

Energetyczny nauczyciel



**Kursy doskonalące dla nauczycieli szkół zawodowych
i instruktorów praktycznej nauki zawodu
w zakresie systemów energetyki odnawialnej i budownictwa energooszczędnego**

Pod redakcją Andrzeja Gołąbka

Łódź 2015



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



CZŁOWIEK — NAJLEPSZA INWESTYCJA

Materiał powstał w ramach projektu

„Energetyczny nauczyciel — kursy doskonalące dla nauczycieli szkół zawodowych i instruktorów praktycznej nauki zawodu w zakresie systemów energetyki odnawialnej i budownictwa energooszczędnego”

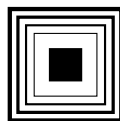
Publikacja współfinansowana ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Lider projektu:



Agencja Użytkowania
i Poszanowania Energii Sp. z o.o.
91-334 Łódź, ul. Kwidzińska 14

Partner projektu:



Łódzkie Centrum Doskonalenia
Nauczycieli i Kształcenia Praktycznego
90-142 Łódź, ul. Kopcińskiego 29

Wszelkie znaki towarowe i nazwy własne zostały użyte wyłącznie w celach informacyjnych.

© Copyrights by authors
Łódź 2015

ISBN: 978–83–62378–48–7

Publikacja bezpłatna

Skład i łamanie
Wydawnictwo Biblioteka
wydawnictwo@wydawnictwo-biblioteka.pl

Druk
Piktor. Łódź

Spis rozdziałów

Wstęp	5
-------------	---

METODYKA KSZTAŁCENIA ZAWODOWEGO

Wprowadzenie	9
Metody stymulujące aktywność uczących się	11
Kształcenie modułowe/zadaniowe	37
Coaching w kształceniu zawodowym	57

BUDOWNICTWO ENERGOOSZCZĘDNE

Efektywność energetyczna — podstawy prawne. Zasady budownictwa energooszczędnego. Budynki pasywne, inteligentne, tradycyjne	63
Audyty energetyczne. Metodyka opracowań świadectw charakterystyki energetycznej	73
Termomodernizacja budynków	91
Instalacje w domach pasywnych i energooszczędnych	111
Wymogi konstrukcyjne i architektoniczne. Materiały stosowane do budowy, izolacje	125
Standardy energetyczne budynku, zasady eksploatacji budynków energooszczędnych	145
Budownictwo naturalne	157
Cykl życia budynku — LCA	161

WYKORZYSTANIE URZĄDZEŃ ENERGETYKI ODNAWIALNEJ

Odnawialne źródła energii — wiadomości wstępne, normy techniczne oraz regulacje prawne	171
Systemy fototermiczne	181
Systemy fotowoltaiczne	191
Systemy spalania biomasy	221
Pompy ciepła	243
Systemy wodne i wiatrowe	253

Wstęp

Oddajemy w ręce Czytelników publikację przygotowaną w ramach projektu „Energetyczny nauczyciel — kursy doskonalące dla nauczycieli szkół zawodowych i instruktorów praktycznej nauki zawodu w zakresie systemów energetyki odnawialnej i budownictwa energooszczędnego” współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, Działanie 9.4 Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki „Wysoko wykwalifikowane kadry systemu oświaty”.

Projekt, realizowany przez Agencję Użytkowania i Poszanowania Energii w partnerstwie z Łódzkim Centrum Doskonalenia Nauczycieli i Kształcenia Praktycznego, stanowił odpowiedź na konieczność przygotowania profesjonalnej kadry dydaktycznej kształcącej fachowców posiadających kompetencje zawodowe w zakresie wykorzystywania i budowania urządzeń do produkcji energii pochodzącej z OZE oraz budownictwa energooszczędnego.

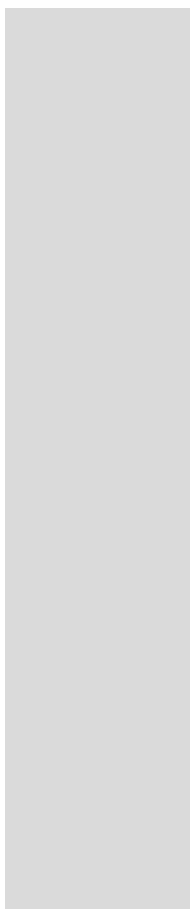
Część szkół zawodowych w województwie łódzkim już wprowadziła lub też planuje wprowadzić do swojej oferty edukacyjnej kształcenie w zawodzie Technik urządzeń i systemów energetyki odnawialnej. Niewiele jest jednak profesjonalnych programów dokształcających nauczycieli przedmiotów zawodowych w zakresie OZE i budownictwa energooszczędnego.

Działania projektowe skierowano do nauczycieli szkół zawodowych i instruktorów praktycznej nauki zawodu zamieszkałych i/lub pracujących na obszarze województwa łódzkiego, kształcących w zawodach związanych z branżą budowlaną, instalacyjną, elektryczną, energetyczną, rolniczą, mechaniczną i ochroną środowiska.

Mamy nadzieję, że opracowana w ramach projektu publikacja stanie się cennym kompendium wiedzy z zakresu systemów energetyki odnawialnej oraz budownictwa energooszczędnego dla nauczycieli szkół ponadgimnazjalnych i instruktorów praktycznej nauki zawodu, ułatwiającym codzienne odkrywanie zagadnień związanych z odnawialnymi źródłami energii.

METODYKA KSZTAŁCENIA ZAWODOWEGO

**Janusz Moos
Elżbieta Gonciarz
Donata Andrzejczak
Barbara Kapruziak
Jadwiga Morawiec**



Wprowadzenie

Niniejsze opracowanie, adresowane do nauczycieli kształcenia zawodowego, zwraca uwagę na fakt, że współczesna szkoła stawia sobie za zadanie wykształcenie ludzi twórczych, przedsiębiorczych, odpowiedzialnych, otwartych, komunikatywnych, posiadających umiejętności planowania i osiągania postawionych celów, pracy w zespole, podejmowania decyzji.

Dynamika zmian zachodzących zarówno w szkole zawodowej, jak i na rynku pracy wymusza stosowanie w procesie kształcenia metod stymulujących aktywność uczniów oraz metod i technik coachingowych.

W opracowaniu ukazana została możliwość zastosowania w procesie kształcenia zawodowego metod aktywizujących, ze szczególnym uwzględnieniem metody projektów i metody tekstu przewodniego, oraz sposób wykorzystania technik coachingowych.

Samodzielne lub grupowe rozwiązywanie postawionych problemów technicznych powinno sprowadzać się do zidentyfikowania zadania określonego w module, sformułowania problemów szczegółowych, wyszukiwania, selekcjonowania i gromadzenia informacji, poszukiwania i weryfikacji pomysłów rozwiązań.

Zadaniem nauczyciela jest tworzenie dobrego klimatu do spostrzegania i formułowania problemów technicznych, rozwiązywania ich, rozbudzania kreatywności uczniów, indywidualizacji procesu kształcenia, a to ściśle wiąże się z takim sposobem organizowania procesu kształcenia, który pozwoli na delegowanie problemów, odpowiedzialności, zachęci do podejmowania ryzyka przy podejmowaniu decyzji.

Przedmiotem rozważań w opracowaniu jest także koncepcja kształcenia modułowego, ukazująca procesy organizacji uczenia się poprzez wykonywanie zadań zawodowych. Są one zasadniczo odmienne od procesów kształcenia w przedmiotach i od powszechnie funkcjonującego toku kształcenia „od teorii do praktyki”.

Kształcenie modułowe (zadaniowe) znakomicie likwiduje lub ogranicza statyczną kulturę kształcenia zawodowego, którą cechuje między innymi dominacja sądów (komunikatów) replikujących przekazywaną wiedzę, systematyzacja wiedzy bez procesów jej wytwarzania przez uczniów, ograniczony proces kształtowania miękkich kompetencji kluczowych, takich jak etyka pracy, oraz osiągania kompetencji społeczno-personalnych, w tym umiejętności komunikowania się z innymi, zespołowego rozwiązywania problemów, wykorzystywania instrumentarium komputerowego do rozwiązywania zadań.

W procesie kształcenia modułowego dominuje tok indukcyjny — „od identyfikacji zadania zawodowego do struktury teoretycznej”. Zadania zawodowe transportowane z rzeczywistego

procesu pracy do procesu kształcenia zawodowego określają sytuację wejściową tego procesu. Identyfikacja tego zadania wywołuje u uczącego się potrzebę samodzielnego pobrania informacji (z różnych źródeł, między innymi z Internetu, katalogów i poradników, od nauczyciela — organizatora procesu kształcenia) koniecznych do rozwiązania zadania. Sterowanie procesem uczenia się na drodze „od zadania do struktury teoretycznej (program działania podczas rozwiązywania zadań określonego typu, algorytm postępowania, zasada i in.)” określa przebieg czynności pedagogicznych nauczyciela i czynności uczącego się.

Jaka jest rola nauczyciela w procesie kształcenia modułowego? Jak organizować proces uczenia się poprzez wykonywanie zadań zawodowych? Jak wdrażać model kształcenia modułowego do praktyki edukacyjnej?

Odpowiedź na te pytania, wskazówki, w jaki sposób stymulować aktywność uczniowską, informacje o nowych trendach w edukacji Czytelnik znajdzie w tym opracowaniu.

Gorąco zachęcam do zapoznania się z treścią publikacji i liczę na to, że stanie się ona inspiracją do planowania i podejmowania innowacyjnych działań w obszarze edukacji zawodowej.

Janusz Moos

Metody stymulujące aktywność uczących się

Dlaczego metody aktywizujące w edukacji zawodowej?

Szkoła zawodowa powinna tworzyć jak najlepsze warunki do osiągnięcia kwalifikacji zawodowych opartych na kompetencjach, czyli na osiągnięciu sprawności i zachowań związanych z wykonywaniem określonych zadań zawodowych. Dopasowanie wymagań kwalifikacyjnych do rynku pracy i potrzeb pracodawców musi pociągnąć za sobą zmiany zarówno w zakresie treści kształcenia w zawodzie (zmiana podstawy programowej kształcenia w zawodzie), jak i metod i technik tego kształcenia, w celu zapewnienia wysokiej jego jakości.

Aby osiągnąć odpowiednio wysokie standardy kształcenia zawodowego, nauczyciel powinien całkowicie zmienić swoje podejście do roli, jaką pełni w realizacji procesu kształcenia. Nauczyciel XXI wieku powinien być organizatorem i inicjatorem aktywności edukacyjnej uczących się oraz twórcą procesu edukacyjnego, decydującym o jego treściach i organizacji ukierunkowanej na kształcenie kwalifikacji zawodowych.

Współczesny nauczyciel powinien zredukować do minimum działania przypisane tradycyjnie pełnionym funkcjom informatora, instruktora, kontrolera i egzaminatora, a pełnić funkcje wspomagające i wspierające wszechstronny rozwój uczniów. Niezwykle istotnym obowiązkiem nauczyciela w tym zakresie jest stwarzanie jak najkorzystniejszych warunków do samokształcenia i samorealizacji uczących się, ponieważ poprzez stymulowanie motywacji do działania — jako najważniejszej siły napędowej rozwoju uczącego się — rozbudza się emocje, ciekawość poznawczą, wyzwala aktywność twórczą, chęć odkrywania otaczającej rzeczywistości i kształtowania umiejętności samodzielnego dochodzenia do wiedzy. Uczeń powinien być postrzegany jako kreator i twórca własnego rozwoju, nauczyciel zaś to osoba, która w sposób nienarzucający i dyskretny dopomaga mu w tym.

We współczesnym społeczeństwie, aspirującym do miana **społeczeństwa uczącego się**, funkcja dydaktyczna przeżywa swój renesans. Dlatego programy edukacyjne muszą i odchodzą dziś od przekazywania wiedzy encyklopedycznej i akademickiej. Główny nacisk kształcenia skierowany jest na kreatywne myślenie ucznia, rozwój jego osobowości i kultury uczenia się przez całe życie.

Rolą nauczyciela jest nie tylko bycie pośrednikiem w przyswajaniu wiedzy, ale także doradcą w uczeniu się. Misja nauczyciela w funkcji dydaktycznej zmienia się — odchodzi on od roli dawcy wiedzy o faktach na rzecz wspomagania uczenia się, odkrywania wiedzy, poglądów, umiejętności oraz uzdolnień czy kompetencji.

Metody aktywizujące to metody kształcenia wywołujące poznawczą, emocjonalną i praktyczną aktywność uczących się.

W procesie kształcenia metody te mają za zadanie stawianie ucznia w takiej sytuacji, aby odczuwał potrzebę podejmowania działań, jakich oczekuje się od niego, oraz kształtowanie umiejętności współdziałania uczniów w grupie. Zadaniem nauczyciela jest uświadomienie uczniom celu ich działań oraz umotywowanie potrzeby jego osiągnięcia. Źródłem aktywności ucznia są jego potrzeby. Przez swoją aktywność uczeń zaspokaja je i realizuje cele. Aktywność odtwórcza uczniów przeplata się z ich aktywnością twórczą.

Należy zatem wprowadzać atrakcyjne środki dydaktyczne działające na wzrok, stwarzać uczniom możliwości dyskusji, umożliwiać im uczenie się poprzez działanie. W czasie wykonywania czynności uczniowie angażują umysł, wolę, emocje, zmysły, badają, doświadczają i działają. Taki model pracy umożliwia kształtowanie zarówno umiejętności przedmiotowych, jak i kompetencji kluczowych, które są tak istotne w dalszym życiu i funkcjonowaniu we współczesnym świecie (planowanie, organizowanie i ocenianie własnego uczenia się, twórcze rozwiązywanie problemów, skuteczne komunikowanie się, współpraca w grupie, wykorzystanie informacji z różnych źródeł, efektywne posługiwanie się technologią informacyjną).

Istota metod aktywizujących proces uczenia się polega na takim sposobie działania grupy i prowadzącego, który umożliwia aktywne uczenie się, czyli uczenie się przez działanie i przeżywanie. Metody aktywizujące to pomoce i wskazówki, dzięki którym uczący się poszerza swoją wiedzę, pogłębia swoje zainteresowania, rozwija nowe pomysły i idee, komunikuje się z innymi, uczy się dyskutować i spierać na różne tematy.

Współczesna edukacja zawodowa przywiązuje szczególną wagę do kształtowania osobowości uczącego się, rozbudzania ciekawości świata, rozwijania indywidualnych predyspozycji i zdolności poznawczych, kształtowania umiejętności sprawnego i samodzielnego wykonywania zadań zawodowych, dostosowania się do warunków pracy, mobilności oraz umiejętności samokształcenia.

Stosowanie metod aktywizujących powoduje zmianę sposobu myślenia na temat:

- toku pracy dydaktycznej,
- zakładanych i osiągniętych celów,
- zadań i roli osoby prowadzącej,
- zjawisk dynamiki grupowej,
- przestrzennej organizacji miejsca pracy.

Praca z uczącymi się z wykorzystaniem metod aktywizujących wpływa na trzy płaszczyzny:

- rzeczową,
- przeżyć osobistych,
- stosunków międzyludzkich.

W procesie tym poszukuje się odpowiedzi na kilka ważnych pytań:

- Kiedy uczący się będzie aktywny?
- Kiedy będzie zniechęcony?
- Kiedy ma poczucie bezpieczeństwa?
- Kiedy uwzględni się jego potrzeby?
- Kiedy cel jest dla niego bliski?
- Kiedy ma poczucie własnej wartości?
- Kiedy jego działaniu towarzyszą emocje?
- Kiedy docenia się wkład pracy, a nie tylko efekt?
- Kiedy ma możliwość realizowania własnych pomysłów?

Należy pamiętać, że istotna jest tu indywidualizacja procesu kształcenia, ponieważ szukając odpowiedzi na powyższe pytania, należy mieć świadomość, że istnieją trzy grupy uczących się:

- słuchowcy,
- wzrokowcy,
- czuciowcy.

Słuchowcy	Wzrokowcy	Czuciowcy
— Lubią dialogi i rozmowy — Powtarzają głośno to, co napisali — Rozmawiają z sobą — Lubią słuchać — Lubią wykłady — Lubią długie wypowiedzi własne — Lubią muzykę — Lubią czytać głośno	— Lubią demonstracje lub pokazy — Lubią wykresy i tabele — Lubią opisy — Pamiętają twarze i imiona — Lubią robić notatki — Lubią patrzeć, rysować — Preferują sztuki wizualne	— Uczą się przez wykonywanie czynności i bezpośrednie zaangażowanie — Lubią emocje, ruch — Nie lubią czytać — Pamiętają, co sami wykonali — Muszą się poruszać, wiercić, coś trzymać — Tupią, gestykują

Z punktu widzenia nauczyciela stosowanie metod stymulujących aktywność uczących się pozwala odkrywać nowe możliwości pedagogiczne, eksperymentować, dowartościowywać się poprzez pozytywne reakcje uczniów i ich rodziców, motywuje do wprowadzania zmian — nauczyciel staje się doradcą, animatorem, obserwatorem, partnerem.

Z punktu widzenia uczących się stosowanie metod aktywizujących powoduje, że stają się oni bardziej samodzielni, rozwijają własne strategie uczenia się, budują autonomię nauki i pracy, wzrasta ich motywacja. Poza tym rośnie zainteresowanie uczniów programem kształcenia, następuje rozwój umiejętności komunikowania się, wzrasta liczba i różnorodność strategii negocjacyjnych, zasób doświadczeń, aktywność poznawcza, umiejętność rozwiązywania problemów, częstotliwość wzajemnych kontaktów. Istotne jest również to, że ujawniają się zdolności intelektualne uczniów, następuje ich rozwój społeczno-emocjonalny oraz uwzględniona zostaje ich podmiotowość.

Do trwałych efektów stosowania metod stymulujących aktywność uczących się można zaliczyć między innymi zwiększenie skuteczności uczenia się, możliwości motywowania uczniów do działania, możliwości rozwijania twórczego myślenia i kreatywności, możliwości integracji wiedzy z różnych przedmiotów, umiejętności współpracy i komunikacji w grupie, umiejętności organizowania pracy własnej i innych, rozbudzenie zainteresowań uczniów, stworzenie możliwości uczestniczenia w procesie dydaktycznym każdemu uczniowi, ułatwienie przyswajania trwałej wiedzy, wspomaganie w dążeniu do sukcesu.

Organizacja procesu uczenia się powinna być więc ukierunkowana na kształtowanie postawy badawczej, twórczej i wynalazczej uczniów. Istota kształcenia powinna sprowadzać się do samodzielnego rozwiązywania przez uczniów problemów (szczególnie technicznych), co jest właśnie istotą stosowania metod aktywizujących.

W procesie kształcenia zawodowego nauczyciele najchętniej stosują metodę projektów i metodę tekstu przewodniego.

Metoda projektów

Rys historyczny metody projektów [1]

Metoda projektu należy do interaktywnych metod kształcenia. Powstała w 1917 roku w Stanach Zjednoczonych. Za jej twórcę uznaje się Williama H. Kilpatricka. Najpierw wykorzystywano ją w nauczaniu prac ręcznych, później w kształceniu rolniczym. Dlatego początkowo pod pojęciem projektu rozumiano wszelką działalność uczniowską natury praktycznej, nastawioną na wykonanie produktu. Nowe spojrzenie na metodę projektów wniósł filozof i pedagog John Dewey — autor pomysłu przebudowy systemu edukacji na zasadzie „metody projektów”. Rozwiązanie to miało stanowić alternatywę dla tradycyjnego nauczania, którego podstawą jest podawanie usystematyzowanej wiedzy w ramach poszczególnych przedmiotów. Zadaniem nowej edukacji było nawiązywanie do osobistych doświadczeń ucznia, przemian zachodzących w środowisku oraz najnowszych osiągnięć nauki i techniki. Kładziono nacisk na rozwijanie zainteresowań młodych ludzi, kształtowanie aktywnej postawy wobec rzeczywistości, uczenie samodzielności w myśleniu i rozwiązywaniu problemów. Zrezygnowano z systemu klasowo-lekcyjnego na rzecz swobodnej działalności ucznia, której podstawą są jego zainteresowania. W Polsce zainteresowanie metodą projektów datuje się od 1930 roku, chociaż pierwsze próby jej wdrażania odbyły się jeszcze przed I wojną światową.

Na całym świecie popularność projektów jako metody organizowania pracy znacznie wzrosła w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX wieku. W zmieniającej się polskiej szkole metoda ta pojawiła się na nowo w latach dziewięćdziesiątych. Obecnie właściwie w każdej sferze działalności człowieka — technicznej, społecznej, kulturalnej, oświatowej — można spotkać się z tym sposobem organizowania ludzkiej pracy. Reforma edukacji otworzyła przed nauczycielami możliwość stosowania nowych form działania, bardziej dostosowanych do lokalnych warunków, potrzeb i możliwości uczących się.

Istota metody projektów

W literaturze występuje wiele różnych definicji projektu. Klasyczną definicję tej metody sformułował W.H. Kilpatrick [1]. Według niego projekt to odważne, planowe działanie, wykonywane całym sercem w środowisku społecznym. Najprostsza definicja projektu jako metody pracy w szkole mogłaby brzmieć: projekt jest odbywającym się w oznaczonym terminie zadaniem, wymagającym podejmowania różnorodnych działań, realizowanym przez uczniów samodzielnie, jednak pod kierunkiem nauczyciela oraz według przygotowanego wcześniej planu.

Metoda projektów umożliwia uczestnikom pełne zaangażowanie w proces kształcenia, zdobywanie doświadczeń w praktycznym działaniu, tworzenie własnej wizji świata, a tym samym najlepsze i najefektywniejsze uczenie się. Szkoła i nauczyciele odpowiadają za przygotowanie takich sytuacji edukacyjnych, w których uczniowie — na podstawie samodzielnych doświadczeń — pogłębiają swoją wiedzę i kształtują umiejętności. Nie uda się tego w pełni osiągnąć, jeśli w procesie edukacyjnym nie będzie stosowana metoda projektów.

Metoda projektów kształtuje m.in. umiejętności:

- planowania,
- organizacji pracy własnej uczniów,
- pracy w grupie,
- komunikowania się,

- prowadzenia negocjacji,
- podejmowania decyzji,
- przyjmowania odpowiedzialności,
- zbierania i selekcjonowania informacji,
- grupowego rozwiązywania problemów,
- radzenia sobie w sytuacjach nowych i nietypowych,
- prezentowania własnej pracy,
- obrony własnego stanowiska.

Do cech metody projektów zalicza się:

- interdyscyplinarność;
- holistyczne ujmowanie tematu (projekty powinny być wykonywane w szerszym środowisku społecznym, zacierać granice pomiędzy życiem szkolnym i pozaszkolnym, przygotowywać do rozwiązywania realnych problemów, korzystania z różnorodnych źródeł informacji, mieć interdyscyplinarny charakter, wychodzić poza układ przedmiotowy, pomagać dostrzegać związki pomiędzy różnymi dyscyplinami nauki, łączyć teorię i praktykę, myślenie i działanie, dawać możliwość uczenia się za pomocą wielu zmysłów);
- progresywną rolę nauczyciela (pozostawia on uczniom dużą dozę samodzielności, m.in. w zakresie wyboru tematu projektu, sposobów postępowania, często wyboru partnerów do pracy w zespole; umiejętnie kieruje działalnością uczniów, nie narzucając im swojego punktu widzenia, udziela pomocy, sprawuje dyskretną kontrolę);
- podmiotowość ucznia (wykonywanie projektu powinno uwzględniać indywidualne zainteresowania, zdolności i uzdolnienia, aspiracje i potrzeby uczącego się, wspierać rozwój poznawczy, emocjonalny i motoryczny uczących się, ich twórczość i innowacyjność, wdrażać uczniów do samodzielności, odpowiedzialności za własne decyzje i podejmowane działania, przedsiębiorczości, współpracy);
- odejście od tradycyjnego sposobu oceniania (ocenianie powinno stanowić integralną część wykonywania projektów, a uczący się dokonują samooceny bezpośrednio podczas pracy; prezentują wyniki swojej pracy, które również podlegają samoocenie i ocenie koleżeńskiej; ocenianie stanowi niejako część pracy nad projektem, obejmującej negocjowanie kryteriów oceniania, ocenianie w trakcie wykonywania projektu w celu wprowadzania koniecznych zmian w działaniu swoim i zespołu).

Dobry projekt powinien charakteryzować się:

- wyznaczonymi celami,
- określonymi sposobami realizacji,
- wyznaczonymi osobami (uczniami) odpowiedzialnymi za realizację,
- znanymi kryteriami oceny,
- rezultatami pracy prezentowanymi publicznie,
- ograniczeniem czasowym,
- uruchamianiem na podstawie kontraktu zawartego pomiędzy nauczycielem i uczniami.

Każdy projekt powinien być zakończony sporządzeniem raportu (sprawozdania) i publiczną prezentacją.

Jak realizować zajęcia metodą projektów?

Zajęcia realizowane metodą projektów można podzielić na następujące fazy:

Faza 1. Wprowadzenie

- Wyjaśnienie uczącym się istoty metody projektów.

- Wybór odpowiedniego obszaru kształcenia, w którym będą prowadzone zajęcia realizowane metodą projektów.

Faza 2. Przygotowanie projektu

- Wprowadzenie uczących się w tematykę zagadnień objętych projektem, z zasugerowaniem problemów (zadań) do rozwiązania.
- Sformułowanie tematów poszczególnych projektów i ustalenie zakresu ich realizacji.

Faza 3. Wykonywanie prac w projekcie

- Realizacja projektów.
- Konsultacje, w wyniku których dokonuje się weryfikacji sposobów wykonania oraz realizacji projektów.

Faza 4. Ocena rezultatów projektu

- Prezentacja projektów.
- Ocena projektów przez nauczyciela lub zespół przez niego powołany według przyjętych zasad i kryteriów.

W każdej ze wskazanych faz można wyróżnić konkretne działania podejmowane przez nauczycieli i uczniów.

Na wstępie powinien być zawarty kontrakt pomiędzy uczącymi się a nauczycielem/opiekunem projektu, zgodnie ze strukturą:

- tytuł (temat) projektu,
- zakres prac projektowych,
- terminy wykonania poszczególnych etapów pracy,
- termin zakończenia projektu,
- kary za niedotrzymanie terminów,
- sposób komunikowania się z nauczycielem prowadzącym projekt (z innymi nauczycielami, dostęp do pracowni itp.),
- przewidywane koszty wykonania,
- data zawarcia kontraktu,
- podpis nauczyciela prowadzącego projekt,
- podpisy uczniów przystępujących do wykonania projektu,
- inne istotne dla wykonania projektu informacje.

Po zakończeniu prac projektowych powinien być sporządzony raport/sprawozdanie, zgodnie ze strukturą:

- strona tytułowa,
- zakres sprawozdania,
- spis treści,
- podziękowania,
- wstęp,
- rozwinięcie (opis ewentualnych badań),
- zakończenie (analiza, wnioski, spostrzeżenia, odkrycia),
- rekomendacje,
- bibliografia,
- załączniki.

Rola nauczyciela [2]

Nauczyciel nie jest „przekaznikiem informacji”, „podawaczem wiedzy” — jego rola sprowadza się do tworzenia uczącym się odpowiednich warunków do pracy podczas wykonywania

projektu, motywowania i jedynie wspierania ich w procesie kształcenia. Nauczyciel jest dla uczniów przewodnikiem, osobą wspomagającą, ale nie podaje gotowych rozwiązań. Nie wykonuje zadań za uczniów, ale inspirowanie ich do samodzielnego podejmowania działań.

Dekalog nauczyciela pracującego metodą projektów [2]

Nauczyciele, pod których kierunkiem uczniowie wykonują projekty edukacyjne, powinni pamiętać o swoistym „dekalogu” zaleceń:

- wspieraj, a nie wyręczaj swoich uczniów,
- pozwól uczniom poczuć się „właścicielami” wykonywanego projektu,
- pobudzaj ich do rozwijania zainteresowań,
- zachęcaj do twórczego rozwiązywania problemów,
- zachęcaj do korzystania z różnych źródeł informacji,
- stwarzaj możliwości do dyskusji i negocjowania proponowanych rozwiązań,
- zachęcaj do analizy popełnionych błędów i wyciągania z nich wniosków na przyszłość,
- pamiętaj, że efekt pracy uczniów nie musi być całkowicie zbieżny z Twoim początkowym wyobrażeniem o nim,
- pomagaj uczniom rozwiązywać pojawiające się problemy i konflikty w grupie,
- współpracuj z innymi nauczycielami, gdyż każdy projekt, nawet przedmiotowy, ma pewien wymiar interdyscyplinarny.

Zalecenia dla uczniów wykonujących projekty w zespole [2]

Uczniowie wykonujący w zespole projekt edukacyjny powinni pamiętać o następujących zaleceniach:

- współpracując w zespole, możesz osiągnąć więcej, niż pracując sam,
- projekt jest przedsięwzięciem Twoim i Twojego zespołu — przyjmijcie odpowiedzialność za jego wykonanie i efekty,
- ustalenie ostatecznego tematu projektu powinno być efektem negocjacji pomiędzy zespołem a nauczycielem prowadzącym projekt,
- dyskutujcie nad sposobem wykonania projektu — mogą pojawić się ciekawe i twórcze pomysły,
- jeżeli uważasz, że masz dobry pomysł — przekonaj grupę, wykorzystując racjonalne argumenty,
- rozdzielajcie zadania do wykonania, wykorzystując mocne strony, predyspozycje i zainteresowania członków zespołu,
- zbierając potrzebne informacje, korzystajcie z różnych źródeł, jeżeli tego wymaga projekt, prowadźcie badania również poza szkołą,
- cały zespół odpowiada za realizację projektu — każdy powinien wywiązywać się z przyjętych na siebie obowiązków.

Struktura projektu

1. Przygotowanie/określenie tematu
2. Planowanie
3. Poszukiwanie
4. Opracowanie
5. Prezentacja
6. Ocenianie

Przygotowanie/określenie tematu

Działania nauczyciela	Działania uczących się
— Zapoznanie uczniów z metodą projektów — Wzbudzenie zainteresowania — Pomoc w określeniu treści, tematu lub sformułowaniu problemu przyszłego projektu — Zapoznanie z materiałami	— Wstępne, samodzielne/w zespołach studiowanie informacji — Ustalenie tematu — Określenie celów — Formułowanie problemów

Planowanie

Działania nauczyciela	Działania uczących się
— Pomoc w dostępie do materiałów i innych źródeł informacji — Podanie informacji o prawidłowościach pracy z materiałami i innymi źródłami — Pomoc w wyborze kryteriów oceny	— Poszukiwanie źródeł informacji — Studiowanie danych, zwracanie się do nauczyciela jedynie po rekomendacje (polecenia) — Samodzielne opracowanie spostrzeżeń

Poszukiwanie

Działania nauczyciela	Działania uczących się
— Obserwowanie i doradzanie — Pośrednie kierowanie pracą — Przewidywanie — Dostrzeganie indywidualnego wkładu każdego ucznia w projekt	— Zbieranie informacji — Przeprowadzanie analizy — Konfrontowanie z sobą różnych punktów widzenia — Projektowanie indywidualnie lub grupowo pracy

Opracowanie

Działania nauczyciela	Działania uczących się
— Udzielanie rad — Pokazywanie wzorców dobrze sformułowanych projektów — Pomoc w napisaniu wstępu, bibliografii — Prawidłowe określenie formy, zakończenia	— Pisanie i legalizowanie pracy — Tworzenie projektu jako całości

Prezentacja

Działania nauczyciela	Działania uczących się
— Słuchanie — Zadawanie pytań	— Opracowanie planu prezentacji — Indywidualne prezentowanie się każdego z uczniów — Branie czynnego udziału w dyskusji na temat prac innych uczniów — W prezentacji uczestniczą wszyscy członkowie zespołu

Ocenianie

Działania nauczyciela	Działania uczących się
— Indywidualne ocenianie każdego ucznia — Ocenianie poszczególnych faz i pracy w całości — Stosowanie do oceny kryteriów określonych w instrukcji/kontrakcie — Pokazywanie niewykorzystanych możliwości — Dawanie wskazówek do przyszłej pracy	— Samoocena uczniów, zespołów — Omówienie ocen innych członków grupy

Formy prezentacji

Każdy projekt powinien być zakończony prezentacją jego efektów — czy to na forum grupy/klas, całej szkoły, czy też przed szerszym gremium, w zależności od zasięgu projektu i założeń organizacyjnych. Forma prezentacji zależy od tematyki projektu, możliwości wykonujących projekt oraz ustaleń zapisanych w kontrakcie.

Najczęściej stosowane formy prezentacji to:

- album ilustrowany zdjęciami, szkicami, mapkami, relacjami, wierszami,
- portfolio z dokumentacją, własnymi analizami itp.,
- plakat, inna forma plastyczna,
- książka, broszura, ulotka, gazetka,
- prezentacja multimedialna,
- model zjawiska, makieta budowli,
- film, nagranie dźwiękowe,
- sprawozdanie,
- gwiazda pytań,
- przedstawienie teatralne, inscenizacja,
- happening, marsz, piknik naukowy,
- debata, dyskusja z wykorzystaniem przygotowanych materiałów,
- szkolna wystawa prac uczniów,
- wspólny raport z przeprowadzonego badania,
- konferencja naukowa: wykłady i prezentacje prowadzone przez uczniów,
- przeprowadzenie akcji społecznych na rzecz swoich rówieśników,
- opracowanie poradnika, np. dotyczącego żywienia,
- przygotowanie i prezentacja zestawu ćwiczeń poprawiających kondycję oraz nauka stosowania tych ćwiczeń przez innych,
- zorganizowanie wystawy,
- wydawanie gazetki informacyjnej,
- przeprowadzenie badań naukowych,
- degustacja.

Kryteria oceny projektu

Każdy projekt powinien być oceniany zgodnie z wcześniej ustalonymi kryteriami, konieczne zapisanymi w kontrakcie. Szczegółowe kryteria oceny projektu opracowuje się dla każdego projektu indywidualnie, uwzględniając jego charakter i specyfikę, przy czym wskazane było-by zastosowanie kryteriów ogólnych, uwzględniających:

- stopień samodzielności w wyborze tematu,

- konstrukcję planu działań,
- samodzielność decyzji o konieczności konsultacji lub wprowadzeniu zmian,
- znajdowanie źródeł informacji,
- uzasadnienie konieczności wykorzystania zgromadzonych informacji,
- terminowość prac,
- umiejętność uzasadnienia wyboru sposobu rozwiązania problemu,
- poziom syntezy wiedzy,
- poziom zrozumienia zadań,
- posługiwanie się fachową terminologią,
- przestrzeganie przepisów bhp i ppoż. podczas realizacji projektu.

Kryteria oceny prezentacji

Ocenie powinien podlegać również sposób zaprezentowania efektów realizowanego projektu.

W tym przypadku kryteria oceny powinny uwzględniać:

- organizację i zaplanowanie prezentacji (wprowadzenie, zakończenie, przeprowadzenie dyskusji),
- czas prezentacji (czy grupa zmieściła się w czasie),
- sposób korzystania z notatek,
- komunikatywność wystąpienia.

Mocne i słabe strony metody projektów

Mocne strony metody projektów [3]

Metoda projektów pozwala na ukształtowanie obecnie najbardziej oczekiwanych umiejętności na rynku pracy, a mianowicie:

- komunikatywności i umiejętności pracy w zespole,
- samodzielności i umiejętności organizowania swojej pracy,
- aktywności oraz zaangażowania w wykonywaną pracę,
- odpowiedniego dostosowania predyspozycji i doświadczeń do stanowiska pracy,
- dostosowania się do zmian oraz gotowości do ciągłego uczenia się i doskonalenia zawodowego.

Analizując oczekiwania pracodawców, można stwierdzić, że umiejętności ukształtowane w wyniku stosowania metody projektów jak najbardziej te oczekiwania spełniają. Najchętniej widziane przez pracodawców kompetencje interpersonalne i predyspozycje osobowościowe to:

- samodzielność w podejmowaniu decyzji w obszarze kompetencji wynikających z zakresu obowiązków,
- systematyczność i kreatywność oraz otwartość na doświadczenia,
- komunikatywność i umiejętność pracy w grupie,
- dyspozycyjność, odpowiedzialność i terminowość,
- zdolności analityczne,
- chęć uczenia się, motywacja i entuzjazm,
- zaradność i uczciwość.

Słabe strony metody projektów [3]

Należy zwrócić uwagę na fakt, że metoda projektów ma również i słabe strony, spośród których należy wymienić:

- niewłaściwe sformułowanie tematu — zbyt skomplikowane tematy zniechęcają,

- niewłaściwy dobór uczniów do zespołu oraz różne tempo pracy zespołów,
- fakt, że nie wszystkie cele da się realizować tą metodą,
- zbyt mocne zaangażowanie uczących się w realizację projektu — zbieranie informacji może zajmować dużo czasu,
- wysoką nieprzewidywalność efektów.

Podsumowując, **metoda projektów jest atrakcyjną formą realizowania zadań dydaktycznych i wychowawczych szkoły zawodowej**. Posługiwanie się tą metodą pozwala zarówno nauczycielom, jak i uczącym się rozwijać umiejętność podejmowania planowanych działań. Projekt uczy odpowiedzialności i samodzielności. Uczący się jest realizatorem konkretnego zadania zawodowego o charakterze otwartym (inwencyjnym), stymulującym kształtowanie postawy twórczej wobec wyzwań w życiu zawodowym.

Metoda projektów znakomicie sprawdza się na zajęciach praktycznie we wszystkich obszarach zawodowych. Poniżej przedstawione zostały przykłady tematów i zakresów projektów z branży budowlanej oraz przykładowy scenariusz zajęć prowadzonych metodą projektów w branży elektronicznej.

PRZYKŁAD 1

Nauczyciele: Irena Kowalska, Jan Markiewicz, Krzysztof Urbaniak

Nazwa jednostki szkoleniowej: **Okładziny ścienne ceramiczne**

Liczba godzin: 6

Operacyjne cele kształcenia

Po przeprowadzonych zajęciach uczący się będzie potrafił:

- rozróżnić rodzaje okładzin ściennych,
- określić przeznaczenie okładzin ściennych,
- dobrać okładziny do określonego rodzaju pomieszczenia,
- scharakteryzować właściwości okładzin,
- wymienić firmy produkujące okładziny ceramiczne,
- wymienić sposoby mocowania okładzin ceramicznych.

Faza I — Wprowadzenie do tematu z zasugerowaniem problemów do rozwiązania

Zagadnienia do przedstawienia tematu i problemów do rozwiązania przez projekty:

- Jaką funkcję pełnią okładziny ceramiczne?
- W jakich pomieszczeniach wykorzystuje się okładziny ceramiczne?
- Z jakich materiałów wykonane są okładziny ceramiczne?

Faza II — Sformułowanie hipotetycznych tematów i ustalenie zakresu projektów

Proponowane tematy projektów:

Projekt nr 1: Rodzaje okładzin ceramicznych

Planowany zakres projektu:

- Okładzina ścienna i podłogowa ceramiczna

Przewidziane efekty: modele, gabłota, prezentacja multimedialna, album

Projekt nr 2: Dobór okładzin do rodzaju pomieszczeń

Planowany zakres projektu:

- Znajomość norm, znajomość pomieszczeń (różne warianty)

Przewidziane efekty: album

Projekt nr 3: Techniki przygotowania podłoża pod okładziny ceramiczne

Planowany zakres projektu:

- Rodzaje podłoży
- Wykonanie izolacji termicznej i przeciwwilgociowej

Przewidziane efekty: autorski film instruktażowy

Projekt nr 4: Mocowanie oklein ceramicznych do podłoża

Planowany zakres projektu:

- Rodzaje klejów
- Metody i sposoby klejenia okładzin ceramicznych

Przewidziane efekty: pokaz montażu okładzin ceramicznych

PRZYKŁAD 2**Scenariusz zajęć dydaktycznych**

Temat: Montaż układu elektronicznego na płycie drukowanej PCB i uruchomienie układu

Cele ogólne:

- kształtowanie umiejętności wyboru tematu projektu do realizacji,
- kształtowanie umiejętności korzystania z dokumentacji technicznej,
- kształtowanie umiejętności zakupu elementów i materiałów niezbędnych do wykonania projektu,
- wyrabianie nawyków przygotowania stanowiska do montażu zgodnie z zasadami bhp, samooceny projektu i dotrzymywania terminów,
- kształtowanie umiejętności montowania i uruchamianie prostych układów elektronicznych zgodnie z dokumentacją techniczną,
- kształtowanie umiejętności prezentacji zrealizowanego projektu.

Szczegółowe cele kształcenia

Po zakończeniu zajęć uczący się powinien umieć:

- wymienić podstawowe zasady montażu elementów elektronicznych,
- ocenić stan techniczny elementów elektronicznych na podstawie wyglądu,
- opracować plan działań związanych z montażem elementów elektronicznych,
- dobrać i zakupić elementy i materiały do montażu,
- dobrać zestaw narzędzi niezbędnych do montażu elementów elektronicznych,
- skorzystać z kart katalogowych elementów do potrzeb ich montażu na płycie drukowanej,
- odczytać schematy ideowe i montażowe podczas montażu elektronicznego,
- posłużyć się narzędziami podczas montażu i demontażu układów elektronicznych na płycie,
- ocenić jakość montażu elektronicznego,
- uruchomić układ elektroniczny po zmontowaniu,
- zaprezentować działanie zmontowanego układu elektronicznego,
- zastosować przepisy bhp obowiązujące na stanowisku pracy,
- zorganizować i zaplanować pracę,
- pracować w zespole,
- dokonać samooceny,
- zaprezentować efekty swojej pracy.

Metody kształcenia:

- metoda projektów,
- ćwiczenie praktyczne.

Środki dydaktyczne:

- zestawy tematów i układów elektronicznych do montażu opracowane przez nauczyciela,
- umowa kontraktowa między uczniem i nauczycielem dotycząca wykonania wybranego układu,
- dokumentacja techniczna montowanego układu elektronicznego,
- stanowiska do montażu układów elektronicznych,
- sprzęt ochronny,
- schematy ideowe i montażowe układów elektronicznych,
- katalogi elementów elektronicznych,
- zasilacze i mierniki uniwersalne,
- narzędzia do montażu elektronicznego,
- materiały niezbędne podczas montażu elektronicznego.

Formy organizacyjne pracy uczniów:

- uczniowie pracują indywidualnie.

Czas trwania zajęć:

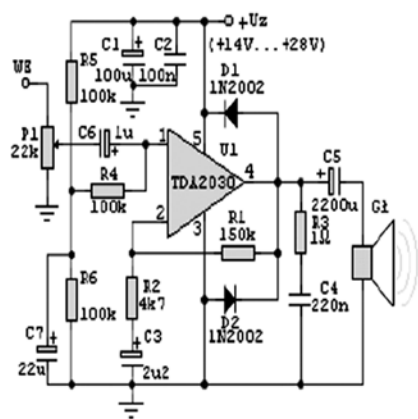
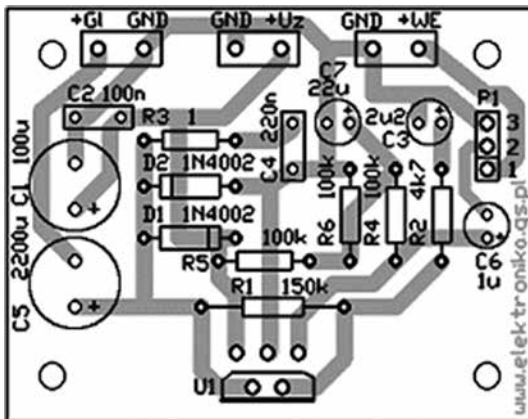
- zajęcia organizacyjne: 45 minut,
- konsultacje: 45 minut,
- prezentacja i podsumowanie: 45 minut.

Uczestnicy:

- uczniowie kształcący się w zawodzie technik elektronik.

Przykładowe zadanie dla ucznia

Dokonaj montażu monofonicznego wzmacniacza mocy przedstawionego na poniższych schematach (montażowym i ideowym). Uruchom zmontowany układ wzmacniacza zgodnie z dołączoną dokumentacją techniczną.

**Przebieg zajęć:****Faza przygotowawcza**

1. Określenie tematu zajęć.
2. Przedstawienie wzorcowej umowy kontraktowej.
3. Podanie (do wyboru) tematów i układów do zmontowania.
4. Podanie terminu konsultacji, czasu gromadzenia elementów i materiałów oraz zakończenia projektu.

5. Określenie dostępnych źródeł informacji i form zrealizowanych projektów.
6. Podanie wymagań i kryteriów dotyczących oceny końcowej projektu i jego prezentacji.

Faza realizacyjna

Praca metodą projektów.

Czynności nauczyciela:

1. Monitoruje czas gromadzenia elementów i poszczególne fazy montowania układu.
2. Podczas konsultacji udziela porad i wskazówek.
3. Ocenia wspólnie z uczniami poszczególne fazy realizacji projektu.

Czynności ucznia:

1. Analizuje poszczególne punkty umowy kontraktowej.
2. Zapoznaje się z instrukcją montażu układów elektronicznych i z dokumentacją techniczną.
3. Sporządza plan zakupu elementów i materiałów elektronicznych.
4. Przygotowuje do montażu zgromadzone elementy, materiały, narzędzia i przyrządy pomiarowe.
5. Wykonuje montaż układu zgodnie z zasadami bhp.
6. Uruchamia zmontowany układ elektroniczny.
7. Planuje terminy konsultacji z nauczycielem prowadzącym oraz formułuje pytania i zaistniałe problemy związane z realizacją projektu.
8. Konsultuje się z nauczycielem i wspólnie z nim ocenia stopień zaawansowania realizacji projektu.

Faza podsumowująca

1. Uczeń prezentuje rezultaty swojej pracy wykonanej metodą projektów — działanie zbudowanego układu elektronicznego.
2. Uczeń opisuje poszczególne etapy budowy układu i trudności, z jakimi spotkał się podczas tego montażu.
3. Uczeń dokonuje samooceny wykonanej pracy.
4. Nauczyciel i uczniowie zadają pytania dotyczące realizacji projektu.
5. Nauczyciel dokonuje oceny wykonanej pracy i oceny prezentacji projektu.
6. Inni uczniowie dokonują oceny wykonanej pracy i prezentacji projektu przez ucznia.

Szkoła Projektów w Łódzkim Centrum Doskonalenia Nauczycieli i Kształcenia Praktycznego

W styczniu 2014 roku w Łódzkim Centrum Doskonalenia Nauczycieli i Kształcenia Praktycznego powstała unikatowa w skali kraju Szkoła Projektów. Zajęcia prowadzone metodą projektów obejmują wszystkich uczniów z Zespołu Szkół Ponadgimnazjalnych nr 22 w Łodzi. Każdy uczeń w ciągu semestru realizuje co najmniej jeden projekt wybrany z listy przedstawionej przez nauczycieli. Zestawy projektów są gromadzone w tzw. Banku Projektów, gdzie zgłaszane są propozycje tematyki projektów zarówno przez nauczycieli, jak i przez uczniów. W Banku Projektów są również gromadzone scenariusze zajęć prowadzonych metodą projektów oraz raporty z wykonanych projektów. Ważnym atrybutem Szkoły Projektów jest profesjonalnie prowadzona pełna dokumentacja projektowa. Dla każdego projektu powstaje, pozostająca pod opieką nauczyciela prowadzącego, **teczka projektu**, zawierająca krótką informację o projekcie, list intencyjny, kontrakt na wykonanie projektu, konspekt projektu, kartę projektu/raport/sprawozdanie, kartę

oceny projektu, a także załączniki, np. prezentacje, zdjęcia modelu, makiety itp. Uczniowie w ramach dokumentowania działań w czasie realizacji projektu tworzą **portfolio tradycyjne** (w wersji papierowej) oraz **e-portfolio** (portfolio w wersji elektronicznej).

W Szkole Projektów są projektowane i przeprowadzane zajęcia modelowe zarówno dla nauczycieli kształcenia zawodowego, jak i dla rodziców uczniów realizujących projekt.

Celem Szkoły Projektów jest promowanie aktywnych metod kształcenia, podniesienie jakości procesów edukacyjnych, rozwijanie zainteresowań ucznia, kształtowanie aktywnej postawy wobec rzeczywistości, uczenie samodzielności w myśleniu i rozwiązywaniu problemów.

Metoda tekstu przewodniego

W klasyfikacji metod kształcenia metoda tekstu przewodniego została zaliczona do metod praktycznych. Jest to uzasadnione pierwszymi zastosowaniami tej metody do realizacji zadań na zajęciach praktycznych. Z czasem jej zastosowanie znacznie się poszerzyło: poprzez zajęcia laboratoryjne i pracowniane aż do teoretycznych przedmiotów zawodowych. Metoda tekstu przewodniego **uczy systemowego podejścia do procesu rozwiązywania zadań problemowych, od gromadzenia i porządkowania informacji oraz planowania działania aż po sprawdzenie rezultatów i analizę.**

Metoda tekstu przewodniego ukierunkowana jest na samodzielne wykonywanie przez uczniów zadań określonych w celach zajęć edukacyjnych, za pomocą przygotowanych przez nauczyciela tzw. tekstów przewodnich.

Integralną częścią metody tekstu przewodniego jest swoisty przewodnik opracowany przez nauczyciela (tekst przewodni), stanowiący układ tak sformułowanych pytań, że odpowiedzi na nie stanowią wsparcie przy wykonywaniu zadania, pełnią rolę drogowskazu prowadzącego do rozwiązania problemu (**nie są** instrukcją ani algorytmem postępowania).

Praca nad rozwiązaniem/wykonaniem zadania z wykorzystaniem metody tekstu przewodniego przebiega w sześciu fazach.

Fazy metody tekstu przewodniego:

1. Zbieranie i analizowanie informacji.
2. Planowanie wykonania ćwiczenia/zadania.
3. Ustalanie zgodności planowanego wykonania z możliwościami technicznymi pracowni lub warsztatu.
4. Praktyczne wykonanie zadania określonego w treści ćwiczenia (realizacja).
5. Sprawdzanie poprawności wykonania ćwiczenia, kontrola wyników.
6. Analizowanie sposobu wykonania zadania.

Przebieg faz metody tekstu przewodniego

Faza	Zakres działań
1. Informacje	Kontrola przygotowania teoretycznego do wykonywania zadania, podanie danych wykonywanego zadania w postaci dokumentacji technicznej, przepisów, receptur (normy, zbiory, przepisy). Uczniowie zapoznają się z zadaniem, które mają wykonać, dokonują przeglądu różnych materiałów źródłowych, analizy rysunków, zdjęć, dokumentacji techniczno-ruchowej urządzeń lub przyrządów pomiarowych, których zastosowanie jest konieczne do wykonania ćwiczenia, odpowiadają na przygotowane przez nauczyciela pytania, tzw. pytania prowadzące, dokonują przeglądu rozwiązań podobnych zadań.
2. Planowanie	Planowanie pracy: czynności, ich kolejności, narzędzi, materiałów, części zamiennych. Uczniowie przygotowują: proces technologiczny wykonywanego ćwiczenia, ustalają kolejność wykonania poszczególnych czynności, planują dobór urządzeń, narzędzi i środków pomocniczych. Powstały plan wykonania może (ale nie musi) być wspólny dla całej grupy.
3. Ustalenia	Konfrontacja wizji działania ucznia z wizją nauczyciela, poprawa etapów działań, kolejności czynności, doboru narzędzi i materiałów. Zaproponowany plan wykonania powinien być w tej fazie szczegółowo omawiany z nauczycielem. Ustalenia szczegółowe powinny dotyczyć: — kolejności wykonania poszczególnych operacji, — rozpoznawania i eliminowania błędów w proponowanym przez uczniów procesie postępowania, — możliwości przeprowadzenia ćwiczenia w warunkach danego laboratorium, — ustalenia sposobów kontroli. W fazie tej powinny być pobrane przez uczniów narzędzia oraz surowce potrzebne do realizacji zadania.
4. Realizacja	Wykonanie pracy według zaplanowanych etapów i kolejności. W fazie tej uczniowie samodzielnie wykonują ćwiczenie. Nauczyciel czuwa nad prawidłowym przebiegiem procesu, zwraca uwagę na trudne do wykonania czynności i bezpieczeństwo pracy.
5. Sprawdzenie	Samokontrola ucznia w stosunku do wykonanych czynności, zakresu pracy, wzajemna kontrola między uczniami, kontrola przez nauczyciela. Kontrolę poprawności wykonywanego zadania powinni przeprowadzać uczniowie podczas wykonywania ćwiczenia, tak aby błędy z poszczególnych operacji nie wpływały na dalsze etapy wykonania ćwiczenia. Uczniowie powinni sprawdzać wyniki swojej pracy samodzielnie, za pomocą opracowanych kryteriów szczegółowych (wg przygotowanego arkusza). Sposób wykonania zadania, jakość wyrobu, staranność jego wykonania można również poddać kontroli i ocenie koleżeńskiej (wg tego samego arkusza).
6. Analiza	Ocena przez siebie, innego ucznia, nauczyciela. Wywołanie autorefleksji dotyczącej sposobu postępowania w przypadku powtórzenia analizy. W tej fazie uczniowie powinni odpowiedzieć na pytanie: „Co bym zrobił inaczej, lepiej, gdybym wykonywał ćwiczenie jeszcze raz?” Uczniowie, pod kierunkiem nauczyciela, analizują cały przebieg zadania pod kątem usprawnienia jego wykonania, skrócenia czasu jego przeprowadzenia, obniżenia kosztów.

Przebieg metody tekstu przewodniego w zakresie działań

Faza	Zakres	Działania nauczyciela	Działania ucznia
0	Czynności wstępne	Przygotowanie formularza dla ucznia.	
1	Informacje	Podanie tematu zadania do wykonania, rozdanie arkuszy tekstu przewodniego, dostarczenie dokumentacji do zadania, sprawdzenie poprawności odpowiedzi i przygotowanie do zajęć.	Odpowiadanie na pytania sprawdzające przygotowanie do zajęć, zapoznanie się z dokumentacją zadania, zbieranie informacji o zadaniu, wypełnianie formularza.
2	Planowanie	Pomoc uczniom, gdy natrafiają na trudności.	Przygotowanie planu działania, planowanie czynności (kolejności), wpisanie w formularz materiałów i narzędzi organizacji stanowiska pracy.
3	Ustalenia	Omówienie z uczniem przedstawionego planu działania, wskazanie niedociągnięć. Wydanie polecenia wykonania zadania w przypadku poprawności planowania.	Przedstawienie opracowanego planu działania, uzupełnienie ewentualnych braków. Po akceptacji planu przez nauczyciela przystąpienie do realizacji.
4	Realizacja	Czuwanie nad prawidłowym przebiegiem ćwiczenia, zwracanie uwagi na trudne czynności i bezpieczeństwo pracy.	Samodzielne wykonanie ćwiczeń (badanie, opracowanie, rozwiązywanie).
5	Sprawdzenie	Dokonanie kontroli poprawności czynności i oceny z działań częściowych uczniów, (np. wypełnienie arkusza kontroli jakości), wpisanie ocen w formularz tekstu przewodniego.	Kontrolowanie jakości i efektów w poszczególnych operacjach, czynnościach, poddanie ocenie innych uczniów, wzywanie nauczyciela do oceny końcowej.

W trakcie realizacji zadania uczniowie posługują się tekstem przewodnim opracowanym przez nauczyciela. **Tekst przewodni nie jest instrukcją i nie zawiera poleceń** (poza treścią zadania). Zawiera pytania, które mają ukierunkować myślenie ucznia, ale nie zawiera odpowiedzi.

Pytania są pogrupowane i odpowiadają poszczególnym fazom metody.

- Pytania do fazy pierwszej (**Informacje**) pozwalają na zebranie i przeanalizowanie przez uczącego się informacji, które mogą być przydatne do wyboru sposobu wykonania zadania. Mogą to być polecenia typu: „Omów...”, „Zaprojektuj...”, „Wymień...”, „Zaproponuj...” lub na przykład pytania:
 - „Jakie są metody...?”,
 - „W jaki sposób...?”,
 - „Wyjaśnij, dlaczego...?”,
 - „Na jakiej zasadzie działa...?”,
 - „W jakim celu...?”,
 - „Od czego zależy...?”.
- Pytania do fazy drugiej (**Planowanie**) prowadzą do przygotowania realizacji zadania: opracowania kolejności czynności wykonywanego zadania, kolejności wykonywanych elementów wyrobu czy zaplanowania maszyn, narzędzi, surowców niezbędnych do realizacji zadania. Mogą to być polecenia typu: „Opracuj...”, „Określ...”, „Ustal...” lub na przykład pytania:
 - „Co należy przygotować, aby...?”,
 - „Jak przygotować...?”,
 - „Jak zmierzysz...?”,

- „Jak obliczysz...?”,
 - „Od czego rozpoczniesz...?”,
 - „W jakiej kolejności...?”,
 - „Jak dobierzesz...?”.
3. W fazie trzeciej (**Ustalenia**) zaproponowane wykonanie zadania jest szczegółowo omawiane z nauczycielem, nauczyciel sprawdza, czy zaplanowane działania prowadzą do wykonania zadania i ewentualnie pod kierunkiem nauczyciela dokonywane są zmiany, korekty opracowanych planów. **Uczący się uzgadniają z nauczycielem sposób wykonania zadania, uwzględniając wyposażenie pracowni, laboratorium.** Uczący się pobierają zaplanowany sprzęt i narzędzia oraz surowce do wykonania zadania.
4. W fazie czwartej (**Wykonanie**) uczący się samodzielnie wykonują zaplanowane działania. Nauczyciel czuwa nad prawidłowym przebiegiem, zwraca uwagę na trudne do wykonania czynności i bezpieczeństwo pracy. Tekst przewodni do tej fazy może zawierać wskazówki dotyczące wykonywanych czynności, na przykład:
- „Pamiętaj o...”,
 - „Szczególnie należy...”,
 - „Zachowaj...”,
 - „Zwróć uwagę na...”.
5. W fazie piątej (**Sprawdzenie**) uczący się sami powinni stwierdzić, czy zadanie zostało wykonane zgodnie z oczekiwaniami i przyjętym planem oraz przyjętymi założeniami. Pomocne mogą być dla nich pytania prowadzące do tej fazy:
- „Skąd wiesz, że...?”,
 - „Dlaczego jest...?”,
 - „Czy uzyskany efekt...?”,
 - „Czy uzyskane wyniki...?”,
 - „Jakie wartości...?”,
 - „Jakie czynniki...?”.
6. Faza szósta (**Analiza**) dotyczy wszystkich wcześniejszych faz. Pytania prowadzące mają skłonić uczniów do zastanowienia się, czy można było wykonać zadanie inaczej, sprawniej. Nauczyciel powinien podsumować całe ćwiczenie, wskazać, jakie umiejętności zostały ukształtowane, jakie wystąpiły nieprawidłowości. Przykładowe pytania to:
- „Czy zastosowana metoda...?”,
 - „Jakie trudności...?”,
 - „Jakie wnioski...?”,
 - „Jakie wskazówki dałbyś koledze...?”,
 - „Co byś zmienił...?”,
 - „Co byś poprawił...?”,
 - „Co byś zrobił inaczej...?”.

Rola nauczyciela w metodzie tekstu przewodniego

Nauczyciel — poza tym, że jest autorem tekstu przewodniego, z którego korzystają w trakcie rozwiązywania zadania wszyscy uczący się — pełni funkcję obserwatora działań uczniów, tutora, konsultanta, doradcy. W żadnym wypadku nie jest źródłem informacji ani „podpowiadaczem” gotowych rozwiązań. Uczniowie samodzielnie poszukują niezbędnych informacji, projektują, planują, analizują i realizują wszystkie działania, samodzielnie podejmują decyzje podczas wykonywania zadania czy rozwiązywania konkretnego problemu.

Podsumowując, należy podkreślić fakt, że **praca z tekstem przewodnim zapewnia** kształtowanie umiejętności pracy w grupie, zbierania i porządkowania informacji na określony temat, podejmowania decyzji na podstawie zebranych informacji, rozwiązywania problemów o różnym stopniu złożoności, rozwija postawy twórcze, pobudza kreatywność i jednocześnie, zmuszając do udzielenia odpowiedzi na pytania zawarte w tekście przewodnim, wzbogaca i porządkuje wiedzę uczących się.

Poniżej przedstawiony został schemat scenariusza zajęć prowadzonych metodą tekstu przewodniego oraz przykładowe scenariusze zajęć.

Scenariusz zajęć — schemat

Osoba prowadząca
 Przedmiot/Moduł:
 Temat:

Cel ogólny:

Po zakończeniu zajęć edukacyjnych uczeń powinien umieć:

—
 —
 —
 —
 — zaprezentować wykonane ćwiczenie.

Metody nauczania–uczenia się:

— metoda przewodniego tekstu,
 — ćwiczenia.

Formy organizacyjne pracy uczniów:

— indywidualna,
 — grupowa.

Strategia: uczenie się przez doświadczenie.

Czas: ...

Uczestnicy: uczniowie kształcący się w zawodzie

Środki dydaktyczne:

—
 —
 —

Przebieg zajęć:

Zadanie dla ucznia

FAZA WSTĘPNA

1. Czynności organizacyjno-porządkowe

FAZA WŁAŚCIWA

INFORMACJE

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.

PLANOWANIE

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.
- 7.
- 8.

UZGODNIENIA

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.
- 7.
- 8.

WYKONANIE

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.
- 7.
- 8.

9. Przygotuj się do zaprezentowania swojej pracy.

SPRAWDZENIE

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.
- 7.
- 8.

ANALIZA

.....
.....

FAZA KOŃCOWA**Zakończenie zajęć****Praca domowa****Przykład ćwiczenia z zastosowaniem metody przewodniego tekstu**

Nauczyciele — autorzy: Joanna Dawidowicz, Grażyna Kromska, Jarosław Mirecki, Ewa Kozanecka, Grzegorz Świnoga, Agnieszka Pabich-Mikłaszewicz

Scenariusz zajęć

Typ szkoły: Technikum

Zawód: Technik urządzeń i systemów energetyki odnawialnej

Klasa: III

Energetyka: słoneczna i ziemna

Temat zajęć (nazwa zadania zawodowego):

Montaż kolektora słonecznego wg danych w zadaniu

Cel ogólny:

Zmontowanie i uruchomienie kolektora słonecznego płaskiego

Operacyjne cele kształcenia:

Po przeprowadzonych zajęciach uczący się będzie w stanie:

- ustalić plan działania,
- dobrać narzędzia potrzebne do wykonania zadania,
- dobrać odpowiedni rodzaj zawiesia do danego kolektora,
- wskazać optymalne ustawienie kolektora,
- wytrasować miejsce montażu instalacji solarnej,
- zmontować instalację solarną, tzn. pociąć, obrobić, połączyć rury miedziane,
- podłączyć kolektor do instalacji.

Metody nauczania/uczenia się: metoda tekstu przewodniego.

Formy organizacyjne pracy uczniów: grupowa.

Czas: 6 godz.

Środki dydaktyczne niezbędne do wykonania zadania:

- kolektor płaski,
- rury miedziane,
- złączki,
- przymiar zwijany,
- ołówek, poziomica,
- wymiennik ciepła.

Przebieg zajęć:**Zadanie dla uczącego się**

Na wybranym stanowisku pracy zamontuj na podłodze (gruncie) dwa kolektory płaskie. Zachowaj odpowiednią odległość między nimi oraz dobierz prawidłowy kierunek. Kolektory podłącz instalacją z rur miedzianych z wymiennikiem ciepła.

FAZA WSTĘPNA

Czynności organizacyjno-porządkowe, wyjaśnienie tematu zajęć, zaznajomienie uczniów z pracą metodą tekstu przewodniego.

FAZA WŁAŚCIWA**I. INFORMACJE — pytania prowadzące:**

1. Co to jest kolektor słoneczny i do czego służy?
2. Jakie są rodzaje kolektorów słonecznych?
3. Jakie są metody montowania kolektorów?
4. Jaki jest optymalny kąt ustawienia kolektora?
5. Jaki jest najlepszy kierunek ustawienia kolektora?
6. Jakiego tworzywa używa się do wykonania instalacji solarnej?

II. PLANOWANIE — pytania prowadzące i wskazówki do wykonania zadania:

1. Jakie zasady bhp musisz zachować przy wykonaniu tego zadania?
2. Jakich użyjesz narzędzi i materiałów do wykonania zadania?
3. Jakie wybierzesz zawiesie do przymocowania kolektorów?
4. Pod jakim kątem i w jakim kierunku zamontujesz kolektory?
5. Podaj kolejność czynności przy montowaniu kolektora.

Materiały potrzebne do wykonania zadania

Lp.	Opis materiałów	Liczba
1	Kolektor płaski	2
2	Stelaż gotowy	2
3	Czujnik temperatury	2
4	Wymiennik ciepła	1
5	Sterownik	1
6	Pompa	1
7	Naczynie przeponowe	1
8	Odpowietrznik	1
9	Rury miedziane	4 m
10	Złączki	W zależności od potrzeb

III. UZGODNIENIA

1. Uzgodnienie doboru odpowiednich zawiesi i kolektorów.
2. Uzgodnienie doboru odpowiednich narzędzi.
3. Uzgodnienie doboru odpowiednich materiałów.

IV. WYKONANIE

Zwróć uwagę na:

1. Dobór narzędzi i materiałów.
2. Ustawienie stelażu w odpowiednim miejscu, pod odpowiednim kątem i w odpowiednim kierunku.
3. Wytrasowanie miejsca przebiegu instalacji solarnej.
4. Przymocowanie kolektora do stelaża.
5. Odmierzenie, oczyszczanie rur stalowych.
6. Lutowanie rur ze złączkami.
7. Montaż termometru i odpowietrznika.
8. Połączenie instalacji z kolektorem i wymiennikiem ciepła.
9. Sprawdzenie szczelności instalacji i poprawności wykonania zadania.

V. SPRAWDZENIE — wskazówki do samokontroli, kryteria oceny:

1. Czy uważasz, że instalacja została podłączona prawidłowo?
2. Czy uważasz, że wykonałeś zadanie estetycznie?
3. Jak oceniasz wykonane przez ciebie zadanie?

VI. ANALIZA

1. Co byś zrobił inaczej w zadaniu, gdybyś wykonywał je jeszcze raz?
2. Co sprawiło Ci największą trudność?
3. Jakie wskazówki dałbyś kolegom podczas wykonywania tego zadania?
4. Na co należy zwrócić szczególną uwagę podczas pracy przy zadaniu?
5. Jak poradziłeś sobie z problemami, które wystąpiły w trakcie wykonywania zadania?
6. Jakie doświadczenia zawodowe zdobyłeś przy wykonywaniu tego zadania?

FAZA KOŃCOWA

Zakończenie zajęć:

- Co ci się podobało najbardziej podczas tych zajęć?
- Co zapamiętałeś podczas zajęć?
- Czy chciałbyś uczestniczyć w tego typu zajęciach w przyszłości?

Praca domowa

Opisz, jakie błędy popełniają instalatorzy podczas montażu instalacji solarnej.

Przykład ćwiczenia z zastosowaniem metody tekstu przewodniego

Scenariusz zajęć

Przedmiot: Zajęcia praktyczne dla zawodu murarz tynkarz

Klasa III

Temat zajęć: Wykonanie ścianki murowanej działowej pełnej

Cel ogólny: Doskonalenie umiejętności wykonania ścianki murowanej

Operacyjne cele kształcenia:

Po przeprowadzeniu zajęć uczeń będzie w stanie:

- wytyczyć miejsce wymurowania ścianki,
- przygotować podłoże pod wymurowanie ścianki,
- przygotować materiał, zaprawę, cegły, narzędzia,

- wykonać izolację,
- wykonać kolejne warstwy,
- zachować grubość spoin.

Metody nauczania/uczenia się: metoda tekstu przewodniego.

Formy organizacyjne pracy uczniów: grupowa (grupy trzyosobowe).

Czas: 6 godzin lekcyjnych.

Środki dydaktyczne niezbędne do wykonania zadania:

- narzędzia murarskie,
- receptury wykonania mieszanin,
- dokumentacja techniczna (projekt),
- środki ochrony indywidualnej.

Przebieg zajęć:

Zadanie dla uczącego się

Wymuruj ściankę działową zgodnie z dokumentacją techniczną.

FAZA WSTĘPNA

Czynności organizacyjno-porządkowe, wyjaśnienie tematu zajęć, zaznajomienie uczniów z pracą metodą tekstu przewodniego.

FAZA WŁAŚCIWA — tekst przewodni

I. INFORMACJE — pytania prowadzące:

1. Jakie znasz rodzaje konstrukcji murowych?
2. Jakie znasz rodzaje zapraw murarskich?
3. Jakie narzędzia są niezbędne do wykonania robót murarskich?
4. Jakie znasz rodzaje materiałów budowlanych do wykonania ścianki?
5. Jakie znasz wiązania murów?

II. PLANOWANIE — pytania prowadzącego i wskazówki do wykonania zadania:

1. Na podstawie dokumentacji określ rodzaj ścianki, którą będziesz wykonywał.
2. Wyznacz miejsce wykonywania ścianki.
3. Jakich narzędzi i materiałów użyjesz do wykonania ścianki?
4. W jaki sposób przygotujesz zaprawę?
5. Podaj kolejność wykonywanych czynności.

Materiały potrzebne do wykonania zadania

Lp.	Opis materiałów	Ilość
1	Izolacja — papa	10 m
2	Cegła pełna ceramiczna	600 szt.
3	Zaprawa cementowo-wapienna	24 worki

III. UZGODNIENIA

1. Uzgodnij z nauczycielem sposób realizacji zadania oraz od czego rozpocznieś jego realizację.
2. Ustal, którą metodą rozpocznieś wykonywać zadanie.

IV. WYKONANIE

1. Przed przystąpieniem do zadania zapoznaj się z dokumentacją.
2. Pamiętaj o przygotowaniu podłoża i wytyczeniu ścian.
3. Wymuruj ściankę zgodnie z dokumentacją.
4. Wykonaj zaprawę zgodnie z instrukcją producenta.
5. Przestrzegaj przepisów bhp.

V. SPRAWDZENIE

Uczniowie porównują wyniki pracy z innymi grupami, formułują wnioski i przeprowadzają analizę błędów.

VI. ANALIZA

1. Czy zastosowana metoda wykonania muru była według Ciebie prawidłowa?
2. Czy zastosowana zaprawa była według Ciebie odpowiednia?
3. Co zrobiłbyś inaczej, wykonując ściankę ponownie?

FAZA KOŃCOWA

Zakończenie zajęć

1. Co sprawiało Ci największe trudności przy wykonywaniu zadania?
2. Które elementy zajęć podobały Ci się najbardziej?

Praca domowa

Opisz kolejność prac wykonywanych podczas zajęć.

Opracowali:

Joanna Plucińska-Jach
Krzysztof Kaczorowski
Anna Tarnowska
Artur Jabłoński
Andrzej Grajlich

Bibliografia

1. Hejłasz K.E., Napierała J., *Wskazówki metodyczne dotyczące realizacji przedmiotu „Odnawialne źródła energii” w ramach „Praktycznego programu z zakresu OZE — innowacja dla szkół ponadgimnazjalnych”*, publikacja współfinansowana ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, Koszalin 2013.
2. Mikina A., Zajac B., *Metoda projektów w gimnazjum. Poradnik dla nauczycieli i dyrektorów gimnazjum*, Ośrodek Rozwoju Edukacji, Warszawa 2010.
3. *Wprowadzenie do metody projektów w kształceniu zawodowym CODN*, zeszyt 48, Warszawa 1996.
4. Adamiec G. (red.), *Zeszyt metodyczny. Poradnik metodyczny dla nauczycieli kształcenia zawodowego, zeszyt 1: Jak wdrażać metodę projektów w kształceniu zawodowym*, Łódzkie Centrum Doskonalenia Nauczycieli i Kształcenia Praktycznego, Łódź 2014.
5. Morawiec J. (red.), *Poradnik metodyczny dla nauczycieli kształcenia zawodowego, zeszyt 2: Jak wdrażać metodę tekstu przewodniego w kształceniu zawodowym*, Łódzkie Centrum Doskonalenia Nauczycieli i Kształcenia Praktycznego, Łódź 2014.

Kształcenie modułowe/zadaniowe

Istota kształcenia modułowego

Kształcenie modułowe jest jedną z najważniejszych zmian wdrażanych do polskiego systemu kształcenia zawodowego. System kształcenia modułowego zapewnia szybkie przystosowanie się szkoły do przemian w procesach pracy, zapotrzebowania rynku pracy na nowe kwalifikacje zawodowe, wyższy poziom indywidualizacji kształcenia, integrację kształcenia praktycznego i teoretycznego (integracja pracy zawodowej i edukacji), osiągnięcie kwalifikacji ułatwiających transfer umiejętności (w tym uczenie sposobów i technik uczenia się poprzez wykonywanie zadań zawodowych, samodzielnego rozwiązywania problemów — zadań, podejmowania decyzji, kreatywności i odpowiedzialności) oraz wyższy poziom efektywności procesu osiągania kwalifikacji zawodowych.

Kształcenie modułowe, alternatywne do koncepcji klasycznej (kształcenia przedmiotowego), wiąże się z kształceniem problemowym (powiązanie teorii z praktyką, rola tutorska nauczyciela, kształtowanie umiejętności samodzielnego uczenia się), kształceniem wielostronnym (kształtowanie umiejętności formułowania komunikatów — sądów analityczno-opisowych, wyjaśniających, wartościujących i normatywnych), kształceniem indywidualnym, kształceniem programowanym i strukturalnym, kształceniem multimedialnym. Jest zorientowane na uczenie się, kształtowanie umiejętności zawodowych (osiągnięcie kwalifikacji zawodowych/uzyskanie kompetencji zawodowych) poprzez wykonywanie zadań zawodowych; wywołuje wartościowe procesy edukacyjne stymulujące aktywność uczących się (samodzielne pobieranie informacji potrzebnych do wykonania danego zadania zawodowego, tworzenie zespołów zadaniowych, kontrakty edukacyjne). Proces kształcenia w systemie modułowym skupiony jest na uczącym się, a rola nauczyciela sprowadza się tu do roli konsultanta, partnera, przewodnika, opiekuna uczącego się.

Cele kształcenia są formułowane operacyjnie, aby ocenić, czy uczący się potrafi wykonać usługę, produkt, podjąć decyzję — zgodnie z treścią zadania zawodowego.

System kształcenia modułowego polega na integracji kształcenia praktycznego z teoretycznym w jeden system modułów umiejętności zawodowych. Każdy moduł, obejmujący zintegrowane treści kształcenia z różnych dziedzin (przedmiotów), składa się z jednostek modułowych (samoistnych wycinków pracy, niepodlegających dalszemu podziałowi), a nazwa jednostki modułowej jest tożsama z nazwą zadania zawodowego. Rezultatem kształcenia w jednostkach modułowych może być usługa, produkt lub istotna decyzja, prowadzące do osiągnięcia kwali-

fikacji potrzebnych do wykonania zadania zawodowego. Treści jednostek modułowych można transformować i wymieniać w wyniku zmian technologicznych lub zmian w technikach pracy zawodowej.

Zbiór modułów ukierunkowanych na osiągnięcie jasno sprecyzowanych efektów kształcenia stanowi modułowy program kształcenia.

Przyjęcie struktury modułowej programów kształcenia zorientowanych na zatrudnienie (analiza pracy, inwentaryzacja zadań) umożliwia:

- integrację kształcenia (z różnych przedmiotów) ukierunkowanego na uzyskanie konkretnych kwalifikacji,
- ustalenie dla każdego modułu efektów kształcenia w formie umiejętności, które uczący się ma ukształtować w procesie kształcenia (pozwala to na jednoznaczne dokonanie oceny efektów kształcenia),
- ciągłą aktualizację treści kształcenia ze względu na możliwość dokonywania wymiany całych modułów lub jednostek modułowych,
- wykorzystanie tych samych modułów w kształceniu w zakresie różnych kwalifikacji osiągniętych zarówno na drodze formalnej, jak i pozaformalnej,
- wyzwolenie samodzielności i aktywności uczących się (organizację aktywnego uczenia się),
- skuteczniejsze uczenie się przez działanie (brak w procesie kształcenia modułowego podziału na zajęcia teoretyczne i praktyczne),
- zmianę roli nauczyciela z podającej na wspomagającą.

Koncepcja kształcenia modułowego jest szczególnie rekomendowana przez Międzynarodową Organizację Pracy, a model kształcenia modułowego (zadaniowego) jest wdrażany do praktyki edukacyjnej — na terenie kraju funkcjonuje Polska Sieć Kształcenia Modułowego, a w regionie łódzkim z inicjatywy Łódzkiego Centrum Doskonalenia Nauczycieli i Kształcenia Praktycznego utworzono Łódzką Sieć Kształcenia Modułowego.

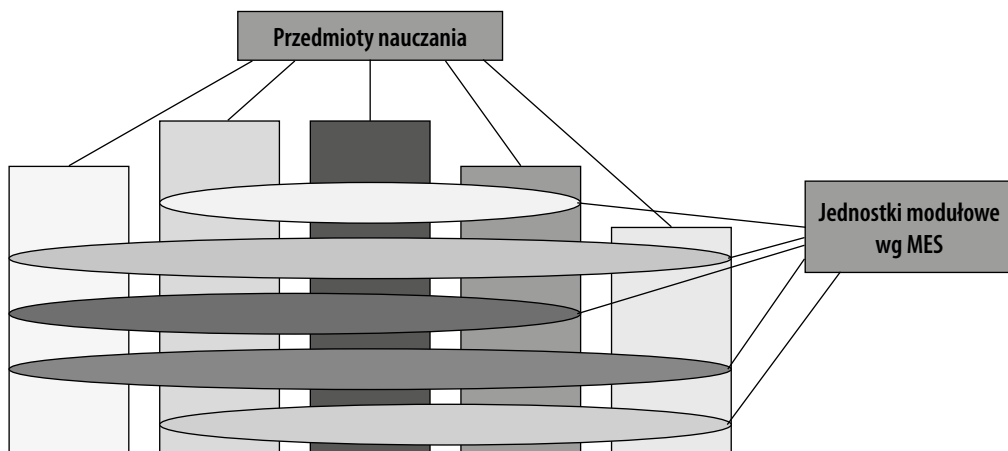
Modułowy program kształcenia

Dotychczasowy, klasyczny program kształcenia składał się z przedmiotów nauczania i przydzielonej na każdy przedmiot liczby godzin. Natomiast w programie modułowym obszar edukacji przypisany do danego zawodu jest podzielony na zadania zawodowe (jednostki modułowe) z przydzieloną na każde zadanie liczbą godzin. Za pomocą każdego z tych zadań realizuje się cele dydaktyczne. Cele ze wszystkich zadań odpowiadają celom zawartym w podstawie programowej dla danego zawodu.

Proces kształcenia oparty jest na modułach obejmujących zintegrowane treści kształcenia z różnych dziedzin (przedmiotów). Z modułów tworzone są modułowe programy kształcenia.

Modułowy program kształcenia w najprostszy sposób może być zdefiniowany jako zbiór modułów ukierunkowanych na osiągnięcie jasno sprecyzowanych celów kształcenia, przy czym kryterium ich doboru stanowią zbiory wiedzy i umiejętności dobrane pod kątem uzyskania określonych efektów kształcenia.

Modułem to taka objętość materiału kształcenia, wyodrębniona część kursu lub programu kształcenia poszczególnych przedmiotów, która ukierunkowana jest na ukształtowanie jasno określonych i sprecyzowanych oraz podlegających ocenie celów — kompetencji zawodowych, zarówno intelektualnych, teoretycznych, jak i praktycznych, niezbędnych do wykonania określonego zadania zawodowego, określonej, konkretnej pracy.



Źródło: KOWEŻIU.

Przyjęcie struktury modułowej programów umożliwia:

- integrację w jedną całość treści dotychczas realizowanych w ramach różnych przedmiotów nauczania,
- ustalenie dla każdego modułu celów kształcenia w formie umiejętności, które uczący się ma ukształtować w toku kształcenia, a to pozwala na jednoznaczne dokonanie oceny wyniku kształcenia,
- ciągłą aktualizację treści kształcenia ze względu na możliwość dokonywania wymiany całych modułów lub jednostek modułowych,
- wykorzystanie tych samych modułów na różnych poziomach kształcenia, doksztalcenia i doskonalenia zawodowego — z punktu widzenia uczącego się jest to bardzo istotne przy zdobywaniu drugiego zawodu,
- zwiększenie mobilności zawodowej młodzieży i dorosłych poprzez elastyczne doskonalenie kwalifikacji zawodowych absolwentów szkół różnego szczebla oraz form pozaszkolnych do potrzeb stale zmieniającego się rynku pracy.

Korzyści dla uczniów:

- program kształcenia jest zorientowany na zatrudnienie (analiza pracy, inwentaryzacja zadań),
- otwartość na zmiany — wymiana jednostek modułowych,
- skuteczniejsze uczenie się przez działanie, gdyż w procesie kształcenia modułowego nie ma podziału na zajęcia teoretyczne i praktyczne,
- elastyczny cykl kształcenia,
- indywidualny tok kształtowania nowych umiejętności,
- przyjazna relacja mistrz–uczeń,
- atrakcyjniejsze i bardziej świadome przygotowanie do zawodu.

Kształcenie modułowe, w którym cele i materiał kształcenia są powiązane z realizacją zadań zawodowych, umożliwia:

- przygotowanie ucznia do wykonywania zawodu, głównie przez realizację zadań zbliżonych do tych, które są wykonywane na stanowisku pracy,
- korelację i integrację treści kształcenia z różnych dyscyplin wiedzy,
- ukształtowanie umiejętności z określonego obszaru zawodowego.

Reasumując, modułowy program kształcenia składa się z zestawu modułów kształcenia w zawodzie i odpowiadających im jednostek modułowych wyodrębnionych na podstawie określonych kryteriów, umożliwiających pozyskiwanie wiedzy oraz kształtowanie umiejętności i postaw właściwych dla zawodu.

Jednostka modułowa stanowi element modułu kształcenia w zawodzie, obejmujący samodziśny, logiczny i możliwy do wykonania wycinek pracy (zadanie), o wyraźnie określonym początku i zakończeniu, niepodlegający zwykle dalszym podziałom, a jego rezultatem jest produkt, usługa lub istotna decyzja.

Podstawowe cechy kształcenia modułowego

Kształcenie modułowe charakteryzuje się tym, że:

- proces uczenia się zdecydowanie dominuje nad procesem nauczania;
- uczący się może podejmować decyzje dotyczące kształcenia zawodowego w zależności od własnych potrzeb i możliwości;
- rozwiązania programowo-organizacyjne dają możliwość kształtowania umiejętności zawodowych różnymi drogami;
- wykorzystuje się w szerokim zakresie zasadę transferu umiejętności i wiedzy;
- programy kształcenia są elastyczne, poszczególne jednostki można wymieniać, modyfikować, uzupełniać oraz dostosowywać do poziomu wymaganych umiejętności, potrzeb gospodarki oraz lokalnego rynku pracy;
- nie występuje podział na zajęcia teoretyczne i praktyczne; uczący się, wykonując zadanie praktyczne (projekt), jednocześnie otrzymuje „porcję” wiedzy teoretycznej konieczną do prawidłowego wykonania zadania;
- w obszarze kształcenia zawodowego nie występuje tradycyjna jednostka lekcyjna (45-minutowa), jednostki ćwiczeniowe mają różny czas trwania, w zależności od ich zawartości tematycznej;
- konieczne jest stałe stosowanie metod aktywizujących — głównie metody projektów i metody tekstu przewodniego;
- zmienia się rola nauczyciela — metody aktywizujące wymuszają przeniesienie punktu ciężkości z prowadzenia zajęć na ich przygotowanie i organizację stanowisk uczniowskich.

Kształcenie z wykorzystaniem programów modułowych zdecydowanie sprzyja kształtowaniu przedsiębiorczych postaw uczących się. Skupia się na osiągnięciu założonych celów, co umożliwia kształtowanie konkretnych umiejętności zawodowych i pozwala na wykonywanie zadań zawodowych na konkretnych stanowiskach pracy.

Reasumując, najważniejsze wyróżniki takiego procesu to:

- integracja teorii z praktyką (pracy z nauką),
- szeroki zakres samokształcenia (nauczyciel jako tutor, doradca, przewodnik),
- stosowanie aktywizujących metod uczenia się,
- integracja międzyprzedmiotowa,
- stopniowe i logiczne ukierunkowanie podnoszenia poziomu kwalifikacji,
- elastyczność, możliwość modyfikacji i indywidualizacji toku kształcenia,
- systematyczna kontrola i ocena postępów,
- podstawą zdobywania wiedzy, kształtowania umiejętności i postaw jest wykonywanie różnorodnych czynności w warunkach rzeczywistych lub nisko symulowanych.

Obudowa dydaktyczna modułowego programu kształcenia

Integralną częścią programu modułowego jest jego obudowa dydaktyczna w postaci multimedialnych pakietów edukacyjnych dla uczącego się i nauczyciela.

Cały proces kształcenia zawodowego będzie opierał się na zastosowaniu pakietów edukacyjnych opracowanych przez autorów programu dla każdej jednostki modułowej, w skład których wchodzi:

- dokładne sformułowanie zadania lub ćwiczenia,
- wymagania bhp — jeśli występuje zagrożenie,
- zestaw tekstów przewodnich do wykonania zadania lub ćwiczenia,
- materiały dla ucznia (zebrane informacje konieczne do rozwiązania zadania lub wykonania ćwiczenia),
- sprawdzian umiejętności i wiedzy koniecznej do wykonania zadania,
- poradnik dla uczącego się (zawierający wskazówki pomocne przy wykonywaniu zadania, informacje o trudnych elementach zadania),
- poradnik dla nauczyciela (zawierający wskazówki dotyczące metod kształcenia i organizacji zajęć dla poszczególnych jednostek modułowych).

Struktura pakietu edukacyjnego

Poradnik i materiały dla uczącego się	Poradnik dla nauczyciela
1. Wprowadzenie	1. Wprowadzenie
2. Wymagania wstępne dla uczącego się	2. Wymagania wstępne
3. Cele kształcenia	3. Cele kształcenia
4. Materiał kształcenia: — informacje obejmujące fakty, pojęcia, prawa, symbole, definicje, schematy, opisy, rysunki — pytania sprawdzające — ćwiczenia — sprawdzian postępów	4. Przykładowe scenariusze zajęć: — zestawy
5. Sprawdzian osiągnięć	5. Ćwiczenia: — wskazówki do realizacji ćwiczeń — zalecane metody nauczania — uczenia się — środki dydaktyczne — sprawdzian postępów
Literatura	Ewaluacja osiągnięć ucznia: — zestawy zadań testowych
	Literatura

Reasumując, pakiet dydaktyczny służy do wspomagania samokształcenia.

Organizacja procesu kształcenia modułowego

Kształcenie oparte na modułowym programie uczenia się nastawione jest na kształtowanie przez uczących się konkretnych, wymaganych przez pracodawców umiejętności zawodowych,

a następnie uzyskiwanie pożądaných kwalifikacji zawodowych. W związku z tym powinno opierać się na:

- rozwiązywaniu problemów oraz skutecznym działaniu w sytuacjach różnorodnych i nietypowych,
- wykorzystaniu zróżnicowanych możliwości działania,
- działaniu zarówno indywidualnym, jak i grupowym,
- zrozumieniu (a nie pamięciowym opanowaniu) uwarunkowań technologicznych i organizacyjnych w procesie pracy,
- korzystaniu z doświadczeń innych,
- radzeniu sobie ze strachem i stresem,
- wykorzystywaniu doświadczeń zdobytych nie tylko w działaniach zakończonych sukcesem, ale również opartych na popełnianych błędach.

Organizacja procesu kształcenia modułowego

Nauczyciel (opiekun) pojawia się w pracowni na godzinę przed rozpoczęciem zajęć. Przygotowuje materiały dla uczących, materiały do ćwiczeń, sprawdza stan techniczny maszyn, narzędzi i urządzeń. W pracowni przebywa przez około 8 godzin. Okres ten nie jest różnicowany dzwonekami na lekcje, a jedynie czasem przeznaczonym na kształtowanie kolejnych umiejętności (przede wszystkim wykonywanie ćwiczeń).

Uczący się pojawiają się na zajęciach zgodnie z ustalonym wcześniej harmonogramem. Pracują indywidualnie lub w kilkuosobowych zespołach. Wysłuchują wprowadzenia nauczyciela, a następnie sięgają po przygotowane dla nich pakiety dydaktyczne, za pomocą których zapoznają się z wiedzą potrzebną do ukształtowania nowych umiejętności zawodowych. W razie potrzeby mogą skorzystać z wyposażenia pracowni w postaci podręcznej biblioteki, komputerowych baz danych lub Internetu. Zapoznają się również z tematami ćwiczeń, jakie muszą wykonać, aby ukształtować umiejętności zawodowe.

Uczący się, realizując ćwiczenia, samodzielnie określa rodzaj i ilość potrzebnych materiałów oraz organizuje stanowisko pracy. Wykorzystuje tu wcześniej opanowaną wiedzę, normy, instrukcje, przepisy, podręczniki, karty ćwiczeń. Jeżeli w trakcie wykonywania ćwiczenia napotyka na trudności, z którymi nie potrafi sobie poradzić — prosi o pomoc nauczyciela. Nauczyciel stara się, aby nie rozwiązywać problemów, przed jakimi stanął uczeń, a jedynie naprowadzić go na właściwą drogę.

Efekt wykonania ćwiczenia oceniany jest przez samego ucznia i nauczyciela, najlepiej w kategoriach „umie — nie umie”, „potrafi — nie potrafi”, w odniesieniu do przyjętych wcześniej kryteriów.

Ocena negatywna (umotywowana wskazanymi błędami) zmusza ucznia do ponownego wykonania ćwiczenia w ustalonym przez nauczyciela terminie. „Zaliczenie” zajęć (potwierdzenie ukształtowania określonych umiejętności) upoważnia ucznia do przystąpienia do kolejnego tematu, zgodnie z harmonogramem.

W takim procesie teoria nierozzerwalnie łączy się z praktyką — jest to proces kształcenia zintegrowanego. Zestaw ukształtowanych w ten sposób kilku lub kilkunastu umiejętności (co potwierdzone zostaje sprawdzianem) umożliwia uczniowi wykonanie konkretnego zadania zawodowego, tzn. wykonanie określonego wyrobu, usługi lub podjęcie ważnej decyzji.

Sprawdzian, który to potwierdza, opiera się na kontroli osiągnięcia celów założonych w programie kształcenia. W ten sposób uczeń opanowuje materiał określonej jednostki modułowej i osiąga sprecyzowane w niej cele kształcenia. Może teraz przejść do następnej jednostki modułowej (w tempie zindywidualizowanym), zgodnie z określoną w programie kształcenia

mapą dydaktyczną. Zaliczenie kilku jednostek modułowych pozwala mu na uzyskanie kwalifikacji dla określonego stanowiska pracy (zaliczenie modułu).

Ukształtowane przez uczniów umiejętności mają charakter indukcyjny, tzn. kształtując kolejne, uczeń wykorzystuje te, które opanował wcześniej. Przedstawiony wyżej tok zajęć może być różnicowany w wyniku wprowadzania takich metod kształcenia, jak metoda projektów lub wycieczki zawodowe. Oczywiście jest to obraz wzorcowy, który w zakresie organizacji zajęć musi być w polskiej szkole dostosowany do realiów dnia codziennego — systemu lekcyjnego, bazy techniczno-dydaktycznej, posiadanych środków na kształcenie. Jednak doświadczenia wielu krajowych placówek dydaktycznych mówią, że jest to możliwe i satysfakcjonujące dla wszystkich stron procesu dydaktycznego.

Zajęcia oparte na programie modułowym wymagają solidnego planowania — zarówno całego cyklu nauczania, jak i poszczególnych zajęć. Najczęściej organizacja dostosowana jest do możliwości placówki. Zaleca się, aby zajęcia modułowe przeprowadzane były w grupach nieprzekraczających 15–16 osób, podzielonych na zespoły ćwiczeniowe. Taka organizacja decyduje o liczbie stanowisk w pracowni oraz ilości materiałów. Uczniowie przechodzą przez poszczególne stanowiska systemem rotacyjnym, realizując różne ćwiczenia w ramach jednostki modułowej (pierwsza możliwość) lub realizują takie samo ćwiczenie (druga możliwość). Uczący się, którzy kształtują kolejne umiejętności w wolniejszym tempie, powinni mieć możliwość powtarzania ćwiczeń w dodatkowych terminach (np. z inną grupą).

Nauczyciel powinien określić zagadnienia najtrudniejsze do opanowania przez ucznia i tak organizować proces dydaktyczny, aby poświęcić im najwięcej uwagi i czasu.

Zajęcia prowadzone są przez kilka dni lub przez jeden dzień w tygodniu. Zaleca się, aby na realizację programu modułowego przeznaczyć w ciągu jednego dnia przynajmniej 4–5 godzin. Program wstępnych jednostek modułowych powinien umożliwiać ukształtowanie przez ucznia umiejętności związanych z przepisami bhp, odczytywaniem pozatekstowej informacji zawodowej, posługiwaniem się pojęciami właściwymi dla zawodu, planowaniem działań, specyfiką maszyn i narzędzi oraz podstawowymi przepisami prawnymi wykorzystywanymi w ramach zawodu.

Pracownia dla potrzeb kształcenia modułowego powinna umożliwiać zarówno pozyskiwanie wiedzy, jak i kształtowanie umiejętności. Obok tradycyjnych stanowisk umożliwiających nabywanie wiedzy powinny znajdować się w niej stanowiska do ćwiczeń, najlepiej na potrzeby programu jednego modułu. Jednakże w tym celu często wykorzystuje się pracownię wspomagającą. Stanowiska do ćwiczeń powinny być wyposażone w komplety narzędzi, sprzętu kontrolno-pomiarowego i materiałów, a także w potrzebne maszyny, umożliwiające osiągnięcie wszystkich założonych celów kształcenia i realizację wszystkich ćwiczeń. Zaleca się, aby poziom techniczno-organizacyjny pracowni był zgodny z rozwiązaniami aktualnie stosowanymi w gospodarce. Pracownia powinna być wyposażona w bibliotekę podręczną, dostosowaną do specyfiki kształtowanych umiejętności. Pożądane jest również wykorzystywanie nowoczesnego sprzętu multimedialnego do demonstracji, a także przynajmniej jednego stanowiska komputerowego z dostępem do Internetu. W zależności od charakteru kształtowanych w pracowni umiejętności w niektórych przypadkach konieczne jest zainstalowanie wielu stanowisk komputerowych, połączonych w sieć.

