilości ciepłej wody dla różnych typów budynków wyposażonych w różne rodzaje wewnętrznych instalacji ciepłej wody.**

Jeżeli brak jest informacji o liczbie mieszkańców w budynku wielorodzinnym, to obliczeniową liczbę mieszkańców w zależności od rodzaju lokalu mieszkalnego można szacować zgodnie z tabelą:

Rodzaj lokalu mieszkalnego	Liczba mieszkańców w jednym lokalu
1 - pokojowe	1
2 - pokojowe	2,5
3 - pokójowe	3,5
4 - pokojowe	4
5 - pokójowe	4,5
6 - pokojowe	5

Tabela 7. **Obliczeniowe liczby mieszkańców w budownictwie wielorodzinnym**

Przedstawione metody prostego obliczania zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania pomieszczeń jaki i przygotowania ciepłej wody użytkowej pozwolą na przeprowadzenie wstępnej analizy możliwości doboru technologii wykorzystujących odnawialne źródła energii w sposób maksymalnie zoptymalizowany i to zarówno pod względem energetycznym jak i ekonomicznym.

Przykład obliczenia zapotrzebowania na ciepło do przygotowania c.w.u.

Założenia:
Liczba mieszkańców (jednostek): (j.o.)= 4 os.
Temperatura wody podgrzanej: $T_{c.w.u.}$=55 °C

Temperatura wody zimnej: $T_{w.z.}$ = 10 °C
Jednostkowe zapotrzebowanie wody: $v_{jedn.}$ = 60 dm^3/os.
Liczba dni w roku przygotowywania wody: L_{dni} = 365 dni/rok
Sposób przygotowania wody: pojemnościowy podgrzewacz elektryczny

Miejscowe przygotowanie ciepłej wody dla grupy punktów poboru w jednym pomieszczeniu sanitarnym, bez obiegu cyrkulacyjnego.

Jednostkowe zapotrzebowanie energii: zużycie energii na podgrzanie 1 m^3 zimnej wody obliczamy ze wzoru:

$$q_{c.w.u.} = \frac{0{,}18855 \cdot k}{\eta_{c.w.u.}} = \frac{0{,}18855 \cdot 1}{0{,}744} = 0{,}25343 \text{ GJ/m}^3 \text{ wody}$$

dla wcześniej wyznaczonej sprawności systemu c.w.u.:

$$\eta_{cwu} = \eta_w \cdot \eta_p = 0{,}93 \cdot 0{,}8 = 0{,}744$$

Uwaga: ponieważ w systemie nie występuje zasobnik c.w.u. więc sprawność akumulacji wynosi 1,0

W celu obliczenia rocznego zapotrzebowania energii należy najpierw obliczyć dobowe zapotrzebowanie wody:

$$V_{dobowe} = \frac{(j.o.) \cdot v_{jedn.}}{1000} = \frac{4 \cdot 60}{1000} = 0{,}24 \text{ m}^3/\text{dobę}$$

$$Q_{cwu} = q_{cwu} \cdot V_{dobowe} \cdot L_{dni} = 0{,}25343 \cdot 0{,}24 \cdot 365 = 22{,}2 \quad \text{GJ/rok}$$

Roczne zużycie energii elektrycznej na przygotowanie c.w.u.

$$E_{cwu} = \frac{22{,}2}{3600} \cdot 10^6 = 6166{,}7 \ \ kWh/rok$$

Dobór instalacji kolektorów

W tym celu konieczne jest m.in. określenie kierunku i kąta pochylenia kolektorów słonecznych oraz współczynnika pokrycia zapotrzebowania na ciepło do przygotowania c.w.u. z instalacji solarnej.
Optymalny kąt nachylenia płaszczyzny kolektorów w kierunku południowym w poszczególnych miesiącach w Polsce pokazuje poniższa tabela. Widać z niej, że optymalny kąt nachylenia kolektorów zmienia się w zakresie od 10° w lecie do 65° zimą.

Dla promieniowania całkowitego	***Kąt nachylenia względem poziomu, w stopniach***											
	miesiąc											
	I	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**	**X**	**XI**	**XII**
	60	55	45	30	15	10	15	30	45	55	65	65

Tabela 8. **Optymalny kąt nachylenia kolektorów w poszczególnych miesiącach**

Dla systemu solarnego, który pracować ma przez cały rok, najodpowiedniejszym kątem nachylenia kolektorów jest kąt 45°. W przypadku gdy ustawienie kolektorów odbiega od optymalnego kierunku południowego i kąta nachylenia 45°, to roczna ilość energii promieniowania słonecznego na

powierzchnię kolektorów jest tym mniejsza im większe są te odchyłki. „Braki" te można skompensować przez zastosowanie większej powierzchni kolektorów.
Tabela poniżej zawiera współczynniki korekcyjne (K), które wykorzystuje się przy projektowaniu kolektorów, w zależności od ich kąta nachylenia oraz kierunku ustawienia. podane wartości określono dla szerokości geograficznej 48° – 54°

Kierunek geograficzny	Nachylenie kolektora		
	30°	50°	70°
W	1,64	1,61	1,61
W-PdW	1,45	1,47	1,61
Pd-W	1,17	1,15	1,34
Pd-PdW	1,04	0,98	1,14
Pd	1,00	0,94	1,11
Pd-PdZ	1,03	0,97	1,13
PdZ	1,13	1,09	1,27
Z-PdZ	1,35	1,35	1,60
Z	1,61	1,61	1,61

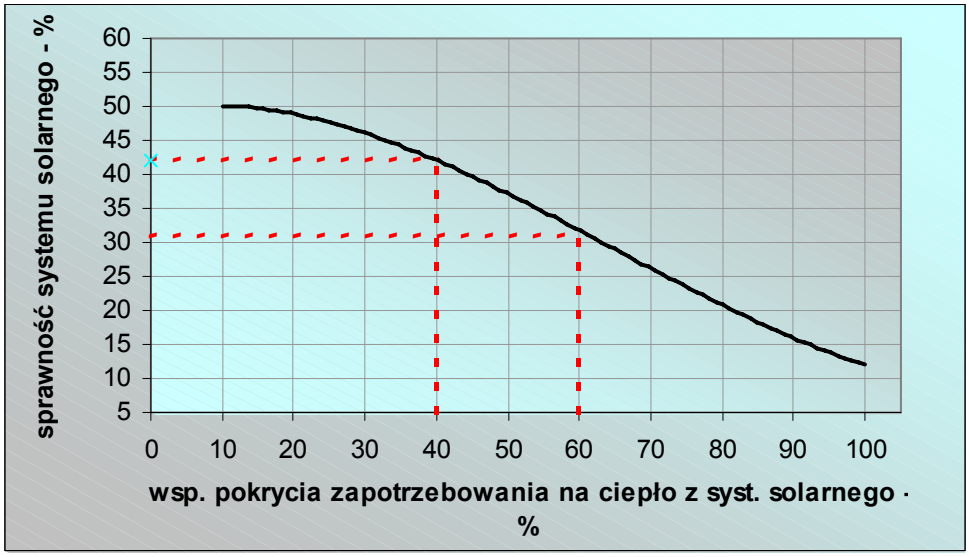
Tabela 9. **Wartość współczynnika korekcyjnego w zależności od kierunku i kąta nachylenia kolektorów słonecznych**

Kolejnym krokiem jest określenie współczynnika pokrycia zapotrzebowania na ciepło dla przygotowania c.w.u. z systemu solarnego (SD). Współczynnik ten nazywany w skrócie współczynnikiem pokrycia, stanowi wielkość, której uzyskanie jest celem projektowania instalacji solarnej, a która to wielkość miarodajnie określa wymaganą powierzchnię kolektorów oraz wielkość zasobnika c.w.u.
Zimą w Polsce, z uwagi na dość mocno ograniczoną ilość promieniowania słonecznego, stuprocentowe pokrycie zapotrzebowania na ciepło z instalacji kolektorów słonecznych jest możliwe tylko w przypadku odpowiedniego zwiększenia ich powierzchni. Należy jednak pamiętać, że zabieg ten nieuchronnie doprowadzi do sytuacji, w której w miesiącach letnich wystąpi znaczny nadmiar energii, co oprócz bardzo niskiej rentowności takiej inwestycji spowoduje powstanie dodatkowych obciążeń termicznych całej instalacji.
Rozwiązaniem tego typu problemu jest włączenie do instalacji dodatkowego odbiornika ciepła, funkcjonującego jedynie w miesiącach letnich, np. basenu kąpielowego. W przypadku instalacji solarnych najczęściej stosowanych w domach jedno- i dwurodzinnych, stosuje się rozwiązania ze stuprocentowym pokryciem zapotrzebowania w miesiącach letnich, co daje około 60% pokrycie zapotrzebowania na ciepło dla celów c.w.u. w skali roku.
W praktyce lepszym rozwiązaniem jest założenie mniejszej wartości współczynnika pokrycia zapotrzebowania na ciepło z instalacji solarnej, gdyż każdy niewykorzystany nadmiar energii należy traktować jako stratę.

Standardowo wartość współczynnika sprawności systemu solarnego mieści się w przedziale 20 – 50%, a wartość współczynnika pokrycia zapotrzebowania na ciepło w przedziale 30 – 60%.

Tak potraktowany problem nadmiaru energii nabiera znaczenia zwłaszcza przy większych instalacjach solarnych (powyżej 30 – 40 m^2 powierzchni kolektorów). Z uwagi na wysokie koszty takich instalacji, priorytetem powinno być poszukiwanie optymalnego rozwiązania. W odniesieniu do problemu ilości ciepła pokrywanego przez układ kolektorów mówi się tutaj o tzw. instalacjach do wstępnego podgrzewania. Instalacje takie najefektywniej pracują przy niższym poziomie temperatur oraz przy około 30% współczynniku pokrycia. Dla małych instalacji słonecznych, tego typu oszczędności są bardzo niewielkie i wiążą się jedynie z nieznacznym zmniejszeniem powierzchni kolektorów co nie wpłynie znacząco na obniżenie kosztów prac projektowych oraz kosztów pozostałych elementów instalacji (ilość rur, zasobnik c.w.u., pompa i regulator).

Dla instalacji kolektorów słonecznych średniej wielkości tj. o powierzchni kolektorów ok. 10 – 35 m2, także zakłada się niższe wartości pokrycia zapotrzebowania ciepła z instalacji solarnej (poniżej 50%).
Współczynnik pokrycia zapotrzebowania na ciepło z instalacji solarnej zachowuje się przeciwstawnie do sprawności systemu solarnego.



Rysunek 16. **Współczynnik solarnego pokrycia zapotrzebowania na ciepło oraz współczynnik sprawności systemu słonecznego.**

Należy to tłumaczyć tym, że instalacje słoneczne pokrywające większą część całkowitego zapotrzebowania na ciepło pracują, w przeciwieństwie do instalacji wstępnego podgrzewania, przy wyższym poziomie temperatur i zarazem gorszym współczynniku sprawności kolektora. Dodatkowo instalacje o wyższym współczynniku pokrycia, nieraz w miesiącach letnich pozyskują nadmiarową ilość promieniowania słonecznego, która nie może być wykorzystana.

Sprawność systemu solarnego to nic innego jak stosunek ilości ciepła oddanego konwencjonalnemu systemowi przygotowania ciepłej wody do wypromieniowanej na powierzchnię kolektorów energii słonecznej. Służy ona przede wszystkim do energetycznej oceny instalacji i dlatego jej wartość rozpatruje się w dłuższym okresie czasu (nawet jeden rok).
Górne wartości sprawności systemu wynoszą około 60%, jednak w praktyce osiągnięcie takich wartości jest bardzo trudne czy wręcz niemożliwe.
Wynika to z oddziaływania takich czynników jak:

- duże długości rur
- niewystarczająca lub uszkodzona izolacja
- brak równoczesności zapotrzebowania na ciepłą wodę i jej produkcji przez kolektory
- wysoka wartość temperatury ciepłej wody w stanie gotowości

Przykłady zrealizowanych instalacji solarnych pokazują, że w praktyce sprawność systemów z kolektorami słonecznymi osiąga wartości od 20% do 50%. Górną wartość sprawności osiągają z reguły instalacje z kolektorami próżniowymi (rurowymi), ale także optymalnie dobrana instalacja z kolektorami płaskimi może zbliżyć się do tej wartości.

Po określeniu całkowitego zapotrzebowania na ciepło dla potrzeb c.w.u., ustaleniu kierunku ustawienia i kąta nachylenia kolektorów oraz po wyznaczeniu współczynnika pokrycia zapotrzebowania na ciepło przez instalację solarną, można przystąpić do określenia powierzchni kolektorów.
Dla zgrubnego oszacowania i orientacyjnego określenia powierzchni kolektorów w praktyce sprawdza się następująca reguła:

Dla uzyskania 60% pokrycia zapotrzebowania na ciepło do przygotowania c.w.u. z instalacji solarnej w domach jedno- i wielorodzinnych, powinno zakładać się około 1,0 do 1,5 m^2 powierzchni czynnej (absorbera) kolektora płaskiego na osobę lub 0,8 m^2 powierzchni czynnej kolektora próżniowego (rurowego).

Jeśli kierunek ustawienia kolektorów odbiega od orientacji południowej a ich kąt nachylenia od 45° to dodatkowo można otrzymaną wartość powierzchni skorygować, mnożąc ją przez wartości współczynników korekcyjnych K, podanych w tabeli 7.

W celu bardziej szczegółowego określenia powierzchni kolektorów płaskich, można posłużyć się następującą zależnością:

$$A_k = \frac{S_D \cdot Q_z \cdot K}{\eta_s \cdot Q_{prom}}$$

gdzie:
A^k - powierzchnia kolektorów (czynna).
S_D - współczynnik pokrycia zapotrzebowania na ciepło przez instalację solarną
η_s - sprawność systemu solarnego
Q_z - zapotrzebowanie na ciepło do przygotowania c.w.u.
Q_{prom} - ilość energii promieniowania słonecznego padająca na 1 m^2 powierzchni kolektora
K - współczynnik korekcyjny wg tabeli 7

Dla celów określenia wartości sprawności systemu solarnego można posłużyć się rysunkiem 13.
Dla przykładu w domu jednorodzinnym, zwykle przyjmuje się, że instalacja solarna pokrywać będzie 60% zapotrzebowania na ciepło do celów c.w.u. W takim przypadku należy przyjąć wartość sprawności systemu na poziomie 30-35%. Gdybyśmy jednak przyjęli, że kolektory dostarczać będą 30% potrzebnego ciepła, wówczas powinniśmy przyjąć wartość sprawności na poziomie około 45%.
Za wartości O_z i Q_{prom} należy wstawiać wartości roczne.
Można jednakże przeprowadzić obliczenia dla wartości dziennych, odpowiadających dniom w okresie letnim. W takim przypadku należy przyjąć wartość współczynnika pokrycia 100%. Należy jednak pamiętać, aby wówczas nie wstawiać do wzoru średniej dziennej wartości promieniowania słonecznego otrzymanej w wyniku podzielenia wartości promieniowania rocznego przez 365 dni! Jest to istotne dlatego, że wartości dzienne w okresie letnim znacznie przewyższają wartości średnioroczne. Dla kolektorów próżniowych, otrzymaną z powyższej zależności powierzchnię kolektorów, można zmniejszyć o 20%.
Ilość energii promieniowania słonecznego padająca na 1 m^2 powierzchni kolektora różni się od lokalizacji obiektu oraz kątu nachylenia kolektorów. Dla szacunkowych obliczeń można przyjąć, że dla całorocznie pracującego systemu kolektorów Q_{prom} wynosi:

L.p.	Lokalizacja	Kąt nachylenia kolektórów			
		30°	45°	60°	
1	Kłodzko	1200	1202	1147	Q_{prom} kWh/m^2 rok
2	Wrocław	1209	1211	1155	
3	Katowice	1223	1226	1170	
4	Poznań	1197	1203	1151	
5	Warszawa	1086	1075	1015	
6	Gdańsk	1260	1268	1215	

Tabela 10. **Ilość energii promieniowania słonecznego padająca na 1 m^2 powierzchni nachylonej kolektora**

Obliczenia c.d.
Kontynuując przykład ze strony 21 dobierzmy powierzchnię kolektorów przy założeniu, że nasz obiekt znajduje się w Kłodzku, a udział kolektorów w całkowitym zapotrzebowaniu na energię na c.w.u. wynosi 60%.

$$A_k = \frac{S_D \cdot Q_z \cdot K}{\eta_s \cdot Q_{prom}} = \frac{0{,}6 \cdot 6166{,}7 \cdot 1}{0{,}35 \cdot 1202} = 8{,}8 \ m^2$$

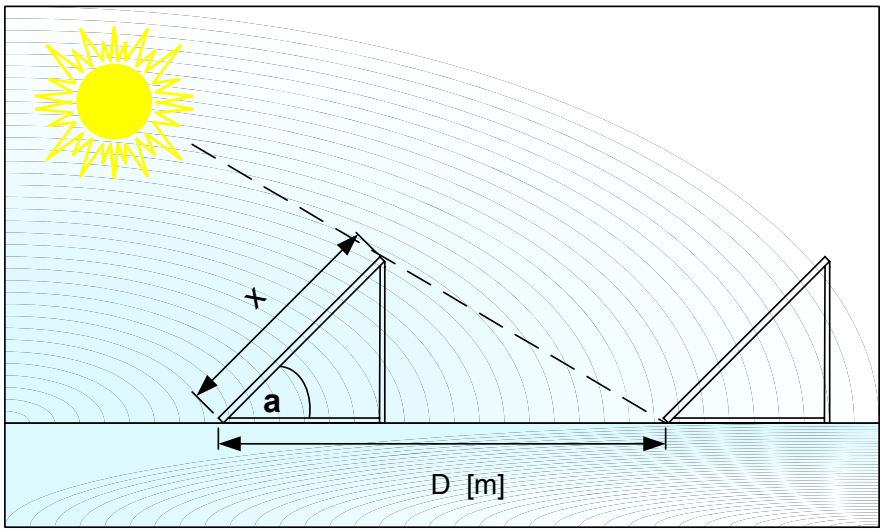
Uwaga: sprawność systemu kolektorów przyjęto wg rysunku 13, a ilość energii promieniowania słonecznego z tabeli 9 dla kąta nachylenia kolektorów wynoszącego 45°.

Z obliczeń wynika, że powierzchnia czynna (absorbera) kolektorów wynosi 8,8 m^2. Przyjmując kolektory o powierzchni czynnej wynoszącej 2,2 m^2 otrzymujemy:

8,8/2,2 = 4 szt. kolektorów

Montaż kolektorów

Kolektory słoneczne można w zależności od warunków budowlanych montować zarówno na dachu domu, ustawić na dachu płaskim albo założyć na fasadzie budynku. Producenci kolektorów posiadają bogatą ofertę wyposażenia dodatkowego, które dopuszcza realizację każdej z wymienionych powyżej możliwości.
Szeregowo można łączyć ograniczoną liczbę kolektorów. W zależności od typów kolektorów i od ich producenta zależy maksymalna ilość kolektorów jaką można w ten sposób połączyć. Gdy istnieje konieczność połączenia w układ większej ilości kolektorów od dopuszczanej przez producenta to możliwe jest zastosowanie kombinacji połączenia szeregowego z równoległym. Równolegle powinno się łączyć układy szeregowe składające się z tej samej liczby kolektorów.
W przypadku ustawiania większej ilości kolektorów jeden za drugim, na powierzchniach płaskich należy pamiętać o zachowaniu pomiędzy nimi odpowiedniego odstępu, aby nie dochodziło do wzajemnego zacieniania się kolektorów, zwłaszcza w okresie zimowym, gdy słońce znajduje się niżej nad horyzontem.



Rysunek 17. **Obliczenie odległości pomiędzy kolejnymi rzędami kolektorów**

Poniżej pokazano uproszczony wzór, który pomoże nam określić odstęp pomiędzy kolektorami.

$$D = x * y \quad [m]$$

gdzie:
D - minimalny odstęp pomiędzy kolektorami [m],

x - wysokość kolektora [m],
y - wartość dla odpowiedniego kąta nachylenia kolektorów odczytana z tabeli 10

kąt nachylenia - a	30	35	40	45	50
y	**2,00**	**2,12**	**2,23**	**2,31**	**2,38**

Tabela 11. **Wartość „y" dla obliczenia minimalnego odstępu pomiędzy kolektorami**

Dodatkowo, znając ograniczenia powierzchni jaką dysponujemy (np. wymiary dachu), możemy z pomocą powyższego wzoru wyznaczyć maksymalną ilość rzędów, a tym samym ilość kolektorów jaką jesteśmy w stanie zainstalować. W nielicznych bowiem przypadkach, może okazać się, że nie ma możliwości technicznej ustawienia takiej ilości kolektorów, która w sumie da uzyskaną wcześniej z obliczeń powierzchnię.

Dobór pozostałych elementów instalacji solarnej dla przygotowania c.w.u.

A. Podgrzewacz zasobnikowy

Aby można było magazynować pozyskaną przez kolektory słoneczne energię, zwłaszcza w dniach o wysokim natężeniu promieniowania słonecznego, a następnie korzystać z niej kiedy słońce nie świeci już tak mocno, należy stosować większe podgrzewacze zasobnikowe niż w przypadku systemów konwencjonalnych. Z drugiej jednak strony, zbyt duży zasobnik zmniejszy udział energii słonecznej w całkowitym zapotrzebowaniu na energię, a tym samym konwencjonalne źródło ciepła (np. kocioł gazowy) będzie musiał dogrzewać wodę użytkową, nawet w lecie.

Zwykle w instalacjach solarnych stosuje się podgrzewacze zasobnikowe do przygotowania c.w.u. o pojemności odpowiadającej 1,5 – 2,0 krotności dziennego jej zużycia.

Jednak minimalna pojemność solarnych podgrzewaczy powinna wynosić około 50 litrów na 1 m^2 powierzchni kolektora.

B. Wymiennik ciepła

Powierzchnia wymiennika ciepła w solarnym podgrzewaczu zasobnikowym ciepłej wody użytkowej, może być określona przy założeniu, że na każdy metr kwadratowy brutto kolektora przypada co najmniej 0,3 – 0,4 m^2 powierzchni wymiennika z rurami żebrowanymi lub 0,2 m^2 powierzchni wymiennika z rurami gładkimi.

C. Naczynie wzbiorcze

Podstawowym zadaniem naczynia wzbiorczego jest przejmowanie przyrostu objętości cieczy solarnej w wyniku jej podgrzania oraz niedopuszczenie do zadziałania zaworu bezpieczeństwa w sytuacji zatrzymania przepływu cieczy solarnej w instalacji i wytworzeniu się pary w kolektorze.
Pojemność naczynia wzbiorczego wynosi około 8,5% całkowitej objętości systemu. Szczegółowego doboru naczynia wzbiorczego powinien dokonać projektant lub instalator systemu solarnego.

