

OSIEDLE 2020

**Koncepcja proekologicznego
budownictwa energooszczędnego
w ujęciu zintegrowanego procesu
projektowego, uwzględniająca
innovacyjne rozwiązania pozyskiwania
energii ze źródeł odnawialnych**

Centrum Badań i Innowacji
PRO-AKADEMIA



PAN

POLSKA AKADEMIA NAUK



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Łódzkie

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Publikacja powstała w ramach projektu „Bioenergia dla Regionu – Zintegrowany Program Rozwoju Doktorantów”
Projekt i publikacja współfinansowane ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
Publikacja bezpłatna
Łódź 2012

RECENZENCI: prof. dr hab. inż. **Jerzy S. Zieliński**, dr inż. **Grzegorz Górecki**, dr inż. **Dariusz Heim**,
dr inż. **Maciej Sibiński**

AUTORZY: mgr inż. **Lukasz Adrian**, Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny
mgr inż. **Marta R. Jabłońska** (koordynator prac), Uniwersytet Łódzki, Wydział Zarządzania
mgr inż. **Marcin Janicki**, Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa, Architektury
i Inżynierii Środowiska
mgr inż. **Andrzej Klimek**, Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa, Architektury
i Inżynierii Środowiska
mgr inż. **Natalia Szubska-Włodarczyk**, Uniwersytet Łódzki, Wydział Ekonomiczno-
-Socjologiczny
mgr inż. **Justyna Pawlak**, Politechnika Łódzka, Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności
mgr inż. **Piotr Popławski**, Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny
mgr inż. **Eliza Tkacz**, Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny
mgr inż. **Katarzyna Znajdek**, Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki,
Informatyki i Automatyki

OPRACOWANIE REDAKCYJNE: **Joanna Balcerak**

© Copyright by Centrum Badań i Innowacji Pro-Akademia, 2012
© Copyright for this edition by Oddział Polskiej Akademii Nauk w Łodzi, 2012

Pro-Akademia ISBN 978-83-63704-02-5
PAN ISBN 978-83-86492-65-7

Spis treści

1. Wprowadzenie (<i>Eliza Tkacz, Marta R. Jabłońska</i>)	7
2. Zrównoważona architektura osiedli w teorii i praktyce (<i>Andrzej Klimek</i>)	9
2.1. Wprowadzenie: historia budowy nowoczesnych osiedli ekologicznych	9
2.2. Rozwiązania zastosowane w projekcie „Osiedle 2020”	11
2.3. Opis funkcjonowania poszczególnych budynków	15
3. Zrównoważone budownictwo jako implementacja koncepcji zrównoważonego rozwoju (<i>Natalia Szubska-Włodarczyk</i>)	28
3.1. Wprowadzenie	28
3.2. Uwarunkowania rozwoju zrównoważonego budownictwa	28
3.3. Ekologiczne uwarunkowania rozwoju budownictwa zrównoważonego	31
3.4. Obligatoryjne uwarunkowania rozwoju zrównoważonego budownictwa	34
3.5. Ocena cyklu życia produktu jako narzędzie warunkujące rozwój zrównoważonego budownictwa	39
3.6. Wskaźniki budownictwa zrównoważonego	41
3.7. Podsumowanie	43
4. Charakterystyka energetyczna budynku energooszczędnego „Dom 2020” jako element oceny środowiskowej obiektu (<i>Marcin Janicki</i>)	46
4.1. Zintegrowany proces projektowy – przyszłość rozwoju zrównoważonego w budownictwie	46
4.2. Ocena środowiskowa budynku „Dom 2020” na podstawie opracowywanej krajowej metodologii E-AUDYT	56
4.2.1. R. Zużycie zasobów	57
4.2.2. L. Obciążenie środowiska	59
4.2.3. Q. Jakość środowiska wewnętrznego	60
4.3. Charakterystyka energetyczna budynku „Dom 2020” sporządzona według krajowej metodologii certyfikacji zgodnie z rozporządzeniem krajowym	63
5. Kogeneracyjny system centralnego ogrzewania, ciepłej wody użytkowej oraz system przeciwoblodzeniowy chodników (<i>Lukasz Adrian</i>)	71
5.1. Kogeneracyjny system centralnego ogrzewania i chłodzenia oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej	71
5.2. Pasywny system przeciwoblodzeniowy chodników	76

6.	Kogeneracyjny system klimatyzacji i wentylacji z odzyskiem ciepła (<i>Łukasz Adrian</i>)	78
6.1.	Systemy klimatyzacji i wentylacji z odzyskiem ciepła	78
6.2.	System wentylacji z odzyskiem ciepła oraz system klimatyzacji z absorpcyjnym urządzeniem chłodniczym na przykładzie projektowanego osiedla	79
7.	Kogeneracja rozproszona oparta na biomasie (<i>Eliza Tkacz</i>).....	88
7.1.	Wprowadzenie	88
7.1.1.	Kogeneracja rozproszona i odnawialne źródła energii	90
7.1.2.	Przyszłość mikroenergetyki	91
7.2.	Opis procesów wytwarzania energii elektrycznej w kogeneracji	94
7.2.1.	Organiczny obieg Rankine'a.....	94
7.2.2.	Czynnik organiczny	95
7.3.	Projektowanie obiegu mikrośilowni ORC.....	98
7.3.1.	Sprawność ogólna siłowni.....	99
8.	Nowoczesny system zintegrowany z mikrośilownią ORC pracujący na potrzeby osiedla domów ekologicznych (<i>Eliza Tkacz</i>).....	102
8.1.	Wymagania techniczne dla urządzeń mikrośilowni kogeneracyjnej na przykładzie projektu osiedla domów nisko energochłonnych.....	102
8.1.1.	Model teoretyczny instalacji mikrośilowni	103
8.1.2.	Zintegrowanie hybrydowego systemu solarnego z obiegiem ORC.....	106
8.2.	Mikroturbogenerator.....	107
8.2.1.	Technologia łożysk gazowych.....	108
8.2.2.	Łożyska aerostatyczne.....	109
8.2.3.	Foliowe łożyska aerodynamiczne	110
8.2.4.	Dynamika turbogeneratora.....	113
8.2.5.	Prototypy turbogeneratora	117
8.3.	Inne maszyny i urządzenia	118
8.3.1.	Nagrzewnica powietrza z palnikiem na pellet z podajnikiem retortowym	118
8.3.2.	Wymienniki.....	120
8.3.3.	Pompa.....	124
8.3.4.	Konwersja energii elektrycznej i system automatyzacji.....	124
8.4.	Podsumowanie i propozycje dalszych badań.....	127
9.	Pozyskiwanie energii elektrycznej i ciepłej ze Słońca (<i>Katarzyna Znajdek</i>).....	129
9.1.	Fotowoltaika zintegrowana z budownictwem (BIPV).....	134
9.2.	Zastosowanie kolektorów słonecznych	136
9.3.	Eksperymentalny hybrydowy system solarny	140
9.3.1.	Koncepcja projektowa	142
9.3.2.	Konstrukcje prototypowe.....	143

9.4. Rozwiązania zastosowane w projekcie osiedla.....	154
9.4.1. Potencjał energii słonecznej na terenie Polski	154
9.4.2. Hybrydowa mikroelektrownia słoneczna.....	158
9.4.3. Implementacja systemu BIPV.....	163
10. Połączenie elektryczne i zastosowanie turbin wiatrowych w projekcie osiedla (<i>Piotr Poptawski</i>).....	168
10.1. Wprowadzenie	168
10.2. Moc produkowana a zapotrzebowanie na energię	169
10.3. Schemat elektryczny	169
10.4. Energetyka wiatrowa.....	172
10.5. „Turbinofobia”	179
10.6. Założenia, parametry techniczne.....	182
10.7. Savonius	185
10.8. Podsumowanie.....	186
11. Racjonalne gospodarowanie wodą (<i>Justyna Pawlak</i>).....	188
12. Informatyczny system zarządzania budynkiem (<i>Marta R. Jabłońska</i>).....	192
12.1. Rola informatyki w budownictwie energooszczędnym	192
12.2. Zakres projektowanego systemu	197
12.3. Wymagania funkcjonalne	199
12.3.1. Inicjalizacja systemu.....	200
12.4. Obsługa kont użytkownika	202
12.4.1. Logowanie do systemu przez Internet.....	202
12.4.2. Odblokowanie konta użytkownika	204
12.5. Zarządzanie odbiorami.....	205
12.5.1. Uruchamianie odbiorów – sprzęt „inteligentny”	205
12.5.2. Uruchamianie odbiorów – sprzęt tradycyjny	205
12.5.3. Budowa harmonogramu.....	206
12.5.4. Wykonywanie harmonogramu.....	207
12.5.5. Dodawanie nowego odbioru do systemowej bazy danych – sprzęt „inteligentny”	209
12.5.6. Dodawanie nowego odbioru do systemowej bazy danych – sprzęt tradycyjny.....	210
12.5.7. Usuwanie informacji o odbiorze z systemowej bazy danych	210
12.5.8. Informowanie o sytuacjach alarmowych	210
12.6. Zarządzanie instalacjami.....	211
12.6.1. Zbiornik na deszczówkę	211
12.6.2. Obieg glikolu do chłodzenia ogniwa fotowoltaicznego.	212
12.6.3. Rolety okienne	212
12.6.4. Rekuperator.....	212
12.6.5. Instalacja CO.....	213
12.6.6. Instalacja CWU	213