Rola nauczyciela w kształceniu modułowym

Nauczyciel pełni rolę wspomagającą, jest tutorem, przewodnikiem, partnerem, opiekunem uczącego się.

Kształcenie przedmiotowe a kształcenie modułowe w zawodzie

Porównanie układu treści kształcenia w programach kształcenia o strukturze przedmiotowej i modułowej

Program kształcenia o strukturze przedmiotowej	Program kształcenia o strukturze modułowej
Plany nauczania Programy nauczania przedmiotów zawodowych Szczegółowe cele kształcenia Materiał nauczania: — działy tematyczne — ćwiczenia Środki dydaktyczne Uwagi o realizacji Propozycje metod sprawdzania i oceny osiągnięć edukacyjnych ucznia Literatura	Wprowadzenie Założenia programowo-organizacyjne kształcenia w zawodzie Plany nauczania Moduły kształcenia w zawodzie 1. Cele kształcenia 2. Wykaz jednostek modułowych 3. Schemat układu jednostek modułowych 4. Literatura Jednostki modułowe 1. Szczegółowe cele kształcenia 2. Materiał kształcenia 3. Ćwiczenia 4. Środki dydaktyczne 5. Wskazania metodyczne do realizacji programu jednostki 6. Propozycje metod sprawdzania i oceny osiągnięć edukacyjnych ucznia
Różnice w programach kształcenia	
— Treści dydaktyczne nie mają charakteru interdyscyplinarnego — Cele operacyjne wskazują kierunki dążeń pedagogicznych — Obowiązuje podział na dziedziny wiedzy i przedmioty — Kryterium doboru treści kształcenia są określone dziedziny wiedzy, wyodrębnione jako przedmioty nauczania — W przedmiotach nauczania — działy tematyczne — Podział zajęć edukacyjnych na teoretyczne i praktyczne	— Dobór treści kształcenia nawiązuje bezpośrednio do wymagań stanowisk pracy i kompetencji zawodowych — Treści dydaktyczne mają charakter interdyscyplinarny (nie ma podziału na dziedziny wiedzy i przedmioty) — Wysoki poziom operacjonalizacji celów — Cele operacyjne są szczegółowe, jednoznaczne, czytelne, precyzyjnie sformułowane — Cele kształcenia i materiał kształcenia wynikają z przyszłych zadań zawodowych — Brak podziału na zajęcia teoretyczne i praktyczne — Prymat umiejętności praktycznych nad wiedzą teoretyczną — Jednostki modułowe integrują treści kształcenia z różnych dyscyplin wiedzy — Szeroko wykorzystuje się zasadę transferu wiedzy i umiejętności — Poszczególne jednostki można wymieniać, uzupełniać oraz dostosowywać do poziomu wymaganych umiejętności, potrzeb gospodarki i lokalnego rynku pracy

Kształcenie przedmiotowe	Kształcenie modułowe
— Dominują czynności pedagogiczne nauczyciela — Dominuje dedukcyjny tok kształcenia — Występuje podział na zajęcia teoretyczne i praktyczne — Dominuje przyswajanie wiadomości — Wiadomości i umiejętności nie wynikają z zadań, z jakimi spotyka się uczeń w praktyce zawodowej — Zajęcia prowadzone są w układzie klasowo-lekcyjnym (tradycyjne ustawienie ławek, 45-minutowy cykl lekcji) — Metody ewaluacji osiągnięć uczniów o charakterze analitycznym: osiągnięcia uczniów są traktowane jako zbiory pojedynczych wiadomości, umiejętności i nawyków — Nauczyciel jest wykładawcą, nadzorcą — inicjatywa w sprawie przebiegu lekcji jest po stronie nauczycieli, a nie uczniów — Wyrwykowa kontrola postępów — słabsze motywowanie uczniów do nauki — Ograniczona wymiana informacji — brak partnerskiego kontaktu nauczyciel–uczeń — Przekazywanie informacji zwrotnej w postaci oceny	— Uczący się sam rozwiązuje zadania, nauczyciel pełni rolę mentora, doradcy, organizatora procesu kształcenia zawodowego — Zajęcia prowadzone są w grupach do 15 osób — Stosowane są różne formy organizacyjne pracy uczniów — zespołowe lub indywidualnie — Czas zajęć dydaktycznych jest optymalnie wykorzystany — Uczący się kształtuje umiejętności potrzebne do wykonywania zadań zawodowych — Występuje pełna integracja teorii z praktyką — Podstawą zdobywania wiedzy, kształtowania umiejętności i postaw jest wykonywanie różnorodnych czynności w rzeczywistych lub nisko symulowanych warunkach pracy — Indukcyjny tok kształcenia — od zadania do struktury teoretycznej — Dominuje proces uczenia się nad procesem nauczania — Indywidualizacja pracy — Integracja treści nauczania z różnych dyscyplin wiedzy (interdyscyplinarność) — Stymulowanie aktywności intelektualnej i motorycznej ucznia, pozwalającej na indywidualizację procesu kształcenia — Metody ewaluacji osiągnięć uczniów o charakterze holistycznym: badania diagnostyczne, kształtujące, sumujące — Nauczyciel jest doradcą, opiekunem, partnerem, ewaluatorem procesu dydaktycznego — Motywowanie uczniów do uczenia się — częsta kontrola postępów — Partnerski kontakt nauczyciel–uczeń — Gromadzenie dowodów osiągnięć przez ucznia (portfolio) — Przekazywanie informacji zwrotnej dla uczniów o postępach i osiągnięciach

Wdrażanie kształcenia modułowego do praktyki szkolnej

Kształcenie zawodowe powinno umożliwić jego uczestnikom pozyskanie wiadomości, ukształtowanie umiejętności i osiągnięcie kompetencji społecznych koniecznych do wykonywania zadań zawodowych w określonym zawodzie lub grupie zawodów. Powinno dać **umiejętność uczenia się i rozwijania przez całe życie** oraz przygotować do mobilności zawodowej.

Zadania szkoły według prof. dr hab. Zbigniewa Marciniaka to:

- kształtowanie umiejętności złożonych, czyli rozwijanie ogólnych predyspozycji radzenia sobie w zmieniającej się rzeczywistości,
- ukształtowanie umiejętności skutecznego i systematycznego uzupełniania wiedzy.

Kształcenie modułowe pozwala lepiej przygotować ucznia do wykonywania zmieniających się zadań zawodowych na stanowiskach pracy, którym odpowiadają określone zakresy umiejętności, wiedzy i postaw zawodowych. W tym systemie kształcenia występuje stymulowanie aktywności intelektualnej i motorycznej ucznia, pozwalającej na indywidualizację procesu nauczania. Kształcenie modułowe pozwala ukierunkować pracę uczących się na efekty kształcenia, na to, co uczeń potrafi.

W kształceniu modułowym (zadaniowym) dominuje proces uczenia się nad procesem nauczania. Zajęcia powinny być prowadzone w blokach tematycznych z mniejszą grupą uczniów, aby indywidualizować proces kształcenia i efektywniej wdrażać aktywizujące metody pracy.

Sposób organizacji pracy w kształceniu modułowym

Wdrożenie kształcenia modułowego powoduje:

- **zmiany sposobu organizacji roku szkolnego** (arkusz organizacyjny, szkolne plany nauczania, sposób zatrudniania niektórych nauczycieli),
- **zmiany w organizacji pracy nauczyciela** (zmienny plan zajęć, zmienne obciążenie godzinowe w różnych okresach roku szkolnego),
- **zmiany w organizacji pracy ucznia** (priorytet działania praktycznego i samodzielnej pracy).

Cechy charakterystyczne dla kształcenia modułowego:

- podział na grupy na zajęciach kształcenia zawodowego,
- częste zmiany planu zajęć — ok. 10 razy w roku szkolnym,
- grupowanie zajęć zawodowych w bloki 3–4-godzinne,
- prowadzenie zajęć z danej jednostki modułowej w tym samym czasie przez dwóch różnych nauczycieli w tej samej klasie — ułatwienie organizacyjne w przypadku nieobecności jednego z nauczycieli,
- prowadzenie zajęć kształcenia zawodowego bez przerw regulowanych dzwonkiem szkolnym,
- wdrażanie uczniów do pracy na zajęciach w warunkach symulowanych firmy handlowej.

Czynności nauczyciela organizującego proces uczenia się:

- dostarczenie informacji na wybrane tematy poprzez wykład wprowadzający do zajęć lub użycie mediów,
- wskazywanie źródła lub komunikowanie o nowych zasobach informacji przydatnych w procesie uczenia się,
- wspieranie uczących się w identyfikacji ich osobistych potrzeb i kompetencji, aby wybierali własną ścieżkę dalszego uczenia się,
- dostarczanie informacji zwrotnej o czynionych postępach,
- pomaganie uczącym się w rozwijaniu indywidualnego sposobu uczenia się,
- stosowanie metod pracy rozwijających kreatywne myślenie: dyskusja, stawianie pytań,
- stosowanie form pracy opartych na małych grupach,
- stosowanie indywidualizacji uczenia się z uwzględnieniem potrzeb i doświadczeń uczniów,
- diagnozowanie potrzeb edukacyjnych, nieustanny przepływ informacji zwrotnych,
- ocenianie doświadczeń edukacyjnych słuchacza, zarówno w trakcie kształtowania umiejętności, jak i po zakończeniu tego procesu.

Kolejność prac związanych z wdrożeniem kształcenia modułowego do praktyki szkolnej

Na wstępie szkoła powinna podjąć kroki związane z:

- analizą podstawy programowej kształcenia w zawodzie w związku z potrzebą przygotowania *Programu kształcenia dla zawodu* oraz *Szkolnego ramowego planu kształcenia*,
- analizą możliwości związanych z organizowaniem procesu kształcenia oraz potwierdzania kwalifikacji podczas egzaminu zawodowego pod kątem:
 - kadry,
 - wyposażenia dydaktycznego,
 - współpracy z pracodawcami, CKP itp.,
- uzyskaniem zgody rady pedagogicznej,
- uzyskaniem zgody organu prowadzącego.

Wdrażanie koncepcji kształcenia modułowego do praktyki edukacyjnej szkoły zawodowej wymaga podejmowania wielu działań:

- upowszechniania wiedzy o istocie kształcenia modułowego i włączenia w te działania pracodawców, organy prowadzące i nadzorujące szkoły zawodowe, urzędy pracy,
- opracowania i wdrożenia systemu doskonalenia nauczycieli w zakresie kształcenia modułowego,
- dokonania analizy kosztów wprowadzenia nowej formy kształcenia.

Szkoła przystępująca do wdrażania kształcenia modułowego powinna opracować procedurę wdrażania obejmującą m.in.: wybór programu kształcenia po konsultacji z urzędami pracy i pracodawcami, rozpoznanie i dostosowanie bazy techniczno-dydaktycznej do wymagań programowych i potrzeb realizacji kształcenia modułowego.

Wdrażanie programów o strukturze modułowej do praktyki szkolnej powinno odbywać się etapowo.

Propozycja procedury wdrożenia modelu kształcenia modułowego do szkoły zawodowej

Etap 1. Powołanie zespołu nauczycieli

Nauczyciele powinni opracować koncepcję przygotowania szkoły do modułowej formy kształcenia.

Etap 2. Wybór programu o strukturze modułowej

Wybór dotyczy przede wszystkim zawodu, którego program kształcenia ma być poddany modularyzacji. Można wykorzystać dostępne programy opracowane przez KOWEZiU, zmodernizować programy KOWEZiU lub opracować autorski program kształcenia o strukturze modułowej.

Etap 3. Ustalenie potrzeb szkoły i zaplanowanie działań związanych z wdrożeniem kształcenia modułowego

Potrzeby szkoły dotyczą różnego rodzaju zasobów:

- kadry nauczycielskiej o określonym, merytorycznym zakresie wiedzy i metodologicznym przygotowaniu do kształcenia modułowego,
- bazy techniczno-dydaktycznej,
- partnerów zewnętrznych (centra kształcenia praktycznego, firmy patronackie, firmy współpracujące ze szkołą w zakresie praktyk szkolnych, zatrudniania absolwentów i doradztwa zawodowego).

Etap 4. Podjęcie decyzji o miejscach realizacji zajęć dydaktycznych opartych na ćwiczeniach praktycznych

Decyzja dotyczy zajęć, które nie mogą być prowadzone w szkole ze względu na brak odpowiedniej bazy techniczno-dydaktycznej oraz brak specjalistów wśród kadry nauczycielskiej w zakresie kształcenia specjalizującego. Decyzja dotyczy również wyboru firm, których profil działalności odpowiada programowi praktyk zawodowych oraz zapotrzebowaniu lokalnego i regionalnego rynku pracy.

Etap 5. Doskonalenie kadry nauczycielskiej w zakresie kształcenia modułowego

Szkolenie kadry powinno przyjmować formę kursów, warsztatów metodycznych, konsultacji grupowych i konferencji. Formy te należy realizować w szkole w ramach wewnątrzszkolnego doskonalenia nauczycieli lub w centrach kształcenia praktycznego z udziałem konsultantów i doradców metodycznych specjalizujących się w kształceniu modułowym.

Etap 6. Doposażenie bazy dydaktycznej szkoły

Nauczyciele powinni ustalić założenia do projektu wyposażenia pracowni szkolnej, w której będą odbywać się zajęcia w systemie modułowym. Środki na pozyskanie nowego sprzętu można otrzymać m.in. z odpowiednich funduszy unijnych oraz dzięki współpracy z firmami patronackimi.

Etap 7. Opracowanie szkolnego planu nauczania

Dyrekcja szkoły wraz z zespołem nauczycielskim powinna opracować szczegółowy plan nauczania, obejmujący układ poszczególnych modułów i jednostek modułowych rozłożony na kolejne lata nauki, tygodniową liczbę zajęć w poszczególnych jednostkach modułowych oraz przydział nauczycieli do prowadzenia zajęć w poszczególnych modułach.

Etap 8. Opracowanie systemu sprawdzania i oceniania osiągnięć szkolnych ucznia

System ten powinien koniecznie uwzględniać **badania sumatywne** (testy pisemne i praktyczne) kończące poszczególne jednostki modułowe oraz **projekty** (w ramach metody projektów, ćwiczeń laboratoryjnych i produkcyjnych) obejmujące jedną lub kilka jednostek modułowych, a także prezentację wykonanych projektów. **Testy praktyczne** mogą zawierać zadania wysoko i nisko symulowane, a w przypadku niektórych modułów zawodowych i specjalizacyjnych zadania typu „próba pracy”.

Etap 9. Opracowanie (lub wybór) pakietu edukacyjnego wspomagającego proces kształcenia

Obudową dydaktyczną kształcenia modułowego są **pakiety edukacyjne** (zakupione lub autorskie) opracowane zgodnie z metodologią kształcenia modułowego. Wskazane jest, aby docelowo nauczyciele sami opracowywali takie pakiety lub przynajmniej poddawali je (wraz z programem kształcenia) procesowi ciągłej ewaluacji.

Etap 10. Realizacja zajęć z zastosowaniem skutecznych metod kształcenia

Zaleca się, aby zajęcia dydaktyczne odbywały się w grupach liczących maksymalnie **do 15 osób**, przy czym zajęcia laboratoryjne powinny być realizowane z podziałem na zespoły maksymalnie trzyosobowe, a ćwiczenia praktyczne indywidualnie na wydzielonych stanowiskach pracy. Kształcenie modułowe powinno być prowadzone metodami aktywizującymi uczniów, takimi jak: metoda projektów, metoda tekstu przewodniego, pokazy, ćwiczenia, a także gry dydaktyczne, metoda przypadków i dyskusja dydaktyczna.

Etap 11. Przeprowadzenie pomiaru dydaktycznego w procesie kształcenia i analizowanie wyników tego pomiaru

Prowadzenie pomiaru dydaktycznego wymaga od nauczyciela określenia jasnych kryteriów i norm oceniania oraz rzetelnego przygotowania narzędzi pomiaru dydaktycznego.

W procesie kształcenia obejmującego jednostkę modułową nauczyciel powinien przeprowadzać zarówno badania **sumatywne**, jak i **badania kształtujące i diagnostyczne**. Dopiero taki pełny zestaw badań pozwoli nauczycielowi i uczniowi na obiektywną i właściwą ocenę poziomu wiedzy i umiejętności zawodowych ucznia oraz monitorowanie i ewaluację procesu osiągnięcia danej kwalifikacji zawodowej. Ostatecznym weryfikatorem stopnia ukształtowania umiejętności zawodowych uczniów powinien być zewnętrzny egzamin potwierdzający kwalifikacje zawodowe/w zawodzie.

Kształcenie modułowe a rynek pracy

Uczenie się poprzez wykonywanie zadań zawodowych, tak jak zaprojektowano w kształceniu modułowym, zbliża proces kształcenia zawodowego do rzeczywistych procesów pracy. Jako zalety tego modelu kształcenia wskazano również: nastawienie na efekty wynikowe kształcenia, elastyczność modułowych programów kształcenia (możliwa jest szybka wymiana lub uzupełnianie jednostek modułowych w miarę zmieniających się technik i technologii), możliwość uzyskania kilku specjalizacji.

Jedną z propozycji zmian w systemie kształcenia zawodowego, które mogą poprawić poziom zatrudnienia absolwentów na rynku pracy, jest wdrożenie modelu kształcenia modułowego (zadaniowego). Jest to kształcenie, w którym uczący się w trakcie zajęć dydaktycznych wykonują zadania zawodowe pozwalające stosować w praktyce interdyscyplinarną wiedzę teoretyczną. Takie łączenie teorii i praktyki umożliwia osiągnięcie kompetencji (wiadomości, umiejętności i postawy) poszukiwanych na rynku pracy.

Jest to model, który pozwala szybko reagować na zmiany zachodzące w gospodarce w związku ze specyfiką konstruowania i modyfikowania modułowego programu kształcenia. Może być stosowany w systemie szkolnym (formalnym), kursowym oraz w systemie przemennym.

Cechy charakterystyczne systemu modułowego:

- kształcenie zawodowe odbywa się bez podziału na teoretyczne i praktyczne,
- program kształcenia zawodu ma strukturę modułową,
- kształcenie odbywa się zawsze w grupach liczących nie więcej niż 15 osób,
- występuje duża indywidualizacja procesu kształcenia,
- dominują aktywizujące metody kształcenia,
- zajęcia dydaktyczne odbywają się w blokach tematycznych,
- uczący się wykonują zadania zawodowe podczas zajęć dydaktycznych,
- wyposażenie techniczno-dydaktyczne musi umożliwiać kształtowanie umiejętności zawodowych,
- programy kształcenia mogą być aktualizowane (bez konieczności zmiany całego programu) zgodnie ze zmianami zachodzącymi w gospodarce,
- pracodawcy mogą wpływać na treści programu nauczania.

Kształcenie modułowe nazywane jest także **kształceniem zadaniowym**. Moduł jest zwarłą i samodzielną jednostką kształcenia, która posiada precyzyjnie sformułowane cele, okre-

śla minimum niezbędnych umiejętności, które muszą być ukształtowane, aby osiągnąć efekty kształcenia zawodowego zapisane w podstawie programowej kształcenia w zawodach. Każdy moduł składa się z kilku jednostek modułowych. Jednostka modułowa to kategoria dydaktyczna, której nazwa jest tożsama z nazwą zadania zawodowego. Taka konstrukcja programu modułowego pozwala orientować pracę dydaktyczną z uczącym się na zadania, które będzie wykonywał po zakończeniu procesu kształcenia.

Jednostka modułowa pracy stanowi odrębną całość, jest samoistnym wycinkiem pracy i nie podlega dalszemu podziałowi. Rezultatem kształcenia w jednostce modułowej programu jest **osiągnięcie kwalifikacji** (umiejętności, wiadomości, cechy psychofizyczne) potrzebnych do wykonania zadania zawodowego (jednostki modułowej pracy).

Aktywizujące metody kształcenia, które powinny dominować w kształceniu modułowym, pozwalają ukształtować umiejętności i postawy poszukiwane na rynku pracy. Wśród nich są nie tylko te ściśle zawodowe, ale także umiejętności wykonywania zadań w grupie, przetwarzania informacji, planowania i organizowania pracy, podejmowania decyzji związanych z wykonywanymi zadaniami oraz ponoszenia za nie odpowiedzialności.

Kształcenie modułowe pozwala kształtować umiejętności złożone, czyli rozwijać ogólne predyspozycje radzenia sobie w zmieniającej się rzeczywistości oraz kształtować umiejętność skutecznego i systematycznego uzupełniania wiedzy przez uczniów.

Koncepcja kształcenia modułowego wpisuje się w ogólnoeuropejskie tendencje dotyczące zmian w edukacji zawodowej. Modułowy system kształcenia zawodowego jest rekomendowany przez Międzynarodową Organizację Pracy, ponieważ **pozwalą szybko reagować na zmieniające się potrzeby rynku pracy** i uwzględniać rzeczywiste zapotrzebowanie pracodawców na umiejętności zawodowe pracowników. Ponadto zapewnia przejrzystość dochodzenia do pełnych kwalifikacji w zawodzie, pozwala na integrację szkolnych i pozaszkolnych form kształcenia, ułatwia porównywalność i uzupełnianie kwalifikacji zawodowych uzyskanych w różnych krajach UE, wspiera mobilność uczących się i przepustowość pomiędzy instytucjami kształcenia zawodowego.

Kształcenie modułowe nie wyklucza naprzemiennego, dualnego modelu kształcenia i odwrotnie. Połączenie tych dwóch rozwiązań organizacyjnych może prowadzić do wykorzystania potencjału, jaki mają szkoły i pracodawcy w zakresie kształcenia zawodowego. Organizacja zajęć dydaktycznych w taki sposób, aby uczniowie wykonywali podczas nich zadania zawodowe, które później znajdą odzwierciedlenie praktyczne na stanowiskach pracy u pracodawcy, może przyczynić się do znacznej poprawy efektywności kształcenia. Uczący się w taki sposób mają możliwość zintegrowania wiedzy i umiejętności ukształtowanych w szkole z praktyką zawodową.

Projektowanie i wdrażanie modułowego kształcenia zawodowego do praktyki edukacyjnej — z doświadczeń Łódzkiego Centrum Doskonalenia Nauczycieli i Kształcenia Praktycznego¹

Łódzkie Centrum Doskonalenia Nauczycieli i Kształcenia Praktycznego już od początku lat dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia zajmuje się projektowaniem i wdrażaniem modelu uczenia się w systemie modułowym. Powołane i przygotowane przez Centrum zespoły autorskie podjęły pierwsze w Polsce prace nad szkolnymi programami kształcenia w ramach międzynarodowego Programu UPET-IMPROVE, Programu kształcenia prozawodowego w liceum technicznym oraz Programu kształcenia w szkole policealnej. W pracach nad projektowaniem nowoczesnego modułowego kształcenia zawodowego wykorzystano elementy metodologii MES (opracowanej przez Międzynarodową Organizację Pracy), która m.in. umożliwia zwiększenie poziomu elastyczności i dostosowania kształcenia zawodowego do potrzeb rynku pracy. Opracowano ponad siedemdziesiąt dokumentacji programowych wraz z pakietami edukacyjnymi służącymi wspomaganie organizacji procesu kształcenia w zawodach szerokoprofilowych i stanowiskowych. Już wtedy w dokumentacjach programowych kształcenia w zawodach uwzględniono zapotrzebowanie rynku pracy na wybrane zawody, pożądane kwalifikacje i kompetencje w różnych regionach kraju, np.: technik architekt — wspomaganie procesu projektowania, technik budownictwa — projektowanie architektoniczne, technik ochrony środowiska — gospodarka odpadami i rekultywacja terenów, technik urządzeń sanitarnych — wyposażenie sanitarne budynków, technik elektronik — automatyka elektroniczna, technik informatyk — komputerowe systemy zarządzania produkcją, techniki multimedialne, systemy zarządzania bazami danych, komputerowe wspomaganie projektowania, technik mechanik, technolog programista obrabiarek CNC, organizator systemów jakości, naprawa pojazdów samochodowych, technik poligraf — komputerowe systemy składu i reprodukcji, technik technologii chemicznej — technologia kosmetyków, technik włókiennik — komputerowe wspomaganie projektowania produkcji odzieży².

Także w latach późniejszych Centrum czynnie uczestniczyło w wielu krajowych i regionalnych przedsięwzięciach na rzecz wdrażania do praktyki edukacyjnej kształcenia modułowego, w tym:

1. W ramach międzynarodowego Projektu Leonardo da Vinci pn. „Europejski Bank Rozwoju Modułowych Programów i Technologii Edukacyjnych” Centrum było w gronie instytucji — członków założycieli Polskiej Sieci Kształcenia Modułowego. Działalność PSKM ukierunkowana była na zwiększenie konkurencyjności polskich instytucji kształcących młodzież i osoby dorosłe (w tym osoby bezrobotne) poprzez rozwój modułowych ofert programowych, podniesienie jakości usług edukacyjnych oraz przygotowanie ich do integracji z Unią Europejską. Potwierdzeniem spełnienia przez Centrum kryteriów jakości w zakresie projektowania, realizacji oraz ewaluacji modułowych programów kształcenia i szkole-

¹ Wersja rozszerzona artykułu E. Gonciarz, *Z prac nad projektowaniem i wdrażaniem modułowego kształcenia zawodowego do praktyki szkolnej*, [w:] J. Moos (red.), *Działania Łódzkiego Centrum Doskonalenia Nauczycieli i Kształcenia Praktycznego wspierające wdrażanie innowacji pedagogicznych do praktyki edukacyjnej*, ŁCDNiKP, Łódź 2012.

² Moos J. (red.), *Kształcenie modułowe w szkolnych systemach edukacji zawodowej*, ŁCDNiKP, Łódź 2001.

nia zawodowego są przyznane placówce w latach 2003–2009 przez Polską Sieć Kształcenia Modułowego certyfikaty **Akredytacji instytucji szkoleniowej**.

2. W latach 2004–2005 Łódzkie Centrum Doskonalenia Nauczycieli i Kształcenia Praktycznego współrealizowało projekt „Rozwój Zasobów Ludzkich — Promocja Zatrudnienia” i „Rozwój Zasobów Ludzkich, województwo łódzkie — Projekt Pracuję — Zatrudniam”. W ramach podprojektu „Zatrudnialność” m.in. zaprojektowano i przeprowadzono w systemie modułowym 85 szkoleń w następujących obszarach zawodowych: ekonomiczno-administracyjnym, handlowym, informatycznym, budownictwa i technologii wykończeniowych, mechatronicznym, społeczno-socjalnym, tekstylnym, edukacyjnym, spożywczo-gastroonomicznym, samochodowo-transportowym, mechaniczno-elektrycznym dla przeszło 1500 osób pozostających bez pracy.
3. Łódzkie Centrum Doskonalenia Nauczycieli i Kształcenia Praktycznego w konsorcjum z Instytutem Technologii Eksploatacji w Radomiu, na zlecenie Krajowego Ośrodka Wsparcia Edukacji Zawodowej i Ustawicznej w Warszawie, w imieniu Ministerstwa Edukacji Narodowej, w latach 2005–2008 w ramach realizacji projektu EFS SPO RZL „Przygotowanie innowacyjnych programów kształcenia zawodowego” opracowało koncepcję metodologii tworzenia modułowych programów kształcenia zawodowego i pakietów edukacyjnych (poradników — materiałów wspomagających proces kształcenia dla nauczyciela i ucznia) oraz przygotowało autorów do tworzenia modułowych programów kształcenia zawodowego. Pod egidą Centrum zespoły autorskie opracowały:
 - 21 modułowych programów kształcenia zawodowego, m.in. dla następujących zawodów: technik poligraf, technik prac biurowych, technik archiwista, technik urządzeń sanitarnych, technik elektroniki medycznej, technik geodeta, technik teleinformatyk, technik dentystyczny, technik optyk, technik masażysta, rękodzielnik wyrobów włókienniczych, ratownik medyczny, piekarz, ortoptysta,
 - 447 pakietów edukacyjnych dla jednostek modułowych 22 zawodów, m.in.: technik informatyk, technik elektryk, technik księgarstwa, technik poligraf, drukarz, sprzedawca, operator maszyn i urządzeń odlewniczych, operator maszyn w przemyśle włókienniczym, monter instalacji i urządzeń sanitarnych, renowator zabytków architektury, elektromechanik, technik technologii chemicznej, technik handlowiec,
 które zostały zatwierdzone przez Ministerstwo Edukacji Narodowej.
4. W latach 2009–2012 pracownicy Centrum uczestniczyli w projekcie systemowym realizowanym przez Krajowy Ośrodek Wsparcia Edukacji Zawodowej i Ustawicznej na zlecenie Ministerstwa Edukacji Narodowej „System wsparcia szkół i placówek oświatowych wdrażających modułowe programy kształcenia zawodowego”, wypełniając zadania lidera, eksperta (7), koordynatora wojewódzkiego, autorów (2) poradnika dla nauczycieli branży ekonomiczno-finance-biurowej i recenzenta 21 poradników *Jak wdrażać modułowe programy kształcenia zawodowego* dla różnych grup odbiorców: dyrektorów szkół, konsultantów i doradców metodycznych, nauczycieli różnych branż zawodowych, np. dla branży turystyczno-hotelarsko-gastronomicznej, kosmetyczno-fryzjerskiej, poligraficznej, odzieżowej, rolniczej, mechanicznej, elektryczno-elektroniczno-teleinformatycznej. Jednym z elementów systemu wsparcia szkół było przeprowadzenie przez ekspertów cyklu 12 konsultacji dotyczących wdrożenia programów modułowych oraz 4 konsultacji dotyczących zmian programowych w kształceniu zawodowym dla nauczycieli w około 300 szkołach. W województwie łódzkim 19 ekspertów zorganizowało 343 konsultacje, w tym:
 - w pierwszym etapie — w roku szkolnym 2010/2011 przeprowadzono 244 konsultacje w 20 szkołach i placówkach przygotowujących się do wdrożenia kształcenia modułowego,

— w drugim etapie (kwiecień–czerwiec 2012) przeprowadzono 99 konsultacji w 27 szkołach i placówkach przygotowujących się do wdrożenia 1 września 2012 roku zmian programowych w kształceniu zawodowym.

5. Równolegle, od 1996 roku, wykorzystując dotychczasowe doświadczenia, stopniowo, ale systematycznie w Łódzkim Centrum Doskonalenia Nauczycieli i Kształcenia Praktycznego prowadzone są prace wdrażające model kształcenia modułowego do praktyki Ośrodka Kształcenia Zawodowego i Ustawicznego (wcześniej Ośrodka Osiągania i Doskonalenia Kwalifikacji Zawodowych, Ośrodka Kształtowania Umiejętności Praktycznych). Efektem tych prac jest organizacja i prowadzenie zajęć przygotowujących w ujęciu modułowym (zadaniowym) uczestników procesu kształcenia do osiągania kwalifikacji zawodowych, np. w roku szkolnym 2011/2012 około 1100 (tygodniowo) uczniów z łódzkich szkół zawodowych wykonało projekty dotyczące m.in. następującej tematyki: „Praktyczne zastosowanie mechatroniki wokół nas”, „Sterowanie automatycznym stanowiskiem do termicznego wycinania elementów”, „Projektowanie układów sterowania elektropneumatycznego”, „Projektowanie układów sterowania z wykorzystaniem sterowników LOGO i S7-200”, „Projektowanie, montowanie i uruchomienie układu automatycznego suwnicy przenoszącej elementy pomiędzy czterema punktami z wykorzystaniem sterownika S7-200”, „Projektowanie, montowanie i uruchomienie układu automatycznego windy poruszającej się pomiędzy trzema piętrami z drzwiami automatycznymi”, „Charakteryzowanie obrabiarek sterowanych numerycznie (CNC)”, „Wytwarzanie części maszyn i urządzeń z wykorzystaniem tokarki sterowanej numerycznie”, „Wytwarzanie części maszyn z wykorzystaniem frezarki sterowanej numerycznie. Projektowanie i wykonanie detalu na obrabiarce CNC ze sterowaniem: SINUMERIC 840D, FANUC oraz HEIDENHEIN”.
6. Od 1998 roku Centrum współpracuje z ogólnopolskim Stowarzyszeniem Dyrektorów i Nauczycieli Centrów Kształcenia Praktycznego. Współpraca ta ukierunkowana jest m.in. na modelowanie centrów kształcenia praktycznego — postrzeganych jako istotna innowacja systemowo-organizacyjna, która wspiera przemiany w edukacji zawodowej służące dostosowaniu jej do elastycznego i skutecznego reagowania na stale i dynamicznie zmieniające się potrzeby rynku pracy (zmiany zachodzące i przewidywane w przyszłości), sprzyjająca zrównoważonemu wzrostowi gospodarki opartemu na wiedzy i innowacjach, w tym poprzez:
 - wspomaganie prac centrów nad prowadzeniem kształcenia modułowego,
 - wspomaganie procesów wytwarzania i upowszechniania materiałów metodycznych — pakietów edukacyjnych dla potrzeb optymalizacji procesu kształcenia zawodowego w centrach,
 - wspomaganie prac nad organizacją doskonalenia kształcenia zawodowego nauczycieli w centrach kształcenia praktycznego,
 - doskonalenie organizacji pracy centrów, w tym udzielanie pomocy centrom kształcenia praktycznego w rozwiązywaniu różnych problemów edukacyjnych w wyniku dostarczania informacji o poszczególnych elementach struktur organizacyjnych wszystkich centrów, współdziałanie z jednostkami samorządowymi nad wykorzystaniem centrów dla właściwej organizacji kształcenia zawodowego.

Wspólnie ze Stowarzyszeniem Łódzkie Centrum Doskonalenia Nauczycieli i Kształcenia Praktycznego zorganizowało wiele przedsięwzięć, poświęconych m.in. projektowaniu i wdrażaniu modułowego kształcenia zawodowego do praktyki edukacyjnej — spotkań seminaryjnych (ok. 20), ogólnopolskich konferencji (ponad 15), sesji (ok. 5) długodystansowych kursów (6), opracowano 15 projektów edukacyjnych, wydano około 50 publikacji

(materiałów wspomagających) oraz opracowano około 60 materiałów (opinii lub ekspertyz, m.in. na temat aktów prawnych dotyczących kształcenia zawodowego, w tym modułowego kształcenia zawodowego).

7. W roku szkolnym 2012/2013 z inicjatywy Łódzkiego Centrum Doskonalenia Nauczycieli i Kształcenia Praktycznego, w porozumieniu z Polską Siecią Kształcenia Modułowego (PSKM), grupa członków założycieli (szkoły i instytucje z województwa łódzkiego rozwijające od wielu lat kształcenie formalne i pozaformalne w systemie modułowym) utworzyła Łódzką Sieć Kształcenia Modułowego (ŁSKM). Powołana sieć stanowi dobrowolne porozumienie instytucji kształcenia zawodowego dla regionalnego rynku pracy na terenie województwa łódzkiego. Służy integracji środowisk i instytucji w regionie łódzkim stosujących w praktyce koncepcję modułowych programów kształcenia i szkolenia zawodowego. Ma zapewniać pomoc metodyczną, doradczą, informacyjną, jak również świadczyć usługi w zakresie projektowania, wdrażania, oceny jakości nowych rozwiązań programowych i organizacyjnych kształcenia modułowego w systemie szkolnej i pozaszkolnej edukacji zawodowej, co przyczyni się do zwiększenia konkurencyjności placówek edukacyjnych poprzez rozwój modułowych ofert programowych oraz do podniesienia jakości usług edukacyjnych. Podstawowe zadania Łódzkiej Sieci Kształcenia Modułowego są zbieżne z zadaniami Polskiej Sieci Kształcenia Modułowego i obejmują m.in.:

- wymianę doświadczeń, programów i materiałów szkoleniowych, rozwiązań organizacyjnych, metodycznych oraz przykładów dobrych praktyk pomiędzy członkami ŁSKM,
- promocję informacji o instytucjach, programach, materiałach i ofertach szkoleniowych wykorzystujących podejście modułowe,
- wypracowanie systemu doskonalenia kadry dydaktycznej i organizatorów szkoleń modułowych w ramach ŁSKM w zakresie diagnozowania potrzeb szkoleniowych, projektowania programów, pakietów edukacyjnych, nowoczesnych metod nauczania i uczenia się oraz zapewnienia jakości usług edukacyjnych z wykorzystaniem technologii e-learningu,
- kreowanie wspólnych przedsięwzięć członków ŁSKM, w tym projektów pilotażowych, badawczych, innowacji, eksperymentów pedagogicznych, inicjatyw wydawniczych dotyczących kształcenia i szkolenia zawodowego, doskonalenia jakości usług edukacyjnych oraz edukacji przez całe życie,
- współpracę z pracodawcami, stowarzyszeniami zawodowymi, partnerami społecznymi w zakresie określania potrzeb edukacyjnych i tworzenia nowych ofert programowych w konwencji modułowej,
- ścisłą współpracę we wszystkich obszarach działania z PSKM³.

Prace Sieci koordynuje Rada Programowa składająca się z członków założycieli (Łódzkie Centrum Doskonalenia Nauczycieli i Kształcenia Praktycznego, Zespół Szkół Ponadgimnazjalnych nr 2 im. Stanisława Staszica w Tomaszowie Mazowieckim, Europejskie Studium Zawodowe ANAGRA Łódzka Szkoła Mody — Kosmetologii — Fryzjerstwa w Łodzi, Zespół Szkół Ponadgimnazjalnych nr 9 im. Komisji Edukacji Narodowej w Łodzi, Zespół Szkół Techniczno-Informatycznych im. Jana Nowaka-Jeziorańskiego w Łodzi) oraz Prezydium ŁSKM w osobach: Janusz Moos — przewodniczący, Mariola Przybylska — wiceprzewodnicząca, Joanna Miller-Stępień — sekretarz.

Wszystkie wyżej wymienione działania podejmowane przez Łódzkie Centrum Doskonalenia Nauczycieli i Kształcenia Praktycznego i wynikające z nich doświadczenie świadczą o znaczącym i niekwestionowanym dorobku Centrum w zakresie wdrażania do praktyki edu-

³ Karta Porozumienia, Łódzka Sieć Kształcenia Modułowego (18.03.2013), s. 1–4.

kacyjnej kształcenia zawodowego nowoczesnej, nastawionej na jakość, efektywność i atrakcyjność kształcenia zawodowego koncepcji kształcenia — systemu kształcenia modułowego oraz korespondują i są adekwatne do wdrażanej w Polsce od 1 września 2012 roku modernizacji kształcenia zawodowego, dotyczącej modyfikacji klasyfikacji zawodów szkolnictwa zawodowego w systemie kształcenia zawodowego i ustawicznego, wdrożenia nowej podstawy programowej kształcenia zawodowego oraz nowego modelu kształcenia zawodowego opartego na elastycznych ścieżkach uczenia się (kursy kwalifikacyjne), modernizacji systemu egzaminów zewnętrznych, służącej stworzeniu możliwości lepszej współpracy między szkołami zawodowymi a pracodawcami.

Słowniczek

Dydaktyczna mapa programu kształcenia — graficzny obraz korelacji między modułami i jednostkami modułowymi wyodrębnionymi w programie kształcenia w zawodzie.

Jednostka modułowa — część modułu kształcenia w zawodzie, obejmująca logiczny i możliwy do wykonania wycinek pracy, o wyraźnie określonym początku i zakończeniu, niepodlegający zwykle dalszym podziałom, którego rezultatem jest produkt, usługa lub istotna decyzja.

Kształcenie modułowe — rodzaj uniwersalnej koncepcji strukturalnej w zakresie doboru treści kształcenia, organizacji i realizacji procesu nauczania i uczenia się, ewaluacji osiągnięć edukacyjnych.

Moduł — wyodrębniony element programu kształcenia, odnoszący się do określonej grupy treści programowych realizowanych w procesie kształcenia zawodowego w formie jednostek modułowych.

Program kształcenia — zbiór usystematyzowanych, celowych układów umiejętności i treści nauczania, ujętych w podstawie programowej kształcenia w zawodzie wraz ze wskazówkami dotyczącymi realizacji procesu kształcenia i oceniania osiągnięć edukacyjnych ucznia.

Zadanie — osiągnięcie przez uczącego się kwalifikacji zawodowych zapewniających określony standard wykonania pracy zawodowej.

Bibliografia

Moos J., *Modelowanie kształcenia modułowego*, Łódź 2000.

Moos J. (red.), *Kształcenie modułowe w szkolnych systemach edukacji zawodowej*, Łódzkie Centrum Doskonalenia Nauczycieli i Kształcenia Praktycznego, Łódź 2001.

Moos J. (red.), *Innowacje pedagogiczne w praktyce edukacyjnej*, Wydawnictwo Łódzkiego Centrum Doskonalenia Nauczycieli, **Łódź 2006**.

Morycińska A., Sochańska-Kawiecka M., Makowska-Belta E., *Kształcenie modułowe jako nowa forma nauki zawodu — badanie jakościowe w subregionach. Raport końcowy*, Warszawa 2012.

Wójcik M. (red.), *Kształcenie zawodowe i modułowe oraz partnerstwo lokalne na rzecz rynku pracy i przedsiębiorczości. Tom I. Poradnik*, Program Phare „Rozwój Zasobów Ludzkich”, http://www.medyk.olsztyn.pl/materialy_promocyjne/tom_1.pdf.

Andrzejczak D. (red.), *Poradnik metodyczny dla nauczycieli kształcenia zawodowego, zeszyt 3: Jak organizować zajęcia edukacyjne w kształceniu modułowym*, Łódzkie Centrum Doskonalenia Nauczycieli i Kształcenia Praktycznego, Łódź 2014.

Coaching w kształceniu zawodowym

Na wstępie należy wyjaśnić, że słowo coaching (z ang. korepetycje, trenowanie) nie ma trafnego polskiego odpowiednika.

Według Wikipedii: „Coaching to interaktywny proces szkolenia, poprzez metody związane z psychologią, realizowaniem procesu decyzyjnego do zaspokajania potrzeb, który pomaga pojedynczym osobom lub organizacjom w przyspieszeniu tempa rozwoju i polepszeniu efektów działania, osiągnięcia celu. Coachowie pracują z klientami w zakresach związanych z biznesem, rozwojem kariery, finansami, zdrowiem i relacjami interpersonalnymi” (<http://pl.wikipedia.org/wiki/Coaching>).

Według ICF International Coach Federation: „Coaching jest interaktywnym procesem, który pomaga pojedynczym osobom lub organizacjom w przyspieszeniu tempa rozwoju i polepszeniu efektów działania” (<http://icf.org.pl/index.htm>).

Coach, pracując z jednostką/klientem, ustala określone cele, ukierunkowuje swoje działania na te cele, w sposób świadomy zainteresowany podejmuje decyzje, korzystając ze swoich doświadczeń i umiejętności. Coaching jest rozumiany jako myślenie o tym, gdzie jest się teraz, gdzie chciałoby się być i realizacja tego.

Głównym celem coachingu jest wspieranie jednostki/klienta w słuszności dokonywanych zmian i utwierdzenie go w planowanym kierunku zamierzonego rozwoju, w oparciu o jego analizy i wnioski oraz zasoby, które posiada.

Ten proces wspierania rozwoju jednostki/klienta z powodzeniem może być stosowany w edukacji, w obszarze relacji uczeń–nauczyciel.

Warto wiedzieć, że coaching to jedno z narzędzi wspierania zmiany związanej z rozwojem klienta/ucznia, to także określony kierunek komunikacji/rozmowy z klientem/ucznem. Coaching skupia się na wyszukiwaniu rozwiązań dla określonego problemu/zagadnienia, a nie jego przyczyn. Zmiana ukierunkowana jest na dzień jutrzejszy, a nie na przeszłość, a problem zamieniany jest w cel do realizacji.

Jego istotą jest pomoc w pełniejszym wykorzystaniu posiadanej przez jednostkę/zespół/ucznia wiedzy i umiejętności w środowisku pracy/szkole. Wpływa zatem na poprawę funkcjonowania jednostki/zespołu/ucznia, zwiększając motywację do działania, jak również efektywność podjętych działań. Nie polega on na uczeniu czegoś nowego — powinien koncentrować się na wykorzystaniu posiadanej wiedzy i umiejętności. Natomiast, jeśli zajdzie taka potrzeba, coaching może zmieniać nastawienia i podejścia w celu udoskonalenia działania.

Zapamiętaj:

Język w coachingu to język możliwości i pozytywów.

Postępując zgodnie z zasadami, mówimy, co chcemy osiągnąć, a nie czego nie chcemy mieć.

Cele formułujemy, mówiąc o tym, co moglibyśmy robić lepiej, a nie co robimy źle, np.:

- zamiast mówić: „Frekwencja rodziców na spotkaniach z nauczycielami — wywiadówkach, jest bardzo niska, bardzo mało rodziców uczestniczy w tych spotkaniach, rodzice w ogóle nie są zainteresowani wynikami pracy swoich dzieci”, **mówimy**: „Zależy mi na tym, aby większa liczba rodziców uczniów uczestniczyła w spotkaniach z nauczycielami — wywiadówkach, aby rodzice byli bardziej zainteresowani wynikami pracy swoich dzieci”;
- zamiast mówić do ucznia: „W ogóle nie interesuje Cię, co się dzieje na lekcji, znowu nie uważasz, ciało jest w szkole, ale myślami fruwasz w obłokach”, **mówimy**: „Zależy mi bardzo na tym, abyś słuchał mnie uważnie, ponieważ są to trudne zagadnienia i chciałabym, abyś to zrozumiał”.

Celem coachingu jest wsparcie jednostki/ucznia w przejściu z miejsca, w którym się znajduje, do miejsca, w którym chce bądź po prostu musi się znaleźć, oraz w przełożeniu posiadanej wiedzy na praktyczne rozwiązania przybliżające do realizacji postawionego celu/zadania.

Rezultatami coachingu są dokładnie wyznaczone cele, optymalizacja działań, trafniejsze decyzje, jak najlepiej wykorzystany potencjał/możliwości oraz zasoby wewnętrzne i zewnętrzne jednostki/uczniów.

Coach stwarza okazję do wyrażania przekonań i postaw. Wspiera w poszukiwaniu rozwiązania problemu **bez narzucania własnych pomysłów**. Coach uświadamia, iż odpowiedzialność za cele oraz ich realizację spoczywa na jednostce/zespole. Coach poprzez swoje działania ma przyczynić się do zwiększania samoświadomości, niezależności i poczucia własnej wartości wychowanków szkoły, jest moderatorem i facylitatorem spotkania, a jego rolą jest pomoc w działaniu.

Reasumując: coaching w szkole ma za zadanie uwalnianie umiejętności i zdolności uczących się, doprowadzanie do stanu pragnienia uczenia się, rozwijanie osobowości i możliwości pokonywania problemów i trudności.

Zadaniem nauczyciela/coacha nie jest dawanie uczącym się gotowych rozwiązań do zastosowania, podsuwanie pomysłów czy doradzanie, tylko pomoc w samodzielnym poszukiwaniu i znalezieniu rozwiązań podejmowanego problemu. Zamiast instrukcji działania nauczyciel zadaje otwarte pytania: „Co jest w tym dla Ciebie ważnego?”, „Skąd będziesz wiedział...?”, „Co możesz zrobić, aby osiągnąć ten cel?”, „Jak sobie z tym poradziłeś?”.

Podstawową kompetencją coacha jest uważne słuchanie, umiejętne zadawanie celnych pytań, stosowanie parafrazy i podsumowań wypowiedzi rozmówców.

Jakie są korzyści z coachingu w szkole?

Dla ucznia	Dla rodziców
— Wzmocnienie poczucia własnej wartości — Rozwinięcie umiejętności uczenia się i samokontroli, samodzielności — Wzrost motywacji do nauki — Postępy w nauce — Mniej stresu — Wzrost zaufania do nauczyciela i pogłębienie kontaktu	— Wzrost zaangażowania i motywacji uczniów i nauczycieli — Rozwój w zakresie umiejętności wspierania dziecka w nauce — Lepsze rozumienie sytuacji dziecka w szkole — Wzrost współpracy i pogłębienie relacji z nauczycielem — Pogłębienie świadomości procesów i kryzysów rozwojowych, którym podlega dziecko w danym czasie
Dla szkoły	Dla nauczyciela
— Wzrost zaangażowania i motywacji uczniów i nauczycieli — Wzmocnienie kultury wzajemnego uczenia się i współpracy — Szybkie korygowanie błędów — Ustawiczne doskonalenie kompetencji i podnoszenie jakości wykonywanej pracy — Poprawa wizerunku — szkoła jako instytucja ucząca się	— Systematyczna, uporządkowana refleksja nad jakością własnej pracy — Wzrost własnych kompetencji praktycznych — Pogłębienie relacji z otoczeniem, poczucie wsparcia — Lepszy kontakt z uczniami i większa satysfakcja z ich wyników — Profilaktyka wypalenia zawodowego

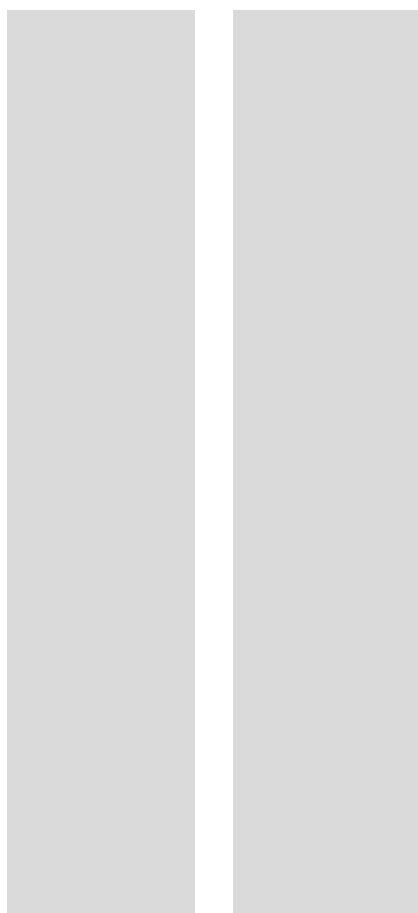
Źródło: J. Parzeniowska, W. Serkowska, *Coaching — nowe słowo na określenie znanej metody*, „Edukacja i Dialog” 2005, nr 8, s. 62–66.

A więc zamiast mówienia uczniom, co mają robić, krytykowania ich, wydawania sądów o ich działaniach, należy uważnie ich słuchać, zachęcać ich do samodzielnego myślenia, wspierać w miarę potrzeb.

Bibliografia

1. Parzeniowska J., Serkowska W., *Coaching — nowe słowo na określenie znanej metody*, „Edukacja i Dialog” 2005, nr 8, s. 62–66.
2. Wrona M., *Coaching w edukacji zawodowej*, [w:] Moos J., Kułak M. (red.), *Przemiany w edukacji zawodowej w kontekście relacji szkoła–rynek pracy*, ŁCDNiKP, Łódź 2015.
3. Moos J., Kułak M. (red.), *Przemiany w edukacji zawodowej w kontekście relacji szkoła–rynek pracy*, ŁCDNiKP, Łódź 2015.
4. Gancarz-Wójcicka B. (red.), *Moc coachingu*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2011.
5. Rogers J., *Coaching: podstawy umiejętności*, Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne, Sopot 2009.
6. Grzymkowska A., *Coaching w pracy z zespołami nauczycielskimi*, ORE, Warszawa 2013.

BUDOWNICTWO ENERGOOSZCZĘDNE



Efektywność energetyczna — podstawy prawne. Zasady budownictwa energooszczędnego. Budynki pasywne, inteligentne, tradycyjne

Marek Pawłowski

Efektywność energetyczna

Według Dyrektywy 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej efektywność energetyczna to stosunek uzyskanych wyników, usług, towarów lub energii do wkładu energii. Poprawa efektywności energetycznej to zwiększenie efektywności końcowego wykorzystania energii dzięki zmianom technologicznym, gospodarczym lub zmianom zachowań (definicja wg ww. dyrektywy).

O poprawie efektywności energetycznej mówi się w przypadkach bezpośredniego zmniejszenia zużycia energii przy utrzymaniu tej samej wielkości efektu użytkowego lub podczas zwiększenia efektu użytkowego przy tej samej ilości zużytej energii.

Polityka energetyczna Polski do roku 2030 jest dokumentem przyjętym przez Radę Ministrów 10 listopada 2009 r. i uaktualnionym 29 września 2010 r. Obejmuje następujące priorytety:

- Priorytet I — Poprawa efektywności energetycznej,
- Priorytet II — Wzrost bezpieczeństwa dostaw paliw i energii,
- Priorytet III — Energetyka jądrowa,
- Priorytet IV — Rozwój wykorzystania odnawialnych źródeł energii, w tym biopaliw,
- Priorytet V — Rozwój konkurencyjnych rynków paliw i energii,
- Priorytet VI — Ograniczenie oddziaływania energetyki na środowisko.

Ustawa o efektywności energetycznej z dnia 15 kwietnia 2011 r. określa:

- krajowy cel w zakresie oszczędnego gospodarowania energią: 9% do 2016 r.,
- zadania jednostek sektora publicznego w zakresie efektywności energetycznej,
- zasady uzyskania i umorzenia świadectwa efektywności energetycznej,
- zasady sporządzania audytu efektywności energetycznej oraz uzyskania uprawnień audytora efektywności energetycznej.

Podmioty, które objęte są regulacją, to:

- odbiorcy końcowi (zgodnie z Dyrektywą 2006/32/WE) — osoby fizyczne lub prawne zakupujące energię na własny użytek,

- przedsiębiorstwa będące dostawcami środków poprawy efektywności energetycznej,
- przedsiębiorstwa zajmujące się wytwarzaniem oraz przesyłem lub dystrybucją energii elektrycznej, ciepła lub gazu ziemnego.

Zasady budownictwa energooszczędnego

Sektor budownictwa jest trzecim co do wielkości użytkownikiem energii pierwotnej, po przemyśle i transporcie. Zużycie tej energii przez budynki waha się w granicach 20–40% energii całkowitej. Szacuje się, że poprawa efektywności energetycznej istniejących budynków o 20% może przynieść Unii Europejskiej około 60 mld euro oszczędności rocznie.

Z dniem 1 stycznia 2014 r. weszły w życie zmiany w Rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Jest to konsekwencja wdrażania w Polsce Dyrektywy 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków. Zgodnie z artykułem 9 tej dyrektywy, docelowo od 1 stycznia 2021 r. wszystkie nowo projektowane budynki powinny być budynkami o niemal zerowym zużyciu energii.

Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie określa m.in.:

- wymagania dotyczące wskaźników *EP* (zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną),
- wymagania dotyczące współczynników *U* (przenikania ciepła).

Wskaźnik *EP* określa roczne obliczeniowe zapotrzebowanie budynku na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji, chłodzenia, przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz oświetlenia. Wyznacza się go według poniższego wzoru:

$$EP_{\max} = EP_{H+W} + \Delta EP_C + \Delta EP_L \text{ [kWh/(m}^2 \cdot \text{rok)]},$$

gdzie:

EP_{H+W} — częściowa maksymalna wartość wskaźnika *EP* na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej,

ΔEP_C — częściowa maksymalna wartość wskaźnika *EP* na potrzeby chłodzenia,

ΔEP_L — częściowa maksymalna wartość wskaźnika *EP* na potrzeby oświetlenia.

W tabeli 1 przedstawiono częściowe maksymalne wartości wskaźnika EP_{H+W} na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej w zależności od rodzaju budynku.

Tabela 1. Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP_{H+W} na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej

Lp.	Rodzaj budynku	Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP_{H+W} na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej [kWh/(m ² · rok)]		
		Od 1 stycznia 2014 r.	Od 1 stycznia 2017 r.	Od 1 stycznia 2021 r.*
1	Budynek mieszkalny			
	a) jednorodzinny	120	95	70
	b) wielorodzinny	105	85	65
2	Budynek zamieszkania zbiorowego	95	85	75
3	Budynek użyteczności publicznej			
	a) opieki zdrowotnej	390	290	190
	b) pozostałe	65	60	45
4	Budynek gospodarczy, magazynowy i produkcyjny	110	90	70

* Od 1 stycznia 2019 r. w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością.

Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP_C na potrzeby chłodzenia wskazane zostały w tabeli 2.

Tabela 2. Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP_C na potrzeby chłodzenia

Lp.	Rodzaj budynku	Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP_C na potrzeby chłodzenia [kWh/(m ² · rok)]*		
		Od 1 stycznia 2014 r.	Od 1 stycznia 2017 r.	Od 1 stycznia 2021 r.**
1	Budynek mieszkalny			
	a) jednorodzinny	$\Delta EP_C = 10 \cdot A_{fC}/A_f$	$\Delta EP_C = 10 \cdot A_{fC}/A_f$	$\Delta EP_C = 5 \cdot A_{fC}/A_f$
	b) wielorodzinny			
2	Budynek zamieszkania zbiorowego			
3	Budynek użyteczności publicznej			
	a) opieki zdrowotnej	$\Delta EP_C = 25 \cdot A_{fC}/A_f$	$\Delta EP_C = 25 \cdot A_{fC}/A_f$	$\Delta EP_C = 25 \cdot A_{fC}/A_f$
	b) pozostałe			
4	Budynek gospodarczy, magazynowy i produkcyjny			

A_f — powierzchnia użytkowa ogrzewana budynku [m²],

A_{fC} — powierzchnia użytkowa chłodzona budynku [m²],

* Jeżeli budynek posiada instalację chłodzenia, w przeciwnym wypadku $\Delta EP_C = 0$ kWh/(m² · rok).

** Od 1 stycznia 2019 r. w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością.

Rodzaj budynku determinuje także różne częstkowe maksymalne wartości EP_L na potrzeby oświetlenia (tab. 3).

Tabela 3. Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP_L na potrzeby oświetlenia

Lp.	Rodzaj budynku	Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP_L na potrzeby oświetlenia [kWh/(m ² · rok)] w zależności od czasu działania oświetlenia w ciągu roku t [h/rok]*		
		Od 1 stycznia 2014 r.	Od 1 stycznia 2017 r.	Od 1 stycznia 2021 r.**
1	Budynek mieszkalny a) jednorodzinny b) wielorodzinny	$\Delta EP_L = 0$	$\Delta EP_L = 0$	$\Delta EP_L = 0$
2	Budynek zamieszkania zbiorowego			
3	Budynek użyteczności publicznej a) opieki zdrowotnej b) pozostałe	dla $t < 2500$ $\Delta EP_L = 50$ dla $t \geq 2500$	dla $t < 2500$ $\Delta EP_L = 50$ dla $t \geq 2500$	dla $t < 2500$ $\Delta EP_L = 25$ dla $t \geq 2500$
4	Budynek gospodarczy, magazynowy i produkcyjny	$\Delta EP_L = 100$	$\Delta EP_L = 100$	$\Delta EP_L = 50$

* Jeżeli w budynku należy uwzględnić oświetlenie wbudowane, w przeciwnym przypadku $\Delta EP_L = 0$ kWh/(m² · rok).

** Od 1 stycznia 2019 r. w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością.

W przypadku budynków o różnych funkcjach użytkowych maksymalne wartości wskaźnika EP określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie budynku na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji, chłodzenia, przygotowania ciepłej wody użytkowej i oświetlenia wbudowanego oblicza się zgodnie z poniższym wzorem:

$$EP = \Sigma_i (EP_i \cdot A_{f,i}) / \Sigma_i A_{f,i} \text{ [kWh/(m}^2 \cdot \text{rok)]},$$

gdzie:

EP_i — maksymalna wartość wskaźnika EP dla części i -tej budynku o jednolitej funkcji użytkowej o powierzchni $A_{f,i}$,

$A_{f,i}$ — powierzchnia użytkowa ogrzewana (chłodzona) i -tej części budynku o jednolitej funkcji użytkowej.

Przy ocenie szczelności i izolacyjności energetycznej budynku i poszczególnych jego elementów wykorzystywany jest współczynnik przenikania ciepła U_C . Wylicza się go z następującego wzoru:

$$U_C = q / S \cdot T \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{K)]},$$

gdzie:

q — ilość przepływającego ciepła w jednostce czasu (strumień ciepła),

S — powierzchnia przegrody,

T — różnica temperatur po obu stronach przegrody.

Zgodnie z § 134 ust. 2 Rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, do obliczania szczytowej mocy cieplnej należy przyjmować temperatury obliczeniowe ti ogrzewanych pomieszczeń zgodnie z tabelą 4.

Tabela 4. Temperatury obliczeniowe ogrzewanych pomieszczeń

Temperatury obliczeniowe*	Przeznaczenie lub sposób wykorzystywania pomieszczeń	Przykłady pomieszczeń
+5°C	— nieprzeznaczone na pobyt ludzi, — przemysłowe — podczas działania ogrzewania dyżurnego (jeżeli pozwalają na to względy technologiczne)	magazyny bez stałej obsługi, garaże indywidualne, hale postojowe (bez remontów), akumulatornie, maszynownie i szyby dźwigów osobowych
+8°C	— w których nie występują zyski ciepła, a jednorazowy pobyt osób znajdujących się w ruchu i w okryciach zewnętrznych nie przekracza 1 godz., — w których występują zyski ciepła od urządzeń technologicznych, oświetlenia itp., przekraczające 25 W na 1 m ³ kubatury pomieszczenia	hale sprężarek, pompownie, kuźnie, hartownie, wydziały obróbki cieplnej
+12°C	— w których nie występują zyski ciepła, przeznaczone do stałego pobytu ludzi znajdujących się w okryciach zewnętrznych lub wykonujących pracę fizyczną o wydatku energetycznym powyżej 300 W, — w których występują zyski ciepła od urządzeń technologicznych, oświetlenia itp., wynoszące od 10 do 25 W na 1 m ³ kubatury pomieszczenia	magazyny i składy wymagające stałej obsługi, halle wejściowe, poczekalnie przy salach widowiskowych bez szatni hale pracy fizycznej o wydatku energetycznym powyżej 300 W, hale formiarni, maszynownie chłodni, ładownie akumulatorów, hale targowe, sklepy rybne i mięsne
+16°C	— w których nie występują zyski ciepła, przeznaczone na pobyt ludzi: • w okryciach zewnętrznych w pozycji siedzącej i stojącej, • bez okryć zewnętrznych, znajdujących się w ruchu lub wykonujących pracę fizyczną o wydatku energetycznym do 300 W, — w których występują zyski ciepła od urządzeń technologicznych, oświetlenia itp., nieprzekraczające 10 W na 1 m ³ kubatury pomieszczenia	sale widowiskowe bez szatni, ustępy publiczne, szatnie okryć zewnętrznych, hale produkcyjne, sale gimnastyczne, kuchnie indywidualne wyposażone w paleniska węglowe
+20°C	— przeznaczone na stały pobyt ludzi bez okryć zewnętrznych, niewykonujących w sposób ciągły pracy fizycznej	pokoje mieszkalne, przedpokoje, kuchnie indywidualne wyposażone w paleniska gazowe lub elektryczne, pokoje biurowe, sale posiedzeń
+24°C	— przeznaczone do rozbierania, — przeznaczone na pobyt ludzi bez odzieży	łazienki, rozbieralnie-szatnie, umywalnie, natryskownie, hale pływalni, gabinety lekarskie z rozbieraniem pacjentów, sale niemowląt i sale dziecięce w żłobkach, sale operacyjne

* Dopuszcza się przyjmowanie innych temperatur obliczeniowych dla ogrzewanych pomieszczeń, niż jest to określone w tabeli, jeżeli wynika to z wymagań technologicznych.

Wyżej wymienione rozporządzenie zmienia wartości współczynnika przenikania ciepła U_C ścian, dachów, stropów i stropodachów dla wszystkich rodzajów budynków. Uwzględniają one poprawki ze względu na pustki powietrzne w warstwie izolacji, łączniki mechaniczne przechodzące przez warstwę izolacyjną oraz opady na dach o odwróconym układzie warstw, obliczone zgodnie z Polskimi Normami dotyczącymi obliczania oporu cieplnego i współczynnika przenikania ciepła oraz przenoszenia ciepła przez grunt. Wartości te nie mogą być większe niż wartości $U_{C(max)}$ określone w tabeli 5.

Tabela 5. Współczynnik przenikania ciepła $U_{C(max)}$ według Rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie

Lp.	Rodzaj przegrody i temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $U_{C(max)}$ [W/(m ² · K)]		
		Od 1 stycznia 2014 r.	Od 1 stycznia 2017 r.	Od 1 stycznia 2021 r.**
1	Ściany zewnętrzne: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$ c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,25 0,45 0,90	0,23 0,45 0,90	0,20 0,45 0,90
2	Ściany wewnętrzne: a) przy $\Delta t_i \geq 8^\circ\text{C}$ oraz oddzielające pomieszczenia ogrzewane od klatek schodowych i korytarzy b) przy $\Delta t_i < 8^\circ\text{C}$ c) oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	1,00 Bez wymagań 0,30	1,00 Bez wymagań 0,30	1,00 Bez wymagań 0,30
3	Ściany przyległe do szczelin dylatacyjnych o szerokości: a) do 5 cm, trwale zamkniętych i wypełnionych izolacją cieplną na głębokości co najmniej 20 cm b) powyżej 5 cm, niezależnie od przyjętego sposobu zamknięcia i zaizolowania szczeliny	1,00 0,70	1,00 0,70	1,00 0,70
4	Ściany nieogrzewanych kondygnacji podziemnych	Bez wymagań	Bez wymagań	Bez wymagań
5	Dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$ c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,20 0,30 0,70	0,18 0,30 0,70	0,15 0,30 0,70
6	Podłogi na gruncie: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$ c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,30 1,20 1,50	0,30 1,20 1,50	0,30 1,20 1,50
7	Stropy nad pomieszczeniami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podpodłogowymi a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$ c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,25 0,30 1,00	0,25 0,30 1,00	0,25 0,30 1,00

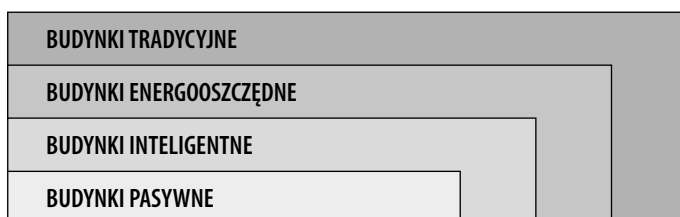
Lp.	Rodzaj przegrody i temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $U_{(max)}$ [W/(m ² · K)]		
		Od 1 stycznia 2014 r.	Od 1 stycznia 2017 r.	Od 1 stycznia 2021 r.**
8	Stropy nad ogrzewanymi pomieszczeniami podziemnymi i stropy międzykondygnacyjne: a) przy $\Delta t_i \geq 8^\circ\text{C}$ b) przy $\Delta t_i < 8^\circ\text{C}$ c) oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	1,00 Bez wymagań 0,25	1,00 Bez wymagań 0,25	1,00 Bez wymagań 0,25

Pomieszczenie ogrzewane — pomieszczenie, w którym na skutek działania systemu ogrzewania lub w wyniku bilansu strat i zysków ciepła utrzymywana jest temperatura, której wartość została określona w § 134 ust. 2 rozporządzenia.

t_i — temperatura pomieszczenia ogrzewanego zgodnie z § 134 ust. 2 rozporządzenia.

* Od 1 stycznia 2019 r. w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością.

Budynki pasywne, inteligentne, tradycyjne



Rysunek 1. Typy budynków

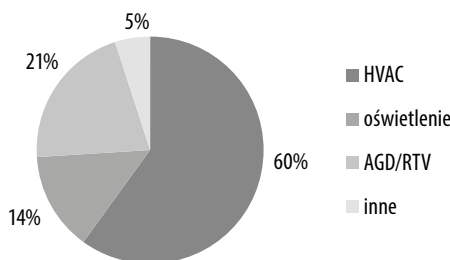
Istnieje wiele klasyfikacji budynków energooszczędnych. Oto jedna z nich:

- **budynek energooszczędny 7-litrowy** — budynek charakteryzujący się zapotrzebowaniem na energię cieplną na poziomie ok. 70 kWh/m², czyli ok. 7 litrów oleju opałowego na 1 m² ogrzewanej powierzchni na rok,
- **budynek energooszczędny 5-litrowy** — budynek zużywający ok. 5 litrów oleju opałowego na 1 m² ogrzewanej powierzchni na rok (zapotrzebowanie na energię cieplną na poziomie ok. 50 kWh/m²),
- **budynek niskoenergetyczny 3-litrowy** — budynek o zużyciu ok. 3 litrów oleju opałowego, co odpowiada zapotrzebowaniu na energię cieplną na poziomie 30 kWh na rok,
- **budynek pasywny 1,5-litrowy** — czyli taki, który zużywa 1,5 litra oleju opałowego na 1 m² powierzchni ogrzewanej, definiuje go zapotrzebowanie na energię cieplną rzędu 15 kWh w skali roku.

Maksymalna moc grzewcza w budynkach:

- tradycyjnych — 100 W/m²,
- energooszczędnych — 25–35 W/m²,
- pasywnych — 10 W/m².

Koszty eksploatacji budynku obrazuje poniższy wykres.



Rysunek 2. Eksploatacja budynków — procentowy udział w kosztach

Integracja systemów automatyki budynkowej — System Zarządzania Budynkiem

System Zarządzania Budynkiem (ang. *Building Management System*) to system automatyki integrujący większość zasobów znajdujących się w obrębie budynku przy uwzględnieniu kryteriów:

- komfortu,
- bezpieczeństwa,
- poprawy efektywności energetycznej obiektu.

Oszczędność energii $\neq$ niższy komfort.

Norma PN-EN 15232:2012

Norma ta jest normą wykonawczą do Dyrektywy EPBD 2010 (*Energy Performance of Buildings Directive*). Ustanawia zasady konstrukcji systemów automatyki inteligentnego budynku, które wpływają na jego efektywność energetyczną. Określa instalacje technologiczne oraz listę funkcji sterujących, automatyzacji budynku (*Building Automation and Control Systems — BACS*) i technicznego zarządzania budynkami (*Technical Building Management — TBM*), które mają wpływ na właściwości energetyczne (poprawę efektywności energetycznej) budynków. Sklasyfikowano w niej także sposoby i metody sterowania tymi instalacjami oraz zdefiniowano cztery klasy wpływu funkcji systemów sterowania i automatyki oraz technicznego zarządzania budynków na efektywność energetyczną budynków. Określona została również metoda obliczenia współczynników oszczędzania energii.

Norma EN 15232:2012 jest narzędziem pozwalającym jednoznacznie ocenić wpływ systemu automatyki i zarządzania budynku na jego efektywność energetyczną i przyszłe koszty eksploatacji.

Możliwości oszczędności energii elektrycznej. Działania energooszczędne — instalacja oświetleniowa

Tabela 6. Przykładowe działania prooszczędnościowe

Działanie prooszczędnościowe	Nakłady inwestycyjne	Uzyskane oszczędności [PLN/miesiąc]
Wykorzystanie energooszczędnych źródeł światła	Niskie	9,35
Użytkowanie energooszczędnych urządzeń AGD (pralka, chłodziarko-zamrażarka)	Wysokie	4,10
Wyłączanie odbiorników ze stanu czuwania	Brak	9,60
Inne sposoby (np. czajnik elektryczny)	Brak	4,96
Razem:		28,01

Zakładając, że w mieszkaniu zainstalowanych jest 12 tradycyjnych żarówek o mocy $P_{zt} = 60 \text{ W}$ każda, całkowita moc oświetlenia wynosi 720 W. Dla analizy przyjęto, że połowa źródeł zostanie zastąpiona żarówkami halogenowymi o mocy $P_{zh} = 42 \text{ W}$, a połowa świetłówkami kompaktowymi o mocy $P_{sk} = 13 \text{ W}$.

Koszty:

- żarówka tradycyjna 60 W (2 PLN),
- odpowiednik — żarówka halogenowa 42 W (ok. 5–10 PLN),
- odpowiednik — świetlówka kompaktowa 13 W (ok. 12–20 PLN).

Żywotność obu źródeł, zarówno żarówki halogenowej, jak i świetłówki kompaktowej, kształtuje się na poziomie 2000 godzin, co jest czasem dwukrotnie dłuższym niż trwałość żarówki tradycyjnej.

Do obliczeń przyjęto współczynnik załączania oświetlenia h_m , stanowiący liczbę godzin w miesiącu, w czasie których włączone jest oświetlenie:

$$h_m = (L_h/12) \cdot k_p \cdot k_{d/n}$$

gdzie:

L_h — ilość przepływającego ciepła w jednostce czasu (strumień ciepła),

k_p — współczynnik wykorzystania powierzchni,

$k_{d/n}$ — współczynnik wynikający z relacji dzień/noc.

Dane przyjęte do obliczeń:

$L_h = 8760$,

$k_p = 0,4$,

$k_{d/n} = 0,25$.

Moc zainstalowana w żarówkach tradycyjnych P_{zt}	0,72 kW
Koszt energii zużytej w ciągu miesiąca przez żarówki tradycyjne: $P_{zt} \cdot h_m \cdot 0,5 \text{ PLN/kWh}$	26,28 PLN
Moc zainstalowana w żarówkach halogenowych P_{zh}	0,252 kW
Koszt energii zużytej w ciągu miesiąca przez żarówki halogenowe: $P_{zh} \cdot h_m \cdot 0,5 \text{ PLN/kWh}$	9,20 PLN
Moc zainstalowana w świetłówkach kompaktowych P_{sk}	0,078 kW

Koszt energii zużytej w ciągu miesiąca przez świetlówki kompaktowe: $P_{sk} \cdot h_m \cdot 0,5 \text{ PLN/kWh}$	2,85 PLN
Koszt energii zużytej w ciągu miesiąca przez żarówki halogenowe oraz świetlówki kompaktowe	12,05 PLN
Oszczędności w ciągu miesiąca, wynikające ze zmniejszenia mocy źródeł światła	14,23 PLN
Okres wykorzystania źródeł o trwałości 2000 godz.:	27 miesięcy
Koszt zakupu żarówek tradycyjnych na okres 2000 godz.: $2 \cdot 12 \text{ szt.} \cdot 2 \text{ PLN}$	48 PLN
Koszt zakupu żarówek halogenowych na okres 2000 godz.: $6 \text{ szt.} \cdot 10 \text{ PLN}$	60 PLN
Koszt zakupu świetlówek kompaktowych na okres 2000 godz.: $6 \text{ szt.} \cdot 20 \text{ PLN}$	120 PLN
Łącznie koszt zakupu żarówek halogenowych i świetlówek kompaktowych na okres 2000 godzin	180 PLN
Ponoszone koszty, wynikające z zakupu droższych źródeł światła w przeliczeniu na miesiąc użytkowania w okresie 27 miesięcy: $(180 \text{ PLN} - 48 \text{ PLN})/27 \text{ miesięcy}$	4,88 PLN
Oszczędności w ciągu miesiąca, wynikające z zamiany tradycyjnych żarówek na energooszczędne źródła światła	9,35 PLN

Bibliografia

1. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 r. w sprawie efektywności energetycznej, zmiany dyrektyw 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylecia dyrektyw 2004/8/WE i 2006/32/WE.
2. Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z dnia 10 listopada 2009 r.
3. Ustawa z dnia 15 kwietnia 2011 r. o efektywności energetycznej (Dz.U. z 2011 r. nr 94, poz. 551).
4. Dyrektywa 2006/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 kwietnia 2006 r. w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych oraz uchylająca dyrektywę Rady 93/76/EWG.
5. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z dnia 15.06.2002 r. nr 75, poz. 690 z późn. zm.). Stan prawny na 01.01.2014 r.
6. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
7. http://www.muratorplus.pl/biznes/prawo/nowe-warunki-techniczne-izolacyjnosc-cieplna-przegrod_80984.html.
8. Firląg S., *Poradnik inwestora. Buduję z głową, buduję energooszczędnie*, Warszawa 2014.
9. Polska Norma PN-EN 15232:2012 Energetyczne właściwości budynków — Wpływ automatyzacji, sterowania i technicznego zarządzania budynkami.
10. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.

Audyty energetyczne. Metodyka opracowań świadectw charakterystyki energetycznej

Sebastian Górka

Wpływ zastosowania systemów energetyki odnawialnej na poprawę efektywności energetycznej budynku

Na wartość wskaźnika *EP* rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną dla budynku mają wpływ:

- wielkości zapotrzebowania na energię w poszczególnych dziedzinach użytkowania,
- wielkość zapotrzebowania na energię pomocniczą,
- sprawności systemów w poszczególnych dziedzinach użytkowania,
- wartości współczynników nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej w_i na dostarczenie nośnika energii lub danego rodzaju energii do budynku.

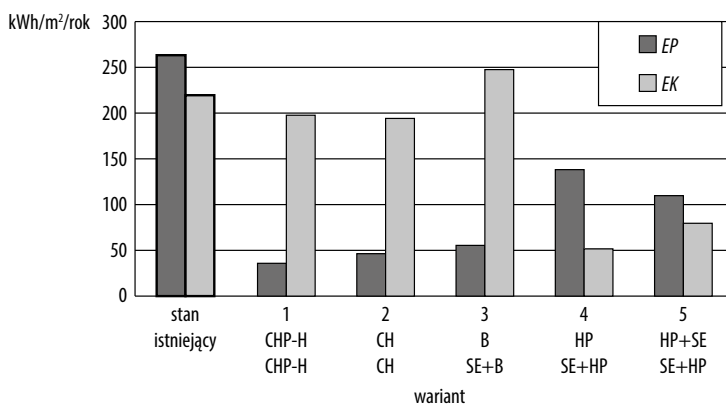
Wpływ wykorzystania OZE na charakterystykę energetyczną budynku oceniono na przykładach trzech typów istniejących budynków (budynek mieszkalny jednorodzinny MJ, budynek mieszkalny wielorodzinny MW, budynek niemieszkalny BU), które zużywają ciepło na cele ogrzewania, chłodzenia i wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej.

Zastosowanie odnawialnych źródeł energii do zasilania budynków w ciepło pozwala w większości przypadków znacząco obniżyć ich wskaźniki *EP* zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną. Dla tak scharakteryzowanych przykładowych budynków przeanalizowano warianty zastosowania instalacji OZE dla zaopatrzenia w energię na potrzeby w zakresie c.o. i przygotowania c.w.u., które przedstawiono w tabeli 1. Przyjęto, że energia pomocnicza do napędu urządzeń i do oświetlenia w budynkach pobierana jest z krajowej sieci elektroenergetycznej (produkcja mieszana).

Tabela 1. Warianty obliczeniowe dla różnych źródeł zasilania budynków [1]

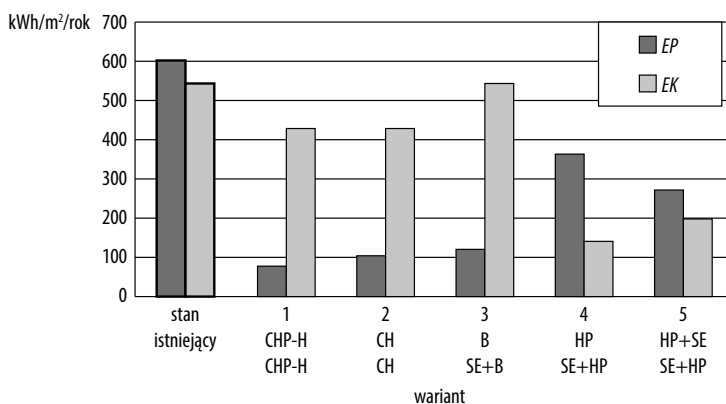
Nr wariantu	Źródło energii na potrzeby c.o.		Źródło energii na potrzeby przygotowania c.w.u.	
	Nazwa	Oznaczenie	Nazwa	Oznaczenie
1	Ciepło wytworzone w kogeneracji (z biomasy)	CHP-H	Ciepło wytworzone w kogeneracji (z biomasy)	CHP-H
2	Ciepło z ciepłowni (opalonej biomasą)	CH	Ciepło z ciepłowni (opalonej biomasą)	CH
3	Kocioł opalany biomasą	B	Kolektor słoneczny, kocioł opalany biomasą	SE + B
4	Pompa ciepła	HP	Kolektor słoneczny we współpracy z pompą ciepła	SE + HP
5	Pompa ciepła we współpracy z kolektorem słonecznym	HP + SE	Kolektor słoneczny we współpracy z pompą ciepła	SE + HP

Budynek jednorodzinny MJ:



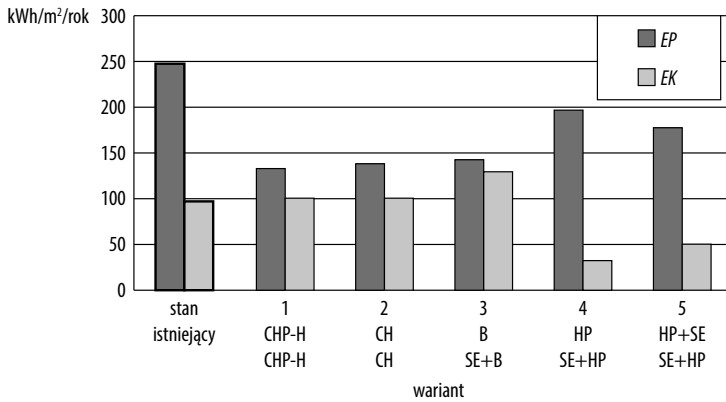
Rysunek 1. Wskaźniki EP i EK dla budynku jednorodzinnego

Budynek wielorodzinny MW:



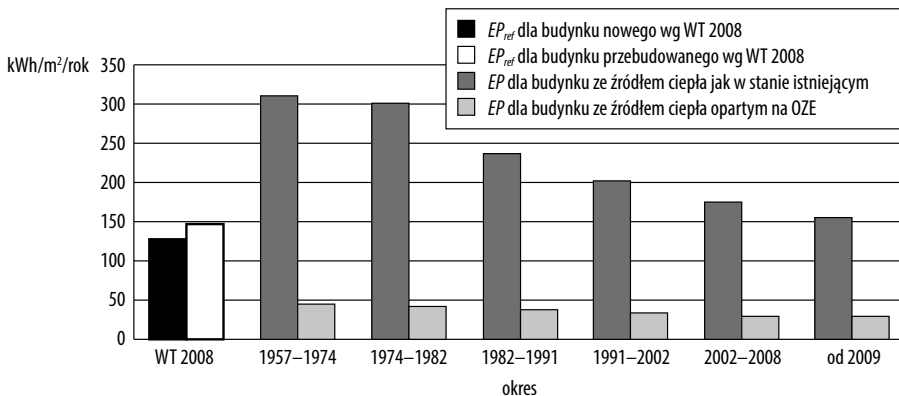
Rysunek 2. Wskaźniki EP i EK dla budynku wielorodzinnego

Budynek niemieszkalny BU:



Rysunek 3. Wskaźniki EP i EK dla budynku niemieszkalnego

Większe efekty oszczędnościowe uzyskuje się dla budynków starszych, z uwagi na ich pierwotnie większą energochłonność. Dla większości przypadków sama zamiana źródła konwencjonalnego na źródło wykorzystujące OZE jest wystarczająca, by wielkość wskaźnika EP dla budynku po przebudowie była niższa od wartości referencyjnej. Wyjątkiem mogą być pompy ciepła, których napędy wykorzystują energię elektryczną pochodzącą z krajowego systemu elektroenergetycznego, zasilanego energią elektryczną wytworzoną w źródłach konwencjonalnych.



Rysunek 4. Wskaźniki EP dla budynku mieszkalnego wielorodzinnego w zależności od roku budowy przy zasilaniu z elektrociepłowni opalanej biomasą

W tych przypadkach decydujące znaczenie ma wysoki współczynnik nakładu na nieodnawialną energię pierwotną, ustalony dla energii elektrycznej. Z przedstawionych studiów przypadków wynika ponadto, że uzyskanie korzystnego wskaźnika EP nie oznacza równocześnie korzystnej wartości wskaźnika EK zapotrzebowania na energię końcową i odwrotnie. Przedsięwzięcie termomodernizacyjne, polegające na zastosowaniu odnawialnych źródeł energii i modernizacji instalacji grzewczych w obrębie budynku, powinno być poprzedzone wykonaniem analizy techniczno-ekonomicznej dla wskazania wariantu najbardziej opłacalnego do realizacji.

Wpływ zastosowania różnych instalacji zasilanych energią ze źródeł odnawialnych na wielkości wskaźników zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną *EP* w przykładowym budynku mieszkalnym wielorodzinnym w zależności od jego wieku przedstawia rysunek 4.

Ekologiczne aspekty zastosowania systemów energetyki odnawialnej

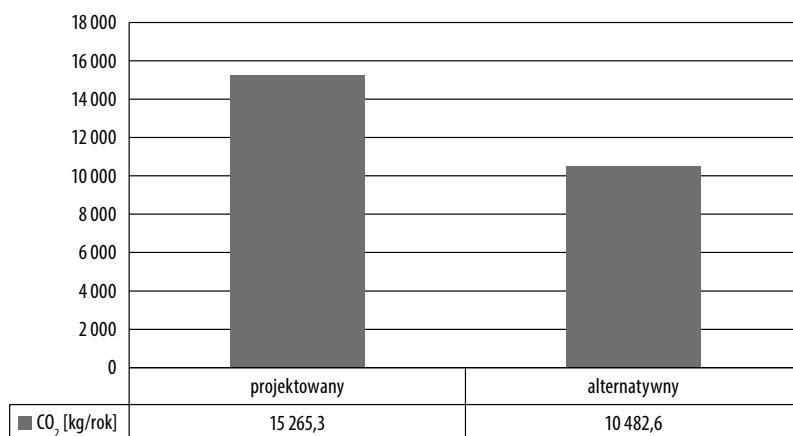
Stosowanie odnawialnych źródeł energii zmniejsza emisję produktów spalania w wyniku ograniczenia zużycia energii chemicznej zawartej w paliwach pierwotnych. Redukcja emisji zanieczyszczeń (gazy GHG, pyły, sadza, B-a-P) do środowiska naturalnego jest proporcjonalna do zastąpionej przez zasoby OZE ilości energii końcowej nieodnawialnej oraz jednostkowej emisji danego paliwa zużywanego w źródle konwencjonalnym i emisji alternatywnej instalacji wykorzystującej zasoby OZE. Można to wyrazić różnicą pomiędzy emisją zanieczyszczeń źródła dla instalacji konwencjonalnej (stan bazowy) i emisją zanieczyszczeń dla alternatywnej instalacji opartej na OZE, która ten stan bazowy zastępuje. Zmiany ilości substancji zanieczyszczających, emitowanych do atmosfery przy zastąpieniu konwencjonalnych źródeł energii w budynku źródłami wykorzystującymi zasoby energii odnawialnej, pokazano na przykładzie domu jednorodzinnego zużywającego energię na potrzeby centralnego ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej.

Stan bazowy (projektowany) zaopatrzenia budynku w ciepło:

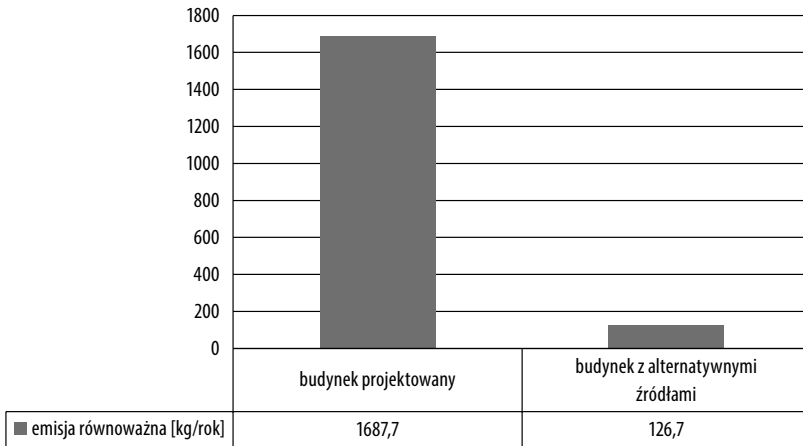
- instalacja c.o. — kocioł wodny na paliwo stałe (węgiel kamienny),
- instalacja c.w.u. — podgrzewacz pojemnościowy z grzałką elektryczną.

Stan alternatywny (wykorzystanie OZE) zaopatrzenia budynku w ciepło:

- instalacja co. — pompa ciepła wyposażona w gruntowy wymiennik ciepła.
- instalacja c.w.u. — podgrzewacz pojemnościowy zasilany w ciepło z kolektora słonecznego.



Rysunek 5. Wielkości emisji CO₂ dla stanu bazowego (projektowanego) oraz dla stanu po wykorzystaniu OZE w budynku (alternatywnego) [1]



Rysunek 6. Wielkości emisji równoważnej dla stanu bazowego (projektowanego) oraz dla stanu po wykorzystaniu OZE w budynku (alternatywnego) [1]

Emisja równoważna, czyli zastępcza, jest to wielkość ogólna emisji zanieczyszczeń pochodzących z określonego (ocenianego) źródła zanieczyszczeń, która wynika z zsumowania wielkości rzeczywistych emisji poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń pochodzących z tego źródła, pomnożonych przez ich współczynniki toksyczności, zgodnie ze wzorem:

$$E = \sum E_t \cdot K_t$$

gdzie:

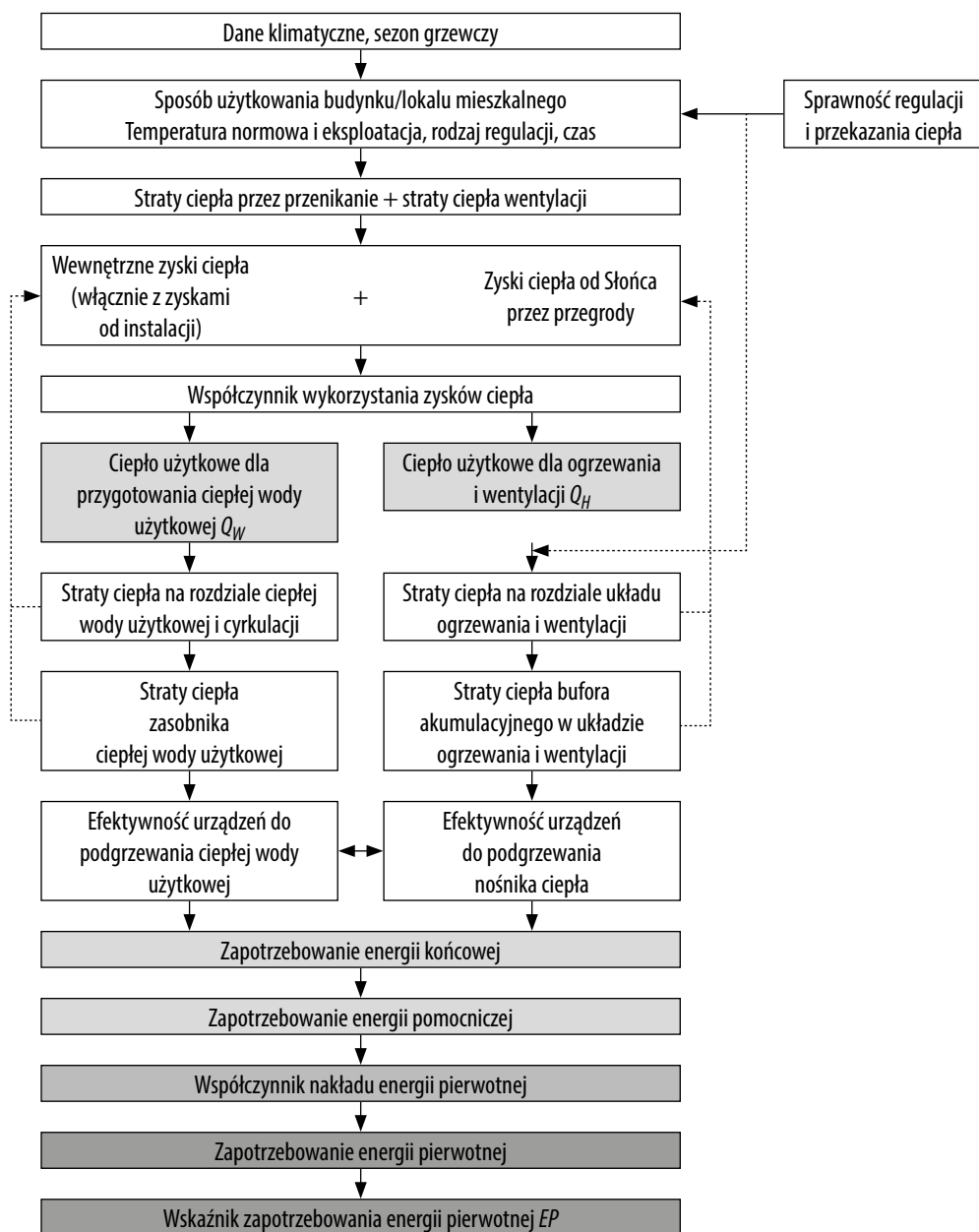
E_t — emisja rzeczywista zanieczyszczenia o indeksie t ,

K_t — współczynnik toksyczności zanieczyszczenia o indeksie t , który to współczynnik wyraża stosunek dopuszczalnej średniorocznej wartości stężenia dwutlenku siarki e_{SO_2} do dopuszczalnej średniorocznej wartości danego zanieczyszczenia e_t , co można określić wzorem:

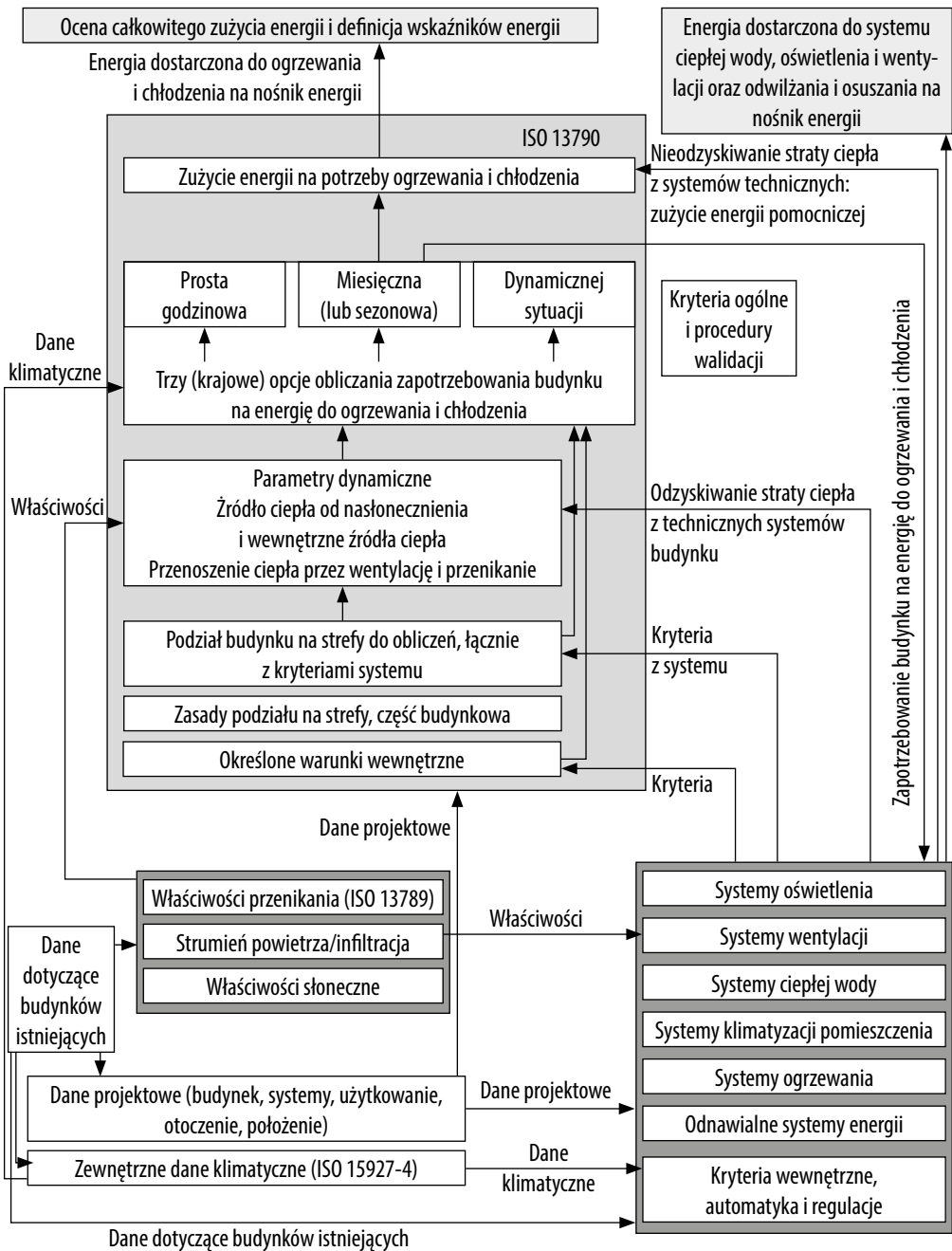
$$K_t = e_{\text{SO}_2} / e_t$$

Metodyka obliczeń w audytingu i ocenie energetycznej budynków

Procedury obliczeń energii dla świadectw charakterystyki energetycznej obrazują poniższe schematy:



Rysunek 7. Sposób postępowania przy obliczaniu zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną dla tych celów użytkowania



Rysunek 8. Schemat blokowy procedury obliczeń energii wg normy PN-EN 13790

Obliczanie zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania, obliczenia energii końcowej i pierwotnej

Obliczanie zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania, obliczenia energii końcowej i pierwotnej:

- określenie danych geometrycznych budynku,
- dobór danych klimatycznych w zależności od usytuowania budynku,
- obliczenia współczynników przenikania ciepła przegród wielowarstwowych,
- obliczenia i dobór parametrów okien i drzwi,
- obliczenie zapotrzebowania budynku na energię użytkową do ogrzewania:
 - podział budynku na strefy — temperatury wewnętrzne, powierzchnia ogrzewana, kubatura wentylowana,
 - wyznaczenie współczynnika strat ciepła przez przenikanie (H_{tr}),
 - wyznaczenie współczynnika strat ciepła na wentylację (H_{ve}),
 - obliczanie zysków ciepła,
 - wyznaczenie wewnętrznej pojemności cieplnej,
 - zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania,
- roczne zapotrzebowanie budynku na energię końcową do ogrzewania,
- roczne zapotrzebowanie budynku na energię pierwotną do ogrzewania.