Dobór instalacji solarnych do wspomagania ogrzewania pomieszczeń

Coraz powszechniejszym staje się montaż instalacji solarnych do wspomagania systemów ogrzewania pomieszczeń w domach jedno- i dwurodzinnych. Rozwiązanie takie oferuje wysoki potencjał oszczędności energii konwencjonalnej oraz wysoką redukcję substancji szkodliwych i CO_2 do atmosfery.

Instalacje solarne wspomagające system ogrzewania pomieszczeń oprócz przygotowania ciepłej wody użytkowej podgrzewają część wody grzewczej. Zwłaszcza w okresach przejściowych (początek i koniec sezonu grzewczego) wnoszą znaczny wkład w ogrzewanie pomieszczeń. W przypadku domu jedno- i dwurodzinnego zwykle montuje się instalacje z kolektorami słonecznymi, które pokryją w ok. 20% zapotrzebowanie na ciepło do przygotowania c.w.u. i ogrzewania pomieszczeń. Powierzchnia kolektorów nie powinna być zbyt duża, aby latem nie dochodziło do sytuacji, w której nadmiar wyprodukowanego ciepła nie będzie mógł być wykorzystany. Z drugiej jednak strony naturalnym wydaje się dążenie do uzyskania jak największego udziału energii słonecznej w całkowitym zapotrzebowaniu na ciepło. Cel ten łatwiej jest osiągnąć w budynkach z dobrze izolowanymi przegrodami zewnętrznymi i energooszczędną stolarką okienną i drzwiową.

Im mniejsze zapotrzebowanie na ciepło w budynku tym lepiej wykorzystane ciepło uzyskane z instalacji solarnej. Istotnym dla efektywnej pracy instalacji solarnej dla wspomagania c.o. jest temperatura w obiegu grzewczym. Optymalny zakres temperatur pracy obiegu grzewczego do współpracy z instalacją solarną wynosi od 20 do 40 ^{o}C. Z tego względu zaleca się łączenie instalacji solarnej z ogrzewaniem podłogowym lub ściennym.
Do wspomagania ogrzewania można stosować zarówno kolektory płaskie jak i próżniowe.
Praktyczne reguły stosowania solarnego wspomagania ogrzewania:

- stosunkowo niskie zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania pomieszczeń w budynku (izolacja przegród zewnętrznych, energooszczędna stolarka okienna i drzwiowa)
- możliwie niskie temperatury pracy instalacji grzewczej (zasilanie – powrót)
- instalacje o małej bezwładności i dużym stopniu regulacji
- korzystne ukierunkowanie powierzchni kolektorów

Instalację solarną należy dobierać tak, aby uzyskać z niej 20% pokrycia zapotrzebowania na ciepło dla celów c.w.u. i c.o. Dla osiągnięcia tej wartości można w przybliżeniu przyjąć:

- 0,8 do 1,1 m^2 powierzchni kolektorów płaskich na każde 10 m^2 powierzchni mieszkalnej
- 0,5 do 0,8 m^2 powierzchni kolektorów próżniowych na każde 10 m^2 powierzchni mieszkalnej
- Pojemność podgrzewacza zasobnikowego od 50 do 70 litrów na 1 m^2 powierzchni kolektorów

Zestaw solarny do ogrzewania wody w basenie

Przy uproszczonym doborze ilości kolektorów i wielkości wymiennika w instalacji basenowej można skorzystać z poniższej tabelki i wzoru:
Współczynnik wykorzystywany w uproszczonej metodzie doboru ilości kolektorów do podgrzewu wody w basenie do 24^{o}C.

l.p.	rodzaj basenu	współczynnik k [m^2/m^2 powierzchni basenu]
1	kryty w budynku ogrzewanym	0,4
2	odkryty, izolowany folią	0,6
3	odkryty, bez izolacji	0,8

Tabela 12. **Wartość współczynnika k w metodzie uproszczonej doboru ilości kolektorów do podgrzewu wody basenowej**

$$L_k = \frac{F_b \cdot k}{F_k}$$

gdzie:

L_k - liczba kolektorów [szt.]
F_b - powierzchnia basenu [m^2]
F_k - powierzchnia czynna jednego kolektora [m^2]
k - współczynnik wg tabeli 10

Bierne wykorzystanie promieniowania słonecznego – budownictwo pasywne

Budynek pasywny jest kolejnym etapem w podejściu do oszczędzania energii we współczesnym budownictwie. Znajduje się na drodze pomiędzy budynkiem energooszczędnym a budynkiem zero energetycznym (samowystarczalnym). Niewątpliwą zaletą budynków pasywnych jest wykorzystanie istniejących, sprawdzonych rozwiązań, a nie tworzenie nowych, przez co uzyskuje się dużą niezawodność obiektów wykonanych w tej technologii. Ponadto technologia ta doczekała się licznych realizacji, zwłaszcza w państwach "starej" Unii Europejskiej.

Technologia budynków pasywnych charakteryzuje się tym, że korzysta się w niej z materiałów lepszej jakości, niż te stosowane standardowo w trakcie budowy nowych obiektów. Dzięki takiemu podejściu, oprócz znacznego zmniejszenia zapotrzebowania na energię do ogrzewania, nawet o 85%, dodatkowo uzyskujemy wzrost trwałości i podniesienie wartości rynkowej budynku.

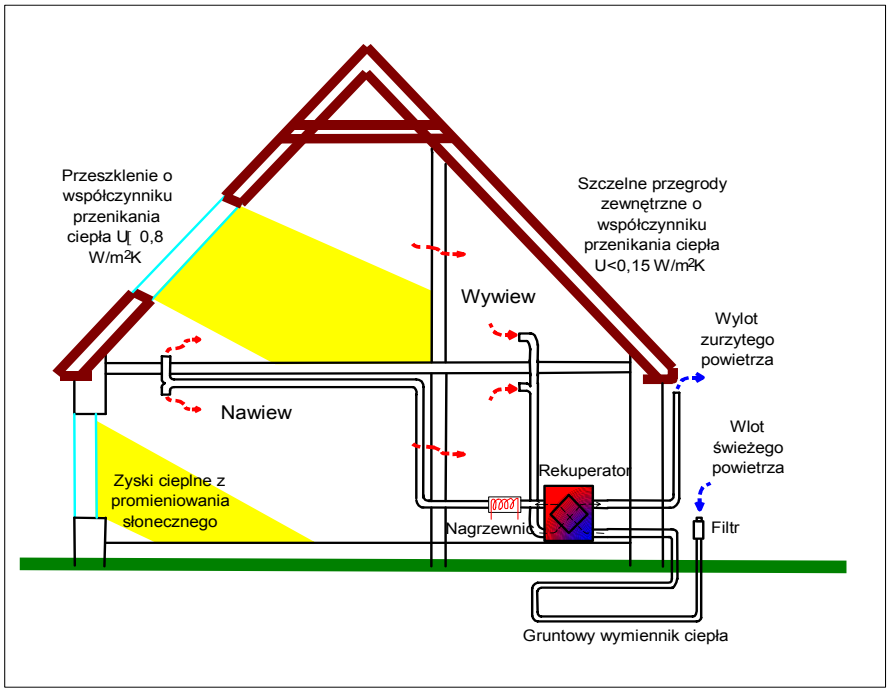
Nie bez znaczenia jest to, że budynki pasywne na pierwszy rzut oka nie różnią się w istotny sposób od tradycyjnych budynków, komponując się z budownictwem na danym obszarze.
Krótko mówiąc, technologia budynków pasywnych to:
- dostępność materiałów i urządzeń niezbędnych do wykonania budynku,
- duże oszczędności paliw i energii, mocno odczuwalne przy płaceniu rachunków,
- wysoka jakość wykonania obiektów oraz ich trwałość,
- pewność potwierdzona licznymi realizacjami w Europie Zachodniej.

Co bardzo istotne, koncepcja budynku pasywnego, niejako naturalnie łączy się z kwestią wykorzystywania odnawialnych źródeł energii. Budynki wykonane w omawianej technologii wykazują dużo mniejsze zapotrzebowanie na energię niż budynki tradycyjne. Prowadzi to do obniżenia kosztów związanych z zastosowaniem takich rozwiązań jak pompy ciepła, kolektory słoneczne czy gruntowe wymienniki ciepła. Już znacznie mniejsze i tańsze instalacje tego typu są w stanie pokryć zapotrzebowanie na ciepło w budynku.

W związku z powyższym, wzrostowi kosztów budowy budynku pasywnego, można przeciwstawić istotne oszczędności eksploatacji budynku, które wynikają ze zmniejszonego zużycia energii oraz utrzymującej się na wyższym poziomie wartości rynkowej budynku. Należy także pamiętać o korzyściach jakie odnosi środowisko naturalne, a które to korzyści wynikają ze zmniejszenia emisji zanieczyszczeń do atmosfery.

Standard energetyczny budownictwa pasywnego

Pojęcie "budynek pasywny" oznacza standard wznoszenia obiektów budowlanych. Budynek wzniesiony w takim standardzie charakteryzuje się znikomym, bo aż ośmiokrotnie mniejszym zapotrzebowaniem na energię do ogrzewania w stosunku do tradycyjnego budynku.
Wg definicji dr W. Feista dom Pasywny jest budynkiem o bardzo niskim zapotrzebowaniu na energię do ogrzewania wnętrza (15 kWh/(m^2rok)), w którym komfort termiczny zapewniony jest przez pasywne źródła ciepła (mieszkańcy, urządzenia elektryczne, ciepło słoneczne, ciepło odzyskane z wentylacji), tak że budynek nie potrzebuje autonomicznego, aktywnego systemu ogrzewania. Potrzeby cieplne realizowane są przez odzysk ciepła i dogrzewanie powietrza wentylującego budynek.
Podane zapotrzebowaniu na energię do ogrzewania na poziomie 15 kWh/(m^2rok), oznacza że w przeciągu sezonu grzewczego do ogrzania budynku o powierzchni użytkowej 100 m^2 potrzeba 1 500 kilowatogodzin energii, co odpowiada spaleniu 300 kg węgla. Dla porównania, zapotrzebowanie na ciepło dla budynków konwencjonalnych budowanych obecnie wynosi około 120 kWh/(m^2rok), a więc budynek o powierzchni 100 m^2 wzniesiony w technologii tradycyjnej zużyje w sezonie grzewczym 12 000 kWh energii, co odpowiada 2 400 kg węgla.



Rysunek 18. **Podstawowe elementy budynku pasywnego**

Jak wspomniano na wstępie, koncepcja budynku pasywnego powstała poprzez rozwinięcie i uzupełnienie koncepcji budynku energooszczędnego. W budynku pasywnym zapotrzebowanie na ciepło pokrywane jest przez:

- wykorzystanie promieniowania słonecznego,
- odzysk ciepła z powietrza wentylacyjnego,
- wewnętrzne zyski ciepła, takie jak urządzenia elektryczne, oświetlenie czy mieszkańcy.

W tego typu obiektach nie stosuje się tradycyjnego systemu grzewczego, a jedynie dogrzewanie powietrza wentylacyjnego. Należy pamiętać, że rozwiązania i materiały używane w budynkach pasywnych są ogólnodostępne. Istnieje wiele firm pochodzących z Polski i innych krajów Unii Europejskiej, które oferują niezbędne komponenty. Idea budynków pasywnych nie jest opatentowana, zastrzeżona ani nie podlega innym formom ochrony prawnej. Jest ona dostępna bez żadnych ograniczeń dla wszystkich. Wykorzystanie dostępnych ekonomicznych i sprawdzonych w praktyce rozwiązań, zaowocowało około 5000 zrealizowanych jednostek mieszkaniowych w krajach Unii Europejskej.

W naszym kraju w ostatnich latach także powstały pierwsze domy pasywne. Możliwe jest wznoszenie budynków pasywnych w różnych technologiach budowlanych takich jak: tradycyjna murowana, szkielet drewniany (tzw. technologia kanadyjska) czy szkielet stalowy. Możliwe jest także zmodernizowanie budynków już istniejących i doprowadzenie ich do standardu budynków pasywnych.

Kryteria jakie musi spełniać budynek pasywny:

- Współczynnik przenikania ciepła U dla przegród zewnętrznych (dach, ściany, podłoga na gruncie) powinien być mniejszy niż 0,15 W/(m^{2}K).
- Szczelność powłoki zewnętrznej budynku, sprawdzona przy pomocy testu ciśnieniowego, w którym przy różnicy ciśnienia zewnętrznego i wewnętrznego wynoszącej 50Pa, krotność wymiany powierza nie powinna przekraczać 0,6 wymian na godzinę.
- Przegrody zewnętrzne wykonane w taki sposób, aby maksymalnie zredukować mostki termiczne.
- Przeszklenie o współczynniku przenikania ciepła U poniżej 0,8 W/(m^{2}K) i całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego g ≥ 50 %.
- Ramy okienne o współczynniku przenikania ciepła U poniżej 0,8 W/m^{2}K.
- Wydajność rekuperatora, stosowanego do odzysku ciepła z wentylacji, powyżej 75%.
- Ograniczenie strat ciepła w procesie przygotowania i zaopatrzenia w ciepłą wodę użytkową.

- Efektywne wykorzystanie energii elektrycznej.

Kiedy najlepiej decydować się na technologie pasywne?

Podstawowym założeniem budynku pasywnego jest maksymalizacja zysków energetycznych i ograniczenie strat ciepła. Dlatego wszystkie przegrody zewnętrzne powinny mieć niski współczynnik przenikania ciepła. Ponadto zewnętrzna powłoka budynku (skorupa budynku) musi być szczelna i nieprzepuszczalna dla powietrza. Stolarka okienna musi charakteryzować się mniejszymi stratami cieplnymi niż w standardowo stosowanych rozwiązaniach. Bardzo ważnym elementem jest system wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła z powietrza wywiewanego (zużytego), co pozwala zmniejszyć straty zapotrzebowanie na podgrzanie powietrza wentylacyjnego o 70-80%.
Na rysunku 6 pokazano schemat działania budynku pasywnego.
Polega to na tym, że w okresie zimowym świeże powietrze zewnętrzne po przefiltrowaniu dostaje się do rekuperatora, w którym zostaje podgrzane ciepłym powietrzem wywiewanym z budynku. Dodatkowo zanim świeże powietrze trafi do rekuperatora możliwe jest jego wstępne podgrzanie w gruntowym wymienniku ciepła co dodatkowo wpływa na oszczędności energii.
Widać więc, że wymienione powyżej cechy budynku pasywnego można zastosować nie tylko w nowobudowanych obiektach, ale także już w tych istniejących. Na niekorzyść modernizacji budynków istniejących w stosunku do obiektów nowobudowanych w technologiach pasywnych, wpływają ograniczone możliwości zwiększenia zysków ciepła z promieniowania słonecznego, które stanowią główne źródło ciepła do ogrzewania tego typu obiektów. Wynika to z trudności i kosztów związanych z koniecznością nieraz całkowitej zmiany układu funkcjonalnego pomieszczeń w budynku, czy brak możliwości pełnego wykorzystania zysków od słońca z uwagi na orientację istniejącego budynku względem stron świata.
Dlatego na technologie pasywne najlepiej decydować się już w fazie projektowania budynku. Pozwoli to na optymalne wykorzystanie zysków słonecznych oraz na ograniczenie kosztów związanych z ograniczeniem strat budynku, które w budynkach istniejących mogą wiązać się ze zmianami konstrukcyjnymi oraz koniecznością demontażu elementów istniejących co podwyższa koszty całego przedsięwzięcia.
Nie należy jednak rezygnować z technologii budynków pasywnych w budynkach istniejących. Nawet jeśli w wyniku modernizacji nie osiągniemy standardu budynku pasywnego to z pewnością do takiego standardu się zbliżymy, a to z kolei odbije się na zdecydowanie niższych rachunkach jakie przyjdzie nam płacić za zużyte paliwa i energię.

Tak więc w miarę możliwości technicznych i ekonomicznych powinniśmy dążyć do budynków posiadających następujące cechy:

1) Zapotrzebowanie na energię, niezbędną do ogrzania jednego metra kwadratowego powierzchni, podczas jednego sezonu grzewczego poniżej 15kWh - co odpowiada spaleniu 3 kg węgla lub 1,5l oleju opałowego.

2) Bierne zyski słoneczne pokrywają 40% zapotrzebowania na ciepło.

3) Dobrze izolujące, niskoemisyjne szklenie okien (3-szybowe, lub ze specjalną membraną).

4) Dobrze izolujące ramy okienne.

5) Ściany o wysokiej izolacyjności cieplnej.

6) Ograniczenie do absolutnego minimum tzw. mostków termicznych.

7) Niska przepuszczalność powietrza do i na zewnątrz budynku, poprzez przegrody zewnętrzne.

8) Zwarta, nie rozczłonkowana bryła budynku.

9) Wentylacja mechaniczna, usuwająca wilgoć skuteczniej od tradycyjnej wentylacji grawitacyjnej.

10) Odzysk ciepła z powietrza wentylacyjnego (rekuperator).

11) Brak konwencjonalnego oddzielnego system ogrzewania. Ogrzewanie realizowane jest przez nadmuch ciepłego powietrza połączony z wentylacją mechaniczną.

12) Opcjonalnie pozyskiwanie ciepła z gruntu. Powietrze zewnętrzne nawiewane do budynku ogrzewane jest wstępnie w gruntowym wymienniku ciepła.

13) Opcjonalnie pozyskiwanie i magazynowanie ciepła z promieniowania słonecznego (kolektory słoneczne, izolacja transparentna, itp).

14) Opcjonalnie pozyskiwanie ciepła utajonego z powietrza wentylacyjnego (pompa ciepła powietrze-powietrze).

Budynek pasywny w praktyce

Ciągle rosnące ceny energii oraz paliw, wymuszają ich oszczędność, a z kolei zmniejszanie zużycia energii, paliw i ich racjonalne wykorzystanie bezpośrednio wpływają na ochronę klimatu.
Aby budynek energooszczędny w optymalny sposób spełniał swoje funkcje, należy znaleźć dla niego odpowiednią lokalizację. Przy wyborze działki pod budowę powinniśmy kierować się możliwością zbudowania budynku zorientowanego na południe (odchylenia od kierunku południowego o kilkanaście stopni są dopuszczalne).
Ważne, aby szerokość działki pozwalała na takie zaprojektowanie układu funkcjonalnego pomieszczeń w budynku, aby wszystkim pomieszczeniom mieszkalnym dostarczyć południowego światła, natomiast pomieszczenia pomocnicze (łazienka, kuchnia, garderoba, pomieszczenia gospodarcze i techniczne, klatki schodowe, korytarze itp.) znajdowały się od strony północnej.
Bryła budynku powinna być jak najbardziej zwarta. Każde załamanie ścian zewnętrznych jest miejscem, w którym może powstać mostek termiczny, ale również należy pamiętać, że metr kwadratowy izolacji takiego budynku sporo kosztuje, a więc im mniej powierzchni do ocieplenia tym lepiej.
Stopień zwartości bryły architektonicznej wyraża stosunek sumy pól powierzchni wszystkich ścian zewnętrznych (wraz z oknami i drzwiami), dachów i stropodachów, podłóg na gruncie liczoną po obrysie zewnętrznym do kubatury ogrzewanej części budynku i jest to współczynnik A/V. Im mniejszą wartość przyjmuje ten współczynnik, tym lepiej. Dla domów jednorodzinnych współczynnik ten powinien przyjmować wartość od 0,8 do 1, w budynkach wysokościowych około 0,3, dla budynków parterowych około 1,2.

Bardzo ważnym elementem w domach pasywnych i energooszczędnych jest elewacja południowa, która praktycznie stanowi autonomiczny system, którego zadaniem jest z jednej strony zapewnienie zacienienia w okresie letnim, a z drugiej pozyskanie jak największych zysków od słońca w miesiącach zimowych. Aby spełnić te dwa pozornie wykluczające się założenia, należy sprostać kilku problemom natury projektowej. Po pierwsze trzeba zapewnić odpowiednie umocowanie elementów zacieniających, nie konstruując przy tym mostków termicznych. Problematyczne jest też mocowanie jakichkolwiek elementów do ściany z grubą warstwą izolacji. Poza odpowiednimi przeszkleniami, systemem zacienień i izolacją, można wykorzystać także kolektory słoneczne albo baterie fotowoltaiczne.

Kolejnym istotnym etapem w rozwoju systemu fasady południowej, jest wybudowanie tzw. „strefy buforowej" budynku. Strefa buforowa stanowi dodatkową, nie ogrzewaną kubaturę, która niejako zwiększa grubość przegrody termicznej, jaką jest ściana południowa do wartości nawet kilku metrów. Strefa buforowa może być lekką, przeszkloną, wentylowaną konstrukcją szkieletową, którą można porównać do rozbudowanego ogrodu zimowego, rozciągającego się na długości całej fasady południowej.

Przegrody zewnętrzne - ściany, dachy, fundamenty i okna

Zagadnienia projektowania domów pasywnych mówią przede wszystkim o wykorzystaniu technologii, a w mniejszym stopniu dotyczą estetyki. Z punktu widzenia oszczędności energetycznych ważne jest, aby izolowana termicznie kubatura była jak najbardziej kompaktowa, a budynek osłonięty był od niekorzystnych zjawisk atmosferycznych.
Wszystkie przegrody zewnętrzne budynku, a więc: ściany, dach, okna czy podłoga na gruncie posiadają bardzo niski współczynnik przenikania ciepła. Jest on odpowiednio 2 – 3 krotnie mniejszy niż w przypadku budownictwa standardowego (w rozumieniu obecnych wymogów stawianych budynkom nowobudowanym).
Takie rozwiązanie pozwala zminimalizować straty ciepła przez przegrody, a w przypadku okien na uzyskanie dodatniego bilansu energetycznego (większe zyski ciepła od słońca niż straty przez przenikanie ciepła przez okna). Ponadto budynek pasywny musi być szczelny dla powietrza, aby zapobiec niekontrolowanej ucieczce ciepła wraz z wydostającym się powietrzem.

Wentylacja i ogrzewanie

Cechą wyróżniającą domy pasywne jest sposób ich ogrzewania. Budynki pasywne nie są bowiem wyposażone w typowe instalacje grzewcze, z jakimi zwykle mamy do czynienia. Budynki te nie posiadają hydraulicznej instalacji grzewczej, tak więc nie ma w nich grzejników czy ogrzewania podłogowego. Ogrzewanie budynku jest natomiast realizowane w połączeniu z wentylacją mechaniczną. Pamiętamy, że budynek powinien być tak zaprojektowany i wykonany, aby jego jednostkowe zapotrzebowanie na ciepło było zbliżone do poziomu 15kWh/m^2 na rok. Przy tak niskim zużyciu energii, wystarczy ogrzewanie powietrza wentylacyjnego nawiewanego do pomieszczeń, np. za pomocą nagrzewnicy umieszczonej w rekuperatorze lub przy pomocy pompy ciepła powietrze-powietrze.