12.6.7. Instalacja podgrzewania powierzchni chodnika i podjazdu	213
12.6.8. Turbina wiatrowa.....	213
12.6.9. Czujniki monitorujące podstawowe parametry w budynku oraz kamery	214
12.7. Obsługa pojazdu elektrycznego	214
12.8. Optymalizacja zużycia energii elektrycznej.....	219
12.9. Wymagania niefunkcjonalne	224
12.10. Podsumowanie	225

Jak Pierwsza Rewolucja oplotła Europę infrastrukturą kolei żelaznej, a Druga siecią dróg i kabli, tak Trzecia musi stworzyć przypominającą Internet sieć łączącą miliony małych źródeł odnawialnej energii elektrycznej. [...] Internet – nowy środek komunikacji – objął większość ludzkości tworząc nowe potęgi oparte na zintegrowanych możliwościach milionów uczestników. Trzeba tę logikę przenieść do energetyki. [...] Trzecia Rewolucja to bezlik małych źródeł energii z wiatru, słońca, wody, geotermii, pomp ciepła, biomasy. Każdy kraj świata może się dzięki nim stać energetycznie samowystarczalny, jeśli te rozproszone źródła zostaną połączone i będą się uzupełniały w obrębie kontynentalnych sieci.

Jeremy Rifkin, amerykański ekonomista i politolog
Fragment wywiadu dla „Polityki”, 14.12–20.12.2011, nr 51 (2838)

1. Wprowadzenie

Pozyskiwanie oraz wykorzystywanie zasobów energetycznych stanowi podstawę bytu ludzkości, zaś wzrost zapotrzebowania na energię jest czynnikiem świadczącym o rozwoju gospodarczym, społecznym oraz o poprawie warunków życia w państwie. Jednocześnie w obliczu przemian gospodarczych i społecznych samowystarczalność energetyczna Polski staje się kwestią niezwykle istotną, podnoszoną przez naukowców, polityków i specjalistów w dziedzinie energetyki.

Według raportu Komisji Europejskiej „ICT for a Low Carbon Economy. Smart Buildings” z 2009 r., 40% końcowego zużycia energii w krajach Unii Europejskiej przypada na budynki. Odsetek ten wskazuje, jak duży wpływ na gospodarkę energetyczną kraju ma budownictwo mieszkalne, pozwala oceniać wynikające z tego szanse i zagrożenia. Szczególnie niepokoi brak zintegrowanego podejścia do projektowania budynków, oparte na zachowaniach właściwych dla zrównoważonego rozwoju, które zminimalizowałyby szkodliwy wpływ na środowisko naturalne działalności człowieka związanej z projektowaniem i wznoszeniem obiektów budowlanych. Zrównoważony rozwój zaspokaja potrzeby obecne, nie zagrażając realizacji potrzeb przyszłych pokoleń. Opiera się na dwóch podstawowych pojęciach – potrzeb oraz ograniczeń, wynikających ze zdolności środowiska do ich zaspokajania. W budownictwie przejawia się szczególnie dbałością o środowisko naturalne oraz oszczędne gospodarowanie surowcami podczas całego cyklu

budowlanego: począwszy od projektu, poprzez prace konstrukcyjne, eksploatację budynku, aż do jego rozbiórki.

Analiza literatury przedmiotu i wyników licznych konferencji tematycznych pozwala zauważyć, że opinie ekspertów na temat budownictwa ekologicznego i energooszczędnego różnią się czasem od siebie, wszystkie jednak są zgodne co do wymagań, jakie muszą spełniać takie budynki:

- minimalnego zużycia surowców nieodnawialnych, w tym wody, materiałów budowlanych i paliw kopalnych;
- minimalnej emisji szkodliwych gazów do atmosfery;
- minimalnej produkcji ścieków i odpadów stałych oraz minimalnego negatywnego oddziaływania na lokalne ekosystemy;
- maksymalnie dobrych parametrów środowiska wewnętrznego pod względem jakości powietrza, komfortu termicznego, oświetlenia i hałasu;
- jakości architektonicznej.

W związku z powyższym rynek i przepisy nakładają na sektor budowlany coraz wyższe wymagania dotyczące charakterystyki energetycznej, co sprawia, że projektanci starają się stosować technologie energii odnawialnych oraz zmniejszać zużycie nabytej lub/i wyprodukowanej energii. Ograniczają ich jednak względy finansowe, uważane za priorytet przez deweloperów.

Przedmiotem niniejszego opracowania jest projekt osiedla wolno stojących domów jednorodzinnych, stanowiący spójną koncepcję architektoniczną, budowlaną i instalacyjną, zaprojektowaną w zgodzie z zagadnieniami ekologii i ochrony środowiska. W grupie projektowej znaleźli się inżynierowie takich dziedzin, jak: architektura, budownictwo, mechanika, techniki ciepłe i chłodnictwo, energetyka i elektrotechnika, ochrona środowiska. Ponadto członkiem grupy jest specjalistka w dziedzinie zarządzania, która wykonała projekt informatycznego systemu zarządzania mikrosiecią. Została również przeprowadzona wstępna analiza finansowa, obejmująca prognozę okresu zwrotu inwestycji oraz obliczenie zdolności kredytowej rodziny.

Zaprojektowany w ramach osiedla dom stanowi wzorzec rozwiązań, uwzględniających uwarunkowania klimatyczne i społeczne, charakterystyczne dla rejonu środkowo-europejskiego, z zachowaniem standardów użytkowych, biorące pod uwagę współczesne potrzeby mieszkańców. Budynek w minimalnym stopniu wpływa na pogarszanie się stanu środowiska naturalnego, ponieważ nie można całkowicie wyeliminować negatywnego oddziaływania jego budowy i użytkowania na środowisko. Pracom projektowym przyświecała myśl, że zintegrowane projektowanie energetyczne budynków powinno być naturalną częścią każdego procesu budowlanego.

2. Zrównoważona architektura osiedli w teorii i praktyce

2.1. Wprowadzenie: historia budowy nowoczesnych osiedli ekologicznych

Projektowanie zrównoważone to przyszłość europejskich osiedli. Dyrektywa 2010/31/UE nakazuje, aby wszystkie budynki mieszkalne powstałe po 2020 r. były „prawie zeroenergetyczne” [4]. W związku z tym niezbędna jest popularyzacja tej dziedziny wiedzy.

Kamieniem milowym dla rozwoju budownictwa energooszczędnego w obecnym kształcie był budynek Kranichstein K7 w Darmstadt, ukończony w 1991 r. Jest to w praktyce miniaturowe, bo składające się z czterech segmentów, osiedle komfortowych domów szeregowych. Jego twórcy już wcześniej pracowali nad domami energooszczędnymi, starając się wypracować odpowiednią formułę, a realizacja ta jest pierwszym urzeczywistnieniem wypracowywanego standardu domu pasywnego. Obserwacje dalszego funkcjonowania budynku posłużyły do weryfikacji teoretycznych obliczeń jego parametrów i wypadły pomyślnie, dzięki czemu autor projektu, dr Wolfgang Feist, mógł powołać, wraz z Bo Adamsonem, Passivhaus Institut (Instytut Budownictwa Pasywnego). Większość rozwiązań spotykanych w późniejszych budynkach odpowiadających standardowi domu pasywnego została zastosowana równocześnie właśnie tutaj. Ściany zaizolowano warstwą 27,5 cm polistyrenu ekstrudowanego, co obniżyło współczynnik U do niespotykanej wcześniej wartości 0,14 W/m²K, zlikwidowano wszystkie możliwe mostki termiczne, zaś absolutną szczelność powietrzną potwierdzono testem przy użyciu aparatu *blower door*. Okna wychodzące w znacznej mierze na południe mają stolarkę trój-szybową o współczynniku przenikania ciepła $U = 0,7$ W/m²K, a ciepło z powietrza usuwanego przy użyciu wentylacji mechanicznej odzyskiwał przeciwprądowy wymiennik ciepła o sprawności rzędu 80%. Obiekt ten jest ciągle ważną dla całego nurtu realizacją, jednak w późniejszych latach przyszedł czas na szersze rozumienie „ekologiczności” w budownictwie [7].