Obliczanie zapotrzebowania ciepła na cele przygotowania ciepłej wody użytkowej, obliczenia energii końcowej i pierwotnej

Roczne zapotrzebowanie na ciepło użytkowe do przygotowania ciepłej wody oblicza się według wzoru:

$$Q_{W,nd} = V_{CW i} \cdot L_i \cdot c_W \cdot r_W \cdot (\theta_{CW} - q_0) \cdot k_t \cdot t_{UZ} / (1000 \cdot 3600) \text{ [kWh/rok]},$$

gdzie:

$V_{CW i}$ — jednostkowe dobowe zużycie ciepłej wody użytkowej, które należy przyjmować na podstawie dokumentacji projektowej, pomiarów zużycia w obiekcie istniejącym lub tabeli 2 [$\text{dm}^3/(\text{j.o.}) \cdot \text{doba}$],

L_i — liczba jednostek odniesienia [osoby],

t_{UZ} — czas użytkowania (miesiąc, rok — przeważnie 365 dni), czas użytkowania należy zmniejszyć o przerwy urlopowe, wyjazdy i inne uzasadnione sytuacje, średnio w ciągu roku o 10% — dla budynków mieszkalnych [doby],

k_t — mnożnik korekcyjny dla temperatury ciepłej wody innej niż 55°C , według dokumentacji projektowej lub tabeli 3,

c_W — ciepło właściwe wody, przyjmowane jako $4,19 \text{ kJ}/(\text{kgK})$,

r_W — gęstość wody, przyjmowana jako $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$,

θ_{CW} — temperatura ciepłej wody w zaworze czerpalnym, 55°C ,

q_0 — temperatura wody zimnej, przyjmowana jako 10°C .

Tabela 2. Jednostkowe zużycie ciepłej wody użytkowej (V_{CW}) [2]

Lp.	Rodzaje budynków	Jednostka odniesienia	Jednostkowe dobowe zużycie ciepłej wody V_{CW} o temperaturze 55°C
		[j.o.]	[dm ³ /(j.o.) · doba]
1.	Budynki mieszkalne:		
1.1	Budynki jednorodzinne	[mieszkaniec]	35
1.2	Budynki wielorodzinne*	[mieszkaniec]**	48
2.	Budynki zamieszkania zbiorowego:		
2.1	Hotele z gastronomią	[miejsce noclegowe]	112
2.2	Hotele pozostałe	[miejsce noclegowe]	75
2.3	Schroniska, pensjonaty	[miejsce noclegowe]	50
2.4	Budynki koszarowe, areszty śledcze, budynki zakwaterowania na terenie zakładu karnego	[łóżko]	70
3.	Inne budynki:		
3.1	Szpitala	[łóżko]	325
3.2	Szkoły	[uczeń]	8
3.3	Budynki biurowe, produkcyjne i magazynowe	[pracownik]	7
3.4	Budynki handlowe	[pracownik]	25
3.5	Budynki gastronomii i usług	[pracownik]	30
3.6	Dworce kolejowe, lotniska, muzea, hale wystawiennicze	[pasażer/zwiedzający]	5

* W przypadku zastosowania w budynkach wielorodzinnych wodomierzy mieszkaniowych do rozliczania opłat za ciepłą wodę podane wskaźniki jednostkowe ilości ciepłej wody należy zmniejszyć o 20%.

** Liczbę mieszkańców w zależności od rodzaju budynku lub lokalu mieszkalnego należy przyjmować zgodnie z projektem budynku, a dla budynków istniejących na podstawie stanu rzeczywistego.

Tabela 3. Mnożnik korekcyjny dla temperatury ciepłej wody innej niż 55°C [2]

Lp.	Temperatura wody na wypływie z zaworu czerpalnego [°C]	Współczynnik korekcyjny [k_t]*
1	55	1,00
2	50	1,12
3	45	1,28

* Dla pośrednich wartości temperatury wartości k_t należy interpolować liniowo.

Wartość rocznego zapotrzebowania na energię końcową do przygotowania ciepłej wody określa się według wzoru:

$$Q_{K,W} = Q_{W,nd} / \eta_{W,tot} \text{ [kWh/rok]},$$

gdzie:

$Q_{W,nd}$ — zapotrzebowanie ciepła użytkowego do podgrzania ciepłej wody [kWh/rok],

$\eta_{W,tot}$ — średnia sezonowa sprawność systemu przygotowania ciepłej wody.

Określenie sprawności systemu c.w.u.:

$$\eta_{W,tot} = \eta_{W,g} \cdot \eta_{W,d} \cdot \eta_{W,s} \cdot \eta_{W,e}$$

gdzie:

$\eta_{W,g}$ — średnia sezonowa sprawność wytworzenia nośnika ciepła z energii dostarczanej do granicy bilansowej budynku (energii końcowej),

$\eta_{W,d}$ — średnia sezonowa sprawność transportu (dystrybucji) ciepłej wody w obrębie budynku (osłony bilansowej lub poza nią),

$\eta_{W,s}$ — średnia sezonowa sprawność akumulacji ciepłej wody w elementach pojemnościowych systemu ciepłej wody (w obrębie osłony bilansowej lub poza nią),

$\eta_{W,e}$ — średnia sezonowa sprawność wykorzystania (przyjmuje się 1,0).

Tabela 4. Sprawności wytwarzania ciepła (dla przygotowania ciepłej wody) w źródłach $\eta_{H,g}$

Lp.	Rodzaj źródła ciepła	$\eta_{H,g}$ ($\epsilon_{H,g}$)
1	Przepływowy podgrzewacz gazowy z zapłonem elektrycznym	0,84–0,99
2	Przepływowy podgrzewacz gazowy z zapłonem płomieniem dyżurnym	0,16–0,74
3	Kotły stałotemperaturowe (tylko ciepła woda)	0,40–0,72
4	Kotły stałotemperaturowe dwufunkcyjne (ogrzewanie i ciepła woda)	0,65–0,77
5	Kotły niskotemperaturowe o mocy do 50 kW	0,83–0,90
6	Kotły niskotemperaturowe o mocy ponad 50 kW	0,88–0,92
7	Kotły gazowe kondensacyjne o mocy do 50 kW*	0,85–0,91
8	Kotły gazowe kondensacyjne o mocy ponad 50 kW	0,88–0,93
9	Elektryczny podgrzewacz akumulacyjny (z zasobnikiem bez strat)	0,96–0,99
10	Elektryczny podgrzewacz przepływowy	0,99–1,00
11	Pompy ciepła woda/woda	3,0–4,5**
12	Pompy ciepła glikol/woda	2,6–3,8
13	Pompy ciepła powietrze/woda	2,2–3,1
14	Węzeł cieplny kompaktowy z obudową	0,88–0,90
15	Węzeł cieplny kompaktowy bez obudowy	0,80–0,85
16	Węzeł cieplny kompaktowy z obudową (ogrzewanie i ciepła woda)	0,94–0,97
17	Węzeł cieplny kompaktowy bez obudowy (ogrzewanie i ciepła woda)	0,88–0,96

* Sprawność odniesiona do wartości opałowej paliwa.

** Sezonowy współczynnik wydajności grzejnej pompy ciepła (SPF).

Tabela 5. Sprawność przesyłu wody ciepłej użytkowej $\eta_{W,d}$

Rodzaje instalacji ciepłej wody	Sprawność przesyłu wody ciepłej $\eta_{W,d}$
1. Miejscowe przygotowanie ciepłej wody, instalacje ciepłej wody bez obiegów cyrkulacyjnych	
Miejscowe przygotowanie ciepłej wody bezpośrednio przy punktach poboru wody ciepłej	1,0
Miejscowe przygotowanie ciepłej wody dla grupy punktów poboru wody ciepłej w jednym pomieszczeniu sanitarnym, bez obiegu cyrkulacyjnego	0,8

Rodzaje instalacji ciepłej wody	Sprawność przesyłu wody ciepłej $\eta_{W,d}$
2. Mieszkaniowe węzły ciepne	
Kompaktowy węzeł ciepny dla pojedynczego lokalu mieszkalnego, bez obiegu cyrkulacyjnego	0,85
3. Centralne przygotowanie ciepłej wody, instalacja ciepłej wody bez obiegów cyrkulacyjnych	
Instalacje ciepłej wody w budynkach jednorodzinnych	0,6
4. Centralne przygotowanie ciepłej wody, instalacje z obiegami cyrkulacyjnymi, piony instalacyjne nieizolowane, przewody rozprowadzające izolowane	
Instalacje małe, do 30 punktów poboru ciepłej wody	0,6
Instalacje średnie, 30–100 punktów poboru ciepłej wody	0,5
Instalacje duże, powyżej 100 punktów poboru ciepłej wody	0,4
5. Centralne przygotowanie ciepłej wody, instalacje z obiegami cyrkulacyjnymi, piony instalacyjne i przewody rozprowadzające izolowane*	
Instalacje małe, do 30 punktów poboru ciepłej wody	0,7
Instalacje średnie, 30–100 punktów poboru ciepłej wody	0,6
Instalacje duże, powyżej 100 punktów poboru ciepłej wody	0,5
6. Centralne przygotowanie ciepłej wody, instalacje z obiegami cyrkulacyjnymi z ograniczeniem czasu pracy**, piony instalacyjne i przewody rozprowadzające izolowane	
Instalacje małe, do 30 punktów poboru ciepłej wody	0,8
Instalacje średnie, 30–100 punktów poboru ciepłej wody	0,7
Instalacje duże, powyżej 100 punktów poboru ciepłej wody	0,6

* Przewody izolowane wykonane z rur stalowych lub miedzianych, lub przewody nieizolowane wykonane z rur z tworzyw sztucznych.

** Ograniczenie czasu pracy pompy cyrkulacyjnej do ciepłej wody w godzinach nocnych lub zastosowanie pomp obiegowych ze sterowaniem za pomocą układów termostatycznych.

Tabela 6. Sprawności akumulacji ciepła w systemie ciepłej wody $\eta_{W,s}$

Lp.	Parametry zasobnika ciepłej wody i jego usytuowanie	$\eta_{W,s}$
1	Zasobnik w systemie wg standardu z lat siedemdziesiątych	0,30–0,59
2	Zasobnik w systemie wg standardu z lat 1977–1995	0,55–0,69
3	Zasobnik w systemie wg standardu z lat 1995–2000	0,60–0,74
4	Zasobnik w systemie wg standardu budynku niskoenergetycznego	0,83–0,86

Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną przez system do podgrzania ciepłej wody:

$$Q_{R,W} = w_w \cdot Q_{K,W} + w_{el} \cdot E_{el,pom,W} \text{ [kWh/rok]},$$

gdzie:

w_w , w_{el} — współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii (lub energii) końcowej do ocenianego budynku, który określa dostawca energii lub nośnika energii (w_w dotyczy ciepła do przygotowania ciepłej wody użytkowej, w_{el} dotyczy energii elektrycznej),

$Q_{K,W}$ — roczne zapotrzebowanie na energię końcową przez system do podgrzania ciepłej wody [kWh/rok],

$E_{el,pom,W}$ — roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną końcową do napędu urządzeń pomocniczych systemu ciepłej wody [kWh/rok].

Wyznaczenie zapotrzebowania na energię pomocniczą — system przygotowania ciepłej wody użytkowej:

$$E_{el,pom,W} = \sum_i q_{el,W,i} \cdot A_f \cdot t_{el,i} \cdot 10^{-3} \text{ [kWh/rok]},$$

gdzie:

$q_{el,W,i}$ — zapotrzebowanie mocy elektrycznej do napędu i -tego urządzenia pomocniczego w systemie przygotowania ciepłej wody, odniesione do powierzchni użytkowej (ogrzewanej) [W/m^2],

A_f — powierzchnia pomieszczeń o regulowanej temperaturze w budynku [m^2],

$t_{el,i}$ — czas działania urządzenia pomocniczego w ciągu roku, zależny od programu eksploatacji instalacji ciepłej wody [godz./rok].

Tabela 7. Średnie moce jednostkowe układów pomocniczych w systemie ogrzewania i przygotowania ciepłej wody odniesione do powierzchni A_U i średni czas ich pracy w ciągu roku

Lp.	Rodzaj urządzenia pomocniczego i instalacji	$q_{el,i}$ [W/m ²]	$t_{el,i}$ [godz./rok]
1	Pompy obiegowe ogrzewania w budynku o A_U do 250 m ² z grzejnikami członowymi lub płytowymi, granica ogrzewania 12°C	0,2–0,7	5000–6000
2	Pompy obiegowe ogrzewania w budynku o A_U ponad 250 m ² z grzejnikami członowymi lub płytowymi, granica ogrzewania 10°C	0,1–0,4	4000–5000
3	Pompy obiegowe ogrzewania w budynku o A_U do 250 m ² z grzejnikami podłogowymi, granica ogrzewania 15°C	0,5–1,2	6000–7000
4	Pompy cyrkulacyjne ciepłej wody w budynku o A_U do 250 m ² , praca ciągła	0,1–0,4	8760
5	Pompy cyrkulacyjne ciepłej wody w budynku o A_U ponad 250 m ² , praca przerywana do 4 godz./dobę	0,05–0,1	7300
6	Pompy cyrkulacyjne ciepłej wody w budynku o A_U ponad 250 m ² , praca przerywana do 8 godz./dobę	0,05–0,1	5840
7	Pompa ładująca zasobnik ciepłej wody w budynku o A_U do 250 m ²	0,3–0,6	200–300
8	Pompa ładująca zasobnik ciepłej wody w budynku o A_U ponad 250 m ²	0,1–0,2	300–700
9	Pompa ładująca bufor w układzie ogrzewania w budynku o A_U do 250 m ²	0,2–0,5	1500
10	Pompa ładująca bufor w układzie ogrzewania w budynku o A_U ponad 250 m ²	0,05–0,1	1500
11	Napęd pomocniczy i regulacja kotła do podgrzewu ciepłej wody w budynku o A_U do 250 m ²	0,8–1,7	200–350
12	Napęd pomocniczy i regulacja kotła do podgrzewu ciepłej wody w budynku o A_U ponad 250 m ²	0,1–0,6	300–450
13	Napęd pomocniczy i regulacja kotła do ogrzewania w budynku o A_U do 250 m ²	0,3–0,6	1400–3000
14	Napęd pomocniczy i regulacja kotła do ogrzewania w budynku o A_U ponad 250 m ²	0,05–0,2	2500–4500
15	Napęd pomocniczy pompy ciepła woda/woda w układzie przygotowania ciepłej wody	1,0–1,6	400
16	Napęd pomocniczy pompy ciepła glikol/woda w układzie przygotowania ciepłej wody	0,6–1,0	400

Lp.	Rodzaj urządzenia pomocniczego i instalacji	$q_{el,i}$ [W/m ²]	$t_{el,i}$ [godz./rok]
15	Napęd pomocniczy pompy ciepła woda/woda w układzie ogrzewania	1,0–1,6	1600
17	Napęd pomocniczy pompy ciepła glikol/woda w układzie ogrzewania	0,6–1,0	1600
18	Regulacja węzła cieplnego — ogrzewanie i ciepła woda	0,05–0,1	8760
19	Pompy i regulacja instalacji solarnej w budynku o A_{Uj} do 500 m ²	0,2–0,4	1000–1750
20	Pompy i regulacja instalacji solarnej w budynku o A_{Uj} ponad 500 m ²	0,1–0,3	1000–1750
21	Wentylatory w centrali nawiewno-wywiewnej, wymiana powietrza do 0,6 h ⁻¹	0,2–0,6	6000–8760
22	Wentylatory w centrali nawiewno-wywiewnej, wymiana powietrza powyżej 0,6 h ⁻¹	0,6–1,6	6000–8760
23	Wentylator w centrali wywiewnej, wymiana powietrza do 0,6 h ⁻¹	0,1–0,5	6000–8760
24	Wentylator w centrali wywiewnej, wymiana powietrza powyżej 0,6 h ⁻¹	0,5–1,1	6000–8760
25	Wentylatory miejscowego układu wentylacyjnego	1,1–3,0	6000–8760

Uwaga: w przypadku trudności oceny stanu faktycznego należy przyjmować wartości średnie z podanego zakresu zmian mocy jednostkowej lub czasu działania.

Obliczanie zapotrzebowania na chłód, obliczenia energii końcowej i pierwotnej

Ilość chłodu niezbędnego do pokrycia potrzeb chłodniczych budynku dla każdej jego strefy w danym miesiącu w przypadku chłodzenia ciągłego wyznaczana jest z zależności:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,nd,cont} = Q_{C,gn} - \eta_{CIs} Q_{C,ht}$$

natomiast w przypadku chłodzenia z przerwami:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,nd,interm}$$

gdzie:

$Q_{C,nd}$ — ilość chłodu niezbędna na pokrycie potrzeb chłodzenia budynku (lokalu mieszkalnego, strefy) w okresie miesięcznym [kWh/m-c],

$Q_{C,nd,cont}$ — ilość chłodu niezbędna na pokrycie potrzeb chłodzenia ciągłego budynku (lokalu mieszkalnego, strefy) w okresie miesięcznym [kWh/m-c],

$Q_{C,nd,interm}$ — ilość chłodu niezbędna na pokrycie potrzeb chłodzenia z przerwami budynku (lokalu mieszkalnego, strefy) w okresie miesięcznym [kWh/m-c],

$Q_{C,ht}$ — całkowity przepływ ciepła przez przenikanie i wentylację dla trybu chłodzenia w okresie miesięcznym [kWh/m-c],

$Q_{C,gn}$ — całkowite zyski ciepła dla trybu chłodzenia w okresie miesięcznym [kWh/m-c],

η_{CIs} — współczynnik efektywności wykorzystania strat ciepła w trybie chłodzenia.

Roczne zapotrzebowanie na energię końcową do chłodzenia

Ilość energii końcowej (energii dostarczanej do budynku z zewnętrznej sieci nośnika energii) niezbędnej do pokrycia potrzeb chłodniczych budynku w roku wyznaczana jest z zależności:

$$Q_{K,C} = \frac{Q_{C,nd}}{\eta_{C,tot}} [\text{MWh/rok}],$$

gdzie:

$Q_{C,nd}$ — zapotrzebowanie na chłód użytkowy [MWh/rok],

$\eta_{C,tot}$ — sprawność całkowita systemu chłodniczego.

Sprawność całkowita systemu chłodniczego budynku wyznaczana jest z zależności:

$$\eta_{C,tot} = ESEER \cdot \eta_{C,s} \cdot \eta_{C,d} \cdot \eta_{C,e}$$

gdzie:

$ESEER$ — średni europejski współczynnik efektywności energetycznej wytworzenia chłodu z nośnika energii doprowadzonej do granicy bilansowej budynku (energii końcowej), liczony zgodnie z wytycznymi Eurovent,

$\eta_{C,s}$ — średnia sezonowa sprawność akumulacji chłodu w budynku (w obrębie osłony bilansowej),

$\eta_{C,d}$ — średnia sezonowa sprawność transportu nośnika chłodu w budynku (w obrębie osłony bilansowej),

$\eta_{C,e}$ — średnia sezonowa sprawność regulacji i wykorzystania chłodu w budynku (w obrębie osłony bilansowej).

Średni europejski sezonowy współczynnik efektywności energetycznej urządzenia chłodniczego wyznaczany jest z równania:

$$ESEER = 0,03EER_{100\%} + 0,33EER_{75\%} + 0,41EER_{50\%} + 0,23EER_{25\%},$$

gdzie:

$EER_{100\%}$ — współczynnik efektywności energetycznej wytworzenia chłodu z nośnika energii doprowadzonej do granicy bilansowej budynku (energii końcowej) przy 100-procentowym obciążeniu,

$EER_{75\%}$ — współczynnik efektywności energetycznej wytworzenia chłodu z nośnika energii doprowadzonej do granicy bilansowej budynku (energii końcowej) przy 75-procentowym obciążeniu,

$EER_{50\%}$ — współczynnik efektywności energetycznej wytworzenia chłodu z nośnika energii doprowadzonej do granicy bilansowej budynku (energii końcowej) przy 50-procentowym obciążeniu,

$EER_{25\%}$ — współczynnik efektywności energetycznej wytworzenia chłodu z nośnika energii doprowadzonej do granicy bilansowej budynku (energii końcowej) przy 25-procentowym obciążeniu.

Tabela 8. Współczynniki efektywności energetycznej wytworzenia chłodu *ESEER*

Lp.	Rodzaj źródła chłodu i systemu chłodzenia	<i>ESEER</i>
System bezpośredni		
1	Klimatyzator monoblokowy ze skraplaczem chłodzonym powietrzem: a) klimatyzacja komfortu b) klimatyzacja precyzyjna	3,0–3,2 3,4–3,6
2	Klimatyzator monoblokowy ze skraplaczem chłodzonym wodą: a) klimatyzacja komfortu b) klimatyzacja precyzyjna	3,2–3,4 3,6–3,8
3	Klimatyzator rozdzielony (split) ze skraplaczem chłodzonym powietrzem: a) klimatyzacja komfortu b) klimatyzacja precyzyjna	2,8–3,0 3,2–3,4
4	Klimatyzator rozdzielony (split) ze skraplaczem chłodzonym wodą: a) klimatyzacja komfortu b) klimatyzacja precyzyjna	3,0–3,2 3,4–3,6
5	Klimatyzator rozdzielony (duo-split) ze skraplaczem chłodzonym powietrzem	3,0
6	Klimatyzator rozdzielony (duo-split) ze skraplaczem chłodzonym wodą	3,2
7	System VRV	3,3
System pośredni		
8	Sprężarkowa wytwornica wody lodowej — półtermetyczne sprężarki tłokowe, skraplacz chłodzony powietrzem: a) nośnik chłodu — woda b) nośnik chłodu — wodny roztwór glikolu c) nośnik chłodu — wodny roztwór glikolu z funkcją free cooling	3,6–3,8 3,4–3,6 5,1÷5,4
9	Sprężarkowa wytwornica wody lodowej — półtermetyczne sprężarki tłokowe, skraplacz chłodzony wodą: a) nośnik chłodu — woda b) nośnik chłodu — wodny roztwór glikolu c) nośnik chłodu — wodny roztwór glikolu z funkcją free cooling	3,8–4,0 3,6–3,8 5,4–5,7
10	Sprężarkowa wytwornica wody lodowej — sprężarki spiralne, skraplacz chłodzony powietrzem: a) nośnik chłodu — woda b) nośnik chłodu — wodny roztwór glikolu c) nośnik chłodu — wodny roztwór glikolu z funkcją free cooling	3,6–3,8 3,4–3,6 5,1–5,4
11	Sprężarkowa wytwornica wody lodowej — sprężarki spiralne, skraplacz chłodzony wodą: a) nośnik chłodu — woda b) nośnik chłodu — wodny roztwór glikolu c) nośnik chłodu — wodny roztwór glikolu z funkcją free cooling	3,8–4,0 3,6–3,8 5,4–5,7
12	Sprężarkowa wytwornica wody lodowej — sprężarki śrubowe, skraplacz chłodzony powietrzem: a) nośnik chłodu — woda b) nośnik chłodu — wodny roztwór glikolu c) nośnik chłodu — wodny roztwór glikolu z funkcją free cooling	3,6–3,8 3,4–3,6 5,1–5,4

Lp.	Rodzaj źródła chłodu i systemu chłodzenia	ESEER
13	Sprężarkowa wytwornica wody lodowej — sprężarki śrubowe, skraplacz chłodzony wodą: a) nośnik chłodu — woda b) nośnik chłodu — wodny roztwór glikolu c) nośnik chłodu — wodny roztwór glikolu z funkcją free cooling	3,8–4,0 3,6–3,8 5,4–5,7
14	Sprężarkowa wytwornica wody lodowej — sprężarki przepływowe, skraplacz chłodzony wodą: a) nośnik chłodu — woda b) nośnik chłodu — wodny roztwór glikolu c) nośnik chłodu — wodny roztwór glikolu z funkcją free cooling	4,2–4,4 4,0–4,2 6,0–6,3
15	Bromolitowa jednostopniowa wytwornica wody lodowej zasilana wodą o temperaturze 95°C	0,70
16	Bromolitowa jednostopniowa wytwornica wody lodowej zasilana parą wodną o nadciśnieniu 2,0 bar	0,80

Tabela 9. Wartości sprawności transportu energii chłodniczej $\eta_{C,d}$

Rodzaj systemu rozdziału		$\eta_{C,d}$
Chłodzenie bezpośrednie — zdecentralizowane		
1	Klimatyzator monoblokowy ze skraplaczem chłodzonym powietrzem	1,0
2	Klimatyzator monoblokowy ze skraplaczem chłodzonym wodą	1,0
3	Klimatyzator rozdzielony (split) ze skraplaczem chłodzonym powietrzem	1,0
4	Klimatyzator rozdzielony (split) ze skraplaczem chłodzonym wodą	1,0
5	Klimatyzator rozdzielony (duo-split) ze skraplaczem chłodzonym powietrzem	0,98
6	Klimatyzator rozdzielony (duo-split) ze skraplaczem chłodzonym wodą	0,98
7	System VRV	0,94÷0,98
Chłodzenie bezpośrednie — scentralizowane		
8	Jednoprzewodowa instalacja powietrzna	0,90
Chłodzenie pośrednie		
9	Instalacja wody lodowej 5/12°C: a) układ prosty (bez podziału na obiegi) b) układ z podziałem na obieg pierwotny i wtórny c) układ zasilający belki chłodzące (15/18°C)	0,92 0,96 0,98

Tabela 10. Wartości sprawności urządzeń do akumulacji chłodu $\eta_{C,s}$

Lp.	Parametry zasobnika buforowego i jego usytuowanie	$\eta_{C,s}$
1	Bufor w systemie chłodniczym o parametrach 6/12°C wewnątrz osłony termicznej budynku	0,93–0,97
2	Bufor w systemie chłodniczym o parametrach 6/12°C na zewnątrz osłony termicznej budynku	0,91–0,95
3	Bufor w systemie chłodniczym o parametrach 15/18°C wewnątrz osłony termicznej budynku	0,95–0,99
4	Bufor w systemie chłodniczym o parametrach 15/18°C na zewnątrz osłony termicznej budynku	0,93–0,97
5	Brak zasobnika buforowego	1,00

Tabela 11. Wartości sprawności regulacji i wykorzystania chłodu $\eta_{C,e}$

Lp.	Rodzaj instalacji i jej wyposażenie	$\eta_{C,e}$
1	Instalacja wody lodowej z termostatycznymi zaworami przelotowymi przy odbiornikach: a) regulacja skokowa b) regulacja ciągła	0,92 0,94
2	Instalacja wody lodowej z zaworami trójdrogowymi przy odbiornikach: a) regulacja skokowa b) regulacja ciągła	0,95 0,97

Bibliografia

1. <http://www.ogrzewnictwo.pl/artykuly/wykorzystanie-odnawialnych-zrodel-energii-w-budynkach-i-ich-wplyw-na-efektywnosc-energetyczno-ekologiczna>.
2. Załącznik 5. Metodologia obliczania charakterystyki energetycznej budynku, lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową, niewyposażonych w instalację chłodzenia, Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej.

Termomodernizacja budynków

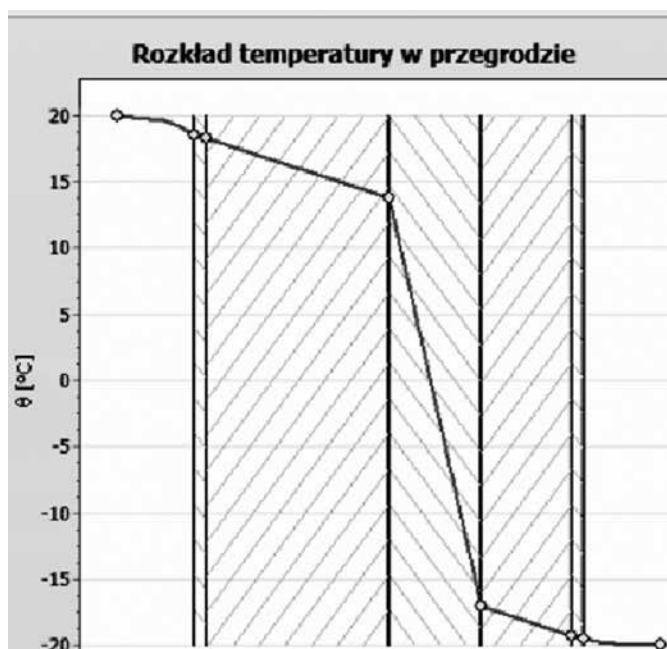
Sebastian Górka

Ochrona cieplna budynków

Wymiana ciepła w budynku

Przepływ ciepła przez przegrody budowlane nieprzezroczyste

Model wymiany ciepła wewnątrz ciał stałych wyłącznie przez przewodzenie przyjmowany jest w odniesieniu do materiałów nieprzezroczystych, na powierzchni których promieniowanie może być wypromieniowane lub pochłaniane, natomiast wewnątrz przegrody występuje tylko przewodzenie ciepła.



Rysunek 1. Rozkład temperatury w przegrodzie (wykonane w programie Audytor OZC)

Symbol	d	Opis materiału	λ	ρ	c _p	R
	m		W/(m·K)	kg/m ³	kJ/(kg·K)	m ² ·K/W
TYNK-CW	0,0150	Tynk lub gładź cementowo-wapienna.	0,820	1850	0,840	0,018
CEGLA-DZIU	0,2400	Mur z cegły dziurawki na zaprawie cement	0,620	1400	0,880	0,387
STYROPIAN	0,1200	Styropian - inne przypadki.	0,045	30	1,460	2,667
CEGLA-DZIU	0,1200	Mur z cegły dziurawki na zaprawie cement	0,620	1400	0,880	0,194
TYNK-CW	0,0150	Tynk lub gładź cementowo-wapienna.	0,820	1850	0,840	0,018

Rysunek 2. Tabela warstw przegrody (wykonane w programie Audytor OZC)

Przewodność cieplna λ określana jest doświadczalnie. Charakteryzuje poszczególne materiały budowlane i służy do wyznaczania współczynnika przenikania ciepła U. Wyznacza się ją z zależności:

$$\lambda = \frac{Q_d}{S\Delta\tau(t_1 - t_1)},$$

- gdzie:
- Q_d — ilość ciepła, która przepłynęła przez próbkę,
 - S — pole powierzchni,
 - d — grubość próbki,
 - t₁ — temperatura cieplejszej powierzchni próbki,
 - t₂ — temperatura chłodniejszej powierzchni próbki,
 - τ — czas badania.

Tabela 1. Podstawowe określenia dotyczące przenoszenia ciepła, ich definicje i jednostki miary

Wielkość i oznaczenia	Definicja	Jednostka
Ilość ciepła, Q		J
Strumień cieplny, ψ	Ilość ciepła przepływająca do lub z układu, podzielona przez czas: ψ = dQ/dt	W
Gęstość strumienia cieplnego, q	Strumień cieplny podzielony przez pole powierzchni: q = dψ/dA	W/m ²
Liniowa gęstość strumienia cieplnego, q _l	Strumień cieplny podzielony przez długość: q _l = dψ/dl	W/m
Współczynnik przewodzenia ciepła, λ	Wielkość zdefiniowana zależnością: q = -λ.grad t	W/(m · K)
Opór cieplny, R	Różnica temperatury podzielona przez gęstość strumienia cieplnego w stanie ustalonym: R = (t ₁ - t ₂)/q	m ² · K/W
Współczynnik przejmowania ciepła, h	Gęstość strumienia cieplnego przepływającego przez powierzchnię w stanie ustalonym podzielona przez różnicę temperatury między powierzchnią a otoczeniem: h = q/(t _s - t _a)	W/(m ² · K)
Współczynnik przenikania ciepła, U	Strumień cieplny w stanie ustalonym podzielony przez pole powierzchni i przez różnicę temperatury otoczenia po obu stronach układu: U = ψ/(t ₁ - t ₂)A	W/(m ² · K)

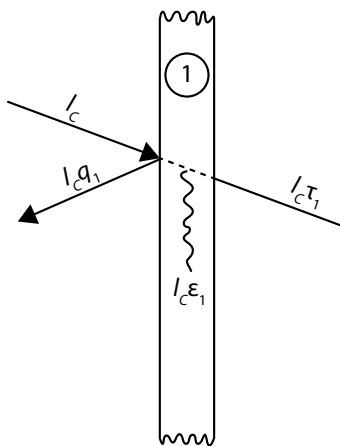
Wielkość i oznaczenia	Definicja	Jednostka
Liniowy współczynnik przenikania ciepła, U_f	Strumień ciepły w stanie ustalonym podzielony przez długość i przez różnicę temperatury otoczenia po obu stronach układu: $U_f = \psi / (t_1 - t_2) / l$	W/(m · K)
Pojemność cieplna, C	Wielkość zdefiniowana równaniem: $C = dQ/dt$	J/K
Ciepło właściwe, c	Pojemność cieplna podzielona przez masę	J/(kg · K)

Przepływ energii przez przegrody przezroczyste

W przegrodach przezroczystych występuje złożony przepływ ciepła. Promieniowanie słoneczne padające na powierzchnię przegrody ulega częściowemu odbiciu, częściowej absorpcji i częściowo jest przepuszczane.

W praktyce obliczeniowej posługujemy się współczynnikiem przepuszczalności ciepła TR .

Odpowiedni dobór przenikalności cieplnej okien oraz współczynnika TR pozwala na uzyskanie dodatniego bilansu cieplnego okien w sezonie grzewczym.



Rysunek 3. Przechodzenie promieniowania słonecznego przez pojedynczą szybę

Współczynniki przenikania ciepła przegród budowlanych wg PN EN ISO 6946

Norma PN EN ISO 6946 jest tłumaczeniem normy europejskiej EN ISO 6946. Zastępuje ona Polską Normę PN-91/B-02020. Norma zawiera w sobie metodykę obliczeń oporu cieplnego oraz współczynnika przenikania ciepła komponentów i elementów budowlanych z wyłączeniem stolarki otworowej (okna, drzwi, świetliki, wrota), komponentów, przez które odbywa się wymiana ciepła z gruntem oraz przez które odbywa się nawiew powietrza.

Do obliczeń przyjmuje się wartości obliczeniowego współczynnika przewodzenia ciepła lub oporu cieplnego wyrobów i materiałów budowlanych.

Norma, oprócz metodyki obliczeniowej współczynników przenikania ciepła oraz oporu cieplnego, zawiera w załącznikach krajowych wartości liniowych mostków cieplnych, wartości obliczeniowe współczynników przewodzenia ciepła, obliczeniowe wartości współczynnika przenikania ciepła dla okien, świetlików, wrót i drzwi oraz wartości oporu cieplnego gruntu wraz z określeniem współczynnika przenikania ciepła dla przegród przylegających do gruntu.

Metoda obliczeń stosowana jest do komponentów składających się z warstw jednorodnych. Wyjątkiem jest zawarta w normie metoda uproszczona obliczeń dla warstw niejednorodnych, możliwa do zastosowania jedynie w przypadku, gdy przez warstwę izolacyjną nie przechodzi metal.

Definicje występujące w normie:

- **Element budynku** — główna część budynku, np. ściana strop lub dach.
- **Komponent budowlany** — element budynku lub jego część. Słowo „komponent” w normie obejmuje zarówno element, jak i komponent.
- **Obliczeniowa wartość cieplna** — wartość współczynnika przewodzenia ciepła lub oporu cieplnego. Do danego wyrobu może odnosić się kilka wartości obliczeniowych dotyczących różnych zastosowań lub warunków środowiskowych.
- **Obliczeniowy współczynnik przewodzenia ciepła** — wartość współczynnika przewodzenia ciepła materiału lub wyrobu budowlanego w określonych warunkach wewnętrznych i zewnętrznych, jakie można uważać za typowe dla właściwości użytkowej tego wyrobu wbudowanego w komponent budowlany.
- **Obliczeniowy opór cieplny** — wartość oporu cieplnego wyrobu budowlanego w określonych warunkach wewnętrznych i zewnętrznych, jakie można uważać za typowe dla właściwości użytkowej tego wyrobu wbudowanego w komponent budowlany.
- **Warstwa jednorodna cieplnie** — warstwa o stałej grubości, o właściwościach cieplnych jednorodnych lub takich, które można uważać za jednorodne.

Symbole:

- A — pole powierzchni [m^2],
- R — obliczeniowy opór cieplny [$m^2 \cdot K/W$],
- R_g — opór cieplny przestrzeni powietrznej [$m^2 \cdot K/W$],
- R_{se} — opór przejmowania ciepła na zewnętrznej powierzchni [$m^2 \cdot K/W$],
- R_{si} — opór przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni [$m^2 \cdot K/W$],
- R_T — całkowity opór cieplny (środowisko do środowiska) [$m^2 \cdot K/W$],
- R'_T — kres górny całkowitego oporu cieplnego [$m^2 \cdot K/W$],
- R''_T — kres dolny całkowitego oporu cieplnego [$m^2 \cdot K/W$],
- R_U — efektywny opór cieplny przestrzeni nieogrzewanej [$m^2 \cdot K/W$],
- U — współczynnik przenikania ciepła [$W/(m^2 \cdot K)$],
- d — grubość [m],
- h — współczynnik przejmowania ciepła [$W/(m^2 \cdot K)$],
- λ — obliczeniowy współczynnik przewodzenia ciepła [$W/(m \cdot K)$].

Metodyka obliczeń

Obliczenia składają się z dwóch podstawowych kroków:

- **krok 1:** obliczenie oporu cieplnego dla poszczególnych jednorodnych części komponentu,
- **krok 2:** zsumowanie oporów cieplnych obliczonych w kroku 1 z ewentualnym uwzględnieniem oporów przejmowania ciepła w celu uzyskania całkowitego oporu cieplnego komponentu.

Jeżeli istnieje konieczność, to dla wartości współczynnika przenikania ciepła U można uwzględnić dodatki związane z nieszczelnościami izolacji, łącznikami mechanicznymi przechodzącymi przez warstwę izolacji oraz zawilgoceniem dachów odwróconych w wyniku opadów atmosferycznych.

Wszystkie warstwy powietrza traktuje się jako warstwy jednorodne.

Opory przejmowania ciepła, warstw jednorodnych oraz warstw powietrza

Aby dokonać obliczeń oporu cieplnego dla komponentu budowlanego, należy wyznaczyć opory cieplne warstw jednorodnych wchodzących w skład komponentu, opory przejmowania ciepła po stronie wewnętrznej i zewnętrznej oraz — jeżeli to konieczne — opory cieplne warstw powietrza.

Norma w swoim zakresie podaje wartości oporu cieplnego warstw powietrza ograniczonych powierzchniami wzajemnie równoległymi, prostopadłymi do kierunku przepływu ciepła i o emisyjności nie niższej niż 0,8, o grubości w kierunku przepływu ciepła mniejszej niż 0,1 każdego z pozostałych wymiarów i nie większej niż 0,3 m. Warstwa nie może wymieniać powietrza ze środowiskiem wewnętrznym. Jeżeli warunki nie są spełnione, to opór cieplny warstwy powietrza należy obliczyć zgodnie z załącznikiem B normy.

Jeżeli warstwa powietrza jest grubsza niż 0,3 m, to zaleca się obliczyć strumień cieplny z bilansu cieplnego.

Opór warstwy jednorodnej

Do otrzymania wartości obliczeniowego oporu cieplnego konieczne jest uzyskanie danych dotyczących grubości warstwy materiału w komponencie oraz współczynnika przenikania ciepła.

Obliczeń dokonuje się według wzoru:

$$R = d/\lambda,$$

gdzie:

d — grubość warstwy materiału w komponencie,

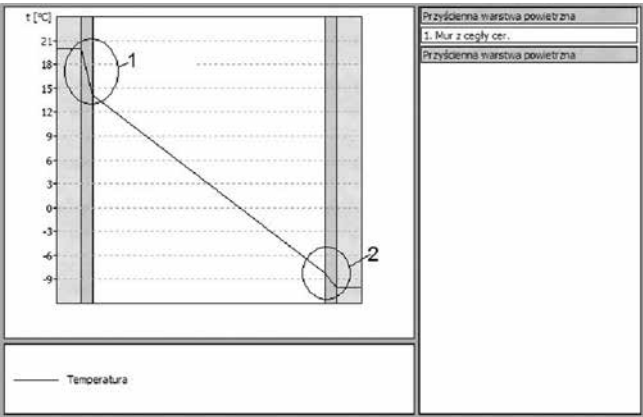
λ — obliczeniowy współczynnik przewodzenia ciepła materiału, obliczony zgodnie z ISO/DIS 10456.2 lub przyjęty z tablic.

Jeżeli wartości oporu cieplnego warstwy jednorodnej będzie stosowana w innych obliczeniach, to wynik należy podać z dokładnością do co najmniej trzech cyfr znaczących.

Opory przejmowania ciepła

Opór przejmowania ciepła w_a w praktyce najczęściej przyjmuje się na podstawie danych tabelarycznych znajdujących się w normie.

Wartość oporu przejmowania ciepła zależy w głównej mierze od kierunku przepływu ciepła (w górę, w dół, poziomy). W przypadku gdy kierunek strumienia cieplnego jest odchylony do $\pm 30^\circ$ od płaszczyzny poziomej do wartości oporu przejmowania ciepła, wartość oporu przejmowania ciepła przyjmujemy dla kierunku poziomego.



Rysunek 4. Wykres spadku temperatury w przegrodzie budowlanej (cegła 38 cm): 1 — spadek wartości temperatury w przyściennej warstwie powietrza związany z oporem przejmowania ciepła po stronie wewnętrznej, 2 — spadek wartości temperatury w przyściennej warstwie powietrza związany z oporem przejmowania ciepła po stronie zewnętrznej

Tabela 2. Opory przejmowania ciepła [m² · K/W]

	Kierunek strumienia ciepłego		
	W górę	Poziomy	W dół
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Opór cieplny niewentylowanej warstwy powietrza

Niewentylowaną warstwą powietrza jest warstwa powietrza:

- w której nie umożliwiono specjalnie przepływu powietrza,
- która nie posiada izolacji cieplnej między nią a środowiskiem zewnętrznym, z małymi otworami do środowiska zewnętrznego,
- w której ww. otwory nie są przewidziane do stałego przepływu powietrza przez warstwę, a ich pole nie przekracza 500 mm² na metr długości (dla pionowych warstw powietrza) oraz nie przekracza 500 mm² na metr kwadratowy powierzchni (dla poziomych warstw powietrza).

Tabela 3. Opór cieplny (w m² · K/W) niewentylowanych warstw powietrza

Grubość warstwy powietrza [mm]	Kierunek strumienia ciepłego		
	W górę	Poziomy	W dół
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17

Grubość warstwy powietrza [mm]	Kierunek strumienia ciepłego		
	W górę	Poziomy	W dół
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

Uwaga:

Wartości pośrednie można otrzymać przez interpolację liniową.

Wartości dotyczące kierunku poziomego stosuje się w przypadku kierunku przepływu strumienia ciepłego odchylonych o $\pm 30^\circ$ od płaszczyzny poziomej.

Słabo wentylowana warstwa powietrza

Słabo wentylowaną warstwą powietrza jest warstwa powietrza, w której:

- jest możliwy ograniczony przepływ powietrza zewnętrznego,
- dla pionowych warstw powietrza pole powierzchni otworów wentylacyjnych zawarte jest w granicach $>500 \text{ mm}^2$, ale $\leq 1500 \text{ mm}^2$ na metr długości,
- dla poziomych warstw powietrza pole powierzchni otworów wentylacyjnych zawarte jest w granicach $>500 \text{ mm}^2$, ale $\leq 1500 \text{ mm}^2$ na metr kwadratowy powierzchni.

Dla słabo wentylowanej warstwy powietrza obliczeniowy opór cieplny przyjmuje się jako połowę wartości oporu dla niewentylowanej warstwy powietrza. W przypadku gdy opór cieplny między warstwą powietrza a środowiskiem zewnętrznym przekracza $0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, obliczoną wartość należy zastąpić wartością $0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Dobrze wentylowana warstwa powietrza

Dobrze wentylowaną warstwą powietrza jest warstwa powietrza, w której:

- dla pionowych warstw powietrza pole powierzchni otworów wentylacyjnych przekracza 1500 mm^2 na metr długości,
- dla poziomych warstw powietrza pole powierzchni otworów wentylacyjnych przekracza 1500 mm^2 na metr kwadratowy powierzchni.

W przypadku komponentów z dobrze wentylowaną warstwą powietrza pomija się wartość oporu dla warstwy powietrza i innych warstw znajdujących się między warstwą powietrza a środowiskiem zewnętrznym. Do całkowitego oporu cieplnego komponentu należy wówczas doliczyć wartość zewnętrznego oporu przejmowania ciepła, odpowiadającą nieruchomemu powietrzu, czyli równą oporowi przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni komponentu.

Całkowity opór cieplny przegrody

Wartość całkowitego oporu cieplnego płaskiego komponentu budowlanego składającego się z warstw jednorodnych, prostopadłych do kierunku przepływu ciepła oblicza się jako sumę oporów przejmowania ciepła i obliczeniowych oporów warstw jednorodnych i warstw powietrza:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} [\text{m}^2 \cdot \text{K/W}],$$

gdzie:

R_{si} — opór przejmowania ciepła po stronie wewnętrznej,

$R_1, R_2, \dots, R_n$ — obliczeniowe opory cieplne poszczególnych warstw,

R_{se} — opór przejmowania ciepła po stronie zewnętrznej.

W przypadku gdy obliczeniom poddaje się wewnętrzne komponenty budowlane lub komponenty pomiędzy środowiskiem wewnętrznym a przestrzenią nieogrzewaną, to opór przejmowania ciepła po stronie zewnętrznej R_{se} zastępujemy oporem przejmowania ciepła po stronie wewnętrznej R_{si} .

Współczynnik przenikania ciepła

Współczynnik przenikania ciepła jest odwrotnością oporu cieplnego:

$$U = 1/R_T \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{K)]}.$$

Jeżeli istnieje taka konieczność, do współczynnika przenikania ciepła można doliczyć poprawki związane z występującymi mostkami cieplnymi. Jeżeli całkowita poprawka jest mniejsza niż 3% wartości U , to poprawki nie są wymagane.

Jeżeli współczynnik U przedstawia się jako wynik końcowy, to należy zaokrąglić go do dwóch cyfr znaczących i podać informację o danych wejściowych do obliczeń.

Poprawki do współczynnika przenikania ciepła

Do współczynnika przenikania ciepła U należy stosować poprawki związane z:

- nieszczelnościami w warstwie izolacji ΔU_g ,
- łącznikami mechanicznymi przebijającymi warstwę izolacji ΔU_f ,
- opadami na dach o odwróconym układzie warstw (warstwa izolacji znajduje się powyżej pokrycia) ΔU_r .

Skorygowany współczynnik przewodzenia ciepła U_c oblicza się, dodając wartości korekcyjne ΔU :

$$U_c = U + \Delta U = U + \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r.$$

Poprawka na nieszczelności ΔU_g

Poprawkę na nieszczelności wyznacza się z zależności:

$$\Delta U_g = \Delta U''(R_1/R_T),$$

gdzie:

$\Delta U''$ — poprawka na nieszczelności,

R_1 — opór cieplny warstwy zawierającej nieszczelności,

R_T — całkowity opór cieplny komponentu.

Tabela 4. Opis nieszczelności

Poziom	$\Delta U''$	Opis nieszczelności
0	0,00	Izolacja jest tak ułożona, że nie jest możliwa cyrkulacja powietrza po cieplejszej stronie izolacji. Brak nieszczelności przechodzących przez całą warstwę izolacji.
1	0,01	Izolacja jest tak ułożona, że nie jest możliwa cyrkulacja powietrza po cieplejszej stronie izolacji. Nieszczelności mogą przechodzić przez całą warstwę izolacji.
2	0,04	Występuje ryzyko cyrkulacji powietrza po cieplejszej stronie izolacji. Nieszczelności mogą przechodzić przez całą warstwę izolacji.

Poprawka na łączniki mechaniczne ΔU_f

Poprawkę na łączniki mechaniczne wyznacza się z zależności:

$$\Delta U_f = \alpha \cdot \lambda_f \cdot n_f \cdot A_f$$

gdzie:

α — współczynnik związany z typem łącznika [m^{-1}],

λ_f — współczynnik przewodzenia ciepła łącznika [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$],

n_f — liczba łączników na metr kwadratowy [m^{-2}],

A_f — pole przekroju poprzecznego jednego łącznika [m^2].

Tabela 5. Typ łącznika a współczynnik α

Typ łącznika	α
Kotwa ścienna między warstwami muru	6
Łącznik do płyt dachowych	5

Poprawki nie wprowadza się, gdy:

- kotwy ścienne przechodzą przez pustą szczelinę,
- kotwy ścienne znajdują się między warstwą muru i drewnianymi słupkami,
- współczynnik przewodzenia ciepła łącznika lub jego części jest mniejszy niż $1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

Procedura wyznaczania poprawki na łączniki mechaniczne nie ma zastosowania w przypadku, gdy obydwa końce łącznika stykają się z blachami metalowymi.

Metoda obliczania całkowitego oporu cieplnego komponentu składającego się z warstw cieplnie jednorodnych i niejednorodnych:

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2},$$

gdzie:

R'_T — kres górny całkowitego oporu cieplnego,

R''_T — kres dolny całkowitego oporu cieplnego.

Kres górny całkowitego oporu cieplnego (R_T):

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_q}{R_{Tq}},$$

gdzie:

$R_{Ta}, R_{Tb}, \dots, R_{Tq}$ — całkowite opory cieplne od środowiska do środowiska każdego wycinka,
 $f_a, f_b, \dots, f_q$ — względne pola powierzchni każdego wycinka.

Kres dolny całkowitego oporu cieplnego (R_T):

Równoważny opór cieplny R_j każdej warstwy niejednorodnej cieplnie wyraża się wzorem:

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \dots + \frac{f_q}{R_{qj}} \text{ lub } R_j = \frac{d_j}{\lambda''_j},$$

gdzie:

$R_{aj}, R_{bj}, \dots, R_{qj}$ — równoważne opory cieplne każdego wycinka,
 $f_a, f_b, \dots, f_q$ — względne pola powierzchni każdego wycinka,
 λ''_j — równoważny współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda''_j = \lambda_{aj}f_a + \lambda_{bj}f_b + \dots + \lambda_{qj}f_q$.

Kres dolny całkowitego oporu cieplnego wyraża się wzorem:

$$R''_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_i + R_{se},$$

gdzie: R_{si}, R_{se} — opory przejmowania ciepła [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$].

Cechy geometryczne, wymiarowe, mostki termiczne i metody obliczania

Zgodnie z zapisami Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, maksymalne wartości EP rocznego wskaźnika obliczeniowego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz chłodzenia, w zależności od współczynnika kształtu budynku A/V_e , wynoszą:

1. W budynkach mieszkalnych do ogrzewania i wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej (EP_{H+W}) w ciągu roku:

- dla $A/V_e \leq 0,2$; $EP_{H+W} = 73 + \Delta EP$ [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$],
- dla $0,2 \leq A/V_e \leq 1,05$; $EP_{H+W} = 55 + 90 \cdot (A/V_e) + \Delta EP$ [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$],
- dla $A/V_e \geq 1,05$; $EP_{H+W} = 149,5 + \Delta EP$ [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$],

gdzie:

$\Delta EP = \Delta EP_W$ — dodatek na jednostkowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do przygotowania ciepłej wody użytkowej w ciągu roku:

$$\Delta EP_W = 7800 / (300 + 0,1 \cdot A_f) \text{ [kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})],$$

A — suma pól powierzchni wszystkich przegród budynku, oddzielających część ogrzewaną budynku od powietrza zewnętrznego, gruntu i przyległych pomieszczeń nieogrzewanych, liczona po obrysie zewnętrznym,

V_e — kubatura ogrzewanej części budynku, pomniejszona o podcienia, balkony, loggie, galerie itp., liczona po obrysie zewnętrznym,

A_f — powierzchnia użytkowa ogrzewana budynku (lokalu);

2. W budynkach mieszkalnych do ogrzewania, wentylacji i chłodzenia oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej (EP_{HC+W}) w ciągu roku:

$$EP_{HC+W} = EP_{H+W} + (5 + 15 \cdot A_{w,e}/A_f) (1 - 0,2 \cdot A/V_e) \cdot A_{f,c}/A_f [\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})],$$

gdzie:

EP_{H+W} — wartości według zależności podanej w punkcie 1,

$A_{w,e}$ — powierzchnia ścian zewnętrznych budynku liczona po obrysie zewnętrznym,

$A_{f,c}$ — powierzchnia użytkowa chłodzona budynku (lokalu),

A_f — powierzchnia użytkowa ogrzewana budynku (lokalu),

V_e — kubatura ogrzewanej części budynku, pomniejszona o podcienia, balkony, loggie, galerie itp., liczona po obrysie zewnętrznym.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej wartość współczynnika przenikania ciepła przez podłogę na gruncie U_{gr} należy określić według PN-EN 12831:2006, biorąc pod uwagę:

- wielkość zagłębienia poniżej terenu z ,
- wielkość współczynnika przenikania ciepła U dla konstrukcji podłogi, obliczonego według zasad podanych w normie PN-EN ISO 6946:2008, z uwzględnieniem oporu przejmowania ciepła od strony wewnętrznej budynku i z pominięciem oporu przejmowania ciepła od strony gruntu,
- wielkość parametru B' , który określa się z zależności:

$$B' = A_g/0,5P,$$

gdzie:

A_g — powierzchnia rozpatrywanej płyty podłogowej łącznie ze ścianami zewnętrznymi i wewnętrznymi; w odniesieniu do wolnostojącego budynku A_g jest całkowitą powierzchnią rzutu parteru, a w odniesieniu do budynku w zabudowie szeregowej A_g jest powierzchnią rzutu parteru rozpatrywanego budynku [m^2];

P — obwód rozpatrywanej płyty podłogowej; w odniesieniu do budynku wolnostojącego P jest całkowitym obwodem budynku, a w odniesieniu do budynku w zabudowie szeregowej P odpowiada jedynie sumie długości ścian zewnętrznych oddzielających rozpatrywaną przestrzeń ogrzewaną od środowiska zewnętrznego [m].

Obliczenia rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną

Wyznaczenie wskaźnika EP i EK :

$$EP = Qp/A_f [\text{kWh}/\text{m}^2],$$

$$EK = (Q_{K,H} + Q_{K,W})/A_f [\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})],$$

gdzie:

Q_p — roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną dla ogrzewania i wentylacji, przygotowania ciepłej wody oraz napędu urządzeń pomocniczych [kWh/rok],

A_f — powierzchnia ogrzewana (o regulowanej temperaturze) budynku lub lokalu mieszkalnego [m²],

$Q_{K,H}$ — roczne zapotrzebowanie na energię końcową przez system grzewczy i wentylacyjny do ogrzewania i wentylacji [kWh/rok],

$Q_{K,W}$ — roczne zapotrzebowanie na energię końcową przez system do podgrzania ciepłej wody [kWh/rok].

Współczynniki strat ciepła przez przenikanie należy obliczać ze wzoru:

$$H_{tr} = \sum_i [b_{tr,i} \cdot (A_i \cdot U_i + \sum_i l_i \cdot \Psi_i)] \text{ [W/K]},$$

gdzie:

$b_{tr,i}$ — współczynnik redukcyjny obliczeniowej różnicy temperatur i -tej przegrody; dla przegród pomiędzy przestrzenią ogrzewaną i środowiskiem zewnętrznym $b_{tr} = 1$;

A_i — pole powierzchni i -tej przegrody otaczającej przestrzeń o regulowanej temperaturze, obliczanej według wymiarów zewnętrznych przegrody (wymiarzy okien i drzwi przyjmuje się jako wymiary otworów w ścianie) [m²];

U_i — współczynnik przenikania ciepła i -tej przegrody pomiędzy przestrzenią ogrzewaną i stroną zewnętrzną, obliczany w przypadku przegród nieprzezroczystych według normy PN-EN ISO 6946, w przypadku okien, świetlików i drzwi przyjmuje się według Aprobaty Technicznej lub zgodnie z normą wyrobu PN-EN 14351-1, w odniesieniu do ścian osłonowych metalowo-szklanych według Aprobaty Technicznej lub zgodnie z normą wyrobu PN-EN 13830, a w przypadku podłogi na gruncie przyjmowany jako U_{gr} [W/(m² · K)];

l_i — długość i -tego liniowego mostka cieplnego [m];

Ψ_i — liniowy współczynnik przenikania ciepła mostka cieplnego przyjęty według PN-EN ISO 14683:2008 lub obliczony zgodnie z PN-EN ISO 10211:2008 [W/(m · K)].

Wartości miesięcznych zysków ciepła od nasłonecznienia przez okna w przegrodach pionowych budynku należy obliczać ze wzoru:

$$Q_{s1,s2} = \sum_i C_i \cdot A_i \cdot I_i \cdot g \cdot k_\alpha \cdot Z \text{ [kWh/mies.]},$$

gdzie:

C_i — udział pola powierzchni płaszczyzny szklonej do całkowitego pola powierzchni okna jest zależny od wielkości i konstrukcji okna; wartość średnia wynosi 0,7;

A_i — pole powierzchni okna lub drzwi balkonowych w świetle otworu w przegrodzie [m²];

I_i — wartość energii promieniowania słonecznego w rozpatrywanym miesiącu na płaszczyznę pionową, w której usytuowane jest okno o powierzchni A_p , według danych dotyczących najbliższego punktu pomiarów promieniowania słonecznego [kWh/(m² · m-c)];

g — współczynnik przepuszczalności energii promieniowania słonecznego przez oszklenie;

k_α — współczynnik korekcyjny wartości I_i ze względu na nachylenie płaszczyzny połaci dachowej do poziomu; dla ściany pionowej $k_\alpha = 1,0$;

Z — współczynnik zacienienia budynku ze względu na jego usytuowanie oraz przesłony na elewacji budynku.

Wyznaczenie wskaźnika EP dla ogrzewania

$$EP_H = Q_{P,H}/A_f [\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})],$$

gdzie: $Q_{P,H}$ — roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną dla ogrzewania i wentylacji, przygotowania ciepłej wody oraz napędu urządzeń pomocniczych $[\text{kWh}/\text{rok}]$.

Przy braku danych powierzchnię A_f w przybliżeniu można wyznaczyć z zależności:

$$A_f = (1/h_K - 0,04) \cdot V_e [\text{m}^2],$$

gdzie:

h_K — wysokość kondygnacji brutto (wraz ze stropem) $[\text{m}]$,

V_e — kubatura zewnętrzna części ogrzewanej budynku $[\text{m}^3]$.

Roczne zapotrzebowanie ciepła użytkowego do ogrzewania i wentylacji

Wartość rocznego zapotrzebowania ciepła do ogrzewania i wentylacji budynku lub lokalu mieszkalnego $Q_{H,nd}$ należy obliczać zgodnie ze wzorem:

$$Q_{H,nd} = S_{th}(H_{tr} + H_{ve}) - \eta_{H,s}(Q_{int} + Q_{sol}) [\text{kWh}/\text{rok}].$$

Współczynnik strat ciepła przez przenikanie wyznacza się według wzoru:

$$H_{tr} = \sum_i (b_{tr,i} \cdot A_i \cdot U_i) + \sum_i \Delta U_{tb,i} \cdot A_i [\text{W}/\text{K}],$$

gdzie:

$Q_{H,nd}$ — ilość ciepła niezbędna na pokrycie potrzeb ogrzewczych budynku (lokalu mieszkalnego, strefy) w okresie miesięcznym lub rocznym $[\text{kWh}/\text{rok}]$;

S_{th} — stopniogodziny sezonu ogrzewczego, według danych klimatycznych dla stacji meteorologicznej najbliższej lokalizacji budynku $[\text{kWh}/\text{rok}]$;

H_{tr} — współczynnik strat ciepła przez przenikanie dla sezonu ogrzewczego $[\text{W}/\text{K}]$;

H_{ve} — współczynnik strat ciepła przez wentylację dla sezonu ogrzewczego $[\text{W}/\text{K}]$;

Q_{int} — wewnętrzne zyski ciepła dla sezonu ogrzewczego $[\text{kWh}/\text{rok}]$;

Q_{sol} — zyski ciepła od promieniowania słonecznego przenikającego do przestrzeni ogrzewanej budynku przez przegrody przezroczyste dla sezonu ogrzewczego $[\text{kWh}/\text{rok}]$;

$b_{tr,i}$ — współczynnik redukcyjny obliczeniowej różnicy temperatur i -tej przegrody:

ściany zewnętrzne $b_{tr} = 1,0$;

— dach jako granica systemu $b_{tr} = 1,0$;

— ostatnia kondygnacja (poddasze nieużytkowe) $b_{tr} = 0,8$;

— ściany i stropy przyległe do nieogrzewanych pomieszczeń $b_{tr} = 0,5$;

— strop piwnicy, ściany nieogrzewanych piwnic $b_{tr} = 0,6$;

— podłoga na gruncie $b_{tr} = 0,6$;

A_i — pole powierzchni i -tej przegrody otaczającej przestrzeń o regulowanej temperaturze, obliczanej według wymiarów zewnętrznych przegrody (wymiały okien i drzwi przyjmuje się jako wymiały otworów w ścianie) $[\text{m}^2]$;

U_i — współczynnik przenikania ciepła i -tej przegrody pomiędzy przestrzenią ogrzewaną i stroną zewnętrzną, obliczany w przypadku przegród nieprzezroczystych według normy PN

EN ISO 6946, w przypadku okien, świetlików i drzwi według Aprobaty Technicznej, a w przypadku podłogi na gruncie przyjmowany jako U_{gr} [$W/(m^2 \cdot K)$];

ΔU_{tb} — dodatek uwzględniający udział mostków cieplnych [$W/(m^2 \cdot K)$]:

- $\Delta U_{tb} = 0,15 W/(m^2 \cdot K)$ — dla budynku nieocieplonego z balkonami,
- $\Delta U_{tb} = 0,10 W/(m^2 \cdot K)$ — dla budynku nieocieplonego bez balkonów,
- $\Delta U_{tb} = 0,05 W/(m^2 \cdot K)$ — dla budynku częściowo ocieplonego;

$\eta_{H,s}$ — sezonowy współczynnik efektywności wykorzystania zysków w trybie ogrzewania,

$\eta_{H,s} = 0,95$.

Tabela 6. Składniki powierzchni użytkowej

Powierzchnie pomieszczeń i innych elementów mieszkania	Wg NTP-1959	Wg NTP-1974	Wg PN-69/B-02360	Wg PN-ISO 9836:1997
Pomieszczenia mieszkalne (pokoje i alkowy sypialne)	P_p	P_p	P_p	P_p
Kuchnie i wnęki kuchenne	— Do $8m^2$ do P_d — Część ponad $8m^2$ wlicza się do P_p	P_d	P_d	P_d
Komunikacja wewnętrzna (hol, przedpokój, korytarz)	P_d	P_d	P_d	P_d
Pomieszczenia higieniczno-sanitarne (łazienki, WC)	P_d	P_d	P_d	P_d
Powierzchnie składowania (szafy wbudowane, garderoby), nie licząc pawlaczy	P_d	P_d	P_d	P_d
Balkony	Nie wlicza się do P_u	Nie wlicza się do P_u	Nie wlicza się do P_u	Zalicza się w 100% do P_u , ale wykazuje oddzielnie
Loggie	50% powierzchni zalicza się do P_u (jako P_d)	Nie wlicza się w ogóle do P_u	Nie wlicza się do P_u	Zalicza się w 100% do P_u , ale wykazuje oddzielnie
Komórki lokatorskie poza obrębem mieszkania	Nie wlicza się do P_u	Nie wlicza się do P_u	Nie wlicza się do P_u , lecz do P_g	Nie wlicza się do P_u , lecz do P_g

P_p — powierzchnia podstawowa,

P_d — powierzchnia pomocnicza,

P_u — powierzchnia użytkowa.

P_g — powierzchnia usługowa

Tabela 7. Zakres stosowania Polskich Norm

Wg PN-70/B-02365	Wg PN-ISO 9836:1997
— Do ustalania jednolitych zasad podziału powierzchni budynków przy opracowaniu normatywów i wytycznych projektowania budynków. — Do określania jednolitych zasad obliczania powierzchni budynków przy ich projektowaniu i realizacji. — Do określania i oceny porównawczych wskaźników powierzchniowych budynków. — Do prac statystycznych.	— Do ustalenia wymagań użytkowych i technicznych dotyczących przestrzennego kształtu (wielkości) i funkcji budynku. — Do opracowania dokumentacji technicznej oraz oceny porównawczej i sprawdzania parametrów i wskaźników techniczno-ekonomicznych. — Do oceny budynku pod względem funkcjonalnym, technicznym i ekonomicznym.
Uwagi do ustaleń PN	
W normie PN-70/B-02365 brakuje wskazania, że obliczenie określonych rodzajów powierzchni może służyć do obliczenia kosztu jednostkowego 1 m ² powierzchni, kosztu (wartości) budynku i lokali oraz kosztu ich utrzymania.	W normie PN-ISO 9836:1997 brakuje wskazania, że obliczenie określonych rodzajów powierzchni może służyć do obliczenia kosztu jednostkowego 1 m ² powierzchni, kosztu (wartości) budynku i lokali oraz kosztu ich utrzymania. Ponadto brak wskazania możliwości i zakresu zastosowania obliczeń powierzchni do prac statystycznych.

Tabela 8. Nazwy i symbole powierzchni według Polskich Norm

Wg PN-70/B-02365		Wg PN-ISO 9836:1997	
Rodzaj powierzchni	Symbol wg PN	Rodzaj powierzchni	Propozycja autorska symbolu
Powierzchnia zabudowana	<i>Pz</i>	Powierzchnia zabudowy	<i>Pz</i>
Powierzchnia całkowita	<i>Pc</i>	Powierzchnia całkowita	<i>Pc</i>
Powierzchnia konstrukcji	<i>Pk</i>	Powierzchnia konstrukcji	<i>Pk</i>
Powierzchnia netto	<i>Pn</i>	Powierzchnia netto	<i>Pn</i>
—	—	Powierzchnia wewnętrzna	<i>Pw</i>
Powierzchnia ruchu	<i>Pr</i>	Powierzchnia ruchu	<i>Pr</i>
Powierzchnia użytkowa	<i>Pu</i>	Powierzchnia użytkowa	<i>Pu</i>
Powierzchnia użytkowa podstawowa	<i>Pp</i>	Powierzchnia użytkowa podstawowa	<i>Pp</i>
Powierzchnia użytkowa pomocnicza	<i>Pd</i>	Powierzchnia użytkowa pomocnicza	<i>Pd</i>
Powierzchnia usługowa	<i>Pg</i>	Powierzchnia usługowa	<i>Pg</i>
—	—	Powierzchnia obudowy, czyli przegród zewnętrznych	<i>Po</i>
Szczególne elementy zewnętrzne budynku		Symbol powierzchni	
Cechy elementów	Przykłady	Rodzaju elementu	Łącznej elementów
Niezamknięte ze wszystkich stron i przekryte	Loggie, werandy stanowiące integralną część budynku, podcienia, ganki, krużganki (galerie przekryte)	<i>Fp</i>	<i>Fz</i> (<i>Fz</i> = <i>Fp</i> + <i>Fo</i>)
Niezamknięte ze wszystkich stron i nieprzekryte	Balkony, tarasy, galerie nieprzekryte, rampy	<i>Fo</i>	

Tabela 9. Kwalifikacja pomieszczeń

Powierzchnia użytkowa podstawowa (<i>Pp</i>)	Powierzchnia użytkowa pomocnicza (<i>Pd</i>)	Powierzchnia usługowa (<i>Pg</i>)	Powierzchnia ruchu (<i>Pr</i>)
1. Budynek jednorodzinny jednomieszkaniowy i budynek rekreacji indywidualnej			
Pokoje, salon, aneks jadalny, pracownia	Przedsiónek, hol, przedpokój (korytarz wewnętrzny), kuchnia, spiżarnia, garderoba, szafy wbudowane, WC, łazienka, schody łączące kondygnacje mieszkalne	Kotłownia domowa, skład opału, garaż wbudowany, pomieszczenia składowe i wielofunkcyjne pomieszczenia gospodarcze, korytarze, schody do piwnicy i na poddasze nieużytkowe	Nie ma żadnego uzasadnienia dla wydzielenia <i>Pr</i>
2. Budynek jednorodzinny dwumieszkaniowy i lokal mieszkalny w budynku wielorodzinnym			
Pokoje, salon, gabinet	Hol, przedpokój, kuchnia, spiżarnia, garderoba, szafy wbudowane, WC, łazienka, schody wewnętrzne w mieszkaniu dwupoziomowym	Znajdujące się poza obrębem mieszkań: pralnie domowe, suszarnie bielizny, wózkarnie, rowerownie, komórki lokatorskie, kotłownia lub węzeł ciepły, wentylatornia, komory zsypanowe	Pomieszczenia ruchu ogólnego w budynku: przedsiónek, hol wejściowy, klatki schodowe, korytarze i galerie ewakuacyjne, szyby dźwigowe
3. Budynek zamieszkania zbiorowego			
Pokoje pobytu indywidualnego i użytku zbiorowego, jak sale zajęć, konsumpcyjne, wypoczynkowe	Recepcja, bar kawowy, kiosk z prasą i napojami, pokoje kierownictwa i administracji budynku, kuchnia z zapleczem, pomieszczenia higieniczno-sanitarne, pokój pielęgniarско-zabiegowy, gabinet fryzjersko-kosmetyczny, klub fitness	Pomieszczenia magazynowe, kotłownia albo węzeł ciepły, wentylatornia, garaż wbudowany, pralnia i suszarnia bielizny	Przedsiónek, hol wejściowy, klatki schodowe, korytarze i galerie ewakuacyjne, szyby dźwigowe
4. Samodzielny garaż wielostanowiskowy (komercyjny)			
Hala ze stanowiskami postojowymi i wewnętrznymi drogami manewrowymi	Dyżurka, pomieszczenia higieniczno-sanitarne	Rozdzielnia ciepła, wentylatornia, pomieszczenie magazynowe	Wewnętrzne dojścia i dojazdy poziome i pionowe (pochylnie) niebędące drogami manewrowymi, klatki schodowe, szyby dźwigowe
5. Budynek produkcyjny			
Pomieszczenia pracy, łącznie z pasmami ruchu wewnętrznego (dojściami i przejściami)	Pokoje biurowe kierownictwa produkcji i zarządu, sale ekspozycyjne, konferencyjne i wykładowe, narzędziownia, pomieszczenia socjalne i higieniczno-sanitarne	Kotłownia wbudowana lub węzeł ciepły, wentylatornia, trafostacja wbudowana, akumulatornia, pomieszczenia magazynowo-składowe	Przejścia i przejazdy w budynku dla ruchu ogólnego, korytarze, galerie i schody ewakuacyjne, szyby dźwigowe

Powierzchnia użytkowa podstawowa (P_p)	Powierzchnia użytkowa pomocnicza (P_d)	Powierzchnia usługowa (P_g)	Powierzchnia ruchu (P_r)
6. Budynek inwentarski			
Pomieszczenie do hodowli zwierząt lub ptactwa, łącznie z wewnętrznymi pasmami obsługi	Dyżurka, narzędziownia, pa-szarnia, pomieszczenia socjalne i higieniczno-sanitarne	Kotłownia, skład paszy i sprzętu technologicznego	Schody i korytarz ewakuacyjny
7. Budynek użyteczności publicznej			
Pomieszczenia do zbiorowego użytku (uczestnictwa) i ekspozycji, sale wykładowe	Portiernia, szatnia, kiosk, pokoje biurowe zarządu i administracji, pomieszczenia socjalne i higieniczno-sanitarne, zaplecze alimentacyjne i kuchenne, pracowne konserwacyjne, archiwum	Kotłownia, rozdzielnia ciepła lub węzeł cieplny, wentylatornia, klimatyzatornia, akumulatorownia, magazyn oraz wykazany oddzielnie garaż wbudowany (podziemny lub nadziemny)	Przedsiónek, hol wejściowy, klatki schodowe, korytarze i galerie ewakuacyjne, szyby dźwigowe i schody ruchome

Tabela 10. Pojęcie i sposoby obliczania powierzchni użytkowej według Polskich Norm

Wg PN-70/B-02365		Wg PN-ISO 9836:1997	
Pkt	Pojęcie i obliczanie P_u	Pkt	Pojęcie i obliczanie P_u
3.7	Powierzchnia użytkowa jest to powierzchnia pomieszczeń służących do zaspokojenia potrzeb związanych bezpośrednio z przeznaczeniem budynku (lub jego wydzielonej części) — na wszystkich kondygnacjach	5.1.7.1	Powierzchnia użytkowa jest to część powierzchni kondygnacji netto, która odpowiada celom i przeznaczeniu budynku [...]
		5.1.7.2	Powierzchnia użytkowa określana jest oddzielnie dla każdej kondygnacji i dodatkowo dzielona zgodnie z 5.1.3.1
	Powierzchnia użytkowa budynku składa się z powierzchni podstawowej i pomocniczej	5.1.7.3	Powierzchnie użytkowe klasyfikowane są zgodnie z celem i przeznaczeniem budynków, dla których są one wznoszone. Dzieli się je zwykle na powierzchnie użytkowe podstawowe i powierzchnie użytkowe pomocnicze

Tabela 11. Zasady obmiaru pomieszczeń według Polskich Norm

Lp.	Przedmiot i sposób obmiaru	Sposób obmiaru	
		Według PN-70/B-02365	Według PN-ISO 9836:1997
1	Obmiar pomieszczenia wykonuje się na poziomie	1,00 m nad podłogą	podłogi
2	Obmiar pomieszczenia wykonuje się w świetle przegród (ścian) ograniczających	w stanie surowym, tzn. bez tynków i okładzin wykonywanych na miejscu	w stanie całkowicie wykończonym
3	Wnęki w ścianach, o powierzchni do 0,1 m ² włącznie	nie dolicza się do powierzchni pomieszczenia	jak w PN-70/B-02365
4	Wnęki w ścianach, o powierzchni powyżej 0,1 m ²	dolicza się do powierzchni pomieszczenia	nie dolicza się do powierzchni pomieszczenia
5	Przejścia w ścianach, drzwiach i oknach (balkonowych)	nie dolicza się do powierzchni pomieszczenia	jak w PN-70/B-02365
6	Pilastry i inne występy ścienne o powierzchni do 0,1 m ² włącznie	nie odejmuje się od powierzchni pomieszczenia	jak w PN-70/B-02365
7	Pilastry i inne występy ścienne o powierzchni powyżej 0,1 m ²	odejmuje się od powierzchni pomieszczenia i dolicza do powierzchni konstrukcji	nie odejmuje się od powierzchni pomieszczenia
8	Dokładność pomiarów i obliczeń: — pomiaru liniowego — obliczenia powierzchni	— do 0,01 m — do 0,1 m ²	— do 0,01 m — do 0,01 m ²

Tabela 12. Sposoby zaliczania powierzchni pomieszczeń według Polskich Norm

Lp.	Zalicza się do powierzchni pomieszczenia	Według PN-70/B-02365	Według PN-ISO 9836:1997
1	Powierzchnia o jednakowej wysokości	w 100%	w 100%
2	Część pomieszczenia o wysokości wyższej od poziomu danej kondygnacji	nie wyodrębnia się z powierzchni całego pomieszczenia	wyodrębnia się i oddzielnie liczy się powierzchnię obydwu części pomieszczenia
3	Powierzchnia pomieszczenia ze skośnym sufitem	— wysokości powyżej 2,20 m liczy się w 100%, — wysokości od 1,40 m do 2,20 m liczy się 50%, — poniżej 1,40 m nie wlicza się do powierzchni pomieszczenia	powierzchnię pomieszczenia liczy się w całości, zgodnie z powierzchnią jego podłogi, ale dzieli się ją na dwie części: — część o wysokości 1,90 m i więcej, — część o wysokości poniżej 1,90 m, która może być zaliczona wyłącznie do powierzchni pomocniczej (według § 72 ust. 1 WT-2002)
4	Powierzchnie zewnętrzne, które nie są zamknięte ze wszystkich stron, dostępne z danego pomieszczenia	nie wlicza się do powierzchni pomieszczenia (ani mieszkania lub lokalu użytkowego)	dolicza się do powierzchni pomieszczenia (mieszkania, lokalu użytkowego), wykazując oddzielnie: — powierzchnie nienakryte (balkony, tarasy), — powierzchnie nakryte (loggie)

Bibliografia

Norma PN EN ISO 6946.

Norma PN-70/B-02365.

Norma PN-EN 12831:2006.

Norma PN-EN ISO 6946:2008.

Norma PN-ISO 9836:1997.

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej.

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

Instalacje w domach pasywnych i energooszczędnych

Katarzyna Junczyk

Dom pasywny to budynek o bardzo niskim zapotrzebowaniu na energię do ogrzewania wnętrza ($15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$), 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.

Budynek pasywny jest nową ideą w podejściu do oszczędzania energii we współczesnym budownictwie. Jej innowacyjność przejawia się w tym, że skupia się ona przede wszystkim na poprawie parametrów elementów i systemów istniejących w każdym budynku zamiast na wprowadzaniu dodatkowych rozwiązań. Dzięki temu, poza zmniejszeniem zapotrzebowania na energię do ogrzewania, uzyskuje się podniesienie jakości i trwałości budynku, co powoduje zwiększenie jego wartości rynkowej.

Podstawowe parametry budynku pasywnego:

- zapotrzebowanie na ciepło na poziomie $15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ ($120 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ w budownictwie tradycyjnym),
- szczelność przy różnicy ciśnień 50 Pa na poziomie $0,6 \text{ wym./godz.}$,
- współczynnik przenikania ciepła okna $U < 0,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ i przepuszczalności energii promieniowania słonecznego $g \geq 50\%$,
- współczynnik przenikania ciepła przegród zewnętrznych $U < 0,15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$,
- rekuperacja min. 75% ,
- ograniczenie strat ciepła w procesie przygotowania i zaopatrzenia w c.w.u.,
- efektywne wykorzystanie energii elektrycznej.

Budynek niskoenergetyczny jest to obiekt, który cechuje niższe niż w przypadku tradycyjnego budownictwa zapotrzebowanie na ciepło, kształtujące się na poziomie od 30 do $60 \text{ kWh/(m}^2 \cdot \text{rok)}$. Jednakże jest to kilkakrotnie więcej niż w przypadku budynków pasywnych. Obiekty wznoszone w standardzie budynku niskoenergetycznego mają dobrą izolację przegród zewnętrznych. Powszechnie stosuje się w nich kolektory słoneczne, pompy ciepła czy gruntowe wymienniki ciepła służące do pozyskiwania energii termalnej ze źródeł alternatywnych. W odróżnieniu od budynków pasywnych budynki niskoenergetyczne wyposażane są w systemy hydraulicznego centralnego ogrzewania. Budynki wzniesione w tym standardzie potocznie nazywane są budynkami energooszczędnymi.

Budynek zeroenergetyczny charakteryzuje się tym, że nie wymaga doprowadzania z zewnątrz energii elektrycznej ani ciepłej. Podobnie jak w obiekcie pasywnym zapotrzebowanie na energię grzewczą dla takiego budynku, dzięki doskonałej izolacyjności przegród zewnętrznych, odzyskowi ciepła z wentylacji i wykorzystaniu wewnętrznych źródeł ciepła, kształtuje się na bardzo niskim poziomie. Różnica pomiędzy obydwooma standardami budownictwa polega na tym, że w budynku zeroenergetycznym, w odróżnieniu od pasywnego, zupełnie zrezygnowano z zewnętrznych źródeł energii, takich jak np. prąd z sieci elektrycznej, urządzenia opalane gazem czy olejem opałowym. Zapotrzebowanie na energię ciepłą pokrywane jest za pomocą systemów pozyskujących i gromadzących ciepło z promieniowania słonecznego. W tym celu stosuje się instalacje z kolektorami słonecznymi o dużej powierzchni oraz pojemnymi zasobnikami pozwalającymi przechowywać ciepło przez długi czas. Energia elektryczna pozyskiwana jest za pomocą ogniw fotowoltaicznych. Niekiedy pojęcie budynku zeroenergetycznego stosowane jest w stosunku do obiektów samowystarczalnych pod względem zapotrzebowania na energię grzewczą, bez uwzględniania zapotrzebowania energetycznego na inne cele.

Budynek plusenergetyczny to obiekt, w którego bilansie energetycznym zyski energetyczne przewyższają straty. Budynki takie wyposażane są w liczne kolektory słoneczne i ogniwa fotowoltaiczne. Nadmiar wytwarzanej energii elektrycznej odprowadzany jest do sieci. Pierwszy prototyp obiektu w tym standardzie, „Heliotrop”, wzniesiony został we Freiburgu Niemczech w 1994 r. przez architekta Rudolfa Discha.

Podstawowym parametrem, który ma znaczenie przy zaszeregowaniu budynków do określonej klasy, jest wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło EA [$\text{kWh/m}^2 \cdot \text{a}$], czyli liczba kilowatogodzin na metr kwadratowy powierzchni użytkowej na rok.

I tak wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło dla poszczególnych klas wynosi:

- dom zeroenergetyczny — 0,
- dom pasywny — maksymalnie 15,
- dom niskoenergetyczny — maksymalnie 45,
- dom energooszczędny — maksymalnie 70,
- dom wybudowany do 1998 r. — 90–240.

Komfort cieplny to taki poziom parametrów powietrza w pomieszczeniu, który sprawia, że przebywając w nim, nie odczuwa się dyskomfortu. Główne czynniki mające wpływ na samopoczucie w danym pomieszczeniu określają:

- wilgotność (wartość pomiędzy 30 a 70%),
- temperatura ($20\text{--}25^\circ\text{C}$),
- prędkość powietrza ($0,1\text{--}0,5$ m/s).

Wartości tych czynników odrobinę różnią się latem i zimą. Dla poczucia komfortu cieplnego istotne znaczenie ma jeszcze m.in. temperatura powierzchni przegród (podłoga, okno, ściana).

Komfort cieplny to niewielki przedział wartości wymienionych powyżej parametrów, dla którego równowaga cieplna organizmu ludzkiego zachowana jest przy minimalnym obciążeniu jego układu termoregulacyjnego.

Najważniejsze parametry wpływające na komfort cieplny:

- aktywność,
- izolacyjność ubioru,
- temperatura powietrza,
- temperatura powierzchni i przedmiotów otaczających,
- prędkość powietrza,

— wilgotność powietrza.

Komfort cieplny ma wielkie znaczenie dla dobrego samopoczucia człowieka. Jego spełnienie jest warunkiem koniecznym, choć niewystarczającym, dla uzyskania pełnego komfortu klimatycznego.

Sytuacja budownictwa pasywnego w Polsce

Obecnie jesteśmy na etapie wdrażania idei i zasad budownictwa pasywnego. Od 2006 r. budowane są pierwsze budynki pasywne. 26 września 2012 r. Rada Nadzorcza NFOŚiGW podjęła decyzję o uruchomieniu dopłat do kredytów na budowę lub zakup energooszczędnych budynków. Niemal o połowę wzrosła kwota zapowiadanego jednorazowego bezzwrotnego dofinansowania — do 50 tysięcy złotych dopłaty do budowy domu pasywnego oraz do 30 tysięcy złotych do domu energooszczędnego. Wzrosło również dofinansowanie do zakupu mieszkań w budynkach pasywnych — do 16 tysięcy złotych, a w energooszczędnych — do 11 tys. zł brutto.

NFOŚiGW wprowadził dwa standardy budynków:

- NF15 — budynek pasywny,
- NF40 — budynek energooszczędny.

Oznaczenia cyfrowe określają maksymalny jednostkowy wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową do celów ogrzewania i wentylacji [$\text{kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$].

Wentylacja

Wentylacja jest procesem zorganizowanej wymiany powietrza w pomieszczeniu w celu jego odświeżenia, przy jednoczesnym usunięciu na zewnątrz zanieczyszczeń powstających w pomieszczeniu.

Przy właściwie zaizolowanej i uszczelnionej obudowie problem ograniczenia strat ciepła na podgrzanie powietrza staje się niezwykle istotny. W budynkach o przegrodach spełniających wymagania NF15 i wyposażonych w wentylację grawitacyjną straty na podgrzanie powietrza wentylacyjnego dochodzą do 80%. W budynkach energooszczędnych najbardziej powszechna jest wentylacja mechaniczna nawiewno-wywiewna z systemem rekuperacji. Ponieważ wentylacja mechaniczna generuje dodatkowe zużycie energii do napędu wentylatorów, konieczne jest zastosowanie urządzeń odpowiedniej klasy i jakości. Ponadto centrala powinna być wyposażona w układ automatyki regulacyjnej umożliwiający dostosowanie wydajności do aktualnych potrzeb.

Tabela 1. Parametry systemu wentylacji w zależności od standardu budynku

Parametry systemu wentylacji	Strefa klimatyczna	NF40	NF15
Graniczna sprawność temperaturowego odzysku ciepła [%]	I, II, III	≥85	≥90
	IV i V	≥85	≥93
Minimalna klasa sprawności zastosowanych napędów el. w ukł. wentylacji (zgodnie z normą IEC 60034-2-1:2007)		IE2	IE3
Maksymalna wartość współczynnika poboru mocy elektrycznej [$\text{W}/(\text{m}^3/\text{h})$]		<0,40	<0,40

Parametry systemu wentylacji	Strefa klimatyczna	NF40	NF15
Maksymalna wartość współczynnika nakładu energii elektrycznej [Wh/m ³]		≤0,40	≤0,40
Minimalna grubość izolacji przewodów dla materiału o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$ [cm]:			
dla temp. otoczenia przewodu wentylacyjnego >10°C			
przewód czerpny i wyrzutowy		≥10	≥10
przewód nawiewny i wywiewny		≥3	≥3
dla temp. otoczenia przewodu wentylacyjnego <10°C			
przewód czerpny i wyrzutowy		≥3	≥3
przewód nawiewny i wywiewny		≥10	≥10

Rozwiązaniem często stosowanym w wentylacji budynków energooszczędnych i pasywnych jest gruntowy wymiennik ciepła. W okresie zimowym świeże powietrze po przefiltrowaniu przechodzi przez to urządzenie, gdzie jest wstępnie ogrzewane. Następnie powietrze dostaje się do rekuperatora, w którym zostaje podgrzane ciepłem pochodzącym z powietrza wywiewanego z budynku.

Gruntowe wymienniki ciepła GWC:

- przeponowe, separujące przepływające przez nie powietrze od gruntu, np. rurowe,
- bezprzeponowe, w których powietrze ma bezpośredni kontakt z gruntem, np. GWC żwirowe, płytowe,
- glikolowe, w których ciepło przekazywane jest z umieszczonej w ziemi rury z krążącym roztworem glikolu do wymiennika woda–powietrze przed centralą.

Gruntowe wymienniki ciepła służą do wstępnego podgrzania powietrza w zimie (ochrona wymiennika przed szronieniem) oraz do schładzania powietrza latem.

Powietrze z czerpni, zanim zostanie wprowadzone do wentylatora, jest przepuszczane przez GWC, gdzie zostaje ogrzane do temperatury powyżej 0°C. Pozwala to na darmowe wykorzystanie energii zawartej w gruncie. Do pracy urządzenia potrzebny jest jedynie wentylator wymuszający przepływ powietrza.

GWC znajduje zastosowanie również w okresie letnim, kiedy temperatura gruntu jest dużo niższa od temperatury powietrza, co pozwala na zasilenie schłodzonym powietrzem budynku bez konieczności wyposażania go w dodatkową instalację chłodzenia.

GWC w najbardziej rozpowszechnionej postaci zazwyczaj zbudowany jest z rury PE lub PCV o średnicy 16–20 cm, zakopanej na głębokości 1,5 m pod powierzchnią gruntu, ze spadkiem dla odprowadzania skroplin powstających w efekcie schładzania ciepłego powietrza w okresie letnim. Urządzenie jest najbardziej wydajne, kiedy rura układana jest w linii prostej, bez zakrętów powodujących dodatkowe opory przepływu.

Niewielkie zapotrzebowanie na energię sprawia, że wykonywanie tradycyjnej instalacji c.o. staje się zbędne (poza nielicznymi wyjątkami). Możliwe staje się ogrzewanie pomieszczeń tylko za pomocą wentylacji. Nawiewany do pomieszczenia strumień podgrzanego powietrza jest w stanie przenieść odpowiednią ilość ciepła. Brak nakładów na instalację grzewczą sprawia, że w znacznej mierze zwracają się zwiększone nakłady związane z koniecznością zapewnienia np. dużo lepszych parametrów izolacyjnych przegród zewnętrznych. Dodatkowe oszczędności to brak wydatków eksploatacyjnych ponoszonych na instalację c.o.

W budownictwie pasywnym zrezygnowano z wentylacji grawitacyjnej, ponieważ generuje ona duże straty ciepła. Aby wentylacja taka działała poprawnie, musi wystąpić różnica

temperatur — wówczas powietrze zużyte wznosi się i jest odprowadzane przez kominy, bez możliwości skutecznego odzysku ciepła. Kolejnym powodem wykluczającym wentylację grawitacyjną jest dążenie do uzyskania maksymalnej szczelności budynku. Powietrze „wspomagające” wentylację grawitacyjną wpada do budynku przez nieszczelności.

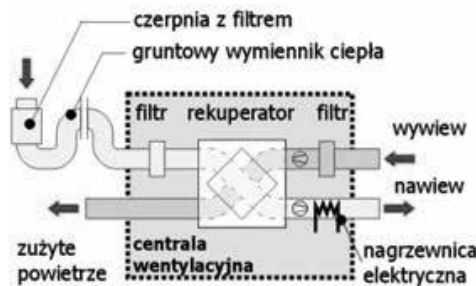
Generalną zasadą w przypadku budynków pasywnych jest rezygnacja z instalacji c.o. Istnieją jednak od niej pewne wyjątki. Niemożliwe jest ogrzanie pomieszczeń takich jak WC czy łazienka tylko za pomocą powietrza wentylacyjnego. Pomieszczenia te są wentylowane w ostatniej kolejności. Powietrze najpierw przepływa przez pomieszczenia czyste, tj. sypialnię, salon, następnie przez korytarze, przez co ulega ochłodzeniu. Z tego powodu nie może posłużyć do ogrzania łazienki czy WC, tym bardziej że dla pomieszczeń tych wskazane jest zapewnienie wyższej temperatury niż dla pozostałych. Wyjątkowo stosuje się wtedy grzejniki, które rekompensują niedobory ciepła.