Jak już wspomniano domy pasywne wyposażone są w system wentylacji mechanicznej. Zużyte powietrze, zanim zostanie odprowadzone na zewnątrz budynku, przechodzi przez rekuperator,
który odzyskuje część ciepła z powietrza wywiewanego, ogrzewając świeże powietrze, dostarczane przez wentylację nawiewną do wnętrza budynku. Świeże powietrze zanim trafi do rekuperatora może zostać wstępnie podgrzane w gruntowym wymienniku ciepła co dodatkowo zmniejsza zapotrzebowanie na energię do podgrzewania powietrza wentylacyjnego. Obecnie produkowane rekuperatory pozwalają na odzyskanie od 70 do nawet 90% ciepła z powietrza wywiewanego i jego ponowne wykorzystanie w budynku.

Rysunek 19. **Schemat działania wymiennika krzyżowego** *(źródło: www.budynkipasywne.pl)*

Przy tak dużej izolacji jaka ma miejsce w domach pasywnych, znacząco rośnie rola wentylacji, jednakże często jest źle rozumiana i nie doceniana. Bez sprawnie działającej wentylacji mechanicznej nie byłby możliwy odzysk ciepła przy pomocy rekuperatora, pozyskanie ciepła utajonego przy pomocy pompy ciepła oraz pozyskanie ciepła przy pomocy gruntowego wymiennika ciepła.

Jak już wspomniano wcześniej, świeże powietrze do wentylacji pomieszczeń może przejść przez biegnący pod ziemią system rur (lub przez warstwę żwiru) co pozwala na jego wstępne ogrzanie. Jest to tzw. gruntowy wymiennik ciepła, który jest powszechnie stosowanym rozwiązaniem w budynkach pasywnych. Gruntowy wymiennik ciepła pozwala pozyskać czystą energię z gruntu i jest to urządzenie bardzo wydajne (zużycie energii wynika jedynie z oporów przepływowych powietrza). Ponadto wykonanie gruntowego wymiennika ciepła jest stosunkowo tanie i proste – może być wykonany we własnym zakresie. Pomimo rozlicznych zalet rozwiązania takiego nie można zastosować przy wentylacji grawitacyjnej, powszechnie stosowanej w budownictwie. Może on być stosowany jedynie w budynkach z wentylacją mechaniczną.

Wspomniane wcześniej urządzenia jak rekuperator i pompa ciepła, zastępowane są coraz częściej jednym urządzeniem – kompaktową centralą grzewczą (wentylacja, odzysk ciepła, ogrzewanie powietrza, filtry powietrza, ogrzewanie ciepłej wody użytkowej) Urządzenia takie pojawiły się w ostatnich latach specjalnie dla potrzeb budynków pasywnych.

Zalety i wady budynków pasywnych

Zalety:

- Niskie wydatki na energię do ogrzewania;
- Minimalizacja kosztów utrzymania budynku w wypadku wzrostu cen energii w przyszłości;
- Dobre warunki mikroklimatyczne w budynku - brak pyłków i innych zanieczyszczeń powietrza;
- Stabilne i wyrównane temperatury;
- Redukcja emisji spalin;
- Możliwość taniego chłodzenia pomieszczeń w lecie;
- Brak przyłącza gazowego, a w konsekwencji brak konieczności dokonywania przeglądów instalacji oraz wyższy poziom bezpieczeństwa budynku;
- Brak przewodów spalinowych;
- Ograniczenie hałasu z zewnątrz – wietrzenie bez otwierania okien;
- Możliwości uzyskania dofinansowań.

Wady:

- Konieczność zatrudnienia wykwalifikowanych wykonawców i dopilnowania precyzyjnego i starannego wykonania budynku.
- Brak wiedzy i doświadczenia w zakresie budynków pasywnych wśród wykonawców.
- Większe o około 15% koszty wykonania budynku

6 Wykorzystanie biomasy do produkcji ciepła

Biomasa to substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz leśnej, a także przemysłu przetwarzającego ich produkty, a także inne części odpadów, które ulegają biodegradacji. Jest to źródłem energii odnawialnej w największym stopniu wykorzystywane w Polsce. Ogólnie, w krajach europejskich jej wykorzystanie znacznie przewyższa wszystkie pozostałe źródła.
W Polsce z 1 ha użytków rolnych zbiera się rocznie ok. 10 ton biomasy, co stanowi równowartość ok. 5 ton węgla kamiennego. Podczas jej spalania wydzielają się niewielkie ilości związków siarki i azotu. Powstający gaz cieplarniany - dwutlenek węgla jest asymilowany przez rośliny wzrastające na polach, czyli jego ilość w atmosferze nie zwiększa się. Zawartość popiołów przy spalaniu wynosi ok. 1% spalanej masy, podczas gdy przy spalaniu gorszych gatunków węgla sięga nawet 20%.

Energię z biomasy można uzyskać poprzez:

- spalanie biomasy roślinnej (np. drewno, odpady drzewne z tartaków, zakładów meblarskich i in., słoma, specjalne uprawy roślin energetycznych),
- wytwarzanie oleju opałowego z roślin oleistych (np. rzepak) specjalnie uprawianych dla celów energetycznych,

- fermentację alkoholową trzciny cukrowej, ziemniaków lub dowolnego materiału organicznego poddającego się takiej fermentacji, celem wytworzenia alkoholu etylowego do paliw silnikowych,
- beztlenową fermentację metanową odpadowej masy organicznej (np. odpady z produkcji rolnej lub przemysłu spożywczego).

Obecnie w Polsce wykorzystywana w przemyśle energetycznym biomasa pochodzi z dwóch gałęzi gospodarki: rolnictwa i leśnictwa. Najpoważniejszym źródłem biomasy są odpady drzewne i słoma. Część odpadów drzewnych wykorzystuje się w miejscu ich powstawania (przemysł drzewny), głównie do produkcji ciepła lub pary użytkowanej w procesach technologicznych. W przypadku słomy, szczególnie cenne energetycznie, a zupełnie nieprzydatne w rolnictwie, są słomy rzepakowa, bobikowa i słonecznikowa. Rocznie polskie rolnictwo produkuje ok. 25 mln ton słomy.
W ostatnim czasie obserwuje się zainteresowanie uprawą roślin energetycznych takich jak np. wierzba energetyczna. Jest to krzewiasta forma wierzby z rodziny Salix viminalis.
Różnorodność materiału wyjściowego i konieczność dostosowania technologii oraz mocy powoduje, iż biopaliwa wykorzystywane są w rożnej postaci. Drewno w postaci kawałkowej, rozdrobnionej (zrębków, ścinków, wiórów, trocin, pyłu drzewnego) oraz skompaktowanej (brykietów, peletów). Słoma i pozostałe biopaliwa z roślin nie-zdrewniałych są wykorzystywane w postaci sprasowanych kostek i balotów, sieczki jak też brykietów i peletów.
Obecnie potencjał biomasy stałej związany jest z wykorzystaniem nadwyżek słomy oraz odpadów drzewnych, dlatego też wykorzystanie ich skoncentrowane jest na obszarach intensywnej produkcji rolnej i drzewnej. Jednak rozwój energetycznego wykorzystania biomasy powoduje wyczerpanie się potencjału biomasy odpadowej, a wówczas przewiduje się intensywny rozwój upraw szybko rosnących roślin na cele energetyczne. Aktualnie zakładane są plantacje roślin energetycznych (szybkorosnące uprawy drzew i traw).

Spalanie biomasy

Patrząc na całkowity techniczny potencjał energii odnawialnej możliwej do wykorzystana oczywistym staje się, że biomasa musi być rozwijana najszybciej i w najbliższych latach powinna osiągnąć znaczący udział w Polsce. Wykorzystywanie energii z biomasy jest nie tylko korzystne ze względów ekonomicznych ale także ze względu na łatwość dostępu do tego paliwa, zwłaszcza, że 28% powierzchni naszego kraju zajmują lasy.
W przypadku kotłów na biomasę pewne różnice technologiczne wpływające na sposób eksploatacji. Kotły te dzielą się na sterowane ręcznie oraz sterowane automatycznie. Kotły ładowane ręcznie, powinny być instalowane razem ze zbiornikami akumulacyjnymi, ażeby magazynować ciepło z jednego zakładu paliwa. Kotły automatyczne zaopatrzone są w silosy do magazynowania zrębków oraz peletów. Podajnik ślimakowy, samoczynnie doprowadza paliwo w zależności od potrzeb.

Jako paliwo w kotłach biomasowych może być wykorzystywane drewno nieprzetworzone jak: drewno opałowe, zrębki, trociny, wióry czy kora. Drewno takie ma istotną wadę, zawiera dużo wilgoci przez co zdecydowanie spada jego wartość opałowa. Dlatego też drewno takie wymaga długotrwałego przechowywania w odpowiednich warunkach (sezonowania), ok. 1-1,5 roku. Ponadto drewno ma stosunkowo małą gęstość, przez co wymaga ok. 2 razy więcej miejsca do składowania niż węgiel.
Ponadto oprócz drewna nieprzetworzonego wykorzystuje się drewno, które poddano przeróbce w postaci peletów i brykietów. Proces przetwarzania tego drewna polega na sprasowaniu pod wysokim ciśnieniem drobnych i wysuszonych trocin i wiórów. Tak przetworzone paliwo jest droższe od zwykłego drewna, ale dzięki niższej zawartości wilgoci i zwiększonej gęstości posiada zdecydowanie większą wartość opałową, a więc w celu otrzymania tej samej ilości ciepła mniej się go spala niż zwykłego drewna.

Postaci spalanego drewna:

Drewno opałowe – to przede wszystkim pnie, gałęzie i korzenie, rozdrobnione zwykle na kawałki długości 15-35 cm. Wartość opałowa suchego drewna zależy od zawartości wilgoci, której ilość w

zależności od gatunku drzewa waha się w granicach 15 do 60%. Zawartość popiołu w drewnie opałowym wynosi ok. 2% suchej masy. Wartość opałowa suchej masy wynosi ok. 16 GJ/Mg.

Zrębki drzewne – jest to rozdrobnione na kawałki długości 5-50mm. Pochodzą głównie z wyrębów leśnych oraz jako produkt odpadowy z procesów obróbki w tartakach. Wilgotność zrębków waha się od 35 – 60%. Zawartość popiołu w igłach sięga 5%, w gałęziach i korze – 3%, a w łodygach – 0,6%. Wartość opałowa zrębków wynosi ok. 14GJ/Mg.

Trociny, wióry i kora – są to produkty powstające jako uboczny produkt przemysłu drzewnego. Zawartość wilgoci jest zróżnicowana i waha się w granicach od 5% dla wiórów do 60% dla kory. Średnia zawartość popiołu to ok. 0,5%, a wartość opałowa 15GJ/Mg.

Brykiety, pelety – brykiety mają kształt prostopadły lub cylindryczny o wymiarach 10-30cm. Pelety z kolei to małe walce długości ok. 5-40 mm i średnicy 8-12mm. Jedne i drugie są bardzo suche (wilgotność ok. 10%) i zawierają od 0,5 do 1% popiołu. Wartość opałowa brykietów wynosi około 17 GJ/Mg, a peletów około 19 GJ/Mg.

Rysunek 20. **Postaci spalanego drewna: drewno opałowe, zrębki drzewne, trociny oraz pelety**

Wilgotność %	Wartość opałowa drewna (GJ/m³)					
	buk, dąb	brzoza	wierzba	modrzew	sosna, olcha	świerk
0	10,83	9,69	6,65	8,74	7,98	7,60
15	10,59	9,47	6,50	8,55	7,80	7,43
20	10,49	9,38	6,44	8,46	7,73	7,36
25	10,37	9,28	6,37	8,37	7,64	7,28
30	10,24	9,17	6,29	8,27	7,55	7,19
35	10,09	9,03	6,20	8,15	7,44	7,08
40	9,92	8,87	6,09	8,00	7,31	6,96
45	9,71	8,69	5,96	7,84	7,16	6,81
50	9,46	8,47	5,81	7,64	6,97	6,64
55	9,16	8,19	5,62	7,39	6,75	6,43
60	8,78	7,85	5,39	7,08	6,47	6,16

Tabela 13. **Wartość opałowa różnych rodzajów drewna** *(źródło: E. Wach - BAPE)*

Efektywność energetyczna spalania paliw drewnopochodnych zależy nie tylko od rodzaju paliwa oraz stopnia zautomatyzowania procesu. Lepsze efekty spalania uzyskuje się w specjalnie skonstruowanych do tego typu paliwa kotłach.

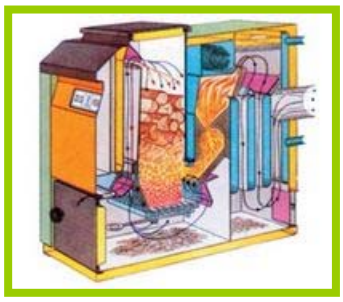
Kotły na biomasę do produkcji ciepła

W ostatnich latach nastąpiło wiele zmian w konstrukcji i działaniu kotłów, zarówno ręcznych jak i automatycznych, zmierzających do uzyskania lepszej wydajności oraz obniżenia emisji zanieczyszczeń

z kominów. Ulepszenia te osiągnięto głównie przez zaprojektowanie komory spalania, systemu dopływu powietrza oraz automatycznej kontroli procesu spalania. W stosunku do kotłów sterowanych ręcznie, osiągnięto wzrost wydajności z poziomu poniżej 50% do poziomu 75-90%. Jeśli chodzi o kotły zautomatyzowane, osiągnięto wzrost wydajności z 60% do 85-95%.

Rodzaje kotłów do spalania drewna:

Kotły ze spalaniem górnym – są najpopularniejszym i najtańszymi urządzeniami na paliwa stałe. W czasie spalania powietrze jest doprowadzone do całej objętości paliwa. Wydłużenie tego procesu otrzymuje się przez ograniczenie ciągu kominowego za pomocą regulatora. W kotłach takich temperatura spalin jest wysoka, dzięki czemu nie ma problemu z ciągiem kominowym. Nie ma też ryzyka wykraplania się pary wodnej zawartej w spalinach, a więc nie ma konieczności stosowania specjalnych wkładów kominowych ze stali kwasoodpornej. Ponieważ drewno zawiera dużo składników lotnych, tylko 20% jego objętości spalane jest bezpośrednio na ruszcie. W spalinach opuszczających kocioł znajduje się jeszcze dużo niespalonego węgla, co bardzo obniża sprawność kotła. Z tego powodu kotły ze spalaniem górnym bardziej niż do drewna nadają się do węgla, miału i koksu – zawierają one niewielką ilość składników lotnych.



Kotły ze spalaniem dolnym – osiągają dużo wyższą sprawność przy spalaniu drewna niż kotły ze spalaniem górnym. Spalanie odbywa się tu w pobliżu tylnej ściany komory spalania lub w komorze spalania znajdują się w tylnej części komory spalania lub w komorze spalania znajdującej się w tylnej części komory zasypowej, w miejscu doprowadzenia powietrza. Następnie spaliny przepływają do drugiego ciągu spalinowego, gdzie są dopalane, czego konsekwencją jest wysoka sprawność kotłów.

Kotły zgazowujące – w nowoczesnych kotłach na drewno paliwo jest poddawane procesowi zgazowania. Najpierw jest suszone i odgazowane w komorze zgazowania, w wyniku czego uwalnia się gaz drzewny. Proces ten zachodzi przy szczelnie zamkniętej komorze spalania i zamkniętym wylocie kominowym. Następnie gaz drzewny kierowany jest do dyszy palnika, gdzie miesza się z powietrzem wtórnym wtłaczanym za pomocą wentylatora nadmuchowego. Na koniec rozgrzana mieszanina gazu drzewnego i powietrza dostaje się do komory spalania, w której następuje zapłon mieszanki. Temperatura spalania gazu drzewnego drzewnego wynosi około 1200^{o}C. Praca kotła sterowana jest automatycznie. Z tego powodu jest on stosunkowo drogi. Paliwo uzupełnia się co 8 do 12 godzin, a przy dostatecznie dużej pojemności komory zgazowania nawet raz na dobę.

Kotły retortowe – spalają pelety, zrębki oraz trociny. Wyposażone są w automatyczny system podawania paliwa oraz doprowadzania powietrza do spalania. Nie wymagają stałej obsługi, mogą współpracować z automatyką pogodową. Paliwo umieszcza się w specjalnym zasobniku, skąd jest pobierane przez podajnik z napędem elektrycznym sterowany automatycznie w zależności od warunków atmosferycznych. Automatycznie steruje także wentylatorem dozującym powietrze do spalania. Paliwo uzupełnia się co kilka dni, tym rzadziej, im większy jest zasobnik.

Dobór i dostosowanie kotłów na biomasę – jak mogą pracować w Twoim systemie ogrzewania budynków.

Jeżeli kocioł ma pracować oszczędnie i bezawaryjnie, należy właściwie dobrać jego moc. W jaki sposób obliczyć przybliżone zapotrzebowanie na moc grzewczą budynku oraz na moc do przygotowania ciepłej wody użytkowej już wiesz. Moc cieplna jest podstawowym kryterium doboru kotłów zarówno biomasowych jak i innych, wpływa to nie tylko na zapewnienie wymaganego komfortu cieplnego w budynku ale również na optymalną pracę kotłów oraz uniknięcie niepotrzebnych kosztów związanych z zakupem większej jednostki. Urządzenia pracujące na znacznie niższych obciążeniach niż znamionowe tracą na sprawności co z kolei powoduje wzrost kosztów eksploatacyjnych związanych ze spalaniem większej ilości paliwa.
Przy wymianie istniejącego systemu grzewczego należy uwzględnić prognozowane prace związane z termorenowacją budynku w najbliższym czasie tak, aby nowy system dostosować do niższych wartości wymaganych po termomodernizacji. Należy bezwzględnie pamiętać, że w przypadku doboru kotłów powiedzenie „Od przybytku głowa nie boli...” absolutnie się nie sprawdza, podobnie zresztą jest w przypadku innych urządzeń. Taki nie uzasadniony przybytek będzie pokutował zwiększonymi rachunkami za paliwo i to przez następne kilkanaście a nawet dwadzieścia lat.

Wyszczególnienie	Trociny	Zrębki	Kawałki drewna o dl.		Brykiety z trocin
			30-50 cm	100 cm	
Gęstość usypowa (kg/m³)	150-200	200-300	200-500	300-500	400-600
Masa jednostkowa (kg)	-	-	0,4-2,5	3-25	0,03-0,2
Średnia objętość magazynowania (m³/60000 kWh)	105-140	770-105	40-105	40-70	35-50
Transport:					
– krótki odcinek	++	++	+	+	++
– długi odcinek	+	++	+	+	++
Załadunek materiału do pieca	ciągły okresowy	ciągły okresowy	okresowy	okresowy	ciągły okresowy
Możliwość załadunku ręcznego	0	+	+	++	+
Automatyzacja załadunku	+	++	-	-	+
Możliwość regulacji mocy cieplnej	++	++	0	0	+
System spalania	specjalne piece	przedpalenisko ruszt mechaniczny	dolne palenisko		

++ bardzo korzystna, + korzystna, 0 średniokorzystna, - niekorzystna
Tabela 14. **Ocena techniczna spalania drewna** *(źródło: Grzybek, Teliga2006)*

Wydajność kotła na biomasę trudno jest szybko dostosować do zmieniającego się zapotrzebowania na ciepło. Dlatego w instalacjach z takimi kotłami zaleca się stosowanie zbiornika akumulacyjnego. Jego zadaniem jest przejmowanie nadwyżek ciepła wytwarzanego przez kocioł, które zostają wykorzystane jeśli kocioł wygaśnie. W zbiorniku o pojemności 200-300 l zgromadzona jest woda ogrzana podczas pracy kotła. Jeszcze przez długi czas po wygaśnięciu kotła jest ona dostatecznie ciepła, by można ją było wykorzystać do ogrzewania pomieszczeń czy wody użytkowej. Zastosowanie zbiornika akumulacyjnego przyczynia się do znacznych oszczędności paliwa, nawet do 30%.

Dobór zbiornika akumulacyjnego do mocy kotłów nie jest sprawą jednoznaczną ale można przyjąć wstępnie założenie, że na każdy kW mocy zainstalowanej kotła przyjąć należy od 50 do 70 litrów pojemności zbiornika. W zbiorniku akumulacyjnym gromadzone są duże ilości wody podgrzanej do do temperatury ok. 80 – 90C, a więc należy zwrócić uwagę na odpowiednio dobrą izolacyjność zbiorników tak aby zminimalizować straty zgromadzonego ciepła do otoczenia.

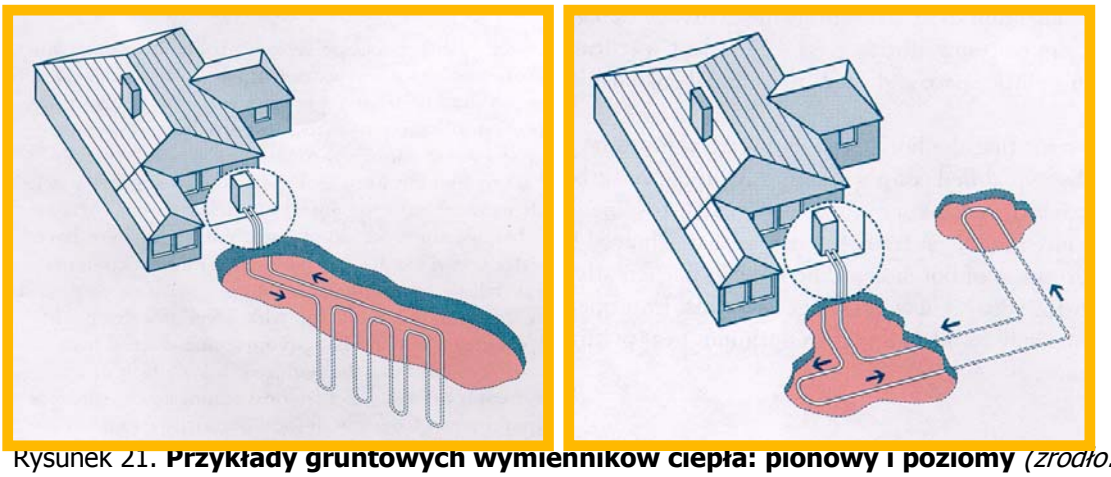
Zbiorniki akumulacyjne są używane wszędzie tam, gdzie produkowanie i zapotrzebowanie ciepła nie odbywa się jednocześnie. Zbiorniki współpracujące z układem grzewczym zasilanym paliwami stałymi, w tym biomasowymi znajdują z powodzeniem zastosowanie w układach wyposażonych w instalację solarną, które również, w celu uzyskania lepszych efektów, wymagają stosowania akumulacji ciepła.