Beddington Zero Energy Development, czyli BedZED, to liczące 99 mieszkań osiedle na południowych obrzeżach Londynu, które ostatecznie ukończono w 2002 r. Projekt Billa Dunstera miał być nie tylko energooszczędny, lecz także ekologiczny, przy czym został przewidziany niekoniecznie dla ludzi zainteresowanych ekologią i ochroną środowiska (m.in. dla lokatorów mieszkań socjalnych). Podobnie jak poprzednio opisywany projekt, funkcjonuje również, wykorzystując pasywne pozyskiwanie ciepła, do którego niezbędne są rozległe przeszklenia od strony południowej, z ogrodami zimowymi pełniącymi rolę bufora termicznego, gruba izolacja ścian i brak mostków termicznych. Zamiast wentylacji mechanicznej zastosowano tu jednak naturalny system wymiany powietrza, a różnokolorowe czerpnie i wyrzutnie powietrza na dachu stały się elementem czyniącym osiedle rozpoznawalnym. Przeprowadzony w 2007 r. audyt wykazał, że budynek zużywa o 81% mniej energii cieplnej niż przeciętny położony w jego sąsiedztwie. Konsumpcję prądu udało się zmniejszyć o 45%, co jest zasługą systemu paneli fotowoltaicznych zintegrowanych z przeszkleniami oraz dużo prostszych rozwiązań, takich jak umieszczenie liczników energii i wody w widocznych miejscach. Ograniczenie zużycia tej ostatniej wyniosło 50% i jest przejawem proekologicznych tendencji szerszych niż oszczędność energii. Oczywiście nie dokonano go za pomocą samego umiejscowienia liczników, w tym wypadku przede wszystkim zadziałał system zbierania deszczówki i podczyszczania szarej wody, które są później używane chociażby do spłukiwania toalet. Pomyślano o energooszczędności nie tylko w kontekście energii użytkowania: poza stolarką okienną udało się zachować lokalny charakter użytych materiałów budowlanych, które wyprodukowano w promieniu 35 mil od miejsca budowy, wszystko po to, aby zmniejszyć ślad węglowy przedsięwzięcia. Aby ograniczyć negatywny wpływ samochodów osobowych na środowisko, na osiedlu stworzono również system wypożyczania aut na godziny, po to, aby mieszkańcy mogli z nich korzystać w racjonalny sposób. Od niedawna istnieje możliwość wypożyczenia również auta elektrycznego. Jak wykazał wspomniany raport z roku 2007, projekt nie był wolny od błędów: elektrociepłownia w systemie opartym na gazyfikacji drewna często się psuła, więc została zastąpiona kotłownią gazową. Oczyszczalnia ścieków i wód opadowych w technologii *living machine* również się nie sprawdziła, gdyż zużywała za dużo energii, więc ją zastąpiono bioreaktorem membranowym. Mimo wszystko udało się osiągnąć cel społeczny: stworzono osiedle skutecznie zmuszające mieszkańców do zmiany codziennych nawyków na bardziej proekologiczne, pokazując tym samym, że taka zmiana jest możliwa również na masową skalę [2, 3].

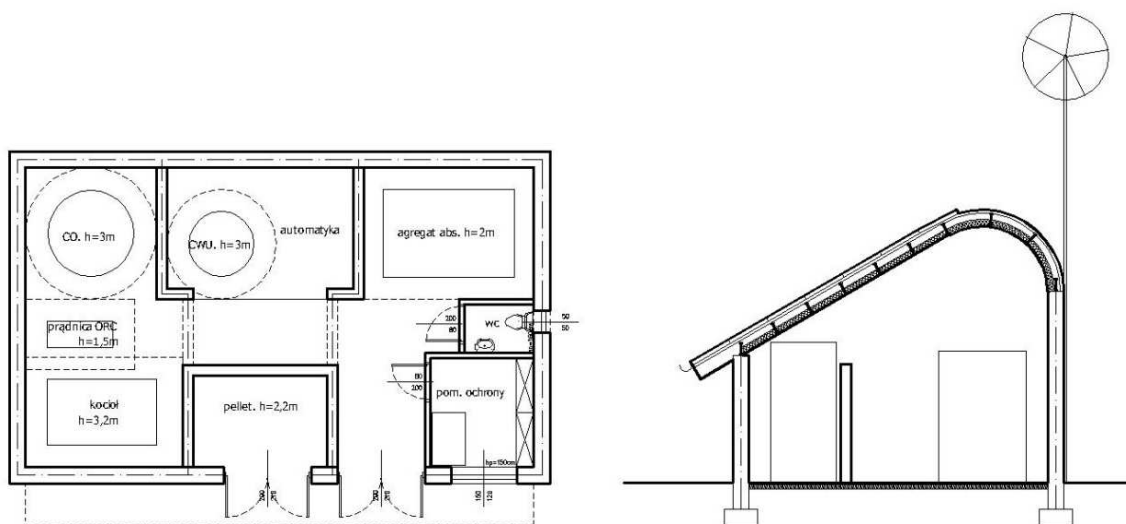
Masdar w Zjednoczonych Emiratach Arabskich otwiera nową epokę w dziejach osiedli zeroenergetycznych, gdyż jest zbudowanym od podstaw miastem, którego założeniem

projektowym była zerowa emisja dwutlenku węgla. Jego najistotniejszą cechą stanowi z pewnością olbrzymia skala – przedsięwzięcie zaplanowano dla 40 tysięcy stałych mieszkańców i 60 tys. mieszkających poza nim, ale mających tam swoje miejsce pracy. Budowa zaczęła się w 2006 r. według masterplanu Sir Normana Fostera. Obszar miasta jest wyłączony z konwencjonalnego ruchu samochodowego, potrzeby transportowe zaspokaja wyłącznie komunikacja publiczna, pojazdy napędzane silnikami wodorowymi oraz PRT (*Personal Rapid Transit*) – bezobsługowe pojazdy szynowe, mogące zabrać najwyżej kilka osób. Cała energia dla miasta ma być produkowana na miejscu, dzięki wykorzystaniu źródeł odnawialnych, przede wszystkim paneli fotowoltaicznych oraz wież solarnych. Racjonalizacji ma podlegać również gospodarka wodą, która, jak wiadomo, jest zasobem wyjątkowo deficytowym na Bliskim Wschodzie, a także odpadami. Jądro osiedla stanowi Masdar Institute of Science and Technology, ośrodek uniwersytecki, zajmujący się przede wszystkim technologiami związanymi z pozyskiwaniem energii ze źródeł niekonwencjonalnych. Założenie to jest już częściowo oddane do użytku, jednak termin ostatecznego zakończenia prac, planowany początkowo na 2015 r., ulegnie dalszemu przesunięciu [8].

2.2. Rozwiązania zastosowane w projekcie „Osiedle 2020”

Założenie składa się z dziewięciu domów, co oznacza, że na osiedlu zamieszka około 36 mieszkańców. Urbanistykę zdeteterminowało dążenie do stworzenia układu, który pozwalałby na zoptymalizowanie pasywnych zysków słonecznych w poszczególnych domach. Ma się ono składać z zabudowy jednorodzinnej wolnostojącej, co w dużym stopniu ograniczyło pole manewru przy wyborze kompozycji, gdyż większość powszechnie stosowanych układów albo nie spełniała warunku, że domy nie mogą się wzajemnie zacieniać przez większą część dnia, albo wymagała do tego wielkich powierzchni działek. Zdecydowano się zatem na układ ulicowy, w którym wewnętrzny ciąg komunikacyjny, zapewniający dostęp do wszystkich budynków, przebiega wzdłuż osi wschód–zachód. (rys. 2.2, 2.3). Dzięki niemu wszystkie domy otrzymują stosowną ekspozycję, zróżnicowaniu ulegają tylko ich podziały funkcjonalne, uzależnione od stron świata. W ten sposób po południowej stronie ciągu znajdują się budynki typu A (rys. 2.5), natomiast po północnej – typu B (zostaną one omówione szczegółowo w kolejnym podrozdziale). Wewnętrzna ulica kończy się placem manewrowym o wymiarach 12,5 na 12,5 metra, które umożliwiają zawracanie śmieciarkom i wozom bojowym straży pożarnej oraz