Wentylacja w budynkach pasywnych powinna być tak wykonana, aby:

- minimalizować straty ciepłone przez odzysk maksymalnej ilości ciepła z powietrza zużytego,
- zapewniać odpowiedni poziom wentylacji pomieszczeń, zgodny z warunkami technicznymi, jakim powinny odpowiadać,
- zapewniać rozproszanie ciepła w całym budynku, w ilości odpowiedniej do zapewnienia komfortu termicznego użytkowników.

Dla prawidłowego działania wentylacji niezbędne jest zapewnienie ukierunkowanego przepływu powietrza przez wszystkie strefy. Ze względu na komfort użytkowników należy przy tym zachować odpowiednią kolejność wentylowania pomieszczeń. Świeże powietrze od centrali wentylacyjnej doprowadzane jest kanałami do strefy, gdzie zlokalizowane są pomieszczenia mieszkalne (sypialnie, pokój dzienny, gabinet) oraz do jadalni. Następnie powietrze przepływa do strefy pośredniej: korytarze, hole, kuchnia. Ostatnią strefą, w której zlokalizowane są przewody wyciągowe, jest zespół pomieszczeń sanitarnych (łazienki, natryski, WC), w których zawsze panuje stosunkowo wysoka wilgotność.

W budownictwie pasywnym stosuje się centrale wentylacyjne zaopatrzone w rekuperator odzyskujący ciepło ze zużytego powietrza, które mogą pracować niezależnie od systemu przygotowania c.w.u. lub być z nim zintegrowane. W celu lepszego pozyskiwania ciepła w domach pasywnych centrala wentylacyjna jest zazwyczaj sprzęgana z gruntowym wymiennikiem ciepła. Stosuje się również niewielkie pompy ciepła powietrze/powietrze, które odbierają ciepło z powietrza usuwanego z budynku i przekazują je do powietrza nawiewanego. Pompa ciepła podnosi koszt urządzenia, lecz dzięki niej możliwe jest kilkukrotne zmniejszenie zużycia energii w stosunku do nagrzewnicy elektrycznej.



Rysunek 1. Prosta centrala wentylacyjna

Nagrzewnica elektryczna i pompa ciepła nie są jedynymi źródłami ciepła stosowanymi w budynkach pasywnych. Do ogrzania powietrza wentylacyjnego stosuje się także ciepło pochodzące ze spalania biomasy, gazu czy oleju opałowego. Ponadto instalacja wentylacyjna często zintegrowana jest z instalacją przygotowania c.w.u.

Należy zadbać o dobrą termoizolację kanałów wentylacyjnych, tak aby w przewodzie nie dochodziło do ochładzania czy podgrzewania powietrza.

Pompy ciepła są bardzo atrakcyjne pod względem efektywności, wygody i oszczędności. Doskonale sprawdzają się w domach jednorodzinnych, ogrzewając je zimą lub chłodząc latem. Pompa ciepła zapewnia niezależność od zewnętrznych źródeł zasilania i stałe niskie rachunki za energię. Ogromną zaletą jest fakt, że $\frac{3}{4}$ potrzebnej energii jest „darmowe”, odnawialne oraz dostępne w otoczeniu.

Pompy ciepła odzyskują energię zmagazynowaną w gruncie, wodzie lub powietrzu. Ciepło zgromadzone w otoczeniu jest pobierane i sprężane, dzięki temu z czynnika o niższej temperaturze uzyskujemy temperatury rzędu 60°C. Temperatury generowane przez pompę wystarczają, aby zapewnić w domu c.w.u i komfortową temperaturę w pokojach. System działa w tzw. niskotemperaturowych instalacjach (np. z ogrzewaniem podłogowym). Pompy ciepła są bezobsługowe, umożliwiają monitorowanie i zdalne sterowanie przez internet. Aby funkcjonować, potrzebują tylko niewielkiej ilości prądu.

Zalety pompy ciepła:

- utrzymuje stałą temperaturę w domu, nawet podczas nieobecności mieszkańców,
- nie trzeba składować paliwa — nie zajmuje miejsca w domu,
- nie ma toksycznych produktów i nie emituje szkodliwych substancji,
- nie wymaga doprowadzenia przyłącza, można także zrezygnować z budowy komina.

Pompa ciepła i klimatyzator to wbrew pozorom bardzo podobne urządzenia. Oba służą do transportu ciepła — klimatyzator z domu do otoczenia, pompa w drugą stronę. Ale można to odwrócić i pompa zamiast grzać, może też chłodzić dom. W przypadku pompy z gruntem lub wodą jako źródłem dolnym jest jeszcze jedna możliwość. Chodzi o chłodzenie pasywne, znacznie tańsze w eksploatacji niż typowa klimatyzacja. Grunt lub woda (jako dolne źródło) latem mają znacznie niższą temperaturę niż powietrze. Dzięki temu, nie uruchamiając w ogóle sprężarki pompy, można przekazać nadmiar ciepła z domu do instalacji źródła dolnego. Jest to ruch naturalny — od ciała cieplejszego do chłodniejszego — i dlatego praca samej pompy ciepła jest zbędna. Działają tylko pompy obiegowe dolnego i górnego źródła, stąd właśnie niskie koszty eksploatacji.

W instalacji z chłodzeniem pasywnym potrzebny jest wymiennik ciepła, w którym dojdzie do przekazania jego nadmiaru ze źródła górnego do cieczy roboczej w instalacji źródła dolnego, a następnie do gruntu lub wody gruntowej.

Wodę w instalacji domowej oraz glikol w źródle dolnym należy wprowadzić w ruch, dlatego trzeba zasiląć pompy obiegowe.

Jeśli źródłem dolnym jest powietrze, to nie da się zastosować chłodzenia pasywnego. Wtedy trzeba odwrócić obieg w pompie ciepła i działa ona jak klimatyzator.

Ocena zysków z zastosowania pompy ciepła w domu pasywnym

Temperatura powierzchni podłogi zgodnie z normami nie może być wyższa niż 29°C w pokojach i 33°C w łazienkach. Dopuszcza się temperaturę do 35°C w strefach brzegowych. Wartości dopuszczalne według normy są wysokie i należy je traktować jako krótkotrwałe, podczas największych mrozów.

Z temperaturą powierzchni podłogi wiąże się jej moc cieplna. Przykładowe wartości dla temperatury w pomieszczeniu 20°C:

- 29°C — 100 W/m²,
- 28°C — 88 W/m²,
- 26°C — 64 W/m²,
- 24°C — 41 W/m²,
- 22°C — 19 W/m².

Jak widać, moc podłógówki jest niewielka i znacznie spada wraz ze spadkiem różnicy temperatur.

Zmniejszenie całkowitego zapotrzebowania na ciepło obniża koszty ogrzewania, pozwala wykorzystać pompę o mniejszej mocy, a więc tańszą. Dla pompy mniejszej mocy wystarczy mniej rozbudowana instalacja po stronie dolnego źródła, np. mniejszy kolektor poziomy lub mniej odwiertów pionowych, czyli niższe koszty. Mniej rozbudowane źródło dolne to mniejszy przepływ czynnika roboczego — pompy obiegowe zużywają mniej prądu.

Pompa ciepła w c.w.u.

Dla kosztów pracy pompy ciepła im niższa będzie temperatura przygotowania c.w.u., tym lepiej. Przyjmuje się, że woda nie powinna być chłodniejsza niż:

- 37°C do mycia rąk i prysznica,
- 40°C do kąpieli,
- 50°C do mycia naczyń.

W domu z pompą ciepła ogrzewanie całego zapasu c.w.u. do 50–55°C, by potem w większości zastosowań mieszać ją z zimną wodą, jest marnotrawstwem. Dlatego w kuchni warto zainstalować niewielki elektryczny podgrzewacz. Połączony z głównym zasobnikiem będzie czerpał z niego wodę o temperaturze 40°C i dogrzewał ją do 50–55°C. Zużycie prądu nie będzie duże, bo różnica temperatur jest niewielka (10–15 K).

Aby wyeliminować zagrożenie bakteriami Legionella, należy co jakiś czas przegrzać instalację do ok. 70°C. W tym celu zasobnik powinien mieć grzałkę elektryczną, która w razie potrzeby dodatkowo podgrzeje wodę.

W instalacji z pompą ciepła stosowany jest zawsze zasobnik o odpowiednio dużej pojemności. Nie można zastosować przepływowego podgrzewacza wody, gdyż:

- przepływowe podgrzewanie wody wymaga urządzeń o bardzo dużej mocy grzewczej (1 kW mocy zapewnia ok. 0,5 l ciepłej wody/min.),
- podgrzewanie przepływowe oznacza częstą, ale krótkotrwałą pracę, co ma negatywny wpływ na żywotność sprężarki (minimalny czas pracy pompy 10–15 minut),
- z ciepłej wody korzysta się głównie w ciągu dnia, przepływowe podgrzewanie uniemożliwia przejście na dwufazowe rozliczanie za elektryczność.

Czy potrzebna jest cyrkulacja?

Cyrkulacja to krążenie c.w.u. w rurach między punktami poboru a zasobnikiem. Wiąże się to z pewnymi stratami energii (wychładzanie wody, praca pompy), tym większymi, im rurociągi są dłuższe. Ze względu na straty ciepła pożądane jest skrócenie rurociągów i ich bardzo do-

bra izolacja. W takiej sytuacji cyrkulacja staje się niepotrzebna, bo w rurach zalega mało wody i wychładza się ona bardzo powoli.

Takie rozwiązanie wymaga myślenia o instalacjach już na etapie planowania pomieszczeń. Najlepiej, jeśli kotłownia ze zbiornikiem c.w.u., łazienki i kuchnia położone są blisko siebie — sąsiadują z sobą przez ścianę lub są umieszczone jedna nad drugą. Dodatkowo upraszcza to wykonania kanalizacji (może wystarczyć jeden pion dla całego domu) i wentylacji (kuchnia i łazienka to pomieszczenia, z których powietrze jest usuwane).

Ogrzewanie budynku energooszczędnego

Roczne zapotrzebowanie budynku energooszczędnego na energię grzewczą jest bliskie zeru. Zaledwie 1,5 m³ gazu opałowego wystarcza do ogrzania jednego metra kwadratowego powierzchni budynku przez cały rok.

W budynkach pasywnych roczne zapotrzebowanie na ciepło do celów ogrzewczych jest co prawda znikome, ale nie zerowe. W tych warunkach, przy ekstremalnie niskim zapotrzebowaniu na moc, zastosowanie normalnego systemu ogrzewania byłoby zbędną inwestycją; standard budynku pasywnego jest o tyle interesujący, że umożliwia zmniejszenie nakładów związanych zarówno z instalacją systemów grzewczych, jak i ich późniejszą eksploatacją. Ciepło do podgrzewania powietrza nawiewanego może pochodzić z systemu podgrzewania c.w.u., gdzie szczytowe obciążenie jest kilkakrotnie wyższe.

Źródłem ciepła w budynkach pasywnych mogą więc być systemy grzewcze wykorzystujące kocioł kondensacyjny lub z pompą ciepła, wspomagane często układami z kolektorami słonecznymi. Tego typu źródła ciepła służą jednocześnie do pokrycia potrzeb ogrzewania, wytwarzania c.w.u. oraz wentylacji.

Ogrzewanie budynku instalacją z gazowym kotłem kondensacyjnym ze wspomaganie słonecznym

Najtańsze pod względem inwestycyjnym oraz obecnie najefektywniejsze rozwiązanie źródła ciepła dla budynków energooszczędnych i pasywnych to układ grzewczy oparty na gazowym kotle kondensacyjnym. Stanowi on źródło ciepła dla instalacji grzewczej niskotemperaturowej lub dla nagrzewnicy wodnej w przypadku ogrzewania powietrza wentylacyjnego. Instalacja grzewcza w budynku energooszczędnym może być wykonywana w układzie grzejnikowym lub jako ogrzewanie podłogowe i ściennie. W przypadku budynków pasywnych najczęściej stosowany jest układ podgrzewania powietrza świeżego nawiewanego do budynku.

Innym rozwiązaniem systemu grzewczego i wentylacji jest zblokowana pompa ciepła z centralą wentylacyjną. Rozwiązanie kompaktowe pozwala na pokrycie potrzeb związanych z ogrzewaniem, podgrzewaniem ciepłej wody użytkowej oraz wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła. Dodatkowo w niektórych rozwiązaniach możliwe jest jeszcze dochładzanie powietrza nawiewanego w okresie letnim. Obecnie rozwiązana te mogą być zastosowane do domów jednorodzinnych energooszczędnych i pasywnych o maksymalnym zapotrzebowaniu na moc 6,5 kW oraz powierzchni użytkowej do 300 m².

Kominki w budynkach pasywnych

W budynkach pasywnych istnieje możliwość instalacji kominka, jednak ze względu na rygory wynikające z założonej energooszczędności i specyficznej wentylacji musi to być rozwiązanie inne, niż stosowane w tradycyjnym budynku.

W kominkach w obiektach z wentylacją grawitacyjną powietrze potrzebne do procesu spalania czerpane jest bezpośrednio z wnętrza pomieszczenia. Następnie podczas procesu spalania przechodzi przez kominek, skąd odprowadzane jest razem ze spalinami przez komin. Zastosowanie takiego rozwiązania w domu pasywnym prowadziłoby do przerywania szczelnej powłoki budynku, a co za tym idzie — do niekontrolowanych strat spowodowanych przez wymianę ciepłą z otoczeniem przez przewód spalinowy. Ponadto proces spalania wymaga dostarczenia dużej ilości tlenu. W budynku pasywnym, gdzie poziom wentylacji jest ściśle określony, nie ma możliwości dostarczenia odpowiedniej ilości powietrza, na skutek czego w trakcie spalania zaczęłyby się wydzielać śmiertelnie niebezpieczny tlenek węgla.

Rozwiązaniem, które pozwala w domu pasywnym uniknąć tych problemów, jest urządzenie z zamkniętą komorą spalania. W takim wariantcie powietrze biorące udział w procesie spalania tworzy obieg całkowicie niezależny od powietrza w budynku. Powietrze potrzebne do zasilania kominka pobierane jest z zewnątrz, specjalnie do tego celu zainstalowanym przewodem, a po spaleniu wyrzucane przez komin, tak że nie dochodzi do mieszania powietrza wewnętrznego z powietrzem zasilającym kominek. Kanał wlotowy najczęściej umieszczony jest równolegle do komina spalinowego. Aby nie dopuścić do powstawania mostków termicznych lub nieszczelności w powłoce budynku, materiały na komin muszą być odpowiednio dobrane, a przewody starannie zaizolowane. Izolacja kanałów jest niezbędna również dlatego, że nawet kiedy kominek nie jest używany, w przewodzie kominowym cały czas zachodzi cyrkulacja powietrza, co przy braku izolacji generowałoby straty ciepłe. Sam kominek zaopatrzony jest w przeszklone, szczelne drzwiczki, które nie pozwalają na mieszanie się powietrza z obiegu kominowego z powietrzem w pomieszczeniu.

W zależności od przyjętego rozwiązania ciepło wytworzone w urządzeniu wykorzystywane jest do ogrzania budynku przez bezpośrednie promieniowanie termalne kominka lub przez ogrzewanie powietrza rozprowadzanego przez układ wentylacyjny do pomieszczeń.

To, czy budynek wyposażony będzie w kominek, należy uwzględnić w bilansie energetycznym sporządzanym na etapie projektowania.

W budynkach pasywnych oprócz kominków opalanych drewnem zastosowanie znajdują też urządzenia spalające granulaty z biomasy, tzw. pellets. W rozwiązaniu tego typu (podobnie jak w kominkach) stosowane są przeszklone, przez które widać ogień. Ich zaletą jest zautomatyzowany proces spalania — do tego stopnia, że paliwo podawane jest mechanicznie do komory spalania. Niewielkie zapotrzebowanie budynków pasywnych na energię sprawia, że nawet przy najniższych temperaturach na ich pokrycie wystarczy spalenie kilku kilogramów granulatu dziennie.

Zimna, ciepła woda użytkowa

Budownictwo pasywne wiąże się nie tylko z oszczędnością energii grzewczej. Ważną pozycję w bilansie energetycznym zajmuje energia związana z przygotowaniem ciepłej wody użytkowej.

Przeciętna rodzina na jej wytworzenie zużywa od 2500 do 5000 kWh/a. Dodatkowe zapotrzebowanie związane z magazynowaniem, rozprowadzeniem, cyrkulacją może wynieść od

1000 do 3000 kWh/a. W domach pasywnych dąży się do ograniczenia zapotrzebowania na wiele sposobów, m.in. poprzez:

- odpowiednie prowadzenie przewodów c.w.u.,
- redukcję ich długości,
- zmniejszanie ilości zużywanej wody,
- stosowanie kolektorów słonecznych do jej nagrzewania.

Straty ciepła można również częściowo wyeliminować w instalacji wody zimnej. Zimna woda wpływająca do budynku ma zwykle temperaturę nie wyższą niż 10°C, po czym ogrzewa się w rurach i innych zasobnikach znajdujących się w budynku (np. komorze spłuczki toalety). Powoduje to straty energii, dlatego w budownictwie pasywnym zwraca się szczególną uwagę na ograniczenie długości instalacji zimnej wody, jej dobrą izolację oraz oszczędną armaturę.

W budynkach pasywnych stosowane są różne systemy przygotowania ciepłej wody użytkowej. Możemy podzielić je na połączone z systemem wentylacji lub funkcjonujące oddzielnie. Ta druga opcja jest często spotykana w starszych budynkach pasywnych. Obecnie dąży się do integracji obu układów, ponieważ pozwala to na lepsze wykorzystanie energii. Przy połączeniu systemu wentylacji i c.w.u. w celu przygotowania ciepłej wody możliwe jest między innymi wykorzystanie energii pochodzącej ze zużytego powietrza wywiewanego z budynku. Natomiast ciepło z kolektorów słonecznych może być wykorzystane do ogrzewania powietrza nawiewanego, co nie byłoby możliwe w niezintegrowanej instalacji.

Jako źródło ciepła w układach zintegrowanych zazwyczaj wykorzystywana jest mała pompa ciepła. W zależności od typu zastosowanego urządzenia może ono czerpać energię z powietrza zewnętrznego lub z powietrza wywiewanego z budynku. Do wytworzenia energii wykorzystuje się także inne urządzenia zasilane olejem opałowym, gazem ziemnym, biomasą itp. Często do wspomagania głównego źródła energii stosuje się dodatkowe źródło w postaci kolektorów słonecznych.

Kolektor słoneczny

Kolektor słoneczny jest to urządzenie służące do pozyskiwania energii cieplnej z promieniowania słonecznego. Następuje w nim przemiana promieniowania słonecznego w ciepło. Promienie słoneczne pochłaniane są przez absorber.

Pozyskana energia cieplna jest odbierana i przenoszona poza kolektor przez ciecz będącą nośnikiem energii. Na rynku spotyka się zasadniczo dwa typy kolektorów cieczowych: próżniowo-rurowe i płaskie. Te pierwsze cechuje wysoka cena i duża wydajność, także w niskich temperaturach. Kolektory płaskie są tańsze, ale mniej wydajne.

Zalety instalacji solarnej:

- odpowiednio dobrany układ solarny pozwala na pozyskiwanie nawet do 70% energii koniecznej do ogrzewania c.w.u. w skali roku,
- w miesiącach letnich (maj — sierpień) układ solarny prawie w 100% zapewnia energię potrzebną do przygotowania c.w.u.,
- możliwość uzyskania do 45% dofinansowania w niektórych regionach Polski.

Sposoby oszczędzania wody

Często stosowanymi rozwiązaniami ograniczającymi zużycie wody w bateriach czerpalnych są:

- rozwiązania zmniejszające strumień wody:
 - perlatory,
 - ograniczniki wypływu (tzw. ekoprzyciski),
 - regulatory przepływu,
 - reduktory ciśnienia,
- rozwiązania skracające czas korzystania z baterii:
 - baterie jednouchwytowe,
 - baterie termostatyczne,
 - baterie bezdotykowe i przyciskowe (stosowane głównie w budynkach użyteczności publicznej).

Przez baterie czerpalne, w zależności od ich rodzaju, w ciągu minuty przepływa 12–18 litrów wody. Wartości te możemy zmniejszyć nawet o połowę, odpowiednio do 6–9 l/min, stosując tzw. perlatory. Perlator to rodzaj nakładki (sitka), którą montuje się na końcu wylewki. Jest to element zwiększający optycznie strumień wody poprzez znaczne jej napowietrzenie. Na wypływającą przez perlator wodę wywierane jest podciśnienie, które powoduje zasysanie powietrza przez drobne otworki i mieszanie ich z wodą. Dzięki temu zużywamy nawet o 40% mniej wody. „Ekoprzyciski” służą ograniczeniu wypływu wody z baterii czerpalnej (do ok. 5–7 l/min), aby bez powodu nie wywoływać maksymalnego przepływu wody (13–14 l/min). Jednakże gdy chcemy szybko napęlnić naczynie wodą, wciśnięcie przycisku umożliwia chwilowe zwiększenie strumienia wody. W ten sposób, korzystając często ze zwykłej nastawy (bez wciśniętego przycisku), ograniczamy strumień o blisko 50%. W przypadku zastosowania tzw. ekoprzycisków możliwe jest również zadanie optymalnego stopnia wymieszania wody ciepłej i zimnej, by uniknąć częstego korzystania z wody o maksymalnej temperaturze (ograniczenie temperatury wody).

Bateria jednouchwytowa pozwala zaoszczędzić około 30% wody, głównie dzięki skróceniu czasu potrzebnego do wyregulowania temperatury i wielkości strumienia użytkowanej wody. Baterie termostatyczne służą utrzymaniu stałej temperatury wody mimo wahań temperatury wody ciepłej w instalacji. Jest to możliwe dzięki zamontowanej w baterii wkładce termostatowej, która reguluje temperaturę wypływającej wody, reagując natychmiast na jej zmianę. Zasada działania jest prosta: w zależności od temperatury i ciśnienia doprowadzanej wody przekrój przewodu ciepłej lub zimnej wody zostaje zmniejszony lub zwiększony za pomocą specjalnego suwaka zaworu. W większości modeli można ustawić wartość z zakresu między 15 a 60°C. Baterie bezdotykowe umożliwiają wypływ wody przez określony czas, ale tylko wtedy, gdy czujnik wylewki wychwyci ruch w określonym obszarze.

W celu ograniczenia zużycia wody można również stosować odpowiednie rozwiązania konstrukcyjne misek ustępowych i spłuczek zbiornikowych. Jednym z przykładów są kompaktki wyposażone w rezerwuary o pojemności 6 litrów zamiast 10 litrów. Dobrym, alternatywnym sposobem na regulację zużycia wody jest zastosowanie przycisku „STOP” albo dwudzielnych przycisków umożliwiających opróżnienie całego zbiornika lub jego części.

Obecnie zauważalny jest trend wykorzystywania wód opadowych. Zgodnie z badaniami prowadzonymi w 2013 r. przez pracowników Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie woda opadowa ma dobrą jakość. Analizowane dotychczas wody opadowe wykazują właściwości podobne do tych charakteryzujących wodę dopuszczoną do wykorzystania w basenach kąpielowych i mają niski poziom zanieczyszczenia bakteriologicznego. Jakość wody opadowej

dyskwalifikuje ją jednak jako zdatną do picia i wykorzystania związanego z higieną osobistą. Możliwe jest zaś jej zastosowanie do celów gospodarczych. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, dopuszcza się stosowanie wody opadowej w Polsce: „W przypadku wykorzystywania wód opadowych, gromadzonych w zbiornikach retencyjnych, do spłukiwania toalet, podlewania zieleni, mycia dróg i chodników oraz innych potrzeb gospodarczych należy dla tego celu wykonać odrębną instalację, niepołączoną z instalacją wodociągową”.

W Polsce zastosowanie profesjonalnych systemów do zagospodarowania tzw. deszczówki to wciąż rozwijająca się dziedzina, w krajach Europy Zachodniej jest inaczej. Na przykład w Belgii w nowo budowanych budynkach o powierzchni dachu powyżej 100 m² istnieje obowiązek posiadania systemu do gromadzenia wody deszczowej. Można ją wykorzystać np. do podlewania roślin, spłukiwania toalety, a także do prania. Oprócz korzyści finansowych z zastosowania wody opadowej należy podkreślić fakt, że woda ta nie szkodzi pralkom — jest miękka i nie zawiera związków wapnia. Zastosowanie w domu energooszczędnym lub pasywnym systemu zagospodarowania wody deszczowej częściowo uniezależnia właściciela od dostawcy wody. Jest to ważne szczególnie w okresach suszy i zakazów podlewania ogródków wodą wodociągową.

Ciekawym rozwiązaniem dla domów energooszczędnych i pasywnych jest instalacja dualna — umożliwiająca spłukiwanie toalet tzw. wodą szarą. Powstaje ona w wyniku podczyszczenia ścieków niezawierających fekaliiów (tzw. ścieków szarych), m.in. z umywalk, brodzików, wanien i pralek. Instalacja taka wymaga jednak odrębnych systemów przewodów kanalizacyjnych do zbierania ścieków szarych, niezależnie od ścieków z misek ustępowych, a także dwóch instalacji rozprowadzających wodę zdatną do picia i — osobno — wodę szarą. Ścieki zawierające fekalie są odprowadzane do zewnętrznej sieci kanalizacyjnej.

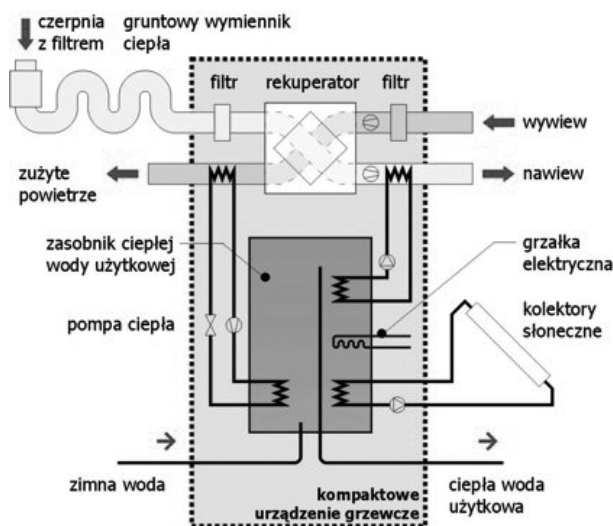
Kompaktowe urządzenia grzewcze dla budynków pasywnych

Kompaktowe urządzenia grzewcze to urządzenia zaprojektowane na użytek jednorodzinnych budynków pasywnych. Kompaktowa centrala grzewcza w celu zapewnienia jak największej wydajności i oszczędności miejsca sprzęga do pracy wentylatory, rekuperator, filtry powietrza, zbiornik c.w.u., pompy cyrkulacyjne oraz nagrzewnicę, zamykając wszystkie te elementy i integrując je, dla zapewnienia najlepszych wydajności, w jednym urządzeniu.

Świeże powietrze pobierane z zewnątrz przeprowadzane jest przez rekuperator, gdzie ogrzewane jest ciepłem odzyskanym z powietrza zużytego wyrzucanego na zewnątrz budynku. Przed wejściem do rekuperatora powietrze jest wstępnie ogrzewane przez gruntowy wymiennik ciepła. Ma to szczególnie istotne znaczenie w czasie niskich temperatur, kiedy bardzo zimne powietrze zewnętrzne mogłoby doprowadzić do oszronienia, a co za tym idzie — do złej pracy lub uszkodzenia rekuperatora. Alternatywnie do GWC można zastosować dodatkową nagrzewnicę. Po przejściu przez rekuperator ogrzane powietrze (jeśli zachodzi taka konieczność) jest dodatkowo dogrzewane do zadanej wartości za pomocą wodnej nagrzewnicy powietrza zasilanej wodą ze zbiornika c.w.u. Tak przygotowane powietrze doprowadzane jest kanałami wentylacyjnymi i nawiewane do pomieszczeń mieszkalnych, a następnie rozprowadzane po całym budynku.

Kanały wentylacyjne zlokalizowane w pomieszczeniach higieniczno-sanitarnych odprowadzają powietrze przez centralę wentylacyjną do rekuperatora, gdzie następuje odzysk ciepła na rzecz świeżego powietrza czerpanego do budynku. Następnie z powietrza za rekuperatorem,

za pomocą małej pompy ciepła powietrze/woda, odbierane jest tzw. ukryte ciepło, które przekazywane jest do zasobnika c.w.u. Opcjonalnie do centrali mogą zostać podłączone zewnętrzne kolektory słoneczne.



Rysunek 2. Schemat działania kompaktowej centrali grzewczej

Za zastosowaniem kompaktowej centrali grzewczej przemawia fakt, że za pomocą jednego urządzenia, o gabarytach niewiele większych od lodówki, kompleksowo rozwiązuje się kilka niezwykle istotnych dla budynku pasywnego zagadnień: kwestię odzysku ciepła, wentylacji oraz zaopatrzenia w c.w.u. Zastosowanie dobrej jakości kompaktowej centrali gwarantuje minimalne straty ciepłne oraz dobry poziom ochrony przed hałasem.

Urządzenia elektryczne

Idea budownictwa pasywnego polega na stosowaniu całościowych rozwiązań, które przyczynią się do zmniejszenia zużycia energii. Dlatego obok ograniczania zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania i przygotowania c.w.u w budynku pasywnym, istotne jest ograniczenie zużycia energii elektrycznej przez urządzenia, wyposażenie i instalacje znajdujące się w budynku. Z tego powodu stosuje się energooszczędne oświetlenie i sprzęt AGD. Urządzenia, takie jak zmywarki, pralki, powinny wyróżniać się niskim zużyciem prądu. Wskazana jest również instalacja modeli umożliwiających podłączenie do ciepłej wody, co pozwala na wykorzystanie tańszej w przygotowaniu wody ogrzanej za pomocą pompy ciepła lub kolektorów słonecznych, zamiast kosztowniejszego ogrzewania grzałkami elektrycznymi instalowanymi wewnątrz urządzeń. Ważną kwestią jest optymalizacja instalacji znajdujących się w budynku. Dobierając wentylator czy pompy obiegowe, należy wybierać modele, które nie pochłaniają zbyt wiele energii.

Energooszczędne oświetlenie w domu

Światło jest niezbędne dla człowieka. Dzięki niemu możemy kontynuować aktywność po zachodzie słońca. Bez światła sztucznego byłoby to bardzo utrudnione, a w większości przypadków wręcz niemożliwe. Dlatego od zarania dziejów wykorzystujemy sztuczne oświetlenie. Przez ostatnie sto lat w oświetleniu domowym królował wynalazek Edisona — żarówka. Jest ona jednym z najpowszechniej stosowanych źródeł światła. Niestety, ten rodzaj oświetlenia należy obecnie postrzegać jako źródło bardzo energochłonne.

W żarówce stuwatowej tylko 5% energii jest przemieniane na światło widzialne. Pozostała energia tracona jest na ciepło, które opłacamy razem z rachunkiem za energię elektryczną. Dlatego powinniśmy stosować źródła energooszczędne. Wprowadzone kilkanaście lat temu zintegrowane świetlówki kompaktowe (zwane jako żarówki energooszczędne) dają znacznie więcej światła z mniejszej mocy. Z energii elektrycznej pobranej przez świetlówkę kompaktową otrzymujemy od 20 do 25% energii w postaci światła.

Zamieniając żarówkę na świetlówkę kompaktową, uzyskujemy 80% oszczędności energii elektrycznej. Jest to bardzo duża oszczędność, jednak nie wszędzie można je stosować. Świetlówek nie można używać w obwodach ze ściemniaczami (do tego nadają się tylko specjalne świetlówki kompaktowe) lub z czujnikami ruchu. Świetlówki, ze względu na swoją konstrukcję, posiadają też dużą powierzchnię świecąca. Dlatego w żyrandolach kryształowych, w których żarówki wywołują „skrzące” światło i różne refleksy świetlne, zastosowanie świetlówek pozbawi nas tego efektu. W takiej sytuacji można zastosować żarówki halogenowe. Dzięki nim uzyskujemy około 50% oszczędności. Jest to mniej niż przy zastosowaniu świetlówek, ale możemy cieszyć się efektownym oświetleniem. Mogą one pracować również w obwodach ze ściemniaczami czy czujnikami ruchu.

W strefę oszczędzania energii elektrycznej coraz większymi krokami wchodzi technologia LED. Źródłami diodowymi możemy już zastąpić mniejszej mocy tradycyjne żarówki na gwint E27, E14 oraz halogeny na 12 i 230 V. Zakres ich zastosowań jest dużo szerszy niż świetlówek kompaktowych i będzie wzrastać. Na początek zaoszczędzimy na nich kilkadziesiąt procent energii. Należy jednak zwrócić szczególną uwagę na parametry źródeł diodowych — np. odnośnie barwy wytwarzanego światła oraz wskaźnika oddawania barw. Mogą one różnić się znacząco w zależności od producenta i rodzaju zastosowanych diod.

Bibliografia

<http://www.budynkipasywne.pl>.

<https://www.nfosisgw.gov.pl/>.

Wymogi konstrukcyjne i architektoniczne. Materiały stosowane do budowy, izolacje

Joanna Fiszer-Sozańska

Wymagania konstrukcyjne — podstawy prawne

Wymagania dotyczące efektywności energetycznej i energooszczędności budynków określone zostały w Ustawie Prawo budowlane oraz rozporządzeniach wykonawczych.

Akty prawne z zakresu efektywności energetycznej budynków:

- Dyrektywa 2002/91/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków,
- Dyrektywa 2010/31/EU Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków,
- Dyrektywa 2006/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 5 kwietnia 2006 r. w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych,
- Polityka energetyczna Polski do 2030 roku,
- Ustawa o efektywności energetycznej,
- Ustawa o charakterystyce energetycznej budynków (2014 r.),
- Ustawa Prawo budowlane,
- Ustawa o wspieraniu termomodernizacji i remontów,
- Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie,
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 3 czerwca 2014 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw charakterystyki energetycznej.

Ustawa o charakterystyce energetycznej budynków z dnia 29 sierpnia 2014 r. wykonuje prawo Unii Europejskiej oraz poprawia funkcjonujący w Polsce system oceny energetycznej budynków.

Głównym zadaniem nowej ustawy ma być upowszechnienie systemu oceny jakości energetycznej budynków. Przepisy ustawy, podobnie jak dotychczas, mają funkcjonować w powiązaniu z przepisami techniczno-budowlanymi, regulacjami dotyczącymi zakresu i for-

my projektu budowlanego, a także uregulowaniami określającymi metodologię obliczania i przedstawiania charakterystyki energetycznej budynków oraz ich części.

W ustawie określono zasady:

- sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej,
- kontroli systemu ogrzewania i systemu klimatyzacji w budynkach,
- prowadzenia centralnego rejestru charakterystyki energetycznej budynków,
- opracowania krajowego planu działań mającego na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii.

Polska wdrożyła zasadnicze postanowienia dyrektywy unijnej mające wpływ na poprawę charakterystyki energetycznej, m.in. określające wymagania minimalne dotyczące charakterystyki energetycznej budynków w perspektywie do 2021 r. Istotne dla nowo powstających i remontowanych budynków zagadnienia to efektywność energetyczna, izolacyjności przegród, klasy energetyczne. Wdrożone na podstawie ustawy przepisy określają wartości, jakie musi spełnić budynek nowo budowany lub modernizowany.

Wymagania mogą zostać spełnione w dwojaki sposób:

- poprzez uzyskanie niższych niż dopuszczalne wartości współczynników przenikania ciepła U dla przegród zewnętrznych,
- poprzez uzyskanie niższej niż dla tzw. budynku referencyjnego wartości wskaźnika energii pierwotnej EP .

Szczegółowe wartości dotyczące współczynnika przenikania ciepła dla przegród przedstawione są w Rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, natomiast wartość wskaźnika EP wyliczana jest na podstawie Rozporządzenia w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku. Wyliczona na podstawie wytycznych zawartych w tym rozporządzeniu charakterystyka energetyczna budynku jest dokumentem określającym klasę energetyczną danego obiektu. Nazywa się ją też *świadectwem energetycznym budynku*. Dokument ten zawiera informacje o wskaźnikach zapotrzebowania na tzw. energię pierwotną EP oraz energię końcową EK .

Energia pierwotna to energia zawarta w źródłach, w tym paliwach i nośnikach, niezbędna do pokrycia zapotrzebowania na energię końcową, z uwzględnieniem sprawności całego łańcucha procesów pozyskania, konwersji i transportu do odbiorcy końcowego. Jest to pojęcie istotne z punktu widzenia strategii zrównoważonego rozwoju.

Energia końcowa to ciepło i energia pomocnicza, które należy dostarczyć, aby pokryć zapotrzebowanie na ciepło użytkowe do ogrzewania i wentylacji oraz niezbędne do potrzeb bytowych, higienicznych i gospodarskich. Jest to pojęcie istotne z punktu widzenia użytkownika budynku ponoszącego konkretne koszty związane z potrzebami energetycznymi w fazie eksploatacji obiektu zgodnie z jego przeznaczeniem.

Wskaźnik EP obejmuje sumę rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną użytkowaną do celów ogrzewania i wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej wraz z energią pomocniczą.

Wskaźnik EK określa roczne zapotrzebowanie energii końcowej na jednostkę powierzchni pomieszczeń (1 m^2) o regulowanej temperaturze powietrza w budynku lub lokalu mieszkalnym. Jest to współczynnik określający obliczeniową ilość energii potrzebnej do zaspokojenia zapotrzebowania danego budynku, z uwzględnieniem sprawności systemów wytwarzających ciepło i ciepłą wodę użytkową.

Energia użytkowa to pojęcie istotne z punktu widzenia projektanta, architekta czy konstruktora. W praktyce jest to ciepło potrzebne do ogrzewania i wentylacji, czyli utrzymania

wymaganej temperatury powietrza w ogrzewanych pomieszczeniach oraz do przygotowywania ciepłej wody użytkowej, bez względu na rodzaj i sprawność urządzenia grzewczego. Jest to pojęcie charakteryzujące między innymi jakość ochrony cieplnej pomieszczeń, czyli izolacyjność termiczną oraz szczelność całej obudowy zewnętrznej.

Od 1 stycznia 2014 r. obowiązuje rozporządzenie wprowadzające istotne zmiany w Rozporządzeniu Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniającym rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

Nowelizacja tego rozporządzenia pokazuje sposób dojścia do wymagań na 2021 r. (2019 dla budynków zajmowanych przez władze publiczne i będących ich własnością), kiedy to wszystkie nowo wznoszone budynki, w myśl zapisów art. 9 Dyrektyw 201/31 UE, powinny charakteryzować się niemal „zerowym zużyciem energii”.

Nowe przepisy obowiązują od stycznia 2014 r. Zgodnie z założeniami będą one stopniowo zaostrzane. Planowane zmiany mają wejść w życie od 1 stycznia 2017 r., a następnie od 1 stycznia 2021 r. To rozłożenie w czasie będzie dotyczyło elementów budynku takich jak ściany zewnętrzne, ściany przyległe do szczelin dylatacyjnych, dachy, stropodachy, stropy, podłogi na gruncie, izolacje techniczne oraz okna, drzwi balkonowe i drzwi zewnętrzne.

Bardziej rygorystyczne, niż przewiduje litera prawa, wymagania dla budynków nowo powstających przewiduje Program Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Do celów rządowego programu priorytetowego w zakresie dopłat do kredytów na budowę domów energooszczędnych określone zostały standardy energetyczne budynków, których spełnienie umożliwia otrzymanie dotacji.

Wysokość dofinansowania jest uzależniona od uzyskanego rocznego wskaźnika jednostkowego zapotrzebowania na energię użytkową do celów ogrzewania i wentylacji (EUco) obliczonego na podstawie Rozporządzenia w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku, z uwzględnieniem szczegółowych wytycznych NFOŚiGW, określających minimalne wymagania techniczne dla domów jednorodzinnych i budynków wielorodzinnych, wprowadzające standardy NF40 i NF15 odnoszące się do zapotrzebowania budynków na EUco do wartości nieprzekraczającej odpowiednio 40 i 15 kWh/m² · rok.

Wymagania techniczne — aktualny stan prawny

Zgodnie z polskim prawem budowlanym konstrukcja budynku nowo powstającego musi spełniać wymagania określone w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. nr 75, poz. 690 z późn. zm.) stan na 1 stycznia 2014 r.

Szczególnie istotne zmiany dotyczą parametrów przegród zewnętrznych budynków.

Konieczne jest zapoznanie się zarówno z obowiązującymi dziś, jak i planowanymi w perspektywie najbliższych sześciu lat wymaganiami.

Zaostrzone wymagania dotyczące izolacyjności cieplnej i innych parametrów fizycznych przegród zewnętrznych opisuje Dział X: Oszczędność energii i izolacyjność cieplna rozporządzenia o warunkach technicznych.

Aby spełnić wymagania dla budynku i jego instalacji grzewczych, w projekcie należy przewidzieć możliwość spełnienia obu warunków:

- uzyskanie niższej niż dla tzw. budynku referencyjnego wartości wskaźnika energii pierwotnej EP [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$];
- uzyskanie niższych niż dopuszczalne (określone w załączniku 2) wartości współczynników przenikania ciepła U dla przegród zewnętrznych; powierzchnia okien również musi odpowiadać wymaganiom określonym w załączniku 2.

Obliczanie wskaźnika EP wykonuje się według wzoru:

$$EP = EP_{h+w} + \Delta EP_C + \Delta EP_L \text{ [kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})],$$

gdzie:

EP_{h+w} — częściowa maksymalna wartość wskaźnika EP na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej,

ΔEP_C — częściowa maksymalna wartość wskaźnika EP na potrzeby chłodzenia,

ΔEP_L — częściowa maksymalna wartość wskaźnika EP na potrzeby oświetlenia.

Zgodnie z rozporządzeniem wartość wskaźnika EP musi odpowiadać wartościom podanym w tabelach przedstawiających maksymalne wartości odpowiednio dla energii wykorzystywanej na potrzeby:

- ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej,
- chłodzenia,
- oświetlenia — ten punkt nie dotyczy budynków mieszkalnych jednorodzinnych i wielorodzinnych.

Tabela 1. Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej

Lp.	Rodzaj budynku	Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP_{h+w} na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$]		
		Od 1 stycznia 2014 r.	Od 1 stycznia 2017 r.	Od 1 stycznia 2021 r.*
1	Budynek mieszkalny			
	a) jednorodzinny	120	95	70
	b) wielorodzinny	105	85	65
2	Budynek zamieszkania zbiorowego	95	85	75
3	Budynek użyteczności publicznej			
	a) opieki zdrowotnej	390	290	190
	b) pozostałe	65	60	45
4	Budynek gospodarczy, magazynowy i produkcyjny	110	90	70

* Od 1 stycznia 2019 r. w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością.

Źródło: Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z dnia 13 sierpnia 2013 r. poz. 926).

Tabela 2. Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP na potrzeby chłodzenia

Lp.	Rodzaj budynku	Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP_C na potrzeby chłodzenia [kWh/(m ² · rok)]*		
		Od 1 stycznia 2014 r.	Od 1 stycznia 2017 r.	Od 1 stycznia 2021 r.**
1	Budynek mieszkalny a) jednorodzinny b) wielorodzinny	$\Delta EP_C = 10 \cdot A_{fC}/A_f$	$\Delta EP_C = 10 \cdot A_{fC}/A_f$	$\Delta EP_C = 5 \cdot A_{fC}/A_f$
2	Budynek zamieszkania zbiorowego	$\Delta EP_C = 25 \cdot A_{fC}/A_f$	$\Delta EP_C = 25 \cdot A_{fC}/A_f$	$\Delta EP_C = 25 \cdot A_{fC}/A_f$
3	Budynek użyteczności publicznej a) opieki zdrowotnej b) pozostałe			
4	Budynek gospodarczy, magazynowy i produkcyjny			

A_f — powierzchnia użytkowa ogrzewana budynku [m²],

A_{fC} — powierzchnia użytkowa chłodzona budynku [m²],

* Jeżeli budynek posiada instalację chłodzenia, w przeciwnym wypadku $\Delta EP_C = 0$ kWh/(m² · rok).

** Od 1 stycznia 2019 r. w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością.

Źródło: Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z dnia 13 sierpnia 2013 r., poz. 926).

Tabela 3. Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP na potrzeby oświetlenia

Lp.	Rodzaj budynku	Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP_L na potrzeby oświetlenia [kWh/(m ² · rok)] w zależności od czasu działania oświetlenia w ciągu roku t [h/rok]*		
		Od 1 stycznia 2014 r.	Od 1 stycznia 2017 r.	Od 1 stycznia 2021 r.**
1	Budynek mieszkalny a) jednorodzinny b) wielorodzinny	$\Delta EP_L = 0$	$\Delta EP_L = 0$	$\Delta EP_L = 0$
2	Budynek zamieszkania zbiorowego	dla $t < 2500$ $\Delta EP_L = 50$ dla $t \geq 2500$ $\Delta EP_L = 100$	dla $t < 2500$ $\Delta EP_L = 50$ dla $t \geq 2500$ $\Delta EP_L = 100$	dla $t < 2500$ $\Delta EP_L = 25$; dla $t \geq 2500$ $\Delta EP_L = 50$
3	Budynek użyteczności publicznej a) opieki zdrowotnej b) pozostałe			
4	Budynek gospodarczy, magazynowy i produkcyjny			

* Jeżeli w budynku należy uwzględnić oświetlenie wbudowane, w przeciwnym przypadku $\Delta EP_L = 0$ kWh/(m² · rok).

** Od 1 stycznia 2019 r. w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością.

Źródło: Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z dnia 13 sierpnia 2013 r., poz. 926).

Szczegółowe wymagania dotyczące właściwości przegród zewnętrznych budynku określone zostały w Rozporządzeniu w załączniku 2. Wymagania izolacyjności cieplnej i inne wymagania związane z oszczędnością energii.

Przegrodę charakteryzuje współczynnik przenikania ciepła U [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]. Dla przegrody jednorodnej:

$$U = \lambda/d,$$

gdzie:

λ — współczynnik przewodzenia ciepła [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$] charakteryzujący właściwości termiczne materiału,

d — grubość przegrody [m].

Współczynnik przenikania ciepła jest odwrotnością współczynnika oporu cieplnego:

$$U = 1/RT,$$

gdzie: RT — współczynnik oporu cieplnego [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$].

Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych określa między innymi następujące wymagania:

Izolacyjność cieplna przegród

Maksymalne wartości współczynnika U dla przegród zewnętrznych zestawione zostały w tabeli 4, a dla okien i drzwi w tabeli 5, gdzie umieszczono wartości obowiązujące od 1 stycznia 2014 r., oraz które będą obowiązywały od 1 stycznia 2017 i od 1 stycznia 2021 r., a w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością od 1 stycznia 2019 r.

Tabela 4. Maksymalne wartości współczynnika U dla przegród zewnętrznych

Lp.	Rodzaj przegrody i temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $U_{c(\max)}$ [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]		
		od 01.01.2014 r.	od 01.01.2017 r.	od 01.01.2021 r. (lub 2019 r.)
1	Ściany zewnętrzne:			
	a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$	0,25	0,23	0,20
	b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$	0,45		
	c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,90		
2	Ściany wewnętrzne:			
	a) przy $\Delta t_i \geq 8^\circ\text{C}$ oraz oddzielające pomieszczenia ogrzewane od klatek schodowych i korytarzy	1,00		
	b) przy $\Delta t_i < 8^\circ\text{C}$	bez wymagań		
	c) oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	0,30		

Lp.	Rodzaj przegrody i temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $U_{(max)}$ [W/(m ² · K)]		
		od 01.01.2014 r.	od 01.01.2017 r.	od 01.01.2021 r. (lub 2019 r.)
3	Ściany przyległe do szczelin dylatacyjnych o szerokości:			
	a) do 5 cm, trwale zamkniętych i wypełnionych izolacją cieplną na głębokości co najmniej 20 cm	1,00		
	b) powyżej 5 cm, niezależnie od przyjętego sposobu zamknięcia i zaizolowania szczeliny	0,70		
4	Ściany nieogrzewanych kondygnacji podziemnych	bez wymagań		
5	Dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami:			
	a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$	0,20	0,18	0,15
	b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$	0,30		
	c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,70		
6	Podłogi na gruncie:			
	a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$	0,30		
	b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$	1,20		
	c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	1,50		
7	Stropy nad piwnicami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podpodłogowymi:			
	a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$	0,25		
	b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$	0,30		
	c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	1,00		
8	Stropy nad ogrzewanymi pomieszczeniami podziemnymi i stropy międzykondygnacyjne:			
	a) przy $\Delta t_i \geq 16^\circ\text{C}$	1,00		
	b) przy $8^\circ\text{C} \leq \Delta t_i < 16^\circ\text{C}$	bez wymagań		
	c) oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	0,25		

Tabela 5. Maksymalne wartości współczynnika U dla okien, okien balkonowych i drzwi zewnętrznych

Lp.	Okna, drzwi balkonowe i drzwi zewnętrzne	Współczynnik przenikania ciepła $U_{(max)}$ [W/(m ² · K)]		
		od 01.01.2014 r.	od 01.01.2017 r.	od 01.01.2012 r. (lub 2019 r.)
1	Okna z (wyjątkiem połaciowych), drzwi i powierzchnie przezroczyste nieotwieralne:			
	a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$	1,3	1,1	0,9
	b) przy $t_i < 16^\circ\text{C}$	1,8	1,6	1,4
2	Okna połaciowe			
	a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$	1,5	1,3	1,1
	b) przy $t_i < 16^\circ\text{C}$	1,8	1,6	1,4

Lp.	Okna, drzwi balkonowe i drzwi zewnętrzne	Współczynnik przenikania ciepła $U_{(max)}$ [W/(m ² · K)]		
		od 01.01.2014 r.	od 01.01.2017 r.	od 01.01.2012 r. (lub 2019 r.)
3	Okna w ścianach wewnętrznych:			
	a) przy $\Delta t_i \geq 8^\circ\text{C}$	1,5	1,3	1,1
	b) przy $\Delta t_i < 8^\circ\text{C}$	bez wymagań		
	c) oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	1,5	1,3	1,1
4	Drzwi w przegrodach zewnętrznych lub w przegrodach między pomieszczeniami ogrzewanymi i nieogrzewanymi	1,7	1,5	1,3
5	Okna i drzwi zewnętrzne w przegrodach zewnętrznych pomieszczeń nieogrzewanych	bez wymagań		

W przypisach do tabel 4 i 5 definiuje się pomieszczenie ogrzewane jako pomieszczenie, w którym na skutek działania systemu ogrzewania lub w wyniku bilansu strat i zysków ciepła utrzymywana jest temperatura, której wartość została określona w § 134 ust. 2 rozporządzenia, a symbol t_i oznacza temperaturę obliczeniową w pomieszczeniu, zgodnie z § 134 ust. 2 rozporządzenia.

Izolacja cieplna podłogi na gruncie

Dla budynków mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej, produkcyjnych, magazynowych i gospodarczych podłoga na gruncie w ogrzewanym pomieszczeniu powinna mieć izolację cieplną obwodową z materiału izolacyjnego w postaci warstwy o oporze cieplnym co najmniej 2,0 W/(m² · K). Opór cieplny warstw podłogowych oblicza się zgodnie z Polskimi Normami.

Część podziemna budynku narażona jest na trudne warunki wilgotnościowe, wody gruntowe, zamrażanie i odmrażanie, wobec czego materiał do izolacji obwodowej powinien charakteryzować się wysoką trwałością, nienasiąkliwością, stabilnością parametrów fizycznych i mechanicznych. Jednym z takich materiałów jest XPS, czyli polistyren ekstrudowany, który ma bardzo dobre własności termoizolacyjne.

Izolacja przewodów rozdzielczych i komponentów w instalacjach

Izolacja przewodów rozdzielczych i komponentów w instalacjach centralnego ogrzewania, ciepłej wody użytkowej (w tym przewodów cyrkulacyjnych), instalacji chłodu i ogrzewania powietrznego powinna spełniać wymagania minimalne określone w tabeli 6.

Tabela 6. Minimalna grubość izolacji cieplnej przewodów rozdzielczych i komponentów w instalacjach centralnego ogrzewania, ciepłej wody użytkowej (w tym przewodów cyrkulacyjnych), instalacji chłodu i ogrzewania powietrznego

Lp.	Rodzaj przewodu lub komponentu	Minimalna grubość izolacji cieplnej (materiał o współczynniku przewodzenia ciepła $0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})^1$)
1	Średnica wewnętrzna do 22 mm	20 mm
2	Średnica wewnętrzna od 22 do 35 mm	30 mm
3	Średnica wewnętrzna od 35 do 100 mm	równa średnicy wewnętrznej rury
4	Średnica wewnętrzna ponad 100 mm	100 mm
5	Przewody i armatura wg poz. 1–4 przechodzące przez ściany lub stropy, skrzyżowania przewodów	50% wymagań z poz. 1–4
6	Przewody ogrzewań centralnych, przewody wody ciepłej i cyrkulacji instalacji ciepłej wody użytkowej wg poz. 1–4, ułożonej w komponentach budowlanych między ogrzewanymi pomieszczeniami różnych użytkowników	50% wymagań z poz. 1–4
7	Przewody wg poz. 6 ułożone w podłodze	6 mm
8	Przewody ogrzewania powietrznego (ułożone w części ogrzewanej budynku)	40 mm
9	Przewody ogrzewania powietrznego (ułożone w części nieogrzewanej budynku)	80 mm
10	Przewody instalacji wody lodowej prowadzone wewnątrz budynku ²⁾	50% wymagań z poz. 1–4
11	Przewody instalacji wody lodowej prowadzone na zewnątrz budynku ²⁾	100% wymagań z poz. 1–4

Uwaga:

¹⁾ Przy zastosowaniu materiału izolacyjnego o innym współczynniku przenikania ciepła niż podano w tabeli należy skorygować grubość warstwy izolacyjnej.

²⁾ Izolacja cieplna wykonana jako powietrznoszczelna.

Okna i przegrody szklane

W budynku mieszkalnym i zamieszkania zbiorowego pole powierzchni A_0 [m²] okien oraz przegród szklanych i przezroczystych o współczynniku przenikania ciepła nie mniejszym niż $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, obliczone według ich wymiarów modularnych, nie może być większe niż wartość $A_{0\text{max}}$ obliczona według wzoru:

$$A_{0\text{max}} = 0,15 A_z + 0,03 A_w,$$

gdzie:

A_z — jest sumą pól powierzchni rzutu poziomego wszystkich kondygnacji nadziemnych (w zewnętrznym obrysie budynku) w pasie o szerokości 5 m wzdłuż ścian zewnętrznych,

A_w — jest sumą pól powierzchni pozostałej części rzutu poziomego wszystkich kondygnacji po odjęciu A_z .

W budynku użyteczności publicznej pole powierzchni okien oraz przegród szklanych i przezroczystych nie może być większe niż wartość $A_{0\max}$, jeżeli nie jest to sprzeczne z warunkami dotyczącymi zapewnienia niezbędnego oświetlenia światłem dziennym, określonymi w § 57 rozporządzenia (Rozdział 2. *Oświetlenie i nasłonecznienie*).

W budynku produkcyjnym, magazynowym i gospodarczym łączne pole powierzchni okien oraz ścian szklanych w stosunku do powierzchni całej elewacji nie może być większe niż:

- w budynku jednokondygnacyjnym (halowym) — 15%,
- w budynku wielokondygnacyjnym — 30%.

Współczynnik przepuszczalności energii całkowitej promieniowania słonecznego okien oraz przegród szklanych i przezroczystych g (który oznacza ilość energii cieplnej dostarczonej przez Słońce, która przeniknie przez okno do wnętrza pomieszczenia) oblicza się według wzoru:

$$g = f_C g_n,$$

gdzie:

g_n — współczynnik całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego dla typu oszklenia,

f_C — współczynnik redukcji promieniowania ze względu na zastosowane urządzenia przeciwsłoneczne, w okresie letnim nie może być większy niż 0,35.

Wartości współczynnika całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego dla typu oszklenia g_n należy przyjmować na podstawie deklaracji właściwości użytkowych okna.

W przypadku braku danych wartość g_n zestawiono w tabeli 7.

Tabela 7. Wartości współczynnika całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego dla typu oszklenia g_n

Lp.	Typ oszklenia	Współczynnik całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego g_n
1	Pojedynczo szklone	0,85
2	Podwójnie szklone	0,75
3	Podwójnie szklone z powłoką selektywną	0,67
4	Potrójnie szklone	0,7
5	Potrójnie szklone z powłoką selektywną	0,5
6	Okna podwójne	0,75

Wartości współczynnika redukcji promieniowania ze względu na zastosowane urządzenia przeciwsłoneczne f_C zestawiono w tabeli 8.

Tabela 8. Wartości współczynnika redukcji promieniowania ze względu na zastosowane urządzenia przeciwsłoneczne f_C

Lp.	Typ zasłon	Właściwości optyczne		Współczynnik redukcji promieniowania f_C	
		Współczynnik absorpcji	Współczynnik przepuszczalności	Ośłona wewnętrzna	Ośłona zewnętrzna
1	Białe żaluzje o lamelach nastawnych	0,1	0,05	0,25	0,10
			0,1	0,30	0,15
			0,3	0,45	0,35
2	Zasłony białe	0,1	0,5	0,65	0,55
			0,7	0,80	0,75
			0,9	0,95	
3	Zasłony kolorowe	0,3	0,1	0,42	0,17
			0,3	0,57	0,37
			0,5	0,77	0,57
4	Zasłony z powłoką aluminiową	0,2	0,05	0,20	0,08

Rozporządzenie określa też wymagania odnoszące się do właściwości fizycznych przegród, takich jak kondensacja pary wodnej w przegrodzie i szczelności powietrznej przegród zewnętrznych i połączeń między nimi.

Wymagania dotyczące powierzchniowej kondensacji pary wodnej

Rozwiązania przegród zewnętrznych i ich węzłów konstrukcyjnych powinny charakteryzować się współczynnikiem temperaturowym f_{Rsi} o wartości nie mniejszej niż wymagana wartość krytyczna, obliczona zgodnie z Polską Normą PN-EN ISO 13788:2003 dotyczącą metody obliczania temperatury powierzchni wewnętrznej koniecznej do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej.

Wymaganą wartość krytyczną współczynnika temperaturowego f_{Rsi} w pomieszczeniach ogrzewanych do temperatury co najmniej 20°C w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej należy określać według rozdziału 5 Polskiej Normy PN-EN ISO 13788:2003, przy założeniu, że średnia miesięczna wartość wilgotności względnej powietrza wewnętrznego jest równa $\phi = 50\%$, przy czym dopuszcza się przyjmowanie wymaganej wartości tego współczynnika równej 0,72.

Wartość współczynnika temperaturowego charakteryzującego zastosowane rozwiązanie konstrukcyjno-materiałowe należy obliczać:

- dla przegrody — według Polskiej Normy PN-EN ISO 13788:2003, o której mowa w punkcie 2.2.1.,
- dla mostków cieplnych przy zastosowaniu przestrzennego modelu przegrody — według Polskiej Normy PN-EN ISO 10211:2008 dotyczącej obliczania strumieni cieplnych i temperatury powierzchni.

Dopuszcza się kondensację pary wodnej, o której mowa w § 321 ust. 2 rozporządzenia, wewnątrz przegrody w okresie zimowym, o ile struktura przegrody umożliwi wyparowanie kon-

densatu w okresie letnim i nie nastąpi przy tym degradacja materiałów budowlanych przegrody na skutek tej kondensacji.

Szczelność powietrzna

Połączenia między przegrodami i częściami przegród (między innymi połączenie stropodachów lub dachów ze ścianami zewnętrznymi), przejścia elementów instalacji (takie jak kanały instalacji wentylacyjnej i spaliniowej przez przegrody zewnętrzne) oraz połączenia okien z ościeżami należy projektować i wykonywać pod kątem osiągnięcia ich całkowitej szczelności na przenikanie powietrza.

W budynkach niskich, średniowysokich i wysokich przepuszczalność powietrza dla okien i drzwi balkonowych przy ciśnieniu 100 Pa wynosi nie więcej niż $2,25 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h})$ w odniesieniu do długości linii stykowej lub $9 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ w odniesieniu do pola powierzchni, co odpowiada klasie 3 Polskiej Normy dotyczącej przepuszczalności powietrza okien i drzwi.

Dla okien i drzwi balkonowych w budynkach wysokościowych przepuszczalność powietrza przy ciśnieniu równym 100 Pa wynosi nie więcej niż $0,75 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h})$ w odniesieniu do długości linii stykowej lub $3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ w odniesieniu do pola powierzchni, co odpowiada klasie 4 Polskiej Normy PN-EN 12207:2001 dotyczącej przepuszczalności powietrza okien i drzwi.

Zalecana szczelność powietrzna budynków wynosi:

- w budynkach z wentylacją grawitacyjną lub wentylacją hybrydową — $n_{50} < 3,0 \text{ l/h}$;
- w budynkach z wentylacją mechaniczną lub klimatyzacją — $n_{50} < 1,5 \text{ l/h}$.

Zalecane jest, by po zakończeniu budowy budynek został poddany próbie szczelności przeprowadzonej zgodnie z Polską Normą PN-EN 13829:2002 dotyczącą określania przepuszczalności powietrznej budynków.

Wymagania dla standardów NF15 i NF40

Wytyczne określają podstawowe wymogi niezbędne do osiągnięcia standardów energetycznych NF15 i NF40. Wysokość dofinansowania jest zróżnicowana dla domów jednorodzinnych, lokali mieszkalnych w budynkach wielorodzinnych i zależy od osiągniętego standardu.

Wymagania opierają się na ekspertyzie przygotowanej przez Krajową Agencję Poszanowania Energii SA. Opracowanie zostało udostępnione do szerokich konsultacji na stronie internetowej NFOŚiGW, po których wytyczne zostały zatwierdzone przez Zarząd NFOŚiGW. Stanowią załącznik nr 3 do programu.

Od 18 sierpnia 2014 r. obowiązuje nowa wersja dokumentu *Treść programu priorytetowego*, w którym zawarte są wszystkie istotne informacje (dokument dostępny na stronie www.nfosigw.gov.pl w informacjach o programie).

Podstawowe różnice w odniesieniu do wymagań stawianych w obowiązującym rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych dotyczą współczynnika U dla przegród zewnętrznych oraz narzucają konieczność zastosowania wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła i wysoko wydajnych urządzeń technicznych stosowanych na potrzeby ogrzewania powietrza, wody użytkowej, klimatyzacji i oświetlenia.

Minimalne wymagania techniczne, obligatoryjne w standardzie NF15 i NF40, przedstawiono w osobnych tabelach dla budynku jednorodzinnego i wielorodzinnego. Tabela została podzielona na cztery części, odnoszących się różnych elementów projektu budynku. Część 1 dotyczy bryły i konstrukcji budynku, w części 2 zostały określone wymagania dotyczące wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła, w części 3 układy i instalacje ogrzewania, z określeniem między innymi sprawności urządzeń oraz grubości izolacji na przewodach, w części 4 wymagania dotyczące układów i instalacji do przygotowania ciepłej wody użytkowej.

Tabela 9. Minimalne wymagania techniczne obligatoryjne dla budynku jednorodzinnego w standardzie NF15 i NF40 — część 1: Bryła/konstrukcja budynku

Lp.	Wymaganie	NF15	NF40
		Budynek jednorodzinny	
v	Bryła/konstrukcja budynku		
1.1	Graniczne wartości współczynników przenikania ciepła przegród U_{max} , $W/m^2 \cdot K^{1)}$		
a)	ściany zewnętrzne	$\leq 0,10$	$\leq 0,15$
b)	dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami	$\leq 0,10$	$\leq 0,12$
c)	stropy nad piwnicami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podpodłogowymi, podłogi na gruncie	$\leq 0,12$	$\leq 0,20$
d)	okna, okna połaciowe, drzwi balkonowe i powierzchnie przezroczyste nieotwieralne ²⁾	$\leq 0,80$	$\leq 1,00$
e)	drzwi zewnętrzne, garażowe	$\leq 0,80$	$\leq 1,30$
1.2	Graniczne wartości liniowych współczynników strat ciepła mostków cieplnych, $W/m \cdot K$		
a)	plyty balkonowe	$\leq 0,01$	$\leq 0,30$
b)	pozostałe mostki cieplne ³⁾	$\leq 0,01$	$\leq 0,10$
1.3	Szczelność powietrzna budynku n_{50} , $1/h^{4)}$	$\leq 0,60$	$\leq 1,00$

Źródło: Wytyczne do programu priorytetowego „Poprawa efektywności energetycznej”, <https://www.nfosigw.gov.pl/oferta-finansowania/srodki-krajowe/programy-priorytetowe/dopłaty-do--kredytów-na-domy-energooszczędne/informacje-o-programie/>.

Tabela 10. Minimalne wymagania techniczne obligatoryjne dla budynku wielorodzinnego w standardzie NF15 i NF40 — część 1: Bryła/konstrukcja budynku

Lp.	Wymaganie	NF15	NF40
		Budynek jednorodzinny	
1.	Bryła/konstrukcja budynku		
1.1	Graniczne wartości współczynników przenikania ciepła przegród U_{max} , W/m ² · K ¹⁾		
a)	ściany zewnętrzne	≤0,15	≤0,20
b)	dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami	≤0,12	≤0,15
c)	stropy nad piwnicami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podpodłogowymi, podłogi na gruncie	≤0,15	≤0,20
d)	okna, okna połaciowe, drzwi balkonowe i powierzchnie przezroczyste nieotwieralne ²⁾	≤0,80	≤1,30
e)	drzwi zewnętrzne, garażowe	≤1,00	≤1,50

Lp.	Wymaganie	NF15	NF40
		Budynek jednorodzinny	
1.2	Graniczne wartości liniowych współczynników strat ciepła mostków cieplnych, W/m · K		
a)	plyty balkonowe	≤0,01	≤0,30
b)	pozostałe mostki cieplne ³⁾	≤0,01	≤0,10
1.3	Szczelność powietrzna budynku n ₅₀ , 1/h ⁴⁾	≤0,60	≤1,00

Źródło: wytyczne do programu priorytetowego „Poprawa efektywności energetycznej”, <https://www.nfosigw.gov.pl/oferta-finansowania/srodki-krajowe/programy-priorytetowe/dopłaty-do--kredytów-na-domy-energooszczędne/informacje-o-programie/>.

Jak można zauważyć, wymagania różnią się znacznie w stosunku do wytycznych rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, nawet tych, które mają obowiązywać od stycznia 2021 r. Sprostanie tym wymaganiom wiąże się z potrzebą stosowania grubszej warstwy izolacji termicznej na ścianach zewnętrznych oraz materiałów konstrukcyjnych o jak najniższym współczynniku przewodzenia ciepła λ , z odpowiednim doбором okien i drzwi zewnętrznych, stosowaniem rozwiązań eliminujących mostki termiczne.

Wymagania architektoniczne

Dom energooszczędny stawia duże wymagania architekturze. Estetykę obiektu determinuje konieczność ograniczenia strat ciepła przez przegrody zewnętrzne i mostki termiczne, a także właściwe rozmieszczenie okien. Wymagania dotyczące układu pomieszczeń kształtują układ funkcjonalny domu. Istotne jest wybranie odpowiedniej lokalizacji, ukształtowania terenu działki, elementów ograniczających dostęp światła słonecznego oraz zasłaniających od chłodnych wiatrów. Istotna jest zabudowa i rodzaj zieleni na sąsiednich działkach.

Nie zawsze możemy perfekcyjnie wybrać miejsce budowy domu, ale warto zwrócić uwagę na elementy, które wpływają pozytywnie na właściwości budynku:

- orientacja działki: wjazd od strony północnej, ogród od strony południowej;
- szerokość działki pozwalająca na dostarczenie południowego światła do wszystkich pomieszczeń mieszkalnych;
- łagodne pochylenie terenu w kierunku południowym — ekspozycja na słońce;
- na sąsiednich działkach drzewa lub budynki wysokie nie powinny powodować nadmiernego zacienienia działki, mogą natomiast stanowić osłonę od zachodnich i północnych wiatrów.

Projekt zagospodarowania działki powinien przewidzieć optymalny układ wszystkich planowanych elementów:

- lokalizacja garażu czy wiaty na samochód w sposób pozwalający na osłonięcie budynku przed wiatrem i jednocześnie tak, żeby nie ograniczać dostępu promieni słonecznych do budynku;
- taras ze stałym zadaszeniem powinien być tak zlokalizowany, aby nie ograniczać dostępu światła słonecznego do pomieszczeń mieszkalnych;
- odpowiednie zaprojektowanie zieleni na działce: od strony północno-zachodniej drzewa iglaste stanowią osłonę od wiatrów, od strony południowej i zachodniej drzewa liściaste dają zacienienie latem, a w okresie jesienno-zimowym nie ograniczają dostępu promieni słonecznych do budynku.

Architektura, a właściwie geometria budynku, powinna być dostosowana do lokalizacji, ekspozycji na słońce i ukształtowania terenu.

Elementy architektoniczne istotne dla domu energooszczędnego to przede wszystkim:

- zwarta bryła — jak najmniejsza powierzchnia przegród zewnętrznych (ścian, dachu i piwnicy) w stosunku do objętości użytkowej budynku; tzw. stopień zwartości bryły wyrażony współczynnikiem A/V , czyli stosunek zewnętrznej powierzchni przegród zewnętrznych do ogrzewanej kubatury;
- maksymalna długość elewacji ekspozowanej na południe i południowy zachód, mniejsza długość elewacji północnej;
- duże przeszklenia w elewacji południowej przy jednoczesnym ograniczeniu wielkości i liczby okien na ścianie północnej;
- weranda, ogród zimowy — poza strefą ogrzewania, z możliwością zamknięcia;
- konstrukcja balkonów i tarasów niezależna od konstrukcji budynku, aby nie stwarzać miejsc, w których ciągłość izolacji termicznej zostaje przerywana — unikanie mostków termicznych;
- garaż dostawiony do budynku — poza strefą ogrzewaną; częste otwieranie wrót garażowych oraz konieczna w garażu wentylacja powodują duże straty ciepła;
- ruchome urządzenia zacieniające, stosowane przy nadmiernym nasłonecznieniu;
- detale konstrukcyjne zaprojektowane tak, aby wyeliminować mostki termiczne;
- kształt dachu umożliwiający mocowanie urządzeń typu kolektory słoneczne lub baterie fotowoltaiczne na połaci ekspozowanej na południe — optymalne nachylenie połaci około $38-45^\circ$ w kierunku południowym lub południowo-zachodnim;
- pasywne systemy słoneczne: system zysków bezpośrednich i pośrednich, np. z układem przeszklonej werandy.

Materiały budowlane dla budynków energooszczędnych

Regulacje unijne zmuszają producentów i inwestorów do stosowania energooszczędnych technologii, wprowadzenia nowych materiałów budowlanych oraz rozwiązań konstrukcyjnych. Dzięki obowiązkowej energooszczędności obserwuje się wzrost zainteresowania materiałami oraz urządzeniami podnoszącymi standard energetyczny budynków. Unijna Dyrektywa 2010/31/EU w sprawie charakterystyki energetycznej budynków wprowadza obowiązek stosowania ekologicznych i energooszczędnych materiałów budowlanych i technologii. Wzrost wymagań dotyczących charakterystyki energetycznej budynków przyczynił się do pojawienia się na rynku znanych materiałów budowlanych o ulepszonych właściwościach izolacyjnych oraz materiałów zupełnie nowych. Powszechnie stosowane styropian czy wełna mineralna, aby zapewnić skuteczną ochronę termiczną, wymagają większej grubości warstwy. Materiały o lepszych parametrach izolacyjnych pozwalają na stosowanie mniejszej grubości i nie naruszają formy architektonicznej budynku. Przykładem takich technologii może być izolacja próżniowa czy aerożele, wykorzystywane do tej chwili m.in. na okrętach podwodnych i w satelitach.

Nowego wymiaru nabiera stosowanie nowoczesnego szkła budowlanego. Szyby dwukomorowe, które łączą izolacyjność termiczną z wysoką przepuszczalnością energii do wnętrza pomieszczeń w sezonie grzewczym będą w stanie pozyskać więcej energii niż potrzeba na pokrycie jej strat.

Niepopularne dotąd w Polsce technologie szkieletu drewnianego lub stalowego zyskują coraz większe uznanie. Możliwość prefabrykacji takich konstrukcji i krótki czas budowy czynią tego typu budownictwo atrakcyjnym.

Materiały konstrukcyjne

Przykładowe materiały konstrukcyjne wykorzystywane w budownictwie energooszczędnym — informacje pochodzą ze stron WWW producentów.

Ściany zewnętrzne jednowarstwowe

Pustaki ceramiczne, np. POROTHERM 44 dryfix.

Specjalnie szlifowane powierzchnie poziome, do łączenia których wykorzystuje się suchą zaprawę DRYFIX. Podstawową zaletą jej stosowania jest sucha ściana zaraz po wybudowaniu oraz brak mostków termicznych w miejscach zaprawy.

Ściana o gr. 44 cm, $U = 0,30 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ — nie spełnia aktualnych wymagań.

Błocki z betonu komórkowego, np.:

YTONG ENERGO Ściana z bloczka o gr. 48 cm	$U = 0,19 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
YTONG ENERGO + Ściana z bloczka o gr. 48 cm Ściana z bloczka o gr. 36,5 cm	$U = 0,17 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ $U = 0,23 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
TERMALICA Ściana z bloczka o gr. 48 cm	$U = 0,17 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
SOLBET IDEAL Ściana z bloczka o gr. 42 cm	$U = 0,25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
H+H SUPERTERMO Ściana z bloczka o gr. 42 lub 48 cm	$U < 0,20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Ściany zewnętrzne dwuwarstwowe

Warstwa konstrukcyjna + izolacja termiczna:

- pustaki ceramiczne,
- bloczki z betonu komórkowego,
- pustaki keramzytobetonowe.

Wymagają izolacji termicznej, gr. od 10–20 cm, aby spełniały warunki techniczne.

SYSTEMY MIESZANE — CIEPŁA KONSTRUKCJA

HOTBLOK

Pustaki keramzytobetonowe z przestrzeniami wypełnionymi styropianem. Ściana z bloczka o gr. 42cm, $U = 0,15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ — spełnia wszystkie wymagania.

LEYER MONOLITplus

Pustaki keramzytobetonowe z przestrzeniami wypełnionymi styropianem. Ściana z bloczka o gr. 42cm, $U = 0,28 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ — wymaga docieplenia.

ISODOM 2000

Pustaki z polistyrenu ekspandowanego, wielkowymiarowe (dł. pustaka 100 cm), tworząc przestrzeń wypełnianą betonem konstrukcyjnym:

ISODOM 2000 — KING BLOK Ściana o gr. 35cm (w tym styropian 5 + 15 cm, beton 15 cm)	$U = 0,15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
ISODOM 2000 — SUPER KING BLOK Ściana o gr. 45cm (w tym styropian 5 + 25 cm, beton 15 cm)	$U = 0,10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Prefabrykowane domy szkieletowe

Poszczególne elementy budynku realizowane są, na podstawie projektu, w hali produkcyjnej z materiałów wysokiej jakości. Przetransportowane na miejsce przeznaczenia montowane są w bardzo krótkim czasie.

Charakteryzują się wysoką jakością wykonania elementów oraz szczelnością. Dzięki znacznej precyzji technologia ta pozwala na budowanie domów energooszczędnych, a także pasywnych, przy mniejszym (niż w przypadku tradycyjnych technologii) nakładzie finansowym i czasowym. Ściany domu prefabrykowanego mają budowę szkieletową, ale ze względu na większe przekroje elementów konstrukcyjnych są masywniejsze niż typowe domy szkieletowe. Obustronne poszycie wszystkich ścian zewnętrznych i wewnętrznych odpowiednią płytą drewnopochodną dodaje trwałości i sztywności konstrukcji. W celu zminimalizowania mostków termicznych stosuje się dodatkową izolację wewnętrzną i zewnętrzną. Domy mogą być wykończone elewacją drewnianą lub tynkiem. Konstrukcja może być drewniana lub stalowa.

Prefabrykowane domy z keramzytobetonu

Keramzyt powstaje w procesie wypalania gliny i stanowi naturalny materiał budowlany. Charakteryzuje się porowatą strukturą, dzięki czemu ściany z keramzytu mają dobrą izolacyjność akustyczną i termiczną. Przykładowo, keramzytobeton o gęstości 1000 kg/m posiada współczynnik przewodzenia ciepła λ rzędu 0,38 W/m · K. Wymaga ocieplenia — ściana z tego materiału musiałaby mieć grubość ponad 120 cm, by zapewnić wymagany aktualnymi przepisami budowlanymi współczynnik przenikania ciepła.

Izolacje

Wełna mineralna

Wełna szklana lub wełna skalna. Wełna skalna jest bardziej odporna na ściskanie (dobra do izolacji dachu płaskiego i jako termoizolacja pod tynk), a wełna szklana bardziej sprężysta. Łatwo je odróżnić po kolorze: mineralna jest zielonobrunatna, a szklana żółta. Powszechnie dostępne mają współczynnik przewodzenia ciepła λ w zakresie 0,036–0,044 W/(m · K). Są sprężyste i paroprzepuszczalne, odporne na chemikalia i nie rozprzestrzeniają ognia, dobrze pochłaniają dźwięki. Z wełny mineralnej produkuje się płyty i maty.

Nowym na rynku produktem jest granulata, mający postać strzępków nasączonych impregnatem zlepiającym i hydrofobizującym. Sprzedawany jest w workach o pojemności 7,5 lub 20 kg. Stosuje się go do wykonywania izolacji nadmuchowej stropów, dachów i ścian szkieletowych.

Dla spełnienia warunku $U < 0,20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ potrzebna jest grubość warstwy około 20 cm (pomijając właściwości pozostałych warstw przegrody).

Styropian

Ekspandowany, czyli spieniony polistyren. Materiał izolacyjny do ścian zewnętrznych i stropów. Lekki, sztywny, nienasiąkliwy, nieszkodliwy dla zdrowia, odporny na starzenie się, pleśń i grzyby. Łatwy w obróbce. Współczynnik przewodzenia ciepła porównywalny z wełną mineralną, λ w zakresie $0,031\text{--}0,044 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$. Występuje w postaci płyt, płyt laminowanych np. papą, również jako granulata do izolacji nadmuchowej lub mieszania z zaprawami (tzw. ciepłe zaprawy). Styropian oznacza się symbolem EPS, np. EPS 100. Podaje się również jego współczynnik λ i zastosowanie — np. twarde płyty styropianowe przeznaczone są do izolacji podłóg.

Nowym na rynku produktem jest styropian nacinany w celu zapewnienia sprężystości, którym można izolować dachy między krokwiemi.

Styropian w kolorze szarym — z dodatkiem grafitu, współczynnik λ wynosi $0,031\text{--}0,033 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$.

Styropian ryflowany — z podłużnymi rowkami z jednej strony — stosuje się w budownictwie drewnianym szkieletowym — nacięcia pozwalają na wentylowanie powierzchni wewnętrznej izolacji.

Polistyren ekstrudowany XPS

Powstaje w procesie ekstrudowania granulatu z polistyrenu. Gazem spieniającym jest dwutlenek węgla. Masa po ostygnięciu tworzy blok o strukturze zamkniętych komórek.

Bloki cięte są na płyty. Występują płyty z fazowanymi krawędziami, do łączenia na pióro i wpust lub na zakład. Współczynnik przewodzenia ciepła λ w zakresie $0,034\text{--}0,036 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$.

Płyty z polistyrenu ekstrudowanego stosuje się zwłaszcza do izolacji przyziemi i piwnic, dróg komunikacyjnych, podłóg przemysłowych i w technologii dachów odwróconych. Zalety polistyrenu ekstrudowanego: bardzo dobra izolacyjność cieplna, duża wytrzymałość na ściskanie w kierunku prostopadłym do płaszczyzny płyty, bardzo mała nasiąkliwość, niepodatność na korozję biologiczną, odporność na cykle mrozowe, niewielki ciężar, łatwość montażu.

Pianka PIR

Pianka poliuretanowa. Materiał ten posiada świetne właściwości izolacyjne — najniższy współczynnik przenikania ciepła λ wśród tworzyw piankowych: $0,0185\text{--}0,029 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, opcjonalnie pozwalające na stosowanie materiału mniejszej grubości. Jest odporna na przenikanie wilgoci i wody przez przegrodę, posiada dużą odporność na większość rozpuszczalników powszechnie stosowanych w budownictwie, jest odporna na działanie ognia, charakteryzuje się znaczną opornością cieplną. Jest przyjazna dla środowiska ze względu na możliwość recyklingu, ponadto nie oddziałuje na warstwę ozonową.

Stosowana jako izolacja nakrokwkowa (lekka — $39,2 \text{ kg/m}^3$, wytrzymała na ściskanie — 150 kPa i rozciąganie — 170 kPa), jak i do ocieplania ścian, dachów płaskich, tarasów, fundamentów i stropów.

W sprzedaży dostępne są płyty PIR o grubości od 5–14 cm: obustronnie układane folią aluminiową, jedno- lub obustronnie połączone z płytą gipsowo-kartonową lub gipsowo-włóknową, albo dwustronnie z płytą OSB (ścienne i dachowe elementy konstrukcyjne). Występuje też w postaci płynnej, którą nakłada się natryskowo, eliminując przerwy połączeniowe, a tym samym mostki cieplne, ułatwia izolowanie trudno dostępnych miejsc.

Keramzyt

Jako materiał izolacyjny występuje w postaci sypkiej. Współczynnik przewodzenia ciepła λ w zakresie 0,08–0,14 W/(m · K). Stosowany jako izolacja podłóg na gruncie, gdzie zastępuje podsypkę pod płytą betonową. Może być wykorzystany jako izolacja ścian fundamentowych, stropów, w tym stropów drewnianych.

Folie termoizolacyjne

Wielowarstwowe folie metalizowane. Warstwa folii metalizowanej odbija promieniowanie ciepłe. W połączeniu z folią bąbelkową, kilkoma cienkimi matami poliestrowymi lub z pianki polietylenowej tworzy ciekawą i bardzo skuteczną izolację termiczną, jednocześnie może zastąpić folię paroizolacyjną. W zależności od struktury współczynnik przewodzenia ciepła λ osiąga 0,017–0,027 W/(m · K), przy grubości materiału od 20 do 40 mm. Stosowane przy ocieplaniu poddaszy, ścian domów szkieletowych, jako dodatkowe ocieplenie w połączeniu z innymi materiałami.

Płyty z piany fenolowej

Płyty obustronnie powlekane welonem szklanym, nie chłoną wilgoci, nie przepuszczają pary wodnej. Współczynnik przewodzenia ciepła λ osiąga 0,021 W/(m · K). Oznaczają się znaczną wytrzymałością mechaniczną, są trudnozapalne i nietopliwe. Stosowane do izolacji ścian zewnętrznych.

Włókna celulozowe

Materiał z recyklingu: powstaje z makulatury. Sprzedawane w postaci sypkiej w workach. Zawierają substancje impregnujące, chroniące przed wilgocią i ogniem.

Stosowane do izolacji nadmuchowej stropów, dachów, ścian szkieletowych. Współczynnik przewodzenia ciepła λ równy 0,041–0,07 W/(m · K).

Aerożele

Elastyczne, nanoporowate maty izolacyjne z aerożelu krzemionkowego z włóknami wzmacniającymi, odporne na nacisk, hydrofobowe. Materiał będący rodzajem sztywnej piany o wyjątkowo małej gęstości. Jego masa to w 90–99,8% powietrze, resztę stanowi porowaty materiał tworzący jego strukturę. Odporny na ściskanie i rozciąganie.

Wytrzymuje nacisk na gładką powierzchnię masy rzędu 2000 razy masy własnej. Bardzo nieodporny na uderzenia oraz na skręcanie i ścinanie. Dostępne są maty grubości 5 i 10 mm, sprzedawane w rolkach. Mają bardzo niski współczynnik przewodzenia ciepła, wynoszący 0,014–0,016 W/(m · K). Z uwagi na wysoką cenę stosuje się je tylko w trudnych do izolacji miejscach i w celu uniknięcia mostków termicznych, np. wzdłuż ościeży, stalowych słupów, rygli, nadproży, kaset rolet okiennych.

Paroizolacyjność przegrody

Jako materiały ograniczające przenikanie pary wodnej przez przegrody zewnętrzne stosuje się folie paroizolacyjne, folie metalizowane. Materiały zapewniające szczelność przegrody to również tynki wewnętrzne na ścianie murowanej, twarde płyty drewniane, płyty OSB, sklejki i wylewany beton. Wymaganą szczelność połączeń folii uzyskuje się, stosując taśmę butylowo-kauczukową z dodatkową łatą dociskową. W przypadku izolacji okien stosuje się piankowe taśmy rozprężne. Szczelne połączenie może również zapewnić taśma akrylowa.

Materiały nasiąkliwe i przepuszczające parę wodną to między innymi ściany murowane i fugi (zaprawa murarska), płyty paździerzowe i wiórowe, folie perforowane, deskowanie, wełna mineralna, styropian — na łączeniach.

Pianka montażowa PU i fugi silikonowe nie zapewniają szczelnego połączenia.

Bibliografia

Program dopłat do kredytów na budowę domów energooszczędnych: Treść programu priorytetowego obowiązującego od dnia 18.08.2014 r. — Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 3 czerwca 2014 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. z 2 lipca 2014 r., poz. 888).

Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 13 sierpnia 2013 r., poz. 926).

Standardy energetyczne budynku, zasady eksploatacji budynków energooszczędnych

Joanna Fiszer-Sozańska

Standardy energetyczne budynku

Standard energetyczny jest wyznacznikiem normy realizacji budynków o obniżonej energochłonności. Przepisy Prawa budowlanego określają podstawowe wytyczne, których należy przestrzegać w procesie realizacji inwestycji budowlanej. Jednak budynki powstające zgodnie z przepisami obowiązującymi w Polsce wciąż zużywają zbyt dużo energii. Dlatego bardzo istotna jest świadomość inwestorów i potrzeba dążenia do wypracowania bardziej rygorystycznych standardów, które prowadzą w stronę oszczędzania energii w budownictwie.

Energooszczędne rozwiązania nie są tanie ani nawet porównywalne do tradycyjnych, jednak ich cena będzie się stale obniżać. Paliwa konwencjonalne (węgiel, gaz, ropa naftowa), których zasoby wyczerpią się w perspektywie czasu, będą drożeć. Jest to podstawowy motyw kierujący nas w stronę oszczędnego gospodarowania energią oraz zainteresowania się pozytywnymi skutkami tańszej, bezpieczniejszej oraz bardziej ekologicznej energii.

Stosowanie się do zasad określających standardy energetyczne oznacza projektowanie i budowę domu ściśle według wymogów dotyczących:

- wysokiej izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych,
- eliminacji mostków termicznych (poprzez dodatkowe ocieplenie i odpowiednie rozwiązania konstrukcyjne),
- usytuowania budynku względem stron świata,
- właściwego kształtu budynku i układu funkcjonalnego,
- wysokiej sprawności systemów grzewczych na potrzeby c.o. i c.w.u.,
- zamiany wentylacji grawitacyjnej na mechaniczną z odzyskiem ciepła,
- oszczędzania energii.

W celu określenia standardów energetycznych używa się dwóch współczynników:

- U [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$] — współczynnik przenikania ciepła przez przegrody zewnętrzne budynku,
- E_A [$\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{rok}$] lub E_V [$\text{kWh}/\text{m}^3 \cdot \text{rok}$] — powierzchniowy lub kubaturowy wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło.

Współczynnik przenikania ciepła przez przegrodę U oblicza się ze wzoru:

$$U = \lambda/d,$$

gdzie:

λ — współczynnik przewodzenia ciepła [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$] charakteryzujący właściwości termiczne materiału,

d — grubość przegrody [m].

Współczynnik przenikania ciepła jest odwrotnością współczynnika oporu cieplnego:

$$U = 1/R_T,$$

gdzie: R_T — współczynnik oporu cieplnego [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$].

Wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło E określa ilość ciepła potrzebną do ogrzania 1 m^2 lub 1 m^3 domu (przyjmuje się w zależności od potrzeb) w ciągu roku. W praktyce informuje o tym, jak dużo energii trzeba będzie zużywać rocznie do ogrzewania domu w przeliczeniu na metr kwadratowy powierzchni lub metr sześcienny kubatury domu.

Sposób obliczenia współczynnika E określa Polska Norma. Obliczenia są dość skomplikowane, można je skrócić, wykorzystując odpowiednie programy komputerowe. Projekt budynku powinien zawierać dane niezbędne do przeprowadzenia obliczeń. Są to przede wszystkim informacje o współczynniku przenikania ciepła U wszystkich przegród budowlanych: podłóg, sufitów, dachu, ścian, okien i drzwi, oraz ich powierzchni, którą zwykle trzeba obliczyć, odczytując wymiary z rysunków. Istotne jest, jak budynek będzie usytuowany względem stron świata.

W domu energooszczędnym E nie jest większe niż $70 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$, czyli $26 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{rok})$. Znając wartość wskaźnika E , można łatwo oszacować roczne koszty ogrzewania domu. Wystarczy do tego znajomość wartości opałowej paliw oraz ich cen.

W Polsce funkcjonuje kilka pojęć określających budynki, których parametry dotyczące energochłonności znacznie przewyższają normy wymagane prawnie.

Budynek energooszczędny (*low-energy house* — LEH):

- zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji do $70 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{rok}$,
- zapotrzebowanie na projektowe obciążenie cieplne około $50 \text{ W}/\text{m}^2$,
- wymaga częściowego pokrycia potrzeb energetycznych z zewnętrznych źródeł energii,
- wyposażony w wentylację mechaniczną.

Budynek niskoenergetyczny:

- zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji do $45 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{rok}$,
- zapotrzebowanie na projektowe obciążenie cieplne około $30 \text{ W}/\text{m}^2$,
- zapewnia wysoki komfort cieplny,
- wyposażony w wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła (rekuperację),
- posiada instalacje ekologiczne, np. kolektory słoneczne, pompę ciepła itp.

Budynek pasywny (*passive house* — PH):

- zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji do $15 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{rok}$,
- zapotrzebowanie na projektowe obciążenie cieplne około $10 \text{ W}/\text{m}^2$,

- całkowite zapotrzebowanie na energię pierwotną E_p do $120 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$,
- zapewnia wysoki komfort cieplny,
- nie wymaga tradycyjnych systemów grzewczych,
- jest wyposażony w wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła,
- posiada doskonałą izolacyjność przegród zewnętrznych (dla ścian $U < 0,15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$),
- posiada okna o podwyższonych parametrach izolacyjnych ($U < 0,80 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$),
- nie ma mostków termicznych,
- wykorzystuje ciepło z otoczenia — ciepło bytowe,
- odzyskuje ciepło z wentylacji,
- posiada instalacje ekologiczne, np. kolektory słoneczne, generator prądu — np. przydomową elektrownię wiatrową, ogniwa fotowoltaiczne.

Budynek zeroenergetyczny — samowystarczalny (*self-sufficient house* — SSH):

- zapotrzebowanie na energię cieplną do $5 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$,
- nie wymaga energii zewnętrznej do codziennego funkcjonowania,
- wyposażony w urządzenia produkujące energię elektryczną na własne potrzeby.

Skrajnym przykładem budynku samowystarczalnego jest tzw. budynek plusenergetyczny, który produkuje energię i jej nadwyżki sprzedaje do państwowej sieci energetycznej.

W literaturze pojawiają się różne metody nazewnictwa budynków. Zgodnie z klasyfikacją zaproponowaną przez prof. L. Laskowskiego (publikacja pt. *Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005) z punktu widzenia zapotrzebowania na energię wyróżnia się następujące kategorie budynków:

- **budynek substandardowy** — obiekt charakteryzujący się sezonowym zapotrzebowaniem na ciepło do ogrzewania na poziomie wyższym niż aktualnie przyjęty w przepisach budowlanych (wymagający termomodernizacji),
- **budynek niskoenergochłonny** — obiekt o względnie małych potrzebach energetycznych na wszystkich etapach, tzn. produkcji materiałów, wznoszenia, użytkowania i utylizacji,
- **budynek standardowy** — obiekt charakteryzujący się sezonowym zapotrzebowaniem na ciepło do ogrzewania na poziomie określonym w dotychczas obowiązujących przepisach budowlanych,
- **budynek o racjonalnej charakterystyce termoenergetycznej** — obiekt charakteryzujący się sezonowym zapotrzebowaniem na ciepło do ogrzewania na poziomie niższym niż określony w aktualnych przepisach budowlanych, który osiąga się przy zwiększonych kosztach, lecz akceptowanych przez przeciętnie zamożnych inwestorów (budynki tej kategorii stają się budynkami standardowymi — odpowiadają obowiązującym od stycznia 2014 r. przepisom budowlanym),
- **budynek o zminimalizowanych potrzebach cieplnych** — obiekt charakteryzujący się możliwie niskim zapotrzebowaniem na ciepło do ogrzewania, który osiąga się przy znacznych kosztach,
- **budynek superizolowany** — obiekt charakteryzujący się możliwie dużą izolacyjnością cieplną i szczelnością obudowy („bunkry cieplne”),
- **budynek helioaktywny** — obiekt przystosowany do wykorzystywania docierającej do budynku energii słonecznej,
- **budynek bez ogrzewania** — obiekt, w którym konwencjonalne ogrzewanie jest uruchamiane wyjątkowo, tylko w czasie występowania najniższych wartości temperatury na zewnątrz budynku,

— **budynek autarkiczny** — obiekt samowystarczalny w zakresie zaopatrzenia w ciepło, niekorzystający z konwencjonalnych źródeł energii (samowystarczalny).

Budynek pasywny to nazwa handlowa od lat promowana przez niemiecki Passivhaus Institut. Charakteryzuje się zminimalizowanymi potrzebami cieplnymi dzięki bardzo dużej izolacyjności cieplnej, szczelności obudowy, przystosowaniu do wykorzystywania docierającej do budynku energii słonecznej oraz energooszczędnym sposobom zapewnienia ogrzewania i wentylacji, a także racjonalnym kosztem wzniesienia.

Budynki pasywne mają cechy budynków superizolowanych, helioaktywnych i budynków bez ogrzewania.