Oprócz cyklicznej pracy kotłów na biomasę pracujących ze zbiornikami akumulacyjnymi, realizuje się również układy pracy ciągłej, co oczywiście wiąże się z dostosowaniem kotła do takiej pracy, np. retortowy. Praca takiego układu nie różni się znacząco od układu opalanego węglem, czy też innymi paliwami kopalnymi.
W przypadku większych obiektów, np. budynki wielorodzinne, czy szkoły których zapotrzebowanie na moc wynosi kilkaset kW lub więcej wówczas rozsądnym rozwiązanie jest budowa układu pracującego z więcej niż jednym kotłem. Rozwiązanie takie pozwala na znacznie łatwiejsze dostosowanie produkcji ciepła do potrzeb przy jednoczesnym zagwarantowaniu pracy urządzeń na warunkach zbliżonych do znamionowych. Dobierane kotły wcale nie muszą mieć takiej samej mocy, wówczas mniejszy kocioł będzie mógł być używany np. do produkcji c.w.u. w okresie letnim oraz w początkowych okresach sezonu grzewczego kiedy temperatury zewnętrzne nie są jeszcze bardzo niskie.
Cechą charakterystyczną układów ogrzewanych biomasą jest konieczność zapewnienia odpowiedniej ilości miejsca na gromadzenie paliwa. Ze względu na stosunkowo małą gęstość tych paliw należy zwrócić uwagę również na łatwość dostępu dla dostawcy do miejsca składowania. Kotłownia musi być oddzielona od składowiska paliwa ze względów bezpieczeństwa przeciwpożarowego. Składowisko paliwa powinno być zbudowane z ogniotrwałych ścian, musi być suche oraz utrzymywane w czystości, tak aby nie następowało gromadzenie się dużych ilości pyłu drzewnego.

7 Wykorzystanie ciepła z otoczenia – pompy ciepła

Otaczające nas powietrze, wody powierzchniowe i głębinowe też są źródłem ciepła ale mają niską temperaturę. Są to powierzchniowe źródła ciepła. Pozyskiwanie i użytkowanie ciepła niskotemperaturowego, pochodzącego z takich źródeł jak powietrze, woda czy gleba jest możliwe dzięki urządzeniom nazwanym pompami ciepła.

Pompa ciepła odbiera ciepło z otoczenia – gruntu, wody lub powietrza – i przekazuje je do instalacji c.o. i c.w.u, ogrzewając w niej wodę, albo do instalacji wentylacyjnej ogrzewając powietrze nawiewane do pomieszczeń. Przekazywanie ciepła z zimnego otoczenia do znacznie cieplejszych pomieszczeń jest możliwe dzięki zachodzącym w pompie ciepła procesom termodynamicznym. Do napędu pompy potrzebna jest energia elektryczna. Jednak ilość pobieranej przez nią energii jest kilkakrotnie mniejsza od ilości dostarczanego ciepła.
Pompy ciepła najczęściej odbierają ciepło z gruntu. Przez cały sezon letni powierzchnia gruntu chłonie energię słoneczną akumulując ją coraz głębiej, ilość zakumulowanego ciepła zależy oczywiście od pory roku. Aby odebrać ciepło niezbędny jest do tego wymiennik ciepła, który najczęściej wykonywany jest z długich rur z tworzywa sztucznego lub miedzianych powlekanych tworzywem. Przepływający nimi czynnik ogrzewa się od gruntu, który na głębokości ok. 2 m pod powierzchnią ma zawsze dodatnią temperaturę.
W przypadku pomp ciepła wykorzystujących ciepło z gruntu lub zwody niezbędny jest wymiennik, za którego pośrednictwem ciepło dostarczane będzie do parownika pompy (w małych układach krąży czynnik roboczy pompy, więc rury wymiennika są jednocześnie parownikiem). W zasadzie prawidłowe wykonanie oraz dobór wielkości wymiennika determinuje poprawne funkcjonowanie pompy i jest najbardziej kłopotliwym etapem instalowania urządzenia.



Rysunek 21. **Przykłady gruntowych wymienników ciepła: pionowy i poziomy** *(źródło: RETScreen)*

Najczęściej spotykanymi wymiennikami są wymienniki gruntowe, w kilku różnych wariantach ułożenia. Zazwyczaj układa się je poziomo, w jednej lub dwóch płaszczyznach albo w formie spirali. Stabilna jednakowa przez cały rok temperatura gruntu występuje na głębokości powyżej 10 m. Jest ona w przybliżeniu równa średniorocznej temperaturze powietrza (w naszych warunkach wynosi ok. 8°C). Jednak ze względu na wysoki koszt robót poziome wymienniki układa się na głębokości 1,5-2 m, gdzie temperatura zmienia się od 11-17°C w lecie oraz od 0-5°C zimą.

Wielkość temperatury zależy w dużym stopniu od nasłonecznienia terenu i właściwości fizycznych gleby, dlatego przed wykonaniem wymiennika powinno się ją zbadać, bo zbyt optymistyczne złożenie temperatury gruntu wokół wymiennika będzie skutkować niedostateczną wydajnością pompy ciepła, a w konsekwencji problemem z dogrzaniem obiektu.

Najcieplejsze warunki do pozyskania ciepła występują w mokrym gruncie gliniastym. Gęstość strumienia ciepła, od której zależy efektywność wymiennika gruntowego, wynosi w nim 40-50 W/m^2, podczas gdy w gruncie suchym tylko 10-30 W/m^2, czyli nawet pięciokrotnie mniej. Aby moc pompy ciepła wynosiła 15 kW, konieczne jest wykonanie wymiennika o długości rur wynoszącej około 700m.

W zależności od sposobu ułożenia (jedna lub dwie płaszczyzny, spirala) trzeba na nie przeznaczyć powierzchnię od kilkudziesięciu do kilkuset metrów kwadratowych. Ze względu na opory przepływu długość jednej pętli rury o średnicy 1" może wynosić maksymalnie ok. 200 m, jeśli zaś rura ma średnicę 1,5", jej długość może sięgać 350 m. Często przyjmuje się, że wymagana powierzchnia gruntu pod wymiennik, aby zapewnić odpowiednią ilość energii cieplnej, powinna wynosić od 1,2 do 1,8 powierzchni ogrzewanej.

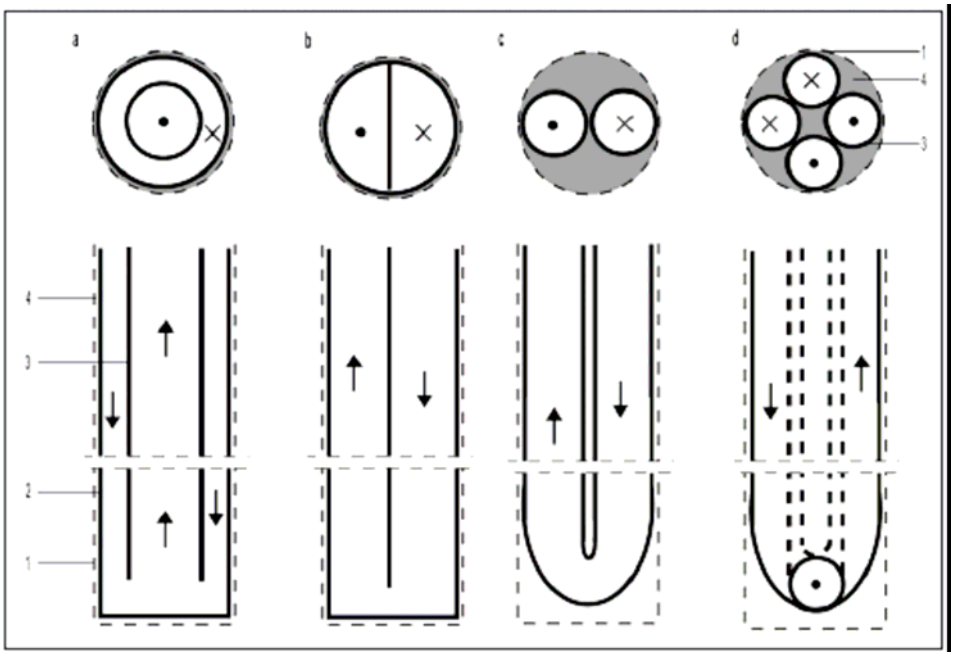
Układ rur wymiennika gruntowego	Jednostkowy odbiór energii		Głębokość wykopu	Rozstaw rur w wykopie
	w przeliczeniu na długość wykopu	w przeliczeniu na długość rury		
Gdy po dwie rury w wykopie z przepływem przeciwbieżnym	17-30 m/kW	35-50 m/kW	pierwsza rura 1,2-1,8 m druga rura 0,9-1,5 m	0,3 m
Gdy jedna rura w wykopie	28-45 m/kW		1-1,5 m	—

Tabela 15. **Najczęstsze przypadki ułożenia rur wymiennika w wykopie** *(źródło: T. Śliwa)*

Jeżeli na działce nie ma dostatecznej ilości miejsca do ułożenia rur w poziomie wykonuje się wymienniki pionowe. Wymaga to z kolei wywiercenia w ziemi kilku otworów o długości od 20 do

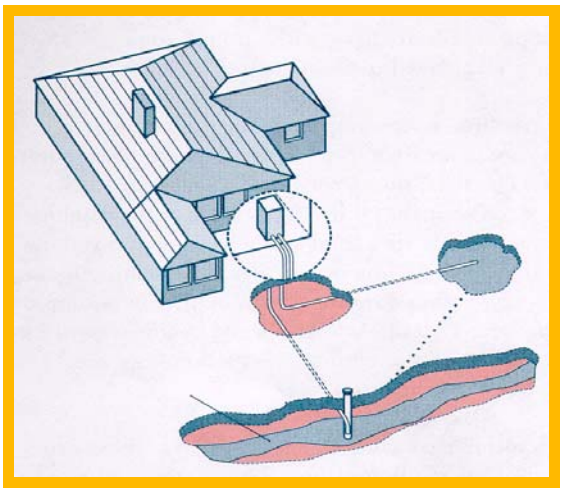
nawet 140 m, odległych od siebie przynajmniej 5 m i włożenia do każdego jednej pętli rur. Jest to zdecydowanie trudniejsze niż wykonanie wymiennika poziomego, gdyż wymaga zatrudnienia wykonawców ze specjalistycznym sprzętem i dlatego kosztuje znacznie więcej. Wymaga to z kolei wywiercenia w ziemi od kilku do kilkudziesięciu otworów o głębokości od ok. 20 do nawet 140 m i włożenia do każdego z nich pętli rur. Jest to najbardziej opłacalne rozwiązanie na działce o niskim poziomie wód gruntowych.

Pozyskanie ciepła z wody jest bardziej kłopotliwe. Przede wszystkim trzeba mieć do niej dostęp. W przypadku wód powierzchniowych (rzek, jezior), których temperatura waha się między 0 a 10°C, problemy wynikają z zamarzania parownika, co oznacza unieruchomienie pompy. Poza tym w celu uzyskania niezbędnej ilości ciepła konieczne jest przepompowanie stosunkowo dużej ilości wody. Do osiągnięcia mocy 10 kW potrzebny jest przepływ ponad 2 m^3/h wody o temperaturze 5°C. Zużycie energii do napędu pompy wymuszającej taki przepływ wpływa niekorzystnie na sprawność układu, podobnie jak zanieczyszczenie wody, które powoduje konieczność stosowania układów filtrujących i wymienników pośrednich. Wszystko to znacznie podnosi koszt inwestycji.



Rysunek 22. **Schemat konstrukcji otworowych wymienników ciepła: a – układ centryczny, b – układ połówkowy, c – układ z pojedynczą u-rurką, d – układ z podwójną u-rurką**

Efektywnym źródłem ciepła jest woda gruntowa, która przez cały rok ma temperaturę ok. 10 °C. Aby ją wykorzystać trzeba wywiercić studnię o wydajności przynajmniej 1,5 m^3/h. Pompowana w niej woda będzie oddawać ciepło w parowniku. Następnie trzeba ją odprowadzić do drugiej studni tzw. chłonnej. Jeśli jej chłonność jest niewystarczająca, trzeba wywiercić więcej studni, co oczywiście znacznie podnosi koszt inwestycji. Istotne jest aby woda nie była zbyt twarda – kamień osadzający się na wymienniku ograniczy wymianę ciepła. Jeżeli woda będzie zawierała dużo żelaza i manganu, szybko zniszczy pompę i wymiennik.



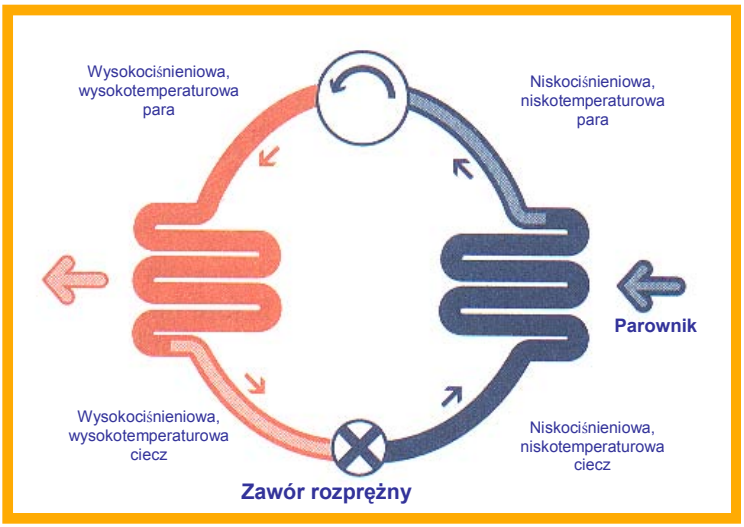
Rysunek 23. **Schemat pompy ciepła wykorzystującej ciepło wód gruntowych** *(źródło: RETScreen)*

Pompa ciepła może także odzyskiwać ciepło z odpadów. I tak w ściekach z oczyszczalni mogą być zakumulowane znaczne ilości energii. Strumień ścieków komunalnych posiada w miarę stabilną i przewidywalną wartość, może on stanowić dolne źródło ciepła dla pompy ciepła, zapewniając jej stabilną i efektywną pracę. Tak więc zanim oczyszczona woda będzie zrzucona do cieków, można odebrać z niej ciepło i przekazać odbiorcy. Podobnie duże ilości ciepła zakumulowane mogą być w ściekach porafineryjnych w rafineriach naftowych. Odpadem są także eksploatowane podczas odwadniania kopalń podziemnych i odkrywkowych wody kopalniane, które posiadają stabilną temperaturę i są dobrym nośnikiem ciepła.

Powietrzna pompa ciepła wykorzystuje jako dolne źródło ciepła powietrze i jest najmniej kłopotliwa do zainstalowania. Nie potrzebuje zewnętrznego wymiennika ciepła. Powietrze zasysane jest do jej wnętrza przez wentylator i bezpośrednio omywa parownik oddając ciepło czynnikowi roboczemu krążącemu w obiegu wewnętrznym pompy. Powietrze to może pochodzić z zewnątrz, ale jej wydajność jest tym mniejsza, im niższa jest temperatura powietrza. Poniżej – 10^{o}C pompa w ogóle nie pracuje. Innym rozwiązaniem jest pompa odzyskująca ciepło z powietrza wywiewanego z pomieszczeń, którego temperatura wynosi na ogół ok. 20oC. Powietrzna pompa ciepła sprawdza się w naszym klimacie sprawdza się jako urządzenie do podgrzewania wody użytkowej. Do ogrzewania pomieszczeń można ją stosować tylko z drugim źródłem ciepła, które zastąpi ją w czasie dużych mrozów.

Opis budowy i działania sprężarkowej pompy ciepła

Sprężarkowe pompy ciepła są najpopularniejszym rodzajem pomp. Zbudowana jest z parownika, skraplacza, sprężarki i zaworu rozprężnego. Jej układ wypełniony jest specjalnym czynnikiem roboczym, który odparowuje w niskich temperaturach pobierając podczas tej przemiany fazowej ciepło z dolnego źródła ciepła (gruntu, wody, powietrza). Następnie sprężarka podnosi ciśnienie pary czemu towarzyszy wzrost jej temperatury. Para zmienia swój stan skupienia na ciekły w drugim wymienniku, którym jest skraplacz oddając tym samym pobrane ciepło do instalacji grzewczej, w której jest zwykle ogrzewana woda, ewentualnie powietrze.



Rysunek 24. **Schemat działania sprężarkowej pompy ciepła** *(źródło: RETScreen)*

Do napędu sprężarki używa się silnika zasilanego energią elektryczną, zazwyczaj dostarczoną z sieci elektrycznej.

Dwie spośród wielu wartości, które charakteryzują pompy ciepła to moc grzewcza oraz pobór mocy elektrycznej. Stosunek tych wartości określany jest jako współczynnik efektywności pompy ciepła (COP – *Coefficient Of Performance*).

Moc cieplna pompy jest podawana w ściśle określonym zakresie temperatur, który z kolei zależy od rodzaju dolnego i górnego źródła ciepła. Moc pompy ciepła dobiera się na podstawie uprzednio oszacowanego zapotrzebowania cieplnego budynku.

Współczynnik efektywności w sprężarkowych pompach ciepła jest tym wyższy, im mniejsza jest różnica temperatur pomiędzy górnym a dolnym źródłem.

Wartość ta, w normalnych warunkach pracy pompy ciepła, waha się w przedziale od 2 do 4, co oznacza, że z 1kWh zużytej energii elektrycznej do napędu pompy uzyskamy od 2 do 4 kWh energii cieplnej.

Sprężarkowe pompy ciepła posiadają ograniczone parametry pracy. Wynika to z rodzaju zastosowanego w obiegu wewnętrznym czynnika oraz technicznych parametrów sprężarki. Dla sprężarkowych pomp można przyjąć następujące zakresy temperaturowe dolnego i górnego źródła ciepła:

- dolne źródło ciepła: -7 ^{o}C do 25 ^{o}C
- górne źródło ciepła: 25 ^{o}C do 60 ^{o}C

Parametrami określającymi ilościowo dolne źródło ciepła są: zawartość ciepła, temperatura źródła i jej zmiany w czasie; natomiast od strony technicznej istotne są: możliwość ujęcia i pewność eksploatacji.

Górne źródło ciepła stanowi instalacja grzewcza, jest ono więc tożsame z potrzebami cieplnymi odbiorcy. Parametry techniczne pomp ciepła ograniczają ich przydatność do następujących celów:

- ogrzewania podłogowego: 25 - 29 ^{o}C
- ogrzewania sufitowego: do 45 ^{o}C
- ogrzewania grzejnikowego o obniżonych parametrach: np. 55/40 ^{o}C
- podgrzewania ciepłej wody użytkowej: 55 - 60 ^{o}C
- niskotemperaturowych procesów technologicznych: 25 - 60 ^{o}C.

Nie jest to wcale mały obszar zastosowania. Wskutek budowy dobrze izolowanych termicznie budynków temperatura obliczeniowa powierzchni grzejnych jest coraz niższa i zbliża się do wartości 60 ^{o}C.

Ze względów ekonomicznych oraz strat wynikających z przesyłu ciepła, pompy ciepła winno się montować w pobliżu źródeł ciepła, zarówno dolnego jak i górnego.

Źródło ciepła niskotemperaturowego			Grunty		Wody			Powietrze		
			poziomy wymiennik ciepła	otworowy wymiennik ciepła	cieki powierzchniowe	głębinowe	technologiczne odpadowe, ścieki	atmosferyczne w zimnym półroczu	atmosferyczne w ciepłym półroczu	powietrze wentylacyjne, procesy technologiczne
Temperatura nośnika ciepła wypływajcego z parownika K (°C)			271 (-2)	273 (0)	275 (2)	278 (5)	283 (10)	265 (-8)	278 (5)	283 (10)
Odbiornik ciepła	Temperatura nośnika ciepła wypływającego ze skraplacza		Współczynnik efektywności pompy ciepła							
	K	°C								
Ogrzewanie grzejnikami tradycyjnymi	353	80	2,00	2,05	2,10	2,17	2,31	1,83	2,11	2,24
Ogrzewanie grzejnikami konwektorowymi	333	60	2,44	2,51	2,59	2,71	2,95	2,17	2,61	2,83
Ogrzewanie powierzchniowe (podłogowe, ścienne)	323	50	2,77	2,86	2,97	3,14	3,47	2,42	3,00	3,30
	313	40	3,23	3,37	3,52	3,77	4,28	2,75	3,56	4,01
Ogrzewanie wody użytkowej	318	45	2,98	3,09	3,22	3,42	3,83	2,57	3,25	3,61
Ogrzewanie wody w basenie	308	35	3,54	3,71	3,89	4,21	4,87	2,97	3,94	4,51
Ogrzewanie powietrzne (nawiewne)	323	50	2,67	2,76	2,86	3,02	3,32	2,35	2,89	3,16
	308	35	3,38	3,53	3,69	3,97	4,55	2,85	3,74	4,24

Tabela 16. **Teoretyczne wartości współczynnika wydajności grzejnej pompy ciepła w zależności od charakterystyki układu zasilania w ciepło niskotemperaturowe oraz układu odbiorczego** *(źródło: Śliwa, Gonet 2004)*

8 Wykorzystanie ogniw fotowoltaicznych do produkcji energii elektrycznej

Nie tylko na energię cieplną, jak pokazano, może być przetwarzana energia słoneczna. Możliwe jest także jej przetwarzanie na energię elektryczną.
Produkcja energii elektrycznej z energii słonecznej może odbywać się na dwa sposoby:

- pośredni, tzw. metoda termodynamiczna (heliotermiczna), w której to metodzie ciepło dostarczane jest czynnikowi obiegowemu, który krążąc w obiegu zbliżonym do tradycyjnej elektrowni przyczynia się do wytwarzania energii elektrycznej
- bezpośredni (fotowoltaiczny), który polega na wykorzystaniu przetworników fotoelektrycznych i termoemisyjnych (ogniwa fotowoltaiczne, tzw. PV).

Ponieważ pierwszy sposób dotyczy wytwarzania energii elektrycznej na dużą skalę (jak w elektrowni), nie znajduje on zastosowania w budynkach czy przy zasilaniu pojedynczych urządzeń. Do tego celu

wykorzystywany jest drugi sposób, a mianowicie wykorzystywanie do produkcji energii elektrycznej generatorów fotoelektrycznych, termoelektrycznych lub termoemisyjnych. Najszersze zastosowanie znalazły jak dotąd fotoogniwa krzemowe i je także uważa się za najbardziej perspektywiczne.

Ogniwa fotowoltaiczne – PV

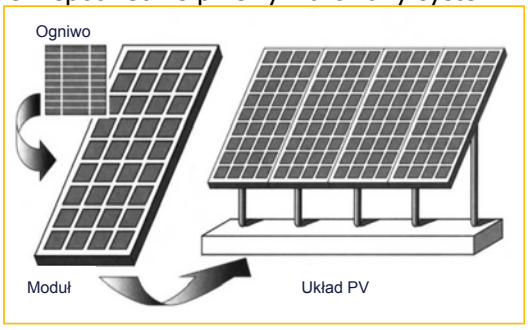
Na pierwszy rzut oka ogniwa fotowoltaiczne zamontowane na dachu budynku trudno odróżnić od płaskich kolektorów słonecznych. Ogniwa fotowoltaiczne, nazywane bateriami słonecznymi, służą jak już wspomniano do zamiany promieniowania słonecznego w energię elektryczną, a nie w ciepło jak to ma miejsce w przypadku kolektorów.
Ogniwo fotowoltaiczne to układ fotoogniw wykonanych z półprzewodnika, zazwyczaj krzemu. Pod wpływem padającego na nie światła słonecznego w ogniwie powstaje napięcie elektryczne, a po podłączeniu odbiornika zaczyna płynąć prąd.
Aby uzyskać odpowiednio wysokie napięcie ogniwa łączy się szeregowo, natomiast dla zwiększenia mocy baterii, ogniwa łączy się równolegle. Wiele połączonych ze sobą ogniw tworzy tzw. panel.