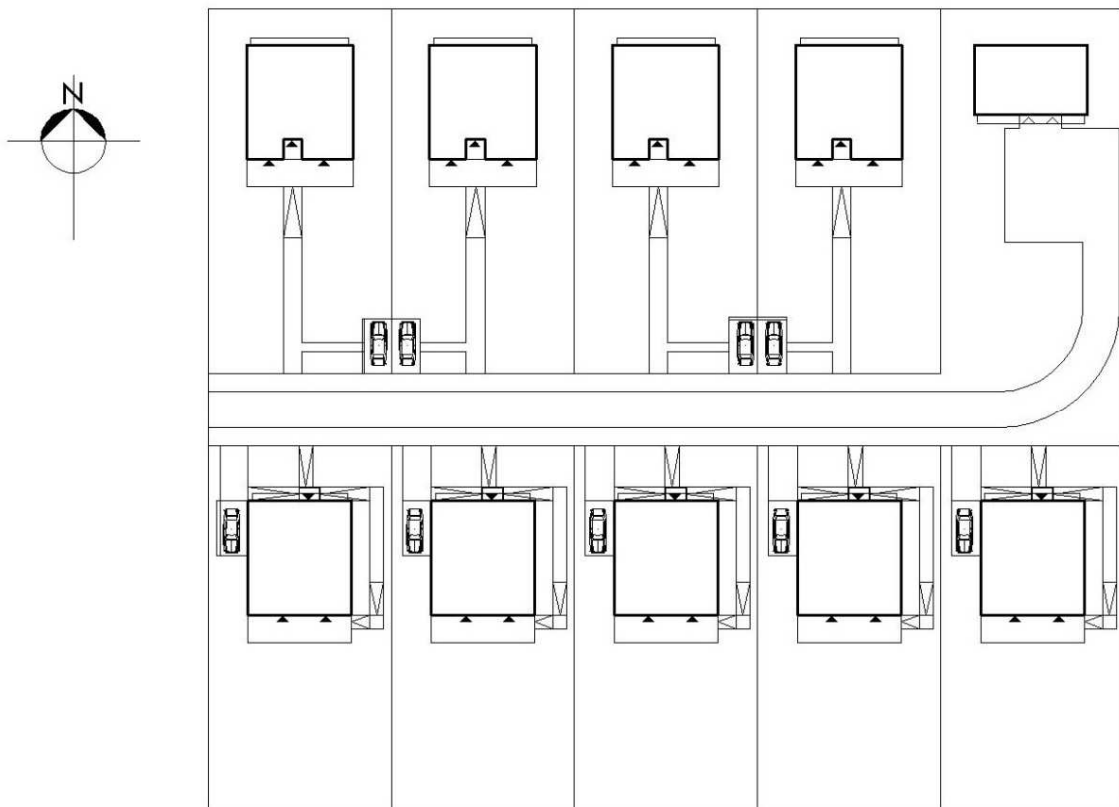
sprawne dostarczanie pelletu do budynku gospodarczego, znajdującego się w bezpośrednim sąsiedztwie placu. Mieści on wszystkie urządzenia odpowiedzialne za centralne ogrzewanie i produkcję ciepłej wody użytkowej (opisane w rozdziałach 4., 5. i 6.), a także większość urządzeń służących do zaopatrywania osiedla w energię elektryczną, wyjątkiem są jedynie panele fotowoltaiczne, zintegrowane z systemem szklenia i umiejscowione na dachach budynków mieszkalnych (opisane w rozdziale 9.).



Rys. 2.1. Rzut budynku gospodarczego i przekrój poprzeczny

Źródło: opracowanie własne.

Budynek gospodarczy (rys. 2.1) różni się od domów mieszkalnych konstrukcją ścian i fundamentów, gdyż zaprojektowano dla niego odpowiednio pustaki silikatowe grubości 36,5 cm i ławy zamiast płyty fundamentowej. Aby budynek był dopasowany wizualnie do reszty osiedla, zdecydowano się na zastosowanie konstrukcji dachu takiej samej, jak w domach. Z tego też powodu halę maszyn przedzielono ścianami nośnymi. Trzy turbiny wiatrowe zdecydowano się przymocować do ściany północnej celem uniknięcia sytuacji, w której zacieniałyby one hybrydowe kolektory słoneczne, umieszczone na południowej połąci dachu.



Rys. 2.2. Plan zagospodarowania terenu osiedla

Źródło: opracowanie własne.

Przyszłością w projektowaniu zieleni w osiedlach, zwłaszcza ekologicznych, jest tzw. *urban farming*, czyli tworzenie ogrodów warzywnych jako alternatywy wobec wymagających rozległej pielęgnacji trawników, które wymagają zużycia prądu na koszenie, a nierzadko także nawożenia za pomocą szkodliwych pestycydów. Jeśli domy wyposażone są w instalacje podczyszczania wody szarej i opadowej, opisane w pokrewnym projekcie „Dom 2020” [1], to z uwagi na ryzyko bakteriologiczne jest to możliwe tylko na tej części działki, na której nie działa tenże system, jeżeli nie – w całej części ogrodowej.

Nie jest zalecane zadrzewianie działek, gdyż w przyszłości oznaczać to może zmniejszenie efektywności pozyskiwania pasywnych zysków solarnych, a także pracy paneli fotowoltaicznych. W skrajnym przypadku może to zrujnować zasadę działania domów.

W przypadku większych osiedli, gdzie produkcja prądu lub ciepła na potrzeby gospodarstw domowych daje ciepło odpadowe, uzasadnione jest zaprojektowanie szklarni, która dając dostęp do świeżych warzyw przez okres dłuższy niż w przypadku hodowli pod gołym niebem, znacząco zwiększa udział ekologicznej żywności w dietach mieszkańców. Do nawożenia jej można używać kompostu wyprodukowanego z odpadów organicznych



Rys. 2.3. Wizualizacja: widok z lotu ptaka od strony południowo-wschodniej

mieszkańców, przyczyniając się tym samym do obniżenia ilości śmieci produkowanych na osiedlu. W skali makro taka ekologiczna hodowla przyczynia się do zmniejszenia śladu ekologicznego poprzez ograniczenie przewozu warzyw przez cały łańcuch dostaw, a także ograniczenie korzystania z plastikowych torebek jednorazowych, w jakie zazwyczaj pakowane są warzywa i owoce w sklepach. W przypadku zdecydowania się na wzbogacenie osiedla o szklarnię lub inną formę produkcji żywności, konieczne są jednak odpowiednie rozwiązania społeczne, wymuszające sprawiedliwy podział korzyści i obowiązków wobec dobra wspólnego. Najprostszym z nich jest zatrudnienie w tym celu pracownika najemnego. Tańszą, choć bardziej ambitną alternatywą jest stworzenie wspólnoty opartej na idei *cohousingu*, w ramach której mieszkańcy nie będą tylko zbiorem osób zamieszkujących to samo miejsce, ale prawdziwą żywą społecznością, z silnymi więzami sąsiedzkimi.

Wiaty parkingowe na osiedlu pełnią dwojaką funkcję. Po pierwsze, zastępują garaże, tak, aby potencjalnych klientów, którzy chcieliby zamieszkać na osiedlu, a nie zdecydowali się na posiadanie samochodu, nie obciążać dodatkowymi kosztami. Po drugie, indywidualizują one poszczególne domy, zachowując jednocześnie pewną całość stylistyczną całego osiedla. Ograniczanie indywidualnego ruchu samochodowego z oczywistych przyczyn jest celem urbanistyki ekologicznej. O tym, jak wygląda ono w praktyce, napisano w podrozdziale pierwszym.

2.3. Opis funkcjonowania poszczególnych budynków

Domy mają odpowiednio 176 m² (typ A – rys. 2.5) oraz 182 m² (typ B) powierzchni użytkowej i znajdują się na działkach o identycznej powierzchni równej minimum 800 m². Głównym celem było stworzenie domu energooszczędnego, w jak największym stopniu opierającego się o pasywne gromadzenie energii; ma temu służyć większość zastosowanych rozwiązań, takich jak izolacja termiczna, wyeliminowanie mostków termicznych przez znaczne uproszczenie obrysu bryły, czy też zastosowanie zamkniętej werandy o regulowanym stopniu otwarcia jako bufora termicznego. Starano się również zachować podział na strefy termiczne, tak, aby pomieszczenia ciepłe znajdowały się po stronie południowej, zaś chłodne – po północnej. Z wyjątkiem głównej sypialni, dla obu wariantów domów oznaczonej na rzutach symbolem 2.1, zasada ta została zachowana. Aby jak najmniejsza liczba przegród zewnętrznych była zacieniona, północną połąć dachu zaprojektowano pod kątem 20°, tak, aby nawet zimą promienie słoneczne „ślizgały” się po niej.