Inne nazewnictwo nawiązuje do ilości zużywanego na potrzeby ogrzewania paliwa, stąd pojęcie **budynek 5-litrowy**. W przybliżeniu 11 litrów oleju opałowego równa się 10 kWh. Budynek 5-litrowy to taki, który zużywa na ogrzewanie w ciągu całego roku 5 litrów oleju lub 5 m³ gazu ziemnego na każdy metr kwadratowy powierzchni, czyli 5 kWh/(m² · rok).

Obecnie budynki dzieli się na: 7-, 5-, 3-litrowe oraz 1,5-litrowe, czyli pasywne. Budynek energooszczędny zużywa 30 kWh/(m² · rok) na ogrzewanie, czyli 3 litry oleju na metr kwadratowy rocznie. Budynek pasywny o połowę mniej.

Dom energooszczędny

Wielkość domu

Mniejszy dom to mniejsze straty ciepła. Utrata ciepła zależy od powierzchni przegród zewnętrznych. Im mniejsza powierzchnia, tym mniejsze straty. Istotny jest stosunek powierzchni przegród zewnętrznych do kubatury ogrzewanej budynku, czyli A/V . Im mniejszy, tym lepszy.

Kształt domu

Prosta bryła bez skomplikowanych dachów, dobudówek, wykuszy, lukarn ogranicza straty ciepła i zmniejsza ryzyko błędów wykonawczych. Dom o prostej bryle jest tańszy w budowie: wybudowany na planie prostokąta, z prostym dwu- lub jednospadowym dachem. Do największych strat ciepła dochodzi w narożnikach i załamaniach przegród zewnętrznych, dlatego należy minimalizować ich liczbę.

Domy piętrowe lub z poddaszem użytkowym mają lepszy współczynnik kształtu A/V niż domy parterowe o tej samej powierzchni użytkowej, w domu parterowym większe są też straty ciepła przez dach.

Ukształtowanie bryły domu tak, aby zwiększyć powierzchnię przegród zewnętrznych od południowej strony domu zmniejsza zapotrzebowanie na energię, dzięki zyskom ciepła od nasłonecznienia.

Duże okna oraz różnego rodzaju szklane przybudówki, oszklone hole i tarasy projektowane od strony południowej mogą pełnić funkcję kolektorów słonecznych ogrzewających bezpośrednio powietrze w domu.

Dom z dachem jednospadowym, tak zwanym pulpityowym, umożliwia uzyskanie jednej ściany zwróconej na południe o powierzchni znacznie większej od pozostałych. Jednocześnie ściana usytuowana od północy może mieć dużo mniejszą powierzchnię.

Układ pomieszczeń

Od północy powinny znajdować się pomieszczenia o funkcji pomocniczej: schowek, garderoba, pomieszczenie techniczne, garaż. Garaż powinien być usytuowany poza strefą ogrzewaną, bez połączenia z częścią mieszkalną. Ściany i strop garażu, jeśli sąsiadują z pomieszczeniami ogrzewanymi, powinny być izolowane termicznie. Pomieszczenia mieszkalne powinny być usytuowane od strony południowej i zachodniej, z oknami wykorzystującymi zyski ciepła ze Słońca.

Okna w domu energooszczędnym

Duże przeszklenia są równoznaczne z dużymi stratami ciepła. Od strony południowej straty ciepła zostaną zrekomensowane większymi zyskami od nasłonecznienia. W związku z tym duże przeszklenia powinny być projektowane od strony południowej, od strony północnej małe i w ograniczonej liczbie. Należy stosować okna o współczynniku przenikania ciepła U niższym niż $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ — trzyszybowe, z ramami z profili wielokomorowych z wkładkami termoizolacyjnymi. Dodatkowo wskazany jest tzw. ciepły montaż okien, poprzez usytuowanie okna w warstwie izolacyjnej i staranne wykonanie izolacji na połączeniu okna ze ścianą.

Materiały budowlane

Ściany jednowarstwowe, w technologii pozwalającej na uzyskanie współczynnika $U < 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, np.: bloczki styropianowe (wypełniane zbrojonym betonem), hotblok — pustaki keramzytobetonowe z wkładką styropianową.

Ściany dwuwarstwowe: warstwa konstrukcyjna (gazobeton, ceramika poryzowana, keramzytobeton) i warstwa izolacji grubości około 20 cm i większej (np. przy konstrukcji żelbetowej).

Izolacja dachu: minimum 20 cm (izolacja pomiędzy krokwiami, połączona z dodatkowym rusztem wypełnionym wełną mineralną poniżej krokwi, lub izolacja nakrokwiowa).

Ściany konstruowane w technologii szkieletowej umożliwiają zastosowanie bardzo grubej izolacji termicznej, przy zachowaniu niepowiększonej dodatkowo przez konstrukcję grubości ściany.

Bez mostków termicznych

Mostki termiczne to miejsca, w których następuje zmniejszenie bądź przerwanie izolacji termicznej. Najczęściej występują w takich miejscach, jak:

- wieńce, nadproża,
- ościeże otworów okiennych i drzwiowych,
- połączenie dachu ze ścianą zewnętrzną — źle izolowana murłata,
- połączenie dachu ze ścianą szczytową — brak powiązania izolacji dachu z izolacją ściany,
- połączenie płyty balkonowej ze stropem,
- przejście komina przez dach,
- połączenie ściany zewnętrznej ze ścianą fundamentową.

W tych miejscach dochodzi do ucieczki ciepła, może się też wykraplać para wodna, sprzyjając rozwojowi pleśni i grzybów.

Balkon, którego płyta jest połączona ze stropem, generuje straty ciepła porównywalne z tymi, jakie miałyby miejsce, gdyby nie ocieplono kilku metrów kwadratowych ściany zewnętrznej. Płyta balkonowa powinna być ocieplona od góry i od dołu, co jest trudne do osiągnięcia.

Jeżeli decydujemy się na balkon, powinien on mieć własną konstrukcję. Można też zastosować specjalne łączniki balkonowe, zapewniające ciągłość izolacji.

Wentylacja

Wentylacja mechaniczna nawiewno-wywiewna z odzyskiem ciepła. W systemie wentylacji stosuje się takie urządzenia, jak rekuperator czy gruntowy wymiennik ciepła. Gruntowy wymiennik ciepła pozwala na wstępne ogrzanie powietrza nawiewanego, a rekuperator na częściowe przekazanie ciepła z powietrza wywiewanego z budynku do powietrza nawiewanego.

Dom pasywny

Pojęcie domu pasywnego pochodzi z Niemiec, gdzie powołano do życia Instytut Domów Pasywnych w miejscowości Darmstadt. Tu po raz pierwszy zajęto się problemem opracowania domu, który z założenia będzie zużywał bardzo mało energii. Przyjęto, że tą graniczną wartością będzie $15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$. Dom pasywny w naszym klimacie ma zużywać tylko 1,5 litra oleju opałowego na rok na metr kwadratowy powierzchni.

Podstawowe cechy charakteryzujące standard budynków pasywnych według Passivhaus Institut Darmstadt:

- zwarta bryła budynku i dobra izolacja cieplna: współczynnik U w wszystkich przegród zewnętrznych nie przekracza $0,15 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$;
- południowa orientacja i uwzględnienie problematyki zacieniania: pasywne wykorzystanie energii słonecznej jest znaczącym czynnikiem przy projektowaniu budynku pasywnego;
- energooszczędne oszklenie i ramy okienne: okna (oszklenie i ramy) powinny mieć współczynniki U nieprzekraczające $0,80 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$, przy czym współczynniki g okien powinny wynosić około 50%;
- szczelność powietrzna przegród zewnętrznych budynku: przeciek powietrza przez nie-szczelności połączeń musi być mniejszy od 0,6 objętości budynku na godzinę;
- pasywne podgrzewanie wstępne powietrza świeżego: świeże powietrze może być doprowadzane do budynku przez podziemne kanały, w których dochodzi do wymiany ciepła z gruntem; powoduje to wstępne podgrzanie powietrza świeżego do temperatury powyżej 5°C , nawet w sezonie zimowym;
- wysoce efektywny odzysk ciepła z powietrza usuwanego przy wykorzystaniu wymiennika ciepła powietrze–powietrze: większość ciepła obecnego w powietrzu usuwanym jest przekazywana do napływającego powietrza świeżego (sprawność odzysku ciepła powyżej 80%);
- zaopatrzenie w ciepłą wodę użytkową wykorzystujące odnawialne źródła energii: energię do przygotowania ciepłej wody użytkowej dostarczają kolektory słoneczne lub pompa ciepła;
- energooszczędny sprzęt gospodarstwa domowego: w domu pasywnym stosowane są urządzenia o niskim zużyciu energii (lodówki, kuchenki, zamrażarki, lampy, pralki, suszarki itd.).

Polski Instytut Budownictwa Pasywnego opracował szczegółową „listę kontrolną”, która przybliży proces powstawania i certyfikacji domu pasywnego. W kolejnych punktach zestawione są wszystkie istotne elementy od etapu wyboru działki i koncepcji projektowej do odbioru budynku:

1. Projekt zagospodarowania działki lub terenu:

- bliskość środków transportu publicznego;
- południowa orientacja fasady budynku ($\pm 30^\circ$);
- brak niepożądanego zacieniania;

- roślinność niepowodująca niepożądanego zacienienia, również w przyszłości;
- możliwie zwarta zabudowa — preferowane są budynki szeregowe i kilkukondygnacyjne.

2. Opracowanie koncepcji:

- zwarta bryła budynku; należy wykorzystywać możliwości łączenia budynków, dobudowy itp.;
- powierzchnie przeszklone skierowane na południe, okna wschodnie, północne i zachodnie powinny być małe;
- ograniczenie zacieniania (zminimalizowane powierzchnie zacieniane zimą przez balustrady, ryzality i wykusze, balkony, okapy, ogrodzenia itp.);
- prosta budowa przegród zewnętrznych (należy unikać wykuszy, załamania ścian itp.);
- przy rozplanowaniu rzutów — strefy zgrupowania instalacji (np. łazienki powyżej albo obok kuchni) — należy uwzględnić niezbędne kanały wentylacji mechanicznej;
- podpiwniczenie należy oddzielić w sposób zapewniający szczelność powietrzną i brak mostków cieplnych;
- należy zastosować pakiet PHVP (Projektowanie wstępne budynków pasywnych);
- należy sprawdzić możliwość uzyskania subwencji dla budownictwa pasywnego i złożyć wnioski o jej przyznanie.

3. Projekt architektoniczno-budowlany:

- należy określić grubość izolacji cieplnej przegród zewnętrznych;
- należy wyeliminować mostki cieplne;
- należy zaplanować wielkość przestrzeni niezbędnej dla instalacji technicznych budynku;
- przy rozplanowaniu rzutów należy zapewnić krótkie trasy przewodów (doprowadzających ciepłą i zimną wodę oraz odprowadzających ścieki), jak również krótkie trasy kanałów wentylacyjnych;
- kanały powietrza zimnego należy prowadzić na zewnątrz, a powietrza ciepłego w obrębie izolowanych termicznie przegród zewnętrznych budynku.

4. Projekt wykonawczy ogólnobudowlany:

- wysoka izolacyjność termiczna zwykłych, regularnych elementów konstrukcyjnych — standardowo $U \leq 0,15 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$, ale należy dążyć do $U = 0,1$;
- styki elementów konstrukcyjnych należy zaprojektować w sposób uniemożliwiający występowanie mostków cieplnych albo uwzględnić ich obecność w obliczeniach;
- styki elementów konstrukcyjnych należy zaprojektować w sposób zapewniający szczelność powietrzną;
- okna zoptymalizowane (optymalny rodzaj oszklenia, superizolowane ramy, udział procentowy szyby względem całości okna, ochrona przed nadmiernym nasłonecznieniem);
- należy obliczyć wskaźniki energetyczne przy wykorzystaniu PHPP (Pakietu do projektowania budynków pasywnych).

5. Projekt wykonawczy instalacji wentylacyjnej:

- sieć kanałów: kanały powietrza zimnego poza obrębem izolowanych termicznie przegród zewnętrznych, a jeżeli w ich obrębie, to wyłącznie na bardzo krótkim odcinku i bardzo dobrze izolowane termicznie;
- kanały powietrza ciepłego w obrębie izolowanych termicznie przegród zewnętrznych, a jeżeli poza ich obrębem, to wyłącznie na bardzo krótkim odcinku i nadzwyczaj dobrze izolowane termicznie; krótkie trasy kanałów o gładkich ścianach wewnętrznych, prędkości strumienia $\leq 3 \text{ m/s}$;
- należy przewidzieć osprzęt pomiarowo-regulacyjny; zapewnić tłumienie hałasu; uwzględnić środki ochrony przeciwpożarowej;

- nawiewniki: należy unikać „krótkiego spięcia” strumieni powietrza, tzn. przedwczesnego usuwania powietrza świeżego, uwzględnić zasięg wyrzutu strumienia powietrza i umożliwić jego regulację;
- otwory wywiewne: nie należy ich umieszczać nad grzejnikami (o ile występują);
- otwory przepływowe między poszczególnymi pomieszczeniami należy wymiarować na $\Delta p \leq 1 \text{ Pa}$;
- wentylacja: centrala wentylacyjna, wymiennik ciepła należy umieścić w pobliżu izolowanych termicznie przegród zewnętrznych; korzystne jego usytuowanie to wewnątrz przegrody lub suterena;
- podgrzewacz powietrza należy umieścić w obrębie izolowanych termicznie przegród.

6. Projekt wykonawczy pozostałych instalacji:

- instalacja kanalizacyjna, instalacja c.w.u.: krótkie trasy przewodów dobrze ocieplonych, umieszczonych w obrębie przegród zewnętrznych budynku;
- instalacja kanalizacyjna, instalacja wodociągowa: krótkie trasy przewodów, izolacja cieplna zapobiegająca pojawianiu się kondensatu;
- elementy armatury instalacji ciepłej wody użytkowej oraz instalacji ogrzewania należy izolować termicznie;
- armatura umożliwiająca oszczędzanie wody; przyłącza c.w.u. do pralek automatycznych i zmywarek do naczyń;
- instalacja odprowadzania ścieków: krótkie trasy przewodów (preferowany jeden pion kanalizacyjny), zawór napowietrzający poddachowy (preferowany) albo izolowana termicznie rura wywiewna;
- instalacja sanitarna oraz instalacja elektryczna: w miarę możliwości bez przepustów w szczelnych powietrznie przegrodach zewnętrznych budynku; tam, gdzie są one niezbędne, należy zapewnić ich szczelność;
- należy stosować energooszczędny sprzęt gospodarstwa domowego;
- należy zapewnić kontrolowaną pod względem jakości realizację całego wyposażenia technicznego budynku.

7. Wykonanie i odbiór robót ogólnobudowlanych:

- unikanie mostków cieplnych: należy ustalić terminy inspekcji kontroli jakości robót na budowie;
- prace izolacyjne: ciągłość warstw izolacji cieplnej; należy unikać szczelin i pustek powietrznych;
- szczelność powietrzna: należy sprawdzać miejsca połączeń przegród dopóki są one dostępne;
- szczelność powietrzna: należy wykonać próbę ciśnieniową szczelności przegród zewnętrznych na etapie budowy, gdy tylko zostaną całkowicie ukończone szczelne powietrznie przegrody zewnętrzne, lecz będą jeszcze dostępne, tzn. przed wykończeniem wewnątrz (konieczne porozumienie ze wszystkimi podwykonawcami) — próba ciśnieniowa n_{50} metodą Blower Door albo za pomocą instalacji do odzysku ciepła; łącznie z dokumentacją nieszczelności.

8. Wykonanie i odbiór instalacji wentylacyjnej:

- przejścia przez przegrody: szczelne powietrznie;
- kanały: należy je wbudować czysto i starannie, dokładnie uszczelnić;
- centrala: należy zapewnić łatwą dostępność do filtrów w celu wymiany; sprawdzić izolację akustyczną (tam, gdzie jest wymagana);
- należy skontrolować izolację kanałów (tam, gdzie jest to konieczne);

- wyregulowanie przepływu strumieni powietrza w normalnym trybie pracy instalacji; pomiar strumieni powietrza nawiewanego i wywiewanego; zbilansowanie; koordynacja rozdziału powietrza nawiewanego i wywiewanego; pomiar poboru mocy elektrycznej.

9. Wykonanie i odbiór pozostałych instalacji:

- kontrola szczelności powietrznej przejść przez przegrody;
- kontrola izolacji cieplnej przewodów.

10. Certyfikat:

- złożenie za pośrednictwem Polskiego Instytutu Budownictwa Pasywnego wniosku do Passivhaus Institut o przyznanie certyfikatu „Budynku pasywnego sprawdzonego pod względem jakościowym”.

Cechy, jakie powinien mieć budynek pasywny:

- bardzo niskie zużycie energii na ogrzewanie — dom pasywny potrzebuje maksymalnie 1,5 l oleju opałowego na metr kwadratowy na rok (budynek 1,5-litrowy); mieszkanie o powierzchni 100 m² można ogrzać 150 l oleju opałowego w ciągu roku (do tego należy doliczyć koszty przygotowania ciepłej wody użytkowej około 0,7 l oleju na metr kwadratowy na rok · 100 ml = 70 l);
- bardzo niskie zużycie energii elektrycznej na etapie użytkowania;
- ogrzewanie pomieszczeń poprzez wentylację (zyski ze Słońca pokrywają część potrzeb na ogrzewanie pomieszczeń); budynek jest tak dobrze zaizolowany, że nie potrzeba grzejników ani ogrzewania podłogowego;
- szczelność obiektu — dom pasywny musi być szczelny na przenikanie powietrza, aby nie było niekontrolowanego napływu zimnego powietrza z zewnątrz oraz zawilgocenia izolacji; w nieszczelnym obiekcie spada skuteczność odzysku ciepła z wentylacji;
- niezacieniona działka, zwrócenie budynku na południe;
- osłonięcie od strony północnej naturalnymi wzniesieniami lub drzewami;
- bardzo dobra izolacja ścian — np. 30 cm styropianu lub wełny mineralnej;
- elementy domu o wysokiej akumulacji ciepła, dzięki temu chwilowy brak słońca (zachmurzenie lub noc) jest nieodczuwalny;
- bardzo dobre i szczelne okna — szyba potrójna, specjalna rama, szczelnie zamontowana w murze, specjalny montaż okien w warstwie izolacji cieplnej w celu minimalizacji mostków termicznych;
- brak mostków termicznych — specjalne rozwiązania dla balkonów, ścian piwnicznych — tzw. odcinanie murów od fundamentów;
- wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła;
- kolektory słoneczne, wykorzystywane np. do wstępnego podgrzania ciepłej wody użytkowej;
- zastosowania dodatkowego źródła ciepła — w celu dogrzewania do odpowiedniej temperatury (np. kocioł niskiej mocy na gaz lub olej opałowy, pompa ciepła).

Osiągnięcie niemieckiego standardu w Polsce jest dużo trudniejsze. Polska ma nieco surowszy klimat. Do ogrzania domu pasywnego w Niemczech wystarczy tylko 15 kWh/m² · rok, w Polsce natomiast będzie on zużywał więcej energii. Za naszą zachodnią granicą jako temperaturę obliczeniową wewnętrzną przyjmuje się 19°C i zakłada się obniżenie temperatury ogrzewania nocą. W Polsce temperatura obliczeniowa wewnątrz pomieszczeń mieszkalnych jest stała i wynosi 20°C.

Polski dom już w fazie obliczeń i projektowania ma większe wymagania niż równorzędny dom niemiecki. Oznacza to, że w fazie wykonania będzie droższy, ponieważ będzie potrzebo-

wał lepszego ocieplenia i sprawniejszych instalacji. Według szacunkowych danych w Niemczech koszty budowy domu pasywnego są o 10% wyższe niż standardowego domu, a w Polsce o 20% wyższe (lub więcej).

Elementy, które wpływają na wyższą cenę budynku pasywnego w stosunku do budynku energooszczędnego, to między innymi dużo grubsza warstwa termoizolacji, okna i drzwi o współczynniku przenikania ciepła $U \leq 0,8 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$, instalacja wentylacyjna, kolektory słoneczne. Jednocześnie należy uwzględnić odjęte koszty kotłowni i kominów, ewentualnego składu materiału opałowego, kominka (w domu pasywnym niewskazany), tradycyjnej instalacji c.o., którą zastępuje ogrzewanie powietrza wentylacyjnego, skomplikowanych rozwiązań architektonicznych, balkonów, tarasów, lukarn.

Obiekt od początku należy zaprojektować jako budynek pasywny (adaptacje są skomplikowane i zbyt kosztowne, by miało to racjonalne uzasadnienie). Należy wykonać stosowne obliczenia, następnie bardzo dokładnie zrealizować projekt, zapewniając szczegółowy nadzór na budowie, przeprowadzić testy szczelności, sprawdzić mostki metodami termowizyjnymi.

Zgodnie z zaleceniami Instytutu Budownictwa Pasywnego (PHI Darmstadt) ściany budynków pasywnych powinny charakteryzować się dużą bezwładnością cieplną, która pozwala na stabilność temperatury we wnętrzu. Współczynnik przenikania ciepła ścian zewnętrznych nie powinien przekraczać wartości $0,15 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, co odpowiada grubości warstwy termoizolacyjnej w granicach 30 cm. Dodatkowo należy stosować warstwy paroizolacyjne.

Częstym błędem w domach pasywnych jest przewymiarowanie powierzchni okien południowych. Zbyt duża powierzchnia przeszkleń powoduje przegrzewanie budynku i wymaga zwiększonego zapotrzebowania na energię do ogrzewania w okresie zimowym oraz chłodzenia w okresie letnim.

Kolor i faktura to również ważne czynniki w architekturze energooszczędnej. Powierzchnie jasne, gładkie odbijają światło, wolno się nagrzewają i wolno oddają ciepło. Powierzchnie ciemne, chropowate pochłaniają światło i ciepło, szybko się nagrzewają, ale i szybko oddają ciepło na zewnątrz. Należy to wziąć pod uwagę, projektując barwy i materiał ścian budynku, podłogi, nawierzchnie tarasów, balkonów, oranżerii.

Użytkowanie budynku energooszczędnego

Właściwości domu energooszczędnego umożliwiają obniżenie kosztów eksploatacji poprzez zmniejszenie zapotrzebowania na energię do ogrzewania pomieszczeń. Dodatkowo, wprowadzając w życie odpowiednie nawyki, można osiągnąć lepsze rezultaty w oszczędzaniu energii, na przykład:

- przy stosowaniu ogrzewania podłogowego, dla podniesienia efektywności należy zwinąć chodniczki w łazienkach po ich użyciu;
- po kąpieli w wannie należy pozostawić w niej wodę do całkowitego wystygnięcia (odzyskujemy ciepło w rekuperatorze);
- należy zasłaniać w oknach żaluzje lub rolety, częściowo lub całkowicie — w zależności od potrzeb; w lecie w dzień spowoduje to ograniczenie dostępu promieni słonecznych i zapobiegnie przegrzewaniu pomieszczeń, zimą natomiast zmniejszy straty ciepła w porze nocnej;
- nie należy otwierać w domu okien w celu „wietrzenia”; gdy w domu stosuje się wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła, zużyte powietrze jest automatycznie usuwane na zewnątrz, a energia w nim zawarta przekazywana jest do ogrzania powietrza nadmuchiwanego; otwieranie okien w celu wymiany powietrza w pomieszczeniu jest w tym wypadku całkowicie zbędne, a konsekwencją takiego działania może być wzrost zużycia energii potrzebnej do ogrzania domu;

- należy wyłączać urządzenia działające w trybie stand-by na noc i gdy nie są używane; w tym celu można stosować specjalne panele, za pomocą których wyłączamy prąd w określonych gniazdkach, lub zwykłe listwy z wyłącznikiem;
- należy konserwować i dbać o system wentylacyjny w domu, zgodnie z instrukcją przekazaną przez producenta (np. okresowa wymiana filtrów).

W energooszczędnym domu należy zainstalować energooszczędne oświetlenie i sprzęt AGD. Urządzenia, takie jak zmywarki, pralki, lodówki, powinny być w klasie energetycznej A++ lub wyższej. Stosowanie płyt indukcyjnych, w których ciepło wytwarza się jedynie w garnku (płyta pozostaje chłodna) ogranicza znacznie straty ciepła, a jednocześnie skraca czas gotowania potraw w porównaniu np. do kuchenek gazowych do 30%. Warto też stosować małe sprzęty AGD (np. czajnik elektryczny) o dużej mocy — im większa moc urządzenia, tym krótszy czas jego pracy, a tym samym małe zużycie energii elektrycznej.

Bibliografia

Adamowski J., *Czy warto budować budynki pasywne*, Materiały konferencyjne „Dni Oszczędzania Energii”, Wrocław 2004.

Chwieduk D., *Budownictwo niskoenergetyczne. Energia odnawialna*, [w:] P. Klemm (red.), *Budownictwo ogólne*, t. 2: *Fizyka budowli*, Arkady, Warszawa 2005.

Feist W., *Pakiet do projektowania budynków pasywnych*, PHPP.

Feist W., Schlagowski G., Schulze-Darup B., *Podstawy budownictwa pasywnego*, Polski Instytut Budownictwa Pasywnego, Gdańsk 2006.

Laskowski L., *Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008.

Norma PN-EN ISO 6946:2008, Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.

Budownictwo naturalne

Joanna Fiszer-Sozańska

Budownictwo naturalne staje się coraz popularniejsze w Polsce, szczególnie wśród osób zainteresowanych sposobem życia zbliżonym do natury. Na tę popularność wpływ ma moda na ekologiczne rozwiązania, zamiłowanie do natury czy też potrzeba wyróżnienia się. To, co naturalne, kojarzone jest ze zdrowym, przyjaznym, bezpiecznym dla środowiska. Naturalne sposoby budowy domów nie są niczym nowym. Zostały wyparte przez współczesne technologie i ponownie „odkryte”. Do budowy wykorzystuje się to, co dostępne jest w przyrodzie: drewno, słomę, ziemię, glinę, kamień — materiały nisko przetworzone, odnawialne, łatwo i lokalnie dostępne.

Obecnie istnieje wiele technologii wznoszenia budynków. Bez względu na to, jaka zostaje wybrana do realizacji inwestycji, zgodnie z Ustawą z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane obiekt budowlany musi zostać zaprojektowany i wybudowany w sposób określony w przepisach, zapewniając spełnienie wymagań podstawowych, dotyczących:

- bezpieczeństwa konstrukcji,
- bezpieczeństwa pożarowego,
- bezpieczeństwa użytkowania i dostępności obiektu,
- odpowiednich warunków higienicznych, zdrowotnych,
- ochrony środowiska,
- ochrony przed hałasem i drganiami,
- oszczędności energii i izolacyjności cieplnej przegród,
- zrównoważonego wykorzystania zasobów naturalnych.

W celu spełnienia powyższych warunków wyroby budowlane poddawane są kontroli, która obejmuje takie zagadnienia, jak źródło pozyskania, transport, produkcja, montaż, eksploatacja, zdolność do ponownego wykorzystania, utylizacja oraz energia w cyklu życia produktu.

Wykorzystanie materiałów naturalnych pozwala na szerokie, kompleksowe realizowanie wyzwań zrównoważonego rozwoju na polu architektury. Odpowiednio dobrane materiały umożliwiają budowę domów energooszczędnych. Rozpatrując szczegółowo procesy związane z pozyskiwaniem, budową, użytkowaniem i utylizacją budynku, czyli tzw. wpływ życia budynku na środowisko, łatwo można zauważyć, że w przypadku budownictwa naturalnego ingerencja w środowisko jest zminimalizowana. Produkcja materiałów nie wymaga dużych nakładów energii ani procesów zanieczyszczających powietrze. Zastosowanie tych materia-

łów zmniejsza ilość odpadów, ponieważ wiele z nich można wykorzystywać ponownie, np. poprzez kompostowanie (słoma) albo poprzez możliwość wtórnego wykorzystania (głina).

Dom budowany w sposób standardowy jest bytem odwróconym od natury. Kontrastuje z otoczeniem, nie stanowi dopełnienia środowiska, w którym się znajduje. Taki dom, nazywany linearnym, nie wykorzystuje zasobów naturalnych w sposób zrównoważony. Korzysta z nich, przetwarzając np. wodę w ścieki, czyste powietrze w zanieczyszczone, materiały potrzebne do funkcjonowania w odpadki, a energia do ogrzewania wody i powietrza jest tracona. Przeciwnieństwem takiego domu jest dom zamkniętego obiegu, współpracujący ze środowiskiem, spełniający wymagania zrównoważonego rozwoju. Wykorzystywana jest w nim energia wiatru i Słońca, stosuje się recykling i ponowne wykorzystanie wody, oszczędza się energię, jednocześnie zapewniając mieszkańcom dogodne warunki życia. Zarówno do konstrukcji, jak i wykończenia budynku można zastosować materiały pochodzenia naturalnego, jak najmniej przetworzone, zdrowe, nietoksyczne, pozyskane, odnawialne.

Drewno jest powszechnie stosowane w budownictwie. Najpopularniejsza w Ameryce Północnej konstrukcja drewniana to konstrukcja szkieletowa wykonana z elementów o stosunkowo małym przekroju. Do wypełnienia szkieletu można użyć materiałów naturalnych, np. słomy lub mieszanki gliny ze słomą. Popularne na południu Polski tradycyjne domy z bali drewnianych również należą do nurtu naturalnego. Jako łączników można użyć kołków drewnianych lub gwoździ, szczeliny uszczelnia się warkoczami ze słomy. Takie podstawowe rozwiązania wymagają jednak dopracowania, aby sprostać współczesnym standardom energetycznym. Świadome zastosowanie materiałów naturalnych łączy tradycyjne rozwiązania z innowacyjnością i potrzebami współczesności, dając w efekcie budynek odpowiadający wymaganiom technicznym.

Słoma w budownictwie naturalnym

Najbardziej popularnym materiałem w budownictwie naturalnym jest słoma. Występuje w postaci ubitych kostek, sieczki lub strzechy. Kostki słomiane wykorzystuje się do wznoszenia ścian budynku. Takie ściany, otynkowane z użyciem gliny lub wapna, przepuszczają parę wodną. Nadmiar wilgoci ucieka przez ściany, tworząc we wnętrzu dobry dla mieszkańców mikroklimat. Słoma sprasowana jest świetnym materiałem izolacyjnym. Współczynnik przewodzenia ciepła wynosi około $0,04 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, czyli jest zbliżony do takich materiałów, jak styropian czy wełna mineralna. Ściana o grubości około 50 cm ma współczynnik przenikania ciepła około $0,13 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, co doskonale spełnia wymagania aktualnego Rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Do budowy wymagane są kostki o gęstości nie mniejszej niż $100\text{--}130 \text{ kg/m}^3$. Wążą one 6–15 kg. Takie kostki są bardzo dobrze ściśnięte, trzymają swój prostopadłościenny kształt i gwarantują trwałość ściany. Wytwarzane są ze słomy żytniej, pszennej, pszenżyta, owsa i mieszanek zbóż. Do celów budowlanych nie nadaje się słoma jęczmienna, ze względu na słabą strukturę. Kostki słomy bez dodatkowych procesów są gotowe do użycia.

Zastosowanie słomy jako materiału budowlanego budzi obawy, czy dom z niej zrobiony nie spali się łatwo. Jednak doświadczenia udowodniły, że sprasowana słoma, zbita w kostce, nie pali się. Podpalone źdźbła gasną, ogień nie ma możliwości dostania się do wnętrza kostki, ubita słoma nie pozwala na dostęp wystarczającej ilości powietrza, żeby utrzymać ogień. Osłonięta tynkiem ma jeszcze lepsze parametry ognioodporne. Domy ze słomy mają tę samą ogniotrwałość co z cegły czy betonu. Mają też bardzo dobrą izolacyjność akustyczną.

Rozkład słomy może osłabić konstrukcję, pogorszyć właściwości izolacyjne i powodować nieprzyjemny zapach i zagrożenie dla zdrowia mieszkańców. Na rozkład i rozwój pleśni wpływ ma poziom wilgoci. Pleśń, bakterie i drożdże zaczynają rozwijać się przy wilgotności przekraczającej 18% suchej masy. Dlatego kostki słomy muszą mieć wilgotność na poziomie nieprzekraczającym 15–18%.

Metodę budowy ściany domu z kostki słomianej pierwsi zastosowali, z braku innych dostępnych surowców, amerykańscy osadnicy w stanie Nebraska około 1800 r. Dali w ten sposób początek technice nazywanej loadbearing lub Nebraska. Metoda ta polega na użyciu kostek słomianych jak cegieł, bez żadnej innej struktury wspomagającej — dlatego nazywa się ją metodą samonośną. Dach jest przyczepiany do deski na górze ściany. Okna i drzwi powinny mieć szerokość kostki słomy (lub jej wielokrotności) i nie mogą pokrywać więcej niż 50% powierzchni elewacji.

Metoda szkieletowa polega na wypełnieniu kostkami słomy przygotowanej wcześniej konstrukcji z drewna. Szkielet może być wykonany z desek (*Lightweight frame wall*), wówczas konstrukcja jest stabilizowana i usztywniana przez kostki słomy, albo tradycyjną metodą ciesielską, gdzie ciężar dachu dźwiga konstrukcja z grubszych belek.

Słomę można wykorzystać do pokrycia dachu domu. Strzechę słomianą wykonuje się na dachach, których spadek wynosi co najmniej 45°. Strzecha nie jest lekkim pokryciem dachowym i wymaga zastosowania solidnej więźby dachowej. Strzecha od strony wewnętrznej (poddasza) musi być dobrze wentylowana. Trwałość poszycia w dużym stopniu zależy od otoczenia budynku. Nie należy stosować strzechy na obiektach, przy których znajdują się liczne drzewa lub gdy połącze dachowe są mocno zacienione.

Pociętą słomę, czyli sieczkę, można wykorzystać, mieszając z gliną, jako tynk albo wypełnienie konstrukcji ściany.

Gлина w budownictwie naturalnym

Gлина, a właściwie ziemia o odpowiedniej zawartości gliny, jest wszechstronnie wykorzystywana w budownictwie naturalnym. Tak zwana glina lekka, zawierająca domieszkę lżejszego materiału o dobrej izolacyjności cieplnej (np. słoma, trociny, keramzyt), służy do wykonania bloczków i cegieł. Można je wykonać samemu na budowie lub kupić gotowe. Glinę lekką można też ubijać w szalunkach.

Parametry ścian różnią się w zależności od przyjętej technologii, liczby i rodzaju domieszek. Przykładowo, dostępne w Polsce bloczki o gęstości 700 kg/m³ mają współczynnik przewodności cieplnej rzędu $\lambda = 0,21 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, co sprawia, że do uzyskania wymaganej współcześnie izolacyjności cieplnej konieczna będzie ściana grubości minimum 70 cm lub ocieplenie innym materiałem w przypadku cieńszych ścian. Istnieje możliwość wykonania lżejszych, a co za tym idzie lepiej izolujących bloczków, jednak w przypadku zbyt dużego udziału organicznych domieszek pojawia się ryzyko ich gnicia.

Z gliny wykonuje się tynki, którymi można pokrywać ściany również po stronie zewnętrznej. Tynki gliniane składają się głównie z gliny naturalnej, piasku i wody. Można dołożyć do nich wypełniacze, takie jak pocięta drobno słoma, celuloza z papieru, wióry, konopie, plewy. Polskie Normy dla glinianego tynku wewnętrznego opracowano w latach pięćdziesiątych. Zalecają one mieszanie masy glinianej z cementem lub wapnem gaszonym w proporcjach objętościowych 1:2:14 (cement/glina/piasek). W budownictwie ekologicznym unika się stosowania cementu, jako niezaliczanego do naturalnych i zdrowych materiałów, dlatego obecnie powraca się do mieszania gliny wyłącznie z piaskiem i naturalnymi dodatkami.

Tynki gliniane można stosować na wszystkich rodzajach podłoży (cegły, pustaki, beton, tynki wapienne, tynki cementowe, płyty gipsowo-kartonowe). Nadają się do tynkowania ścian domów jednorodzinnych murowanych i drewnianych.

Tynk gliniany jest dobrym rozwiązaniem w przypadku ogrzewania ściennego niskotemperaturowego, gdyż taka ściana ma znakomite właściwości grzewcze i można ją zaliczyć do najzdrowszych rodzajów ogrzewania. Promieniuje ona ciepłem równomiernie w całym pomieszczeniu, ponieważ glina akumuluje ciepło i oddaje je powoli.

Przygotowanie masy tynkarskiej: glinę moczy się w wodzie przez mniej więcej 24 godziny. Następnie miesza się ją z czystym piaskiem w proporcji 1/3 piasku i 2/3 gliny i rozrabia z wodą. Gлина tłusta wymaga więcej piasku. Można mieszać ręcznie lub z wykorzystaniem mieszadła czy betoniarki. Jeżeli mieszanka jest zanieczyszczona, można ją przesiać przez sito. Masę należy wypróbować, sprawdzając kurczliwość i łamliwość poprzez badanie wysuszonego, zwiniętego w kółko wałeczka o średnicy 1 cm. Jeżeli jest zbyt kruchy lub łamie się, należy dodać wody lub piasku. Trzeba też wypróbować masę na kawałku ściany przed przystąpieniem do tynkowania całości. Ściana ze słomy musi zostać spryskana szprycem, na przykład ze szlamu glinianego.

Tynkować można maszynowo lub ręcznie, narzucając gęstszą glinę na ściany garściami i rozcierając ją rękami. Osiąga się wtedy nieco inny, bardzo naturalny efekt nierównej powierzchni. Kolejne dwie, trzy, a nawet cztery warstwy zaciera się i wygładza z jednodniową przerwą. Na gładkich powierzchniach tynk może być położony cienko — jedna warstwa podstawowa i jedna zatarta. Na nierównych stosuje się co najmniej trzy warstwy. Warto wtedy wzmocnić go na przykład matą słomianą lub trzcinową, mocowaną do drewnianych, przykręconych poziomo do ściany listew. Naroża dobrze jest wzmocnić tkaninami naturalnymi o rzadkim splocie, jak juta czy len. Tynki najlepiej kłaść w lecie. We wnętrzach trzeba pamiętać o dobrym wietrzeniu.

Gлина w czystej postaci rozpuszcza się pod wpływem wody, dlatego np. do łazienek czy też na zewnątrz budynków zalecane jest dodatkowo ułożenie na ścianie tynku wapiennego lub też odpowiednie zaimpregnowanie tynku glinianego (np. roztworami szkła wodnego potasowego lub kleju metylocelulozowego). W celu zwiększenia wodoodporności gliny jej powierzchnię pokrywa się roztworem szarego mydła. Na zewnętrznych ścianach budynku tynk jest narażony na działanie wody deszczowej, dlatego najlepiej osłaniać ściany z tynkiem gipsowym za pomocą wystających okapów.

Tynki można kupić w workach (gлина z piaskiem), gotowe do użycia po wymieszaniu z wodą. Mają one zwykle naturalny kolor gliny. Na europejskim rynku dostępne są również tynki wykończeniowe, tak zwane Leemfinisch. Stosuje się je powierzchniowo, jako ostatnią, cienką (paromilimetrową) warstwę ozdobną. Barwione są barwnikami mineralnymi na różne odcienie brązu, żółci i czerwieni. Można też kupić je w kolorze białym. Niestety, takie gotowe i łatwe w użyciu produkty mają dość wysoką cenę. Tynki gliniane można wykonać samemu, pozyskując glinę z lokalnej cegielni lub z pobliskiego wykopu.

Bibliografia

Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz.U. z 1994 r. nr 89, poz. 414).

Jones B., *Building with Straw Bales: A Practical Guide for the UK the Ireland*, UIT Cambridge Ltd., 2009.

Miller F., Reite A., *Levende hus, TI-forlaget*, Oslo 1993.

Schumacher E.F., *Małe jest piękne*, PIW, Warszawa 1981.

Summers M.D., Blunk S.L., Jenkins B.M., DRAFT 12/8/2003, EBNet Straw Bale Test Program, www.ecobuildnetwork.org.

Cykl życia budynku — LCA

Joanna Fiszer-Sozańska

Ocena cyklu życia — normy

- PN-EN ISO 14040 Zarządzanie środowiskowe — Ocena cyklu życia — Zasady i struktura, PKN, Warszawa 2000.
- PN-EN ISO 14041 Zarządzanie środowiskowe — Ocena cyklu życia — Określenie celu i zakresu oraz analiza zbioru, PKN, Warszawa 2000.
- PN-EN ISO 14042 Zarządzanie środowiskowe — Ocena cyklu życia — Ocena wpływu cyklu życia, PKN, Warszawa 2000.
- PN-EN ISO 14043 Zarządzanie środowiskowe — Ocena cyklu życia — Interpretacja cyklu życia, PKN, Warszawa 2000.
- ISO/TR 14047 (PKN, 2006) — Przykłady zastosowania normy ISO 14042.
- ISO/TR 14049 (PKN, 2003) — Przykłady zastosowania normy ISO 14041.
- ISO 14040;2006 (U) — Zarządzanie środowiskowe — ocena cyklu życia — zasady i struktura.
- ISO 14044;2006 (U) — Zarządzanie środowiskowe — ocena cyklu życia — wymagania i wytyczne.

LCA — regulacje krajowe

- Ustawa Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 r. (Dz.U. nr 62, poz. 627). Art. 143 dotyczący określania wymagań, jakie powinny spełniać technologie stosowane w nowo uruchamianych lub zmienianych w sposób istotny instalacjach i urządzeniach: powinny spełniać wymagania, które uwzględniają m.in. wykorzystanie analizy cyklu życia produktów (funkc. do 18.05.2005 r. — uchylony Ustawą o zmianie ustawy Prawo ochrony środowiska).
- II Polityka Ekologiczna Państwa (czerwiec 200 r.) — postuluje zmniejszenie materiałochłonności i odpadowości produkcji, szerokie upowszechnienie ocen cyklu życiowego produktu i wprowadzenie ustawowego obowiązku wykonywania takich ocen dla grup produktów o wysokiej materiałochłonności i odpadowości oraz produktów zawierających substancje niebezpieczne dla środowiska.

- Polityka Ekologiczna Państwa na lata 2003–2006 z uwzględnieniem perspektywy na lata 2007–2010 — postuluje wprowadzenie obowiązku oceny cyklu życia dla wybranych produktów wprowadzanych do obrotu towarowego.
- Strategia zmian wzorców produkcji i konsumpcji na sprzyjające realizacji zasad trwałego, zrównoważonego rozwoju — m.in.: włączenie Analizy Cyklu Życia (LCA) i Deklaracji Środowiskowych Produktu (EPD) do analizy wpływu na środowisko produktów i usług.
- Mapa Drogowa Wdrażania Planu Działań na rzecz Technologii Środowiskowych w Polsce (KETAP) — zachęca do udzielania zamówień publicznych, w których stosowane będą kryteria środowiskowe oraz nowe technologie środowiskowe; promocja stosowania kosztowej analizy cyklu życia produktów i usług.
- Strategia wdrażania w Polsce zintegrowanej polityki produktowej — ocena cyklu życia dla wielu produktów i grup produktów.
- Zielone zamówienia publiczne — polityka, w ramach której podmioty publiczne włączają kryteria i/lub wymagania ekologiczne do procesu zakupów i poszukują rozwiązań minimalizujących negatywny wpływ produktów/usług na środowisko oraz uwzględniających cykl życia produktów, przez to wpływają na rozwój i upowszechnienie technologii środowiskowych.
- Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka — zmniejszenie szkodliwego oddziaływania na środowisko, m.in. na podstawie ograniczenia energo-, materiało- i wodochłonności produktów i usług, zastosowania oceny cyklu życia na wszystkich etapach projektowania procesów technologicznych.

LCA — definicja według UNEP (ang. United Nations Environmental Programme — Program Środowiskowy Organizacji Narodów Zjednoczonych)

„LCA jest procesem oceny efektów, jakie dany wyrób wywiera na środowisko podczas całego życia, poprzez wzrost efektywnego zużycia zasobów i zmniejszenie obciążeń środowiska (*liabilities*). Ocena wpływu na środowisko może być prowadzona zarówno dla wyrobu, jak i dla funkcji. LCA jest traktowane jako »analiza od kołyski do grobu«. Podstawowymi elementami LCA są:

- zidentyfikowanie i ocena ilościowa obciążeń środowiska, tj. zużytych materiałów i energii oraz emisji i odpadów wprowadzanych do środowiska,
- ocena potencjalnych wpływów tych obciążeń,
- oszacowanie możliwych opcji w celu zmniejszenia obciążeń”.

Metoda ukierunkowuje badanie wpływu na środowisko w obszarze zużycia zasobów, jakości ekosystemu i zdrowia ludzkiego. Obszar może być rozumiany jako wskaźnik oceny efektów oddziaływania na środowisko, tzw. ekowskaźnik, wyrażony w punktach końcowych Pt (metoda eco-indicator).

LCA określa się też jako proces zbierania i oceny wejść, wyjść oraz potencjalnych wpływów na środowisko systemu wyrobu w okresie jego cyklu życia.

LCM — Zarządzanie cyklem życia — to koncepcja zarządzania uwzględniająca ideę cyklu życia, która może być stosowana do tworzenia i wdrażania strategii zrównoważonego rozwoju. Zarządzanie cyklem życia dotyczy minimalizowania zagrożeń środowiskowych w cyklu życia produktu lub usługi.

LCC — Metoda ocenia koszty cyklu życia — istnieją dwa terminy: „całkowite koszty posiadania”, dotyczące zakupu, użycia i likwidacji produktu, oraz „koszty produktu lub usługi”, występujące podczas całego życia wraz z kosztami zewnętrznymi.

DfE — Projektowanie ekologiczne, „ekoprojektowanie” — to metoda wspierająca projektowanie produktu w celu zmniejszenia całkowitego wpływu na środowisko we wczesnej fazie rozwoju produktu.

Narzędzia i metody oceny wpływu na środowisko

Ocena oddziaływania inwestycji na środowisko:

- ocena oddziaływania na środowisko (*Environmental Impact Assessment*),
- ślad ekologiczny (*Ecological Footprint*).

Bilans materiałowy i energetyczny:

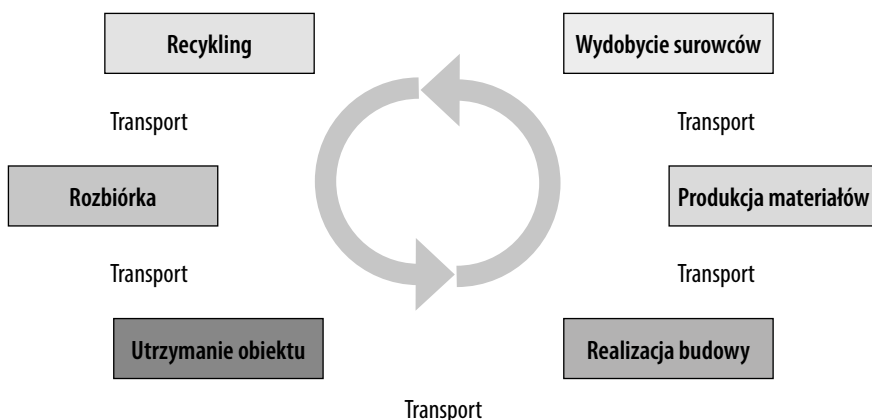
- rachunek przepływów materiałowych (*Material Flow Accounting* — MFA),
- ekologiczna analiza wejść i wyjść (*Environmental Input-Output Analysis*),
- analiza śladów energii (*Energy Footprint*).

Ocena oddziaływania produktu/technologii/procesu na środowisko:

- ekologiczna ocena cyklu życia (*Life Cycle Assessment* — LCA).

Fazy życia budynku

Za pomocą metody LCA można określić, jaki wpływ na środowisko ma budynek w każdej fazie życia — od wydobycia surowców potrzebnych do produkcji materiałów budowlanych, poprzez produkcję, realizację budowy, następnie utrzymanie obiektu i jego eksploatację, po kres życia, czyli fazę rozbiórki i ponownego wykorzystania materiałów.



Rysunek 1. Fazy życia budynku

Zastosowanie LCA w UE

Parlament Europejski — Dyrektywa w sprawie odpadów: Mniej śmieci, więcej recyklingu — Środowisko — 17-06-2008-17:38.

Pięciostopniowa hierarchia postępowania z odpadami w celu zapobiegania i ograniczenia powstawania odpadów — kolejność gospodarowania odpadami: zapobieganie i ograniczanie, przygotowanie do powtórnego użycia, recykling, inne metody odzysku, np. odzysk energii, unieszkodliwianie.

Możliwe jest odejście przez państwa członkowskie od tej hierarchii, „jeżeli jest to uzasadnione zastosowaniem metodologii myślenia o cyklu życia, obejmującej całkowity wpływ związany z wytwarzaniem i gospodarowaniem tymi odpadami”.

LCA — zastosowanie

W wielu dokumentach UE znajdują się postulaty o konieczności stosowania LCA. Myślenie w kategoriach cyklu życia znajduje zastosowanie w:

- promowaniu rozwoju rynku produktów i procesów przyjaznych dla środowiska (Zintegrowana Polityka Produktowa),
- zamówieniach publicznych,
- znakowaniu ekologicznym,
- ocenach technologii środowiskowych,
- gospodarce odpadami.

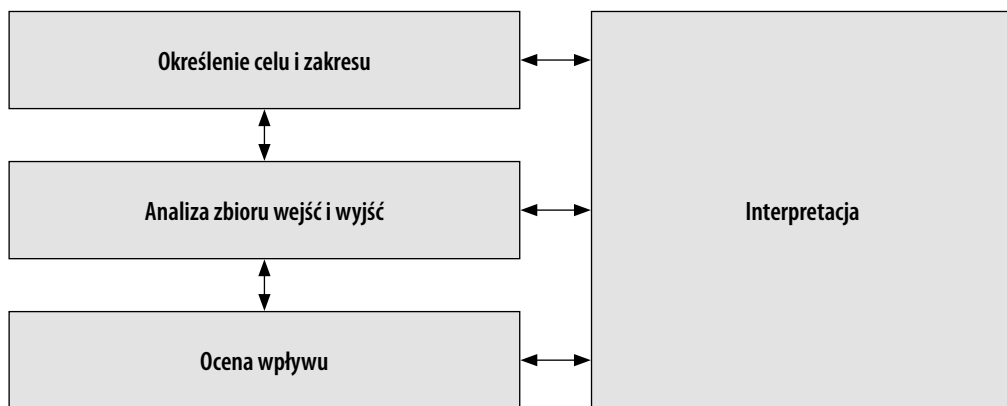
Analiza z wykorzystaniem techniki LCA może być wykorzystana m.in. do:

- identyfikacji możliwości poprawy aspektów środowiskowych wyrobów w różnych etapach ich cyklu życia,
- podejmowania decyzji w przemyśle, organizacjach rządowych lub pozarządowych (np. planowanie strategiczne, ustalanie priorytetów, projektowanie wyrobów lub procesów),
- wyboru istotnych wskaźników oceny efektów działalności środowiskowej, włączając techniki pomiarowe,
- marketingu (dotyczącym np. oświadczeń środowiskowych, schematów ekoetykietowania lub deklaracji środowiskowych wyrobów).

Podstawowe elementy LCA

Podstawowe elementy LCA to:

- zidentyfikowanie i ocena ilościowa obciążeń środowiska, tj. zużytych materiałów i energii oraz emisji i odpadów wprowadzanych do środowiska,
- ocena potencjalnych wpływów tych obciążeń na środowisko,
- analiza dostępnych opcji w celu zmniejszenia obciążeń.



Rysunek 2. Struktura LCA

Struktura LCA

Określenie celu i zakresu badań jest pierwszym etapem analizy. Cel określa w sposób jednoznaczny powody prowadzenia badań, zastosowanie i odbiorcę, do którego adresowane są wyniki. W zależności od potrzeb stosuje się poziom szczegółowości koncepcyjny, uproszczony lub szczegółowy.

Zakresem badań obejmuje się szczegółowo opisany wyrób, funkcjonujący w określonym środowisku, w sprecyzowanych granicach. Zakres badań definiowany jest przez system wyrobów (procesy jednostkowe), granice i jednostkę funkcjonalną, którą jest najmniejsza jednostka przyjęta do badań. Jednostka funkcjonalna powinna być jasno zdefiniowana i mierzalna. Jej zadaniem jest dostarczenie płaszczyzny odniesienia dla normalizowania danych wejściowych i wyjściowych systemu.

Jako jednostkę funkcjonalną można przyjąć jednostki fizyczne: metry, dzule, kilogramy, sekundy itd., może nią być też pojedyncze urządzenie czy maszyna lub jedna z funkcji tego urządzenia, jak również powierzchnia do zagospodarowania, dla której ustala się przepływ materiałów i energii. Jednostki pojedyncze mogą być łączone w złożone, np. tonokilometr (dla transportu), $m^2 \cdot \text{rok}$, lumen $\cdot$ rok itd.

Na tym etapie gromadzone i oceniane są dane dotyczące wyrobu. Gromadzenie danych powinno być uporządkowane przez zaproponowaną metodę. Określone cele i zakres badań powinny zostać poddane weryfikacji przed przystąpieniem do dalszych etapów.

Analiza zbioru wejść i wyjść (*Life Cycle Inventory, LCI*) to etap, w którym dokonuje się pomiarów, obliczeń, analiz wszystkich zdefiniowanych procesów oraz całkowitego przeglądu emisji, które opracowuje się w odpowiedniej tablicy. Określeniem „zbiór wejść” nazywa się wykorzystywane w procesie materiały, energię, powietrze itp., „zbiór wyjść” dotyczy emisji zanieczyszczeń, odpadów, ścieków do środowiska. Efektem końcowym tego kroku jest określenie kategorii wpływów, czyli konsekwencji obciążenia środowiska wejściami i wyjściami systemu.

Kategorie wpływów i wskaźniki zasobów dla obiektów budowlanych określa norma PN-EN 15804 — Zrównoważone obiekty budowlane — Deklaracje środowiskowe wyrobów budowlanych — Podstawowe zasady kategoryzacji wyrobów budowlanych:

- **całkowite zapotrzebowanie na energię** (*Cumulative Energy Demand, CED*), czyli całkowite zapotrzebowanie na energię pierwotną ze źródeł odnawialnych i nieodnawialnych w czasie cyklu życia produktu;
- **potencjał globalnego ocieplenia** (*Global Warming Potential, GWP*), czyli pomiar potencjalnego wkładu wyrobu w zmianę klimatu na podstawie np. emisji gazów cieplarnianych, takich jak dwutlenek węgla (CO_2), które zwiększają absorpcję promieniowania ciepła do atmosfery i powodują wzrost temperatury na powierzchni Ziemi;
- **zdolność do fotochemicznej syntezy ozonu** (*Photochemical Ozone Creation Potential, POCP*) jest to powstawanie reaktywnych związków chemicznych, na przykład ozonu, w wyniku działania promieniowania słonecznego na lotne związki organiczne (LZO) i tlenki azotu (NO_x);
- **zużycie słodkiej wody** (*Use of Net Fresh Water*), czyli całkowite zużycie słodkiej wody pochodzącej z różnych źródeł, np. wód zasilających, wód gruntowych, jezior, rzek, wód powierzchniowych, wód z mułu rzeczno;
- **potencjał eutrofizacji** (*Eutrophication Potential, EP*) — eutrofizacja jest to nadmierne wzbogacanie ekosystemów wodnych lub lądowych w składniki odżywcze, wynikające ze wzrastającej ilości azotu i fosforu; eutrofizacja powoduje negatywne zmiany w składzie gatunkowym i produkcji biomasy;
- **potencjał zakwaszania** (*Acidification Potential, AP*), który opisuje przekształcanie zanieczyszczeń powietrza, takich jak dwutlenek siarki (SO_2), w kwasy, które mogą mieć negatywny wpływ na glebę, wodę czy organizmy (np. kwaśne deszcze);
- **potencjał niszczenia warstwy ozonowej** (*Ozone Depletion Potential, ODP*), czyli wskaźnik ilościowej oceny wpływu poszczególnych substancji (np. antropogenicznych emisji chlorofluorowęglowodorów, CFC) na degradację warstwy ozonowej; w wyniku degradacji warstwy ozonowej większa część promieniowania UVB dociera do powierzchni Ziemi, mogąc mieć szkodliwy wpływ na nasze zdrowie;
- **wyczerpywanie zasobów naturalnych** (*Abiotic Depletion Potential, ADP* zasoby nieodnawialne i ADP zasoby kopalne), czyli ilość zasobów naturalnych, jakie zużywa wyrób w trakcie całego cyklu swojego życia; kategoria wpływu ADP zasoby nieodnawialne obejmuje wszystkie nieodnawialne zasoby naturalne, natomiast kategoria ADP zasoby kopalne obejmuje wszystkie kopalne bogactwa naturalne, m.in. surowce.

Ocena wpływu cyklu życia (*Life Cycle Impact Assessment, LCIA*) ma na celu zrozumienie i ocenę wielkości oraz znaczenia możliwego wpływu wyrobu na środowisko. Pierwszym etapem LCIA jest wybór kategorii wpływu. Do każdej kategorii dobierany jest wskaźnik zasobów wraz z obliczoną wartością. Celem klasyfikacji jest przypisanie wyników LCI do skutków. Charakteryzowanie to obliczanie wartości wskaźnika kategorii wyników LCI za pomocą parametru charakteryzowania. Proces ten polega na odniesieniu obciążeń do wspólnej jednostki w danej kategorii. Wynikiem jest wartość liczbową wskaźnika kategorii oddziaływania na środowisko — profil LCIA.

Faza LCIA dzieli się na etapy obowiązkowe i opcjonalne. Etapy LCIA obowiązkowe:

- wybór kategorii wpływu, wskaźników kategorii i modeli charakteryzowania,
- klasyfikacja — przypisanie wyników LCI,
- charakteryzowanie — obliczanie wartości wskaźnika kategorii.

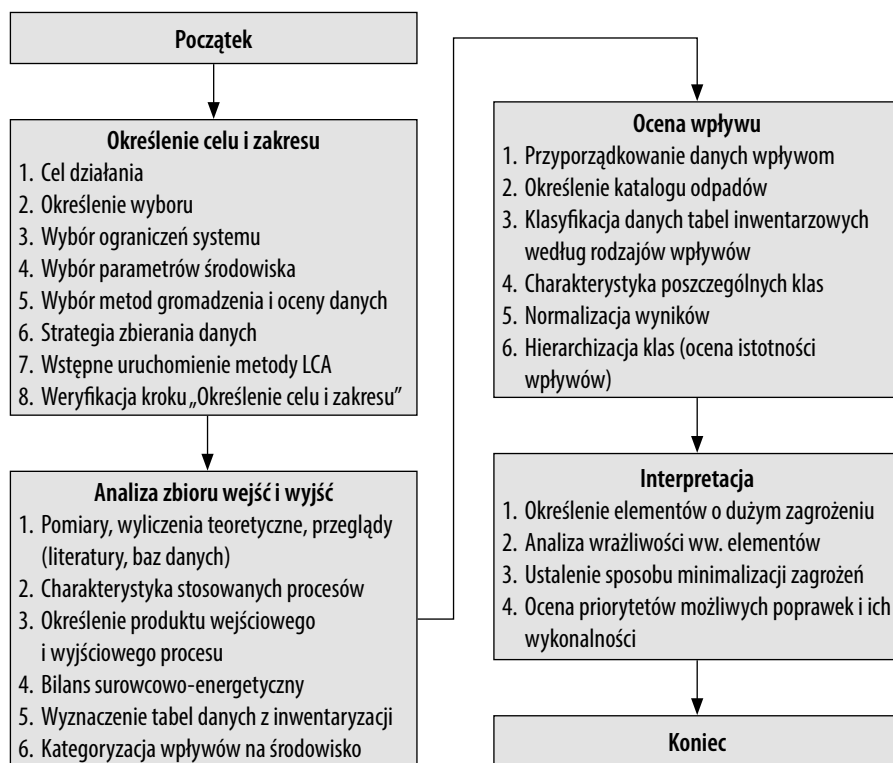
Wynikiem są otrzymane wartości wskaźnika kategorii, czyli profil LCIA.

Etapy LCIA opcjonalne:

- normalizacja — obliczenie wartości wskaźnika kategorii wpływu względem pewnej wartości odniesienia, np. przeciętnych europejskich warunków w ciągu roku na mieszkańca

- (nie ocenia ważności wpływu na środowisko, a jedynie udział danego efektu w efekcie całkowitym — jednostki niemianowane),
- grupowanie — polega na przypisaniu kategorii wpływu do jednego lub więcej zbiorów (kategorie szkody) według celu i zakresu badań, np. zużycie zasobów, jakość ekosystemu, zdrowie ludzkie,
 - ważenie — przypisanie wagi każdej kategorii wpływu i kategorii szkody,
 - analiza jakości danych.

Interpretacja wyników to czwarta faza analizy LCA. Zostają w niej wybrane elementy o dużym zagrożeniu, które rozpatruje się pod kątem wskazania metod minimalizacji zagrożeń. Dzięki wynikom LCA można wybrać odpowiednie rozwiązania, nie tylko by zminimalizować wpływ wyrobów na środowisko, ale również modernizować istniejące przedsięwzięcia i tworzyć nowe, przyjazne środowisku inwestycje.



Rysunek 3. Struktura analizy LCA

Źródło: na podstawie: A.K. Wach, Metoda oceny cyklu życia (LCA) jako podstawa komputerowo wspomaganey oceny wyrobu, Materiały konferencyjne II Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Ekologia w elektronice”, Warszawa, 05–06.12.2002.

Technika LCA może być wykorzystywana nie tylko do oceny aspektów środowiskowych związanych z wybranymi systemami wyrobów i usług, ale przede wszystkim do określenia sposobu zmniejszania zagrożeń dla środowiska naturalnego.

Wdrożenie LCA przynosi wymierne korzyści, zarówno firmie, która decyduje się na przeprowadzenie takiej analizy, jak i społeczeństwu oraz środowisku.

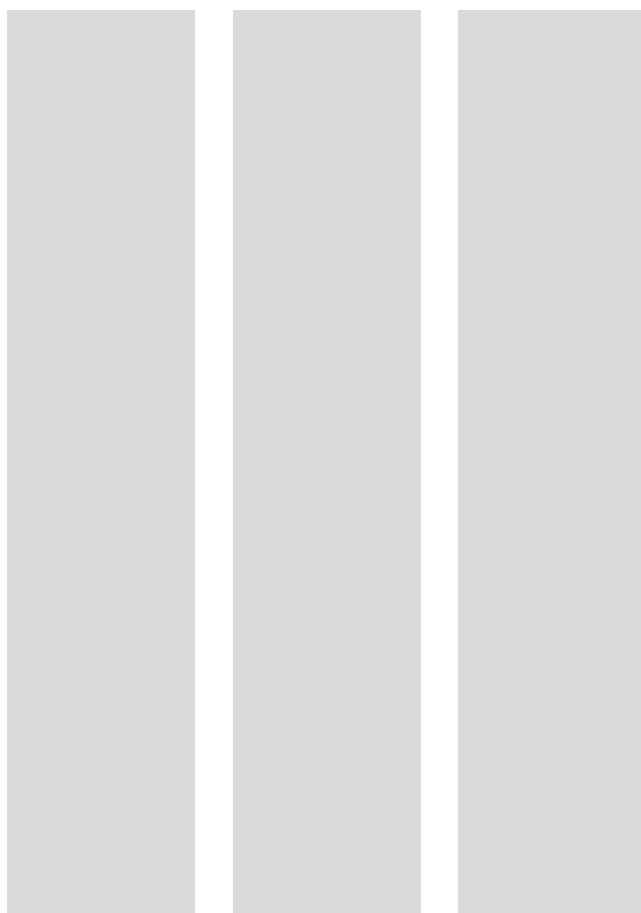
Bibliografia

Kowalski Z., Kulczycka J., Góralczyk M., *Ekologiczna ocena cyklu życia procesów wytwórczych LCA*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.

Stachowicz A., Fedorczak-Cisak M., *Niskoenergetyczne budynki — analiza zużycia energii w całym cyklu istnienia*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2007.

Wach A.K., *Metoda oceny cyklu życia (LCA) jako podstawa komputerowo wspomaganey oceny wyrobu*, Materiały konferencyjne II Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Ekologia w elektronice”, Warszawa, 05–06.12.2002.

WYKORZYSTANIE URZĄDZEŃ ENERGETYKI ODNAWIALNEJ



Odnawialne źródła energii

— wiadomości wstępne, normy techniczne oraz regulacje prawne

Roman Gortat

OZE — regulacje prawne i etapy rozwoju w Polsce

Celem Unii Europejskiej do 2020 r. jest osiągnięcie 20% udziału energii odnawialnej w całkowitym zużyciu energii oraz 10% udziału energii odnawialnej w transporcie. Polsce wyznaczono cel, w którym do 2020 r. ma osiągnąć piętnastoprocentowy udział odnawialnych źródeł energii w końcowym zużyciu energii. Osiągnięcie zamierzonego celu wymaga, aby podejmowane zadania realizowane były w oparciu o zachowanie dwóch podstawowych, równoległe realizowanych kierunków. Pierwszy z nich zakłada dążenie do wzrostu wykorzystania energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych i jednoczesnego uzyskania większej integracji takich źródeł energii z siecią energetyczną krajów członkowskich. Drugi kierunek zmierza do poprawienia efektywności energetycznej dotychczas stosowanych urządzeń i technologii.

Zrealizowane i planowane etapy realizacji zadania w Polsce:

- 2010 — Rada Ministrów przyjęła dokument Krajowy Plan Działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych;
- 2011 — Rada Ministrów przyjęła opracowany przez Ministerstwo Gospodarki dokument Uzupełnienie do Krajowego Planu Działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych;
- 2013 — nowelizacja ustawy energetycznej, Ustawa z dnia 26 lipca 2013 r. o zmianie ustawy Prawo energetyczne oraz niektórych innych ustaw;
- 2015 — Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii;
- 2020 — UE ma osiągnąć dwudziestoprocentowy udział energii odnawialnej w ostatecznym zużyciu energii oraz dziesięcioprocentowy udział energii odnawialnej w transporcie; Polska ma do 2020 r. osiągnąć piętnastoprocentowy udział odnawialnych źródeł energii w końcowym zużyciu energii;
- 2020–2025 — rozpoczęcie wytwarzania energii elektrycznej z zastosowaniem ogniw fotowoltaicznych na dużą skalę oraz produkcja bioetanolu drugiej generacji, biodiesla drugiej generacji i biowodoru (Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku. Załącznik 2 do Polityki energetycznej Polski do 2030 roku);

- 2030 — zgodnie z unijnym dokumentem Energetyczna unijna mapa drogowa do 2050 roku (Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions, Energy Roadmap 2050) redukcja CO₂ ma wynieść 40%;
- 2040 — zgodnie z tym dokumentem redukcja ma wynieść 60%;
- 2050 — unijna mapa drogowa przewiduje redukcję emisji dwutlenku węgla na poziomie 80–95%.

OZE — Polska w kontekście światowych wskaźników

Z danych niemieckich wynika, że 20% zużywanej przez gospodarkę energii pochodzi ze źródeł odnawialnych. Trudno znaleźć jednoznaczne obliczenia dotyczące naszego kraju. Od 1953 r. koncern BP gromadzi dane i publikuje je, pozwalając analitykom na perspektywiczną ocenę rozwoju energetyki. Ostatnia dekada umożliwia gromadzenie danych ilustrujących rozwój energetyki pochodzącej ze źródeł odnawialnych. 63. edycja Statistical Review of World Energy 2014, tak jak poprzednie, publikowana jest w internecie. Poniższe zestawienia ilustrują polskie dokonania i określają nasze miejsce w czołówce krajów rozwijających energetykę odnawialną.

Tabela 1. Energia elektryczna pozyskiwana z elektrowni wodnych w TWh

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Łącznie Ameryka Północna	634,6	634,7	663,5	677,1	646,5	672,7	669,2	650,5	734,9	690,4	690,9
Łącznie Ameryka Środkowa i Południowa	572,0	589,6	625,6	653,2	673,6	678,3	698,7	701,5	742,8	726,1	698,5
Białoruś	^	^	^	^	^	^	^	^	^	0,1	0,1
Czechy	1,8	2,6	3,0	3,3	2,5	2,4	3,0	3,4	2,7	3,0	3,8
Dania	^	^	^	^	^	^	^	^	^	^	^
Finlandia	9,4	14,9	13,7	11,5	14,1	17,1	12,7	12,9	12,4	16,8	12,8
Niemcy	17,7	19,9	19,6	20,0	21,2	20,4	19,0	21,0	17,7	21,8	20,5
Włochy	36,7	42,3	36,1	37,0	32,8	41,6	49,1	51,1	45,8	41,9	51,5
Kazachstan	8,6	8,1	7,9	7,8	8,2	7,5	6,9	8,0	7,9	8,0	8,1
Litwa	0,3	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5
Holandia	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Norwegia	106,1	109,3	136,6	119,8	135,3	140,5	127,1	117,9	122,1	142,9	129,0
Polska	3,3	2,1	2,2	2,0	2,4	2,2	2,4	2,9	2,3	2,0	2,4
Rosja	157,6	177,6	174,5	175,2	179,0	166,7	176,1	168,4	164,8	164,9	181,2
Słowacja	3,7	4,2	4,7	4,6	4,6	4,2	4,6	5,6	4,1	4,4	5,1
Szwecja	53,5	60,6	72,9	61,7	66,3	69,2	65,9	66,9	66,7	78,8	61,4
Ukraina	9,2	11,9	12,4	12,8	10,1	11,3	11,8	13,0	10,5	10,5	13,9

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
łącznie Europa i Eurazja	742,3	796,2	795,9	784,6	796,1	808,0	815,8	873,6	791,1	845,2	889,5
łącznie Środkowy Wschód	14,3	17,9	22,6	29,4	27,9	14,3	12,3	17,8	18,8	21,5	25,2
łącznie Afryka	80,0	86,7	90,5	96,4	95,1	97,1	99,1	108,3	106,3	112,6	113,6
łącznie Azja i Pacyfik	596,1	681,5	726,6	803,0	855,7	947,4	965,6	1112,7	1123,1	1288,3	1364,3
łącznie świat	2639,3	2806,5	2924,6	3043,7	3094,8	3217,7	3260,7	3464,4	3517,1	3684,1	3782,0

Według Załącznika 2 do Polityki energetycznej Polski do 2030 roku stosunkowo największą dynamikę wzrostu w latach 2006–2020 zanotują: energetyka wiatrowa (54 razy) i ciepło słoneczne (35 razy).

Tabela 2. Energia odnawialna pozyskiwana z energii słonecznej w TWh

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
łącznie Ameryka Północna	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7	0,9	1,0	1,4	2,3	4,9	10,2
łącznie Ameryka Środkowa i Południowa	^	^	^	^	^	^	^	^	^	0,2	0,3
Austria	^	^	^	^	^	^	^	0,1	0,2	0,3	0,6
Belgia	—	^	^	^	^	^	0,2	0,6	1,2	1,7	2,0
Bułgaria	—	—	—	—	—	—	^	^	0,1	0,8	1,4
Czechy	—	—	—	^	^	^	0,1	0,6	2,1	2,2	2,1
Dania	^	^	^	^	^	^	^	^	^	0,1	0,5
Francja	^	^	^	^	^	^	0,2	0,5	1,9	4,0	4,6
Niemcy	0,3	0,6	1,3	2,2	3,1	4,4	6,6	11,7	19,6	26,4	30,0
Grecja	—	^	^	^	^	^	0,1	0,2	0,6	1,7	1,9
Włochy	^	^	^	^	^	0,2	0,7	1,9	10,8	18,9	22,4
Holandia	^	^	^	^	^	^	^	0,1	0,1	0,3	0,4
Polska	—	—	—	—	—	—	—	—	^	^	^
Portugalia	^	^	^	^	^	^	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4
Rumunia	—	—	—	—	—	—	^	^	^	^	0,1
Słowacja	—	—	—	—	—	—	—	^	0,3	0,6	0,6
Hiszpania	^	0,1	0,1	0,2	0,5	2,6	6,1	7,1	8,7	12,0	13,1
Szwajcaria	^	^	^	^	^	^	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5
Ukraina	—	—	—	—	—	—	—	—	^	0,3	0,5
Wielka Brytania	^	^	^	^	^	^	^	^	0,2	1,2	2,0
łącznie Europa i Eurazja	0,5	0,7	1,5	2,6	3,8	7,5	14,2	23,2	46,4	71,3	83,6
łącznie Środkowy Wschód	—	—	—	—	—	—	^	0,1	0,2	0,3	0,5

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Łącznie Afryka	^	^	^	^	^	^	0,1	0,1	0,2	0,4	0,4
Łącznie Azja i Pacyfik	0,9	1,2	1,5	1,9	2,2	2,8	3,8	5,7	10,0	17,0	29,8
Łącznie świat	2,0	2,6	3,7	5,0	6,7	11,2	19,1	30,5	59,2	94,1	124,8

Tabela 3. Energia odnawialna pozyskiwana z energii wiatru w TWh

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Łącznie Ameryka Północna	12,0	15,3	19,6	29,4	38,0	59,9	81,8	105,5	132,9	154,7	182,2
Łącznie Ameryka Środkowa i Południowa	0,5	0,6	0,6	0,8	1,1	1,7	2,3	3,5	4,1	7,5	9,5
Austria	0,4	0,9	1,3	1,8	2,0	2,0	2,0	2,1	1,9	2,5	3,0
Belgia	0,1	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	1,0	1,3	2,3	2,7	3,6
Bułgaria	—	^	^	^	^	0,1	0,2	0,7	0,9	1,2	1,3
Czechy	^	^	^	^	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5
Dania	5,6	6,6	6,7	6,2	7,2	7,0	6,8	7,9	9,9	10,4	11,2
Finlandia	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,8
Francja	0,4	0,6	1,0	2,2	4,1	5,7	7,6	9,4	11,6	14,3	15,2
Niemcy	18,7	25,5	27,2	30,7	39,7	40,6	38,6	37,8	48,9	50,7	53,4
Grecja	1,0	1,1	1,3	1,7	1,8	2,2	2,5	2,7	3,3	3,8	4,1
Węgry	^	^	^	^	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	0,7
Irlandia	0,5	0,7	1,1	1,6	2,0	2,4	3,0	2,8	4,4	4,0	4,5
Włochy	1,5	1,8	2,3	3,0	4,0	4,9	6,5	9,1	9,9	13,4	15,0
Litwa	—	^	^	^	0,1	0,1	0,2	0,2	0,5	0,5	0,6
Holandia	1,3	1,9	2,1	2,7	3,4	4,3	4,6	4,0	5,1	4,9	5,6
Norwegia	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	0,9	1,0	0,9	1,3	1,6	1,9
Polska	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0,8	1,1	1,7	3,2	4,7	6,0
Portugalia	0,5	0,8	1,7	2,9	4,0	5,7	7,5	9,1	9,0	10,0	11,8
Hiszpania	12,5	16,2	21,3	23,3	27,8	32,5	37,9	44,2	42,4	49,5	55,8
Szwecja	0,7	0,9	0,9	1,0	1,4	2,0	2,5	3,5	6,1	7,2	9,9
Szwajcaria	^	^	^	^	^	^	^	^	0,1	0,1	0,1
Turcja	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,8	1,5	2,9	4,7	5,9	7,5
Ukraina	^	^	^	^	^	^	^	0,1	0,1	0,3	0,6
Wielka Brytania	1,3	1,9	2,9	4,2	5,3	7,1	9,3	10,2	15,5	19,6	27,4
Łącznie Europa i Eurazja	45,0	59,8	71,2	83,2	106,0	121,0	135,1	152,5	184,6	212,8	246,7
Łącznie Środkowy Wschód	^	^	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
Łącznie Afryka	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,3	1,6	2,2	2,4	2,6	3,6

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Łącznie Azja i Pacyfik	5,3	9,2	12,0	18,8	24,3	35,0	56,7	79,4	111,6	144,3	186,0
Łącznie świat	63,4	85,6	104,3	133,1	170,6	219,1	277,8	343,2	435,9	522,1	628,2

Tabela 4. Energia odnawialna pozyskiwana z energii geotermalnej, biomasy i innych źródeł w TWh

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Łącznie Ameryka Północna	89,6	90,4	92,7	91,3	92,6	90,6	90,8	93,6	91,6	92,5	96,8
Łącznie Ameryka Środkowa i Południowa	24,9	26,4	27,8	29,8	35,0	37,9	41,7	45,0	52,9	57,3	71,0
Austria	1,8	2,1	2,6	3,4	4,2	4,3	4,3	4,5	4,5	4,6	4,7
Białoruś	—	—	^	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Belgia	1,7	2,0	2,4	3,3	3,8	4,6	5,5	5,9	6,3	6,6	7,0
Bułgaria	—	—	—	—	—	^	^	^	0,1	0,1	0,1
Czechy	0,5	0,7	0,7	0,9	1,2	1,4	1,8	2,1	2,6	3,3	4,0
Dania	2,5	2,9	3,2	3,1	3,1	3,1	3,3	4,6	4,4	4,4	4,4
Finlandia	9,3	10,3	9,5	10,7	9,9	10,4	8,7	11,0	11,1	11,1	11,0
Francja	3,7	3,7	3,9	3,9	4,3	4,5	4,6	5,1	5,7	5,8	6,2
Niemcy	8,8	10,5	14,4	18,7	24,4	27,8	30,6	34,3	37,6	44,7	47,8
Grecja	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Węgry	0,1	0,7	1,6	1,2	1,4	1,8	2,2	2,3	1,9	1,7	1,7
Irlandia	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4
Włochy	9,8	11,1	11,5	12,3	12,5	13,0	13,0	14,8	16,5	18,1	20,0
Litwa	^	^	^	^	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
Holandia	2,6	3,3	5,3	5,2	4,0	5,1	6,1	7,1	7,1	7,2	7,4
Norwegia	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5
Polska	0,5	0,9	1,5	2,0	2,6	3,6	5,2	6,3	7,6	10,1	12,5
Portugalia	1,7	1,8	2,0	2,0	2,1	2,2	2,4	3,0	3,3	3,4	3,7
Rumunia	^	^	^	^	^	^	^	0,1	0,2	0,2	0,2
Rosja	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
Słowacja	0,1	^	0,1	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8
Hiszpania	3,3	3,4	3,5	4,1	3,7	3,2	3,4	3,9	4,5	5,0	5,3
Szwecja	4,5	7,2	7,4	8,1	9,7	10,2	11,2	12,0	11,5	12,2	12,2
Szwajcaria	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5
Turcja	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,8	1,1	1,2	1,6	2,2
Wielka Brytania	6,2	7,4	9,1	9,3	9,3	9,6	10,7	12,0	13,2	15,2	18,7
Inne państwa Europy i Eurazji	1,7	1,8	2,0	2,9	3,9	4,6	5,0	5,0	5,4	6,2	6,3
Łącznie Europa i Eurazja	60,9	72,1	82,8	94,2	103,6	113,4	122,2	139,1	148,7	165,9	179,9

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Łącznie Środkowy Wschód	^	^	^	^	^	^	0,1	^	0,1	0,1	0,1
Łącznie Afryka	2,0	2,4	2,5	3,2	2,6	2,8	3,1	3,3	3,3	3,4	3,6
Łącznie Azja i Pacyfik	52,8	56,4	62,5	64,7	68,1	71,4	75,1	87,9	114,0	128,8	129,9

Uważa się, że w polskich realiach decydujące znaczenie w kontekście osiągnięcia postawionego celu 15% udziału energii ze źródeł odnawialnych w strukturze zużycia energii w 2020 r. będą miały sukcesy poczynione w energetyce wiatrowej, produkcji biogazu i biomasy stałej oraz biopaliw transportowych.

Tabela 5. Energia odnawialna — produkcja biopaliw w 1000 baryłek/dzień oleju z biopaliw

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Łącznie Ameryka Północna	107	130	153	199	280	394	450	529	590	566	592
Łącznie Ameryka Środkowa i Południowa	145	146	163	189	248	313	320	361	329	339	377
Austria	1	1	1	2	4	5	7	8	7	7	8
Belgia	—	—	0	0	3	6	10	11	12	10	13
Finlandia	—	0	0	0	1	2	5	7	7	7	7
Francja	7	8	9	13	23	40	46	46	37	41	39
Niemcy	12	18	31	50	64	54	55	58	57	58	53
Włochy	5	5	7	12	9	12	15	13	9	6	6
Holandia	—	0	0	0	2	2	5	8	13	25	24
Polska	1	0	2	3	2	6	8	8	8	13	13
Portugalia	—	—	0	1	3	3	4	6	6	7	4
Hiszpania	3	4	6	5	7	7	19	25	16	12	14
Szwecja	1	1	1	2	3	3	5	4	4	5	5
Wielka Brytania	0	0	1	4	7	6	4	6	5	6	9
Inne państwa Europy i Eurazji	3	3	6	8	10	19	24	25	25	26	26
Łącznie Europa i Eurazja	33	41	63	102	137	165	206	225	207	223	221
Łącznie Środkowy Wschód	—	—	—	—	—	—	—	0	0	0	0
Łącznie Afryka	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Łącznie Azja i Pacyfik	10	12	17	26	35	58	67	81	91	108	122
Łącznie świat	295	329	396	516	699	930	1043	1196	1219	1237	1312

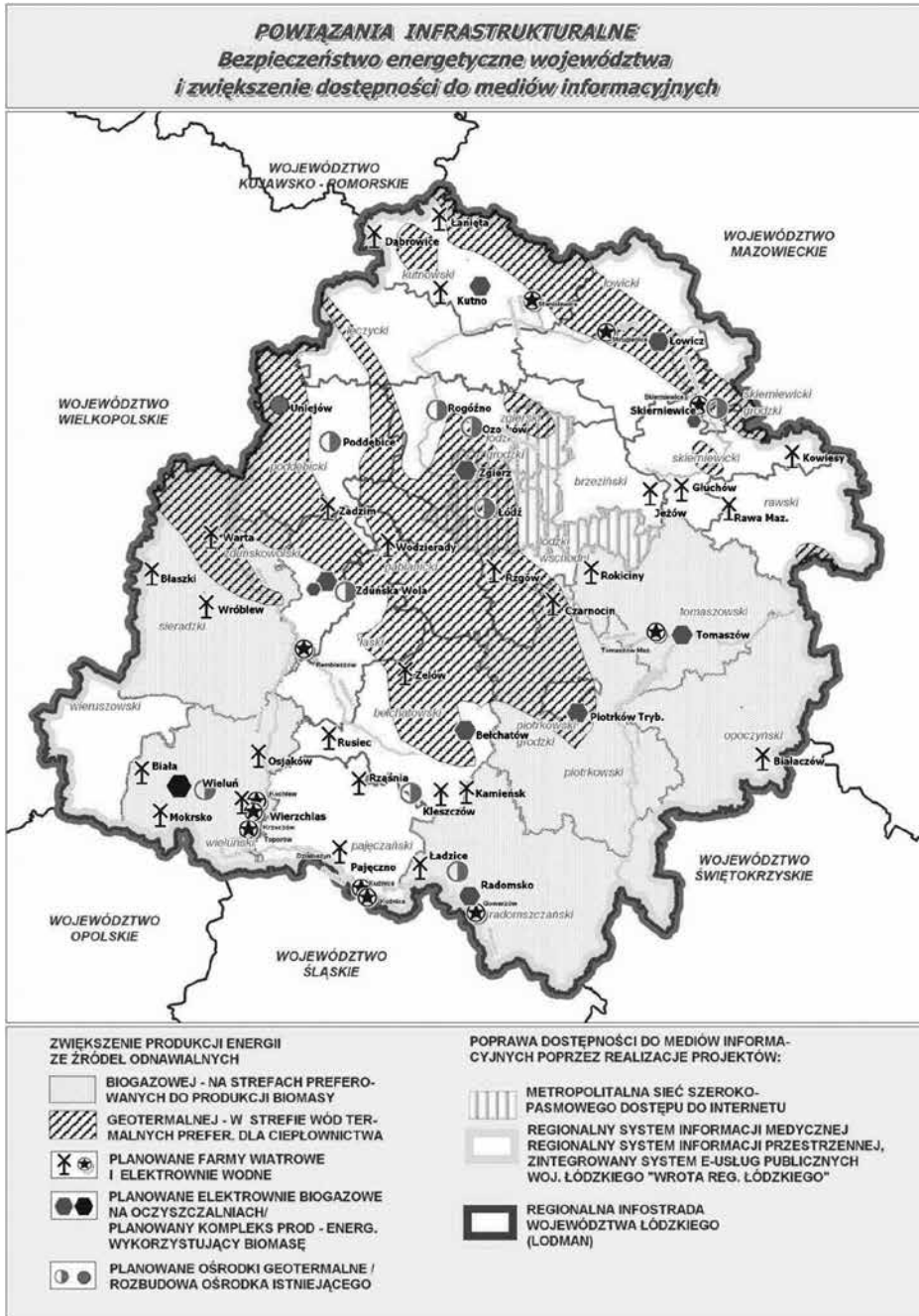
Te cztery obszary w 2020 r. stanowić będą łącznie około 94% zużycia energii ze wszystkich źródeł odnawialnych. Do 2020 r. technologie odnawialne łącznie stanowić będą 25,4% całko-

witej mocy wytwórczej (22,6% w 2030 r.). Spadek wskaźnika odsetkowego w latach 2020–2030 wynika głównie z faktu uwzględnienia w zestawieniu energetyki jądrowej, która ma pojawić się w Polsce po 2020 r. Analogiczne zestawienia dla energii wytwarzanej z paliwa jądrowego przedstawia tabela 6.

Tabela 6. Energia otrzymywana z paliwa jądrowego w TWh

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Łącznie Ameryka Północna	888,9	929,0	925,3	936,8	952,1	951,7	941,2	945,0	936,7	914,4	944,4
Łącznie Ameryka Środkowa i Południowa	20,9	19,5	16,7	21,3	19,4	21,2	20,9	21,6	21,6	22,3	20,7
Belgia	47,4	47,3	47,6	46,6	48,2	45,6	47,2	47,9	48,2	40,3	42,6
Bułgaria	20,0	19,4	18,5	19,5	14,6	15,8	15,3	15,2	16,3	15,8	14,2
Czechy	25,9	26,3	24,7	26,0	26,1	26,5	27,2	28,0	28,3	30,3	30,7
Finlandia	23,0	23,0	23,5	23,2	23,7	23,2	23,8	23,0	23,4	23,2	23,9
Francja	441,2	449,4	452,6	451,3	440,6	440,3	410,1	428,3	442,1	425,4	423,7
Niemcy	165,1	167,1	163,0	167,4	140,5	148,8	134,9	140,6	108,0	99,5	97,3
Węgry	11,0	11,9	13,8	13,5	14,7	14,8	15,4	15,8	15,7	15,8	15,4
Litwa	15,5	15,1	10,3	8,7	9,8	9,9	10,9	—	—	—	—
Holandia	4,0	3,8	4,0	3,5	4,2	4,2	4,2	4,0	4,1	4,0	2,7
Polska	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Rumunia	4,9	5,5	5,6	5,6	7,7	11,2	11,8	11,6	11,7	11,5	11,6
Rosja	148,6	144,7	147,6	156,5	160,1	163,1	163,6	170,4	172,9	177,5	173,0
Słowacja	17,9	17,0	17,7	18,0	15,3	16,7	14,1	14,6	15,4	15,5	15,7
Hiszpania	61,9	63,6	57,5	60,1	55,1	59,0	52,8	62,0	57,7	61,5	56,7
Szwecja	67,4	76,7	72,4	67,0	67,0	64,3	52,7	58,6	61,1	64,6	66,9
Szwajcaria	27,3	26,8	23,2	27,6	27,8	27,5	27,5	26,5	26,9	25,6	26,2
Ukraina	81,5	87,0	88,8	90,2	92,5	89,8	82,9	89,2	90,2	90,1	83,2
Wielka Brytania	88,7	80,0	81,6	75,5	63,0	52,5	69,1	62,1	69,0	70,4	70,6
Łącznie Europa i Eurazja	1258,4	1272,6	1261,1	1268,4	1219,3	1221,9	1171,6	1206,0	1200,0	1178,9	1162,2
Łącznie Środkowy Wschód	—	—	—	—	—	—	—	—	0,1	1,4	4,1
Łącznie Afryka	13,3	14,1	11,9	10,6	11,9	13,7	13,5	12,7	14,2	12,6	13,9
Łącznie Azja i Pacyfik	462,4	525,8	553,4	568,9	545,0	529,1	566,5	582,1	482,2	345,0	343,7
Łącznie świat	2643,9	2760,9	2768,5	2805,8	2747,7	2737,5	2713,7	2767,4	2654,7	2474,4	2489,0

OZE — perspektywa dla województwa łódzkiego



Rysunek 1. Bezpieczeństwo energetyczne i zwiększenie dostępności do mediów informacyjnych w województwie łódzkim

Plany rozwoju energetyki z odnawialnych źródeł energii zakreslono w Uchwale nr LX/1648/10 Sejmiku Województwa Łódzkiego z dnia 21 września 2010 r. w sprawie zmiany Uchwały nr XLV/524/2002 Sejmiku Województwa Łódzkiego z dnia 9 lipca 2002 roku w sprawie uchwalenia Planu zagospodarowania przestrzennego województwa łódzkiego.

Dokument przewiduje zwiększenie produkcji energii ze źródeł odnawialnych, ukie-
runkowane na produkcję energii z biomasy, jako kierunek priorytetowy dla wojewódz-
twa. Największe predyspozycje do rozwoju komponentów do produkcji energii występu-
ją w powiatach sieradzkim, radomszczańskim, tomaszowskim, opoczyńskim, piotrkowskim
i wieluńskim. Rozwój energetyki z wykorzystaniem biomasy jako paliwa energetycznego po-
winien nastąpić z wykorzystaniem kogeneracji.

Planowany rozwój energetyki wiatrowej zakłada ograniczenia na terenach o wysokich wa-
lorach krajobrazowych, objętych i proponowanych do objęcia ochroną prawną. Podstawą roz-
woju tego kierunku jest możliwość odbioru wytworzonej energii przez system energetyczny.
Przedstawiona poniżej mapa określa tereny, na których planowane jest zwiększenie produkcji
energii ze źródeł odnawialnych.

Szacunkowe dane na koniec 2012 r., określające liczbę urządzeń OZE zrealizowanych
i funkcjonujących w województwie łódzkim, przedstawia tabela 7.

Tabela 7. Liczba urządzeń OZE zrealizowanych i działających na terenie województwa łódzkiego

Liczba instalacji	Moc w MW	Czynnik	Pochodzenie
2	2,989	Biogaz	Z oczyszczalni ścieków
1	1,998	Biogaz	Z paliw rolniczych
5	4,675	Biogaz	Z odpadów na składowiskach
162	277,715	Wiatr	Posadowienie na lądzie
41	2,485	Woda	Przepływowa wytwarzająca moc do 0,3 MW
2	7,564	Woda	Przepływowa wytwarzająca moc do 5,0 MW
3	0,000	Współspalanie paliw	Z paliw kopalnych i biogazu
1	48,000	Biomasa	Mieszane

Bibliografia

http://www.ebheu.org/legis/ActionPlanDirective2009_28/national_renewable_energy_action_plan_poland_pl.pdf.

http://www.mg.gov.pl/files/upload/12326/uzupe%C5%82nienie%20KPD_www.pdf.

<http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20130000984>. Dz.U. z 2013 r., poz. 984.

<http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20150000478>.

<http://www.mg.gov.pl/files/upload/8134/Prognoza%20zapotrzebowania%20na%20paliwa%20i%20energie-ost.pdf>.

http://zb.itb.pl/files/zb/ke_roadmap_energy_2050_2012.pdf.

<http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.

<http://dziennikiwojewództwie.pl/ShowAct.aspx?ID=99751>.

Systemy fototermiczne

Jarosław Mrówczyński

Wstęp

W dzisiejszych czasach, gdy zasoby paliw kopalnych coraz bardziej się kurczą, coraz częściej uwaga wszystkich skupia się na odnawialnych źródłach energii. Do OZE zalicza się między innymi energię pozyskiwaną z wiatru, promieniowania słonecznego, biomasy, wody czy też źródeł geotermalnych. Za pozyskiwaniem w ten sposób energii przemawia przede wszystkim odnawialność tych zasobów, a także duża liczba technologii umożliwiających jej pozyskanie. Wiele państw na świecie kładzie coraz większy nacisk na dywersyfikację źródeł energii, co prowadzi do obniżenia eksploatacji konwencjonalnych jej zasobów, a co za tym idzie do obniżenia emisji CO₂ do atmosfery. W Europie postawiono na tzw. Program 3x20:

- dwudziestoprocentowa redukcja emisji gazów cieplarnianych w stosunku do poziomu z 1990 r.,
- dwudziestoprocentowe zmniejszenie zużycia energii,
- dwudziestoprocentowy udział energii ze źródeł odnawialnych w produkcji energii w UE do 2020 r.

Do wzrostu znaczenia zielonej energii na pewno przyczyniły się mechanizmy wprowadzane przez niektóre rządy, mające na celu spopularyzowanie tej energii. Pomoc ta przejawiała się poprzez różnego rodzaju ulgi podatkowe, dopłaty, dotacje czy też systemy wsparcia. Jednym z pierwszych mechanizmów mających na celu zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii w ogólnym bilansie energetycznym było wprowadzenie tzw. Feed-In Tariff (FIT), to jest dopłat państwa do każdej kWh wyprodukowanej z odnawialnych źródeł energii. Jako pierwszy takie wsparcie OZE wprowadził rząd Niemiec. Tego typu mechanizmy działają również w Japonii, gdzie w 2009 r. zainstalowane zostały baterie słoneczne o mocy ponad 2,6 GW, z czego ponad 99% systemów zostało połączonych z tamtejszą siecią energetyczną, co było możliwe dzięki dopłatom, których udzielało japońskie Ministerstwo Gospodarki.

Promieniowanie słoneczne

Przy montażu instalacji fototermicznych należy przeanalizować wielkości opisujące promieniowanie słoneczne. Do najistotniejszych wielkości, które opisują promieniowanie słoneczne, należą:

- usłonecznienie,
- natężenie promieniowania słonecznego, które wyrażone jest w watach na metr kwadratowy (W/m^2),
- napromieniowanie całkowite.