Systemy fotowoltaiczne mają kilka cech, które dla niektórych użytkowników są równie ważne jak zdolność tych systemów do generowania energii elektrycznej.

Po pierwsze, niezawodność
Moduły fotowoltaiczne należą do najbardziej niezawodnych źródeł energii elektrycznej, jaki kiedykolwiek wyprodukowano. Nie zawierają ruchomych części i będą przez dziesięciolecia funkcjonować bez interwencji ze strony człowieka. Jest to zasadnicza cecha dla lokalizacji, gdzie doświadczenie techniczne i infrastruktura potrzebne do obsługi skomplikowanych systemów elektroenergetycznych nie są dostępne po cenach, jakie byłyby możliwe do zaakceptowania przez właściciela systemu. Takie lokalizacje można znaleźć nie tylko w krajach rozwijających się. Istnieją one na całym świecie, a nawet w przestrzeni okołoziemskiej (satelity i sondy kosmiczne, które stały się pierwotną motywacją dla rozwoju technologii fotowoltaicznych).

Po drugie: prostota
Systemy PV zawierają niewiele elementów składowych i podlegają bardzo prostym procedurom w zakresie eksploatacji i utrzymania. Dzięki temu mogą być wykorzystywane przez ludzi, którzy prawdopodobnie nie posiadają umiejętności i wiedzy niezbędnych do eksploatowania generatora napędzanego paliwem kopalnym.

Po trzecie, modularność
Moc elektryczna dostarczana przez ogniwa fotowoltaiczne, przy pewnych warunkach nasłonecznienia, w znacznym stopniu jest podyktowana przez wielkość i liczbę modułów fotowoltaicznych, zainstalowanych w systemie. Po dołożeniu dodatkowych modułów, osiąga się większą moc systemu. Pozwala to na łatwe skalowanie systemu i dopasowanie go w ślad za zmianami w zakresie zapotrzebowania mocy lub dostępności środków inwestycyjnych. Na przykład, jeśli w gospodarstwie planuje się zakup komputera za dwa lata, to użytkownicy będą mogli zwiększyć moc systemu wtedy, gdy zapotrzebowanie wzrośnie i nie będą zmuszeni do znalezienia niezbędnych pieniędzy już teraz, żeby z góry zapłacić za jeszcze niepotrzebnie przewymiarowany system.



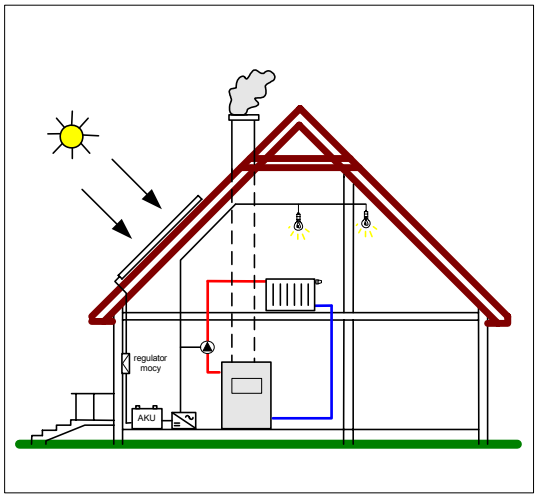
Rysunek 25. **Modularność ogniw fotowoltaicznych**

Po czwarte, „image”
Niewiele systemów energetycznych przykuwa wyobraźnię tak, jak systemy PV. W świecie krajów rozwiniętych mają one „image” urządzeń hi-tech i ekologicznych, a w krajach rozwijających się, PV może stać się symbolem nowoczesności, który zmniejsza złudną atrakcyjność dużych miast.

Po piąte, bezgłośna praca
Systemy PV wytwarzają energię elektryczną w absolutnej ciszy. Są zatem zbawienne dla ludzi, którzy w przeciwnym razie musieliby żyć lub pracować blisko generatora zasilanego olejem lub benzyną.

Systemy PV wytwarzają prąd stały dlatego układy z ogniwami fotowoltaicznymi często zawierają podzespoły, które przetwarzają go na prąd przemienny

Ponieważ moduł PV dostarcza niewiele energii w okresach zachmurzenia i nie dostarcza energii w nocy, nie połączone z siecią energetyczną systemy fotowoltaiczne muszą magazynować nadmiarową energię, generowaną w okresach słonecznych. Funkcję tę spełnia bateria akumulatorów lub w przypadku systemów pompowania wody, zbiornik magazynowy wody. Około 90% akumulatorów stosowanych w systemach fotowoltaicznych stanowią akumulatory kwasowo-ołowiowe. O ile akumulator kwasowo – ołowiowy jest stosunkowo tani i powszechnie stosowany, o tyle nie jest tak trwały, jak moduł fotowoltaiczny i wymaga nieco obsługi, takiej jak uzupełnianie wody traconej w czasie jego użytkowania.



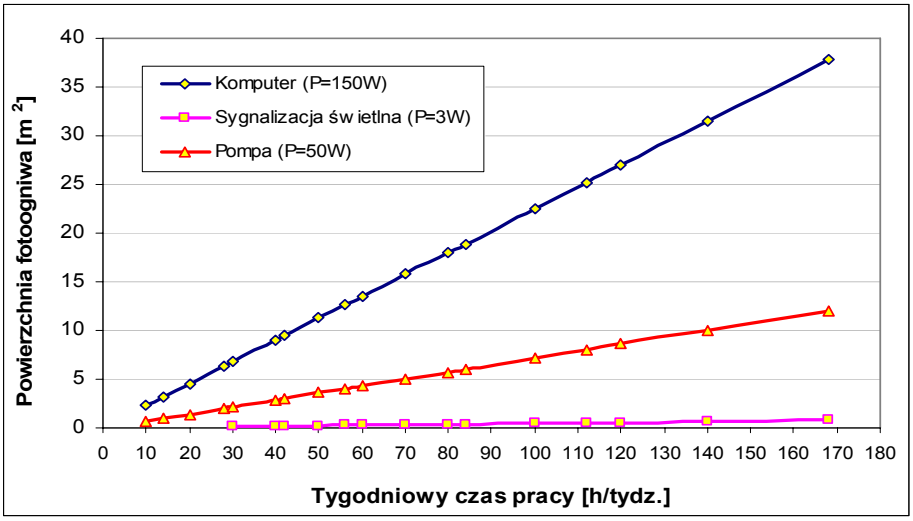
Rysunek 26. **Schemat zastosowania PV do oświetlenia i napędu pompy obiegowej inst. c.o.**

Systemy fotowoltaiczne mogą również obejmować elektroniczne układy optymalizacji mocy. Układy te regulują moc wyjściową układów w taki sposób, aby spełniały bieżące wymagania w zakresie prądu i napięcia wymaganych przez odbiorniki. Powszechnie stosowanymi regulatorami są przetworniki, które przetwarzają prąd stały w prąd przemienny. Jeśli układ PV posiada taki przetwornik, to wówczas może zasilać powszechnie stosowane urządzenia zaprojektowane na zasilanie z sieci, takie jak standardowe pralki i telewizory lub może podawać energię wprost do sieci.

Regulatory obciążenia, stanowiące odrębną grupę urządzeń optymalizujących moc wyjściową, ograniczają tę moc w układach ładujących akumulator wtedy, kiedy akumulator jest naładowany. Prostowniki pełnią funkcję odwrotną do przetworników: przetwarzają prąd przemienny na prąd stały. Pozwala to odbiornikom na prąd stały i akumulatorom pracującym w systemach PV na otrzymanie dodatkowej energii ze źródła prądu przemiennego, takiego jak sieć lub generator wirnikowy. Przetwornik prąd stały-prąd stały pozwala na to, aby układ i odbiorniki pracowały przy różnych napięciach. Można go stosować po to, aby układ PV był eksploatowany przy napięciu, które pozwala wytworzyć największą możliwą moc elektryczną, lub też po to, aby wzmocnić prąd zasilający silnik elektryczny lub pompę podczas rozruchu.

Obecnie na rynku istnieje bogata oferta paneli różnej wielkości i mocy. Dostępne są także panele zintegrowane z pokryciem dachowym lub fasadą budynku, a nawet półprzeźroczyste moduły, które można montować w oknach.

Systemy PV instalowane na dachach domów mogą mieć moc rzędu kilku kilowatów. Teoretycznie jest więc możliwe zasilanie z nich wszystkich elektrycznych urządzeń domowych. Jednak dla naszej szerokości geograficznej ilość i zmiany promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni ziemi powodują, że systemy te nie w każdych warunkach zapewnią całkowite pokrycie zapotrzebowania na energię elektryczną.
Rozwiązaniem tego problemu może być wielokrotne zwiększenie mocy baterii jednak wiąże się to również ze zwiększeniem powierzchni ogniwa fotowoltaicznego, a co za tym idzie znacznym zwiększeniem kosztów takiej instalacji.



Rysunek 27. **Powierzchnia kolektorów słonecznych w zależności od zapotrzebowania na energię odbiorników**

Na powyższym wykresie widać, że np. dla zasilania z ogniw fotowoltaicznych komputera pracującego przez całą dobę (np. serwer), powierzchnia zestawu modułów fotowoltaicznych musiałaby wynosić blisko 40 m^2. Tak duża powierzchnia wynika z faktu, że aby zapewnić pracę komputera w nocy i w okresach gorszej pogody, należy zakumulować odpowiednią ilość energii w ciągu dnia. Tą odpowiednią ilość energii jest w stanie zapewnić tylko duża powierzchnia baterii słonecznych. Nieco lepiej wygląda sprawa dla odbiorników energii małej mocy (kilka W mocy). Na przykładzie sygnalizacji świetlnej widać, że już ok. 1 m^2 powierzchni fotoogniwa w połączeniu z niewielkim akumulatorem zapewni ciągłą pracę sygnalizacji w dzień i w nocy.
Z opisanych powyżej powodów, dla zasilania większych odbiorników ogniwa fotowoltaiczne nie są stosowane jako jedyne źródło energii elektrycznej dla budynku. Zwykle stosuje się je w połączeniu z generatorami spalinowymi, gazowymi czy wiatrowymi. W takim przypadku mówimy o układach hybrydowych. Układy te wymagają nieco bardziej skomplikowanego systemu kontroli i regulacji niż układy wolnostojące.
Ich eksploatacja praktycznie nic nie kosztuje, jednak cena kompletnego systemu PV, w skład którego obok ogniw wchodzą akumulatory, regulatory sterujące procesem ich ładowania i rozładowania, regulator napięcia oraz falownik zamieniający wytwarzany przez baterie prąd stały na przemienny jest bardzo wysoki. Koszt takiej małej elektrowni słonecznej o mocy ponad 5 kW to wydatek znacznie przekraczający 100 tys. zł!
Tak więc baterie słoneczne (PV) mogą być alternatywą dla sieci energetycznej w miejscach, w których podłączenie do niej jest albo niemożliwe lub byłoby bardzo kosztowne i kłopotliwe. Mogą także dostarczać energię do pomp obiegowych zamontowanych w instalacjach grzewczych, np. we współpracy z pompą ciepła czy kolektorami słonecznymi, zwiększając przez to bezpieczeństwo energetyczne w budynku.

Zdają także egzamin przy zasilaniu urządzeń małej mocy, także wówczas gdy pracują nieprzerwanie przez cały rok (np. parkomaty, sygnalizacja świetlna, automatyczne stacje meteo, boje sygnalizacyjne itp.).

Układy PV podłączone do sieci

Sieć stanowi zbiór rozproszonych geograficznie odbiorców i generatorów, wzajemnie połączonych za pośrednictwem elektroenergetycznych linii przesyłowych. Układ fotowoltaiczny może stanowić jedno z licznych źródeł generujących energię, przyłączonych do tej sieci.
Układy fotowoltaiczne można łączyć z siecią w centralnej instalacji, lub z lokalizacji rozproszonych. Połączenie scentralizowane jest korzystne dla przedsiębiorstw energetycznych, które zakupują energię z elektrowni konwencjonalnych – węglowych, wodnych, gazowych - lub elektrowni jądrowych. W ogólności, takie podejście ułatwia regulację, eksploatację i utrzymanie systemu i wiąże się z ekonomicznym efektem skali. Jest jednakże sprawą dyskusyjną, czy te zalety są istotne dla układów fotowoltaicznych, z uwagi na ich modularność, prostotę i niezawodność.
Podejście "rozproszone" chociaż niewłaściwe w przypadku elektrowni konwencjonalnych, ma zastosowanie dla systemów fotowoltaicznych. Ma tę dużą zaletę, że pokonuje dużą niedogodność systemów scentralizowanych, ponieważ w systemach „rozproszonych" układy PV mogą być montowane na dachach i fasadach, aczkolwiek koszt dużej połaci terenu przeznaczonego na wielomodułowy centralny układ PV może być bardzo istotny.
W przypadku łączenia z siecią układów rozproszonych, wielomodułowe układy PV zazwyczaj montuje się na budynkach. Kiedy świeci słońce, energia elektryczna generowana w układzie PV może zasilać niektóre lub wszystkie odbiorniki w budynku. Ogranicza to ilość energii, którą właściciel budynku musi kupować z sieci. Jeśli wydajność układu fotowoltaicznego przekracza całkowite zapotrzebowanie w budynku, istnieje techniczna możliwość sprzedaży energii do sieci. Wiąże się to jednak z dość czasochłonną i zawiłą procedurą formalno-prawną. Ilość wymaganych dokumentów i pozwoleń oraz warunki umowne sprzedaży energii do sieci elektroenergetycznej skutecznie odstraszają chcących skorzystać z takiej możliwości.
Układy fotowoltaiczne można połączyć z siecią centralną lub siecią wydzieloną. Sieć centralna pokrywa duże terytorium geograficzne, z tysiącami źródeł energii i milionami odbiorców. Sieci wydzielone są małe, z niewielką liczbą źródeł energii i jej odbiorów, nie są połączone z siecią centralną. Zasilają w energię elektryczną niewielkie obszary, takie jak pojedyncze, odległe gminy lub kompleksy budynków.
Pomimo, że na świecie istnieje duża liczba połączonych w sieci systemów fotowoltaicznych, to takie systemy rzadko kiedy stanowią konkurencję dla konwencjonalnych elektrowni, przynajmniej w zakresie kosztów, chyba że systemy PV są w jakiś sposób subsydiowane.

Układy PV nie połączone z siecią

Wiele małych odbiorników energii, nie połączonych z siecią można zasilać z wolnostojących układów PV. Takie systemy mogą obejmować tylko moduł fotowoltaiczny przyłączony do akumulatora, chociaż większość z nich będzie również obejmować regulator obciążenia. Są to układy w najwyższym stopniu niezawodne, ponieważ zawierają bardzo niewiele elementów, nie zawierają ruchomych części i minimum układów elektronicznych.

Rysunek 28. **Zastosowanie PV do zasilania sygnalizacji świetlnej przejścia dla pieszych**

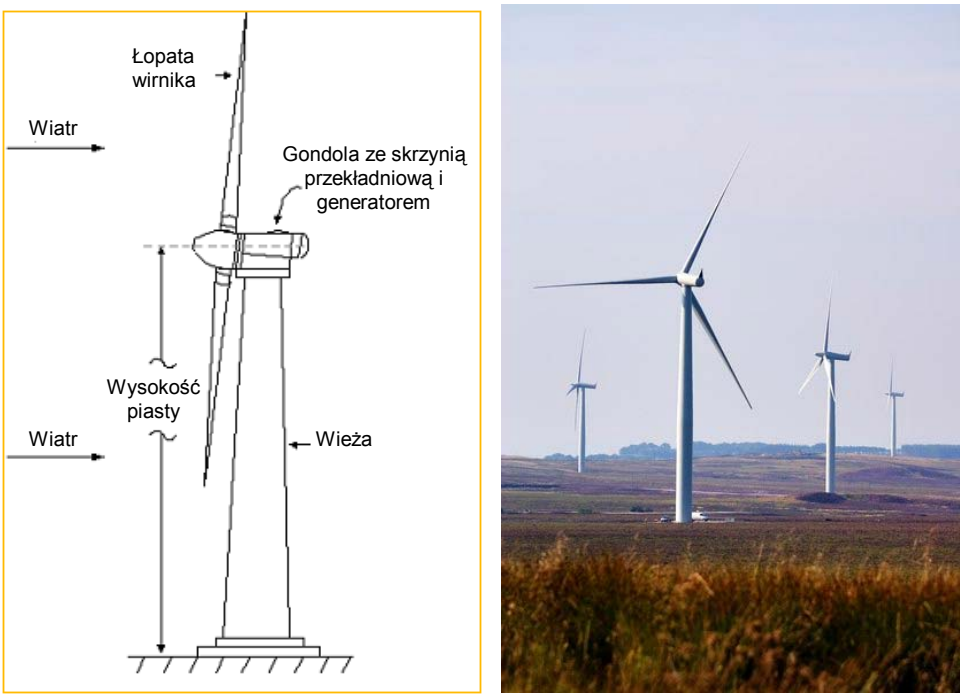
Na szerokościach geograficznych, gdzie mniej światła słonecznego dociera zimą, układ wielomodułowy, który byłby w stanie dostarczyć moc do dużego odbiornika w zimie, byłby bardzo kosztowny. Im większe obciążenie i im bardziej wyraźna jest różnica pomiędzy dostępnością światła słonecznego w lecie i w zimie, tym lepsze podstawy do tego, aby dołączyć generator zasilany paliwem konwencjonalnym lub małą elektrownie wiatrową i zbudować w ten sposób system hybrydowy.
W odróżnieniu od systemów połączonych z siecią, układy nie połączone z siecią są często bardzo opłacalne w porównaniu do innych źródeł energii elektrycznej. W szczególności jest to widoczne w przypadku małych obciążeń, do 10 kW. Rozbudowa sieci i doprowadzenie jej do odległego odbiornika jest bardzo kapitałochłonne, nawet w porównaniu z wysokimi nakładami kapitałowymi systemów PV. Małe odbiory nie uzasadniają praktycznie nieograniczonej ilości energii dostępnej z sieci. Zasilanie w energię tylko z genseta (generator z silnikiem spalinowym lub gazowym) lub z baterii jest początkowo niezbyt kosztowne, ale obciąża operatora wysokimi kosztami bieżącego uzupełniania paliwa lub kosztami wymiany baterii, zmusza do częstych wizyt na miejscu i obsługi oraz remontów genseta. Na dłuższą metę takie koszty sumują się i sprawiają, że początkowo bardziej kapitałochłonny system PV może okazać się bardziej atrakcyjny. Dlatego przed podjęciem decyzji o wyborze takiego czy innego źródła energii elektrycznej warto przeprowadzić przynajmniej wstępną analizę opłacalności, np. za pomocą narzędzi RETScreen®.

9 Wykorzystanie energii wiatru

Zasada działania elektrowni wiatrowej

Nie jest tajemnicą, że energia elektryczna w elektrowni wiatrowej wytwarzana jest wówczas, gdy wieje wiatr. Jednak prędkość wiatru musi być większa od tzw. prędkości rozruchu (startowej), poniżej której turbina nie będzie pracować.

Na rurowych wieżach, o wysokościach mierzonych w dziesiątkach metrów, osadzane są głowice elektrowni. Z głowic tych wystają poziome wały, na których zamontowane są zwykle trójłopatowe wirniki. Wirniki te, wprawiane w ruch przez wiatr, napędzają bezpośrednio lub poprzez przekładnie – zębate generatory energii elektrycznej. Aby wirnik elektrowni był ustawiony odpowiednio do kierunku wiatru, głowice elektrowni wraz z wirnikiem samoczynnie obracają się śledząc kierunek wiatru. Generowany prąd przesyłany jest z głowicy do podstawy wieży elastycznym kablem energetycznym, skąd dalej, zwykle poprzez stację transformatorową przesyłany jest do sieci energetycznej. Kilka, kilkanaście czy kilkadziesiąt takich maszyn połączonych razem nazywa się farmą wiatrową.



Rysunek 29. **Elektrownia wiatrowa: schemat i rzeczywiste zastosowanie**

Ta prosta zasada działania nie oznacza prostoty konstrukcji elektrowni wiatrowej. Elektrownia wiatrowa to w istocie złożone urządzenie techniczne, którego budowa skupia w sobie problemy z wielu dyscyplin wiedzy. Do skutecznego opanowania produkcji energii elektrycznej z wiatru konieczne stało się połączenie wysiłków profesjonalistów meteorologów, aerodynamików, mechaników, elektrotechników, energetyków, automatyków, elektroników, programistów, akustyków aż do inżynierów budownictwa. Zważywszy zaś na wymiary tych maszyn, konieczna jest wiedza i doświadczenie transportowców, urbanistów czy też plastyków, by w trakcie projektowania elektrowni, nadać jej estetyczny wygląd.

Na szczęście inwestor nie musi znać tych wszystkich zagadnień. Znaczna ich część to problemy rozwiązywane przez producenta elektrowni wiatrowych. Inwestor skupić się może na użytkowych cechach oferowanych na rynku elektrowni. Przez użytkowe cechy elektrowni rozumiem tutaj następujące dane techniczne:

- krzywa mocy elektrowni,
- parametry jakości generowanej energii elektrycznej,
- poziom hałasu generowanego przez elektrownię,
- wymiary i masy poszczególnych podzespołów elektrowni.

Krzywa mocy to zależność podająca, jaką moc rozwija elektrownia wiatrowa w zależności od prędkości wiatru. Z krzywej tej odczytać możemy, w jakim zakresie prędkości wiatru pracuje oferowana elektrownia oraz przy jakiej prędkości wiatru osiąga moc nominalną. Niemal niepisanym standardem jest, że elektrownie pracują w przedziale 4-25 m/s prędkości wiatru. Czasem jednak producenci obniżają prędkość wiatru, przy której elektrownie rozpoczynają pracę, np. do 3 m/s lub też obniżają prędkość wiatru, powyżej której następuje zatrzymanie elektrowni, np. do 20 m/s.
Można wykazać, że wiatry o prędkości poniżej 4 m/s, choć często występujące, nie niosą z sobą istotnej ilości energii w ciągu roku. Obniżanie zatem tej prędkości w elektrowniach ma większą wartość marketingową dla producenta niż energetyczną dla inwestora.