Teoretycznie powinno się zatem stworzyć dach jednospadowy o połaci skierowanej na południe, jednak byłyby to, po pierwsze, nieestetyczne, po drugie nieefektywne, gdyż wytworzyłyby zbędną kubaturę w miejscu bardzo trudnym do zagospodarowania, oczywiście, jeśli sypialnie w południowej części poddasza chceć doświetlać światłem dziennym za pomocą zwykłych okien, nie połaciowych, jako że wokół tych drugich mogą się tworzyć mostki termiczne. Nie zdecydowano się również na umieszczenie w budynku garażu, nie tylko z przyczyn wymienionych w poprzednim rozdziale. Takie pomieszczenie generuje spore koszty. Niezależnie od tego, czy będzie ono ogrzewane, czy nieogrzewane, należy zapewnić w nim temperaturę minimalną 8°C, co niesie ze sobą wydatki



Rys. 2.4. Wizualizacja – widok pierzei południowej

energetyczne, bezpośrednio na ogrzewanie, bądź też jako straty z pomieszczeń cieplejszych. Zyski z jego istnienia jako bufora cieplnego „zimnego” nie kompensują strat wynikłych z jego budowy i użytkowania, zwłaszcza jeśli traktuje się je jako pomieszczenie praktycznie zbędne, możliwe do zastąpienia z powodzeniem przez dowolne miejsce parkingowe na świeżym powietrzu. Jak zostało powiedziane we wstępie, ekologia wymaga drobnych korekt naszych codziennych przyzwyczajeń.

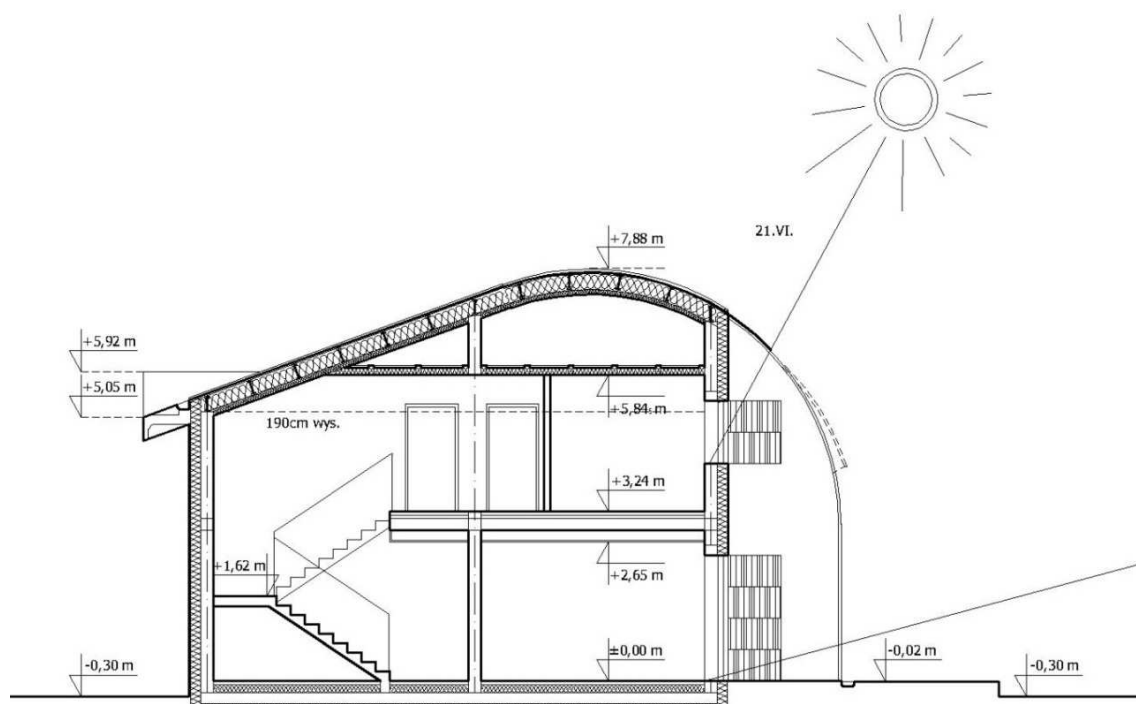
Budynki zaprojektowano dla czterech stałych mieszkańców oraz czasowo rezydującej w nim osoby niepełnosprawnej, posiadającej własny pokój na parterze. W przypadku braku takiej potrzeby, może on służyć również za pokój gościnny, a po niewielkich mody-



Rys. 2.5. Wizualizacja: budynki typu A od strony południowej

Źródło: opracowanie własne.

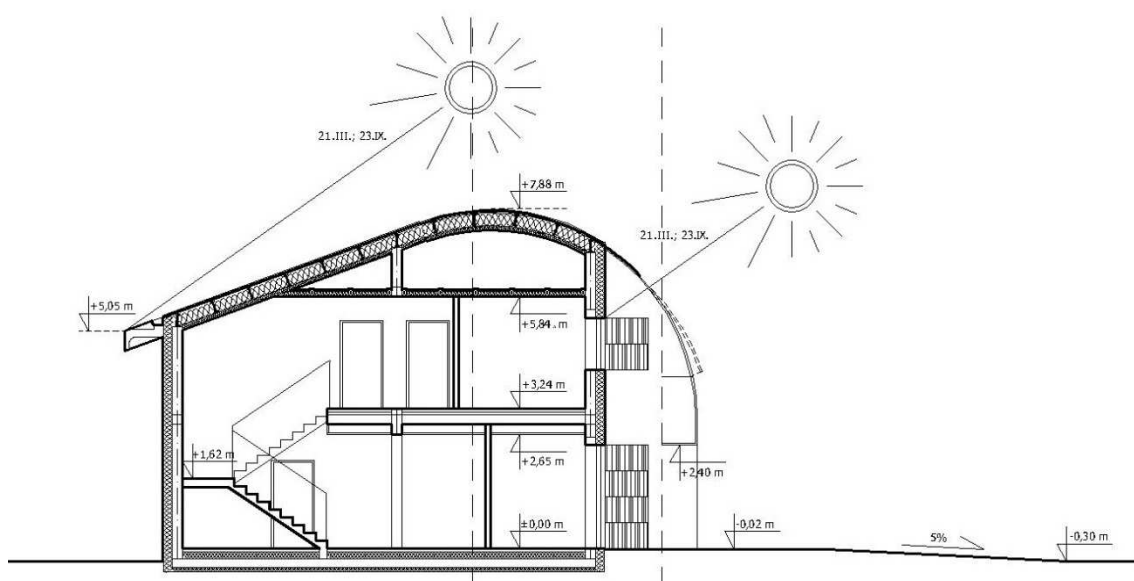
fikacjach także za gabinet. Jest on bezpośrednio połączony z łazienką, również przystosowaną dla potrzeb osoby poruszającej się na wózku inwalidzkim. Cała ta kondygnacja, łącznie z łazienką ogólnodostępną, do której wejście znajduje się w hallu, zaprojektowano jako pozbawioną barier architektonicznych [5, 6]. Dodatkowo na pochylni wejściowej istnieje pasywny system odladzania, szerzej opisany w rozdziale 4. Wracając do łazienek, prostym sposobem na zmniejszenie w nich zużycia wody, zastosowanym w projekcie, jest umieszczenie pisuarów we wszystkich z nich poza tymi pomyślanymi jako przeznaczone praktycznie do wyłącznego użytku osób niepełnosprawnych. W przypadku istnienia w domu systemu zbierania wody deszczowej i szarej należy zastosować pisuary korzystające z takiej właśnie wody, w pozostałych zalecane jest zamontowanie tych sanitariatów w wersji bezwodnej.



Rys. 2.6. Przekrój dla budynku typu A

Dążenie do maksymalizacji biernych zysków ciepłych od słońca może łatwo doprowadzić do przegrzewania się budynku latem, ewentualnie do potrzeby bardzo intensywnej pracy systemów klimatyzacyjnych celem zachowania względnego komfortu cieplnego. W związku z tym potrzebny jest system zaciemniania, który stanowią tu okiennice skomponowane architektonicznie z zewnętrznym wykończeniem elewacji. Półprzezroczyste panele fotowoltaiczne dodatkowo zmniejszają bezpośrednią operację słoneczną w porze letniej, co widoczne jest na rys. 2.6.

Dach zawdzięcza swój oryginalny kształt ustrojowi płatwiowemu, gdzie poszczególne belki są zbudowane z kompozytowych dwuteowników drewniano-stalowych. Ściany nośne zewnętrzne wraz z podporami pośrednimi pełnią funkcję krążyn. Jest to technika prosta w wykonaniu, a co za tym idzie, niezbyt kosztowna, zwłaszcza wobec oczekiwanych efektów. Posadowienie budynków na płytach fundamentowych służy natomiast eliminacji mostków termicznych, które występowałyby prawdopodobnie w tej strefie przy zastosowaniu ław.