Pod pojęciem usłonecznienia rozumiana jest średnia liczba godzin słonecznych w przeciągu czasu, w jakim będzie wykorzystywany system. Usłonecznienie zależy od pory roku, długości dnia, a także zachmurzenia, jakie w danej chwili panuje. Średnie roczne wartości usłonecznienia dla wybranych miast w Polsce prezentuje tabela 1.

Tabela 1. Średnie roczne wartości usłonecznienia w godzinach dla wybranych miast w Polsce

Lp.	Stacje meteorologiczne	Usłonecznienie w godzinach
1	Olsztyn	Brak danych
2	Bielsko-Biała	Brak danych
3	Lublin	1929
4	Poznań	1875
5	Koszalin	1850
6	Gorzów Wielkopolski	1843
7	Terespol	1842
8	Łeba	1826
9	Szczecin	1816
10	Wrocław	1785
11	Białystok	1780
12	Zamość	1760
13	Katowice	1752
14	Toruń	1731
15	Kłodzko	1728
16	Kalisz	1720
17	Kielce	1717
18	Łódź	1712
19	Ostrołęka	1710
20	Warszawa	1693
21	Częstochowa	1683
22	Suwałki	1676
23	Jelenia Góra	1642
24	Szczecinek	1605
25	Kraków	1583
26	Rzeszów	1581
27	Zielona Góra	1574

Lp.	Stacje meteorologiczne	Usłonecznienie w godzinach
28	Hel	1566
29	Nowy Sącz	1558
30	Zakopane	1458
31	Śnieżka	1314

Źródło: Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej, Warszawa 2003.

Natężenie promieniowania słonecznego jest to gęstość mocy promieniowania padającego w ciągu jednej sekundy na powierzchnię prostopadłą do kierunku promieniowania. Wyraża się ją w watach na metr kwadratowy (W/m^2). Średnimi wartościami promieniowania możemy nazwać promieniowanie rzędu 600–800 W/m^2 .

Napromieniowanie całkowite to suma energii promieniowania słonecznego wyrażona w megadżulach na metr kwadratowy (MJ/m^2). W Polsce ta wartość jest określana na poziomie 3600 MJ/m^2 .

Systemy fototermiczne

Aby system fototermiczny funkcjonował, należy przekształcić energię płynącą z promieniowania słonecznego w energię ciepłą w systemach niskotemperaturowych. Możemy rozróżnić dwa podstawowe typy niskotemperaturowych systemów słonecznych:

- aktywne, zwane inaczej czynnymi,
- pasywne, zwane inaczej biernymi.

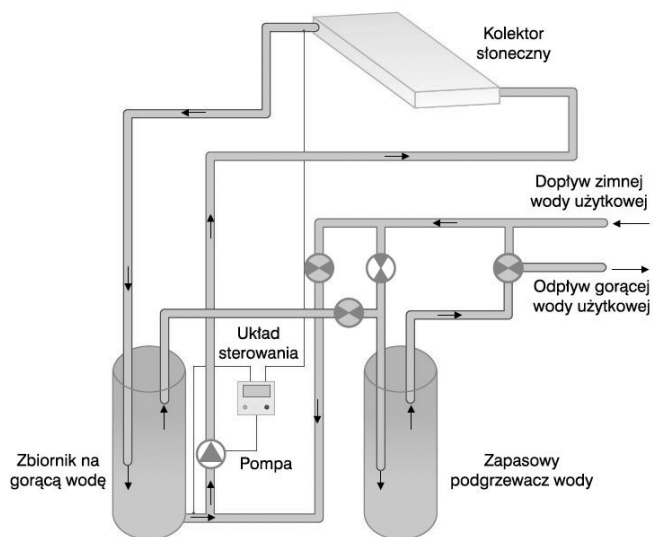
Za aktywny system słoneczny uznaje się taki, gdzie dzięki elementom składowym danej instalacji mamy do czynienia ze zmianą promieniowania słonecznego na ciepło użyteczne. Zmiana ta zachodzi w centrum danej instalacji, którym jest kolektor słoneczny. Kolektor słoneczny działa natomiast dzięki pompom cyrkulacyjnym, które wymuszają ruch czynnika roboczego w systemie.

Czynne systemy słoneczne w Polsce wykorzystywane są przede wszystkim do:

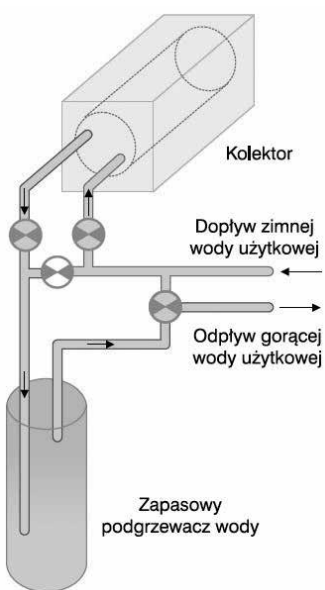
- podgrzewania ciepłej wody użytkowej,
- podgrzewania wody w basenach w okresie letnim,
- wspomagania centralnego ogrzewania, takiego jak ogrzewanie podłogowe lub ściennie (oczywiście przy doborze odpowiedniej liczby kolektorów słonecznych).

Aktywny system słoneczny przedstawia rysunek 1.

Pasywny system słoneczny zamienia energię emitowaną przez Słońce w energię ciepłą w sposób jak najbardziej naturalny, bez udziału jakichkolwiek innych urządzeń wspomagających. Zamiana ta odbywa się zgodnie z procesami wymiany ciepła i masy, znanymi z fizyki budowni. Systemy bierne nie posiadają urządzeń elektrycznych, które — tak jak w przypadku systemów aktywnych — wymuszałby przepływ czynnika roboczego. Pasywny system słoneczny przedstawia rysunek 2.



Rysunek 1. System aktywny z otwartym obiegiem wody



Rysunek 2. Pasywna solarna instalacja grzewcza, w której kolektor jest zintegrowany ze zbiornikiem na wodę

Rodzaje kolektorów słonecznych wykorzystywanych w aktywnych systemach słonecznych

Podstawową częścią systemu czynnego jest kolektor słoneczny. Ma on za zadanie zbierać energię promieniowania słonecznego. Kolektory słoneczne dzielimy ze względu na:

— zastosowany czynnik roboczy:

- cieczowe,
- powietrzne,

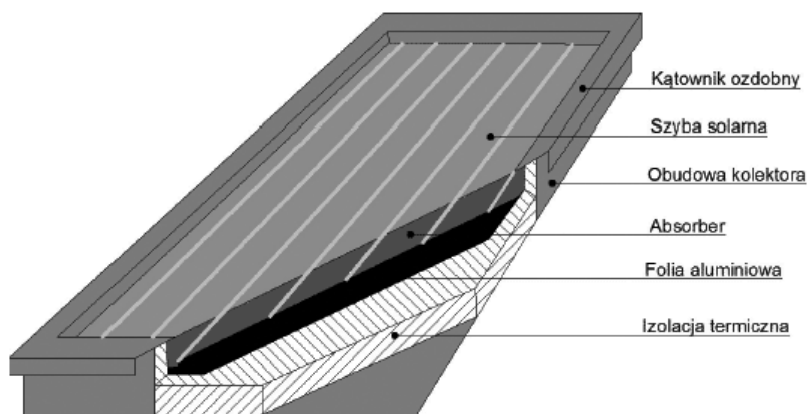
— konstrukcję:

- skupiające,
- płaskie.

Kolektory cieczowe dzielimy zaś na:

- płaskie,
- próżniowe,
- elastyczne maty, które wykonane są z tworzyw sztucznych.

W związku z warunkami, jakie panują w Polsce, należy skupić się przede wszystkim na trzech rodzajach kolektorów słonecznych, które z powodzeniem można stosować w naszym kraju. Pierwszym z nich jest kolektor cieczowy płaski przedstawiony na rysunku 3.



Rysunek 3. Budowa płaskiego cieczowego kolektora słonecznego

Jest to najbardziej powszechny i najprostszy w budowie kolektor słoneczny. Składa się z:

- pokrycia przezroczystego, które ma za zadanie chronić absorber przed stratami ciepłymi uwalniającymi się do atmosfery,
- izolacji termicznej, która również ma za zadanie ochronę absorbera przed utratą ciepła do otoczenia zewnętrznego,
- absorbera, którym jest najczęściej miedziana blacha z czarną powłoką, która ma za zadanie pochłaniać promienie Słońca, aby później zamienić je na ciepło,
- obudowy kolektora, która jest najczęściej zbudowana z tworzywa sztucznego bądź z aluminium,
- węzownic rurowych, które mają za zadanie odprowadzać i doprowadzać czynnik roboczy.

Dużą zaletą tego typu kolektorów słonecznych jest ich stosunkowo niski koszt inwestycyjny, a także w miarę szybki czas zwrotu z inwestycji. Niestety, istotnym minusem jest ich niższa efektywność w stosunku np. do kolektorów rurowych.

Drugim typem kolektora słonecznego sprawdzającego się bardzo dobrze w polskich warunkach jest kolektor płaski próżniowy (rys. 4).



Rysunek 4. Kolektor płaski próżniowy

Jest to kolektor, który połączył w sobie dwie technologie — kolektorów płaskich i izolacji próżniowej, którą to technologię stosuje się przy budowie kolektorów rurowych. W tym przypadku spawane lub zgrzewane połączenie absorbera z rurką, w której jest czynnik roboczy, zastąpione zostało połączeniem zaciskowym. Takie rozwiązanie ma dwie kluczowe korzyści. Po pierwsze, iż rurka, w której jest czynnik roboczy, w większym stopniu przylega do absorbera, znacząco wzrasta przekazywanie ciepła. Po drugie, taka konstrukcja jest dużo bardziej odporna na jakąkolwiek awarię obiegu zasadniczego czynnika roboczego. Dzięki temu, iż pomiędzy absorberem a szkłem stworzona jest próżnia powstała w wyniku wypompowania stamtąd powietrza, sprawność urządzenia jest znacząco większa od zwykłego kolektora płaskiego.

Trzecim typem kolektorów, które bardzo dobrze sprawdzają się w Polsce, są kolektory próżniowe typu Heat-pipe (ciepłowód). Kolektory próżniowe (rys. 5) mają wyższą sprawność od pozostałych typów kolektorów, mogą być stosowane przy ujemnej temperaturze, mogą pozyskiwać energię w czasie jesienno-wiosennym, mają niewielki ciężar, a także niewielką wrażliwość na kąt padania promieni Słońca.



Rysunek 5. Kolektor próżniowy typu Heat-pipe

Głównym elementem tego kolektora jest rura wykonana ze szkła borowo-krzemowego. Składa się ona z podwójnych ścianek, pomiędzy którymi nie ma powietrza i panuje próżnia. Wewnątrz tych rur są tak zwane rurki ciepła, w których znajduje się czynnik (płyn), który już przy około 15°C zaczyna przekazywać ciepło od absorbera, a przy około 23°C wrze. Następnie płyn ten paruje i unosi się do głowicy kolektora. Tam ulega schłodzeniu, które następuje za

pomocą roztworu glikolu, transportującego odebrane ciepło do zasobnika z wodą, a po ochłodzeniu płyn w rurce ciepła skrapla się i spływa w dół rury, gdzie następnie znów się ogrzewa i cykl ulega powtórzeniu.

Rodzaje pasywnych systemów słonecznych

W dzisiejszych czasach rozwiązania opierające się na systemach pasywnych w nowo powstających budynkach zaczynają odgrywać coraz bardziej istotną rolę. Aby określić projekt budynku z zastosowanymi rozwiązaniami pasywnymi jako dobry, musi on spełniać kilka warunków. Przede wszystkim taki obiekt musi wyróżniać się znikomą ilością przeszkleń od strony północnej, co prowadzi do minimalizacji ubytków ciepła. Południowa strona powinna mieć natomiast zaprojektowaną jak największą ilość przeszkleń w postaci okien lub oszklonych przestrzeni buforowych, aby w sposób maksymalny pochłaniać i wykorzystywać energię promieniowania słonecznego. Systemy pasywne znalazły swoje zastosowanie między innymi w:

- suszarniach,
- szklarniach,
- destylarkach,
- systemach służących do podgrzewania ciepłej wody,
- budownictwie — do ogrzewania i komfortu cieplnego.

Należy pamiętać, że tego typu systemy nie są w stanie zapewnić na dzień dzisiejszy pełnego zapotrzebowania na ciepło grzewcze, a więc mogą być stosowane jedynie jako instalacje uzupełniające dla konwencjonalnych sposobów zapewniania ciepła. Wyróżnia się dwa podstawowe systemy pasywne. Pierwszym z nich jest system zysków bezpośrednich (rys. 6).



Rysunek 6. System zysków bezpośrednich

Jest to najtańszy i zarazem najprostszy system. Fundamentalną rolę odgrywają w nim przeszklenia, które mają przede wszystkim formę okien. Są one podstawowym i bezpośrednim odbiornikiem energii pochodzącej z promieniowania słonecznego. Po przejściu przez elementy przeszklone ogrzewają one przegrody wewnętrzne, a także wszelkiego rodzaju meble, które stają się źródłem ciepła w budynku. Niestety, zwiększenie powierzchni szklanych w pomieszczeniu ma też swoje złe strony. Mimo iż poprawiają się zyski wynikające z promieniowania Słońca, to wpływa to też znacząco na utratę ciepła. Aby więc wyeliminować duże wahania temperatury, które są wadą tych systemów i jednocześnie zakumulować pozyskane ciepło do wykorzystania w późniejszym czasie, odizolowuje się wnętrze budynku od bezpośredniego oddziaływania Słońca.

Drugim z nich jest system zysków pośrednich, który wyróżnia się niewielkimi zmianami zachodzącymi wewnątrz ogrzewanych budynków, uzyskiwanymi poprzez zastosowanie:

- systemu zysków pośrednich z lekką ścianą kolektorową,
- systemu zysków pośrednich z masywną ścianą kolektorowo-magazynującą,
- systemu zysków pośrednich z przestrzenią buforową, którą mogą stanowić:
 - oszklone werandy,
 - dobudowane loggie,
 - dobudowane do ścian budynku szklarnie,
 - ogrody zimowe.

Dwa pierwsze wymienione systemy mają za zadanie oddzielenie wnętrza budynku od otoczenia zewnętrznego przez to, iż konstruowane są specjalne ściany kolektorowe lub też kolektorowo-magazynujące, posiadające układ wewnętrznych kanałów, którymi przeprowadzane jest ogrzane przez Słońce powietrze do wnętrza budynku. Trzeci system ma za zadanie spełniać rolę bufora cieplnego. Jego główną funkcją jest gromadzenie pozyskanej energii słonecznej, a równocześnie ograniczenie do minimum strat ciepła na zewnątrz.

Podsumowanie

Z roku na rok możemy zauważyć coraz większy wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w globalnym udziale na zapotrzebowanie na energię elektryczną. Mimo iż OZE, a przede wszystkim fototermika i fotowoltaika, to najdynamiczniej rozwijający się sektor gospodarki obok informatyki i biotechnologii, należy zauważyć, że wchodzi one dopiero na rynek, przez co narażone są na szereg problemów. Jednak dzięki temu, iż fototermika i fotowoltaika generują energię elektryczną w sposób zdecentralizowany i rozproszony, mają one już teraz znaczącą pozycję, a w niedalekiej przyszłości odgrywać będą coraz większą rolę w światowym systemie gospodarowania energią.

Bibliografia

Krac E., Górecki K., *Współczesne problemy energetyki solarnej*, „Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni”, nr 75, Gdynia, grudzień 2012.

Raport EPIA i Greenpeace — Fotowoltaika na świecie 2010, <http://www.modernhome.h2.pl/viewtopic.php?f=6&t=1041&start=0&sid=c62ad1d24925b22f1d62b0187c112393>.

Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej, Warszawa 2003.

Kukło K., *Energia słoneczna — dostępność, możliwości wykorzystania, korzyści*, [w:] *Energia odnawialna. Jak z niej korzystać?*, Podlaska Fundacja Rozwoju Regionalnego, Białystok 2007, http://www.paze.pl/pliki/Energia_sloneczna.pdf.

<http://automatyzacja2b.pl/tematmiesiaca/3402-energetyka-soneczna-cz-1-instalacje-fototermiczne-i-fotowoltaiczne?start=1#VSvCK5NOpHY>.

Chwieduk D., *Energia słoneczna*, Warszawa 2004.

Zawadzki M., *Kolektory słoneczne i pompy ciepła na tak*, Warszawa 2003

<http://www.gazeta-dobryznak.pl/index.php?art=1084>.

Tytko R., *Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej*, Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Słowników w Polsce, Kraków 2013.

http://www.mk.net.pl/kolektory_sloneczne_solar-pro.php.

<http://www.e-instalacje.pl/a/4164,kolektory-plaskie-czy-prozniowe>.

Pytel K., *Energia słoneczna jako źródło energii na Ziemi*, [w:] Gałusza M., Paruch J. (red.), *Odnawialne i niekonwencjonalne źródła energii*, Wydawnictwo Tarbonus, Kraków–Tarnobrzeg 2008.

<http://mieszkajenergooszczednie.pl/poradnik-inwestora/ograniczenie-zuzycia-energii-elektrycznej/157-14-1-pasywne-systemy-sloneczne>.

Pietruszko S.M., Światowy rynek fotowoltaiki, Centrum Fotowoltaiki Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009, http://www.cire.pl/pliki/2/PVswiat_final.pdf.

Systemy fotowoltaiczne

Katarzyna Znajdek, Maciej Sibiński

Odnawialne źródło energii jest to źródło 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 biogazu powstałego w procesach odprowadzania lub oczyszczania ścieków albo rozkładu składowanych szczątków roślinnych i zwierzęcych.

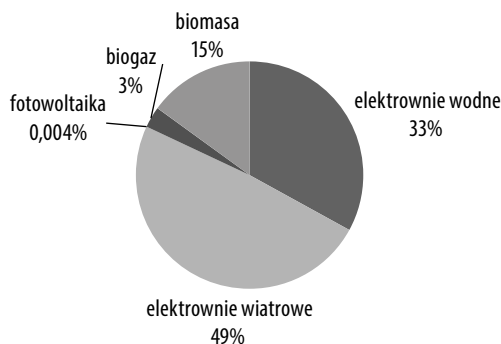
Niekonwencjonalne źródło energii jest to źródło, które nie wykorzystuje w procesie przetwarzania spalania organicznych paliw kopalnych.

Energia pochodząca ze Słońca

W wyniku absorpcji promieniowania słonecznego w atmosferze oraz na powierzchni Ziemi powstają następujące zjawiska:

- obieg wody w przyrodzie: parowanie, opady, zasoby wód w jeziorach, przepływ w rzekach,
- ruch termiczny wody i atmosfery: wiatr, fale, prądy morskie,
- energia zakumulowana i biorąca udział w występowaniu różnych przejawów życia: paliwa kopalne, biomasa, organizmy żywe.

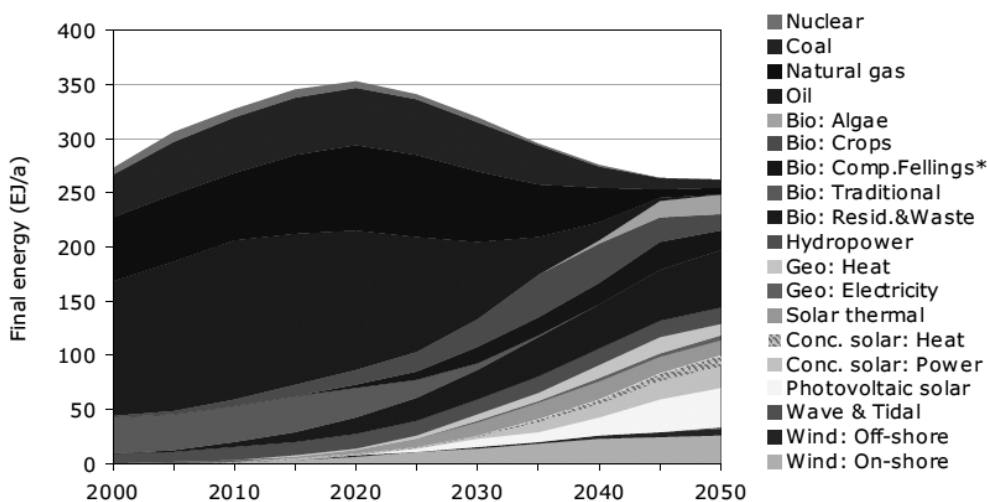
Z tego powodu wszystkie dostępne człowiekowi rodzaje energii poza energią jądrową i geotermalną pochodzą od Słońca. Strukturę OZE w Polsce na 31 marca 2011 r. według łącznej mocy instalacji (MW) pokazuje rysunek 1.



Rysunek 1. Struktura OZE w Polsce

Źródło: PGE SA.

Prognozę rozwoju wykorzystania źródeł energii do 2050 r. obrazuje natomiast rysunek 2.

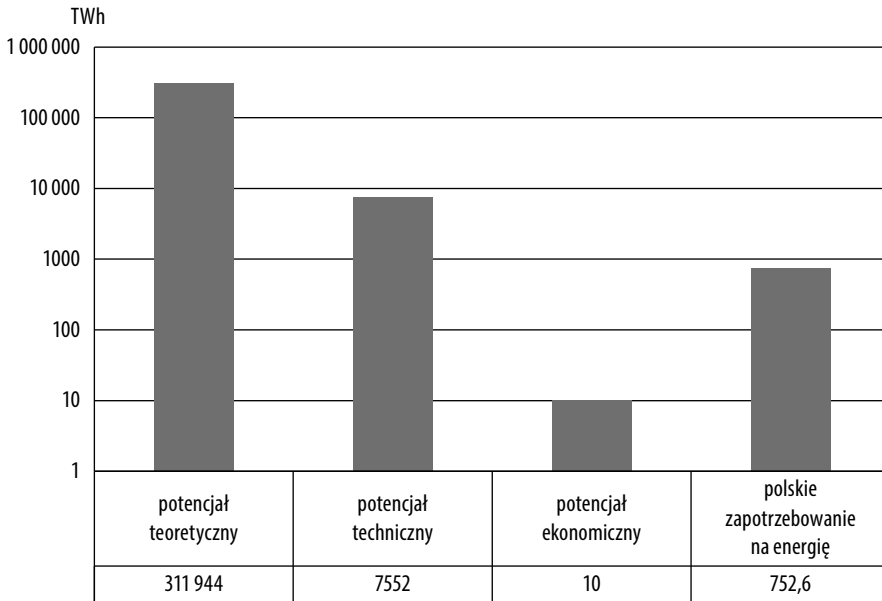


Rysunek 2. Prognoza rozwoju wykorzystania źródeł energii do 2050 r.

Źródło: Ecofys.

Rozróżnia się cztery podstawowe rodzaje zasobów OZE. Są to:

- **zasoby teoretyczne** — zasoby danego źródła ogólnie dostępne, bez uwzględniania możliwości ich technicznego pozyskiwania, ograniczeń środowiskowych czy ekonomicznych,
- **zasoby techniczne** — zasoby dostępne danego źródła, jakie można pozyskać za pomocą najlepszych technologii przetwarzania z uwzględnieniem ograniczeń przestrzennych i środowiskowych,
- **zasoby ekonomiczne** — zasoby źródła, jakie można pozyskać za pomocą dostępnych technologii, z uwzględnieniem czynnika ekonomicznego, czyli „opłacalności” pozyskiwania energii z danego źródła,
- **zasoby rynkowe** — część zasobów ekonomicznych po uwzględnieniu, do jakiego stopnia może być wykorzystane dane źródło w założonych ramach czasowych, przy aktualnie istniejącym systemie wsparcia i stanie prawnym.



Rysunek 3. Zasoby energii słonecznej w Polsce

Źródło: <http://www.zielonaenergia.eco.pl>.

Natężenie promieniowania słonecznego jest to chwilowa wartość gęstości mocy promieniowania słonecznego padającego w ciągu jednej sekundy na powierzchnię jednego metra kwadratowego, prostopadłą do kierunku promieniowania. Wartość ta podawana jest zazwyczaj w W/m^2 lub kW/m^2 . Natężenie promieniowania słonecznego ulega ciągłym zmianom zazwyczaj w przedziale $100\text{--}1000 \text{ W/m}^2$ w ciągu dnia. Do granicy atmosfery Ziemi dociera ze Słońca w sposób ciągły strumień energii o mocy 1366 W/m^2 i jest to tak zwana stała słoneczna (w trakcie przejścia przez atmosferę promieniowanie słoneczne ulega osłabieniu na skutek absorpcji i rozproszeniu). Najwyższe wartości natężenia promieniowania słonecznego notuje się w Polsce na Kasprowym Wierchu, gdzie może ono sięgać 1200 W/m^2 — mniej promieniowania ulega rozproszeniu w atmosferze ze względu na wysokość.

Nasłonecznienie jest to suma natężenia promieniowania słonecznego w danym czasie i na danej powierzchni, np. suma natężenia promieniowania słonecznego w czasie godziny, dnia, roku na powierzchni metra kwadratowego. Nasłonecznienie najczęściej wyrażane jest w Wh/m^2 , kWh/m^2 lub MJ/m^2 , GJ/m^2 na dzień, miesiąc lub rok.

Usłonecznienie jest to liczba godzin słonecznych. Jest to czas podany w godzinach, podczas którego na powierzchnię Ziemi padają bezpośrednio promienie słoneczne. Parametr ten opisuje głównie warunki pogodowe, a nie zasoby energii słonecznej. Wykorzystuje się go w energetyce słonecznej do szacowania warunków pracy instalacji, np. do wyliczania godzin pracy pompy cyrkulacyjnej w instalacji kolektorów słonecznych. W Polsce średnia wieloletnia wartość usłonecznienia jest największa dla Kołobrzegu i wynosi 1624 godz./rok , odpowiednio dla Warszawy jest to 1579 godz./rok , a dla Zakopanego 1467 godz./rok .

Potencjał energii słonecznej

Słońce stanowi kulę zjonizowanego gazu o masie $2 \cdot 10^{30}$ kg (71% wodór, 27% hel, 2% wszystkie cięższe pierwiastki) — 99,87% masy układu słonecznego. Źródłem energii emitowanej przez Słońce są reakcje termojądrowe, w których jądra wodoru przekształcają się w hel z wydzielaniem energii promieniowania i ciepła. Ocenia się, iż dotychczas w jądrze Słońca około 37% wodoru uległo już przemianom w hel. Wiek Słońca ocenia się na około 5 mld lat, a jego spodziewaną długość życia na 10 mld lat. Gęstość mocy pochodzącej z promieniowania Słońca i docierającej do powierzchni atmosfery ziemskiej, oddalonej od Słońca o 150 mln kilometrów, wynosi około 1366 W/m^2 . Natężenie promieniowania słonecznego docierającego do atmosfery waha się rocznie o około 6,6%, w zależności od zmian odległości Ziemi i Słońca. Średnia ilość energii docierająca do powierzchni Ziemi, jak również rozkład widma tej energii zależy od długości drogi przez atmosferę, a więc głównie od szerokości geograficznej. Energia promieniowania słonecznego to $8,338 \cdot 10^{24} \text{ kW}$ dziennie.

Wpływ atmosfery ziemskiej na światło słoneczne przejawia się:

- redukcją mocy promieniowania poprzez absorpcję, rozpraszanie i odbicie w atmosferze,
- zmianą spektrum promieniowania poprzez większą absorpcję i rozpraszanie w niektórych zakresach długości fal,
- wprowadzaniem dodatkowego oświetlenia pochodzącego od promieniowania rozproszonego w atmosferze,
- lokalnymi zmianami przejrzystości atmosfery, takimi jak między innymi chmury, mgła, zapylenie.

Na promieniowanie słoneczne składają się trzy składowe:

- promieniowanie bezpośrednie,
- promieniowanie rozproszone (dyfuzyjne),
- promieniowanie odbite od powierzchni Ziemi i innych obiektów, tzw. albedo.

Promieniowanie bezpośrednie to krótkofalowe promieniowanie rozchodzące się w linii prostej od Słońca do powierzchni Ziemi. Stanowi ono od 30 do 55% wartości całkowitego promieniowania słonecznego i ma duży wpływ na ilość energii produkowanej przez ogniwa fotowoltaiczne. Udział promieniowania bezpośredniego w stosunku do całości promieniowania zmienia się w kolejnych miesiącach, największy jest w miesiącach letnich, a najmniejszy w zimowych.

Promieniowanie rozproszone to promieniowanie długofalowe powstające w wyniku załamania, odbicia i częściowego pochłaniania promieniowania bezpośredniego w atmosferze ziemskiej, na skutek czego dociera do Ziemi bezkierunkowo. Ma charakterystyczny niebieski kolor. Udział promieniowania rozproszonego w stosunku do całości promieniowania zmienia się w kolejnych miesiącach — największy udział ma w okresie zimowym, osiągając 70%, najmniejszy w okresie letnim, około 55%.

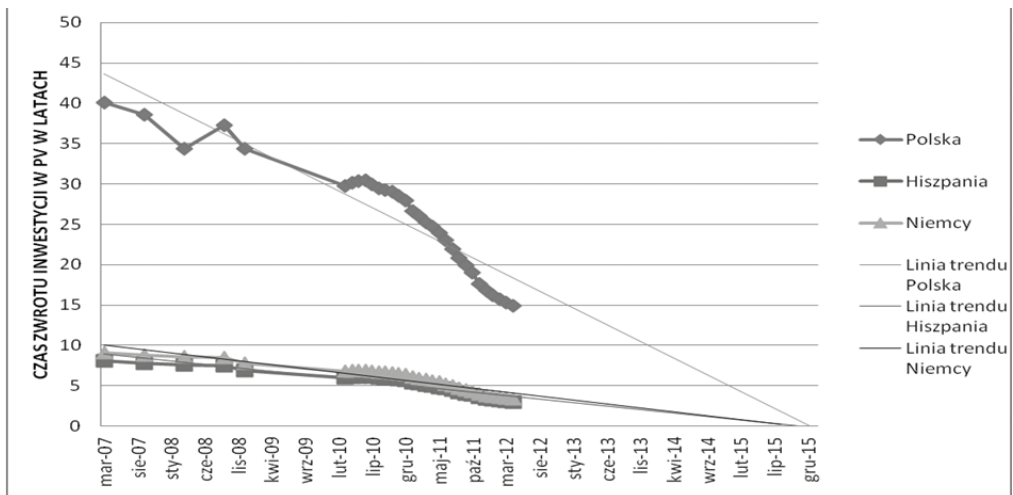
Promieniowanie odbite (albedo) polega na tym, iż padające promienie ulegają odbiciu zgodnie z zasadą mówiącą, że kąt padania równy jest kątowi odbicia. Albedo jest stosunkiem promieniowania odbitego we wszystkich kierunkach od powierzchni Ziemi do całkowitego promieniowania docierającego ze Słońca. Dla powierzchni gruntu przyjmuje wartość w granicach 0,2–0,8.

Rozwój fotowoltaiki

Przyczyny dynamicznego rozwoju fotowoltaiki:

- bezpośrednia produkcja energii elektrycznej,
- energia elektryczna jest najbardziej uniwersalną formą energii dostępną obecnie człowiekowi,
- energia elektryczna może zostać przetworzona na ruch, ciepło lub posłużyć do obróbki informacji,
- energię elektryczną można łatwo przeliczać, a także przysyłać na duże odległości,
- wykorzystanie energii elektrycznej w odbiornikach nie prowadzi zazwyczaj do powstawania zanieczyszczeń środowiska naturalnego,
- wykorzystanie fotowoltaiki nie prowadzi do produkcji żadnych szkodliwych substancji ubocznych,
- wykorzystanie fotowoltaiki nie prowadzi do powstawania hałasu,
- wykorzystanie fotowoltaiki nie prowadzi do produkcji CO₂,
- pokrycie około 700 km² Sahary ogniwami słonecznymi umożliwiłoby zaspokojenie obecnych potrzeb energetycznych świata.

Rysunek 4 przedstawia opłacalność wykorzystania fotowoltaiki.



Rysunek 4. Czas zwrotu z inwestycji w PV

Źródło: Sibiński M., Jatczak A., *Wykorzystanie, rentowność i perspektywy rozwoju instalacji fotowoltaicznych w Polsce u progu wdrożenia nowego prawa energetycznego*, „Czysta Energia”, 2012 nr 12, s. 25–28.

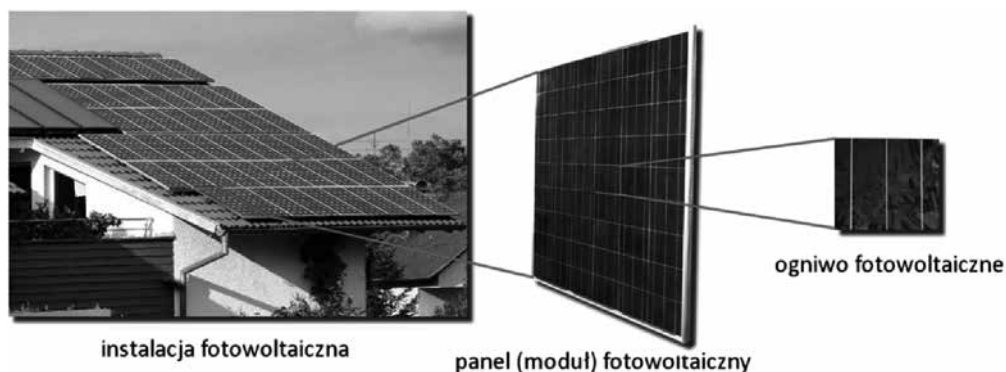
Według prognozy Europejskiego Stowarzyszenia Przemysłu Fotowoltaicznego (EPIA) istnieją trzy scenariusze w rozwoju fotowoltaiki w Europie na lata 2020 i 2030. Pierwszy z nich — „Baseline” — zakłada brak znaczących zmian we wdrażaniu fotowoltaiki jako OZE („Business-as-usual”) — 4% udział systemów PV w sumarycznej energii dostarczanej do użytkowników w 2020 r. oraz 10% udziału w roku 2030. Drugi — „Accelerated” — bazuje na obecnych trendach na rynku, gdzie wymagane są nieznaczne zmiany polegające na unowocześnieniu technologii i zwiększeniu liczby systemów PV włączonych do sieci przemysłowej, i zakłada, że systemy te będą stanowiły 8% zapotrzebowania energetycznego w 2020 r. i 15%

w 2030. Ostatni — „Paradigm Shift” — zakłada konieczność zmian na rynku energetycznym, pokonania wszystkich istniejących barier oraz wprowadzenia regulacji prawnych wspierających alternatywne źródła energii. Przewiduje on 12% pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną z zasobów PV w 2020 r. i 25% i 2030.

Prognozy rozwoju systemów fotowoltaicznych na świecie (rocznej zainstalowanej mocy) bazują na dwóch scenariuszach EPIA. Pierwszy z nich — „Business-as-usual” — zakłada raczej pesymistyczny sposób zachowania rynku bez większego jego wzmocnienia czy istniejącego wsparcia. Uważa się, że rynki niektórych krajów spowolnią tempo wzrostu w chwili wycofania taryf Feed-in. Drugi — „Policy-Driven” — zakłada kontynuację, dostosowanie lub wprowadzenie odpowiednich mechanizmów wsparcia oraz silną wolę polityczną do rozważenia fotowoltaiki jako głównego źródła energii w nadchodzących latach.

Projektowanie instalacji fotowoltaicznych

Fotowoltaika (*PhotoVoltaics*, PV) jest to dziedzina nauki i techniki zajmująca się bezpośrednim przetwarzaniem energii promieniowania elektromagnetycznego (słonecznego) na energię elektryczną przy wykorzystaniu efektu fotowoltaicznego. Efekt ten zachodzi w przyrządzie zwanym ogniwem fotowoltaicznym lub słonecznym. Ogniwa łączone są w moduły, a następnie w panele, tworząc instalację PV (rys. 5).



Rysunek 5. Ogniwa, moduły, panele, instalacja fotowoltaiczna

Producent modułu podaje takie parametry, jak:

- P — moc nominalna panelu [W],
- I_m — natężenie prądu przy maksymalnej mocy [A],
- V_m — napięcie prądu przy maksymalnej mocy [V],
- V_{OC} — napięcia jałowe bez obciążenia (bez poboru mocy) [V],
- I_{SC} — prąd zwarcia [A],
- poziom degradacji, np. po 10 latach [%].

Parametry podawane przez producentów przyrządów PV wyznaczane są w standardowych warunkach pomiarowych STC (*Standard Test Conditions*):

- natężenie promieniowania słonecznego 1000 W/m^2 o widmie AM 1,5 G,
- temperatura pracy 25°C .

Podstawowe jednostki energii:

- dżul [J] — odpowiada ilości energii, jaką zużywa urządzenie o mocy jednego wata [W] w czasie jednej sekundy [s]; jest to podstawowa jednostka energii w ciepłownictwie, wykorzystywana np. do określania ilości energii cieplnej wyprodukowanej przez urządzenie grzewcze czy ciepłownię;
- kilowatogodzina [kWh] — odpowiada ilości energii, jaką zużywa przez godzinę urządzenie o mocy jednego kilowata [kW]; jest to podstawowa jednostka w elektroenergetyce, wykorzystywana np. do określania ilości energii elektrycznej zużytej bądź wyprodukowanej przez dane urządzenie elektryczne.

Przeliczenie J na kWh i odwrotnie:

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ watów} \cdot (60 \text{ minut} \cdot 60 \text{ sekund/minutę}) = 3\,600\,000 \text{ W} \cdot \text{s} = 3\,600\,000 \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$$

$$1 \text{ J} = 1/3\,600\,000 \text{ kWh} = 0,000000277 \text{ kWh}$$

$$1 \text{ GJ} = 277,8 \text{ kWh}$$

Cele i metody projektowania instalacji fotowoltaicznych

Głównym celem realizacji projektu instalacji fotowoltaicznej oraz symulacji pracy takiego systemu jest określenie energii potencjalnie produkowanej przez instalację PV oraz analiza ekonomiczna opłacalności inwestycji. Istotnym elementem jest również sprawdzenie efektów działania wielu wariantów systemu oraz optymalizacja projektu instalacji poprzez odpowiedni dobór i symulację działania komponentów systemu. Dzięki wykorzystaniu symulacji możliwe jest niejednokrotnie wykrycie błędnych założeń oraz wad wstępnego projektu, co prowadzi do minimalizacji kosztów instalacji. Poprawnie przeprowadzona seria symulacji pozwala na określenie możliwości systemu, oszczędności i/lub zysku ze sprzedaży energii, a także redukuje wkład pracy we wstępnej fazie projektowania.

Istnieje kilka metod projektowania instalacji fotowoltaicznych, spośród których można wymienić:

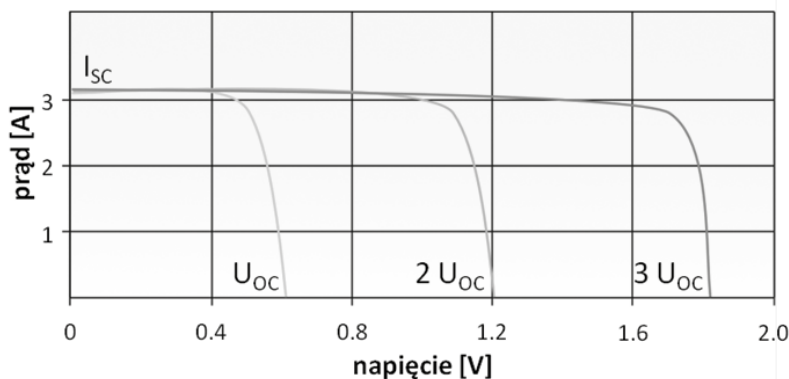
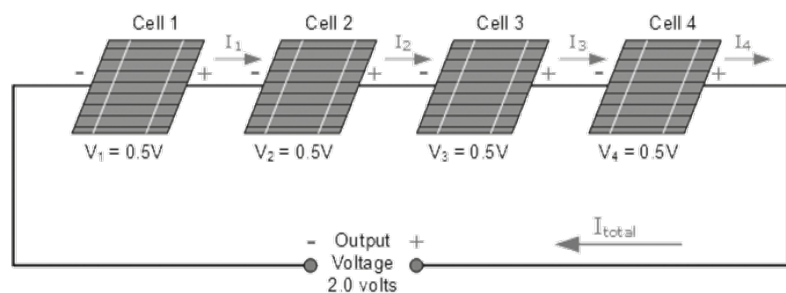
- obliczenia „ręczne”, wymagające samodzielnego dopasowania komponentów PV oraz doboru elementów dostępnych na rynku — w tej metodzie konieczne jest duże doświadczenie w zrealizowanych projektach oraz istnieje ryzyko nieprawidłowej pracy instalacji lub pominięcia parametru wpływającego na jakość działania;
- projektowanie z wykorzystaniem programów udostępnianych przez producentów elementów PV, np. SMA, Kyocera, PowerOne, Kaco, Fronius, Mastervolt — metoda ta zapewnia dobór elementów systemu od danego dostawcy oprogramowania;
- darmowe aplikacje online, np. PVSol online, Solar GIS, PVGIS — programy intuicyjne i łatwe w obsłudze, dające ogólną informację na temat działania danego systemu w zadanej lokalizacji; ich dodatkową zaletą jest to, iż nie wymagają rozbudowanej wiedzy użytkownika;
- specjalistyczne programy symulacyjne, np. PV Sol, PV Syst, PV DesignPro — zapewniają możliwość zaprojektowania systemu w dowolnej lokalizacji, z uwzględnieniem zacielenia, temperatury i innych parametrów instalacji; w tym przypadku od użytkownika wymagana jest wiedza z zakresu projektowania instalacji PV.

Zasady projektowania instalacji PV

Bez względu na dobór metody projektowania instalacji fotowoltaicznej należy wziąć pod uwagę następujące ogólne zasady projektowania i doboru elementów instalacji:

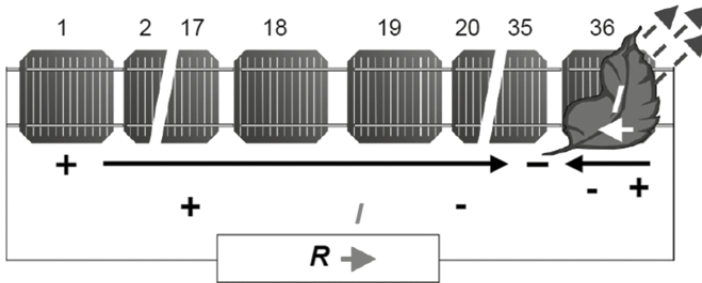
- moduły łączone szeregowo — taki sam nominalny prąd zwarcia I_{SC} (ten sam typ/seria),
- minimalizacja zacienienia modułów PV w instalacji,
- wszystkie łańcuchy modułów (jeśli są łączone równolegle) — to samo napięcie nominalne,
- napięcie V_m w temperaturze $+70^{\circ}\text{C}$ — większe niż minimalne napięcie wejściowe falownika,
- napięcie rozwarcia V_{OC} w temperaturze -10°C — mniejsze niż maksymalne napięcie wejściowe falownika,
- maksymalna dopuszczalna moc wejściowa falownika — 90–100% mocy nominalnej PV,
- napięcie V_m w warunkach STC (natężenie promieniowania 1000 W/m^2 , temperatura modułów 25°C) — zbliżone do optymalnego napięcia zalecanego przez producenta falownika.

Punkty pierwszy i drugi związane są z zasadą obowiązującą przy połączeniu szeregowym, gdzie łączone są razem bieguny dodatnie z ujemnymi kolejnych ogniw, modułów lub paneli. Przy takim połączeniu napięcie instalacji jest równe sumie napięć poszczególnych ogniw lub modułów, a natężenie prądu jest równe natężeniu nominalnemu jednego z nich (najslabszego). Dlatego nie należy łączyć szeregowo modułów różnych typów o różnych wartościach prądów. Degradacja prądowa jednego modułu w szeregu wpływa na wartość prądu w całym łańcuchu, co obniża również jego moc i produkcję energii. Rozrzuty produkcyjne na poziomie $\pm 10\%$ oznaczają, że cały system pracuje ze sprawnością obniżoną o 10%. Połączenie szeregowe ogniw fotowoltaicznych oraz towarzyszące mu charakterystyki prądowo-napięciowe przedstawione są na rysunku 6.



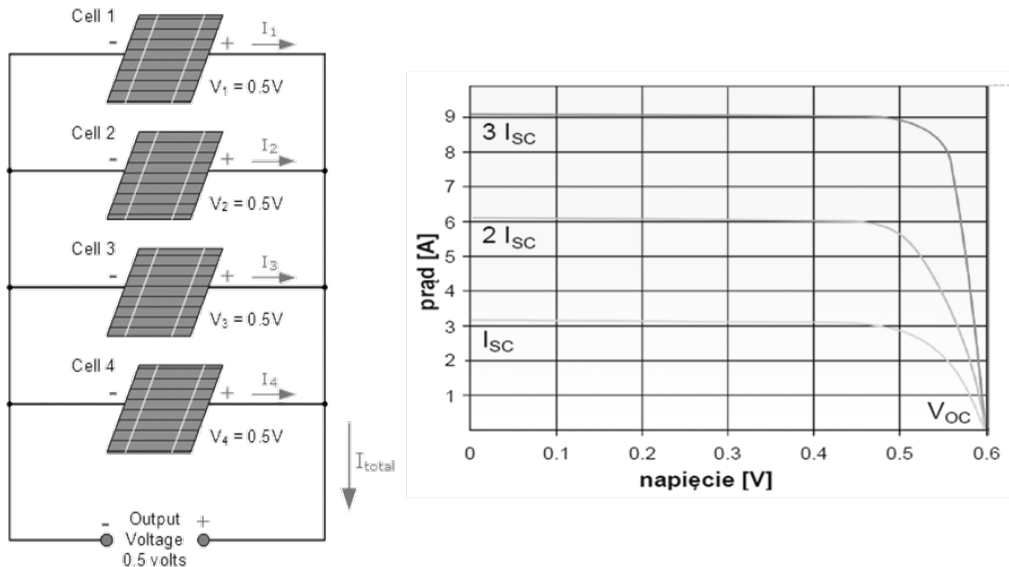
Rysunek 6. Połączenie szeregowe ogniw fotowoltaicznych

Zacienie jednego elementu w połączeniu szeregowym wpływa znacząco na cały łańcuch, ograniczając jego prąd. Jeżeli jedno z ogniw jest zasłonięte w 75%, to prąd generowany przez to ogniwo jest ograniczony do 25%. Prowadzi to do sytuacji, w której prąd całego łańcucha spada do poziomu 25%. Pozostałe 75% nośników z niezacienionych ogniw rekombinuje w zacienionym obszarze jednego ogniw i oddaje swoją energię w postaci ciepła. Sytuację zacienienia ogniw w łańcuchu prezentuje rysunek 7.



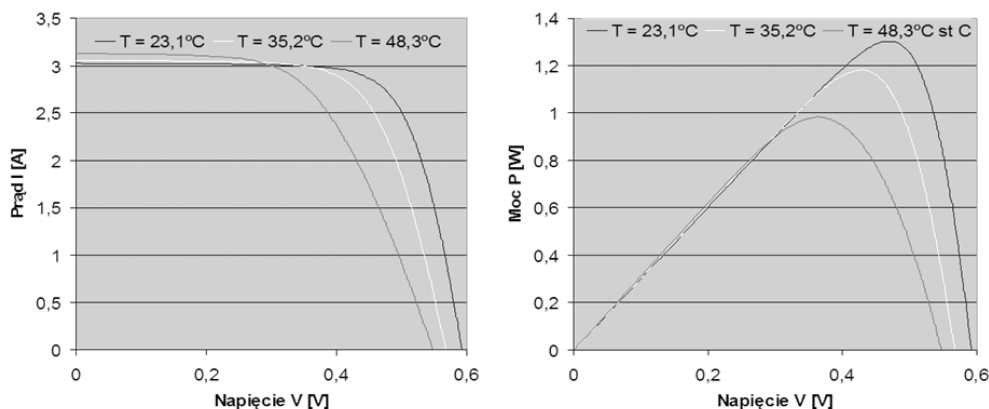
Rysunek 7. Połączenie szeregowe ogniw fotowoltaicznych z jednym ogniwem zacienionym

Punkt trzeci dotyczy zasady obowiązującej przy połączeniu równoległym, w którym łączone są razem bieguny dodatnie i ujemne kolejnych ogniw/modułów/paneli. Przy takim połączeniu natężenie prądu instalacji jest równe sumie natężeń prądów poszczególnych modułów, a napięcie jest równe napięciu nominalnemu jednego modułu (najsłabszego). Z tego względu nie należy łączyć równolegle łańcuchów z różną liczbą modułów połączonych szeregowo. Połączenie równoległe ogniw fotowoltaicznych oraz towarzyszące mu charakterystyki prądowo-napięciowe przedstawione są na rysunku 8.



Rysunek 8. Połączenie równoległe ogniw fotowoltaicznych

Punkty 4–7 związane są z dopasowaniem parametrów pracy falownika do danej instalacji. Na parametry instalacji fotowoltaicznej wpływają zmiany temperatury, która w czasie pracy modułu w warunkach rzeczywistych może zmieniać się w dużym zakresie: od -20 do $+80^{\circ}\text{C}$. Moc uzyskiwana z ogniw i modułów słonecznych oraz ich sprawność spada wraz ze wzrostem temperatury ich pracy, co ilustruje rysunek 9. Średnie spadki mocy i sprawności pod wpływem wzrostu temperatury: $0,4\text{--}0,9\%$ na $^{\circ}\text{C}$.



Rysunek 9. Wpływ temperatury na pracę krzemowych ogniw fotowoltaicznych

W związku z powyższym, przy projektowaniu instalacji fotowoltaicznych należy wziąć pod uwagę potencjalne straty w systemie, których źródła mogą być następujące:

- omowe — rezystancja okablowania (wyznaczana na podstawie parametrów przewodów, przekrojów i ich długości; np. 15 m kabla $1,5\text{ mm}^2$ — straty $0,6\%$),
- niedopasowanie modułów spowodowane różnymi kształtami ich charakterystyk I-V (przy połączeniu szeregowym największe znaczenie ma tolerancja prądu, a przy równoległym decydująca jest różnica napięć w poszczególnych gałęziach),
- termiczne — temperatura pracy modułów zazwyczaj jest wyższa niż 25°C (STC),
- odbiciowe — padające promieniowanie ulega częściowemu odbiciu (pomimo stosowania warstw antyodbiciowych),
- zanieczyszczenia — osadzający się pył na powierzchni modułów, liście, ptasie odchody.

Podczas realizacji symulacji komputerowych mających na celu określenie parametrów pracy i działania instalacji fotowoltaicznej konieczne jest również rozpatrzenie możliwych niedokładności programu symulacyjnego. Niedokładności te wynikają z różnych czynników, m.in. złożoności zjawisk zachodzących w przyrodzie oraz w systemach PV, a także trudnych do przewidzenia przyszłych warunków meteorologicznych. Dodatkowym elementem wpływającym na niedokładność symulacji jest skończona dokładność matematycznych modeli zjawisk i komponentów PV oraz ich wpływ na siebie nawzajem, a także wprowadzane uproszczenia pewnych algorytmów i obliczeń. Ponadto w systemach fotowoltaicznych występuje również trudna do dokładnego oszacowania degradacja parametrów poszczególnych elementów. Podstawowe wady i zalety programów symulacyjnych zestawione zostały w tabeli 1.

Tabela 1. Wady zalety programów symulacyjnych

Zalety	Wady
— Możliwość sprawdzenia poprawności parametrów i wyników — Możliwość obliczania wskaźników jakościowych (współczynnik wydajności systemu, uzysk z systemu, sprawność instalacji) — Wizualizacja parametrów systemu — Możliwość analizy zmiany parametrów — Ogólna pomoc dla projektanta, oszczędność czasu i wkładu pracy	— Brak możliwości wykrycia błędnego opisu systemu — Ograniczenie do zakresu opisu matematycznego — Brak możliwości porównania parametrów szacunkowych z doświadczalnymi — Program nie zastąpi wiedzy eksperckiej

Użyteczne oprogramowanie online i przykładowe symulacje

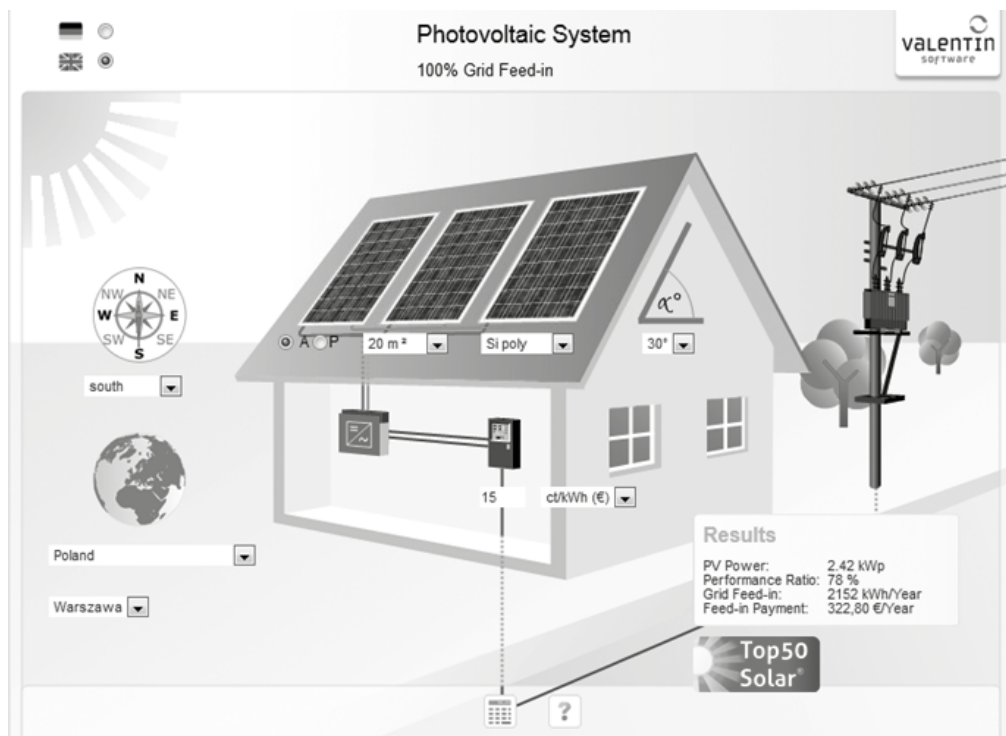
Spśród użytecznych darmowych programów symulacyjnych do obliczeń parametrów instalacji fotowoltaicznych warto wymienić oprogramowanie dostępne online, takie jak:

- PVSol online,
- SolarGIS,
- PVGIS.

Wykorzystanie aplikacji PVSol online

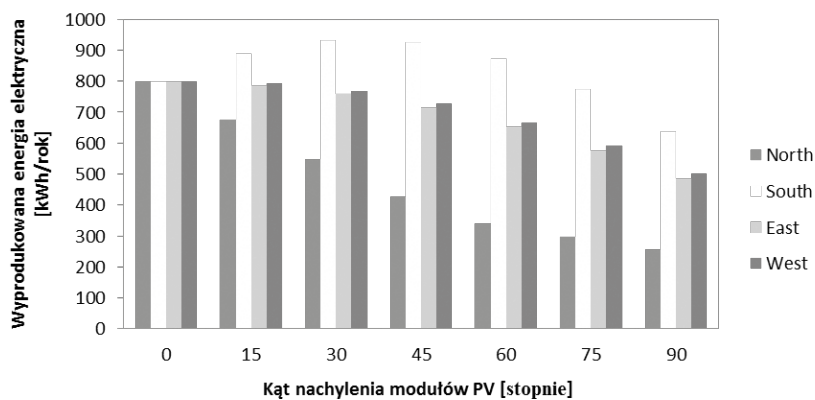
Aplikacja PVSol online umożliwia przeprowadzenie uproszczonej symulacji systemu fotowoltaicznego umieszczonego na budynku oraz podłączonego do sieci z wykorzystaniem systemu rozliczeniowego *feed-in-tarif*. Na podstawie zadanych parametrów wejściowych możliwe jest przeprowadzenie symulacji podstawowych parametrów elektrycznych oraz ekonomicznych instalacji fotowoltaicznej w zadanej lokalizacji. Aplikacja umożliwia przeprowadzenie symulacji we wszystkich częściach kuli ziemskiej przy wykorzystaniu modułów fotowoltaicznych na bazie krzemu monokrystalicznego, polikrystalicznego i amorficznego. Rysunek 10 przedstawia okno programu PVSol online oraz przykładowe wyniki symulacji dla określonych danych wejściowych.

Poniżej przedstawiono zestawienie wyników symulacji instalacji fotowoltaicznej o mocy 1 kWp dla dwóch lokalizacji, z których jedna umieszczona jest na półkuli północnej (Warszawa, Polska), a druga na półkuli południowej (Antanarywa, Madagaskar). Na podstawie takiego zestawienia możliwa jest ocena i dobór optymalnych warunków ustawienia modułów PV (azymut i kąt nachylenia) dla danej lokalizacji.

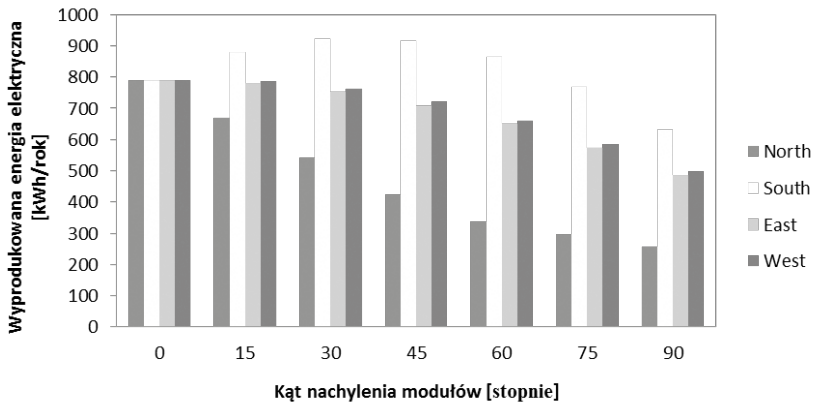


Rysunek 10. Interfejs aplikacji PVSol online

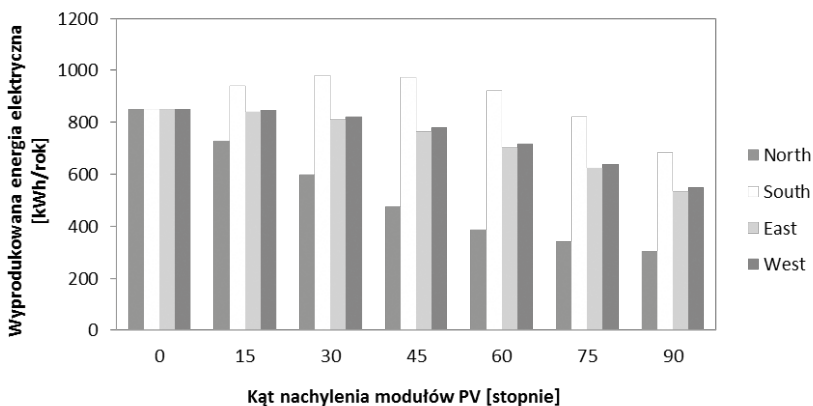
Warszawa, Polska — półkula północna



Rysunek 11. Prognozowana ilość energii elektrycznej wyprodukowanej w Warszawie przez system PV o mocy 1 kWp w ciągu roku, w zależności od kąta pochylenia modułów oraz kierunku azymutu, dla modułów z krzemu monokrystalicznego



Rysunek 12. Prognozowana ilość energii elektrycznej wyprodukowanej w Warszawie przez system PV o mocy 1 kWp w ciągu roku, w zależności od kąta pochylenia modułów oraz kierunku azymutu, dla modułów z krzemu polikrystalicznego



Rysunek 13. Prognozowana ilość energii elektrycznej wyprodukowanej w Warszawie przez system PV o mocy 1 kWp w ciągu roku, w zależności od kąta pochylenia modułów oraz kierunku azymutu, dla modułów z krzemu amorficznego

Tabela 2 przedstawia najlepsze uzyskane parametry dla zadanej mocy instalacji PV, wybrane dla każdego typu modułów. W przypadku każdego typu modułów dla położenia Warszawy uzyskano taki sam optymalny kąt i kierunek. Ponadto tabela przedstawia orientacyjną powierzchnię modułów potrzebną do uzyskania otrzymanych parametrów. Obliczenia powierzchni modułów zostały przeprowadzone z wykorzystaniem aplikacji PVSol online.

Z analizy powyższych danych wynika, że najkorzystniejszym kierunkiem ustawienia paneli fotowoltaicznych na półkuli północnej dla szerokości geograficznej Warszawy jest kierunek południowy (najmniej korzystnym północny). Kąt optymalny ich nachylenia, spośród kątów dostępnych w opcjach programu, wynosi 30° — roczny uzysk energii jest wówczas największy. Parametry te są jednakowe dla każdego rodzaju użytego ogniwa. Na pierwszy rzut oka mogłoby wydawać się, że najbardziej wydajne są moduły amorficzne, gdyż z wykresów kolum-

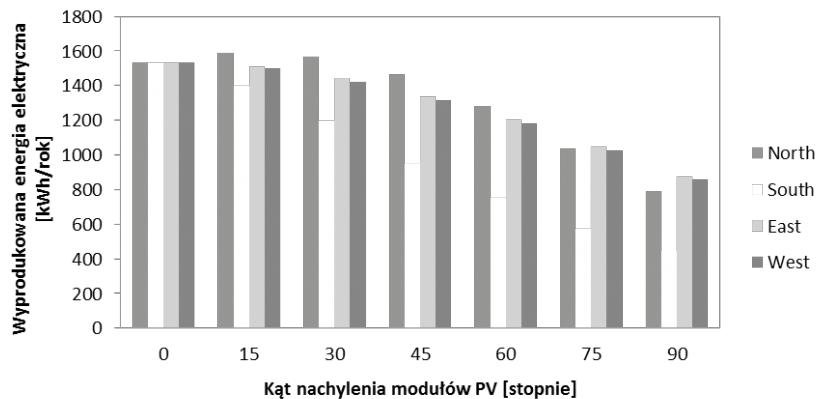
nowych wynika, że uzyski energii są największe. Jednak po oszacowaniu łącznej powierzchni modułów, koniecznej do uzyskania takiej energii, okazuje się, że w przypadku ogniw amorficznych jest ona dwukrotnie większa niż w przypadku ogniw wykonanych z krzemu krystalicznego. Oznacza to, że ogniwa amorficzne mają najniższą sprawność, a do wytworzenia tej samej ilości energii konieczne jest zastosowanie dwukrotnie większej liczby modułów z krzemu amorficznego niż krystalicznego.

Tabela 2. Zestawienie parametrów uzyskanych dla najlepszych ustawień modułów PV — Warszawa

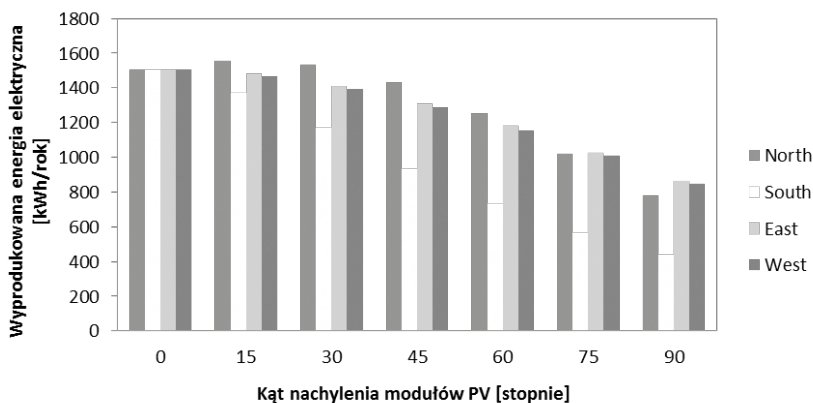
Materiał wykonania modułu	Krzem monokrystaliczny	Krzem polikrystaliczny	Krzem amorficzny
Najlepszy kąt nachylenia [°]	30	30	30
Optymalny kierunek (azymut)	Południe (south)	Południe (south)	Południe (south)
Ilość uzyskanej energii [kWh/rok]	932	923	982
Powierzchnia modułów PV [m ²]	9	9	20

Analogiczne symulacje przeprowadzono dla miejscowości Antanarywa na Madagaskarze, mieszczącym się półkuli południowej. Zestawienie wyników tych symulacji przedstawione zostało poniżej.

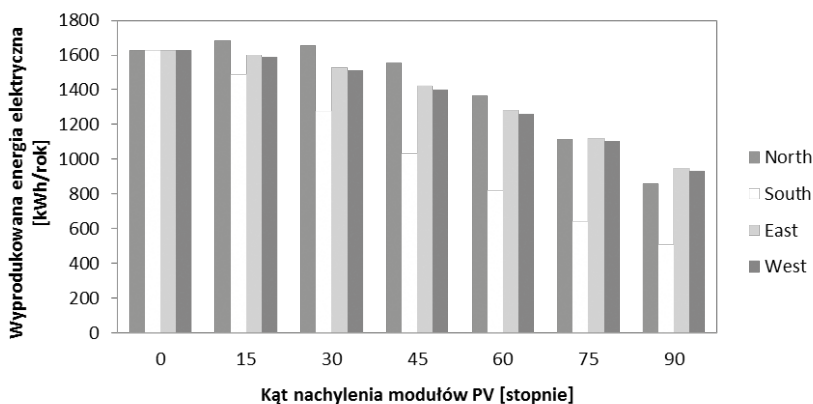
Antanarywa, Madagaskar — półkula południowa



Rysunek 14. Prognozowana ilość energii elektrycznej wyprodukowanej w Antanarywie przez system PV o mocy 1 kWp w ciągu roku, w zależności od kąta pochylenia modułów oraz kierunku azymutu, dla modułów z krzemu monokrystalicznego



Rysunek 15. Prognozowana ilość energii elektrycznej wyprodukowanej w Antanarywie przez system PV o mocy 1 kWp w ciągu roku, w zależności od kąta pochylenia modułów oraz kierunku azymutu, dla modułów z krzemu polikrystalicznego



Rysunek 16. Prognozowana ilość energii elektrycznej wyprodukowanej w Antanarywie przez system PV o mocy 1 kWp w ciągu roku, w zależności od kąta pochylenia modułów oraz kierunku azymutu, dla modułów z krzemu amorficznego

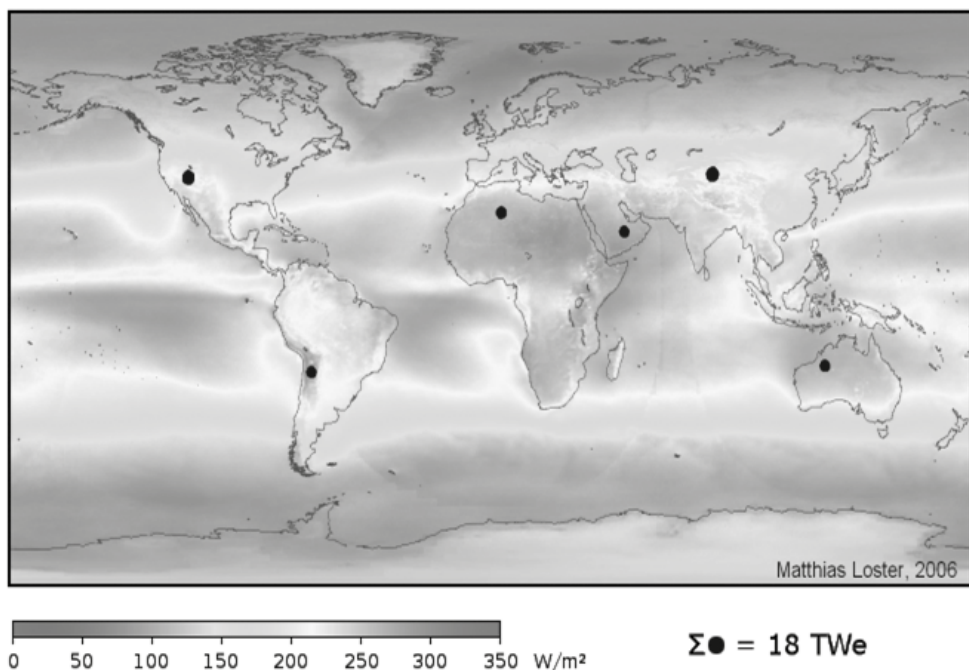
Tabela 3. Zestawienie parametrów uzyskanych dla najlepszych ustawień modułów PV — Antanarywa

Materiał wykonania modułu	Krzem monokrystaliczny	Krzem polikrystaliczny	Krzem amorficzny
Najlepszy kąt nachylenia [°]	15	15	15
Optymalny kierunek (azymut)	Północ (north)	Północ (north)	Północ (north)
Ilość uzyskanej energii [kWh/rok]	1590	1557	1682
Powierzchnia modułów PV [m ²]	9	9	18

Dla systemu PV zbudowanego na Madagaskarze, mieszczącym się na półkuli południowej, najkorzystniejszym kierunkiem ustawienia paneli fotowoltaicznych okazał się kierunek pół-

nocny (najmniej korzystnym południowy, przeciwnie niż dla Polski), a kąt optymalny nachylenia modułów wyniósł 15° .

Kierunki ustawienia modułów dla obu lokalizacji nie są przypadkowe. Wynika to z rozkładu nasłonecznienia kuli ziemskiej, który prezentuje rysunek 17. Największe nasłonecznienie występuje w okolicy równika (obszary te otrzymują najwięcej energii słonecznej). Ponieważ Polska znajduje się na półkuli północnej, najwięcej promieni dociera od strony równika, czyli z południa. W przypadku Madagaskaru mamy sytuację odwrotną, gdyż leży on na półkuli południowej, u południowo-wschodnich wybrzeży Afryki.



Rysunek 17. Rozkład nasłonecznienia kuli ziemskiej

W przypadku komercyjnych projektów azymut ustawia się precyzyjnie względem lokalnego południka, jednak na zysk energetyczny największy wpływ ma kąt pochylenia odbiornika, dlatego w obecnych projektach stosuje się także trackery, wyposażone w systemy nadążne, pozwalające na zapewnienie optymalnego kąta w ciągu całego dnia, co ma szczególne znaczenie w okresie zimowym. Ciekawą rzeczą wynikającą z rozkładu nasłonecznienia jest fakt, że zaznaczone obszary (kropki), zaznaczone na rysunku 17, mogłyby pokryć całkowite światowe zapotrzebowanie na energię pierwotną (18 TW, czyli 568 EJ rocznie), gdyby zostały pokryte ogniwami fotowoltaicznymi o efektywności zaledwie 8%.

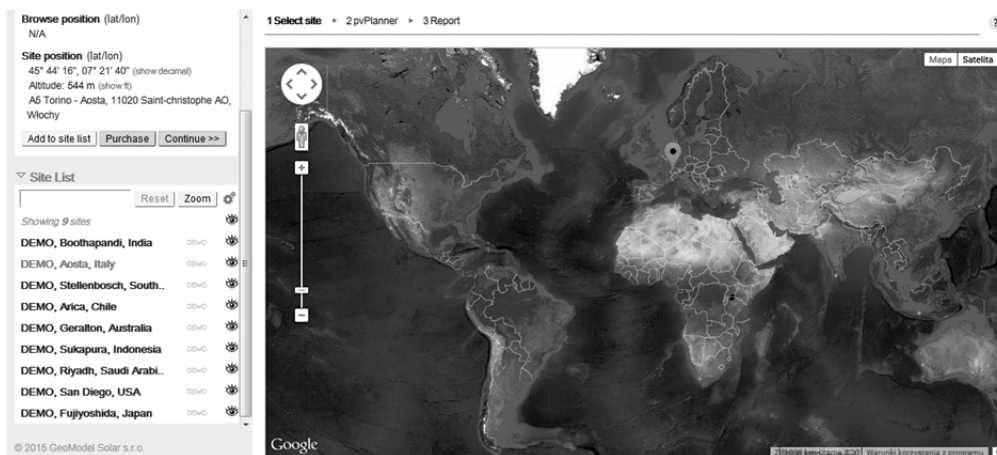
Program pvPlanner SolarGIS

Program pvPlanner SolarGIS w darmowej, internetowej wersji demo umożliwia przeprowadzenie uproszczonej symulacji systemu fotowoltaicznego w wariantach: wolnostojącym, umieszczonym na budynku, zintegrowanym z budynkiem (BIPV — *Building Integrated PhotoVoltaics*) oraz dla różnych wersji systemów śledzących. Na podstawie zadanych parametrów

wejściowych można zrealizować symulacje podstawowych parametrów instalacji fotowoltaicznej w wybranej lokalizacji dla czterech typów modułów PV: krzemu krystalicznego (c-Si), krzemu amorficznego (a-Si), tellurku kadmu (CdTe) oraz selenku indowo-miedziowego (CIS). Jest to program bardziej zaawansowany niż PVSol online, a wyniki symulacji prezentowane są tu w podziale na miesiące, a nie jedynie jako ogólny uzysk roczny.

Program pvPlanner SolarGIS wykorzystuje zintegrowane mapy klimatyczne i fizyczne, które pozwalają przewidywać działanie oraz wydajności pracy modułów PV, a także sumę potencjalnie uzyskanej energii. W programie znajduje się także moduł pozwalający ręcznie zadać zacinienie instalacji fotowoltaicznej.

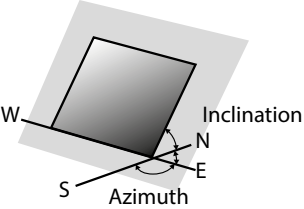
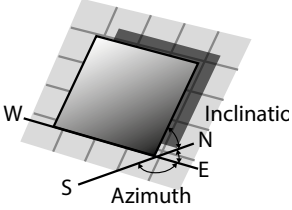
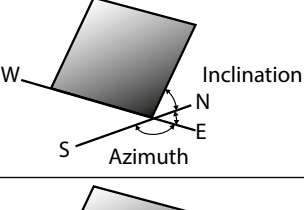
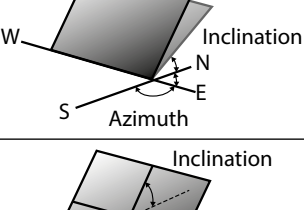
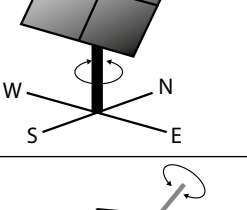
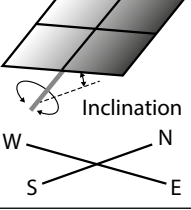
W wersji demo program umożliwia przeprowadzenie symulacji instalacji fotowoltaicznej w dziewięciu lokalizacjach, do których należą: Boothapandi w Indiach, Aosta we Włoszech, Stellenbosch w Republice Południowej Afryki, Arica w Chile, Geraldton w Australii, Sukapura w Indonezji, Riyadh w Arabii Saudyjskiej, San Diego w Stanach Zjednoczonych oraz Fujiyoshida w Japonii. Rysunek 18 przedstawia okno startowe programu pvPlanner SolarGIS.

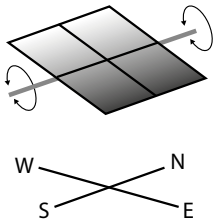
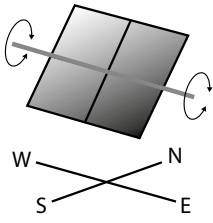
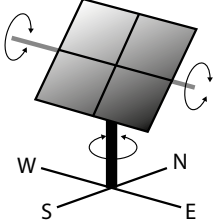


Rysunek 18. Okno startowe programu pvPlanner SolarGIS w wersji demo

Poniżej przedstawione zostało zestawienie wyników przykładowych symulacji przeprowadzonych w programie pvPlanner dla różnego usytuowania modułów, zrealizowanych dla miejscowości Aosta we Włoszech. Tabela 4 przedstawia wszystkie możliwe konfiguracje oraz obliczone dla nich optymalne kąty nachylenia i kierunek ustawienia modułów.

Tabela 4. Optymalny kąt ustawienia modułów w zależności od sposobu ich montażu

Oznaczenie	Opis ustawienia	Optymalne kąty (azymut/ nachylenie)
	Montaż stały, zintegrowane z budynkiem	180° (południe)/34°
	Montaż stały, dachowy	180° (południe)/34°
	Montaż stały, wolnostojący	180° (południe)/34°
	Montaż stały, wolnostojący dwupozycyjny	180° (południe)/ 55° (zima), 21° (lato)
	Jednoosiowy system śledzący, pionowa oś	52°
	Jednoosiowy system śledzący, oś nachylona	37°

Oznaczenie	Opis ustawienia	Optymalne kąty (azymut/ nachylenie)
	Jednoosiowy system śledzący, poziomy północ-południe	Zmienny
	Jednoosiowy system śledzący, horyzontalny wschód-zachód	Zmienny
	Dwuosiowy system śledzący, astronomiczny	Zmienny

Wyniki ogólne prezentujące nasłonecznienie płaszczyzny modułów oraz uzysk roczny ze wszystkich typów instalacji dla przykładowych instalacji na bazie technologii krzemu krystalicznego oraz tellurku kadmu przedstawiają poniższe tabele — tabela 5 dla modułów PV wykonanych z krzemu krystalicznego oraz tabela 6 dla modułów na bazie tellurku kadmu.

Tabela 5. Wyniki symulacji dla modułów z krzemu krystalicznego

Rodzaj systemu	Zintegrowany	Dachowy	Wolnostojący	Wolnostojący 2	Pionowa oś	Skośna oś	Poziomy P-P	Horyzontalny W-Z	Astronomiczny
Roczne nasłonecznienie (płaszczyzna nachylona) [kWh/m ²]	1623	1623	1623	1676	2061	2058	1848	1709	2115
Roczna produkcja energii elektrycznej [kWh]	2592	2635	2679	2771	3431	3427	3087	2828	3515

Tabela 6. Wyniki symulacji dla modułów z tellurku kadmu

Rodzaj systemu	Zintegrowany	Dachowy	Wolnostojący	Wolnostojący 2	Pionowa oś	Skośna oś	Poziomy P-P	Horyzontalny W-Z	Astronomiczny
Roczne nasłonecznienie (płaszczyzna nachylona) [kWh/m ²]	1623	1623	1623	1676	2061	2058	1848	1709	2115
Roczna produkcja energii elektrycznej [kWh]	2683	2707	2731	2825	3512	3509	3147	2883	3604

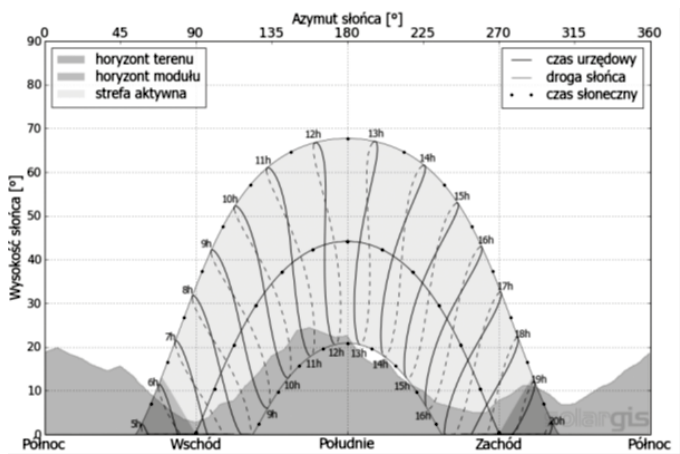
Zastanawiającym wynikiem w obu przypadkach są różne uzyskiwane wartości produktywnej energii elektrycznej dla systemów o montażu stałym w wariantach zintegrowanym z budynkiem, zamontowanym na dachu budynku oraz wolnostojącym. Jak wynika z symulacji, pomimo identycznych wartości nasłonecznienia płaszczyzny uzyskiwane są różne wyniki rocznej produkcji energii, odpowiednio najmniej dla systemu zintegrowanego, nieco więcej dla montażu dachowego i najwięcej dla systemu wolnostojącego. Różnice te wynikają z niekorzystnego wpływu temperatury na pracę modułów PV. Ze względu na najlepszą wentylację elementów fotowoltaicznych system wolnostojący ma najwyższe wartości uzyskiwanej energii elektrycznej. System zintegrowany z budynkiem jest najgorzej chłodzony spośród omawianych trzech rodzajów montażu, stąd gorsze uzyski pomimo jednakowego nasłonecznienia jego płaszczyzny.

Wyniki szczegółowe symulacji zrealizowanych w programie pvPlanner SolarGIS przedstawiono poniżej na przykładzie systemu wolnostojącego o montażu stałym pod kątem optymalnym (34°), skierowanego na południe oraz wykonanego z wykorzystaniem modułów PV bazujących na krzemie krystalicznym.

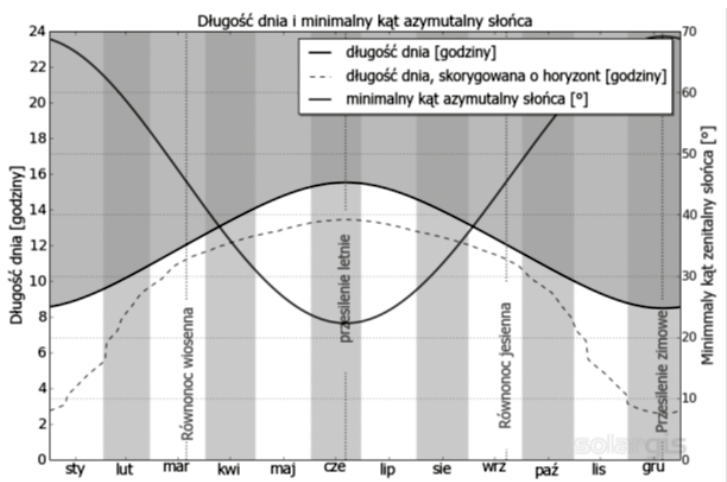
Informacje o położeniu i systemie PV

nazwa miejsca: Valle d'Aosta, Włochy,
współrzędne: 45° 44' 15.71" N, 07° 21' 39.64" E,
wysokość n.p.m.: 544 m,
nachylenie stoku: 1°,
azymut stoku: 31° północny wschód,
roczne nasłonecznienie (płaszczyzna nachylona): 1623 kWh/m²,
temperatura powietrza na 2 m: 6,9°C,
zainstalowana moc: 1,0 kWp,
typ modułów: krzem krystaliczny (c-Si),
system montażu: montaż stały, wolnostojący,
azymut/nachylenie: 180° (południe)/34°,
roczna produkcja energii elektrycznej: 1340 kWh,
średnia efektywność systemu: 75,8%.

Horyzont terenu i długość dnia



Rysunek 19. Droga Słońca podczas roku. Horyzont terenu (zaznaczony na szaro) i horyzont modułu (zaznaczony na niebiesko) mogą mieć wpływ na zacienienie. Czarne punkty oznaczają czas słoneczny. Niebieskie napisy oznaczają lokalny czas urzędowy



Rysunek 20. Zmiana długości dnia i kąta zenitalnego podczas roku. Lokalna długość dnia (czas, kiedy Słońce jest nad horyzontem) może być krótsza w porównaniu do astronomicznej ze względu na podwyższoną linię horyzontu (dla terenu górzystego)

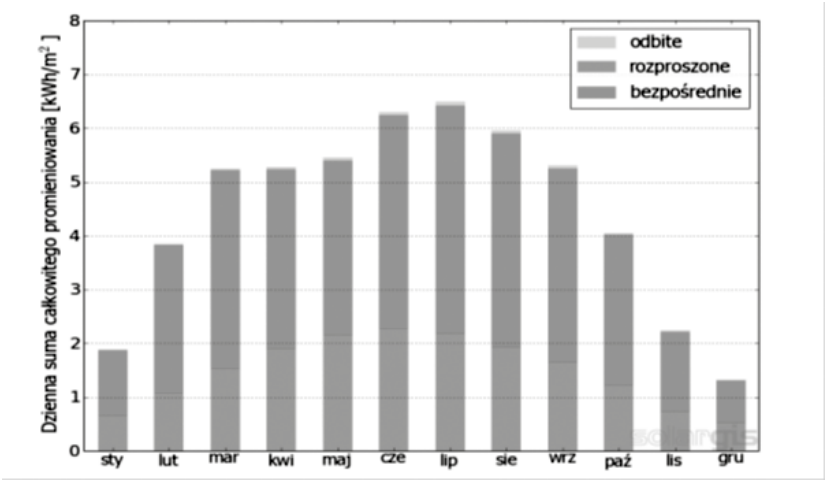
Całkowite nasłonecznienie płaszczyzny nachylonej

Tabela 7. Nasłonecznienie płaszczyzny nachylonej pod kątem 34°, skierowanej na południe

Miesiąc	G_{im}	G_{id}	D_{id}	R_{id}	Sh_{loss}
Styczeń	58	1,88	0,65	0,02	36,9
Luty	108	3,85	1,07	0,03	6
Marzec	163	5,25	1,52	0,04	2,4

Miesiąc	G_{im}	G_{id}	D_{id}	R_{id}	Sh_{loss}
Kwiecień	159	5,28	1,9	0,05	3
Maj	169	5,45	2,15	0,06	3,3
Czerwiec	189	6,3	2,26	0,07	2,8
Lipiec	201	6,49	2,18	0,07	2,5
Sierpień	184	5,95	1,93	0,06	2,5
Wrzesień	159	5,3	1,64	0,05	2,5
Październik	125	4,04	1,21	0,03	3,6
Listopad	67	2,23	0,72	0,02	26,7
Grudzień	41	1,32	0,52	0,01	50,1
Rok	1623	4,45	1,48	0,04	8,2

Długookresowa średnia miesięczna nasłonecznienia:
 G_{im} — całkowitego — suma miesięczna [kWh/m²],
 G_{id} — całkowitego — suma dzienna [kWh/m²],
 D_{id} — rozproszonego — suma dzienna [kWh/m²],
 R_{id} — odbitego — suma dzienna [kWh/m²],
 Sh_{loss} — strata całkowitego nasłonecznienia w wyniku zacienienia terenem [%].



Rysunek 21. Średnia dzienna suma promieniowania słonecznego na płaszczyznę nachyloną pod kątem 34°, skierowaną na południe, w miejscowości Aosta we Włoszech

Tabela 8. Średnia roczna suma globalnego nasłonecznienia dla różnych typów montażu

	kWh/m ²	W porównaniu do optymalnie nachylonego
Horyzontalny	1391	85,70%
Optymalnie nachylony (34°)	1623	100,00%
Dwuosiowy system śledzący	2115	130,30%
Wybrany wariant	1623	100,00%

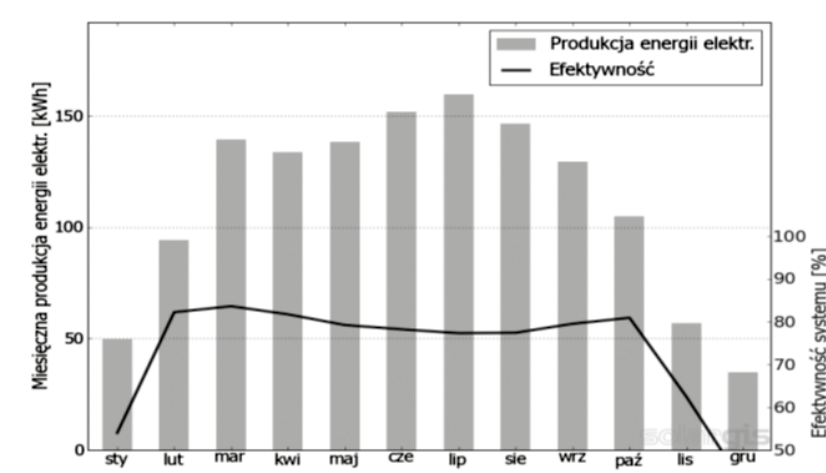
Produkcja energii elektrycznej w fazie początkowej

Tabela 9. Prognozowany uzysk z instalacji PV w fazie początkowej pracy systemu

Miesiąc	E_{sm}	E_{sd}	E_{tm}	E_{share}	PR
Styczeń	50	1,61	50	3,7	54
Luty	94	3,37	94	7	82,2
Marzec	140	4,5	140	10,4	83,6
Kwiecień	134	4,45	134	10	81,7
Maj	138	4,46	138	10,3	79,2
Czerwiec	152	5,06	152	11,3	78,2
Lipiec	160	5,15	160	11,9	77,3
Sierpień	146	4,72	146	10,9	77,4
Wrzesień	129	4,31	129	9,7	79,5
Październik	105	3,38	105	7,8	80,9
Listopad	57	1,9	57	4,3	62,4
Grudzień	35	1,12	35	2,6	42
Rok	1340	3,67	1340	100	75,8

Długookresowe średnie miesięczne energii elektrycznej:

- E_{sm} — jednostkowa energia — suma miesięczna [kWh/kWp],
- E_{sd} — całkowita energia — suma dzienna [kWh/kWp],
- E_{tm} — całkowita energia — suma miesięczna [kWh],
- E_{share} — odsetek wyprodukowanej miesięcznie energii [%],
- PR — efektywność systemu [%].



Rysunek 22. Miesięczna produkcja energii elektrycznej z systemu PV o mocy 1 kWp oraz efektywność systemu umieszczonego w miejscowości Aosta we Włoszech

Etapy przemiany energii i uwzględnione straty:

- 1) założona jest wstępna produkcja przy warunkach standardowych (STC);
- 2) zmniejszenie całkowitego nasłonecznienia z powodu zacielenia reliefem i samym modułem PV;
- 3) część globalnego nasłonecznienia odbita od powierzchni modułów (typowo od szkła);
- 4) straty w modułach PV w wyniku konwersji promieniowania słonecznego do energii elektrycznej; odchyłka sprawności modułów od warunków STC;
- 5) straty obwodu prądu stałego: ten etap obejmuje kumulatywne straty niedopasowania pomiędzy modułami, tj. ciepłe straty na kablach i łącznikach obwodu prądu stałego, zanieczyszczenie, śnieg, szron i wzajemne zacielenie modułów PV;
- 6) straty na inwerterze (sprawność euro);
- 7) straty w obwodzie prądu zmiennego i na transformatorze;
- 8) parametr dostępności obejmujący straty spowodowane wyłączeniami systemu z powodu konserwacji, utrzymania, a także awarii.

Straty na etapach 2 do 4 są numerycznie modelowane w pvPlanerze. Straty na etapach 5 do 8 muszą być zadane przez użytkownika. Modele symulacyjne charakteryzują się określoną dokładnością i niepewnością, co nie jest uwzględniane przez program.

Klimatyczna baza danych SolarGIS jest obsługiwana przez GeoModel Solar. Wejściowe warstwy danych obejmują promieniowanie słoneczne, temperaturę powietrza i ukształtowanie terenu (wysokość i horyzont):

- temperatura powietrza na 2 m opracowywana jest na podstawie CFSR i GFS (© NOAA NCEP); lata: 1994–2011; przeliczone na danych piętnastominutowych; dane są przestrzennie uszczegółowione (do 1 km rozdzielczości) w celu zaprezentowania zmienności związanej z terenem;
- promieniowanie słoneczne: opracowane na podstawie danych atmosferycznych i satelitarnych:
 - Meteosat PRIME satelita (© EUMETSAT, Niemcy) 1994–2010, 15 minut lub 30 minut wartości dla Europy, Afryki i Bliskiego Wschodu,
 - Meteosat IODC satelita (© EUMETSAT, Niemcy) 1999–2011, 30 minut wartości dla Azji,
 - GOES EAST satelita (© NOAA, USA) 1999–2011, 30 minut, częściowo trzygodzinne wartości dla Ameryk,
 - MACC (© ECMWF, UK) 2003–2013, dane atmosferyczne,
 - GFS (© NOAA, USA), 1994–2013, dane atmosferyczne.

Te szacunki zakładają rok o długości 365 dni. Sporadyczne odchylenia mogą wystąpić jako wynik matematycznego zaokrąglenia wyników i nie powinny być uważane za błąd algorytmu.

Wyniki prezentowane w programie pvPlanner SolarGIS stanowią oszacowanie produkcji energii elektrycznej w fazie rozruchu systemu PV. Według dostawcy oprogramowania szacunki te są wystarczająco dokładne dla małych i średnich systemów PV. W przypadku planowania i finansowania dużych projektów, potrzebne są dodatkowe następujące informacje:

- statystyczny rozkład i niepewność szacunków promieniowania słonecznego,
- szczegółowa specyfikacja systemu PV,
- międzyroczna zmienność i niepewność produkcji energii,
- produkcja energii podczas całego cyklu życia, uwzględniająca degradację komponentów.

Baza meteorologiczna PVGIS

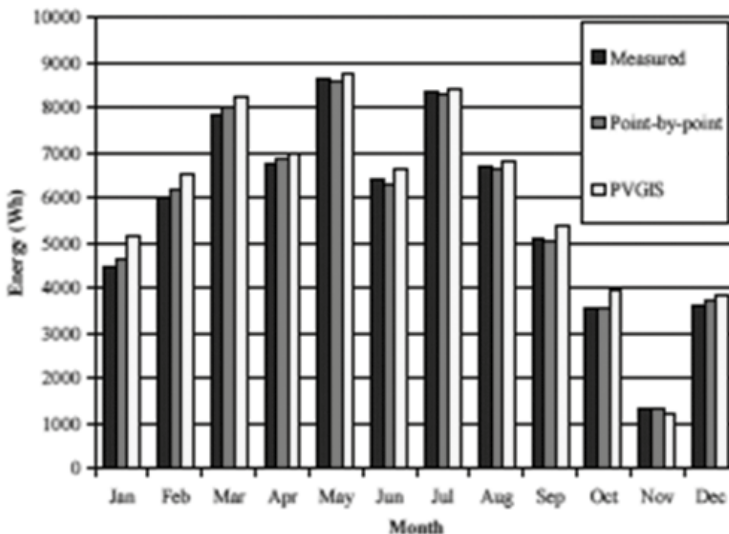
PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*) jest programem dostępnym nieodpłatnie online. Jest to szczegółowa baza meteorologiczna opracowana na podstawie wieloletnich

badan prowadzonych w europejskim centrum JRC (*Joint Research Centre*). Program ten oparty jest na mapie inwentaryzacji zasobów energii słonecznej i oceny produkcji energii elektrycznej w systemach fotowoltaicznych w Europie, Afryce i południowo-zachodniej Azji. Jest częścią SOLAREC — działania wspierającego wdrożenie energii odnawialnych w Unii Europejskiej jako zrównoważonego i długoterminowego zasilania w energię. PVGIS to program naukowy, demonstracyjny oraz narzędzie wspierania rozwoju OZE i idei rozproszonej generacji energii na bazie danych rzeczywistych, uzyskiwanych w jednostkach pomiarowych. Program PVGIS jest udostępniony w językach angielskim, niemieckim, włoskim, hiszpańskim i francuskim.