Ze względu na moc elektrownie wiatrowe dzieli się na:

- mikroelektrownie wiatrowe o mocy do 100 W - stosowane najczęściej do ładowania baterii akumulatorów stanowiących zasilanie obwodów wydzielonych - tam, gdzie nie ma sieci elektroenergetycznej lub z jakiegoś powodu nie chce się z niej korzystać, a także do zasilania części oświetlenia domu, a nawet poszczególnych pomieszczeń czy urządzeń.
- małe elektrownie wiatrowe o mocy od 100 W do 50 kW – mogą dostarczać energię elektryczną w pojedynczych budynkach (gospodarstwach domowych czy małych i średnich przedsiębiorstwach). W warunkach przydomowych najczęściej stosuje się elektrownie o mocy od 3 kW do 5 kW. Moc takich elektrowni, wspomagana energią zmagazynowaną w akumulatorach, powinna wystarczyć dla celów oświetlenia, zasilania układów pompowych czy sprzętu i urządzeń domowych.
- duże elektrownie wiatrowe o mocy zwykle przekraczającej 100 kW - oprócz dostarczania energii na potrzeby własne (odbiorników w budynku), stosuje się je przede wszystkim do wytwarzania energii elektrycznej sprzedawanej następnie do sieci elektroenergetycznej. Taka elektrownia musi spełniać szczegółowe wymagania lokalnego operatora sieci, potrzebna jest także zgoda na takie przyłączenie i koncesja na produkcję energii elektrycznej.

Producenci w zależności od lokalizacji elektrowni oferują dla generatorów tej samej mocy wirniki o różnych średnicach. I tak dla polskich (i nie tylko polskich) warunków w głębi lądu, gdzie prędkości wiatru są mniejsze, można zastosować wirnik nieco większy niż dla elektrowni lokalizowanej np. w pasie nadmorskim Danii. W konsekwencji elektrownie nawet tego samego producenta i tej samej mocy mogą osiągać moc nominalną przy różnych prędkościach wiatru, zależnie od dobranych średnic wirnika. Prawidłowość ta znalazła odzwierciedlenie w odpowiednich normach europejskich, gdzie wydzielono pięć klas elektrowni wiatrowych (w tym klasę specjalną) w zależności od średniej prędkości wiatru, występującej na terenie przeznaczenia elektrowni.
Parametry generowanej energii mają duże znaczenie zważywszy, że współczesna profesjonalna energetyka wiatrowa wprowadza energię do krajowej sieci energetycznej. Zatem jakość tej energii nie może budzić zastrzeżeń, w tym oczywiście nie może ona nie spełniać stosownych norm. Wiatr jako źródło energii to bardzo kapryśny „dostawca" i w dodatku bardzo„nerwowy". Napędzany przez niego wirnik elektrowni nie pracuje równomiernie. Zatem generowana energia elektryczna nie płynie równym strumieniem do sieci energetycznej, mimo wysiłków iwielu osiągnięć konstruktorów tych urządzeń. Dlatego też dostawca elektrowni wiatrowej winien przedstawić dokument określający potwierdzone doświadczalnie parametry techniczne elektrowni, tzw. Windtest.
Wśród wielu znajdujących się w nim danych podano parametry jakości generowanej energii elektrycznej, np. zawartość harmonicznych czy współczynniki migotania. To oczywiście większości ludzi nic nie mówi, ale te dane mają duże znaczenie dla fachowców. Inwestor powinien jednak wiedzieć, że może nie udać się włączyć wybranej przez niego elektrowni wiatrowej do sieci energetycznej w wybranym punkcie, mimo iż jego konkurent do tego miejsca w sieci dostanie takie pozwolenie na identyczną jak jego moc. Wybrał jednak elektrownię o lepszych parametrach.

Poziom generowanego hałasu to z oczywistych względów istotny czynnik określający jakość elektrowni jako źródła ekologicznej energii. Wszak hałas to istotne zanieczyszczenie środowiska. Ponadto im mocniej elektrownia hałasuje, tym dalej trzeba będzie ją ustawić od obszarów chronionych, np. zamieszkanych. W konsekwencji mniej efektywnie będzie można wykorzystać dla celów energetycznych teren, którym dysponujemy. Elektrownia wiatrowa traktowana jest jako punktowe źródło hałasu o natężeniu podawanym przez producenta. I tak np.2 MW elektrownia wiatrowa może być źródłem hałasu o natężeniu nawet 105 dB, zawieszonym na 100m wieży. Wówczas w promieniu ponad 500m od takiej elektrowni nie będzie można osiągnąć natężenia 40 dB, wymaganych w nocy na granicy obszaru chronionego. Dla określenia strefy ochronnej prowadzi się stosowne symulacje komputerowe propagacji hałasu, uwzględniające ukształtowanie terenu, roślinność oraz występowanie różnorodnych przeszkód terenowych. Niestety również rozwiązanie tych istotnych problemów należy powierzyć odpowiednim fachowcom, by ustrzec się kłopotów po rozpoczęciu eksploatacji elektrowni czy farmy wiatrowej. O wadze tej kwestii, świadczy fakt, że wielu producentów wprowadza automatyczne ograniczenie w nocy mocy generowanej przez elektrownie wiatrowe, by obniżyć w ten sposób natężenie generowanego hałasu i umożliwić efektywniejsze wykorzystanie atrakcyjnych energetycznie terenów.

Produkcja energii elektrycznej w małej „przybudynkowej" elektrowni wiatrowej

Mikro elektrownie wiatrowe (o mocy poniżej 100 W) oraz małe elektrownie wiatrowe (od 100 W do 50 kW) coraz częściej znajdują zastosowanie jako dodatkowe źródło energii elektrycznej w budynkach, co nie tylko zwiększa bezpieczeństwo energetyczne budynku, ale obniża rachunki za energię elektryczną dostarczaną przez lokalnego dystrybutora energii elektrycznej oraz redukuje emisję gazów cieplarnianych do atmosfery. Takie „przybudynkowe" elektrownie wiatrowe najlepiej sprawdzają się jako zasilanie odbiorników o małej mocy czy sieci wydzielonych budynków niskoenergetycznych o małym zapotrzebowaniu na energię.

Coraz większa popularność dużych elektrowni wiatrowych w Polsce, przekłada się także na rosnące zainteresowanie małymi elektrowniami, pracującymi na potrzeby pojedynczych budynków. Zainteresowanie to może już w niedługim czasie jeszcze bardziej wzrosnąć, za sprawą obecnie wdrażanej Dyrektywy Unii Europejskiej nr 2002/91/WE, według której w budynkach nowobudowanych oraz gruntownie remontowanych budynkach starych, dokumentacja projektowa będzie musiała uwzględniać możliwość zastosowania energii pochodzącej z odnawialnych źródeł energii. Ponieważ takie niewielkie elektrownie wiatrowe mogą pracować niemal wszędzie, dlatego mogą być dobrym rozwiązaniem dla spełnienia tego warunku.

Mała elektrownia wiatrowa, podobnie jak omawiane wcześniej układy PV, może produkować prąd na potrzeby sieci wydzielonej lub odbiornika wydzielonego, a więc pracujących poza centralną siecią elektroenergetyczną. Większe elektrownie wiatrowe (zwane też siłowniami) przeznaczone są głównie do produkcji energii elektrycznej, która następnie sprzedawana jest do centralnej sieci elektroenergetycznej.

Elektrownie wiatrowe wykorzystywane w budynkach są całkowicie niezależnymi źródłami energii, które pracujące na sieć wydzieloną są urządzeniami bardziej złożonymi od wiatraków pracujących na sieć energetyki zawodowej. Zastosowane w nich generatory synchroniczne samowzbudne są droższe i bardziej zawodne od generatorów asynchronicznych pracujących na sieć centralną.

Ponadto elektrownie takie powinny zawierać co najmniej:

- elektrownię wiatrową (wiatrak)
- baterię akumulatorów
- regulator ładowania baterii
- przetwornicę napięcia stałego na zmienne, zwykle 230V, 50Hz
- oporowy odbiornik nadwyżki energii (np. bojler lub grzejnik elektryczny).

Dobór wielkości elektrowni wiatrowej i typu turbiny wiatrowej oraz określonego rozwiązania zależy od celu, któremu elektrownia ma służyć. Dodatkowo inwestycję powinno poprzedzić się pomiarami zasobów wietrzności i opłacalności inwestycji. Można w tym celu wykorzystać możliwości jakie daje narzędzie RETScreen® Internaltional (www.retscreen.net), a także należy korzystać z pomocy i opinii fachowców.

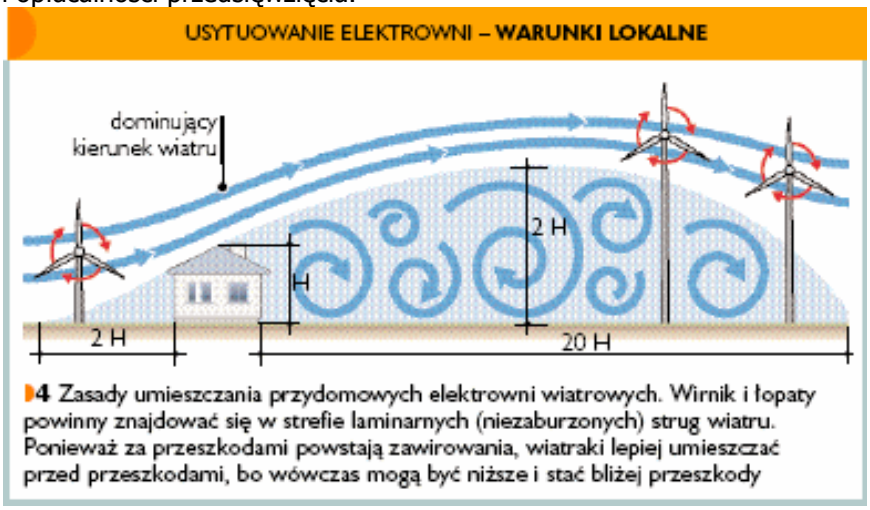
Gdzie postawić wiatrak?

W przypadku małych, przydomowych elektrowni wiatrowych należy kierować się przede wszystkim pomiarami prowadzonymi w miejscy przeznaczonym pod turbinę wiatrową, obserwacją warunków wietrzności oraz doświadczeniem. Dostępne atlasy i mapy wietrzności należy traktować jedynie jako materiały pomocnicze. Lokalne ukształtowanie terenu może bowiem spowodować, że w regionie uważanym za bezwietrzny elektrownia wiatrowa może być opłacalna i odwrotnie, tam gdzie atlasy wskazują dobre warunki wietrzności mogą występować długotrwałe cisze.

Elektrownia wiatrowa działa z większą sprawnością, gdy strumień wiatru jest niezaburzony. Dlatego, aby mieć pewność, że struga wiatru docierająca do wiatraka będzie miała przepływ bliski idealnemu, odległości wiatraka od wszelkich przeszkód terenowych (w tym budynków, drzew itp.) powinny spełniać warunki przedstawione na rysunku 26.

Jeśli wiatrak miałby stać za przeszkoda (domem, drzewem, lasem), to trzeba pamiętać, ze za tymi przeszkodami (patrząc w kierunku wiatru) w strefie oznaczonej na rysunku kolorem szaroniebieskim strugi powietrza wirują. Aby wiec wiatrak działał efektywnie, jego wirnik powinien

znajdować się poza ta strefa - a sam wiatrak powinien być albo bardzo wysoki, albo znacznie oddalony od przeszkody (zwykle o odległość równa około 20 wysokościom przeszkody).
Znacznie korzystniej jest, gdy turbina wiatrowa ma być usytuowana przed przeszkodą, gdyż strefa zawirowań powietrza jest wtedy znacznie mniejsza. Dzięki temu wiatrak może być niższy i stać bliżej przeszkody niżeli w pierwszej, opisanej sytuacji. Umiejscowienie wiatraka przydomowego powinno być jednak każdorazowo dobierane do lokalnych warunków i poprzedzone badaniami wietrzności w danej okolicy. Dodatkowo umiejętne wykorzystanie istniejącego kształtu i uwarunkowań terenowych może być warunkiem opłacalności przedsięwzięcia.



Rysunek 30. **Zasady umieszczania przydomowych elektrowni wiatrowych** *(źródło: www.ekologika.pl)*

Turbiny wiatrowe umieszcza się zwykle obok budynku na masztach (słupach) posadowionych w gruncie na fundamencie lub utrzymywanych odciągami. Małe wiatraki można też instalować na dachu budynku, jednak w tym przypadku warunkiem jest odpowiednia konstrukcja dachu, która wytrzyma takie obciążenie.

10 Małe elektrownie wodne

Pozyskiwanie energii z wody zaczęło się prawie 2000 lat temu. Wówczas koła wodne napędzały żarna w młynach. Później, po kolejnych kilkuset latach prób i doświadczeń z wykorzystywaniem siły wody, zaczęto wykorzystywać tę siłę natury do innych zadań. W dolinach rzek powstawały oprócz młynów kuźnie, tartaki i inne urządzenia.
Współcześnie maszyną odpowiadającą za pozyskiwanie energii z wód jest turbina wodna współpracująca z potężnymi generatorami w elektrowniach wodnych. W Europie są kraje (np. Norwegia), gdzie w ten sposób produkuje się zdecydowaną większość energii.
Na Świecie istnieje około 1,4 mld km^3 wody. Jest ona niezbędna do życia, a człowiek potrzebuje wody na każdym kroku:

- w gospodarstwie domowym,
- w rolnictwie,
- w przemyśle,
- do celów sanitarnych,
- do transportu i rekreacji.

Nie zawsze pamiętamy jednak, że Światowe zasoby wody to także wielki magazyn energii, z którego współcześnie pochodzi około 20% globalnej energii elektrycznej.

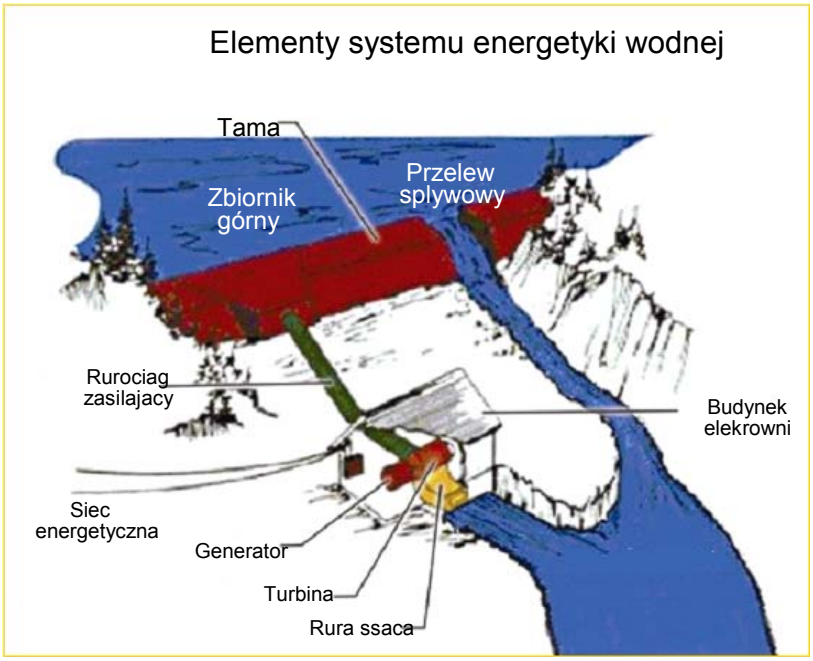
Ogólna charakterystyka elektrowni wodnych

Energetyka wodna (hydroenergetyka) zajmuje się pozyskiwaniem energii wód i jej przetwarzaniem na energię mechaniczną i elektryczną w elektrowniach wodnych. Ilość wytworzonej energii uzależniona jest od wielkości przepływów oraz spadu mierzonego jako różnica poziomów wody górnej i dolnej z

uwzględnieniem strat przepływu. W związku z tym moc teoretyczna rozpatrywanego cieku wodnego wyrażana jest wzorem:

$$P_{śr} = 9{,}81 \times Q_{śr} \times H_{śr} \ [kW]$$

gdzie:
$Q_{śr}$ – wieloletni przepływ średni, m3/s
$H_{śr}$ – spad analizowanego odcinka rzeki, m.



Rysunek 31. **Elementy elektrowni wodnej** *(źródło: RETScreen)*

Podział elektrowni wodnych

Elektrownie wodne cechuje wyjątkowa różnorodność rozwiązań, wynikająca z konieczności każdorazowego dostosowania się do istniejących warunków lokalnych. W związku z tym elektrownie wodne możemy podzielić ze względu na różne kryteria.

Podział elektrowni wodnych ze względu na wielkość spadu:
- elektrownie o niskim spadzie, nie przekraczającym 15 m,
- elektrownie o średnim spadzie 15 ÷ 50 m,
- elektrownie o wysokim spadzie, przekraczającym 50 m.

Podział elektrowni wodnych ze względu na charakter przepływu:
- Elektrownie z naturalnym dopływem wody:
  - elektrownie regulacyjne – inaczej zbiornikowe, co znaczy, że przed elektrownią znajduje się zbiornik wodny, który wyrównuje sezonowe różnice w ilości płynącej wody,
  - elektrownie przepływowe, które nie posiadają zbiornika, więc ilość wyprodukowanej energii zależy od ilości wody płynącej w rzece w danym momencie.
- Elektrownie szczytowo-pompowe, które znajdują się pomiędzy dwoma zbiornikami wodnymi – tzn. górnym i dolnym. Te elektrownie umożliwiają kumulację energii w okresie małego zapotrzebowania na nią przez pompowanie wody ze zbiornika dolnego do górnego. Natomiast

w okresie większego zapotrzebowania energia wyzwalana jest przez spuszczanie wody ze zbiornika górnego do dolnego za pomocą turbin wodnych.

Zalety stosowania elektrowni wodnych to:

- wytwarzanie „czystej" energii elektrycznej – brak emisji jakichkolwiek gazów lub wytwarzania ścieków,
- zużywanie niewielkich ilości energii na potrzeby własne, ok. 0,5-1%, podczas gdy zużycie w przypadku elektrowni tradycyjnych wynosi ok.10%,
- niewielka pracochłonność – do ich obsługi wystarcza sporadyczny nadzór techniczny,
- wykorzystanie energii przez lokalnych odbiorców tak, że można mówić o minimalnych stratach przesyłu,
- awaryjne źródło energii w przypadku uszkodzenia sieci przesyłowej,
- regulacja stosunków wodnych w najbliższej okolicy poprzez podniesienie wody gruntowej w okolicach cofki,
- przy budowli piętrzącej powstanie zbiornik wodny, który stając się cennym elementem krajobrazu może decydować o rozwoju turystyki i rekreacji w danym regionie,
- pobudzanie aktywności w środowisku wiejskim (nowe miejsca pracy, obiekty towarzyszące),
- budowla piętrząca może również w pewnym stopniu zmniejszyć stopień zatapiania okolic w przypadku występowania powodzi.

Negatywne oddziaływanie elektrowni wodnych związane jest:

- ze zmniejszeniem naturalnego przepływu wody, co niekorzystnie może wpłynąć na istniejącą biocenozę rzeki (kumulacja glonów pobierających tlen może prowadzić do masowego śnięcia ryb, gromadzenia się osadów dennych itd.),
- z wystąpieniem erozji brzegów oraz zatapianiem nadbrzeżnych siedlisk lęgowych ptaków w przypadku podniesienia się poziomu wody.

Powyżej wymienione wady mają istotne znaczenie przy budowie dużych przyzaporowych elektrowni wodnych, których wielkość proporcjonalnie wpływa na kumulację negatywnego oddziaływania.

Budując elektrownię wodną określamy jej potencjał teoretyczny, który pomniejszony o pewne straty i ograniczenia określa się mianem potencjału technicznego.
Najważniejsze ograniczenia i straty mające wpływ na oszacowanie potencjału technicznego to:

- nierównomierność naturalnych przepływów w czasie,
- naturalna zmienność spadów,
- sprawność urządzeń,
- istniejące warunki terenowe (zabudowa),
- bezzwrotny pobór wody dla celów nieenergetycznych,
- zmienność spadu wynikająca z gospodarki wodnej w zbiornikach,
- konieczność zapewnienia minimalnego przepływu wody w korycie rzeki poza elektrownią.

Energetyka wodna w Polsce

Teoretyczne zasoby hydroenergetyczne naszego kraju wynoszą ok. 25 tys. GWh rocznie. Zasoby techniczne szacuje się na ok. 12,0 tys. GWh/rok. Wielkość ta to niemal 10% energii elektrycznej produkowanej w naszym kraju. Polska wykorzystuje swoje zasoby energii wodnej jedynie w 12%, dla porównania Niemcy korzystają z nich w 80%, Norwegia w 84%, zaś Francja – niemal w 100%.

Wdrożenie nowych technologii, np. turboregulatorów umożliwiających produktywne wykorzystanie wód powodziowych czy jazów powłokowych pozwalających na podpiętrzanie wody bez konieczności prowadzenia poważnych prac hydrotechnicznych, może przynieść dodatkowe zyski energetyczne, a także w wielu przypadkach znacznie obniżyć koszty inwestycji.

L.p.	System wodny	Potencjał	L.p.	System wodny	Potencjał
1	**Wisła z dorzeczem**	**9270**	27	**Odra z dorzeczem**	**2400**
2	Wisła	6177	28	Odra	1273
3	Wisła górna	518	29	Odra górna	429
4	Wisła środkowa	1067	30	Odra środkowa	596
5	Wisła dolna	4592	31	Odra dolna	248
6	Dopływy lewobrzeżne	513	32	Dopływy lewobrzeżne	619
7	Nida	38	33	Nysa Kłodzka	134
8	Pilica	170	34	Bóbr	320
9	Bzura	33	35	Kwisa	45
10	Brda	119	36	Nysa Łużycka	***16***
11	Wda	64	37	Pozostałe	44
12	Wierzyca	39	38	Dopływy prawobrzeżne	507
13	Pozostałe	50	39	Warta	351
14	Dopływy prawobrzeżne	2580	40	Gwda	43
15	Soła	90	41	Drawa	43
16	Skawa	*66*	42	Pozostałe	70
17	Raba	64	43	Rzeki przymorza	**280**
18	Dunajec	814	44	Rega	30
19	Wisłoka	126	45	Parsęta	29
20	San	714	46	Słupia	40
21	Wisłok	74	47	Pasłęka	40
22	Wieprz	66	48	Łyna	66
23	Bug	309	49	Pozostałe	75
24	Narew	179	**50**	**RAZEM (poz. 1+27+43)**	**11950**
25	Drwęca	60			
26	Inne małe rzeki	**-**			

Tabela 17. **Krajowy potencjał techniczny energetyki wodnej, GWh/rok** *(źródło: A. Sowiński)*

W polskich warunkach klimatycznych zwiększenie możliwości retencji wody powinno być jednym z priorytetowych zadań polityki ekologicznej państwa. W przypadku zastosowania sztucznego piętrzenia wód rzecznych oprócz efektów energetycznych i przeciwpowodziowych można uzyskać szereg innych korzyści gospodarczych, takich jak: rozwój transportu wodnego, dodatkowe przejęcia mostowe, większe plony dzięki wzrostowi poziomu wód gruntowych, przyrost ryb w zbiornikach, rozwój turystyki i rekreacji.