Rys. 2.7. Przekrój dla budynku typu B

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2.1

Zestawienie podstawowych wymiarów domu typu A

Symbol pom.	Przedmiot	Wartość [m ² /m ³]	Uwagi
Dane podstawowe			
1	powierzchnia działki	800	minimum
2	powierzchnia zabudowy	141	
3	powierzchnia całkowita domu	256	bez tarasów
4	powierzchnia netto	206	
5	powierzchnia netto bez garażu, balkonów, tarasów i loggii	176	
6	powierzchnia pomieszczeń o wysokości powyżej 1,9 m	175	
7	powierzchnia netto części pomieszczeń o wysokości do 1,9 m	1	
8	kubatura	1007	bez wiat
9	kubatura ogrzewana	1007	

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2.2

Zestawienie pomieszczeń domu typu A

Symbol pom.	Rodzaj powierzchni/nazwa pomieszczenia	Powierzchnia o wys. ponad 1.9 m [m ²]	Powierzchnia o wys. do 1.9 m [m ²]	Uwagi
1	2	3	4	5
Zestawienie pomieszczeń domu				
Suma powierzchni pomieszczeń domu		175	1	bez garażu i innych obiektów
	PARTER	92		
1.1	Pokój przystosowany	14		
1.2	Łazienka przystosowana	8		
1.3	Kuchnia	9		
1.4	Pokój dzienny	27		
1.5	Hall + klatka schodowa	19		
1.6	Łazienka	7		
1.7	Wiatrołap	3		
1.8	Pralnia	5		

Tabela 2.2 (cd.)

1	2	3	4	5
	PIĘTRO	83	1	
2.1	Sypialnia 1	21	1	
2.2	Sypialnia 2	20		
2.3	Sypialnia 3	17		
2.4	Hall + klatka schodowa	6		
2.5	Łazienka 1	14	½	
2.6	Łazienka 2	5		
Suma powierzchni wszystkich pomieszczeń			176	bez garażu i innych obiektów
	Pow. netto innych obiektów	78	5	w tym:
		1	5	– pomieszczenie gospodarcze (1.9)
		24		– weranda
		34		– taras
		19		– wiata

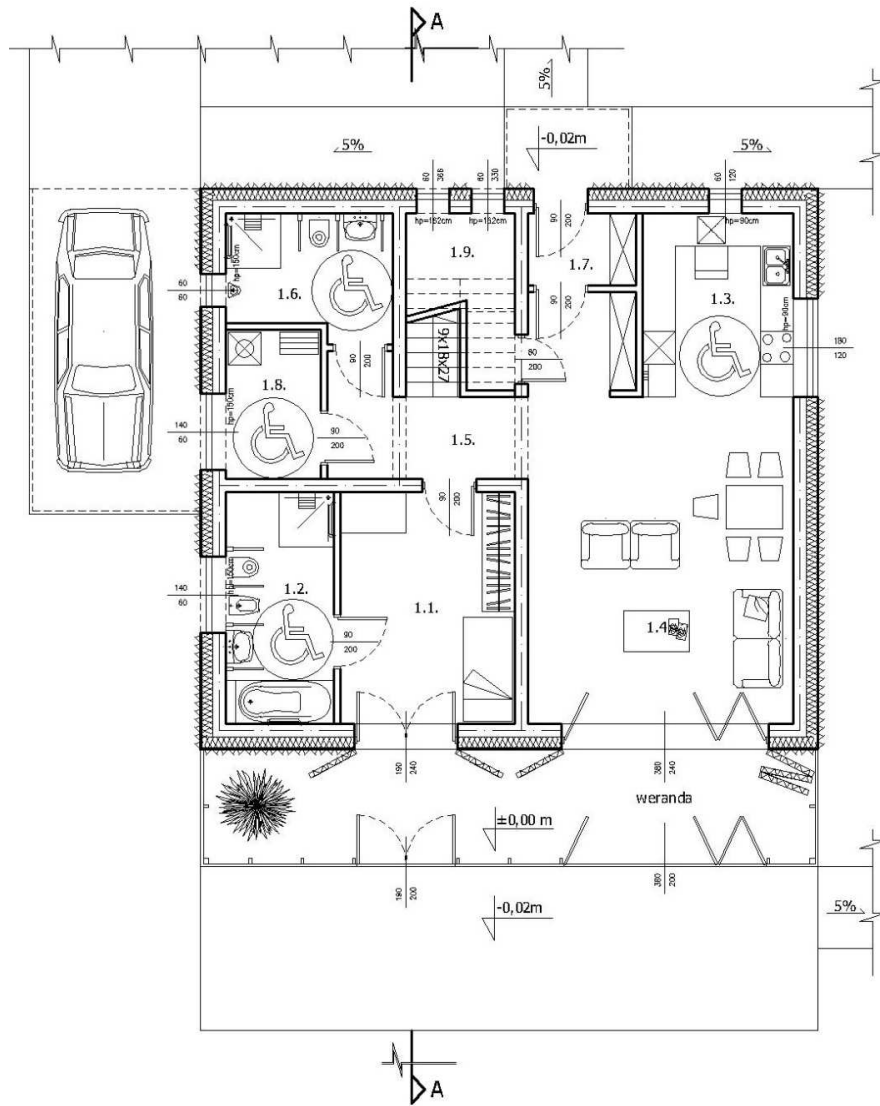
Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2.3

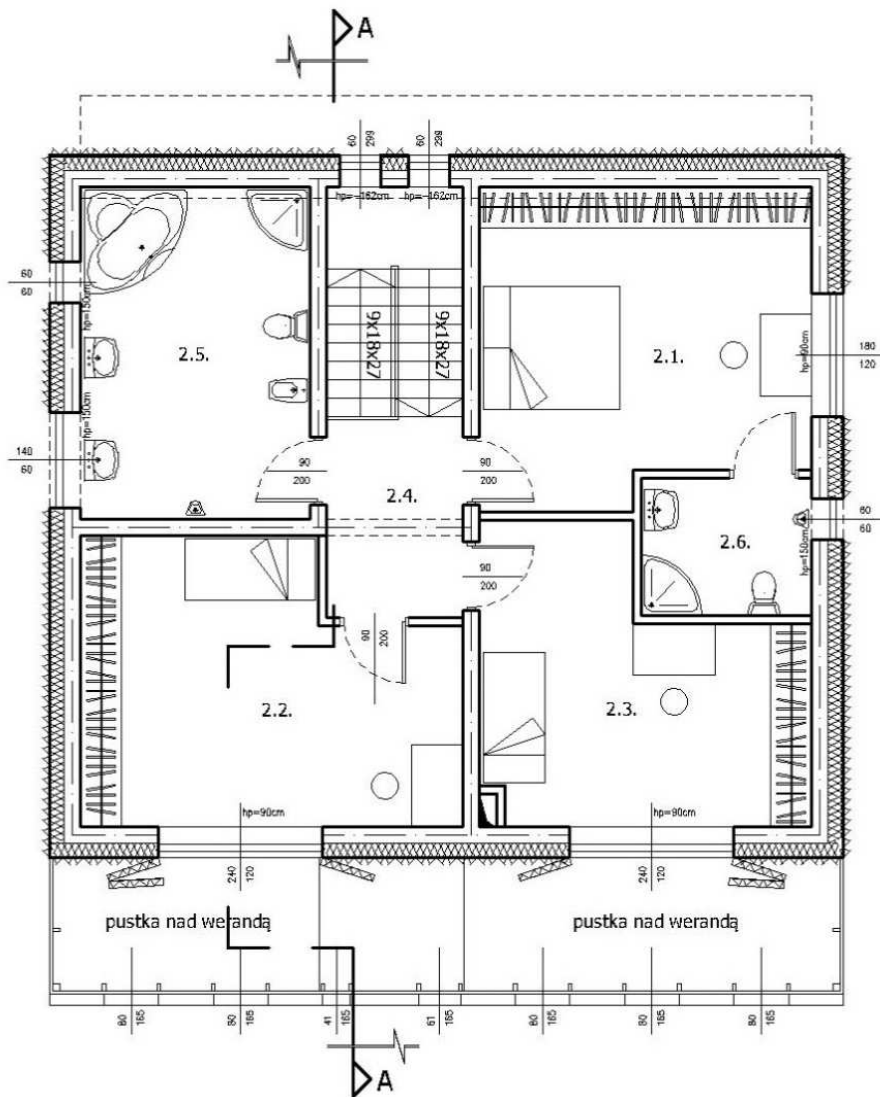
Zestawienie podstawowych wymiarów domu typu B

Symbol pom.	Przedmiot	Wartość [m ² /m ³]	Uwagi
Dane podstawowe			
1	powierzchnia działki	800	minimum
2	powierzchnia zabudowy	144	
3	powierzchnia całkowita domu	280	bez tarasów
4	powierzchnia netto	213	
5	powierzchnia netto bez garażu, balkonów, tarasów i loggii	188	
6	powierzchnia pomieszczeń o wysokości powyżej 1,9 m	182	
7	powierzchnia netto części pomieszczeń o wysokości do 1,9 m	6	
8	kubatura	1034	bez wiat
9	kubatura ogrzewana	1023	