Praca w programie PVGIS umożliwia:

- uzyskanie map nasłonecznienia promieniowaniem słonecznym dla wszystkich krajów Europy w różnych porach roku, w zależności od kąta powierzchni pomiarowej względem promieni słonecznych,
- uzyskanie rozkładu temperatury w Europie w różnych porach roku w wariancie minimalnym, maksymalnym i średnim,
- przeprowadzenie symulacji pracy instalacji fotowoltaicznej wybranego typu w dowolnej lokalizacji w Europie lub w ograniczonym stopniu w wybranych lokalizacjach w Afryce,
- uzyskanie miesięcznego i dobowego oświetlenia dla wybranej lokalizacji,
- uzyskanie kątów optymalnych ustawień modułów PV w zależności od lokalizacji oraz pory roku,
- uzyskanie wiedzy na temat metod obliczania wszystkich prezentowanych wielkości i sposobu estymacji wartości oświetlenia na wybranym obszarze.

Dokładność oraz wiarygodność bazy danych i kalkulacji PVGIS zostały zweryfikowane na przykładzie rzeczywistej instalacji fotowoltaicznej zamontowanej w północnych Włoszech. Wyniki pomiarów rzeczywistych w konfrontacji z danymi uzyskanymi z symulacji w programie PVGIS przedstawia rysunek 23 oraz tabela 10.

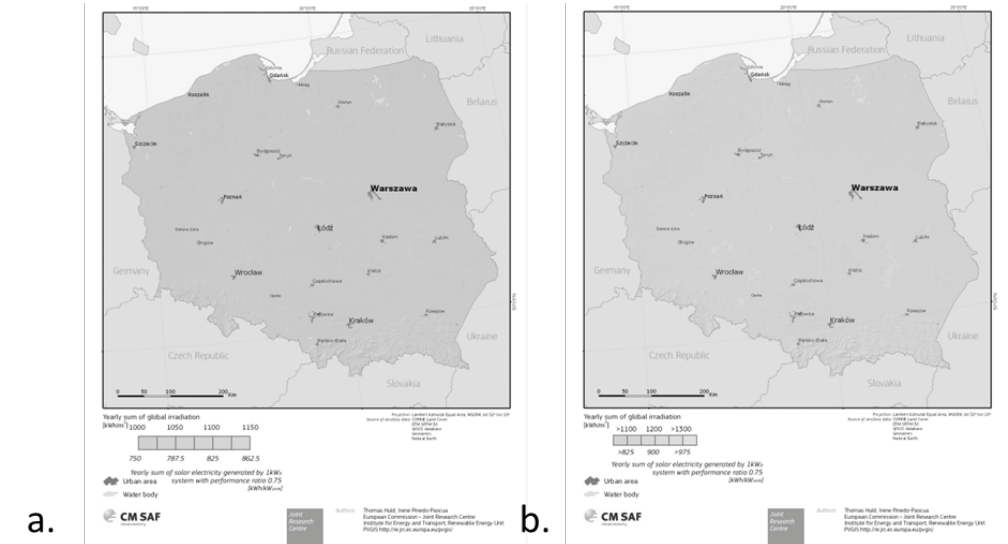


Rysunek 23. Miesięczne zmierzone i obliczone wartości energii wyprodukowanej przez moduł z krzemu polikrystalicznego

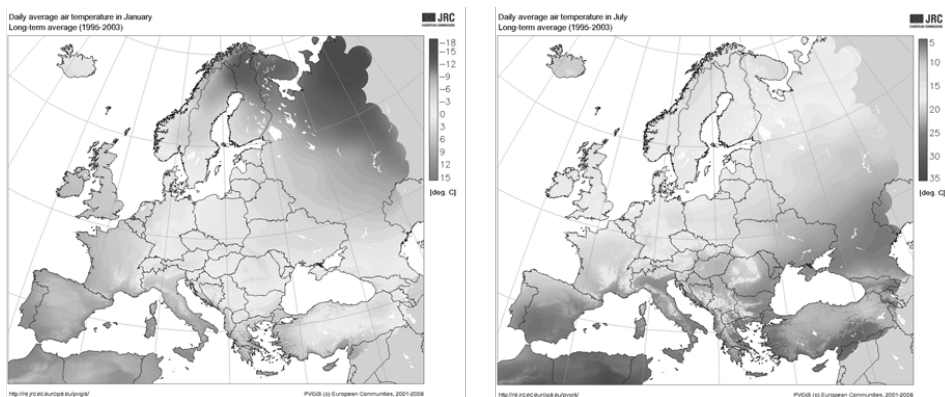
Tabela 10. Porównanie wyników otrzymanych z PVGIS oraz z pomiarów rzeczywistych

Miesiąc	Energia — dane pomiarowe [W · h]	Energia — dane PVGIS [W · h]	Względny błąd [%]	Promieniowanie słoneczne — dane pomiarowe [Wh/m²/dzień]	Promieniowanie słoneczne — dane PVGIS [Wh/m²/dzień]	Względne odchylenie [%]
Styczeń	4493	5158	14,8	2940	2367	11,1
Luty	6005	6550	9,1	4184	4444	6,2
Marzec	7845	8237	5,0	5022	5206	3,7
Kwiecień	6754	6991	3,5	4523	4658	3,0
Maj	8661	8775	1,3	5727	5799	1,3
Czerwiec	6401	6663	4,1	6248	6352	1,7
Lipiec	8365	8430	0,8	6030	6096	1,1
Sierpień	6726	6838	1,7	6302	6290	−0,2
Wrzesień	5095	5404	6,1	5007	5254	4,9
Październik	3529	3962	12,3	3571	3723	4,2
Listopad	1304	1227	−5,9	1254	1211	−3,4
Grudzień	3634	3879	6,6	2987	3182	6,5
Średnia	5734	6009	4,8	4548	4694	3,2

Przykładowe mapy uzyskane z programu PVGIS, przedstawiające warunki nasłonecznienia oraz potencjalnej produkcji energii elektrycznej z systemu PV o mocy 1 kWp dla Polski, przedstawia rysunek 24. Rysunek 25 prezentuje natomiast średnie temperatury stycznia i lipca w całej Europie.



Rysunek 24. Warunki nasłonecznienia w Polsce: a) płaszczyzna horyzontalna, b) płaszczyzna nachylona pod kątem optymalnym do promieniowania słonecznego



a.

b.

Rysunek 25. Rozkład średnich temperatur w Europie: a) w styczniu, b) w lipcu

Oprócz odczytu średnich wartości temperatur, baza danych PVGIS umożliwia również po-
branie animacji uwzględniających miesięczne zmiany temperatury oraz zmiany w zależności
od pory dnia w styczniu i lipcu.

PVGIS wyposażony jest także w aplikację umożliwiającą symulacje instalacji fotowolta-
icznych wykorzystujących technologie krzemu krystalicznego, amorficznego, tellurku kad-
mu oraz CIS. Rysunek 26 przedstawia okno wyboru rodzaju instalacji oraz jej lokalizacji
na mapie.

PV Estimation | Monthly radiation | Daily radiation | Stand-alone PV

Performance of Grid-connected PV

Radiation database: Climate-SAF PVGIS [What is this?]

PV technology: Crystalline silicon

Installed peak PV power: 1 kWp

Estimated system losses [0;100]: 12 %

Fixed mounting options:

Mounting position: Free-standing

Slope [0;90]: 36 ° ☒ Optimize slope

Azimuth [-180;180]: 0 ° ☐ Also optimize azimuth
(Azimuth angle from -180 to 180. East=-90, South=0)

Tracking options:

☒ Vertical axis Slope [0;90]: 0 ° ☐ Optimize

☒ Inclined axis Slope [0;90]: 0 ° ☐ Optimize

☒ 2-axis tracking

Horizon file: Przeglądaj... Nie wybrano pliku.

Output options

☒ Show graphs ☐ Show horizon

☒ Web page ☐ Text file ☐ PDF

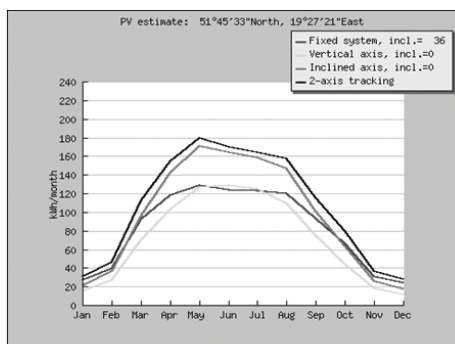
Calculate [help]

Rysunek 26. Okno wyboru rodzaju lokalizacji oraz rodzaju instalacji PV w aplikacji PVGIS

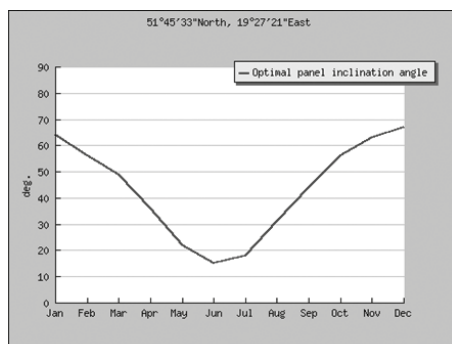
Symulacje umożliwiają uzyskanie wyników potencjalnego uzysku energetycznego z insta-
lacji fotowoltaicznej w wariancie wolnostojącym oraz zintegrowanym z budynkiem. Ustawie-

nie modułów może być dowolnie dobrane lub zoptymalizowane zgodnie z algorytmami programu. Oprócz danych tabelarycznych możliwe jest również uzyskanie wyników w formie porównawczych wykresów miesięcznych uzysków energii dla różnych systemów w tej samej lokalizacji, np. stacjonarnych i nadążnych.

Przykładowe symulacje przedstawiono na rysunku 27 dla Łodzi. Rysunek 27a) prezentuje uzysk energetyczny w podziale na miesiące z wolnostojącej instalacji fotowoltaicznej o mocy 1 kWp, wykonanej z modułów na bazie krzemu krystalicznego, w wariantach ustawienia pod kątem optymalnym oraz dla trzech rodzajów systemów nadążnych. Rysunek 27b) przedstawia natomiast wartości optymalnych kątów ustawienia modułów PV w zależności od danego miesiąca w roku.



a.



b.

Rysunek 27. Wyniki symulacji dla Łodzi: a) uzysk energii elektrycznej z krzemowej instalacji PV o mocy 1 kWp w wariantcie wolnostojącym i w systemach nadążnych, b) kąt optymalny dla każdego miesiąca w roku

Podsumowanie

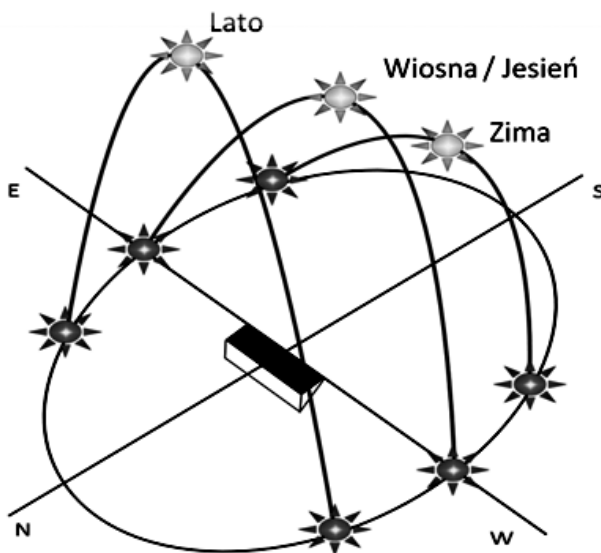
Poprawne i staranne zaprojektowanie instalacji fotowoltaicznej jest jednym z ważniejszych elementów przy realizacji tego typu inwestycji. Nawet nie posiadając szczegółowej wiedzy eksperckiej, dzięki wykorzystaniu prostych narzędzi online można z pewną dokładnością oszacować prognozowane uzyski energetyczne z planowanej instalacji PV.

Na początku należy określić rodzaj instalacji fotowoltaicznej spośród dwóch podstawowych:

- instalacja on-grid, w której energia elektryczna z paneli fotowoltaicznych w postaci prądu stałego jest zamieniana przez inwerter (falownik) na prąd zmienny o parametrach sieciowych i następnie wykorzystywana na potrzeby pracy urządzeń domowych; nadwyżki energii sprzedawane są do sieci energetycznej;
- instalacja off-grid, w której energia elektryczna z paneli PV w postaci prądu stałego jest zamieniana przez inwerter na prąd zmienny o parametrach sieciowych i następnie wykorzystywana na potrzeby urządzeń domowych, a nadwyżki energii poprzez regulator ładowania magazynowane są w akumulatorach w celu późniejszego wykorzystania.

Istotnym elementem jest również minimalizacja zacinienia instalacji oraz odpowiedni dobór kierunku i kąta ustawienia modułów PV. W warunkach środkowoeuropejskich, w tym w Polsce, optymalnym kierunkiem będzie zawsze południe. Kąt ustawienia modułów zależy

natomiast w dużej mierze od pory roku. W okresie letnim słońce wstaje na północnym wschodzie, góruje wysoko i zachodzi na północnym zachodzie. W celu zwiększenia ilości energii słonecznej w tym okresie należy zwrócić płaszczyznę na południe pod nieznacznym kątem rzędu $5\text{--}20^\circ$. Wyższy kąt powodowałby znaczne straty energii, gdyż przez długi czas po wschodzie i przed zachodem słońce znajdowałoby się za płaszczyzną, którą powinno oświetlać. W okresie wiosny i jesieni słońce wstaje na wschodzie, góruje umiarkowanie i zachodzi na zachodzie. W celu zwiększenia ilości energii słonecznej w tym okresie należy ustawić oświetlaną płaszczyznę pod umiarkowanym kątem rzędu $45\text{--}60^\circ$. W okresie zimowym natomiast słońce wstaje na południowym wschodzie, góruje nisko i zachodzi na południowym zachodzie. W celu zwiększenia ilości energii słonecznej w zimie należy zwrócić płaszczyznę pod dużym kątem rzędu $60\text{--}90^\circ$. Rysunek 24 prezentuje pozorną wędrówkę Słońca po nieboskłonie, wyjaśniającą graficznie opisane wyżej warianty.



Rysunek 28. Pozorna wędrówka Słońca po niebie — warunki środkowoeuropejskie

Jak wspomniano wcześniej, w lokalizacjach znajdujących się półkuli północnej każda ekspozycja płaszczyzny modułów w kierunku innym niż południowy będzie wiązała się ze zmniejszeniem ilości docierającej energii słonecznej.

Bibliografia

- „Alternative Energy Sources”, Home of Alternative and Renewable Energy Tutorials, <http://www.alternative-energy-tutorials.com>.
- Huld T., Müller R., Gambardella A., *A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa*, „Solar Energy” 2012, no. 86, p. 1803–1815.
- <http://www.zielonaenergia.eco.pl>.
- http://valentin.de/calculation/pvonline/pv_system/en.
- <http://solargis.info/pvplanner>.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>.

http://www.ez2c.de/ml/solar_land_area/.

Kenny R.P., Huld T.A., Iglesias S., *Energy rating of PV modules based on PVGIS irradiance and temperature database*, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, 4–8 September 2006, Dresden, Germany.

Šúri M., Huld T.A., Dunlop E.D. Ossenbrink H.A., *Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries*, "Solar Energy", no. 81, 2007, p. 1295–1305.

Znajdek K., Sibiński M., Lisik Z., Walczak S., *Badanie wpływu temperatury na parametry elektryczne krzemowych ogniw fotowoltaicznych*, „Elektronika — Konstrukcje, Technologie, Zastosowania”, nr 5, 2010 s. 49–52.

Systemy spalania biomasy

Artur Kołodziejczyk

W ubiegłym wieku ludzkość w niewielki stopniu interesowała się ochroną środowiska. Głównym źródłem energii cieplnej w budownictwie był węgiel, a dzięki temu bardzo silnie rozwinęła się technologia jego spalania. W nowoczesnym świecie energetyka oparta na węglu powoli staje się historią, jednak w wielu obszarach nie jest możliwe wykorzystanie urządzeń OZE, takich jak panele fotowoltaiczne czy kolektory słoneczne. W celu znalezienia rozwiązania, które w pełni wykorzystuje zdobytą wiedzę na temat spalania paliw kopalnych, rozpoczęto poszukiwania materiałów, które są ekologiczne, a zarazem wykorzystują wcześniejsze zdobycze tej technologii. Dlatego coraz prężniej zaczęły rozwijać się systemy, które wykorzystują odpady rolnicze, odpady powstałe w procesach przemysłowych, a także paliwa powstałe z przetwórstwa biomasy. Ogólnie paliwa te nazwano biomasą oraz biopaliwami. W celu wprowadzenia w technologię spalania biomasy poniżej przedstawione zostaną podstawowe definicje związane z tą tematyką:

- **biopaliwo** — paliwo powstałe z przetwórstwa biomasy, czyli produktów pochodzenia organicznego, np. roślinnych, zwierzęcych czy mikroorganizmów,
- **biomasa** — ulegająca biodegradacji frakcja produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej (w tym substancje pochodzenia roślinnego i zwierzęcego), leśnej i powiązanych gałęzi przemysłu, w tym rybołówstwa i akwakultury, a także biogazy i ulegająca biodegradacji frakcja odpadów przemysłowych i komunalnych.

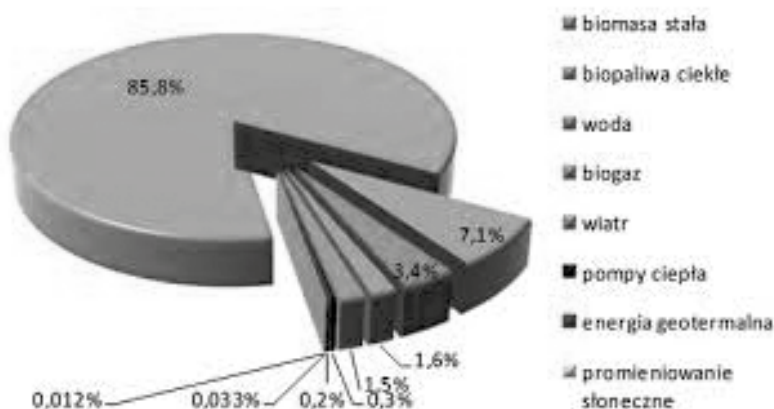
Na rysunku 1 przedstawiono rodzaje biopaliw.

Na szczególną uwagę zasługuje zdefiniowanie drewna jako biomasy. Nie każde drewno jest biopaliwem — np. to uzyskane bezpośrednio z wycinki lasu nim nie jest. Materiał ten jako biopaliwo można sklasyfikować tylko i wyłącznie, gdy pochodzi on z obumarłych części rośli, ze specjalnie w tym celu założonych plantacji oraz z odpadów powstałych w procesach przemysłowych w postaci: drewna kawałkowego, trocin, zrębków czy kory. W dalszym ciągu panuje dosyć głośna dyskusja na temat drewna jako biopaliwa. Należy zwrócić uwagę, że — zgodnie z komunikatem Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki — w Polsce jako biomasa nie będzie traktowane drewno pełnowartościowe, które zdefiniowane zostało jako „drewno spełniające wymagania jakościowe wymienione w normach określających wymagania i badania dla drewna wielkowymiarowego liściastego, drewna wielkowymiarowego iglastego oraz drewna średniowymiarowego dla grup oznaczonych jako S1, S2 (z wyłączeniem S2a i S2c) i S3, oraz materiał drzewny powstały w wyniku procesu celowego rozdrobnienia tego drewna na cele

energetyczne”. Z powyższego opisu wynika, że znacząca część drewna pochodząca ze sprzedaży przez Regionalne Dyrekcje Lasów Państwowych nie będzie traktowana jako biopaliwo. Dodatkowo zapis mówiący o usunięciu z biopaliw materiału powstałego w wyniku celowego rozdrobnienia drzewa eliminuje praktycznie całkowicie drewno kawałkowe z grupy biopaliw. Bez względu na ten fakt, udział procentowy wykorzystania biopaliw w odnawialnych źródłach energii jest w dalszym ciągu bardzo wysoki. Na rysunku 2 przedstawiono udział biopaliw w odnawialnych źródłach energii.



Rysunek 1. Rodzaje biopaliw



Rysunek 2. Procentowy udział biopaliw w odnawialnych źródłach energii

Zgodnie z powyższym diagramem można zauważyć, że udział biopaliw w całym sektorze energetyki odnawialnej w Polsce przekracza 93%. Wszystko wskazuje na to, że w najbliższym czasie udział ten zacznie spadać, z uwagi na wprowadzane programy dofinansowania do zakupu i montażu pomp ciepła oraz instalacji fotowoltaicznych.

Podział biopaliw

Dzięki nowoczesnym technologiom pozyskiwania biopaliw zauważono, że definicja biopaliwa jest bardzo ogólna i nie odzwierciedla rzeczywistego stanu wiedzy. Z tego też powodu zdecydowano się na wprowadzenie podziału w tym sektorze na biopaliwa:

- **stałe** — słoma w postaci bel lub kostek albo brykietów, granulat trocinowy lub słomiany — tzw. pellet, drewno, siano i inne przetworzone odpady roślinne;
- **ciekłe** — otrzymywane w drodze fermentacji alkoholowej węglowodanów do etanolu, fermentacji butylowej biomasy do butanolu lub zestryfikowanych w biodiesel olejów roślinnych (np. olej rzepakowy) czy etanol z kukurydzy — jedyne biopaliwo produkowane w Stanach Zjednoczonych na skalę przemysłową,
- **gazowe** — ze względu na proces, w wyniku którego powstają, biopaliwa te podzielono na:
 - powstałe w wyniku fermentacji beztlenowej ciekłych i stałych odpadów rolniczej produkcji zwierzęcej (gnojowica, obornik, słoma etc.) — biogaz,
 - powstałe w procesie zgazowania biomasy — gaz generatorowy (gaz drzewny).

Na rysunku 2 można zauważyć, że zdecydowanie największy udział we wszystkich odnawialnych źródłach energii mają biopaliwa stałe. Na rysunku 3 przedstawiono przykłady tych materiałów:



Rysunek 3. Przykłady biopaliw stałych. Od lewej: pellet oraz słoma

Rysunek 3 przedstawia jedynie dwa rodzaje stałych biopaliw, jednak z praktycznego punktu widzenia najbardziej rozpowszechnionym biopaliwem w gospodarstwach domowych jest pellet.

Technologie wytwarzania biopaliw

Z uwagi na występowanie wielu rodzajów biopaliw ich produkcja znacząco się od siebie różni. Poniżej opisane zostaną wszystkie najważniejsze z punktu widzenia autora technologie wytwarzania biopaliw.

Technologia wytwarzania pelletu

Produkcja pelletu z biomasy jest złożonym zagadnieniem i wymaga starannie zaprojektowanej linii technologicznej. Poszczególne etapy procesów produkcyjnych ściśle związane są ze składem chemicznym materiału służącego do produkcji pelletu, którym może być:

- słoma kukurydziana w formie zrębek o wielkości do 20 cm,

- słoma zbożowa w formie sieczeni,
- słoma zbożowa w formie balotów oraz kostek,
- trocina drzewna,
- trocina sucha i pyły drzewne.

Z uwagi na fakty występowania wielu materiałów organicznych służących do produkcji pelletu, linie produkcyjne znacząco się od siebie różnią. Poniżej w uproszczony sposób przedstawiono proces wytwarzania pelletu ze słomy:

1. **Przygotowanie surowca** — w procesie tym następuje przyjęcie surowców na suszarnie bębnową, taśmową lub podłogową oraz wstępne oczyszczenie z kamieni, i innych niepożądanych elementów.
2. **Szarpnięcie słomy** — do tego procesu wykorzystany jest specjalny szarpacz, który ma za zadanie wstępne rozdrobnienie słomy do frakcji około 50 mm i mniej. W czasie procesu następuje również usunięcie z materiału wszelkich ciał stałych, takich jak kamienie czy piasek oraz innych ciał obcych.
3. **Rozdrabnianie** — w procesie tym następuje całkowite rozdrobnienie słomy za pomocą młyna młotkowego. Młyn jest zaprojektowany tak, aby mógł zmielić słomę do frakcji o rozdrobnieniu wymaganym w dalszych procesach przetwarzania. Warto podkreślić, że w tym procesie przed rozdrobnieniem surowca w młynie młotkowym stosowane są separatory powietrzne do oczyszczania słomy z kamieni, metali kolorowych i zanieczyszczeń drewnianych. Do usuwania metali ferromagnetycznych używane są silne magnesy.
4. **Mixer** — w celu lepszej homogenizacji różnych wykorzystywanych do produkcji surowców zastosowano mixer o pojemności zależnej od procesu, który również wykorzystywany jest do ewentualnego nawilżenia surowca.
5. **Granulacja** — w procesie tym następuje mieszanie w mieszalniku frakcji uzyskanej z przekształcenia i homogenizacji surowców w poprzednim procesie z dodatkami suchej biomasy. Tak przekształcony surowiec transportowany jest do maszyny pelletującej, którą jest granulador. W maszynie tej producenci stosują rozwiązania projektowe i inżynierskie pozwalające na pracę w ruchu ciągłym.
6. **Chłodzenie produktu** — po granulacji gotowy produkt zostaje schłodzony tak, aby pellety osiągnęły odpowiednią twardość, a co za tym idzie — odpowiednie właściwości magazynowania. Do procesu chłodzenia stosuje się chłodnice przeciwprądowe. Zapewniają one doskonałą kontrolę nad zawartością wilgoci i stopniowe, łagodne chłodzenie. Proces ten odbywa się poprzez wprowadzenie pelletu do chłodnicy i chłodzeniu go dzięki przepływowi powietrza. Strumień wylotowy zawiera parę wodną i pył, które muszą być rozdzielone w wysoko wydajnym cyklonie. Po schłodzeniu produkt poprzez luk wyładowczy jest odprowadzany do przesiewacza, w którym odsiany niesort jest zwracany do procesu technologicznego.
7. **Magazynowanie** — gotowe pellety są kierowane na magazyn, gdzie w pryzmach mogą być przechowywane aż do momentu jego sprzedaży.

Technologia wytwarzania brykietu

Brykietowanie jest procesem, w którym materiał sypki, luźny bądź drobnoziarnisty formuje się w zwięzłe bryły o kształcie przypominającym kulę. Brykiet najczęściej kojarzy się z węglem, jednak technologia biopaliw zaadaptowała ten proces. Podczas brykietowania materiał

organiczny, taki jak np. trociny, poddaje się działaniu wysokiego ciśnienia oraz temperatury w urządzeniach nazywanych brykiciarkami. W wyniku działania dużej siły małe i luźne cząstki paliwa łączą się w brykiety. W odróżnieniu do produkcji brykietów z węgla w technologii biopaliw do komory brykiciarki w większości przypadków nie dodaje się lepiszcza, gdyż sam materiał organiczny posiada w sobie wystarczająco dużą ilość żywic, które spajają produkt. W technologii węglowej lepiszczem najczęściej jest smoła.

Brykietowanie jest procesem, który ma dużo zalet. Do najważniejszych celów, dla których prowadzi się ten proces, należą:

- zmniejszenie objętości i wstępnego przygotowania do dalszego przerobu czy utylizacji, np. prasowanie makulatury kartonowej, trocin, odpadów z tworzyw sztucznych, słomy na polu czy wiórów metali kolorowych,
- nadanie ściśle określonych cech fizycznych, takich jak kształt, masa, wytrzymałość czy odporność na ścieranie, np. prasowanie tabletek leków czy tzw. spiekanie proszków węglików.

Paliwa pochodzenia roślinnego poddane procesowi brykietowania posiadają liczne zalety w stosunku do paliw w swojej pierwotnej postaci, a najważniejszymi z nich są:

- wielokrotne zmniejszenie objętości magazynowanego i transportowanego paliwa,
- zachowanie większej czystości podczas różnych operacji ze surowcem,
- zminimalizowanie zagrożeń spowodowanych pożarem,
- brak ryzyka zamarzania,
- zmniejszenie chłonności wilgoci podczas magazynowania,
- ujednolicenie parametryczne paliwa,
- możliwość spalania w tradycyjnych kotłach grzewczych,
- łatwość automatyzacji (dozowania) podczas procesów spalania,
- duża wartość opałowa,
- mała zawartość popiołu i szkodliwych spalin,
- uzyskanie konkurencyjnego surowca energetycznego.

Ze względu na charakter procesu produkcji oraz rodzaj wykorzystywanego materiału brykiety opałowe przyjmują różnorodne kształty i wielkości. W praktyce są to najczęściej:

- walce o średnicy od kilku do kilkunastu mm (tzw. pellety) o przypadkowej długości nieprzekraczającej 40 mm — powstają na prasach rotacyjnych,
- walce o średnicy od 30 do 100 mm o długości przypadkowej do 300 mm (brykiciarki stemplowe mechaniczne) lub regularnej (brykiciarki stemplowe hydrauliczne),
- prostopadłościany o czterech, sześciu i ośmiu bokach, czasem z otworem w środku (brykiciarki ślimakowe lub hydrauliczne),
- bryły o różnorodnych obłych kształtach przypominających powiększone pastylki (prasy walcowe i pierścieniowe).

Proces produkcji brykietów składa się z wielu operacji uzależnionych od indywidualnych cech materiału prasowanego. Niektóre operacje mogą nie występować w procesie technologicznym, np. suszenie (gdy materiał posiada wymaganą wilgotność), rozdrabnianie (gdy surowcem będą np. pyły czy wióry). Czynniki wpływające na przebieg procesu zagęszczania można podzielić na cztery zasadnicze grupy:

- właściwości chemiczno-biologiczne zagęszczanego materiału (skład chemiczny, budowa biologiczna cząstek, podatność na zagęszczanie itp.),
- technologiczne przygotowanie materiału do brykietowania (wilgotność, temperatura, wielkość cząstek materiału, odpowietrzenie, wstępne zagęszczanie, skład granulometryczny materiału itp.),

- związane z procesem zagęszczania (naciski zagęszczające, temperatura w czasie procesu, rekrytalizacja naprężeń, zmiana współczynnika tarcia, prędkość zagęszczania itp.),
- konstrukcyjne (kształt i geometria elementu zagęszczającego, stan powierzchni wewnętrznej komory itp.).

Technologia wytwarzania zrębków

Zrębki są materiałem drzewnym o wymiarach mieszających się w granicach od kilku milimetrów do kilkunastu centymetrów, powstającym w wyniku rozdrabniania drewna za pomocą maszyn zrębkujących. Na rysunku 4 przedstawiono zrębki powstałe w wyniku zrębkowania wierzby energetycznej.



Rysunek 4. Zrębki z wierzby energetycznej

W zależności od gatunku drewna, wymiarów i jakości, zrębki mogą stanowić surowiec do produkcji płyt wiórowych, pilśniowych, celulozy, do ekstrakcji żywicy i garbników. Mogą być również wykorzystywane przy produkcji żelazostopów.

Zrębki drzewne to ekologiczny oraz atrakcyjny ekonomicznie opał biomasowy wytwarzany z odpadów drzewnych i upraw energetycznych. Surowcami do produkcji zrębków są przede wszystkim odpady z przemysłu tartaczego i leśnego. Ich jakość i wartość opałowa zależy od pochodzenia i sposobu składowania surowca. Wymagania na zrębki pozyskiwane z polskich lasów określa Polska Norma PN-91/D-95009 — Zrębki leśne. Zgodnie z tą normą zrębki leśne mogą być przeznaczone do produkcji płyt pilśniowych i wiórowych, wykorzystywane przy produkcji żelazostopów oraz jako opał. Zrębki opałowe można wyrabiać z drewna iglastego i liściastego wszystkich rodzajów. Na rysunku 5 przedstawiono zrębki opałowe.

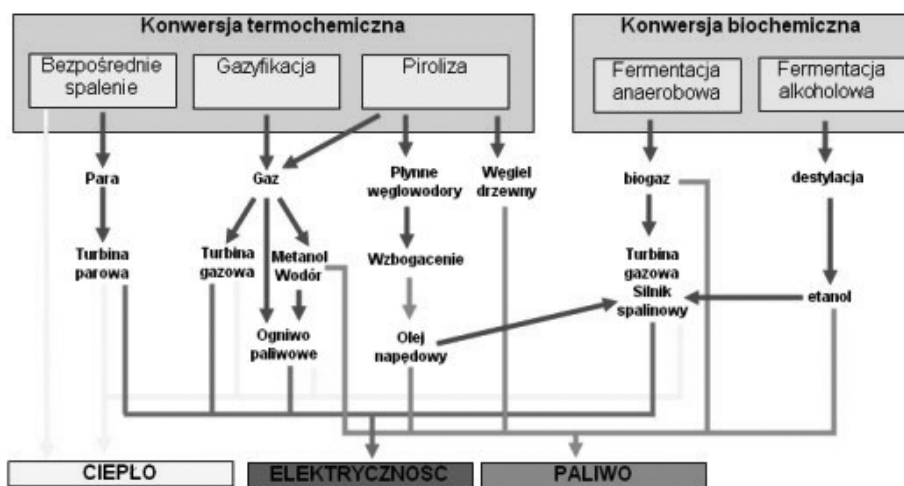


Rysunek 5. Zrębki opałowe

Wymiary zrębków opałowych określa granica do 50 mm, przy czym zasadnicza frakcja (nie mniej niż 90%) nie powinna przekraczać 40 mm. Chociaż znaczący wpływ na kaloryczność zrębków opałowych ma wilgoć, to obecnie prawo nie określa wymaganej wilgotności.

Obróbka biomasy

Dzięki wieloletnim badaniom związanym z pozyskiwaniem energii z biomasy zauważono, że proces spalania biomasy znacząco różni się od typowego spalania. Podczas badań okazało się, że spalaniu w kotle ulega około 30% stałej masy paliwa, natomiast reszta ulega przekształceniu w gaz. Gaz ten oczywiście ulega spalaniu, jednak tego typu dwustopniowe spalanie generowało bardzo duże straty energii. Obecnie proces spalania biomasy jest poprzedzony szeregiem procesów technologicznych, które pozwalają na odzyskanie nie tylko gazu z paliwa, ale również ciekłych substancji. Dzięki nowoczesnej technologii, poprzez odseparowanie ciekłych, lotnych oraz stałych substancji składowych biopaliwa oraz np. spalanie ich w całkowicie różnych konstrukcyjnie kotłach, znacząco zwiększono sprawność spalania biomasy. Typowymi procesami wykorzystywanymi podczas obróbki biomasy są, oprócz spalania, proces gazyfikacji oraz pirolizy. Na rysunku 6 przedstawiono schemat obróbki biomasy uwzględniający wszystkie trzy procesy.



Rysunek 6. Systemy spalania biomasy

Zgodnie ze schematem z rysunku 6 widać, że w zależności od tego, jaki efekt chcemy osiągnąć, proces spalania biomasy może być realizowany bezpośrednio w procesie spalania, gazyfikacji czy pirolizy lub też łącząc wszystkie technologie. Poniżej w uproszczony sposób zostaną opisane procesy obróbki biomasy, wykorzystywane w ciepłowniach, elektrowniach i elektrociepłowniach.

Proces spalania

Wykorzystywane zarówno do produkcji energii cieplnej, jak i do wytwarzania energii elektrycznej spalanie jest najbardziej rozpowszechnioną i zarazem najprostszą formą pozyskiwania energii z biomasy. W procesie spalania generuje się aż 90% energii otrzymywanej na świecie z biomasy, przy czym spalana może być biomasa we wszystkich stanach skupienia.

Efektywne i spełniające normy ochrony środowiska spalanie drewna powinno przebiegać w trzech fazach:

- suszenia i odgazowania materiału drzewnego, w wyniku czego powstaje gaz drzewny,
- spalania gazu drzewnego w temperaturze 1200°C,
- dopalania gazu i oddawania ciepła w wymienniku.

Wysoka temperatura, dostęp tlenu i odpowiednio długi czas spalania pozwalają utrzymać niski poziom emisji tlenku węgla (CO), węglowodorów i węglowodorów poliaromatycznych (PAH). Poza tym dzięki tym czynnikom w popiele pozostaje niewielka ilość niedopalonego węgla. Do ekologicznego i jednocześnie efektywnego spalania biomasy służą specjalnie skonstruowane kotły, wyposażone w komory spalania (ze stałymi bądź ruchomymi rusztami) charakteryzujące się zwiększoną powierzchnią wymiany ciepła.

Efektywność przebiegu procesu spalania zależy od ilości dostarczanego powietrza. W nowoczesnych kotłach powietrze do spalania dostarczane jest w postaci tzw. powietrza pierwotnego i wtórnego. Powietrze pierwotne miesza się z paliwem i wykorzystywane jest w procesie gazyfikacji i spalania węgla drzewnego. Powietrze wtórne jest wykorzystywane podczas spalania substancji lotnych i nie miesza się z powietrzem pierwotnym.

Instalacje do spalania mogą być wykorzystywane do utylizacji różnych rodzajów biomasy, w tym drewna kawałkowego, zrębek, trocin, słomy i innych. Efektywne energetycznie, ekonomicznie oraz ekologicznie spalanie biomasy wymaga zastosowania odpowiednich technologii.

Specyficzne właściwości fizyko-chemiczne biomasy wymagają stosowania odpowiednich rozwiązań technologicznych, dostosowanych do paliwa. Tylko 20% masy drewna stanowią nielotne związki węgla, które w tradycyjnym kotle spalają się na ruszcie (w węglu brunatnym stanowią one 45–60%, w węglu kamiennym 60–80%, w koksie ponad 95%). Reszta, około 80%, to związki lotne, które spalają się nad rusztem, wydzielając się intensywnie w stosunkowo wąskim zakresie temperatur. Efektywne spalanie tego typu paliw wymaga specjalnych technik i kotłów, zapewniających warunki dynamiczno-termiczne niezbędne do pełnego spalania lotnych produktów rozkładu termicznego biomasy. Nieodpowiednie rozwiązania aparaturowe i technologiczne skutkują zwiększoną, często poważnie, emisją szkodliwych substancji do atmosfery, która może zniweczyć korzystny efekt ekologiczny wynikający z charakteru biomasy drzewnej. Niepełne spalanie to także niekorzystne ekonomicznie obniżenie sprawności procesu.

Kotły do spalania biomasy dostępne są w szerokim zakresie mocy — od kilkunastu kW do kilkuset MW. Na typowe palenisko składa się komora spalania wyłożona zwykle odpornym na wysoką temperaturę materiałem ceramicznym oraz ruszt. Rozwiązania konstrukcyjne rusztów obejmują ruszty stałe, ruszty mechaniczne płaskie oraz schodkowe. Do spalania paliw podsuszonych (wilgotność bezwzględna 20–25%) stosowane są kotły z rusztami stałymi lub mechanicznymi poziomymi. W przypadku paliw wilgotnych (wilgotność bezwzględna 40–60%) kotły wyposażone są w ruchome ruszty schodkowe. Układ taki zapewnia w pierwszej fazie odparowanie wody z paliwa, a następnie, w miarę przesuwania w głąb paleniska, jego całkowite spalanie. Stosowane są także kotły wyposażone w paleniska fluidalne. Kotły fluidal-

ne pozwalają na efektywne spalanie biopaliw niskiej jakości (wilgotnych) przy zachowaniu emisji zanieczyszczeń na niskim poziomie. Kotły do spalania biomasy mogą być wyposażone w automatykę oraz wymuszony nawiew powietrza. Systemy podające to zwykle przenośniki ślimakowe i pneumatyczne, współpracujące z ruchomymi zgarniakami podłogowymi.

Zgodnie z powyższym opisem można zauważyć, że prowadzenie procesu spalania biomasy znacząco różni się od typowego procesu towarzyszącego spalaniu np. węgla. Choć technologia spalania biomasy oparta jest na wiedzy związanej z pozyskiwaniem energii z surowców kopalnych, to w znaczący sposób się od niej różni. Efektem tego jest występowanie w gospodarstwach domowych wyspecjalizowanych kotłów dla danego typu paliwa. Kotły na pellet są tylko przykładami tych rozwiązań, jednak pokazują jak bardzo skomplikowany jest proces spalania poszczególnych rodzajów paliwa i trudno jest wykonać jedno urządzenie służące do spalania całej grupy materiałów zaliczanych do biomasy.

Gazyfikacja

Podobnie jak spalanie, gazyfikacja jest zachodzącym w wysokiej temperaturze procesem konwersji termochemicznej, z tą jednak różnicą, że jej produktem nie jest ciepło, lecz gaz, który dopiero po spaleniu dostarcza energię cieplną. Poza wytwarzaniem ciepła, gaz ten może być wykorzystywany także w kuchenkach gazowych oraz w turbinach służących do produkcji elektryczności i w maszynach — jako paliwo w silnikach spalinowych.

Proces gazyfikacji paliw stałych przebiega dwustopniowo:

- w pierwszej komorze w warunkach niedoboru powietrza oraz w stosunkowo niskiej temperaturze (450–800°C) paliwo zostaje odgazowane, w wyniku czego powstaje gaz palny oraz mineralna pozostałość (węgiel drzewny),
- w drugim etapie w komorze dopalania w temperaturze około 1000–1200°C i w obecności nadmiaru tlenu następuje spalenie powstałego gazu.

Jedną z zalet tej technologii jest jej wysoka efektywność: podczas gdy małe i średnie urządzenia wykorzystywane do spalania osiągają efektywność rzędu 15–20%, efektywność urządzeń służących do gazyfikacji już teraz wynosi około 35%, a w niedalekiej przyszłości sięgnie 45–50%. W praktyce proces gazyfikacji biomasy najczęściej wykorzystywany jest bezpośrednio przed procesem spalania.

Piroliza

Będącą wstępem do procesów spalania i gazyfikacji piroliza to technologia, która w porównaniu ze spalaniem i gazyfikacją znajduje się dopiero we wczesnym stadium rozwoju. Jej produktem jest ciekłe biopaliwo, zwane bioolejem lub olejem pirolitycznym, będące złożoną mieszturą utlenionych węglowodorów. Zaletą pirolizy jest większa niż w przypadku spalania i gazyfikacji łatwość transportowania produktu wyjściowego, pozwalająca znacznie ograniczyć koszty przesyłu. Piroliza jest złożonym procesem, a właściwości jej produktu zależą od wysokości temperatury, od tego jak długo poddawano materiał jej działaniu, od obecności wody, tlenu i gazów, a także od cech poddanego pirolizie surowca. W dużym uproszczeniu przebieg procesu jest następujący:

- suszenie paliwa do wilgotności poniżej 10%,
- mielenie biomasy na bardzo małe cząsteczki, aby zapewnić szybki przebieg reakcji,

- reakcja pirolizy,
- wydzielenie produktów stałych,
- schładzanie i gromadzenie biooleju.

Podczas procesu pirolizy biomasa ulega termicznemu przekształceniu przy braku dostępu tlenu. W zależności od warunków przebiegu tego procesu można wyróżnić pirolizę konwencjonalną, szybką i błyskawiczną, jednak na największą uwagę zasługuje proces szybkiej pirolizy.

W procesie szybkiej pirolizy drobne cząsteczki biomasy o niskiej wilgotności podgrzewane są bardzo szybko do temperatury 450–550°C. W rezultacie tego procesu powstaje produkt ciekły — olej pirolityczny o wartości kalorycznej około 16–19 MJ/kg (dla przykładu węgiel kamienny wydobywany w Polsce ma średnią kaloryczność na poziomie 24 MJ/kg). W niewielkich ilościach powstają również gaz i węgiel drzewny, które są bezpośrednio spalane i dostarczają ciepło na potrzeby procesu pirolizy. Olej powstający w procesie szybkiej pirolizy stanowi od 60 do 75% masy paliwa. Może on być używany bezpośrednio jako paliwo lub też do wytwarzania innych substancji. Poza produktem ciekłym podczas pirolizy otrzymuje się produkt stały (węgiel drzewny stanowiący 12% masy) oraz produkt lotny (mieszanina gazów palnych stanowiąca około 13% masy paliwa).

Prawie każdy rodzaj biomasy może być poddawany procesowi szybkiej pirolizy. Chociaż większość dotychczas przeprowadzonych badań została wykonana z wykorzystaniem drewna, to prowadzono również testy z wykorzystaniem odpadów rolniczych, roślin pochodzących z upraw energetycznych oraz osadów ściekowych.

Szybka piroliza jest procesem bardzo zaawansowanym i wydajnym. Wymaga dokładnej kontroli parametrów, w szczególności temperatury i czasu trwania poszczególnych faz. Technologie szybkiej pirolizy biomasy do produkcji paliw płynnych zostały z sukcesem wdrożone w kilku dużych instalacjach demonstracyjnych. Jednak nigdzie na świecie nie są obecnie stosowane na skalę komercyjną. Główną zaletą oleju pirolitycznego jest łatwość przechowywania i transportowania. Może on być również wykorzystywany jako półprodukt do wytwarzania cennych substancji. Ze względu na powyższe, piroliza powinna być traktowana jako technologia dopełniająca w stosunku do pozostałych procesów termochemicznych.

Efektywność procesu spalania. Współspalanie biopaliw z węglem

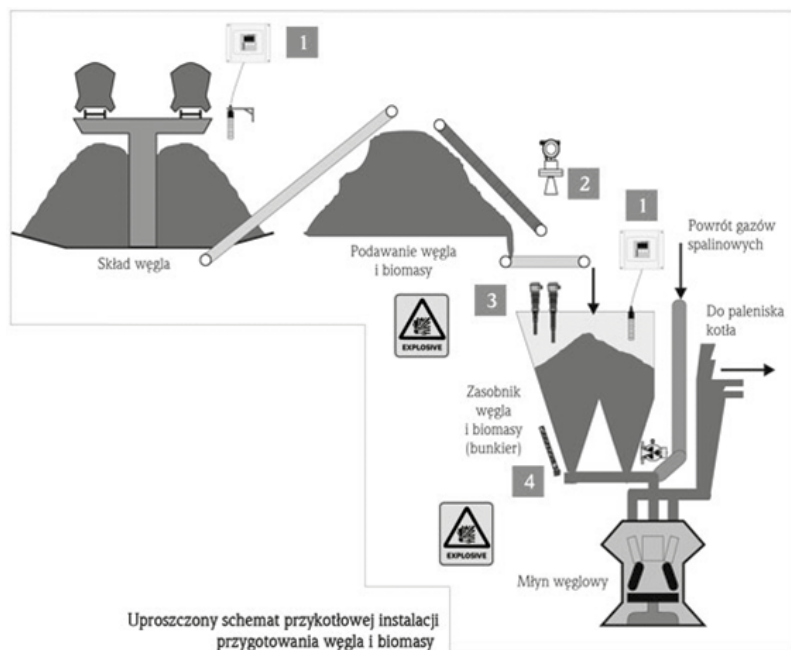
Tak jak wcześniej wspomniano, proces spalania czystej biomasy nie może być prowadzony w kotłach przystosowanych do spalania węgla. Dlatego obecnie biomasa wykorzystywana jest najczęściej w procesach współspalania, czyli procesach, w których w jednym kotle spala się jednocześnie węgiel oraz biomasę. Ze względu na sposób podawania paliwa wyróżnia się trzy podstawowe metody współspalania:

- współspalanie bezpośrednie — zachodzi w przypadku, kiedy do procesu spalania doprowadzany jest osobno strumień węgla i biomasy lub gotowa mieszanka węgla i biomasy (tzw. mieszane paliwo wtórne),
- współspalanie pośrednie — realizowane jest w dwóch przypadkach:
 - biomasa spalana jest w tzw. przedpalenisku, a energia cieplna z powstających spalin wykorzystywana jest w głównej komorze spalania,
 - biomasa jest zgazowywana w gazogeneratorze, a powstający gaz jest doprowadzany do komory spalania, gdzie jest spalany w palnikach gazowych,

— współspalanie w układzie równoległym — obejmuje przypadki, gdy każde paliwo, konwencjonalne i odnawialne, jest spalane w osobnej komorze spalania z zachowaniem indywidualnych wymogów dotyczących procesu spalania.

W procesie współspalania produkowane jest w Polsce najwięcej odnawialnej energii elektrycznej. W 2009 r. polskie elektrownie wytworzyły 4 TWh energii elektrycznej w procesie współspalania biomasy z węglem. Z uwagi na niskie koszty inwestycyjne najbardziej popularne jest współspalanie bezpośrednie. Jako biopaliwo dodawane do węgla mogą być:

- drewno i zrębki, trociny pochodzenia leśnego,
- zrębki pochodzące z bioupraw,
- ziarna zbóż,
- pellety.



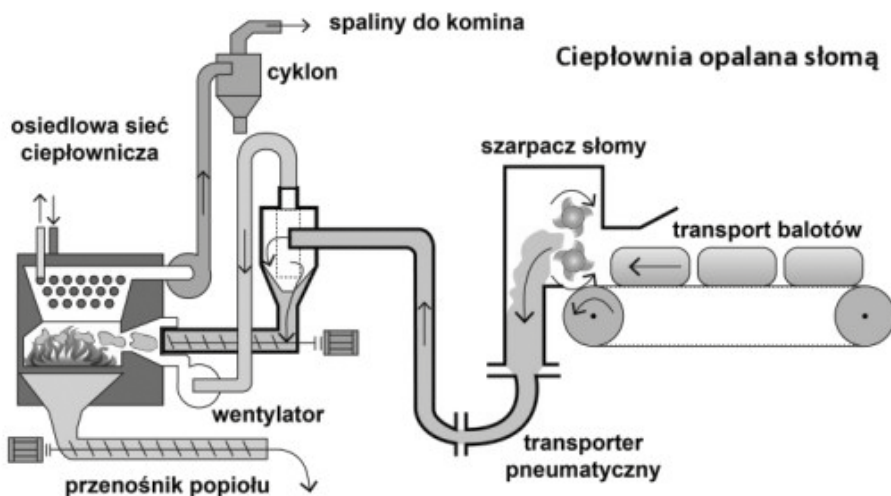
Rysunek 7. Uproszczony schemat współspalania węgla i biomasy

Na rysunku 7 przedstawiono uproszczony schemat prowadzenia procesu współspalania bezpośredniego. Można zauważyć, że do paleniska kotła doprowadzana jest mieszanka węgla z biopaliwem uprzednio zmielona w młynie węglowym. Rozdrobnienie mieszanki znacząco usprawnia proces spalania.

Chociaż wykorzystanie współspalania nie jest skomplikowane technicznie, to technologia ta ma sporo wad. Biomasa jest termodynamicznie gorszym paliwem, zawiera często nawet 50% wody i pogarsza sprawność procesu spalania w elektrowni. Tradycyjne elektrownie mogą dodawać tylko około 10% biomasy do węgla w ujęciu wagowym, co stanowi 5% energetycznego udziału. Piętą achillesową są młyny węglowe, gdyż biomasa jest włóknista i trudna do rozdrobnienia. Zwiększone tarcie przy mieleniu mieszanki węglowo-biomasowej powoduje wzrost temperatury, co prowadzi do częściowego zgazowania materiału. Unoszące się lotne związki paliwa w konsekwencji mogą doprowadzić do eksplozji. Oprócz niebezpieczeństwa związanego z eksplozją wykorzystanie biomasy w elektrowniach ma następujące wady:

- produkcja energii elektrycznej z biomasy jest znacznie mniej efektywna niż produkcja energii cieplnej;
- wykorzystywanie biomasy leśnej w elektrowniach znacznie zwiększa popyt na drewno i zawyża jego cenę; dodatkowo z punktu widzenia ograniczania emisji CO_2 znacznie bardziej korzystne jest wykorzystywanie drewna w budownictwie czy meblarstwie, niż jego spalanie;
- wykorzystanie w elektrowniach biomasy z bioupraw zwiększa zapotrzebowanie na wielkopowierzchniowe plantacje roślin energetycznych, które są zagrożeniem dla bioróżnorodności upraw;
- wykorzystywanie zbóż w energetyce budzi wiele kontrowersji etycznych, dodatkowo należy zwrócić uwagę na fakt, że produkcja żywności jest subsydiowana w celu zapewnienia taniej żywności, a nie taniego paliwa dla energetyki;
- intensyfikacja upraw związana z zapotrzebowaniem energetycznym elektroenergetyki rodzi obawy o wzrost zużycia nawozów i środków ochrony roślin, które nie są korzystne dla środowiska naturalnego.

Oczywiście spalanie biomasy może odbywać się bez udziału węgla, w kotłach do tego przystosowanych. Kilka elektrowni w Polsce rozpoczęło budowę lub już eksploatuje kotły specjalnie skonstruowane do spalania biomasy. Takie kotły spalają zrębki drzewne, brykiety lub pellety z dużą efektywnością, jednak wprowadzenie procesu jest znacznie bardziej kosztowne, niż przystosowanie elektrowni do współspalania. Na rysunku 8 przedstawiono proces spalania słomy w ciepłowni opalanej biomasą.



Rysunek 8. Schemat technologii spalania biomasy

Na rysunku 8 widać, że słoma przed wprowadzeniem do komory spalania kotła ulega obrobieniu w szarpaczu. Jest to spowodowane tym, że słoma do ciepłowni dostarczana jest w tzw. balotach, czyli sprasowanych blokach. W celu usprawnienia procesu spalania balot jest rozdrabnianym i doprowadzany do paleniska.

Efektywność wykorzystania biomasy

Biomasa jest tanim źródłem energii cieplnej. Koszt 1 GJ energii wyprodukowanego przy spalaniu węgla wynosi 33 zł, oleju opałowego 50 zł, gazu ziemnego 34 zł, a wierzby energetycznej 19 zł. Z wyliczeń wynika, iż opał wierzbowy jest dwukrotnie tańszy od węgla kamiennego, a w dodatku na terenach poza dużymi miastami można wyprodukować go we własnym zakresie, wykorzystując nieużytki i pola z glebami niższych klas. Z hektara plantacji wierzby można uzyskać w ciągu roku około 50–60 m³ masy drzewnej, to jest 15–20 ton suchej masy. Wartość energetyczna tony suchej masy drzewnej wynosi 4,4 MWh, co odpowiada wartości kalorycznej tony mialu węglowego lub pół tony oleju opałowego. Koszt tony mialu węglowego wynosi około 180 zł, czyli zysk z produkcja netto z jednego hektara wierzby wynosi 1500 do 2400 złotych. Oprócz tego przy spalaniu biomasy emisja zanieczyszczeń do atmosfery jest wielokrotnie niższa niż w przypadku innych paliw. Zrębki wierzby energetycznej mogą być spalane w tradycyjnych kotłach mialowych, jako mieszanki zawierające nawet do 30% zrębków wierzbowych. Jest to sposób na obniżenie emisji szkodliwych substancji do atmosfery, jak również na poprawę efektywności spalania mialu. Przy dobrze prowadzonej plantacji wierzby energetycznej można przez około 30 lat uzyskiwać nawet 20 i więcej ton suchej masy z hektara, co jest równoważne 10 tonom węgla. Dla przykładu plantacja o powierzchni 50 ha może dać dochód rzędu 90 000 do 110 000 zł rocznie.

Typy kotłów na biopaliwa

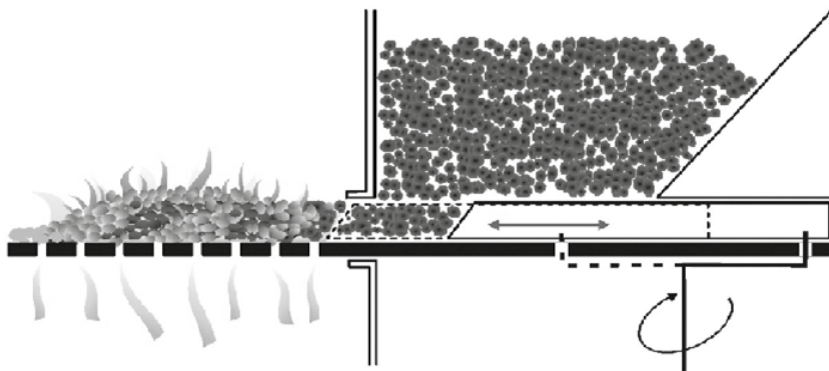
Spalanie biomasy wymaga stosowania odpowiednich rozwiązań technologicznych, dostosowanych do paliwa.

Kotły do spalania biomasy można ogólnie podzielić na konstrukcje z załadunkiem ręcznym, tzw. kotły wsadowe, i zautomatyzowane kotły z podajnikiem. Te ostatnie konstrukcje, z uwagi na rodzaj palnika i sposób podawania paliwa, dzieli się dalej na:

- kotły retortowe,
- kotły z palnikiem szufladowym,
- kotły z palnikiem wrzutowym,
- kotły z palnikiem tubowym (rurowym).

Kotły z podajnikiem — kocioł z palnikiem szufladowym

Przeznaczone są do spalania biomasy o małych gabarytach i niskiej wilgotności, jak pellety, ziarna zbóż, zrębki drzewne, nasiona słonecznika, trociny czy łupiny orzechów. Zasobnik paliwa może być umieszczony w konstrukcji kotła, znajdować się obok kotła, a nawet w osobnym, wydzielonym pomieszczeniu w odległości kilkunastu metrów od kotła. Przemieszczanie paliwa do kotła na małych odległościach odbywa się zwykle podajnikiem ślimakowym, przy większych pneumatycznie. W wielu konstrukcjach zautomatyzowane jest usuwanie popiołu i czyszczenie kotła. Rozwiązania te powodują, że kotły są niemal bezobsługowe, nie wymagają żadnego dozoru przez wiele tygodni. Jednym z przykładów kotła z podajnikiem jest kocioł z palnikiem szufladowym przedstawiony na rysunku 9.



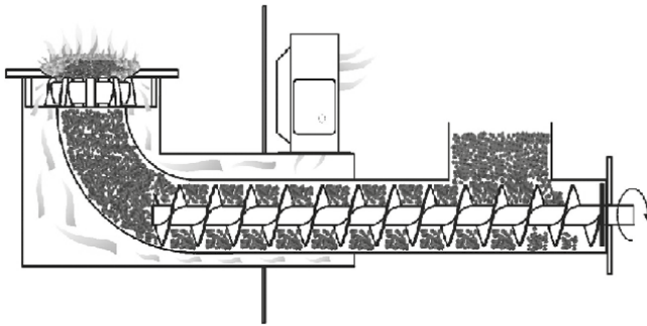
Rysunek 9. Kocioł z palnikiem szufladowym

Na rysunku 9 widać, w jaki sposób zachodzi proces podawania paliwa do komory spalania kotła. Czerwoną strzałką zaznaczono kierunek przesuwania się szuflady. W wyniku działania siły grawitacji paliwo stale z leja przedostaje się do przegrodzenia. W momencie gdy czujnik wykryje, że w komorze spalania zaczyna brakować materiału, uruchamia się silownik przesuwający szufladę. Szuflada spycha świeżą porcję paliwa na palenisko. Proces jest bardzo prosty, jednak szuflady oraz przegrodzenia muszą być dobrane w bardzo dokładny sposób do wymiarów materiału podawanego do kotła. W sytuacji zastosowania za dużych cząstek paliwa może dojść do zaklinowania otworu, przez który podawany jest materiał.

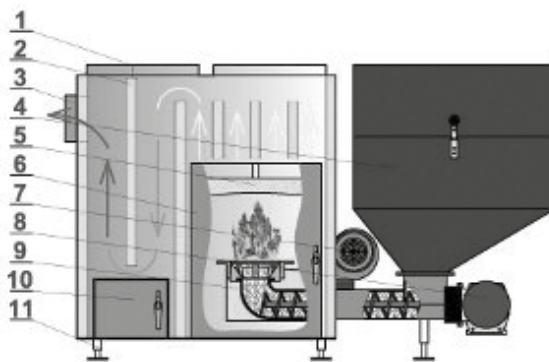
Kotły z podajnikiem — kocioł z palnikiem retortowym

Paliwo w tym rozwiązaniu doprowadzane jest do paleniska od spodu przenośnikiem ślimakowym zasilanym elektrycznie, w ilości niezbędnej do zapewnienia wymaganej temperatury na wyjściu z kotła. Przenośnik w sposób ciągły wypycha paliwo do żaroodpornego tygła, gdzie spala się intensywnym płomieniem. Powietrze niezbędne do spalania podawane jest wentylatorem nadmuchowym wielootworowo do tygła. Spalanie zachodzi zawsze tylko na powierzchni kopca w niewielkiej ilości paliwa i w wysokiej temperaturze, dzięki czemu dopalane są wszystkie składniki palne w paliwie, a spaliny opuszczające kocioł są niemal wolne od zanieczyszczeń. Popiół powstały podczas spalania usuwany jest na bieżąco do popielnika, a na jego miejsce podawana jest świeża biomasa. Palniki retortowe mogą mieć różne kształty paleniska — od okrągłych, w formie czaszy, ściętego stożka, poprzez owalne, do prostokątnych. Zapłon może odbywać się ręcznie lub automatycznie gorącym powietrzem. Regulacja wydajności kotła zachodzi poprzez zmianę prędkości obrotowej ślimaka i wentylatora. Na rysunku 10 przedstawiono schemat kotła retortowego z podajnikiem ślimakowym.

Przedstawiony podajnik ślimakowy jest jednym z częściej wykorzystywanych rodzajów podajnika w technologii kotłów opalanych biomasą. Na rysunku 11 przedstawiono kocioł na ekogroszek wyposażony w tego typu podajnik.



Rysunek 10. Schemat podajnika ślimakowego

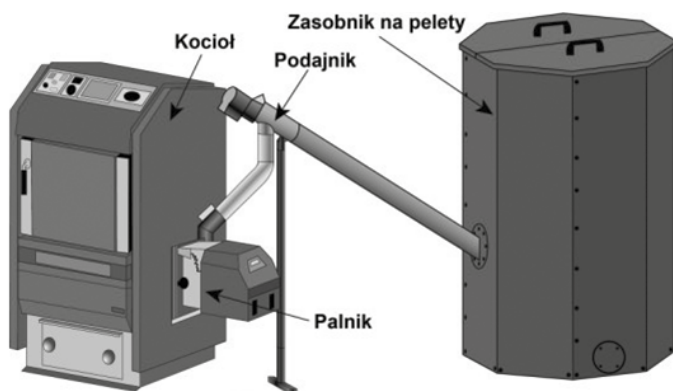


Rysunek 11. Kocioł na ekogroszek z podajnikiem ślimakowym (retortowy): 1 — obudowa, 2 — przegrody wodne, 3 — wylot spalin, 4 — pojemnik na ekogroszek, 5 — pokrywa, 6 — obudowa paleniska, 7 — wentylator, 8 — silnik, 9 — obudowa, 10 — wżernik, 11 — podstawa

Tego typu urządzenia zbudowane są z samego kotła, zasobnika na paliwo oraz elementu łączącego oba urządzenia, czyli podajnika (w tym przypadku ślimakowego).

Kotły z podajnikiem — kotły z paleniskiem wrzutowym

Kotły z paleniskiem wrzutowym są nietypowymi rozwiązaniami wykorzystywanymi w technologii spalania biomasy. W tego typu urządzeniach paliwo nie jest w sposób bezpośredni podawane do komory spalania za pomocą podajnika. W tym przypadku w pierwszej kolejności paliwo z zasobnika podawane jest za pomocą podajnika ślimakowego do górnej części kotła, gdzie następnie opada specjalnie wykonaną rynną do komory spalania. Rysunek 12 obrazuje tego typu rozwiązanie.

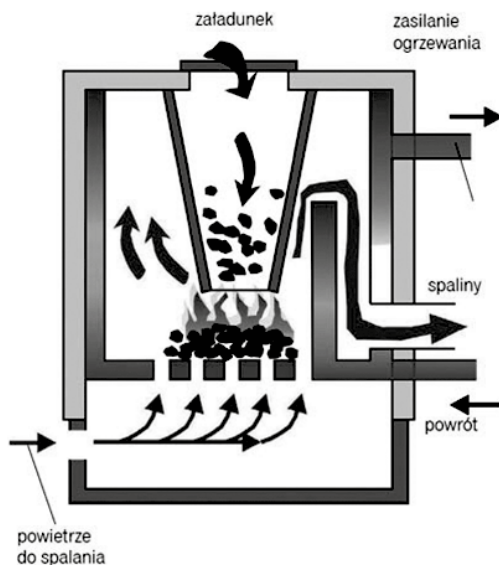


Rysunek 12. Kocioł na pellet

Na rysunku widoczna jest część podajnika ślimakowego, którym paliwo transportowane jest do zaznaczonej kolorem żółtym rynny. W tego typu rozwiązaniu paliwo podawane jest co kilka, kilkanaście sekund, dzięki czemu w palenisku kotła nie zalega nieopalone paliwo.

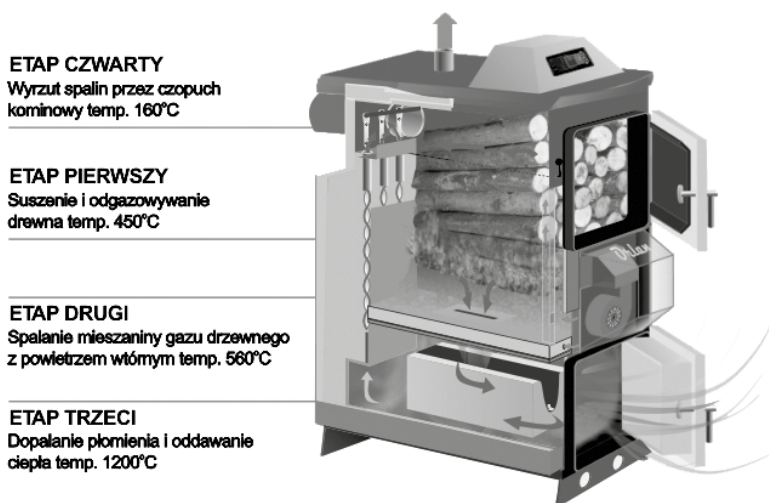
Kotły z załadunkiem ręcznym

Kotły z podajnikami praktycznie całkowicie zdominowały rynek kotłów na biomasę. Producenci posiadają jednak w swoim asortymencie również kotły starszego typu, które nie są wyposażone w automatyczne systemy podawania paliwa. Na rysunku 13 przedstawiono budowę typowego kotła z załadunkiem ręcznym.



Rysunek 13. Uproszczony schemat kotła z załadunkiem ręcznym

Tego typu kotły nie są skomplikowanymi urządzeniami. Paliwo dostarczane jest do kotła ręcznie, więc użytkownik musi wiedzieć, kiedy zejść do kotłowni w celu uzupełnienia zładu. Różnicą pomiędzy poszczególnymi modelami tych urządzeń jest w zasadzie jedynie sposób dostarczania powietrza do komory spalania. W starych typach urządzeń powietrze w sposób naturalny zasysane było przez otwory wentylacyjne w kotle z pomieszczenia, w którym się on znajdował. W nowszych rozwiązaniach w celu zapewnienia odpowiedniej ilości powietrza do prowadzenia procesu spalania wykorzystuje się wentylatory napędzające powietrze i dostarczające je w sposób mechaniczny do kotła. To drugie rozwiązanie jest sprawniejsze, gdyż przepływ powietrza jest wymuszony automatyką urządzenia, dzięki czemu ustawienie kotła czy zabrudzenie kratki wentylacyjnych nie wpływa na ilość dostarczanego powietrza, a tym samym na proces samego spalania paliwa. Na rysunku 14 przedstawiono budowę kotła z naturalnym systemem doprowadzenia powietrza do komory spalania.



Rysunek 14. Schemat budowy kotła retortowego z załadunkiem ręcznym

Na rysunku widać, że powietrze zasysane jest do urządzenia przez drzwiczki popielnika. Jest to najczęściej wykorzystywany system w przypadku typowych kotłów opalanych biomasą stałą oraz paliwem kopalnym (np. węglem).

Biopaliwa płynne i gazowe w kotłach

Paliwa płynne i gazowe można spalać w różnorodny sposób. Najnowocześniejszym osiągnięciem w tej dziedzinie są palniki nadmuchowe z ceramiczną głowicą porowatą. Doświadczenia w tej technologii prowadzą główne placówki naukowe i ośrodki badawczo-rozwojowe. W ramach europejskiego programu BIOFLAM jeden z czołowych producentów kotłów przeprowadził zaawansowane eksperymenty zastosowania tych palników w kotłach kondensacyjnych na paliwo płynne.

Rozwój technologii spalania różnorodnych paliw polega na coraz bardziej wszechstronnej i precyzyjnej kontroli tego procesu, niemal całkowitym braku emisji szkodliwych produktów spalania oraz bardzo szerokiej, bezstopniowej regulacji (modulacji) mocy nowoczesnych pal-

ników (palniki z głowicą porowatą). Podstawową zaletą tych palników jest możliwość dobrego spalania paliw o zróżnicowanych właściwościach, a takie charakterystyki mają biopaliwa, które (wspólnie z biomasą) do 2010 r. miały zaspokoić 12% zapotrzebowania energetycznego Europy.

Najbardziej efektywnym i ekologicznym urządzeniem grzewczym w niedalekiej przyszłości może być kondensacyjny kocioł olejowy spalający olej pochodzenia roślinnego. Próby całkowitego zastąpienia produktów ropopochodnych paliwami roślinnymi napotykają wiele problemów technicznych. Z tego względu najpierw zdecydowano się zastosować mieszanki tradycyjnego oleju opałowego z biopaliwem dodawanym w ilości około 20%.

Szerokie wprowadzenie tego typu mieszanki pozwoliłoby w znacznym stopniu zrealizować europejski cel stopniowego wprowadzania paliw pochodzenia roślinnego do powszechnego ogrzewania domów, które stanowi około 40% zapotrzebowania ciepła na naszym kontynencie.

Dzięki szeroko rozbudowanym badaniom, korzystając z mieszanki biopaliwowej, kotły pracują z bezstopniową modulacją mocy w zakresie 2–28 kW. Tak szeroki zakres modulacji (1:10) wymaga dodatkowych elementów stabilizujących pracę kotła, szczególnie w skrajnie niskim przedziale mocy. Sprawdzono różnorodne materiały konstrukcyjne decydujące o długim, bezproblemowym użytkowaniu urządzeń nowej generacji. W stosunku do najlepszych dotychczasowych osiągnięć emisja tlenków azotu jest niższa o połowę, emisja tlenku węgla o 20%, a ogólna emisja dwutlenku węgla jest niższa o około 10% (głównie dzięki efektowi kondensacji). Jednakże w przypadku dwutlenku węgla przyjmuje się, że w razie zastosowania 100% biopaliwa emisja tego gazu cieplarnianego będzie zerowa w bilansie CO₂. Palnik w kotle znajduje się w jego górnej części i kieruje strumień paliwa i powietrza (obydwa czynniki pod ciśnieniem) na dół, do specjalnej komory wstępnej. Tutaj rozpylone i zmieszane z powietrzem paliwo całkowicie „bezkropelkowo” odparowuje dzięki odpowiedniej temperaturze (<500°C) utrzymywanej w tej strefie tzw. zimnego płomienia.

Drugą fazą jest spalanie tej mieszanki gazowej w ceramicznej głowicy porowatej w wysokiej temperaturze (około 1700°C). W strefę tę musi być dodawana odpowiednio wyregulowana ilość tzw. wtórnego powietrza. Roboczy, całkowity nadmiar powietrza do spalania może mieć bardzo szeroki zakres: λ = od 1,1 do 1,9, tzn. jest on znacznie szerszy od stosowanego obecnie w gazowych palnikach powierzchniowych. Wytwarzane ciepło jest kierowane wraz ze strumieniem gazów spalinowych do wymiennika ciepła kotła kondensacyjnego. Znaczna część energii w tym przypadku przekazywana jest jako promieniowanie. Spaliny są ostatecznie schładzane do temperatury około 40°C, co powoduje kondensację pary wodnej zawartej w produktach spalania. Skropliny spływające do neutralizatora zawierają wiele „wypłukanych z gazów” szkodliwych zanieczyszczeń, które są eliminowane dzięki specjalnej mieszance neutralizującej. Gazy wyrzucane do atmosfery są zatem bardzo oczyszczone. Sprawność kondensacyjnego kotła olejowego wynosi około 105% względem wartości opałowej paliwa i około 98,5% względem ciepła spalania (tzn. według absolutnej wartości fizykochemicznej).

Kogeneracja

Kogeneracja, czyli skojarzone wytwarzanie energii cieplnej i elektrycznej, powoduje mniejsze zużycie paliwa i mniejszą emisję substancji szkodliwych niż proces oddzielnej produkcji elektryczności i ciepła. W układach skojarzonych wskaźnik wykorzystania energii chemicznej paliwa wynosi aż 80–90%, co jest możliwe dzięki odzyskiwaniu ciepła ze spalin. Koge-

neracja jest więc korzystna zarówno ze względów termodynamicznych, jak i z ekonomicznego czy ekologicznego punktu widzenia. Produkcję energii w skojarzeniu można stosować wszędzie tam, gdzie równocześnie występuje zapotrzebowanie na energię ciepłą i elektryczną. Rodzaj zastosowanej technologii zależy przy tym od rodzaju wybranego paliwa: na przykład dla systemów, które w charakterze paliwa wykorzystują słomę, najodpowiedniejsza jest elektrociepłownia z turbiną parową bądź też — przy mniejszych wartościach mocy elektrycznej — z silnikiem parowym. Podstawowe elementy układu opartego na słomie to kocioł parowy z podgrzewaczem pary, turbina parowa i generator energii elektrycznej. Rozdrobnione w systemie obróbki wstępnej paliwo podawane jest najpierw do śluzy ogniowej, a następnie podajnikiem ślimakowym na ruszt schodkowy, gdzie następuje spalanie. Para, która podczas spalania powstaje w kotle, jest dostarczana do turbiny parowej. Ostatni element systemu skojarzonego to podłączony do sieci przemysłowej generator.

Zalety stosowania układów kogeneracyjnych:

- zmniejszenie zużycia paliwa na wytworzenie jednostki energii,
- redukcja emisji zanieczyszczeń,
- obniżenie kosztów energii dla użytkowników,
- zmniejszenie strat energii w sieciach przesyłowych (ze względu na mniejsze odległości pomiędzy źródłem a odbiorcami energii),
- możliwość utylizacji biogazu,
- rozproszenie źródeł.

W 2003 r. w krajach OECD prawie 60% energii elektrycznej wytwarzanej z biomasy produkowano właśnie w procesie kogeneracji. W krajach Unii Europejskiej systemy skojarzone oparte na biomase nie są zbyt rozpowszechnione. Do wyjątków należą w tym względzie dwa państwa skandynawskie: Finlandia i Dania, gdzie w 1989 r. w miejscowości Haslev powstała pierwsza na świecie elektrociepłownia zasilana słomą. Zakład ten, dysponujący 13 MW mocy cieplnej i 5 MW mocy elektrycznej, spala w ciągu roku około 26 tys. ton słomy. W sezonie zimowym każdego dnia wykorzystuje od 150 do 200 ton słomy. Całkowita sprawność systemu wynosi 86%, a powstające w procesie spalania gazy są przed uwolnieniem do atmosfery przepuszczane przez filtr, który zatrzymuje aż 99% lotnego popiołu.

Procesy biochemiczne

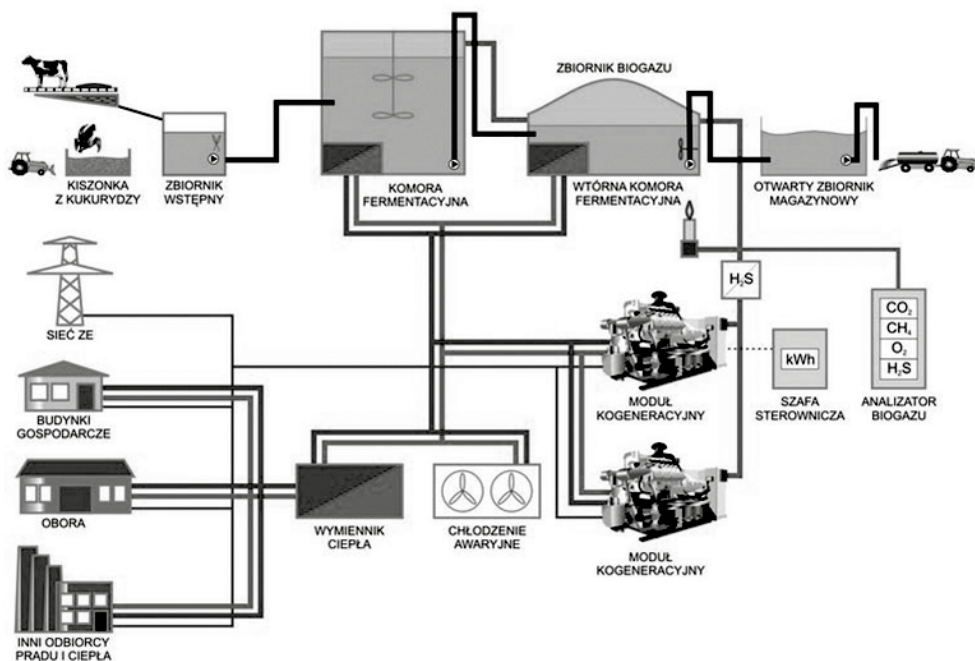
Niektóre formy biomasy zawierają zbyt dużo wody, by można było skutecznie poddawać je spalaniu. Ich wykorzystanie na cele energetyczne jest jednak możliwe dzięki procesom biochemicznym, na przykład fermentacji. W technologii wykorzystywania biomasy wyróżnia się następujące procesy biochemiczne:

- **Fermentacja alkoholowa** — jest to proces rozkładu węglowodanów, zachodzący po dodaniu drożdży do takich surowców, jak zboże, pszenica, winogrona czy buraki cukrowe i zapewnieniu temu materiałowi warunków beztlenowych. Produktem tego rodzaju fermentacji jest alkohol. W procesie fermentacji alkoholowej powstaje najpopularniejsze biopaliwo płynne — bioetanol, stanowiący 90% wszystkich stosowanych biopaliw ciekłych. Bioetanol wykorzystuje się najczęściej w charakterze domieszki do benzyny, gdzie stanowi on od 5 do 10% paliwa, jest on jednak stosowany również jako samodzielne paliwo.
- **Fermentacja metanowa** — jest to następujący przy ograniczonym dostępie tlenu proces rozkładu wielkocząsteczkowych substancji organicznych (głównie węglowodanów, białka, tłuszczów i ich pochodnych) do alkoholi lub niższych kwasów organicznych,

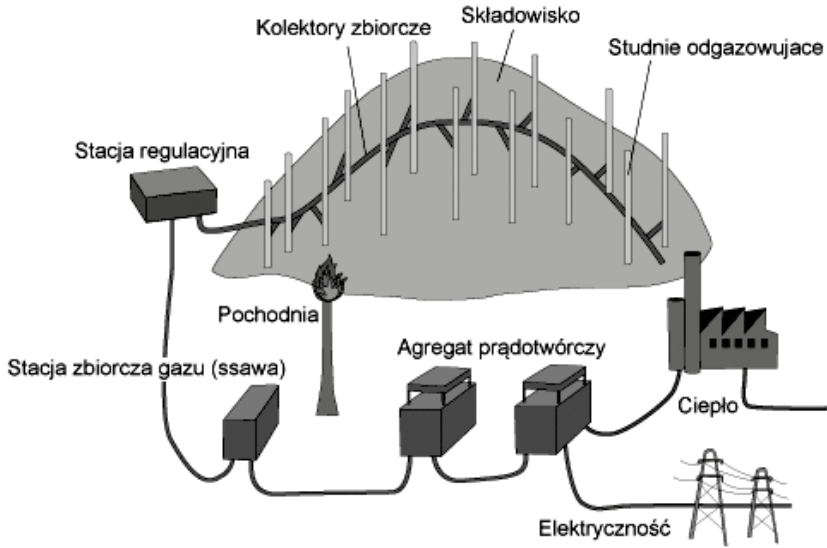
a także metanu, dwutlenku węgla i wody. Wyróżnia się następujące fazy fermentacji metanowej:

- hydroliza enzymatyczna, w wyniku której z białek powstają aminokwasy, z tłuszczów kwasy tłuszczowe i glicerol, a z polisacharydów monosacharydy,
- acidogeneza, czyli fermentacja kwaśna, polegająca na metabolizowaniu produktów hydrolizy do lotnych kwasów tłuszczowych, etanolu i produktów gazowych,
- octanogeneza, w czasie której lotne kwasy tłuszczowe są rozkładane do kwasu octowego, dwutlenku węgla i wodoru,
- metanogeneza, w wyniku której z kwasu octowego otrzymuje się metan i dwutlenek węgla.

Produktem finalnym fermentacji metanowej jest biogaz — mieszanina gazów składająca się głównie z metanu i dwutlenku węgla, a także z niewielkich ilości (około 1%) siarkowodoru, amoniaku, azotu, tlenku węgla, tlenu, wodoru i tiosi. Produkty w stanie stałym to trudnorozkładalne bądź nierozkładalne osady oraz biomasa bakteryjna. Do celów energetycznych wykorzystywana jest fermentacja takich substancji organicznych, jak odchody zwierzęce, odpady przetwórstwa spożywczego, odpady komunalne na wysypiskach i osady wytrącone w oczyszczalniach ścieków. Na rysunkach 15 oraz 16 przedstawiono uproszczone schematy wykorzystania procesów fermentacyjnych.



Rysunek 15. Wykorzystanie fermentacji w gospodarstwach rolnych



Rysunek 16. Wykorzystanie fermentacji w składowiskach odpadów

- **Estryfikacja oleju** — polega ona na przemianie oleju zawierającego metanol (rzepakowego, sojowego, gorzycowego itp.) w estry metylowe. Tak powstaje biodiesel — biopaliwo płynne, które, podobnie jak etanol, może być wykorzystywane samodzielnie bądź też w charakterze dodatku do paliw tradycyjnych (stanowi wtedy 5–25% mieszanki). Biodiesel to biopaliwo płynne, którego sprzedaż wzrasta obecnie najszybciej.

Bibliografia

- <http://www.zielonaenergia.eco.pl/>.
- <https://zawijan.wordpress.com/poradnik-uzytkownika/kotly-retortowe/>.
- <https://kotly.com.pl/>.
- <http://www.planetaenergii.pl/>.
- <http://vireoenergy.se/>.

Pompy ciepła

Krzysztof Kurowski

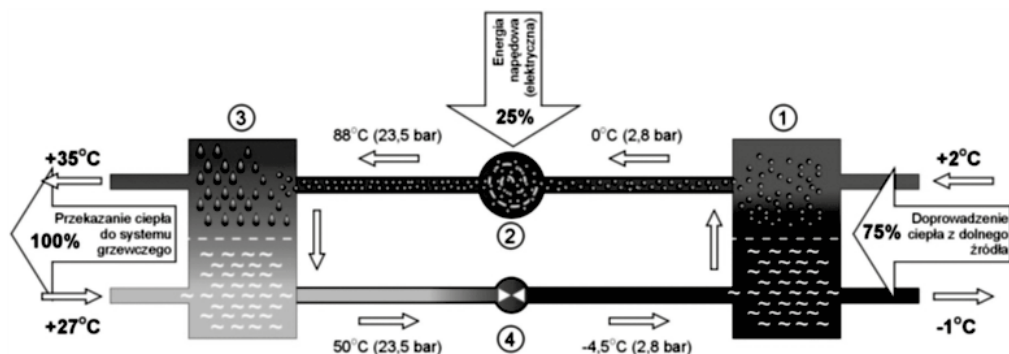
Pompy ciepła znane są i wykorzystywane w Polsce od kilkunastu lat. Na rynku dostępne są produkty kilkudziesięciu producentów i dystrybutorów. Oferują oni kompletne urządzenia (najczęściej) sprężarkowe, które przetwarzają ciepło o niskiej temperaturze do temperatury wymaganej przez system grzewczy, wykorzystując w tym celu energię elektryczną. Kupując pompę ciepła, zwraca się szczególną uwagę na parametry, jakie ona oferuje, zapominając o fakcie ścisłej współpracy z niskotemperaturową instalacją grzewczą oraz źródłem ciepła niskotemperaturowego (tzw. dolnym źródłem).

Pompa ciepła (PC) jest urządzeniem, które czerpie z otoczenia rozproszoną energię cieplną i za pomocą energii „napędowej” (chemicznej lub elektrycznej) podnosi temperaturę czynnika grzewczego.

Budowa i działanie pompy ciepła

Pompa ciepła składa się z dwóch głównych elementów: parownika i skraplacza — dwóch wymienników ciepła. Pomiędzy nimi, w przypadku najczęściej występujących urządzeń, zamontowana jest sprężarka oraz zawór rozprężny, który rozgranicza część wysoko- i niskociśnieniową instalacji. Wszystkie elementy połączone są przewodem wypełnionym niskowrzącym czynnikiem roboczym.

Ciepło z dolnego źródła pozyskiwane jest przez niskowrzący czynnik roboczy (krążący w obiegu termodynamicznym PC) w parowniku (1), przekazywane na sprężarkę (2), gdzie wzrasta temperatura i ciśnienie, następnie przekazywany jest na skraplacz (3), gdzie oddawane jest ciepło do obiegu grzewczego, aby po przejściu przez zawór rozprężny (4) powrócić do pierwotnej, ciekłej postaci.



Rysunek 1. Procesy termodynamiczne zachodzące w pompie ciepła

Efektywność pompy ciepła zależy od różnicy temperatur między wymaganą temperaturą górnego źródła i temperaturą dolnego źródła. Na temperaturę górnego źródła ciepła ma się wpływ (temperatura w instalacji grzewczej), na temperaturę panującą w dolnym źródle nie ma się praktycznie żadnego wpływu. Przy temperaturach dolnego źródła charakterystycznych dla naszych warunków przyrodniczych graniczna akceptowalna efektywność pompy (różna dla różnych źródeł ciepła) może być osiągnięta przy temperaturze górnego źródła na poziomie do 55°C. Instalacja ogrzewcza powinna pracować na jak najniższych parametrach temperatury. Temperatury w systemie ogrzewczym powinny oscylować wokół 35–40°C.

Efektywność pompy ciepła można określić dla warunków chwilowych i dla średnich warunków pracy w sezonie grzewczym. W pierwszym przypadku przyjęło się stosowanie współczynnika COP, w drugim przypadku odpowiedniejszy wydaje się współczynnik SPF. Prostszy w określeniu jest współczynnik COP i to on został przyjęty do określania sprawności urządzenia. Dla różnych warunków pracy urządzenia wynosi około 3–5. Oznacza to, iż z 1 kWh energii elektrycznej można uzyskać 3–5 kWh energii cieplnej. Pomimo iż współczynnik SPF jest odpowiedniejszy do określenia sprawności podczas rzeczywistych warunków pracy, skomplikowany algorytm jego wyznaczania oraz brak przyjętej ostatecznej wersji procedury jego określania przez kraje Unii Europejskiej powoduje, iż tymczasowo bazuje się na współczynniku COP.

Pompy ciepła są urządzeniami o stosunkowo niewielkich wymiarach. Pompa ciepła o mocy 20–30 kW jest wielkości średniej lodówki. Urządzenia są ciche i nie powodują drgań. Pompa ciepła może pracować także w trybie odwrotnym, tj. działać w charakterze urządzenia chłodzącego.

Rodzaje pomp ciepła

Przyjęcie pomp ciepła do urządzeń wykorzystujących odnawialne źródła energii przez Dyrektywę 2009/28/WE w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych umożliwiło dofinansowywanie (jako ekologiczne źródło ciepła), co miało wpływ na wzrost zainteresowania tymi rozwiązaniami.

Pompa ciepła w każdym przypadku korzysta z energii zgromadzonej w środowisku zewnętrznym lub tzw. energii odpadowej. Najczęściej wykorzystuje się energię zgromadzoną w środowisku. W zależności od rodzaju dolnego źródła ciepła wyróżnia się:

- pompy gruntowe,
- pompy wodne,
- pompy powietrzne.

Rodzaj dolnego źródła determinuje stosowany czynnik roboczy, który dla pomp gruntowych jest w postaci czynnika pośredniego — wodnego roztworu glikolu. Dla pozostałych źródeł ciepła czynniki są typu bezpośredniego, czyli odpowiednio woda, powietrze.

Czynnikiem roboczym układu grzewczego (tzw. górnego) jest najczęściej woda grzewcza (w nielicznych przypadkach powietrze).

Pompy ciepła rzadziej korzystają z tzw. ciepła odpadowego. Ciepło odpadowe może pochodzić z procesów cieplnych, w których medium (w postaci wody, powietrza) posiada temperaturę od kilkunastu do 30–40°C. Tak wysokie temperatury przyczyniają się do większej efektywności pracy urządzenia.

Gruntowe pompy ciepła

W przypadku pomp gruntowych ciepło pochodzi od odpowiednio wykonanego/zaprojektowanego wymiennika gruntowego. Są to tzw. urządzenia typu solanka–woda — rozwiązania te są wykorzystywane najczęściej. Solanka określa medium robocze o obniżonej temperaturze zamarzania, w której to roli doskonale sprawdza się wodny roztwór glikolu. Popularność tych urządzeń związana jest z ich stosunkowo wysoką wydajnością, niezawodnością rozwiązania i niezbyt skomplikowaną stroną formalną przedsięwzięcia. Grunt zapewnia stabilne źródło ciepła — o niewielkich wahaniach temperatury podczas okresu grzewczego (szczególnie dotyczy to wymienników pionowych, w których temperatury zmieniają się jedynie w zakresie +2 do +12°C; w przypadku wymienników poziomych temperatury są zaś w zakresie –2 do +17°C).

Wodne pompy ciepła

Pompy ciepła pracujące na wodzie (głównie gruntowej, zdecydowanie rzadziej ciekłu płynącego) wykorzystywane są w naszym kraju rzadko i to pomimo najwyższej sprawności urządzeń i największej stabilności temperaturowej źródła ciepła (wody gruntowej). Taki stan rzeczy związany jest z problemami formalno-prawnymi budowy (uzyskaniem stosownych pozwoleń), projektowymi (określeniem wydajności ciekłu wodnego), eksploatacyjnymi (zanieczyszczenia wód oraz wyeksploatowanie źródła). Najczęściej ciepło zawarte w wodzie wykorzystywane jest w sposób pośredni. Zabezpiecza to wymiennik pompy ciepła przed zanieczyszczeniami zawartymi w wodzie, zwiększając też w ten sposób niezawodność i bezawaryjność pracy urządzenia.

Powietrzne pompy ciepła

Powietrze z dotychczas omawianych źródeł ciepła posiada parametry najmniej korzystne. Charakteryzuje się ono małą pojemnością cieplną (tzn. należy wykorzystać duże ilości powietrza w celu uzyskania jednostki ciepła), największą zmiennością temperatury w czasie (od –20°C do +30°C), co przekłada się na zmienną sprawność urządzenia — najmniejsza dla naj-

niższych temperatur, z powyższą cechą związana jest niekoherentność podaży energii (temperatura wykorzystywanego powietrza) do zapotrzebowania na energię ciepłą (potrzeba jej najwięcej, gdy na zewnątrz jest najchłodniej).

Dolne źródło nie potrzebuje specjalnych rozwiązań hydraulicznych, jak ma to miejsce np. dla gruntowych pomp ciepła. Z tego powodu unika się kosztownych instalacji, jak też całej procedury uzyskiwania stosownych pozwoleń.

Powietrze i powietrzne pompy ciepła

Pompy ciepła bazujące na powietrzu są coraz częściej wykorzystywane. Są one stosowane do układów najprostszych do ogrzewania c.w.u. (promowane obecnie jako rozwiązanie bardziej ekonomiczne od kolektorów słonecznych), jak też do układów pracujących na potrzeby grzewcze budynku.

Urządzenia wykorzystują ogólnie dostępne (i w dowolnych ilościach) źródło energii — powietrze. Dolne źródło nie potrzebuje specjalnych rozwiązań hydraulicznych, jak ma to miejsce np. dla gruntowych pomp ciepła. Powietrze zasysane jest bezpośrednio na wymiennik parownika, dzięki zamontowanemu wysokowydajnemu wentylatorowi. Ze względu na duże ilości zasysanego powietrza i konieczność zapewnienia niskiego poziomu hałasu moduł parownika charakteryzuje się odpowiednio dużymi wymiarami. Najczęściej wykorzystywane jest powietrze zewnętrzne, niekiedy możliwe jest użycie powietrza usuwanego z pomieszczeń (uwaga — potrzebne są duże ilości powietrza). W drugim przypadku efektywność pompy ciepła zdecydowanie wzrasta.

Brak konieczności instalacji dolnego źródła ogranicza koszty urządzenia. Koszty rozwiązań wymienników gruntowych wynoszą od 30 do 70% kosztu pompy ciepła, czyli stanowią znaczący udział po stronie inwestycyjnej. Wykorzystanie powietrznych pomp ciepła pozwala zatem istotnie zmniejszyć koszty (pomimo z reguły wyższego kosztu pompy powietrznej w stosunku np. do gruntowej).

Brak konieczności instalacji dolnego źródła zdecydowanie skraca i upraszcza inwestycję. Wybudowanie dolnych źródeł obwarowane jest procesem uzyskiwania zgód, decyzji, wykonania projektu itd. Zabiera to wiele czasu, dużo kosztuje, a jednocześnie ingeruje w najbliższe otoczenie (szczególnie dokuczliwe w przypadku instalowania poziomych wymienników).

Typowe parametry pracy A7/W35°C zapewniają odpowiednie moce grzewcze urządzeń, przy stosunkowo wysokich współczynnikach sprawności (w zależności od rozwiązania COP około 4). Należy mieć jednak na uwadze, iż temperatury panujące na zewnątrz niejednokrotnie są niższe niż 7°C, a co gorsze — temperatury czynnika grzewczego są często z kolei wyższe niż 35°C. W takich przypadkach uzyskiwana przez pompę moc ulega obniżeniu, przy zmniejszonym COP (nawet do około 2).

Powietrze zewnętrzne i wewnętrzne

Powietrzne pompy ciepła mogą być montowane na zewnątrz lub wewnątrz budynku.