Istotną zaletą elektrowni wodnych jest także zerowy koszt „paliwa". Biorąc pod uwagę wszystkie wyżej wymienione korzyści, uczestnictwem w finansowaniu tego rodzaju inwestycji powinna być zainteresowana większa liczba podmiotów gospodarczych i instytucji.
Budowa dużych elektrowni wodnych związana jest z ogromnymi nakładami finansowymi i aktualnie w kraju nie są prowadzone praktycznie żadne prace nad rozpoczęciem realizacji nowych dużych obiektów.

Rozwija się natomiast dział energetyki wodnej o małych mocach jednostkowych, tzw. mała energetyka wodna w ramach której powstają elektrownie przeważnie na istniejących (często zdewastowanych) stopniach wodnych. Ranga techniczno-ekonomiczna MEW nie wynika tylko z ich udziału w krajowym bilansie energetycznym, lecz jest związana przede wszystkim z wykorzystaniem lokalnych możliwości produkcji energii elektrycznej. Nie bez znaczenia jest również fakt, że w przypadku elektrowni prywatnych dają one źródło utrzymania pewnej grupie osób, co jest szczególnie ważne na obszarach o dużym bezrobociu.

Małe elektrownie wodne

Pojęcie „małej elektrowni wodnej – MEW" może być zdefiniowane na kilka sposobów – w zależności od wielkości spadu wody, mocy jednostkowej generatorów, sumarycznej mocy zainstalowanej, etc. Zazwyczaj przyjmuje się określenie małych elektrowni wodnych na podstawie sumy mocy zainstalowanych generatorów. W zależności od państwa lub organizacji przyjmuje się różne wartości mocy, co związane jest ze stopniem uprzemysłowienia i proporcjami pomiędzy mocami elektrowni wodnych, a pozostałymi pracującymi w danym kraju.

W Polsce przyjęło się używanie określenia małe elektrownie wodne dla obiektów o mocy zainstalowanej do 5 MW. Niekiedy stosuje się również określenie MEW do opisania obiektów o mocy zainstalowanej do 0,5 MW.

Ponadto stosuje się jeszcze wewnętrzny podział MEW na:

- mikro elektrownie wodne (do 100 kW),
- mini elektrownie wodne (od 100 – 500 kW),
- małe elektrownie wodne (od 500 – 5 000 kW).

W kraju działa aktualnie ponad 400 hydroelektrowni, w tym zaledwie kilkanaście o mocy większej niż 5 MW.

Technologie – dobór turbin wodnych

Dobór technologii (turbin wodnych) w obiektach hydrotechnicznych oparty jest przede wszystkim na dwóch podstawowych parametrach:

- średnim wieloletnim przepływie [m^3/s],
- spadzie netto analizowanego odcinka cieku [m].

Dalej przedstawiono typowe dla elektrowni wodnych technologie i przykłady ich doboru na podstawie ww. parametrów.

Turbiny wodne dzieli się na dwie główne grupy:

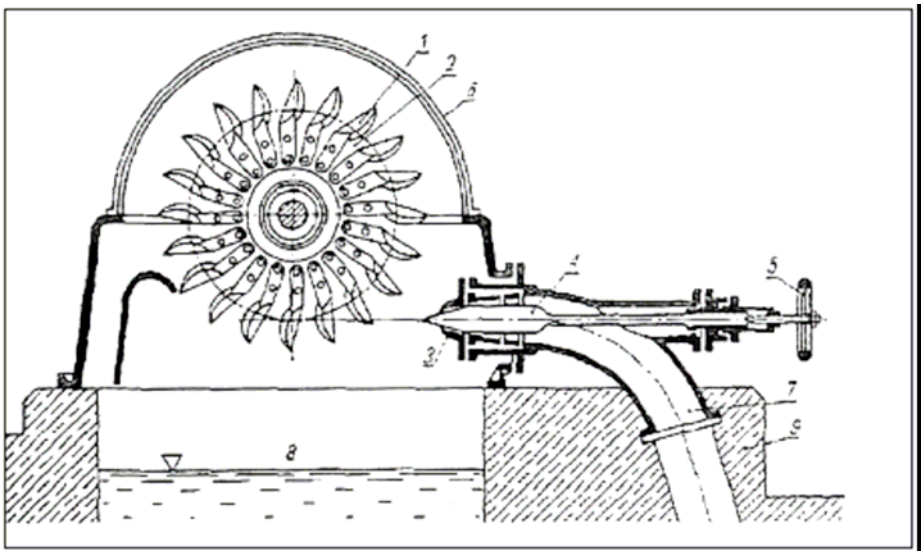
- turbiny reakcyjne (naporowe), w których energia ciśnienia w czasie przepływu przez wirnik przemienia się w dodatkową energię kinetyczną, dzięki czemu cząstki wody w wirniku ulegają przyspieszeniu; turbiny te są zasilane strumieniem wody z reguły na całym obwodzie wirnika,
- turbiny akcyjne (natryskowe, strumieniowe), w których przed wlotem na wirnik ciśnienie wody jest równe ciśnieniu atmosferycznemu, a energia położenia wody zmienia się całkowicie na energię ruchu; są one zasilane strumieniem wody na części obwodu wirnika – w jednym lub kilku punktach; prototypem turbiny akcyjnej jest koło wodne nasiębierne.

Spośród kilku rodzajów i wielu systemów rozpowszechnionych w ciągu ostatnich lat, obecnie stosuje się przede wszystkim turbiny reakcyjne Francisa i Kaplana (pionowe i poziome) oraz turbiny akcyjne Peltona.

Turbina Peltona

Turbiny tego typu przeznaczone są do elektrowni wodnych, które dysponują spadami od 30 do 400 m. Hydrozespoły dostarczane są do zabudowania w układzie pionowym i poziomym, a ich moc zainstalowana może się mieścić w granicach od 10 do 10 000 kW. Turbiny mogą pracować w szerokim paśmie zmienności przepływu w zakresie od 5 do 100%. Hydrozespoły z turbinami Eltona mają nowoczesną zwartą konstrukcję i w związku z tym zajmują małe przestrzenie.

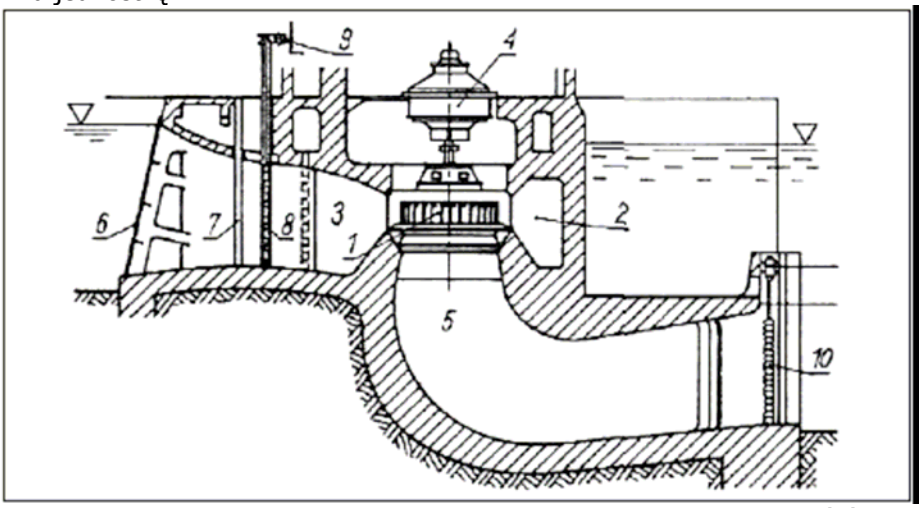
Minimalne koszty utrzymania hydrozespołu i możliwość stosowania w instalacjach wody pitnej to kolejne ważne walory hydrozespołów z turbinami Peltona.



Rysunek 32. **Jednowirnikowa turbina Peltona o wale poziomym z jedną dyszą** *(źródło: Krzyżanowski)*

Turbina Francisa

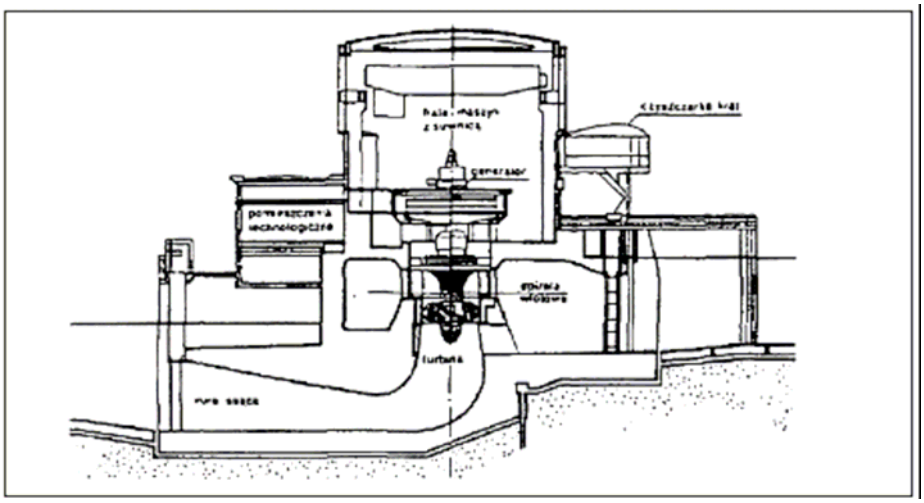
Turbiny te nadają się do stosowania w elektrowniach dysponujących spadami w granicach 20-200m. Pracują one przy przepływie do 2 m^3/s. Moce dostarczanych hydrozespołów nie przekraczają 1000 kW na jednostkę.



Rysunek 33. **Turbina Francisa o wale pionowym w spirali betonowej** *(źródło: Krzyżanowski)*

Turbina Kaplana

Turbiny Kaplana znajdują zastosowanie w elektrowniach dysponujących spadami od 1,5–15 m i przepływem wody do 25 m^3/s. Moc zainstalowana dostarczanej jednostki nie przekracza 1 MW.



Rysunek 34. **Pionowa turbina Kaplana w komorze spiralnej** *(źródło: Krzyżanowski)*

11 Działaj ekonomicznie – minimum ekonomii w Twoich decyzjach

Koszt w cyklu żywotności (LCC) - pomoc w podejmowaniu optymalnych decyzji przy zakupie urządzeń zużywających energię

Cena urządzeń i technologii wykorzystujących odnawialne źródła energii na ogół jest wyższa od ceny standardowych rozwiązań technicznych. Wynika, to m.in. z zastosowania nowocześniejszej technologii przy ich produkcji, staranniejszego wykonawstwa, stopnia zaawansowania technologicznego itp. Z tego powodu technologie OZE należy uważać za wyrób o wyższej jakości, a nawet jako rozwiązania luksusowe i prestiżowe.

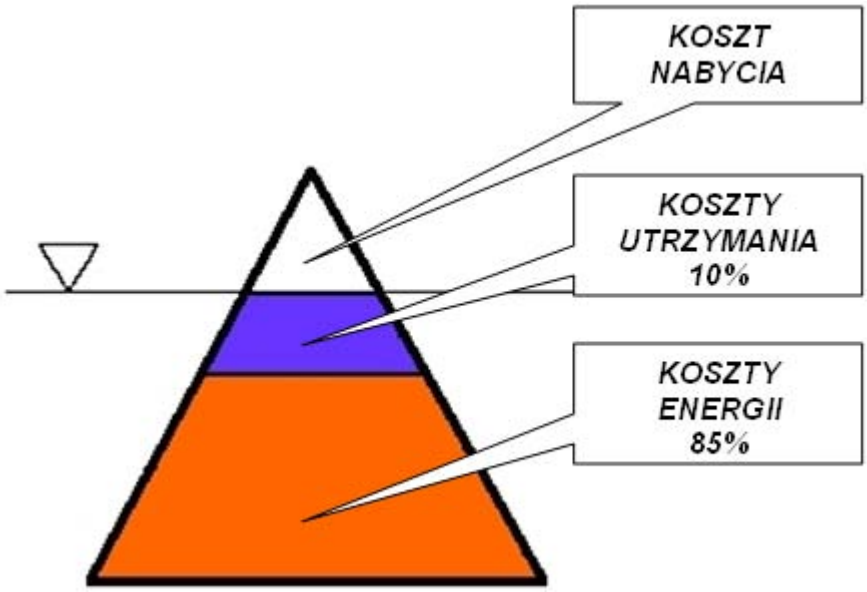
Z tego powodu najprostsza analiza ekonomiczna polegająca na porównaniu ceny zakupu i montażu technologii OZE i standardowych praktycznie w niewielu przypadkach będzie na korzyść technologii OZE. W celu wyboru optymalnego rozwiązania należy posłużyć się nieco bardziej złożonymi analizami ekonomicznymi.

Podstawowe założenie jest takie, że podejmowane decyzje są ekonomiczne, to znaczy, że wybierane jest rozwiązanie – inwestycja, która jest bardziej opłacalna dla użytkownika. Oczywiście można mieć inne kryteria w podejmowaniu decyzji np. entuzjazm dla poszanowani środowiska naturalnego, powiązany z „samoopodatkowaniem" przez wybór mniej albo nieopłacalnego rozwiązania. Wybierając daną technologię wykorzystania odnawialnych źródeł energii świadomie przyjmuje się, że rozwiązanie ekonomicznie się „nie broni" ale jest ekologiczne i przyjazne środowisku. Ma to uzasadnione znaczenie w rozwiązaniach demonstracyjnych promujących postawy proekologiczne i proefektywnościowe oraz pozwalające oswoić się z nowoczesnymi rozwiązaniami. Szczególną role w tym zakresie odgrywa postawa samorządów terytorialnych, które powinny być przykładem dla lokalnych społeczności i podmiotów działających na ich terenie. Nawet w sytuacji mało lub wcale nie opłacalnego rozwiązania, należy mieć tego świadomość. Do tego potrzebny jest jakiś „miernik:, a więc należy przejść przez rachunek ekonomiczny i finansowy.

Analiza ekonomiczna jest zawsze oparta na porównaniu kosztów co najmniej dwóch rozwiązań – dwóch systemów energetycznych.
Na przykład:

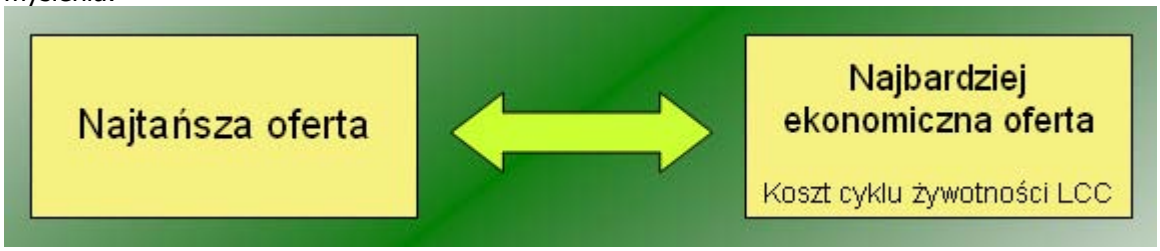
- jeżeli budujemy nowy budynek, to porównujemy koszty wielu wariantów ogrzewania budynku – czy węgiel, czy gaz, może olej opałowy, a może odnawialne źródła energii,
- jeżeli budynek już istnieje i jest eksploatowany, to znaczy, że istnieją już w nim systemy energetyczne, np. ogrzewania budynku i jeżeli chcemy zmienić sposób ogrzewania, to obecne koszty za ciepło porównujemy z kosztami alternatywnego systemu.

Jak już wspomniano decyzje o zakupie zazwyczaj podejmujemy w oparciu o kryterium kosztu inwestycyjnego dla danego urządzenia, czyli głównie ceny produktu i transportu. Można to porównać do syndromu góry lodowej, w którym użytkownik „na powierzchni" widzi tylko koszt początkowy, natomiast nie zauważa, albo nie docenia, reszty kosztów „znajdujących się poniżej powierzchni", które ponoszone są w pełnym cyklu żywotności tego urządzenia (przez cały czas od momentu jego zakupu, aż do wyrzucenia). Żywotność niektórych urządzeń sięga kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu lat, a więc koszty związane ze zużyciem m.in. energii będą ponoszone są przez cały czas użytkowania urządzenia.



Rysunek 35 **Koszt zakupu urządzenia jest wierzchołkiem góry lodowej w całych kosztach cyklu żywotności (przykład dla układu pompowego)**

Koszt zakupu urządzenia jest wierzchołkiem góry lodowej w całych kosztach cyklu żywotności (przykład dla układu pompowego). Z punktu widzenia użytkownika, analiza kosztów cyklu żywotności (LCC – ang. life cycle costs), czyli kosztów ponoszonych od momentu zakupu do utylizacji urządzenia, umożliwia ocenę i porównanie tych kosztów dla dwóch lub więcej różnych rozwiązań technicznych.
Może to prowadzić do wyboru urządzenia o wyższej cenie zakupu, ale w perspektywie np. 10 lat użytkowania na tyle tańszego w eksploatacji, że pozwala to zniwelować większe koszty początkowe i nie rzadko dodatkowo zaoszczędzić pewną kwotę pieniędzy. Analiza taka powinna mieć decydujący wpływ na decyzję o zakupie.
Wprowadzając w życie taki sposób podejmowania decyzji zakupowych zmieniamy diametralnie sposób myślenia:



Łączne koszty ponoszone na etapie zakupu i późniejszej eksploatacji urządzenia można podzielić na koszty nabycia i koszty posiadania, gdzie:

- **koszty nabycia / początkowe** (Kp) związane z zainstalowaniem systemu czyli koszty zakupu urządzeń (Kz), plus koszt montażu (Km), plus koszt serwisu rozruchowego (Kr)

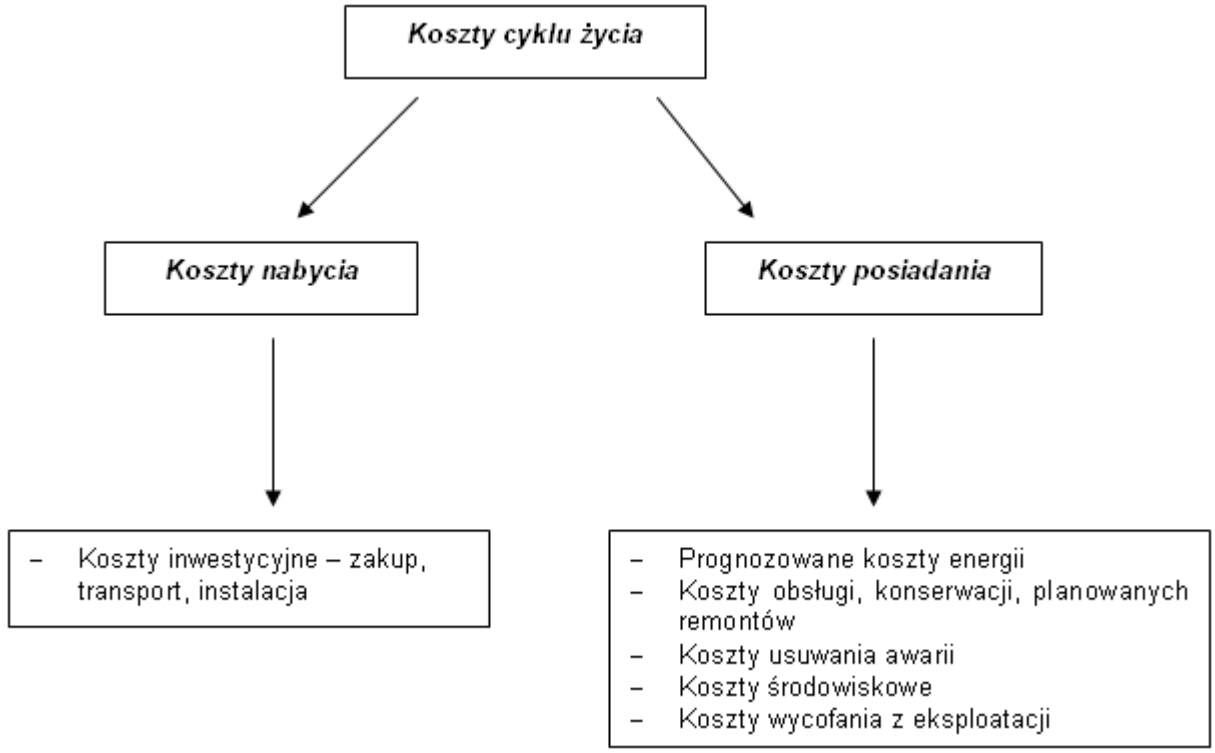
  czyli $Kp = Kz + Km + Kr$

- **koszty posiadania** - koszty ponoszone co roku w całym okresie żywotności inwestycji – systemu energetycznego, czyli:
  - ✓ koszty paliwowe i energii Ke
  - ✓ koszty obsługi i utrzymania ruchu K_{OUR}
  - ✓ koszty obsługi finansowej kredytów (spłaty rat kapitałowych i odsetek) Kf
  - ✓ koszty za użytkowanie środowiska (drobni użytkownicy nie płacą jeszcze opłat za emisję zanieczyszczeń do środowiska) Kśr
  - ✓ inne koszty, jeżeli występują, Kin

  czyli roczne koszty operacyjne ponoszone w czasie eksploatacji Kop

  $Kop = Ke + K_{OUR} + Kf + Kśr + Kin$

Poniższy diagram pokazuje przykładowy rozdział kosztów nabycia i posiadania.



O ile koszty nabycia są stosunkowo łatwe do zdefiniowania przed podjęciem decyzji o zakupie, to koszty posiadania, będące często głównym składnikiem LCC są na tym etapie dużo trudniejsze do przewidzenia.

Załóżmy, że zastanawiamy się nad zakupem jakiegoś konkretnego urządzenia, niech będzie to np. lodówka. Kierujemy się do sklepu i co widzimy? Mnóstwo różnych marek, modeli, wyposażenia, dodatkowych funkcji, itd. Trzeba, którąś wybrać. Po pierwsze musimy wiedzieć czego tak na prawdę potrzebujemy: małej lodówki bo mieszkam sam/a w mieszkaniu, a może dużej bo musi wystarczyć dla kilkuosobowej rodziny. **Dopasowanie wyboru do rzeczywistych potrzeb, to pierwsza ważna decyzja, również ze względów oszczędnościowych**, bo duża lodówka zużywa więcej energii, a

jeżeli nie jest w pełni wykorzystana oznacza to, że energia marnuje się na dodatkową niepotrzebną pracę urządzenia, a to kosztuje. **Druga ważna decyzja to wybór efektywnościowy, czyli najlepiej analiza kosztów cyklu żywotności LCC**, dzięki której wybierzemy najbardziej optymalne rozwiązanie. No i dochodzą do tego jeszcze dodatkowe kryteria, jak wybór koloru, pozycja zamrażalnika (góra, czy dół), zaufany producent itd. Podobnie jest przy wyborze technologii wykorzystujących OZE, najpierw należy dokładnie określić potrzeby, a następnie wykonać analizę kosztów cyklu życia.