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2.8. Rzut parteru dla budynku typu A. Opis pomieszczeń w tab. 2.2



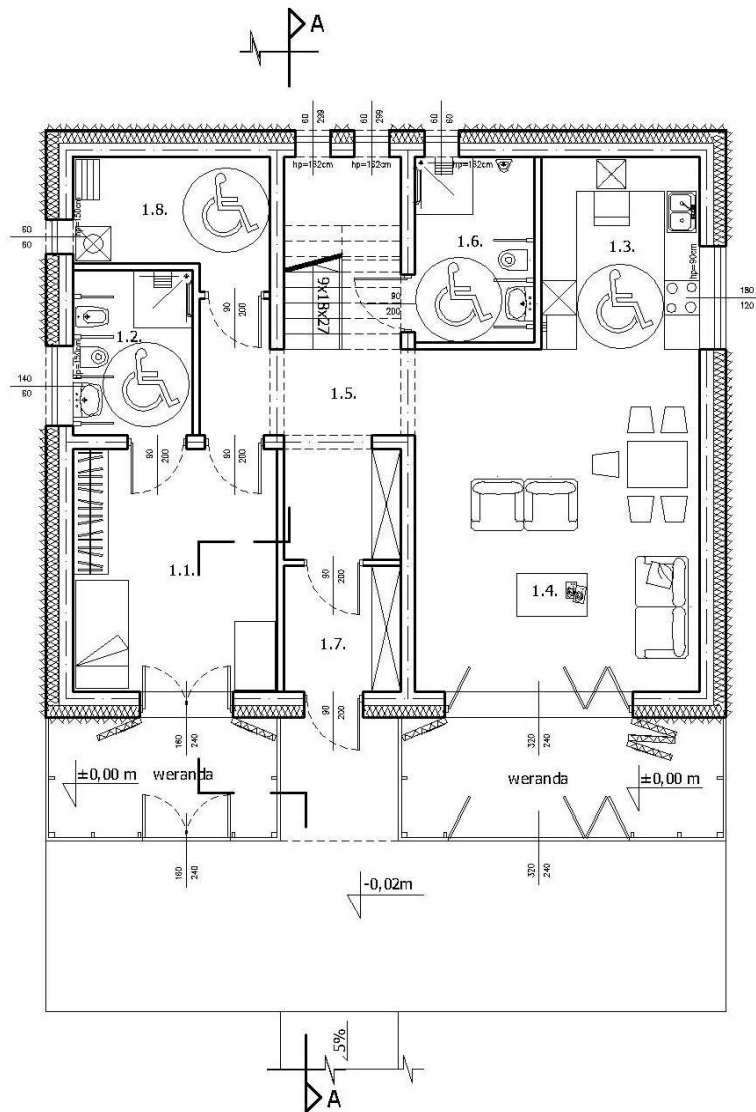
Rys. 2.10. Rzut parteru dla budynku typu B. Opis pomieszczeń w tab. 2.4

Tabela 2.4

Zestawienie pomieszczeń domu typu A

Symbol pom	Rodzaj powierzchni/nazwa pomieszczenia	Powierzchnia o wys. ponad 1,9 m [m ²]	Powierzchnia o wys. do 1,9 m [m ²]	Uwagi
Zestawienie pomieszczeń domu				
Suma powierzchni pomieszczeń domu		182	6	bez garażu i innych obiektów
	PARTER	95	5	
1.1	pokój przystosowany	15		
1.2	łazienka przystosowana	6		
1.3	kuchnia	9		
1.4	pokój dzienny	29		
1.5	hall + klatka schodowa	19	5	
1.6	łazienka	7		
1.7	wiatrołap	4		
1.8	pralnia	7		
	PIĘTRO	87	1	
2.1	sypialnia 1	21	1	
2.2	sypialnia 2	21		
2.3	sypialnia 3	18		
2.4	hall + klatka schodowa	6		
2.5	łazienka 1	16	½	
2.6	łazienka 2	5		
Suma powierzchni wszystkich pomieszczeń			188	[bez garażu i innych obiektów]
	Pow. netto innych obiektów	63		w tym:
		8		– weranda: część zachodnia
		4		– weranda: część środkowa
		12		– weranda: część wschodnia
		39		– taras

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2.11. Rzut piętrego dla budynku typu B. Opis pomieszczeń w tab. 2.4

LITERATURA

- [1] Adrian Ł., Jabłońska M. R., Janicki M., Klimek A., Pawlak J., Popławski P., Tkacz E., Znajdek K., *Dom 2020. Propozycja inteligentnych, energooszczędnych rozwiązań z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii* [w przygotowaniu].
- [2] Arczyńska M., Pancewicz Ł., *BedZED 10 lat później*, „Architektura – Murator” 2011, nr 6 (201), s. 28–30.
- [3] Desai P., *One Planet Communities: A Real Life Guide To Sustainable Living*, Oxford 2010.
- [4] *Directive 2010/31/EU of The European Parliament and The Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (Recast)*, “Official Journal of the European Union”, 18.06.2010, Vol. 1, s. 153/14–153/35.
- [5] Goldsmith S., *Universal design: a manual of practical guidance for architects*, London 2000.
- [6] Jędrzejewska T., Wilamowska M. (red.), *ABC... mieszkania bez barier: jak dobrze zaprojektować, urządzić lub zaadaptować wnętrze dla osoby niepełnosprawnej ruchowo*, Warszawa 2003.
- [7] Nambiar S., Gonchar J., *Masdar Institute*, “Architectural Record” 2011, No. 5, s. 130–139.
- [8] *The Passive House in Darmstadt Kranichstein – Planning, Construction, Results. Fachinformation PHI 1997/4(E)*, Darmstadt 1997.

3. Zrównoważone budownictwo jako implementacja koncepcji zrównoważonego rozwoju

3.1. Wprowadzenie

W miarę popularyzacji idei zrównoważonego rozwoju obserwuje się rozpowszechnianie założeń koncepcji w poszczególnych sektorach gospodarki. Zrównoważony rozwój to kreacja ładu społeczno-gospodarczego, uwzględniającego minimalizowanie negatywnego wpływu na środowisko naturalne i bioróżnorodność. Idea zrównoważonego rozwoju odzwierciedla przede wszystkim dążenie do trwałości świata. Rewolucja przemysłowa zrodziła obawy przed przyszłością ludzkości. Zaczęto się zastanawiać, dokąd zmierza gospodarka i czy rozwój społeczny nie napotka ograniczeń, utrudniających wybór dalszej drogi.

Poniżej przedstawione zostaną uwarunkowania rozwoju oraz narzędzia i wskaźniki zrównoważonego budownictwa oraz konieczność powszechnego ich stosowania.

3.2. Uwarunkowania rozwoju zrównoważonego budownictwa

W latach 70. XX w., w raporcie Klubu Rzymskiego, pojawiały się prognozy, stanowiące ostrzeżenie dla ludzkiej cywilizacji – *Granice wzrostu* i *Ludzkość w punkcie zwrotnym*. Dodatkowo w raporcie Meadowsa zawarto tezę, że od początku ery przemysłowej rozwój ludzkości w dużym stopniu naruszył ogólnoświatową równowagę. Jeśli poczynania społeczeństw nie ulegną zmianie, światu grozi zagłada jądrowa bądź ekologiczna [19].

W latach 80. powstała koncepcja wzrostu zerowego, która miała przyczynić się do stabilizacji gospodarki. Odwoływała się do zatrzymania wzrostu gospodarczego na stałym, już osiągniętym poziomie, tak, aby nie obniżyć poziomu zapasów. Działanie to

powinno zmniejszyć konsumpcję i ograniczyć eksploatację środowiska. Jeden z autorów tej teorii postulował zastąpienie konsumpcji materialnej konsumpcją pozamaterialną, domagał się zwiększenia ilości czasu wolnego, upowszechnienia wtórnego wykorzystywania zasobów, utrzymania współczynnika urodzeń i zgonów na stałym, w miarę niskim poziomie. Cała działalność gospodarcza miała być podporządkowana zdolnościom regeneracyjnym środowiska [21]. Sugerowany poziom dobrobytu dla wszystkich państw wywołał kontrowersje, szczególnie w krajach słabo i średnio rozwiniętych. Koncepcję wzrostu zerowego można uznać za niedojrzałą ideę, która nie miała racji bytu [20].