Pompy ciepła pracujące na powietrzu zewnętrznym są zdecydowanie częściej wykorzystywane. Jest to związane z dostępnością tego medium oraz prostotą rozwiązania. Pompy ciepła pracujące na powietrzu wewnętrznym są rzadziej wykorzystywane, pomimo zdecydowanie lepszych parametrów. Jest to związane z ograniczoną dostępnością czynnika.

Rodzaje powietrznych pomp ciepła

Wykorzystywane są pompy monoblokowe i typu split. Pompy monoblokowe mają zabudowany w sobie parownik i skraplacz. Wymagają odpowiedniego dobrania nawiewu i wyrzutu powietrza (umieszczane w ścianie budynku) w miejscu zabudowania urządzenia. Jest to szczególnie istotne, jeśli chodzi o czerpnię powietrza zaciąganego. Zaciąg i wywiew powietrza znajdują się obok siebie, co może być powodem dodatkowych trudności (zabezpieczenie przed mieszaniem się strumieni z sobą). Ograniczenia co do miejsca montażu, duże gabaryty, emisja hałasu związana z przepływem powietrza w płaszczyźnie budynku spowodowały, iż rozwiązanie nie znalazło powszechnego uznania. Obecnie chętniej stosuje się rozwiązanie typu split, w którym rozdzielone są parownik i skraplacz. Parownik znajduje się w jednostce zewnętrznej, oddalonej od budynku. Duży, płynnie regulowany wentylator zapewnia cichą pracę. Jednostka może być wyposażona również w sprężarkę (ewentualnie jest ona częścią jednostki wewnętrznej). Jednostka wewnętrzna posiada w sobie skraplacz, elementy jednostki centralnej, układ sterowania, podłączenie zasilania itd. W przypadku jednostek typu split często są potrzebne uprawnienia chłodnicze ze względu na potencjalną konieczność napełniania układu czynnikiem chłodniczym na budowie, choć spotkać się można z rozwiązaniami, w których układ skonstruowany jest w taki sposób, iż możliwe jest fabryczne napełnienie. Części zewnętrzna i wewnętrzna pompy ciepła są z sobą połączone systemem elastycznych rur.



Rysunek 2. Powietrzna pompa ciepła — wewnętrzna i zewnętrzna jednostka (Vaillant)

Pompy ciepła do ogrzania c.w.u.

Podgrzewacze wody są zintegrowane z urządzeniem lub zamontowane oddzielnie w instalacji — mają różną pojemność, są często z przedziału 200–300 l, moc grzewcza do 3 kW (najczęściej do 2 kW). Uwzględniając sposób funkcjonowania PC, pobór mocy elektrycznej nie przekracza 1 kW (od około 0,5 kW).

Ważnym parametrem jest również produkcja c.w.u. wyrażana parametrem l/h (np. 70 l) lub też szybkością nagrzania się zasobnika c.w.u. (np. 3 godziny). Szybszy sposób ogrzewania to większy komfort uzyskania podgrzanej wody. W rzeczywistych warunkach czas ogrzania wody ulega skróceniu ze względu na wyższą temperaturę początkową.

Z punktu widzenia wspomagania wentylacji istotne są przepływy powietrza wymagane z punktu widzenia podgrzewania wody, które wynoszą 200–400 m³/h, oraz dyspozycyjna sprężarka — konieczna do pokonania oporów przepływu.

Wodę w pompie ciepła ogrzewa się do temperatury możliwie niskiej. Oznacza to zaspokojenie poziomu temperaturowego wody w większości przypadków, m.in. podczas korzystania z prysznica (do 40°C), jednak do zmywania zabrudzeń tłuszczowych temperatura jest za niska i należy wodę dodatkowo nagrzać. Wykonuje się to najczęściej lokalnie w kuchni, najlepiej montując minimalnej pojemności podgrzewacz pojemnościowy (5–10 l), względnie podgrzewacz przepływowy.

Określenie ilości wody użytkowej nie jest sprawą tak newralgiczną jak w przypadku kolektorów słonecznych. Pompą ciepła dogrzać można zasobnik w dowolnym momencie i nie trzeba gromadzić wody na „okres niepogody”. W ten sposób pojemność zasobnika dla czteroosobowej rodziny nie przekracza najczęściej 250 l. Nie zmienia to jednak faktu, iż do określenia ilości c.w.u. należy podchodzić indywidualnie, określając preferencje użytkownika w oparciu o dzienny/tygodniowy profil zużycia wody.

Jako magazyny wody wykorzystuje się zasobniki pionowe z wężownicą umieszczoną u dołu. Stosowany wymiennik ciepła powinien charakteryzować się dużą powierzchnią — większą niż kotła grzewczego. Dobrą sprawą jest zastosowanie zasobnika warstwowego.

Zasobniki c.w.u. wbudowane mają jedną lub dwie wężownice (dla jednowężownicowych nie ma możliwości podłączenia innego źródła ciepła poza standardowo wbudowywaną grzałką elektryczną). Zabudowywana grzałka pełni również istotną rolę w procesie okresowego wygrzewania instalacji (zapobiega rozwojowi bakterii Legionella) oraz wspomaga ogrzewanie przy zbyt niskich temperaturach powietrza. W części pomp ciepła stosuje się dodatkową wężownicę służącą do podłączenia dodatkowego źródła ciepła.

W celu zapewnienia komfortu wody użytkowej można zastosować cyrkulację lub skrócenie długości rurociągu. W pierwszym przypadku należy zapewnić odpowiednio mniejszy przekrój przewodu, jak też okresowość załączania się cyrkulacji. W drugim skrócenie instalacji ogranicza straty ciepła z instalacji do otoczenia. W każdym przypadku instalację należy odpowiednio zaizolować.

Najczęściej występujące problemy

Zastosowanie pomp ciepła jako źródła ciepła wymaga spełnienia szeregu warunków, które w przypadku tego urządzenia są bardziej restrykcyjne (mniejszy dopuszczalny zakres odchyleń) w stosunku do tradycyjnych kotłów grzewczych. Należy mieć na uwadze, iż dobór źródła ciepła należy poprzedzić bardzo szczegółową analizą energetyczną budynku, sposobu jego wykonania, umiejscowienia (budynek oddziałuje z otoczeniem). Nie bez znaczenia jest też zamontowany/planowany system grzewczy, który w przypadku PC spełniać musi określone wymagania (niskie parametry pracy). Kolejnym etapem jest dobór dolnego źródła (DŻ). Dolne i górne źródło (GŻ) tworzą jeden układ z pompą ciepła. Sposób pracy DŻ wpływa na działanie instalacji grzewczej (GŻ), działająca instalacja grzewcza wpływa na pobór energii z DŻ. Oprócz „relacji cieplnych” budynku z otoczeniem należy uwzględnić zachowanie użytkownika eksploatującego instalację. Jego błędne zachowania mogą mieć katastrofalny wpływ na funkcjonowanie pompy ciepła. W projektowaniu, doborze, wykonaniu i sposobie racjonalnej eksploatacji należy bazować na doświadczeniach firm (brak jest ogólnie przyjętych wytycznych projektowanych i wykonawczych).

Zapotrzebowanie na energię

Realizacja ogrzewania w budynkach rozpoczyna się od rzetelnego określenia zapotrzebowania na energię. Kompleksowe podejście w tym zakresie wymaga uwzględnienia wszelkich zysków (wewnętrznych: od ludzi, urządzeń, zachodzących procesów; zewnętrznych od nasłonecznienia) oraz strat związanych z przenikaniem ciepła przez przegrody oraz wentylację. Szczególnie istotne jest prawidłowe wyznaczenie strat przez przegrody (uwzględniając rzeczywistą budowę przegród) oraz związanych z wentylacją (doprowadzenie świeżego powietrza z uwzględnieniem sposobu realizacji tego procesu). Przeprowadzenie dokładnego bilansu w tym zakresie, z uwzględnieniem charakteru budynku i sposobu jego użytkowania, przyczynia się do prawidłowego określenia zapotrzebowania na energię użyteczną i określenia mocy grzewczej urządzenia. Przy doborze źródła ciepła należy uwzględnić dodatkowo wewnętrzne straty na przesyle i o ich wartość podnieść zapotrzebowanie na energię (otrzymuje się tzw. energię brutto).

Osobnym zagadnieniem jest określenie zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową. W tym zakresie bardziej przydaje się znajomość preferencji użytkowników (sposób wykorzystania wody), niż powoływanie się na zapotrzebowanie normowe.

W ten sposób określone zapotrzebowanie na energię gwarantuje prawidłowy dobór źródła ciepła.

Roboty budowlane

Rynek budowlany rządzi się swoimi prawami, a głównym kryterium wyboru wykonawcy jest (niestety ciągle) cena, która często nie współgra z jakością. Na rynku brakuje dobrych budowlanców/instalatorów, którzy wykorzystują swoją wiedzę i doświadczenie, wykonując sumiennie prace. Dodatkowo częstą praktyką jest podmiana materiałów występujących w dokumentacji projektowej na „odpowiedniki” tańsze, ale często niespełniające wymaganych parametrów. Powodzi to w sposób drastyczny do obniżenia jakości powstających obiektów. Z punktu widzenia energetycznego nie bez znaczenia są błędy w wykonaniu łącznych przegród budowlanych (m.in. dla elementów prefabrykowanych), jak też w sposobie osadzania drzwi i okien (szczelna izolacja) i sposobie wykonania wszelkich przejść przez przegrody. Niedbałości wykonawcze prowadzą do powstawania licznych mostków cieplnych oraz do braku szczelności (szczególnie niedopuszczalne jest to w budynkach niskoenergetycznych). Powoduje to znaczne podwyższenie zapotrzebowania na energię, które nie jest często (prawidłowo) uwzględniane w obliczeniach energetycznych budynku, tym bardziej, iż straty mogą sięgać do około 15% zapotrzebowania na energię.

Ogrzewanie niskotemperaturowe

Kolejną ważną kwestią jest dobór instalacji grzewczej i prawidłowe określenie parametrów jej pracy. Należy pamiętać, iż pompy ciepła działają najefektywniej (najwyższe współczynniki sprawności) przy jak najniższych temperaturach pracy. Optymalne temperatury pracy nie powinny przekraczać 45°C/35°C. Górna granica pokrywa się z temperaturą 55°C, czyli wielkością, która determinuje zaliczenie danej instalacji jako niskotemperaturowej. W tym jednak przypadku należy liczyć się ze zwiększonym poborem energii elektrycznej. Wykorzy-

stać można „przewymiarowane” na istniejące parametry pracy grzejniki płytowe. Zdecydowanie lepiej sprawdzają się jednak grzejniki płaszczyznowe, np. ogrzewania podłogowego. Tak jak poprzednio, nie można zapomnieć o jakości wykorzystanych materiałów oraz staranności wykonania zgodnie z wytycznymi producenta instalacji. Ważną sprawą są kwestie projektowe (wyliczenie mocy grzewczej w zależności od ułożenia wymiennika). Nie bez znaczenia jest prawidłowa regulacja hydrauliczna i wykorzystanie rozwiązań umożliwiających indywidualne kształtowanie komfortu cieplnego (np. wykorzystując układy termostatyczne).

Dolne źródło

Dobór DŻ jest kolejnym elementem zapewnienia prawidłowego funkcjonowania instalacji ogrzewczej. Podczas doboru pompy ciepła należy określić jej moc chłodniczą (moc osiągnięta z DŻ) oraz różnicę temperatur DŻ (determinuje natężenie przepływu czynnika roboczego), której przekroczenie podczas eksploatacji świadczyć może o problemach z przepływem — wychładzaniem DŻ. Za niska różnica temperatur świadczyć może o zbyt szybkim przepływie, który wywołuje niepotrzebnie zwiększone zużycie energii.

Wybór rodzaju gruntowego DŻ (budowa) uzależniony jest od szeregu czynników, m.in. hydrogeologii gruntu, powierzchni działki, preferencji użytkownika itd. Ogólny podział to podział na wymienniki pionowe i poziome. Stabilniejsze parametry pracy posiadają wymienniki pionowe, należy jednak bardziej uważać na nieprzekraczanie maksymalnego czasu pracy wymiennika.

Wymienniki poziome z kolei zapewniają prawidłową regenerację i są tańsze w wykonaniu. Stosuje się różne rozwiązania wymienników poziomych: od najprostszego rozkładanego ze zwoju wymiennika meandrycznego, poprzez popularne rozwiązania wymiennika spiralnego, aż po nowe rozwiązanie wymiennika meandryczno-sekcyjnego. W przypadku wymiennika pionowego jego rodzaj determinowany jest liczbą rur (popularne są u nas wymienniki dwururowe, zdecydowanie mniej czterorurowe, oraz jednorurowe koaksjalne) oraz rodzajem głowicy. Wymienniki poziome i pionowe, w zależności od projektu instalacji, mogą mieć różne średnice (najczęściej 32 i 40 mm) oraz klasę wytrzymałości ciśnieniowej (np. PN 16 i PN 20). Formą pośrednią między wymiennikami pionowymi i poziomymi są wymienniki koszowe.

Projektowanie i wykonawstwo DŻ (gruntowe)

Moc jednostkowa wymiennika uzależniona jest od warunków hydrogeologicznych gruntu (ustalonych na podstawie badań) i wynosi przeciętnie dla wymienników poziomych od 10 do 30 W/m² powierzchni wymiennika, dla wymienników pionowych od 30 do 60 W/m długości wymiennika. Kolejnym parametrem jest maksymalna jednostkowa energia chłodnicza (od 50 do ponad 100 kWh/m · rok), którą wykorzystać można przy niestandardowych zastosowaniach wymienników pionowych. Zaleca się, aby wymiennik nie pracował dłużej niż 1800 godz., a już na pewno nie przekraczał 2400 godz..

Tak jak w przypadku GŻ, tak samo dla DŻ fundamentalną kwestią jest wykonawstwo, szczególnie w zakresie instalacji zanikającej (odnalezienie ewentualnej usterki jest bardzo utrudnione lub wręcz niemożliwe). Szczególnie dotyczy to prawidłowego wykonania odwiertu, prawidłowej iniekcji i wypełniania odwiertu (koniecznie oddolne). Dodatkowo należy

zwrócić uwagę na monomateriałowość instalacji — brak negatywnego oddziaływania jednego materiału na drugi. Najlepszym materiałem dolnego źródła jest polietylen wysokiej gęstości HDPE 100. W przypadku wymienników pionowych zaleca się stosować rury o jeszcze lepszych parametrach, np. PE-RC (dodatkowe zabezpieczenie przed zjawiskiem wolnej propagacji pęknięć). Wykorzystanie polietylenu ma szereg korzyści: tani transport, niska waga, szybki montaż, brak korozji itd.

Sprawą bezdyskusyjną jest prawidłowy dobór średnic (na podstawie dopuszczalnych prędkości przepływu) oraz regulacja hydrauliczna układu (szczególnie istotna dla zastosowania różnych długości obiegów). Kolejna kwestia dotyczy szczelności połączeń. W wykonaniu dolnych źródeł wykorzystać można jedynie połączenia nierozłączne — najlepiej metodę zgrzewania (łączenia polifuzyjnego). Połączenia rozłączne są źródłem późniejszych problemów, zwłaszcza z zachowaniem stałego ciśnienia w instalacji.

Niezmienne istotną sprawą jest instalacja rozdzielacza obiegów. Ciekawym i chętnie stosowanym rozwiązaniem jest montaż rozdzielacza w studni. Zaletą tego rozwiązania jest umieszczanie rozdzielacza w pobliżu wymienników gruntowych. Ważna jest procedura montażu studni, która powinna uwzględniać warunki gruntowe i wodne. Szczególne środki należy podjąć dla gruntów ciężkich, niestabilnych. Nieprzestrzeganie wytycznych prowadzi do problemów ze stabilnością studni, jej szczelnością i niezachowaniem szczelności układu hydraulicznego.

Ważnym aspektem jest zastosowanie odpowiedniej jakości czynnika roboczego (z pakietem inhibitorów i dodatkiem antypiennym). Zapewnia on stabilną i bezpieczną pracę układu. W przypadku przygotowywania odpowiedniego roztworu na budowie istotne jest jego prawidłowe wymieszanie (przed napełnianiem układu). W przypadku wprowadzenia koncentratu i wody do dolnego źródła w celu wymieszania można się bardzo rozczarować. Prędkości występujące podczas przepływu oraz małe pojemności przewodów nadmiernie wydłużają ten okres (spotyka się układy, w których nawet po roku użytkowania roztwór nie jest wymieszany!).

Niestosowanie się do powyższych wytycznych zawsze prowadzi będzie do problemów związanych z przepływem, temperaturą, trwałością i szczelnością DŹ.

Eksplotacja i konserwacja

Korzystanie z pomp ciepła (m.in. opartych na gruntowym DŹ) wiąże się z koniecznością przestrzegania pewnych zasad. Podstawową sprawą jest konieczność przestrzegania maksymalnego czasu wykorzystania DŹ; należy wystrzegać się sezonowania nowego budynku z wykorzystaniem pompy ciepła (suszenie budynku). Nowy budynek zawiera duże ilości wody, która musi zostać odparowana, do czego potrzeba dużej ilości energii.

W przypadku wykorzystania pompy ciepła należy mieć świadomość pełnej integracji DŹ i GŹ. Zmiana sposobu eksploatacji GŹ jednocześnie wpływa na DŹ i na odwrót. Warto również integrować system ogrzewania z wentylacyjnym.

Prawidłowo zaprojektowane, wykonane i eksploatowane DŹ jest praktycznie bezobsługowe. Zaleca się jednak okresowe kontrolowanie natężenia przepływu i temperatury w poszczególnych obiegach. Zmiana natężeniu przepływu (szczególnie zanik przepływu) świadczy o problemie związanym z hydrauliką układu, a zbytne obniżenie temperatury na jednym z układów świadczyć może o problemach cieplnych wymiennika. Należy jednocześnie kontrolować ciśnienie w układzie i prowadzić w sposób ciągły/okresowy odpowietrzanie układu.

Podsumowanie

Pompy ciepła są z założenia doskonałym ekologicznym źródłem ciepła niskotemperaturowego. Aby tak mogło być w praktyce, należy poświęcić uwagę nie tylko na dobór urządzenia, ale również projekt i należyte wykonanie dolnego źródła. Nie bez znaczenia jest również prawidłowe dobranie instalacji odbierającej ciepło — górnego źródła ciepła. Poprawnie dobrana pompa ciepła, dopasowanie do instalacji grzewczej oraz prawidłowe wykonanie pozwoli na bezproblemowe, wieloletnie oraz efektywne pod względem energetycznym, ekonomicznym i ekologicznym korzystanie z dobrodziejstw tego urządzenia.

Prąd jest około 2,2 do 2,5 razy droższy niż gaz ziemny i 1,1 do 1,3 raza droższy od oleju. Mając te dane jako wyjściowe, można określić opłacalność wykorzystania pompy ciepła. Decydującą wielkością jest współczynnik sprawności. Uwzględniając jedynie koszty eksploatacyjne, opłacalność pompy ciepła w przypadku zastosowania alternatywnie oleju opałowego jest dla COP równa 1,3, a dla gazu 2,5.

Na średnioroczną sprawność urządzenia wpływ ma wiele czynników: temperatury wykorzystywanego powietrza, temperatury czynnika grzejącego, liczba cykli włączeń i wyłączeń, itd. Sprawność urządzeń jest tym wyższa, im wyższa jest temperatura wykorzystywanego powietrza, niższa temperatura czynnika grzewczego, mniejsza liczba cykli uruchamiania się urządzenia.

Można powiedzieć, iż pompy ciepła zdecydowanie obniżają koszty ogrzewania budynków — nawet w przypadku uwzględniania kosztów inwestycyjnych są często bezkonkurencyjne na tle tradycyjnych rozwiązań.

Bibliografia

<http://www.vaillant.pl>

Systemy wodne i wiatrowe

Stanisław Kondratiuk

Systemy wodne

Obieg wody w przyrodzie

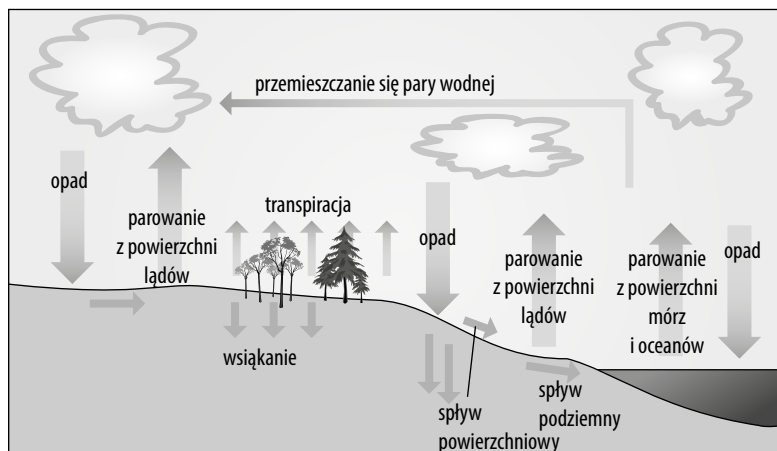
Obieg wody w przyrodzie to zamknięty cykl krążenia pomiędzy hydrosferą, atmosferą, litosferą i biosferą, wywołany zasadniczo dwoma czynnikami: promieniowaniem słonecznym i siłą ciężkości.

Krążenie wody w przyrodzie jest cyklem zamkniętym. Pod wpływem ciepła następuje parowanie wody, a pod wpływem siły ciężkości mają miejsce opady atmosferyczne, przepływ wody w rzekach oraz ruch wód glebowych i podziemnych.

W atmosferze para wodna ulega skropleniu i w postaci deszczu, mżawki, śniegu, gradu lub osadu powraca na powierzchnię Ziemi. Wody opadowe zasilają zbiorniki wodne (jeziora, morza i oceany), docierając do nich drogą powierzchniową (rzekami) lub podziemną (około 0,8 km w głąb litosfery) po wsiąknięciu. Wody powierzchniowe, jak również wody zawarte w glebie lub w roślinach, ulegają parowaniu i dostają się do atmosfery (do około 16 km na powierzchnię Ziemi). W atmosferze zachodzą złożone procesy fizyczne i chemiczne, dzięki którym powstają chmury i mgły dające początek opadom.

Składowe obiegu wody w przyrodzie:

- parowanie — zachodzi pod wpływem promieniowania słonecznego i obejmuje:
 - parowanie z wód powierzchniowych,
 - parowanie z powierzchni lądów,
 - parowanie z organizmów żywych (transpiracja),
 - parowanie z powierzchni lodowych (sublimacja);
- przemieszczanie się pary wodnej w atmosferze;
- opady atmosferyczne — w postaci deszczu, śniegu, gradu, rosy; z ogólnej sumy opadów 80% trafia do mórz i oceanów, a pozostałe 20% na powierzchnię lądów;
- wsiąkanie;
- spływ wód powierzchniowy i podziemny.



Rysunek 1. Obieg wody w przyrodzie

Tylko część wody na kuli ziemskiej podlega cyklowi hydrologicznemu. Znaczne jej ilości są okresowo (w skali procesów geologicznych) wyłączone z obiegu (retencja). Do wody wyłączonej z obiegu zalicza się:

- lodowce i pokrywy śnieżno-lodowe — zwłaszcza na biegunach,
- wodę głębinową w jeziorach, morzach i oceanach,
- głębinowe wody podziemne.

W cyklu hydrologicznym wyróżnia się obieg duży i mały. Cykl krążenia między oceanem, atmosferą i kontynentem nosi nazwę dużego obiegu hydrologicznego, natomiast między atmosferą a oceanem lub atmosferą a lądem — małego obiegu hydrologicznego.

Schemat krążenia wody w przyrodzie traktuje się jako obieg zamknięty, ponieważ zasoby wodne Ziemi uznaje się za stałe. Zostaje zachowana równowaga między ilością wody, która paruje, a ilością wody opadowej. Straty (parowanie) równoważone są przez zyski (opady), a ich zestawienie nazywane jest bilansem wodnym.

Proces parowania i kondensacji pary wodnej

W procesie parowania wody poszczególne cząsteczki opuszczają jej powierzchnię i przenikają do atmosfery. Ze wszystkich gazów zawartych w powietrzu para wodna ma największy wpływ na to, jak postrzegamy niebo. To właśnie para wodna sprawia, że powietrze jest wilgotne lub suche. Intensywność parowania zależy głównie od temperatury otoczenia, wilgotności powietrza oraz od jego ruchu i ciśnienia.

Wzrost temperatury sprzyja wzrostowi parowania — przy wyższej temperaturze powietrze może zawierać więcej pary wodnej niż przy temperaturze niższej. Dlatego m.in. powietrze w okolicach równika zawiera tak dużo pary wodnej. Szybkość parowania związana jest z prędkością wiatru — im większa prędkość, tym szybsze parowanie. Ruch powietrza nad powierzchnią parującą sprzyja rozprzestrzenianiu się pary i jej przenoszeniu na większe odległości.

Ciśnienie atmosferyczne również wywiera wpływ na szybkość parowania — wysokie ciśnienie wpływa na nią hamująco.

Kondensacja pary wodnej jest jednym z najważniejszych ogniw łańcucha krążenia wody w atmosferze. Produkty kondensacji pary wodnej w dużym stopniu rzutują na stany pogodowe obserwowane na powierzchni Ziemi. W wyniku kondensacji powstają chmury, opady oraz mgły.

Aby doszło do procesu kondensacji, muszą być spełnione następujące warunki:

- całkowite nasycenie powietrza parą wodną,
- spadek temperatury,
- obecność w atmosferze jąder kondensacji.

Proces kondensacji rozpoczyna się w momencie, gdy powietrze osiągnie stan nasycenia. Takie całkowite nasycenie powietrza parą wodną spowodowane jest najczęściej obniżeniem temperatury. W trakcie dalszego obniżenia temperatury nadmiar pary wodnej ulega skropleniu, czyli kondensacji.

Warunkiem niezbędnym do zapoczątkowania procesu kondensacji pary wodnej jest obecność tzw. jąder kondensacji. Produkty kondensacji pary wodnej w postaci kropelek wody lub kryształków lodu osiadają na nich.

Spadek temperatury powietrza do tzw. punktu rosy, a więc do temperatury, przy której następuje całkowite nasycenie powietrza parą wodną aktualnie znajdującą się w powietrzu oraz jej dalsze obniżenie, może być wywołane różnymi przyczynami:

- wychłodzeniem powierzchni gruntu i przylegających do niego warstw powietrza na skutek wypromieniowania energii cieplnej z powierzchni Ziemi do wyższych, chłodnych warstw atmosfery,
- zetknięciem ciepłych i wilgotnych mas powietrza z wychłodzonym podłożem.

Spadek temperatury powietrza może być spowodowany jego ochłodzeniem na skutek przemiany adiabatycznej, w wyniku rozprężania powietrza, które towarzyszy jego pionowym ruchom, czyli konwekcji.

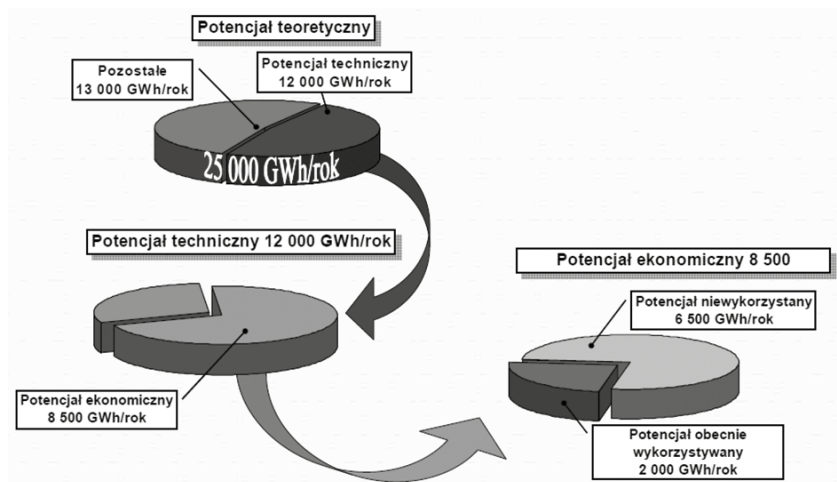
Krajowy potencjał hydroenergetyczny

Zasoby energetyczne rzek polskich są stosunkowo nieduże. W literaturze przedmiotu są podawane trzy wartości naszych hydroenergetycznych zasobów naturalnych:

- $E_{\text{sr}} = 19,9 \text{ TWh/rok}$ — PAN 1956 r.,
- $E_{\text{sr}} = 29,0 \text{ TWh/rok}$ — PAN 1958 r.,
- $E_{\text{sr}} = 23,6 \text{ TWh/rok}$ — Hoffman 1961 r.

Szacuje się, że zasoby techniczne wynoszą $ET_{\text{sr}} = 12,0 \text{ TWh/rok}$, a ekonomiczne $EE_{\text{sr}} = 8,5 \text{ TWh/rok}$. Trzeba zaznaczyć, że zasoby ekonomiczne powinny ulec zwiększeniu ze względu na potrzebę uwzględnienia udziału kosztów związanych z wpływem na środowisko, występującym w produkcji energii elektrycznej z węgla i innych paliw.

Na wielkość produkcji energii elektrycznej w elektrowniach wodnych wpływ ma ilość opadów oraz ich natężenie w ciągu roku. Ilość energii, jaką można by uzyskać przy zagospodarowaniu całego potencjału grawitacyjnego wszystkich rzek, nazywamy hydroenergetycznym potencjałem teoretycznym, natomiast ilość energii, jaką można by uzyskać, budując wszystkie elektrownie możliwe do wykonania ze względów technicznych, określamy jako hydroenergetyczny potencjał techniczny.



Rysunek 2. Techniczny i ekonomiczny potencjał hydroenergetyczny Polski

Większość polskich zasobów hydroenergetycznych skupionych jest w obszarze dorzecza Wisły, zwłaszcza jej prawobrzeżnych dopływów. Dogodne warunki do budowy małych elektrowni wodnych istnieją w Karpatach, Sudetach, na Rostoczu, a także na rzekach Przymorza. Również istotne znaczenie ma potencjał Odry.

Tabela 1. Potencjał hydroenergetyczny w Polsce

Rzeki	Potencjał hydroenergetyczny GWh/rok	
	Teoretyczny	Techniczny
Wisła z dopływami:	16 457	9 270
Wisła	9 305	6 177
Dopływy lewobrzeżne	892	513
Dopływy prawobrzeżne	4 914	2 580
Odra z dopływami:	5 966	2 400
Odra	2 802	1 273
Dopływy lewobrzeżne	1 615	619
Dopływy prawobrzeżne	1 540	507
Rzeki Przymorza	582	280
Razem	23 005	11 950
W tym: MEW (<10 MW)	23 005	11 950
Potencjał nieuwzględniony	około 1 700	

W latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku w Polsce funkcjonowało około 6,5 tys. siłowni wodnych. Dziś jest ich zaledwie 750 i ponad 81% potencjału technicznego na terenie naszego kraju jest niewykorzystane. Według obecnych szacunków na terenie Polski istnieje około 7,5 tys. obiektów hydrotechnicznych, które nie są wykorzystywane w celach energetycznych. Polska posiada zatem sprzyjające uwarunkowania do rozwoju energetyki wodnej, zwłaszcza w zakresie małych elektrowni wodnych (MEW), jednak tempo uruchamiania nowych mocy wytwórczych jest w zbyt niskie.

Sposoby wykorzystania energii wody (w zbiornikach zaporowych, w wartkach strumieniach, pływów morskich, fal morskich, małych cieków wodnych)

Najpopularniejsze wykorzystanie wody do produkcji energii to elektrownie wodne, które zamieniają energię spadku lub przepływu wody na energię elektryczną za pośrednictwem turbin wodnych. Turbina wodna często nazywana jest też turbiną hydrauliczną i jest to silnik przetwarzający energię mechaniczną wody na ruch obrotowy za pomocą wirnika z łopatkami. Obracający się wirnik z łopatkami napędza prądnicę lub ich układ.

Wykorzystanie w elektrowniach energii wód śródlądowych oraz pływów wód morskich polega na zredukowaniu w granicach pewnego obszaru (odcinek strumienia, rzeki, część zatoki) naturalnych strat energii wody i uzyskaniu jej spiętrzenia względem poziomu odpływu. Poza energetycznym, elektrownie wodne zbiornikowe mogą spełniać jednocześnie inne zadania, jak zabezpieczenie przeciwpowodziowe czy regulacja przepływu ze względu na żeglugę. Duże znaczenie mają elektrownie wodne szczytowo-pompowe, pozwalające na użycie wody jako magazynu energii.

Historia i rozwój energetyki wodnej

Pierwsze wzmianki o wykorzystaniu wody przez człowieka w celach energetycznych sięgają I wieku n.e. Początkowo budowane na rzekach koła wodne wprawiały w ruch żarna w młynach. Jednak dopiero 1000 lat później energię wody zaczęto wykorzystywać w szerszym zakresie — do napędzania miechów i ciężkich młotów w kuźniach, pił w tartakach oraz innych podobnych urządzeń.

Pierwsza miejska elektrownia wodna powstała w 1881 r. w Godalming w Anglii, w garbarni. Wykorzystywała ona przepływ wody przez turbiny. Energia elektryczna dostarczana przez tę elektrownię służyła do oświetlania ulic i dostarczała energię do domów.

Pierwsza hydroelektrownia została otwarta w Deptford, w Londynie w 1889 r. W 1895 r. przy wodospadzie Niagara powstała pierwsza elektrownia wodna Ameryki. Zbudował ją Nikola Tesla razem z G. Westinghousem. W 1881 r. M. Doliwo-Dobrowolski wybudował na Renie jedną z najsłynniejszych elektrowni wodnych prądu zmiennego.

Pozyskiwanie energii elektrycznej z wody na terenie Polski rozpoczęto już w 1910 r. Na rzece Radunia niedaleko Gdańska uruchomiono pierwsze MEW w Straszynie i Rutkach.

Jednak pierwszy zawodowy turbozespół hydroelektrowni — posiadający dużą na ówczesne realia moc 3,5 MW — powstał w Gródku na rzece Wda w 1923 r., zasilał on w energię elektryczną Gdynię. Zawdzięczamy go inżynierowi Alfonsowi Hoffmannowi, którego śmiało nazwać można ojcem polskiej energetyki wodnej. Dzięki jego wysiłkom od tego momentu w Polsce rozpoczął się intensywny rozwój elektroenergetyki. Rozwój polskiej hydroenergetyki został wstrzymany przez II wojnę światową. Po wojnie Polska zyskała na ziemiach zachodnich kilkadziesiąt zakładów hydroenergetycznych — m.in. w Plichowicach i Dychowie na Bobrze. W 1946 r. moc polskich elektrowni wodnych wynosiła łącznie 160 MW. W latach sześćdziesiątych powstały duże elektrownie wodne w Solinie, Żydowie, Włocławku, Koronowie. W ciągu kolejnych lat powstały jedne z największych w Polsce elektrowni w Żarnowcu, Niedzicy i Porąbce.

Wpływ elektrowni wodnych na środowisko

Najważniejszą zaletą elektrowni wodnych jest produkowanie czystej, bezemisyjnej energii elektrycznej. Podczas wykorzystania tej metody pozyskiwania energii nie powstają jakiekolwiek gazy, ścieki, które mogłyby zanieczyścić środowisko.

Do niedawna panował powszechny pogląd, że elektrownie wodne są najmniej szkodliwe dla środowiska naturalnego. Podczas wytwarzania energii przez elektrownię wodną do atmosfery nie dostają się żadne zanieczyszczenia, a poziom hałasu w MEW jest niski. Niestety, budowa elektrowni zmienia ekosystem i krajobraz otoczenia. Powstały na rzece zbiornik zawiera wodę stojącą, co sprawia, że rozwijają się tam zupełnie inne organizmy niż przed powstaniem zapory, a kumulacja glonów pobierających tlen może prowadzić do masowego śnięcia ryb i gromadzenia się osadów dennych. Co więcej, duży zbiornik charakteryzuje się większym parowaniem i zmienia wilgotność powietrza na stosunkowo dużym obszarze. Podczas podniesienia poziomu wody może wystąpić erozja brzegów oraz zatapianie nadbrzeżnych siedlisk lęgowych ptaków. Wartka dotychczas rzeka po wyjściu z zapory zwykle płynie już bardzo wolno. Zmniejsza się napowietrzanie wody, brak okresowych powodzi prowadzi do zamulenia dna. W celu zniwelowania niekorzystnych wpływów zapór na środowisko w niektórych MEW stosuje się specjalne progi (przepławki) umożliwiające rybom łososiowatym wpłynięcie w górę rzeki na tarliska.

MEW przepływowe nie niosą z sobą dużych zagrożeń dla środowiska naturalnego. Nie tworzy się przy nich zbiorników, a jeśli już, to bardzo niewielkie. Za to istnienie MEW ma korzystny wpływ na poziom wód gruntowych, wyrównuje wartki nurt rzek, ogranicza zjawisko erozji rzecznej.

Dostępność energetyki wodnej w warunkach krajowych, stan energetyki wodnej w Polsce i perspektywy rozwoju

Hydroenergetyka nie odgrywa w Polsce znaczącej roli, gdyż w kraju brak jest dobrych warunków hydrologicznych do jej rozwoju, w szczególności sprzyjających budowie wielkich elektrowni wodnych. Wynika to z nizinnego ukształtowania większości terytorium kraju, niewielkiego spadku koryta rzek, małej ilości opadów oraz dużej przepuszczalności gruntów. Ograniczone zasoby wody wiążą się z jej niewielką energią, której potencjał szacuje się na 13,65 TWh/rok, a zasoby techniczne na 11,95 TWh/rok.

Zasoby energetyczne polskich wód rozkładają się następująco:

- 45,3% zasobów przypada na Wisłę,
- 9,3% zasobów przypada na Odrę,
- 43,6% zasobów przypada na dorzecze Wisły i Odry,
- 1,8% zasobów przypada na rzeki Przemyśla.



Rysunek 3. Elektrownie wodne w Polsce

Według Europejskiego Centrum Energii Odnawialnej Polska wykorzystuje potencjał grawitacyjny cieków wodnych zaledwie w 11%, co stawia nas na ostatnim miejscu w Europie. Obecnie w Polsce istnieje 125 elektrowni wodnych podlegających energetyce zawodowej oraz 646 MEW, których moc nie przekracza 5 MW. Pomimo występowania niewielkiej liczby miejsc odpowiednich do inwestycji w duże elektrownie wodne, szacuje się, że istnieje blisko 6000 lokalizacji z wysokim potencjałem budowy MEW. Są one idealnym sposobem na stymulowanie rozwoju w regionie, a ponadto wyróżniają się znikomym wpływem na środowisko naturalne.

Udział energetyki wodnej w energetyce odnawialnej

W Polsce w ostatnich latach można zaobserwować stagnację w sektorze hydroenergetyki. W 2009 r. zainstalowane moce w tym obszarze wyniosły 945,20 MW i stanowiły 47,4% wszystkich „zielonych” technologii, a w 2010 r. wykazały tendencję spadkową i zrównały się z poziomem 937,04 MW, co stanowiło 36,65% wszystkich mocy. W 2011 r., dzięki sfinalizo-

waniu nowych inwestycji i ukończeniu renowacji starych obiektów, osiągnięto rekordowy poziom mocy w elektrowniach wodnych — 951,39 MW. Jednak ich udział w sektorze „zielonych” technologii stale spadał na rzecz energetyki wiatrowej i wyniósł już tylko 30,87%. Pomimo zmniejszającego się udziału w zainstalowanych mocach w sektorze OZE, hydroenergetyka pozostaje wiceliderem w produkcji „czystej” energii elektrycznej, dostarczając w 2011 r. 2080,3 GWh, czyli około 1,4% rocznego zapotrzebowania Polski na energię.

Tabela 2. Zainstalowana moc i produkcja energii elektrycznej poszczególnych rodzajów OZE w latach 2011–2014

Rodzaj źródła OZE	Moc zainstalowana [MW] wg stanu na 30.06.2014 r.			
	2011 r.	2012 r.	2013 r.	2014 r.
	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]
Elektrownie na biogaz	103,487	131,247	162,241	179,668
Elektrownie na biomasę	409,680	820,700	986,873	995,201
Elektrownie wytwarzające e.e. z promieniowania słonecznego	1,235	1,290	1,901	2,877
Elektrownie wiatrowe	1616,361	2496,748	3389,541	3727,032
Elektrownie wodne	951,390	966,103	970,128	973,550
łącznie	3082,043	4416,088	5510,684	5878,328
Wzrost r/r	525,620	1334,045	1094,596	367,644

Rodzaj źródła OZE	Ilość			
	2011 r.	2012 r.	2013 r.	2014 r.
(1)	(8)	(9)	(10)	(11)
Elektrownie na biogaz	430 537,322	529 384,449	665 004,725	238 435,450
Elektrownie na biomasę	1 055 151,712	2 126 678,064	678 555,890	126 944,577
Elektrownie wytwarzające e.e. z promieniowania słonecznego	177,805	1177,532	1418,771	683,234
Elektrownie wiatrowe	3 128 671,553	4 599 318,468	6 073 903,225	3 037 059,437
Elektrownie wodne	2 316 833,384	2 031 724,612	2 433 631,502	758 172,490
Współspalanie	5 999 582,057	6 695 119,143	2 536 797,015	673 636,089
łącznie	12 930 953,833	15 983 402,268	12 389 311,128	4 834 931,277
Postanowienia o odmowie wydania świadectwa pochodzenia		487 430,860	48 855,039	99,760
Wnioski w toku na dzień 30.06.2014 r.**		180 708,606	4 890 654,091	3 212 292,127
w tym wnioski dot. wyłącznie jednostek wykorzystujących biomasę		166 719,219	4 809 222,892	2 519 423,356

W ciągu ostatnich trzech lat odnotowuje się wzrost wszystkich rodzajów odnawialnych źródeł energii. Na 30 czerwca 2014 r. najwięcej pod względem zainstalowanej mocy [MW] jest elektrowni wiatrowych. Zainstalowana moc elektrowni wodnych w 2011 r. wynosiła 951,39 MW, a w 2014 r. wzrosła zaledwie do 973,55 MW.

Wykorzystanie potencjału energii wody w Polsce na tle innych państw

W skali całego świata elektrownie wodne zaspokajają około 20% zapotrzebowania na energię elektryczną, w krajach wysoko uprzemysłowionych około 17% i około 3% w krajach rozwijających się. Prąd elektryczny uzyskiwany w takich elektrowniach stanowi istotny czynnik rozwoju cywilizacyjnego w Rosji, Egipcie, krajach Ameryki Południowej i Afryki. Obecnie istotne inwestycje w dziedzinie energetyki wodnej są prowadzone w wielu państwach świata.

W 2011 r. moce zainstalowane w globalnym sektorze energii wodnej wyniosły więcej niż 1010 GW i pozwoliły na wyprodukowanie energii elektrycznej równej 16% światowej podaży. W produkcji energii w elektrowniach wodnych przodują Chiny (200 GW), na następnych pozycjach plasują się: Kanada (90 GW), USA (80 GW) i Brazylia (70 GW). W tych państwach, dzięki znakomitym warunkom klimatycznym i geologicznym, znajdują się największe elektrownie wodne na świecie, które zainstalowanymi mocami przekraczają nawet kilkakrotnie moce dużych elektrowni jądrowych.

W Europie energetyka wodna osiągnęła wiodącą pozycję w produkcji energii elektrycznej w stosunku do innych alternatywnych źródeł energii. Niestety, w większości krajów Europy Zachodniej potencjał dużej energetyki wodnej został niemalże w całości wykorzystany. Z krajów, które przystąpiły do Unii Europejskiej w 2004 r., spore perspektywy rozwojowe posiada Litwa, Słowenia oraz Węgry. Natomiast stałym trendem europejskim jest rozwijanie MEW wykorzystujących energię wody przepływającej. Szacuje się, że instalacji tego typu jest około 17 000. Kraje o największej liczbie MEW to Włochy, Francja oraz Hiszpania, a w ostatnim czasie można zaobserwować spory wzrost ich liczby także w Austrii i Grecji.

Obecnie Polska wykorzystuje swoje zasoby hydroenergetyczne jedynie w 12%, co stanowi 7,3% mocy zainstalowanej w krajowym systemie energetycznym. Liderem i niedoścignionym wzorcem w tej dziedzinie jest Norwegia, uzyskująca z energii spadku wody 98% energii elektrycznej.

Techniczne możliwości i uwarunkowania dotyczące wykorzystania energii wodnej

Niezwykle ważnym czynnikiem w procesie wykorzystania OZE do celów energetycznych jest właściwe oszacowanie potencjału rozpatrywanego źródła. Szacunki nie mogą dotyczyć tylko potencjału teoretycznego, muszą również uwzględniać ograniczenia, które wynikają z konkretnej lokalizacji, sprawność urządzeń do konwersji, ograniczenia ekologiczne czy też możliwości magazynowania pozyskanej energii. Dopiero uzyskany w ten sposób tzw. potencjał techniczny energii odnawialnej może być rozpatrywany jako źródło zaspokojenia potrzeb energetycznych.

W przypadku wykorzystania energetyki wodnej istotnymi determinantami są:

- ograniczenia i zakazy w zakresie lokalizacji, np. w odniesieniu do terenów parków narodowych i rezerwatów przyrody;
- uwarunkowania hydrologiczne — konieczne jest przeprowadzenie analizy możliwości wykorzystania przepływów przez obiekt piętrzący i elektrownię; analiza wpływu na przepływ nienaruszalny oraz ewentualny pobór przez innych użytkowników;
- uwarunkowania w zakresie rozwiązań hydrotechnicznych — wykorzystanie istniejących obiektów, projektowanie nowych; konstrukcje urządzeń służących migracji ryb (przeplawek);
- uwarunkowania w zakresie rozwiązań hydroenergetycznych — w ramach wstępnego rozpoznania należy określić możliwość lokalizacji, zakres przewidywanych spiętrzeń i wy-

stępujące uwarunkowania terenowe i techniczne, przybliżony odpływ dyspozycyjny, zakres niekorzystnego wpływu na środowisko i wynikające stąd ograniczenia, stan prawny gruntów, możliwości odbioru energii; analiza techniczno-ekonomiczna uzasadniająca budowę elektrowni.

Budynek elektrowni jako obiekt zatapialny powinien spełniać następujące wymagania:

- powinien być całkowicie hermetyczny, z zapewnieniem szczelności ścian, stropu, drzwi wejściowych oraz wszelkich innych otworów,
- poziom stropodachu elektrowni powinien uwzględniać technologiczne rozwiązania elektrowni, konieczność uzyskania niezbędnych wysokości pomieszczeń eksploatacyjnych i w przypadku wejścia do elektrowni przez stropodach (brak szybu z klatką schodową i dojścia kładką z obwałowania) — powinien być wzniesiony nie mniej niż 0,3–0,5 m ponad poziom wody brzegowej,
- w przypadku bliskiego położenia wału przeciwpowodziowego lub wysokiego brzegu poziom stropodachu elektrowni (jeśli pozwalają na to rozwiązania funkcjonalne) może być na poziomie brzegu (lub wyżej), a dostęp do budynku elektrowni zapewnia szyb z klatką schodową (wyprowadzeniem przewodów wentylacyjnych, kabli energetycznych i sterowniczych) i kładką od wału lub wysokiego brzegu, wzniesioną z odpowiednim zapasem ponad zwierciadło wody obliczeniowej w danym przekroju,
- wszelkie urządzenia zewnętrzne, jak czyszczarki krat, podnośniki itp., powinny zapewniać możliwość okresowego demontażu i być odpowiednio zakotwione,
- drogi, place, chodniki itp. powierzchnie w bezpośrednim otoczeniu elektrowni powinny być ubezpieczone w sposób trwały przeciwdziałający rozmyciu.

Turbiny wodne, podział i zasada działania

Turbiną wodną nazywamy silnik przetwarzający energię mechaniczną wody (energię wody płynącej) na pracę użyteczną w wirniku, w którym następuje zmiana wiru wody i wytwarzanie momentu obrotowego. W turbinach wodnych wykorzystuje się energię ciśnienia i energię prędkości.

Ze względu na zasadę działania turbiny dzieli się na:

- akcyjne (Peltona, Turgo, Banki-Michella),
- reakcyjne (Francisa, Deriaza, Kaplana).

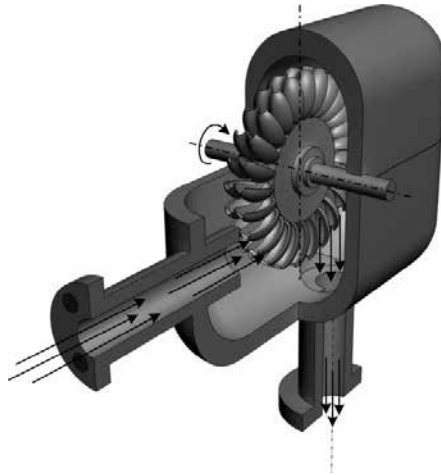
Turbiny akcyjne

W turbinach akcyjnych wykorzystywana jest energia kinetyczna wody, która w aparacie kierującym przetwarzana jest na energię prędkości. Do tego rodzaju turbin zaliczyć można turbinę Peltona.

Energia ciśnienia wody na wlocie do tej turbiny zamieniana jest w dyszy na energię prędkości strumienia wody, która następnie przenoszona jest na wirnik zbudowany z łopatek w kształcie czarek. Kierownica turbiny składa się z jednej lub kilku dysz skierowanych na łopatki wirnika, przez które wpływa woda do turbiny. Otwór wlotowy dyszy może być regulowany za pomocą iglicy osadzonej współosiowo z dyszą, co daje możliwość regulacji natężenia wpływającej wody. Turbiny Peltona stosowane są jako jedno- lub kilkuwirnikowe, osadzone na jednym wale pionowym lub poziomym.

Turbina Turgo jest podobna do turbiny Peltona, jednak jej łopatki mają inny kształt. Podobnie jak w turbinach parowych strumień wody nie uderza tylko w jedną łopatkę, ale w kil-

ka jednocześnie. Strumień cieczy uderza w wirnik pod kątem 20° , więc woda uderza łopatki z jednej strony, a wychodzi z drugiej. Jej zaletą jest to, że wielkość przepływu nie jest ograniczana przez oddziaływanie strumienia padającego z odbitym. Pozwala to na zasilanie turbiny Turgo większą ilością wody niż w przypadku turbiny Peltona i na uzyskanie większej prędkości kątowej (wtedy nie jest konieczny układ zwiększania prędkości obrotowej pomiędzy turbiną a generatorem). Przy tej samej mocy wirnik turbiny Turgo ma mniejsze rozmiary w porównaniu do wirnika turbiny Peltona. Pozwala to zmniejszyć cenę układu i zwiększyć mechaniczną niezawodność. Turbiny Turgo stosuje się przy spadach 15–300 m.

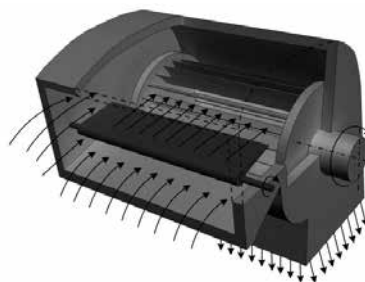


Rysunek 4. Turbina Peltona



Rysunek 5. Turbina Turgo

Cechą charakterystyczną turbiny Banki-Michella jest szeroki strumień wody o przekroju prostokątnym, przepływający dwukrotnie przez łopatki wirnika. Wirnik turbiny zasilany jest przez odpowiednio wyprofilowaną, jednołopatkową kierownicę. Regulacja turbiny możliwa jest poprzez podział wirnika i kierownicy na dwie części w proporcji $1/3$ i $2/3$ długości. Poprzez ten podział dostosowano turbiny do trzech różnych natężeń przepływu. Turbiny te są stosowane na spadach od 2 do 50 m i używa się ich w MEW.

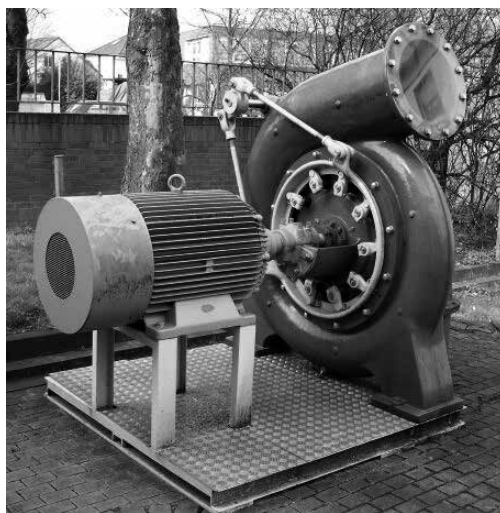


Rysunek 6. Turbina Banki-Michella

Turbiny reakcyjne

W turbinach reakcyjnych (naporowych) woda zostaje doprowadzona do wirnika pod ciśnieniem wyższym niż ciśnienie atmosferyczne (wyjątek stanowi przypadek lewarowego doprowadzenia wody). Turbiny reakcyjne wykorzystują energię ciśnienia wody oraz energię kinetyczną. W turbinie tej ciśnienie wody na wlocie zamieniane jest w kierownicy jedynie w pewnej części na prędkość. W wirniku następuje obniżenie ciśnienia oraz prędkości, związane z zamienianiem energii ciśnienia i energii kinetycznej wody na energię mechaniczną.

Turbina Francisa jest turbiną reakcyjną, co oznacza, że płyn roboczy podczas przepływu przez to urządzenie rozpręża się. Potencjalna energia płynu zostaje przekształcona w kinetyczną energię obracającego się wirnika. Turbina znajduje się między zbiornikiem płynu o wyższym ciśnieniu (wyższy poziom cieczy) i zbiornikiem zawierającym płyn o niższym ciśnieniu (niższy poziom cieczy). Źródłem różnicy ciśnień jest w przypadku hydroelektrowni siła ciężenia.



Rysunek 7. Turbina Francisa i generator

Przewód dostarczający ciecz roboczą ma kształt spirali. Poruszający się płyn przemieszcza się po coraz mniejszym promieniu, co zgodnie z zasadą zachowania momentu pędu prowadzi do wzrostu prędkości obrotowej. Podobnie dzieje się, gdy kręcący się łyżwiarz składa szeroko

rozłożone ręce, co znacznie zwiększa jego obroty. Łopatki kierujące prowadzą płyn stycznie do kierunku rotacji, wprost na łopatki wirnika. Kąt ustawienia łopatek może być regulowany — pozwala to na zapewnienie optymalnej pracy w szerokim zakresie różnicy ciśnień. Łopatki wirnika nie są ruchome.

Większe turbiny Francisza są projektowane specjalnie dla każdego miejsca, w którym zostaną zastosowane, co pozwala osiągać sprawność powyżej 90%. Są niezwykle kosztowne w produkcji i instalacji, ale zachowują sprawność przez dekady. Turbiny Francisza mogą być stosowane w elektrowniach szczytowo-pompowych, gdzie nadmiarowy prąd elektryczny wykorzystywany jest do pompowania wody. W okresie szczytu poboru mocy turbina Francisza ponownie zaczyna produkować prąd, aby zaspokoić rosnące zapotrzebowanie. W ten sposób możliwe jest zbilansowanie sieci energetycznej.

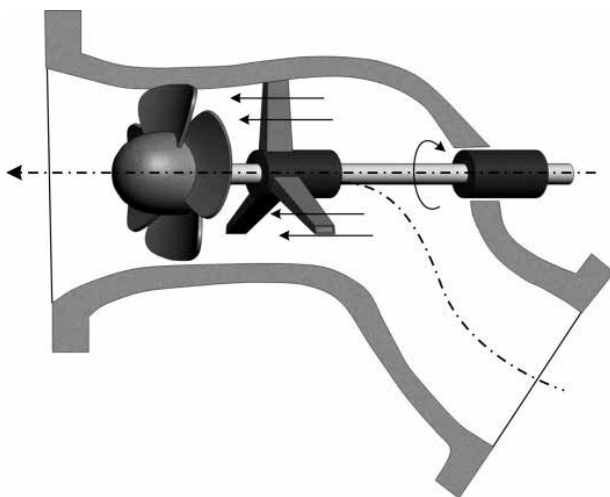


Rysunek 8. Turbina Deriaza

Wirnik turbiny Deriaza wyposażony jest w łopatki obracające się dookoła zamocowanych w piaście czopów, których osie ustawione są ukośnie do osi wirnika. Przepływ wody przez wirnik Deriaza jest promieniowo-osiowy, co wpływa na to, że dla tych samych powierzchni prądowych prędkości obwodowe na wylocie wirnika mają mniejsze wartości od prędkości obwodowych na jego wlocie. W przypadku turbin Kaplana owe prędkości są równe. Tak więc, gdy turbiny Kaplana i Deriaza zostaną zaprojektowane dla tych samych warunków, to mniejszą prędkość obwodową na wylocie wirnika będzie miała turbina Deriaza. Możliwość powstania kawitacji w turbinie jest tym mniejsza, im mniejsze są prędkości obwodowe na wylocie wirnika, stąd wynika większa odporność turbiny Deriaza na powstanie kawitacji. Wirnik Deriaza sprawia mniejsze trudności konstrukcyjne niż wirnik Kaplana przeznaczony do pracy pod wysokimi spadami. Łopatki w wirniku Kaplana mają obrotowe osie ustawione prostopadłe do osi wirnika, a w przypadku wirnika Deriaza owe osie są pochylone 30° , 45° lub 60° , więc napór hydrauliczny na pojedyncze łopatki w wirniku Kaplana jest zawsze większy niż w przypadku łopatek wirnika Deriaza. Łopatki w turbinie Deriaza mają cieńsze czopy, niż ma to miejsce w turbinie Kaplana. Turbiny Deriaza oraz Kaplana mają większe sprawności niż turbiny Francisza przy napełnieniach częściowych. W przypadku turbiny Deriaza liczba łopatek wynosi od 3 do 6 — są one zazwyczaj odlewane ze staliwa stopowego. W czasie pracy łopatki tej turbiny są przestawiane za pomocą czopa obrotowego przez siłownik regulatora hydraulicznego.

Kierownice w turbinach Deriaza mogą być ukośne lub też takie same jak w turbinach Francisa. W turbinie Deriaza oraz w turbinie Kaplana mechanizm przestawiający łopatki kierownicy jest sprzężony z mechanizmem przestawiającym łopatki wirnika. Rura ssawna w turbinie Deriaza jest taka sama jak w przypadku turbiny Francisa. W turbinie Deriaza zazwyczaj stosowane są wały pionowe, a turbiny te umieszczane są w komorach metalowych.

Turbiny Kaplana są stosowane na spadach niskie. Są to turbiny śmigłowe z nastawnymi łopatkami. Mają one bardzo dobre właściwości regulacyjne, dzięki możliwości jednoczesnego właściwego ustawienia zarówno łopatek kierowniczych, jak i wirujących, przez odpowiedni ich obrót. Dzięki temu praca turbiny może być łatwo dostosowana do zmienionych warunków (np. przy innym obciążeniu — przełyku) z zachowaniem praktycznie niezmienionych sprawności.



Rysunek 9. Turbina Kaplana

Turbiny Kaplana w układzie poziomym lub ukośnym w obudowie rurowej nazywamy turbinami rurowymi. Układ rurowy w stosunku do klasycznego umożliwia uproszczenie konstrukcji i obniżenie kosztów wykonania zarówno turbozespołu, jak i betonowego bloku elektrowni. Turbiny rurowe są stosowane przy małych spadach. Turbina jest tu często sprzęgana z prądnicą za pośrednictwem przekładni. Turbiny rurowe mogą pracować przy dwóch kierunkach przepływu oraz jako pompoturbiny. Dzięki swoim zaletom nadają się też do wykorzystania w małych elektrowniach, co nadaje im szczególne znaczenie w warunkach krajowych.

Budowle hydrologiczne

Według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie budowle hydrotechniczne to budowle wraz z urządzeniami i instalacjami technicznymi z nimi związanymi, służące gospodarce wodnej oraz kształtowaniu zasobów wodnych i korzystaniu z nich, w tym:

- zapory ziemne i betonowe,
- jazy, budowle upustowe z przelewami i spustami, przepusty wałowe i mnichy,

- śluzy żeglugowe,
- wały przeciwpowodziowe,
- siłownie i elektrownie wodne,
- ujęcia śródlądowych wód powierzchniowych, wyloty ścieków,
- czasze zbiorników wodnych wraz ze zboczami i skarpami,
- pompownie,
- kanały, sztolnie, rurociągi hydrotechniczne, syfony, lewary, akwedukty,
- budowle regulacyjne na rzekach i potokach, progi, grodzie,
- nadpoziomowe zbiorniki gromadzące substancje płynne i półpłynne,
- porty, baseny, zimowiska, pirsy, mola, pomosty, nabrzeża, bulwary,
- pochylnie i falochrony na wodach śródlądowych,
- przepławki dla ryb.



Rysunek 10. Zapora Czorsztyn-Niedzica

Budowle główne — służące kilku celom — to:

- budowle piętrzące (zapory, jazy, obwałowania),
- budowle do przesyłu wody (kanały, rurociągi, sztolnie),
- budowle regulacyjne (służące do regulacji przepływu w rzece oraz ochrony dna i brzegów przed erozją).

Rodzaje elektrowni wodnych

Ze względu na typ elektrownie wodne można podzielić na elektrownie wykorzystujące energię wód śródlądowych oraz wykorzystujące energię wód morskich. Elektrownie zlokalizowane na wodach śródlądowych podlegają dodatkowo podziałowi na:

- przepływowe,
- derywacyjne,
- regulacyjne (zbiornikowe),
- szczytowo-pompowe.

Elektrownia przepływowa

Mieści się w specjalnie skonstruowanym budynku, będącym przedłużeniem przegradzającego rzekę jazu. Jest więc zlokalizowana w korycie rzeki, której energię wykorzystuje. Elektrownie tego typu mogą pracować prawie bez przerwy, ilość produkowanej przez nie energii

zależy jednak od ilości wody przepływającej akurat w rzece, elektrownie przepływowe nie posiadają bowiem zbiornika wodnego. W Polsce największe znaczenie wśród tego typu hydroelektrowni mają niskospadowe elektrownie z zaporami ziemnymi, wyposażone w turbiny Kaplana, turbiny rurowe, bądź też — w przypadku bardzo małych mocy — w turbiny rurowe z generatorem zewnętrznym lub turbiny Banki-Michella.



Rysunek 11. Elektrownia przepływowa Chief Joseph w USA

Elektrownia derywacyjna

Elektrownie te wykorzystują kanał derywacyjny. Osiąga się w ten sposób większe spiętrzenie. Wewnątrz kanału (rurociągu) umieszczona jest turbina wodna. Elektrownie derywacyjne budowane są przeważnie na rzekach górskich, cechujących się bystrzym nurtem, a przy tym niewielkim przepływem.

Wyróżnia się następujące rodzaje elektrowni derywacyjnych:

- elektrownie z derywacją kanałową — rozwiązania z derywacją kanałową są stosowane na tych odcinkach rzeki, na których występują zakola; budowa kanału skraca naturalny bieg rzeki, pozwalając na uzyskanie większego spadku niż wynosi spiętrzenie na jazie; w skład układu technologicznego wchodzi tutaj, oprócz budynku elektrowni, kanał dopływowy górny z ujęciem wody i kanał odpływowy;
- elektrownie z derywacją ciśnieniową — układy doprowadzania wody do elektrowni z zastosowaniem rurociągów ciśnieniowych są stosowane wszędzie tam, gdzie brak jest możliwości umieszczenia wlotu na turbinę bezpośrednio za ujęciem wody z niecki wlotowej; w obiektach średnio- i wysokospadowych budynek elektrowni jest często oddalony od ujęcia wody, a prowadzenie derywacji bezciśnieniowej na całym odcinku od ujęcia wody do wlotu na turbinę jest zwykle utrudnione lub niemożliwe — wtedy derywacja ciśnieniowa stanowi dobre rozwiązanie zastępcze lub uzupełniające; podobna sytuacja występuje często na obiektach niskospadowych (z wyłączeniem spadów najniższych, dla których turbinę instaluje się bezpośrednio za ujęciem wody);
- elektrownie z derywacją mieszaną: kanałowo-rurociągową — układ elektrowni z derywacją kanałowo-rurociągową jest stosowany, gdy trasa derywacji jest bardzo długa, a warunki terenowe pozwalają na częściowe jej wykonanie w postaci tańszego niż rurociąg ciśnieniowy kanału otwartego; kanał otwarty doprowadza wodę do niecki wlotowej, skąd woda płynie rurociągiem ciśnieniowym do budynku elektrowni.

Elektrownia regulacyjna

Elektrownia regulacyjna (lub zbiornikowa) to typ elektrowni wodnej wyposażony w zbiornik gromadzący spiętrzoną za pomocą zaporę lub jazu wodę. Pozwala on zwiększyć ciśnienie i spad, zwiększając możliwą do wykorzystania energię wody. Hydroelektrownia taka jest też niezależna od chwilowego dopływu oraz pozwala w znacznym zakresie regulować ilość przepływającej przez turbiny wody, a tym samym ilość wytwarzanej energii elektrycznej. Powstały przed zaporą sztuczny zbiornik wodny pełni także istotną funkcję przeciwpowodziową. Konstrukcję taką wykorzystuje się najczęściej przy budowie większych elektrowni wodnych.

Elektrownia szczytowo-pompowa

Elektrownia ta posiada dwa zbiorniki wodne: górny i dolny. Funkcje zbiorników górnych mogą pełnić zarówno zbiorniki sztuczne, jak i naturalne, np. jeziora. Jako zbiorniki dolne wykorzystywane są zaś jeziora, spiętrzone doliny rzek, stare sztolnie kopalniane i specjalnie zbudowane zbiorniki sztuczne. W okresie małego zapotrzebowania na energię elektrownia przepompowuje wodę ze zbiornika dolnego do górnego, gromadząc w ten sposób potencjalną energię. Jest to praca pompowa (silnikowa) hydroelektrowni. Z kolei pracę turbinową (generatorową) elektrownia wodna wykonuje, gdy zapotrzebowanie na energię wzrasta. Uwalnia się wtedy wodę ze zbiornika górnego, by spływając do dolnego napędzała produkującą prąd turbinę. W ciągu doby elektrownie szczytowo-pompowe są uruchamiane 1–2 razy w cyklu pracy pompowej i turbinowej, co pozwala wyrównywać maksymalne i minimalne — czyli szczytowe — obciążenia systemu energetycznego.

Elektrownie szczytowo-pompowe są kosztowne, trudno jednak znaleźć alternatywną formę magazynowania tak dużych ilości energii. Poza tym nakłady inwestycyjne można zmniejszyć, wyposażając elektrownię w odpowiednio duży spad — im większy jest bowiem spad, tym mniejsza wymagana pojemność zbiorników. Wysokość spadu w elektrowniach szczytowo-pompowych powinna przekraczać 100 m. Elektrownie szczytowo-pompowe są magazynami energii, pełnią także istotną rolę interwencyjną w przypadkach awarii systemu elektroenergetycznego. W razie nagłego niedoboru mocy elektrownia uruchamiana jest do pracy turbinowej, jeśli zaś nagle wystąpi nadmiar mocy, zakład podejmuje pracę pompową.

W Polsce na elektrownie szczytowo-pompowe przypada najwięcej, bo około 1350 MW mocy zainstalowanej, spośród około 2100 MW posiadanych ogółem przez elektrownie wodne. Najbardziej znane polskie elektrownie szczytowo-pompowe to Żarnowiec, Porąbka-Żar i Żydowo.

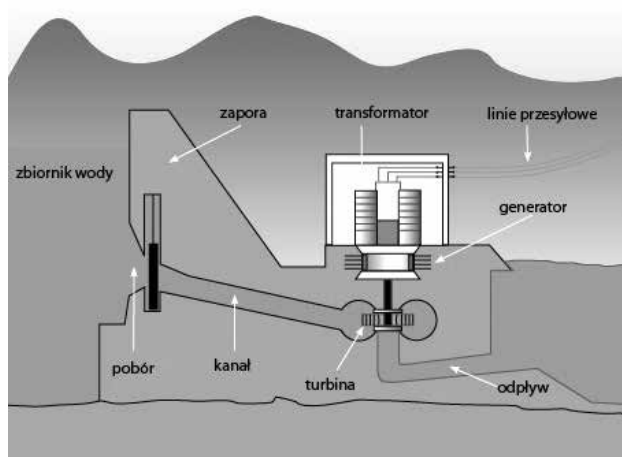


Rysunek 12. Elektrownia szczytowo-pompowa Porąbka-Żar

Pozostałe typy elektrowni wodnych zlokalizowane są na otwartych wodach i wykorzystują pływ i falowanie.

Budowa i zasada działania elektrowni wodnych

Podstawowym sposobem wykorzystania mocy siłowni wodnych jest produkcja energii elektrycznej. Siłownia wodna produkująca energię elektryczną nazywa się elektrownią wodną. Jej zasadnicze wyposażenie to, obok turbin wodnych, generatory elektryczne i transformatory połączone z siecią elektroenergetyczną.



Rysunek 13. Budowa elektrowni wodnej

Zapora

Zapora nie jest niezbędna we wszystkich rodzajach hydroelektrowni, większość elektrowni wodnych jednak ją posiada. Ta przegradzająca dolinę rzeki i spiętrzająca jej wody budowla może zostać wzniesiona w rozmaitych celach: dla utworzenia zbiornika rekreacyjnego, stawu hodowlanego, zbiornika przeciwpowodziowego, po to by zapewnić zaopatrzenie w wodę lub nawadniać uprawy. Wiele zapór miało służyć innym celom niż produkcja elektryczności, a elektrownie wodne dobudowano do nich dopiero później. Przykładem może być 80 tys. zapór w Stanach Zjednoczonych, spośród których tylko 2400 służy produkcji energii elektrycznej. Buduje się zapory ziemne, betonowe i — najrzadziej — kamienne. W Polsce najbardziej rozpowszechnione są zapory betonowe. Część zapory stanowią regulujące przepływ wody przelewy, umożliwiające żeglugę śluzy, przepusty, pozwalające przepływać tratwom, oraz przepławki, dzięki którym ryby mogą wędrować w górę rzeki. W Polsce istnieje obecnie ponad 30 zapór o wysokości przekraczającej 200 m. Jednak ponieważ wysokie zapory mają niekorzystny wpływ na środowisko, coraz częściej rezygnuje się z nich na rzecz zapór mniejszych.

Generator

Turbina wodna zamienia energię kinetyczną na mechaniczną, a połączony z turbiną generator z energii mechanicznej wytwarza — czyli generuje — energię elektryczną. Praca generatora, zwanego także prądnicą, opiera się na prawie indukcji elektromagnetycznej odkrytym w 1831 r. przez brytyjskiego uczonego Michaela Faradaya, który zaobserwował, że przez poruszający się w obrębie pola elektromagnetycznego przewodnik elektryczny — na przykład miedziany drut — zaczyna przepływać prąd. Tak jest też w generatorze, w którego ruchomej części, zwanej wirnikiem, znajdują się przewody elektryczne obracające się na wytwarzającej silne pole elektromagnetyczne żelaznej ramie. Wirnik jest wprawiany w ruch przy pomocy turbiny poruszającej się z kolei dzięki energii kinetycznej spadającej wody.

Rodzaje generatorów:

- generatory synchroniczne — są one wyposażone w wirujący lub statyczny układ wzbudzenia na prąd stały lub magnesy trwałe, połączony z regulatorem napięcia sterującym napięciem wyjściowym zanim generator zostanie podłączony do sieci; są źródłem mocy biernej wymaganej przez sieć; generatory synchroniczne mogą pracować na sieć wydzieloną, gdyż ich wzbudzenie nie musi zależeć od sieci; w przypadku wzbudzenia statycznego uruchomienie hydrozespołu wymaga dodatkowego źródła zasilania (np. agregatu prądotwórczego);
- generatory asynchroniczne — to zwykle klatkowe silniki indukcyjne bez możliwości regulacji napięcia, pracujące z szybkością obrotową związaną z częstotliwością sieci elektroenergetycznej; prąd wzbudzenia pobierają z sieci, zużywając energię bierną, niezbędną do wytworzenia wirującego pola magnetycznego; jest to powód, dla którego z reguły konieczne jest dołączenie baterii kondensatorów pozwalającej na kompensację pobieranej mocy biernej; generatory asynchroniczne nie mogą pracować na sieć wydzieloną, ponieważ nie są w stanie zapewnić sobie odpowiedniego prądu wzbudzenia, niemniej są wykorzystywane w bardzo małych instalacjach autonomicznych jako najtańsze rozwiązania, gdy nie stawia się wysokich wymagań dotyczących parametrów dostarczanej energii elektrycznej; chociaż tradycyjnie uważa się, że przy mocy poniżej 1 MW generatory synchroniczne są droższe od generatorów asynchronicznych, to obecnie granica ta ulega przesunięciu w kierunku niższych wartości.

Linie przesyłowe

Energię elektryczną, która została wyprodukowana w elektrowni wodnej, linie przesyłowe transmitują na miejsce odbioru. Elektryczność nie trafia bezpośrednio do domów i zakładów pracy z miejsca produkcji, ponieważ prąd ma niekiedy zbyt niskie napięcie, by można go było efektywnie przesyłać na dalekie dystanse. Podczas transmisji część energii elektrycznej przekształca się w ciepło i jest tym samym tracona, straty są zaś tym większe, im większy jest ładunek elektryczny prądu. By zminimalizować straty energii, elektryczność kieruje się najpierw do stacji transformatorów, które odpowiednio zwiększają jej napięcie.

Ponieważ moc jest wynikiem pomnożenia napięcia przez ładunek elektryczny (a straty energii związane są właśnie z ładunkiem) opłaca się transmitować prąd o niższym ładunku i o wyższym napięciu. Taki prąd nie nadaje się jednak do użytku i dlatego nim zostanie rozdysponowany jego napięcie musi zostać odpowiednio obniżone w stacjach przekąźnikowych.

Małe elektrownie wodne

Mała elektrownia wodna (MEW) to elektrownia wodna o mocy zainstalowanej poniżej 5 MW. To kryterium stosuje się w Polsce oraz w niektórych krajach Europy Zachodniej. W większości państw Unii Europejskiej do małych elektrowni zalicza się te o mocy do 10 MW, poza krajami skandynawskimi, Szwajcarią i Włochami, gdzie za „małe” uznaje się elektrownie do 2 MW.

MWE wykorzystują środowisko przyrodnicze, stąd mają licznych zwolenników. Uznawane są za odnawialne źródła energii, a ich właściciele uzyskują certyfikat wytworzenia tzw. zielonej energii. Towarzyszące elektrowni wodnej urządzenia hydrotechniczne oraz sama elektrownia wpływają zarówno korzystnie, jak i niekorzystnie na bilans hydrologiczny i geomorfologiczny okolicy oraz biocenozę rzeki.

Systemy wykorzystujące energię fal, prądów morskich i pływów

Elektrownia wykorzystująca pływ morskie

To elektrownia wodna wykorzystująca do produkcji energii elektrycznej przypływy i odpływy morza bądź oceanu, spowodowane przyciąganiem grawitacyjnym Księżyca i — w mniejszym stopniu — Słońca oraz ruchem obrotowym Ziemi. Aby wykorzystać energię pływów, ujścia rzek przegradza się zaporami wyposażonymi w turbiny poruszane przez wodę wpływającą w czasie przypływu do zbiornika, a w czasie odpływu wypływającą (uwalnianą) z niego z powrotem do morza.

Na angielskim, francuskim i hiszpańskim wybrzeżu Oceanu Atlantyckiego energię pływów wykorzystywano już w XI wieku, gdy zmagazynowana za niewielkimi zaporami woda służyła do napędzania kół wodnych mielących ziarna. Pierwsza i zarazem największa elektrownia pływowa świata została uruchomiona w 1966 r. we Francji przy ujściu rzeki La Rance do kanału La Manche, w miejscu, gdzie maksymalna amplituda pływów wynosi 13,5 m, a minimalna 5 m i gdzie młyny wodne pracowały już od XII wieku. Ten osiągający 100% mocy przy spadzie wynoszącym 6 m zakład wyposażony jest w 24 turbiny wodne o mocy 10 MW każda, dysponuje więc mocą zainstalowaną 240 MW — wystarczająco dużą, by zaopatrzyć w energię 240 000 domów. Drugą co do wielkości na świecie elektrownią pływową jest zakład w Annapolis w Kanadzie, posiadający 17 MW mocy zainstalowanej.

Energię pływów można wykorzystywać tylko w około 20 rejonach świata, w niektórych miejscach jednak jej zasoby są całkiem spore: na przykład Wielka Brytania, wykorzystując energię pływów, mogłaby pokryć około 20% swoich potrzeb energetycznych. Zaletą elektrowni pływowych jest także stuletni okres eksploatacji. Poza krajami wymienionymi wcześniej elektrownie pływowe posiadają też Chiny, Rosja i Wielka Brytania, a ich uruchomienie planują Korea Południowa i Indie. W Polsce wykorzystanie energii pływów nie jest możliwe.

Elektrownie wykorzystujące energię fal morskich

Produkcja energii elektrycznej przy użyciu tego źródła nie należy do najłatwiejszych. Zasoby oceniane są na bardzo wysokie, jednakże zmienność wysokości fal (czynnik zależny od warunków pogodowych) czy też niekorzystne działanie słonej wody znacząco utrudnia produkcję energii elektrycznej w ten sposób. Jednym ze sposobów wykorzystania fal morskich są tzw. tratwy i kaczki. „Tratwy” są to trzyczęściowe elementy połączone zawiasami, które poruszają się, wykorzystując pionowy ruch fal. Na skutek ruchu urządzeń napędzane są tłoki pompy zlokalizowane w środkowych częściach urządzenia. „Kaczki” wykorzystują poziome ruchy wody

morskiej. Łańcuchy „kaczek” umocowane są na długich prętach poruszających się na falach, wprowadzając w ruch tłoki pomp. Urządzenia wykorzystywane w tym rozwiązaniu cechuje stosunkowo niewielka moc, więc stosuje się je np. do oświetlania boi.

Energia kinetyczna prądów morskich

Moc prądów morskich jest oceniana na 7 TW (to prawie dwa razy więcej niż moc możliwa do otrzymania ze spadku wód śródlądowych). Jednak jej wykorzystanie jest bliskie zeru z powodu problemów technicznych i obawy przed zaburzeniem naturalnej równowagi. Wielu badaczy uważa, że prądy morskie mają fundamentalne znaczenie dla klimatu i uszczuplenie ich energii, choćby niewielkie, mogłoby doprowadzić do nieobliczalnych zmian klimatycznych. Przykładowa elektrownia wykorzystująca prądy morskie to elektrownia spadochronowa Stillmana.

Urządzenia do pomiaru, sterowania i regulacji systemów wodnych

W związku z zagrożeniem występującym w przypadku gwałtownego przyboru wód w warunkach górskich, niezbędne jest zapewnienie automatycznego sterowania zamknięciami progów i pracą elektrowni oraz wzajemne ich powiązanie.

Ponadto dla kontroli stanu technicznego stopnia w elektrowni konieczne jest zamontowanie obok urządzeń sterowania i automatyki poniższych urządzeń kontrolno-pomiarowych:

- zdublowanych czujników poziomów wody na górnym i dolnym stanowisku,
- łat wodowskazowych na górnym i dolnym stanowisku,
- reperów powierzchniowych na głównych obiektach progów i elektrowni.

Przykład

Aquarius — System automatyki i nadzoru technologicznego dla elektrowni wodnych

System automatyki i nadzoru technologicznego Aquarius zaprojektowany został specjalnie na potrzeby monitoringu i sterowania elektrowni wodnych. Ideą było stworzenie systemu będącego w stanie spełnić wymagania w zakresie monitorowania oraz analizy i sterowania, a zatem wymagania stawiane przez operatorów, kadrę kierowniczą i warstwę zarządzania.

Automatyka i sterowanie

Głównym zadaniem elektrowni wodnej, tak jak każdej innej elektrowni, jest produkcja i sprzedaż energii elektrycznej, jednakże w elektrowni wodnej podporządkowane jest to gospodarce wodnej. Konieczność regulacji stanu wody narzuca specyficzne wymagania dotyczące pracy elektrowni. Wymagania te wprost przenoszone są na układ nadzoru technologicznego, który musi zapewnić integrację i współpracę urządzeń odpowiedzialnych za właściwą realizację wymienionych zadań.

Wzbudzenie i synchronizacja

Układy wzbudzenia i synchronizacji są zintegrowane z systemem automatyki i nadzoru technologicznego. Pozwala to na bardzo prostą, a co za tym idzie szybką analizę pracy tych układów. Dane diagnostyczne przesyłane są do systemu za pomocą łączy szeregowych, nie ma więc potrzeby, aby obsługa elektrowni sprawdzała działanie urządzenia w miejscu jego zainstalowania, zwykle poza nastawnią. Wszystkie informacje znajdują się bowiem na monitorze operatora.

Zabezpieczenia elektryczne

System nadzoru wyposażony jest również w moduł do integracji systemu zabezpieczeń elektrycznych, umożliwiający czytanie z zabezpieczeń wszystkich dostępnych danych dotyczących pomiarów oraz sygnałów świadczących o pobudzeniu czy zadziałaniu zabezpieczenia. Dodatkowo możliwe jest także prowadzenie rejestracji zabezpieczeń.

Monitoring i diagnostyka

Każdy sygnał analogowy posiada swoją stacyjkę, na której przedstawiona jest reprezentacja jego wartości w postaci numerycznej i graficznej, oraz wykres wartości w określonym horyzoncie czasu. Dodatkowo do stacyjki podpięta jest maska diagnostyki, na której znajdują się informacje dotyczące toru pomiarowego, numery zacisków, lokalizacja przetworników, numery wejść oraz oznaczenia bezpieczników. Oprócz powyższych Aquarius umożliwia tworzenie zestawów rejestrowanych wartości wielkości pomiarowych w celu ich porównania.

Regulatory turbin

System Aquarius stanowi nadrzędną warstwę sterowania w stosunku do regulatora turbiny. W zależności od trybu wypracowuje on wartości zadane obrotów, mocy itd.

Układy zasilania

System Aquarius przygotowany jest również do współpracy z urządzeniami awaryjnego zasilania obiektów w celu zapewnienia ich bezpieczeństwa i niezawodności.

Systemy wiatrowe

Energetyka wiatrowa to jedna z najbardziej dynamicznie rozwijających się energetyk odnawialnych. Wzrost inwestycji w odnawialne źródła energii na świecie umożliwia różnicowanie struktury energetycznej w poszczególnych państwach, co z kolei umożliwia zmniejszenie zależności importowej od tradycyjnych surowców energetycznych (gaz, węgiel i ropa naftowa). Do niezaprzeczalnych zalet rozwoju pozyskiwania energii z OZE należy zaliczyć znikomą szkodliwość dla środowiska naturalnego. Odnawialne źródła energii, w tym energia pochodząca z wiatru, dobrze wpisują się w cele polityki energetycznej w zakresie ochrony środowiska i rozwoju zrównoważonego. Warto zauważyć, iż dynamicznie rozwijająca się technologia OZE powoduje, że moc elektrowni wiatrowych oraz wielkość urządzeń wyraźnie wzrasta. Należy również odnotować, że od 2001 do 2010 r. mogliśmy zaobserwować stały wzrost pozyskiwania energii wiatru do produkcji energii elektrycznej — z 13,8 GWh do 1664,5 GWh.

Według danych Urzędu Regulacji Energetyki na koniec września 2013 r. na terenie kraju działa 795 instalacji wiatrowych o łącznej mocy 3082 MW. W większości są to duże farmy zlokalizowane w północno-zachodniej części kraju. Wśród najważniejszych można wymienić następujące projekty:

- Jagniątkowo (EPA, 30,6 MW),
- Jeleniewo (RWE, 41 MW),
- Kamieńsk (PGE, 30 MW),
- Karcino (Dong, 76,5 MW),
- Karścino (Iberdrola, 69 MW),
- Kisielice (Iberdrola, 40,5 MW),
- Łosino (J-Power, Mitsui, 48 MW),

- Puck (PEP, 22 MW),
- Suwałki (RWE, 41,4 MW),
- Tochowo (RP Global, 50 MW),
- Tymień (EEZ, 50 MW),
- Zagórze (Vattenfall, 30 MW),
- Zajączkowo i Widzino (Mitsui, J-Power, 90 MW).

Liderem wśród farm wiatrowych zlokalizowanych na obszarze Polski jest województwo zachodniopomorskie (836,9 MW), kolejne miejsca zajmują województwa pomorskie (312,2 MW) i kujawsko-pomorskie (296,1 MW). Wynika to z naturalnych warunków przyrodniczych sprzyjających elektrowniom w pasie nadmorskim i regionie centralnym. Ponadto szybkiemu rozwojowi w tych regionach sprzyja doświadczenie zdobyte przez wszystkie kooperujące strony procesu inwestycyjnego.

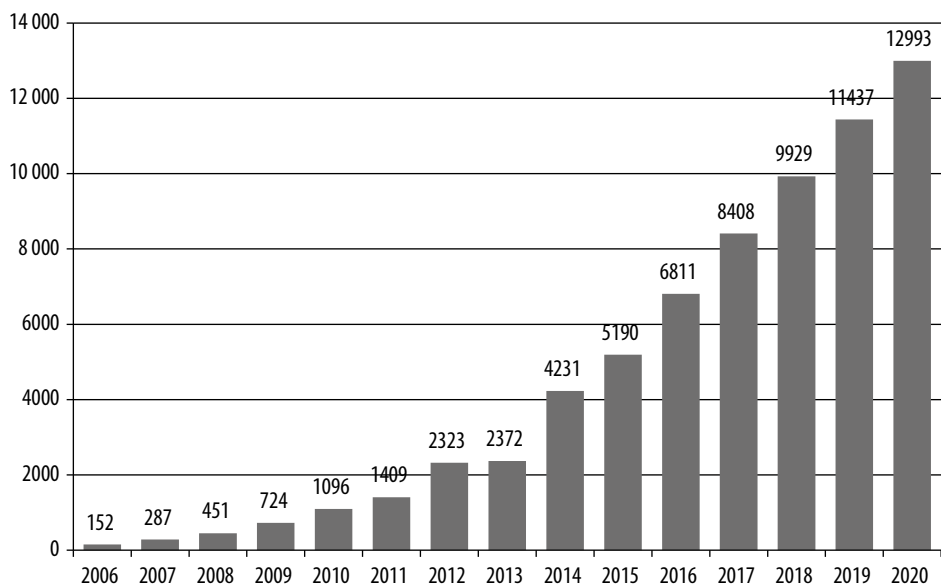
Tabela 3. Liczba instalacji i moc farm wiatrowych w Polsce (stan na 30.06.2013 r.)

Region	Liczba instalacji	Moc (MW)
Woj. zachodniopomorskie	49	836,9
Woj. pomorskie	31	312,2
Woj. kujawsko-pomorskie	215	296,1
Woj. wielkopolskie	114	291,5
Woj. łódzkie	162	277,7
Woj. warmińsko-mazurskie	23	209,5
Woj. mazowieckie	62	142,7
Woj. podlaskie	19	120,4
Woj. opolskie	5	84,2
Woj. podkarpackie	25	82,5
Woj. dolnośląskie	7	74,3
Woj. lubuskie	7	56,6
Woj. śląskie	16	11,6
Woj. świętokrzyskie	14	6,1
Woj. małopolskie	11	3,0
Woj. lubelskie	5	2,2

Rysunek 14 prezentuje zainstalowane do tej pory, a także programowane w Polsce moce wytwórcze według Polskiego Stowarzyszenia Energetyki Wiatrowej.

Zakłada się, że energetyka wiatrowa w Polsce nadal będzie prężnie rozwijać się, co ponieważ związane jest z koniecznością wypełnienia zobowiązań, jakie nałożone zostały przez tzw. pakiet energetyczno-klimatyczny. Jedyną niewiadomą jest to, jak będzie wyglądała dynamika rozwoju energetyki wiatrowej w okresie po 2020 r. Czynniki, które będą miały na to wpływ, są niewątpliwie:

- rozwiązania prawne w Unii Europejskiej,
- poprawa infrastruktury przesyłowej, tak by możliwe było przyjęcie większej ilości energii, która pochodzić będzie ze źródeł rozproszonych,
- utrzymujący się popyt na energię elektryczną,
- wzrost cen nieodnawialnych surowców energetycznych, takich jak węgiel, gaz, ropa,
- poparcie polityków i „klimat” wokół OZE.



Rysunek 14. Zainstalowane i programowane w Polsce moce wytwórcze [MW] — prognoza PSEW

Ogromną rolę w rozwoju odnawialnych źródeł energii, w tym także energetyki wiatrowej, będzie odgrywać wsparcie, jakiego będzie w stanie udzielić państwo polskie dla prac badawczych i rozwojowych w zakresie działania sieci przesyłowych w warunkach rozwoju źródeł rozproszonych, także w zakresie prac nad własnymi technologiami OZE. Wsparcie finansowe dla odpowiednich placówek badawczo-rozwojowych i specjalistycznej kadry (podmioty gospodarcze, uniwersytety) jest niezbędne, aby rozwój sektora energetyki wiatrowej w Polsce był możliwy.

Bibliografia

- Chochwiski A., *Energetyka wiatrowa*, [w:] F. Krawiec (red.), *Odnawialne źródła energii w świetle globalnego kryzysu energetycznego. Wybrane problemy*, Difin, Warszawa 2010.
- Korczak A., Rduch J., *Energetyka wodna w Polsce, stan aktualny i perspektywy rozwoju*, [w:] M. Dudzińska, L. Pawłowski (red.), *Polska Inżynieria Środowiska pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej*, „Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN”, nr 60, t. 3, Lublin 2009.
- Encyklopedia Geografia*, wydawnictwo GREG, Kraków 2007.
- Energetyka wiatrowa w Polsce 2013 — Raport*, www.paiz.gov.pl/files/?id_plik=21375.
- Gielnik A., Rosicki R., *Energetyka wiatrowa w Polsce — możliwości rozwoju i zagrożenia*, <https://repozytorium.amu.edu.pl/jspui/bitstream/10593/6064/1/Energetyka%20wiatrowa%20w%20Polsce%20%E2%80%93%20mo%C5%B4liwo%C5%9Bci%20rozwoju%20i%20zagro%C5%BCenia.pdf>.
- <http://elektrowniewodne.freehost.pl/images/elektrownie.png>.
- <http://elektrowniewodne.weebly.com/elektrownie-przep322ywowe.html>.
- <http://energetykon.pl/elektrownia-porabka-zar,893.html>.
- http://energiaodnawialna.net/index.php?option=com_content&view=article&id=46&Itemid=27.
- <http://ioze.pl/energetyka-wodna/energetyka-wodna-na-swiecie>.
- <http://ioze.pl/energetyka-wodna/generatory>.

- <http://ioze.pl/energetyka-wodna/klasyfikacja-malych-elektrowni-wodnych>.
- <http://ioze.pl/energetyka-wodna/turbiny-wodne>.
- http://pl.wikipedia.org/wiki/Cykl_hydrologiczny.
- http://pl.wikipedia.org/wiki/Elektrownia_regulacyjna.
- http://pl.wikipedia.org/wiki/Energia_pr%C4%85d%C3%B3w_morskich,_p%C5%82yw%C3%B3w_i_falowania.
- http://pl.wikipedia.org/wiki/Jezioro_Czorszty%C5%84skie.
- http://pl.wikipedia.org/wiki/Ma%C5%82a_elektrownia_wodna.
- http://pl.wikipedia.org/wiki/Turbina_Francisa.
- <http://trmew.pl/index.php?id=91>.
- <http://www.biomasa.org/index.php?d=artykul&kat=31&art=24>.
- <http://www.biomasa.org/index.php?d=artykul&kat=32&art=25>.
- <http://www.drugistopiennawisle.pl/>.
- <http://www.edukator.pl/Krazenie-wody-w-przyrodzie,51.html>.
- <http://www.edukator.pl/Krazenie-wody-w-przyrodzie,5863.html>.
- <http://www.energotest.com.pl/oferta/systemy/system-automatyki-i-nadzoru-technologicznego-elektrowni-wodnych-aquarius/>.
- <http://www.infometeo.republika.pl/woda.html>.
- http://www.mechanik.piwko.pl/turb_wodne/turb_wodne.html.
- <http://www.oze.pl/energia-wodna/energia-wodna,7.html>.
- <http://www.praze.pl/?a=static&l=pl&id=26>.
- <http://www.uwm.edu.pl/kolektory/energia-wody/hhydroenergetyki.html>.
- <http://www.uwm.edu.pl/kolektory/turbiny-wodne/>.
- http://www.uwm.edu.pl/kolektory/turbiny-wodne/turbiny_banki_michella.html.
- http://www.zielonaenergia.eco.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=204:rodzaje-turbin-wodnych-&catid=45:woda&Itemid=206.
- http://www.zielonaenergia.eco.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=203:budowa-i-rodzaje-elektrowni-wodnych-&catid=45:woda&Itemid=206.
- Warać K. Wójcik R., Kołacki M., *Elektrownie wodne. Ich funkcjonowanie i oddziaływanie na najbliższe środowisko*, Słupsk 2010 http://www.gumieny.edu.pl/projekty/energia_odnawialna/elektrownie%20wodne.pdf.
- Kryteria opiniowania przedsięwzięć w zakresie małej energetyki wodnej*, http://hydroprofil.pl/kryteria_opiniowania.pdf.
- Polityka energetyczna Gminy Miasta Sopotu*, www.bip.sopot.pl/file.php?attachment=149876.
- Potencjał hydroenergetyczny*, <http://www.szanej-energie.pl/files/file/Potencja%C5%82%20hydroenergetyczny.pdf>.
- Projektowanie hydrotechnicznych obiektów inżynierskich*, http://pracownicy.uwm.edu.pl/i.dyka/hydro_pliki/PBH-Wyklad-1.pdf.
- Raport Energetyka Wiatrowa w Polsce 2010*, www.paiz.gov.pl/files/?id_plik=14293.
- Leszczyński T.Z., *Hydroenergetyka w UE*, „Biuletyn Urzędu Regulacji Energetyki” 2009, nr 6, s. 12.
- Towarzystwo Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych*, Poleko, Poznań 2010, <http://czysta-energia.abrys.pl/wp-content/uploads/sites/4/files/poleko/2010/38.pdf>.
- Dane URE.