Sprawdzenie kosztów cyklu żywotności LCC może być metodą prostą lub złożoną:

Metoda prosta

LCC = Kp + t x Kop

czyli:

LCC = Koszt początkowy [zł] + Czas eksploatacji [lata] x Roczne koszty operacyjne [zł/rok]

Analiza prosta pozwala na wybór optymalnego wariantu, lecz pomija kilka istotnych elementów. Przede wszystkim fakt, iż w ciągu kolejnych lat wartość pieniądza będzie się zmieniać, czyli pominięto dyskontowanie pieniędzy, co zawsze pogarsza opłacalność. Pominięto również fakt, że ceny energii będą w ciągu analizowanego okresu rosnąć, a będzie tak na pewno, co z kolei przyczyni się do wzrostu opłacalności inwestycji.

Metoda złożona

Metoda złożona różni się od prostej, przede wszystkim tym, że zastosujemy rachunek dyskonta. Metoda ta obejmuje analizę zdyskontowanych przepływów pieniężnych w okresie od zakupu do odstawienia z użytkowania urządzenia, łączy różne elementy kosztów, takie jak energia, utrzymanie, demontaż końcowy, naprawy, przeglądy, itp.

Oznacza to, że uwzględniona zostanie zmiana wartości pieniądza w czasie.

Przykładowo, obecny nominał pieniądza np. 1000 zł za 10 lat będzie miał inną wartość - inną siłę nabywczą. Dlatego, że: po pierwsze mamy prawie zawsze do czynienia z inflacją czyli z corocznym wzrostem cen dóbr i usług w gospodarce, po drugie zawsze alternatywną inwestycją jest złożenie pieniędzy w banku na pewien procent (stopa procentowa depozytów bankowych). Dlatego też jeżeli stopę procentową (dyskonta) przyjmiemy i = 5%/rok (0,05/rok) to po 5 latach F – wartość obecnego nominału 1000 zł – P wyniesie:

$$F = \frac{1000}{(1+0{,}05)^5} = \frac{1000}{1{,}276} = 783 \text{ zł } 53 \text{ grosze}$$

Ogólnie, jeżeli chcemy przeliczyć wartość bieżącą pieniądza P na przyszłą F po n latach, przy stopie procentowej i, to:

$$F = \frac{P}{(1+i)^n}$$

W rachunku dyskonta koszt w cyklu żywotności LCC można obliczyć, w taki sposób, że coroczne przepływy finansowe (koszty operacyjne), przeliczane są na okres początkowy, to znaczy na tę chwilę, w której ponoszone są koszty początkowe Kp (na czas „0").

Stąd:

$$LCC = Kp + \sum_{n=1}^{n=t} \frac{Kop}{(1+i)^n} - \frac{SV}{(1+i)^t}$$

gdzie n = 1 ... n kolejny rok kosztów

t = długość cyklu żywotności [lata]

i = stopa procentowa [%/rok]

SV – końcowa wartość urządzeń systemu (po n latach).

Wygląda to skomplikowanie, ale od tego są obliczeniowe programy komputerowe i kalkulatory, które ułatwiają życie.

Obliczenie LCC można dodatkowo uprościć jeżeli przyjmie się, że roczne koszty operacyjne w całym cyklu żywotności t są takie same, czyli Kop = const.

Wtedy:

$$LCC = Kp + Kop\sum_{n=1}^{n=t}\frac{1}{(1+i)^n}$$

Sumę $\sum_{n=1}^{n=t}\frac{1}{(1+i)^n}$ daje się obliczyć i wynosi ona:

$$\sum_{n=1}^{n=t}\frac{1}{(1+i)^n} = \frac{1-(1+i)^{-t}}{i} = \frac{1}{CRF}$$

Więc wyrażenie CRF wynosi

$$CRF = \frac{i}{1-(1+i)^{-t}}$$

i nazywa się ratą rozszerzonej reprodukcji lub współczynnikiem odzysku kapitału.

Wartość CRF obliczamy komputerowo lub szukamy w tablicach. Korzyść z uproszczenia (Kop = const) jest taka, że nie ma potrzeby rozpisywania sumy na n członów (dla każdego roku z n lat), lecz koszt w cyklu żywotności liczymy jak:

$$LCC = Kp + \frac{Kop}{CRF}$$

gdzie:
K_p - koszty początkowe,
K_{op} - koszty operacyjne,
CRF - współczynnik odzysku kapitału,
i - stopa dyskonta,
t - czas eksploatacji wyrażany w latach.

Najlepiej uczyć się na przykładzie

Wybieramy przykład dla jednorodzinnego domu mieszkalnego i porównamy koszty konwencjonalnego sposobu przygotowania ciepłej wody do mycia oraz technologii wykorzystującej odnawialne źródło energii. Do analizy przyjęto wcześniej rozpatrywany przykład, gdzie dobierano kolektory słoneczne.

Przypomnienie podstawowych cech przykładu oraz przyjęcie założeń:

- system konwencjonalny przygotowania ciepłej wody do mycia – źródło ciepła – bojler elektryczny
- system z odnawialnym źródłem ciepła – kolektory słoneczne z instalacją ciepłej wody i zbiornikiem ciepłej wody, podgrzewanym energią elektryczną, w przypadku niedostatku ciepła z kolektorów słonecznych,
- moment decyzyjny – budowa domu i wybór systemów energetycznych lub modernizacja systemu przygotowania ciepłej wody,
- zapotrzebowanie na ciepłą wodę o temp. 55^{o}C (przed zmieszaniem z zimną wodą) dla 4 osób:

4 osoby x 60 l/osobę dzień x 365 dni/rok = 87 600 l/rok = 87,6 m^3/rok

- dla podgrzania 87 600 l/rok ciepłej wody ze średniorocznej temperatury zimnej wody 10^{o}C do 55^{o}C potrzebna jest energia jak niżej:

Rodzaj systemu		
Wielkość	**Bojler elektryczny**	**Kolektory słoneczne z dodatkowym podgrzewaniem wody energią elektryczną**
Ciepło odebrane z kolektorów słonecznych	-	2752,9 kWh/rok
Zużycie energii elektrycznej na podgrzanie wody	6166,7 kWh/rok	2466,7 kWh/rok
Zużycie energii elektrycznej na cyrkulację cieczy w kolektorach słonecznych*	-	120,45 kWh/rok

**pompka 60W pracująca średnio 5,5 h/dobę*

- wielkość bojlera elektrycznego: pojemność 100 l, moc elektryczna 1,5 kW (kilowat),
- wielkość i parametry systemu kolektorów słonecznych:
  - ✓ 4 kolektory słoneczne płaskie o powierzchni 2,2 m^2 każdy, razem 8,8 m^2,
  - ✓ sprawność cieplna systemu kolektorów 35%,
  - ✓ ilość ciepła wykorzystanego ze systemu słonecznego 2752,9 kWh/rok (9,91 GJ/rok),
  - ✓ udział systemu kolektorów słonecznych w przygotowaniu ciepłej wody 60%,
- żywotność systemów: bojlera i kolektorów słonecznych po 25 lat,
- średnia cena energii elektrycznej: 0,45 zł/kWh.

Rodzaje kosztów

Skąd pozyskać informacje o kosztach początkowych? Najlepiej korzystać z cenników lub uzyskać oferty od dostawców, czy wykonawców. Koszty energii można policzyć samemu.

Dla naszego przykładu:

A. Koszty systemu z bojlerem elektrycznym

Koszt początkowy Kp:

Kz – koszt zakupu bojlera 100 l	500 zł
Km + Kr – koszt montażu i serwisu rozruchowego	150 zł
RAZEM Kp = Kz + Km + Kr =	650 zł

Koszty operacyjne Kop w ciągu roku (tylko koszty energii):

Ke – koszty energii elektrycznej dla podgrzania ciepłej wody w bojlerze (tabela)

Ke = 6166,7 kWh/rok x 0,45 zł/kWh = 2775,02 zł/rok

B. Koszty systemu kolektorów słonecznych

Na koszt początkowy Kp: zakupu, zainstalowania i włączenia systemu kolektorów do instalacji ciepłej wody do mycia składa się:

Kz – koszt zakupu urządzeń:

Kolektory słoneczne	*1850 zł/szt. x 4 szt.*	*= 7 400 zł*
Zbiornik na wodę	*9,50 zł/l x 250 l*	*= 2 375 zł*
Rury, złączki itp.	*26,0 zł/m x 40 m*	*= 1 040 zł*
Pompa cyrkulacyjna 75 W		*475 zł*
RAZEM Kz		*11 290 zł*
Km + Kr – koszty montażu i serwisu rozruchowego		2 550 zł

Więc koszt początkowy Kp:

Kp = Kz + Km + Kr = 11 290 zł + 2 550 zł = 13 840 zł

Dalej liczymy koszty operacyjne Kop ponoszone co roku w ciągu 25 lat żywotności systemu:

Ke – koszt energii elektrycznej

Energia elektryczna musi być zużyta na (tabela):

✓ Podgrzanie wody w zbiorniku, gdy efekt promieniowania słonecznego jest niedostateczny	2466,7 kWh/rok
✓ Na pompowanie cieczy w instalacji kolektorów	120,45 kWh/rok
Razem roczne zużycie energii elektrycznej	2587,15 kWh/rok

Przyjmujemy, że koszty operacyjne obejmują jedynie koszty energii:

Koszt energii elektrycznej Ke:

Ke = 2587,15 kWh/rok x 0,45 zł/kWh = 1164,22 zł/rok

Rachunek obliczeniowy dla początkujących – metoda prosta

W uproszczonym rachunku ocena ekonomiczna wariantów A i B, a więc kosztów w cyklu żywotności (25 lat) LCC wygląda prosto, bo:

LCC = Kp + t x Kop

Gdzie:

Kp – koszt początkowy
t - liczba lat żywotności systemów
Kop – koszty operacyjne

Upraszczając rachunek dla początkujących, pominięto inne koszty operacyjne w obu systemach A i B, a więc koszty operacyjne Kop będą równe tylko kosztom energii elektrycznej Ke

Kp = Ke

Wariant A z bojlerem elektrycznym

Najpierw liczymy koszt w cyklu żywotności LCC dla systemu z bojlerem elektrycznym:

LCC = 650 zł + 25 lat x 2 775,02 zł/rok = 650 zł + 69 375,5 zł = 70 025,5 zł

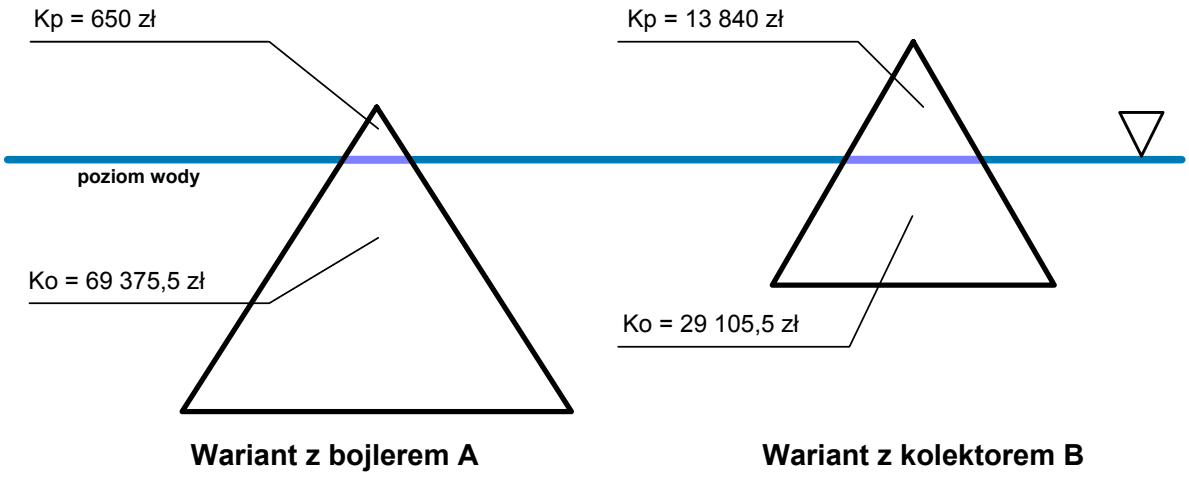
Wariant B z kolektorami słonecznymi

LCC = 13 840 zł + 25 lat x 1164,22 zł/rok = 13 840 + 29 105,5 zł = 42 945,5 zł

Który wariant bardziej ekonomiczny?

Ocena kosztów w cyklu żywotności pozwala obiektywnie ocenić wszystkie koszty, a nie tylko koszty początkowe Kp (zakupu i instalacji urządzeń).

Często inwestorzy kierują się tylko kosztami początkowymi w wyborze wariantu, w tym wypadku przygotowania ciepłej wody. Wróćmy do wspomnianego wcześniej syndromu góry lodowej postrzegania kosztów i sprawdźmy jak to wygląda dla poszczególnych analizowanych wariantów.



Rysunek 36 **Porównanie kosztów analizowanych wariantów A i B**

W całym cyklu żywotności koszty wariantu z bojlerem (A) wynoszą 70 025,5 zł, koszty wariantu z kolektorami słonecznymi B wynoszą 42 945,5 zł, a więc wariant z kolektorami słonecznymi ma w cyklu żywotności niższe koszty o:

70 025,5 zł – 42 945,5 zł = 27 080,0 zł

Tyle zaoszczędzimy w ciągu 25 lat eksploatacji.

Sprawdźmy jeszcze po ilu latach zwrócą się nakłady inwestycyjne – koszt początkowy.

W ten sposób poznamy następny wskaźnik oceny ekonomicznej – prosty okres zwrotu nakładów inwestycyjnych SPBP.

Obliczamy SPBP w sposób jak niżej:

$$SPBP = \frac{\Delta K_p}{\Delta K_{op}}$$

czyli, SPBT, to stosunek różnicy kosztów początkowych wariantów do różnicy rocznych oszczędności kosztów operacyjnych

W naszym przykładzie

$\Delta Kp = Kp_{(B)} - Kp_{(A)}$ = 13 840 zł – 650 zł = 13 190,00 zł

$\Delta Kop = Kop_{(A)} - Kop_{(B)}$ = 2 775,02 zł – 1 164,22 zł = 1 610,80 zł

A więc prosty okres zwrotu nakładów inwestycyjnych SPBP wariantu z kolektorami słonecznymi:

SPBP = 13 190 zł / 1 610,80 zł/rok = 8,2 lat

Podyskutujmy o wyniku ekonomicznym

Przypomnijmy ważniejsze założenia przyjętego modelu finansowania:

- pieniądze wykładane są z „własnej kieszeni" inwestora , bez kredytu,
- brak dopłaty z ekologicznych funduszy pomocowych,
- cena energii elektrycznej pozostaje stała w ciągu 25 lat żywotności eksploatacji.

Taką dyskusję „co byłoby, gdyby" w stosunku do pierwotnych założeń ekonomicznych, fachowcy nazywają analizą wrażliwości i analizą ryzyka.

Oceńmy więc wyniki ekonomiczne wyboru wariantu z kolektorem słonecznym (B):

- w cyklu żywotności zaoszczędzimy 6535 zł – to dobrze
- nakłady inwestycyjne zwrócą się po przeszło 8 latach – nie zachęcająco

Czy przy urealnieniu założeń opłacalność może się zmienić? Może. Na przykład cenę energii elektrycznej założyliśmy stałą 0,45 zl/kWh w ciągu 25 lat. Energia elektryczna będzie drożeć, możemy przyjąć bezpiecznie, że w tempie 3% na rok. Sprawdźmy jak zmieni to koszty operacyjne Kop, w analizowanym przykładzie (równe kosztom energii elektrycznej), jeżeli co roku o 3% będzie wyższa cena energii elektrycznej.

Wielkość	**Wariant (A) z bojlerem elektrycznym**	**Wariant (B) z kolektorami słonecznymi**
Koszty energii elektrycznej w zerowym roku	2 775,02 zł	1 164,22 zł
Koszty energii elektrycznej w 25 roku żywotności	5 810,28 zł	2 437,62 zł
Koszt roczny średni energii elektrycznej w cyklu żywotności (uproszczenie w postaci liniowej funkcji, błąd uproszczenia ok. 0,3%)	4292,65 zł	1800,92 zł

W takim przypadku koszt cyklu żywotności LCC wyniesie:

Wariant (A)

LCC = 650 zł + 25 lat x 4292,65 zł/rok = 650 zł + 107 316,20 zł = 107 966,2 zł

Wariant (B)

LCC = 13 840 zł + 25 lat x 1800,92 zł/rok = 13 840 zł + 45022,98 zł = 58 863,0 zł

A więc wybierając wariant z kolektorami słonecznymi zaoszczędziłbyś w cyklu żywotności urządzeń 107 966,2 zł – 58 863,0 zł = <u>49 103,2 zł</u>

Prosty okres zwrotu nakładów inwestycyjnych wyniesie

SPBP = (13 840 zł – 650 zł) / (4292,65 zł/rok – 1800,92 zł/rok) = 13 190,00 zł / 2491,73 zł/rok = 5,3 lat

A więc mniej.

To jednak nie koniec, bo oprócz wzrostu cen energii możliwe jest również uzyskanie dopłat (dotacji) do kosztów inwestycyjnych z funduszy pomocowych, na przykład z Gminnego lub Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Wówczas rachunek ekonomiczny może być znacznie korzystniejszy.

Rachunek obliczeniowy dla bardziej zaawansowanych

Policzmy więc koszt w cyklu żywotności naszego przykładu w rachunku z dyskontem, jak w poniższej tabeli.

Dodatkowe założenia to:

- stopa procentowa i = 5%/rok

Liczymy najpierw CRF:

$$CRF = \frac{0{,}05}{1-(1+0{,}05)^{-25}} = 0{,}0710$$

Korzystając ze wzoru uproszczonego:

$$LCC = Kp + \frac{Kop}{CRF}$$

wyznaczmy LCC:

Koszty w cyklu żywotności (dla rozpatrywanego przykładu)

Wielkość	Wariant (A) z bojlerem elektrycznym	Wariant (B) z kolektorami słonecznymi
1. Koszt początkowy Kp	650 zł	13 840 zł
2. Koszt operacyjny Kop = Ke dla stałej ceny energii elektrycznej	2 775,02 zł	1 164,22 zł
3. Współczynnik odzysku kapitału CRF	0,0710	0,0710
4. Koszt w cyklu żywotności LCC = Kp + Kop/CRF	39 734,79 zł	30 237,46 zl

Stąd wynika, że uwzględniając rachunek dyskonta, koszty w cyklu żywotności wariantu z kolektorami słonecznymi są już jedynie pond 9 tys. niższe. Nadal jednak z punktu widzenia ekonomicznego wariant (B) jest bardziej opłacalny w porównaniu z wariantem z bojlerem (A).

Dlaczego teraz opłacalność już nie jest tak duża?

Dlatego, że wartość oszczędności kosztów energii sprowadzona do roku początkowego (0), maleje wraz z upływem lat, bo mnoży koszty energii w danym roku przez $\frac{1}{(1+0{,}05)^n}$, gdzie *n*, to dany rok.

Jeżeli byśmy uwzględnili, że ceny energii elektrycznej będą rosły o 3%/rok, to koszty w cyklu żywotności w obu wariantach możemy policzyć jak niżej:

$$LCC = Kp + \sum_{n=1}^{n=t} \frac{Ke,o(1+re)^n}{(1+i)^n}$$

gdzie:

re – stopa wzrostu cen energii elektrycznej,

Ke,o – koszt operacyjny równy kosztowi energii elektrycznej w roku zerowym (budowy instalacji).

Obliczenie wykonamy dla re = 3%/rok oraz i = 5%/rok i otrzymamy:

- **dla wariantu (A)**

  LCC = 650 zł + 2 775,02 zł $\sum_{n=1}^{n=25} \frac{(1+0{,}03)^{25}}{(1+0{,}05)^{25}}$ *= 650 zł + 2 775,02 zł x 19,66 = 650 zł + 54 556,89 zł =* ***55 206,89 zł***

- **dla wariantu (B)**

  LCC = 13 840 zł + 1 164,22 zł x 19,66 = 13 840 zł + 22 888,57 zł = ***36 728,57 zł***

  Sumę obliczyliśmy komputerowo za Ciebie.

  Porównując koszty w cyklu żywotności LCC, znowu korzystniej wypada wariant (B) z kolektorami słonecznymi.

12 Bibliografia

1. Odnawialne źródła energii. Efektywne wykorzystanie w budynkach. Finansowanie przedsięwzięć, FEWE, Katowice 2008
2. Odnawialne źródła energii w Małopolsce – Poradnik, Stowarzyszenie Gmin Polska sieć „Energie Cites", Kraków 2007
    a. Energia wiatrowa, Zdzisław Ząber
    b. Energia wodna, Piotr Rzeczkowski
    c. Energia geotermalna, Wiesław Bujakowski
    d. Pompy ciepła, Tomasz Śliwa
    e. Procedury związane z inwestycjami w OZE, Piotr Krzeczkowski
3. Materiały konferencyjne „Energia odnawialna w zastosowaniach", Jurata 2007
4. Materiały szkoleniowe RETScreen International

Wsparcie udzielone przez Islandię, Lichtenstein oraz Norwegię poprzez dofinansowanie ze środków Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego oraz Norweskiego Mechanizmu Finansowego

Fundacja na rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii (FEWE) jest działającą od 1990 r. niezależną organizacją pozarządową promującą racjonalne gospodarowanie energią i przyjazne środowisku jej wytwarzanie. W ramach swojej działalności FEWE realizuje: projekty edukacyjne, szkoleniowe i doradcze, demonstracyjne wdrożenia, programy transformacji rynku energooszczędnych urządzeń, plany i analizy w zakresie zrównoważonej gospodarki energetycznej, audyty energetyczne. Dodatkowo FEWE wspomaga samorządy, instytucje publiczne i firmy w definiowaniu projektów i programów związanych z racjonalną gospodarką energetyczną, wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii, ograniczeniem emisji ze spalania paliw kopalnych i pozyskaniu środków na ich realizację.

Szczegółowe informacje dotyczące działalności FEWE, realizowanych projektów i możliwości współpracy zamieszczamy na naszych stronach internetowych.

Nasze serwisy:

www.fewe.pl – szczegółowe informacje o FEWE i naszych projektach
www.oze.info.pl – odnawialne źródła energii
www.eplan.info.pl – planowanie energetyczne
www.eis.slask.pl – zarządzanie energią i środowiskiem w budynkach użyteczności publicznej województwa śląskiego
www.energiaisrodowisko.pl – zarządzanie energią i środowiskiem
www.topten.info.pl – najbardziej efektywne energetycznie urządzenia
www.pemp.pl – projekt PEMP, energooszczędne układy napędowe

Fundacja na rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii FEWE
ul. Rymera 3/4; 40 - 048 Katowice
Tel./fax. 032 203 51 14; e-mail: office@fewe.pl