W 1987 r. Światowa Komisja ds. Środowiska i Rozwoju w raporcie *Nasza wspólna przyszłość* po raz pierwszy zdefiniowała zrównoważony rozwój jako taki, w którym potrzeby i aspiracje świata współczesnego są zaspokajane, ale w taki sposób, aby nie ograniczać przyszłym pokoleniom możliwości realizacji ich potrzeb [17]. W erze przemysłowej społeczeństwa zmierzały do wzrostu ekonomicznego, tzn. zwiększania dochodu narodowego i konsumpcji. Cel w postaci uzyskania jak największego przyrostu produkcji doprowadził nie tylko do rozwarstwienia społeczeństwa oraz zwiększenia dysproporcji pomiędzy krajami, lecz także do niekiedy dramatycznego pogorszenia stanu środowiska przyrodniczego. Powiązanie celu ekonomicznego ze społecznym wzmogło dyskusję na temat ubóstwa i jego przyczyn. Pojawiła się idea sprawiedliwego wzrostu, której celem było zwiększenie wydajności ekonomicznej krajów słabo rozwiniętych. Wzrost gospodarczy przyspieszył zużywanie się istniejących zasobów. Zwrócono uwagę, że degradacja środowiska powoduje ograniczanie rozwoju świata [15].

W roku 2001 Unia Europejska na szczycie w Goeteborgu przyjęła własną strategię zrównoważonego rozwoju [22], stanowiącą rozszerzenie o kwestie ochrony środowiska Strategii Lizbońskiej, zawierającej wytyczne dalszego rozwoju społecznego i ekonomicznego. Po okresie dwuletniej oceny przyjętych działań (2004–2006), w 2006 r. Rada Europy podpisała znowelizowaną strategię zrównoważonego rozwoju Unii Europejskiej. Kapitał ludzki, społeczny, środowiskowy oraz rozwój innowacyjności są elementami warunkującymi odpowiednią jakość życia i ochronę środowiska. Dlatego celem nadrzędnym polityki Unii Europejskiej jest zaspokajanie potrzeb obecnego pokolenia, bez wyrządzania szkody przyszłym pokoleniom. Trwały zrównoważony rozwój ma zostać osiągnięty w ciągu 50 lat. Podstawowym zadaniem staje się zmiana modelu konsumpcji i produkcji na zgodny z ideą zrównoważonego rozwoju [11]. Główne cele i wyzwania zrównoważonego rozwoju UE przedstawiono w tab. 3.1.

Cele i wyzwania strategii zrównoważonego rozwoju Unii Europejskiej

Strategia zrównoważonego rozwoju Unii Europejskiej	
Główne cele	Główne wyzwania
<ul style="list-style-type: none"> • ochrona środowiska naturalnego; • sprawiedliwość i spójność społeczna; • dobrobyt gospodarczy; • realizacja zobowiązań w skali międzynarodowej; 	<ul style="list-style-type: none"> • do 2020 r. zmniejszenie przez państwa rozwinięte emisji dwutlenku węgla o 15–30%; • uzyskanie 20% oszczędności energii poprzez promowanie biomasy; • umożliwienie ludności zamieszkującej obszary wiejskie przekwalifikowanie zawodowe; • szerzenie zrównoważonego transportu poprzez uaktywnianie transportu morskiego i kolejowego; • upowszechnianie videokonferencji; • wprowadzenie zrównoważonej konsumpcji i produkcji; • ochrona zasobów naturalnych i gospodarowanie nimi; • ochrona zdrowia publicznego poprzez promocję zdrowego stylu życia i walkę z nałogami; • strategia zwalczająca HIV; • pomoc Afryce; • integracja społeczna; • zmniejszenie ubóstwa wśród dzieci; • wyzwanie w zakresie globalnego ubóstwa i trwałego rozwoju;

Źródło: opracowanie własne na podstawie [11], s. 11–18.

Należy pokreślić, że pojawiły się głosy negujące szanse powodzenia koncepcji uwzględniającej obecne, narastające problemy świata o charakterze ekonomicznym, politycznym, społecznym oraz środowiskowym. Problemy polityczne są związane z konfliktami zbrojnymi w Iraku, Afganistanie oraz rozprzestrzeniającą się falą terroryzmu globalnego. Co więcej, obserwuje się tworzenie nowych centrów decyzyjnych, mających wpływ na działania globalne, takich jak Unia Europejska, Rosja, Chiny, Indie. Problemy ekonomiczne łączą się z rosnącym w dalszym ciągu ubóstwem, kryzysem finansowym spowodowanym brakiem odpowiedzialności instytucji finansowych oraz

upadkiem wartości etycznych i moralnych, a także erą konsumpcyjną. Problemy społeczne to ciągły wzrost liczby osób niedożywionych na świecie, przemiany społeczne w Afryce północnej, na Bliskim Wschodzie czy w Europie Zachodniej. Należy ponadto uwzględnić problemy środowiskowe, związane z postępującymi zmianami klimatu, kwaśnymi opadami, degradacją bioróżnorodności, zmniejszającą się powierzchnią lesistości globu, zanieczyszczeniem wód morskich i gruntowych itd. Przedstawione problemy budują wieloaspektowe trudności, którym społeczeństwa muszą sprostać. Dla sceptyków stanowią podstawę kwestionowania powodzenia zrównoważonego rozwoju. Rozwój tej koncepcji (a także postęp cywilizacyjny) utrudniają: przeludnienie, konsumpcjonizm, ubóstwo, brak wyobraźni [4].

3.3. Ekologiczne uwarunkowania rozwoju budownictwa zrównoważonego

Plan działania Europy opiera się na dynamicznej strukturze, która ma służyć udoskonalaniu produktów w taki sposób, aby stały się mniej szkodliwe dla środowiska, mniej energochłonne, bardziej przyjazne dla konsumentów. Takie ujęcie wymaga restrukturyzacji norm jednolitego rynku europejskiego. Zadaniem polityki jest określenie przejrzystych zasad, tworzących ramy kreowanych produktów, spełniających rygorystyczne kryteria. Nowe podejście do polityki wymaga łączenia wielu instrumentów, które przyczynią się do realizacji celów Komisji, takich jak: rozpowszechnianie tzw. *ecodesign* produktów (ich produkcja angażuje niższe zużycie energii, a one same są mniej szkodliwe dla środowiska i społeczeństwa); odpowiedzialne informowanie klientów (odpowiednie etykietowanie produktów – etykieta winna zawierać dane o aktualnym zużyciu energii, zasobach użytych do produkcji wyrobu, *eco-label*); propagowanie inteligentnej konsumpcji – ciągła i aktywna edukacja konsumentów. Poszerzenie wiedzy odbiorców za sprawą wieloaspektowej polityki pośrednio może wpłynąć na oszczędność energii w domach konsumentów (np. wymiana okien, która spowoduje lepszą termoizolację mieszkań i mniejsze zużycie energii w okresach zimowych, a co za tym idzie – ograniczenie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery). Istotnym obszarem oddziaływania polityki jest ponadto cykl życia produktu, skracany w miarę postępu globalizacji. Dlatego też ważne jest tworzenie zamkniętego łańcucha produkcji wraz z rozwojem gospodarki odpadami. Dyrektywa *ecodesign* stanowi jeden z kluczowych elementów polityki, daje możliwość świadomego wyboru produktów, które zaspokoją potrzeby wymagającego odbiorcy. Kolejne działanie obejmuje zaangażowanie sfer

publicznych w akcję promocyjną zrównoważonej konsumpcji i produkcji. Państwo samo ustala system motywacji [7].

Joseph Stiglitz opracował raport wydany we wrześniu 2009 r., który podsumowuje działania komisji wysokiego szczebla ds. mierzenia wyników gospodarczych i postępów społecznych. Dokument ten wskazał wiele nieścisłości wskaźników. Zaproponowano korektę odnoszącą się do sposobu obliczania PKB, wykraczającego poza tradycyjną metodę i obrazującego rozwój państw członkowskich. Przedstawiono opracowanie indeksu ochrony środowiska i jakości życia. Dodatkowo Komisja Europejska przewiduje rozwój sprawozdawczości dotyczącej emisji zanieczyszczeń, zużycia materiałów, opłat środowiskowych, zużycia energii oraz gospodarki odpadami, planuje również budowę tablicy przedstawiającej wskaźniki zrównoważonego rozwoju, poszerzoną o wskaźniki zrównoważonej konsumpcji i produkcji [14].

Władze publiczne jako nabywcy dóbr i usług zasilają dochód Unii Europejskiej kwotą, która stanowi około 16% PKB rocznie, dlatego widoczny jest potencjał tkwiący w promowaniu ekologizacji konsumpcji zgodnie z założeniami polityki wspierającej społeczną odpowiedzialność. Rozpowszechniając odpowiedzialne rozwiązania, można skutecznie wpływać na rozwój sektorów, których działalność bez wsparcia nie byłaby możliwa. Takie działania przyczyniają się do urozmaicenia produkcji towarów i usług, a zatem do wzrostu konkurencyjności gospodarki europejskiej. Odpowiedzialne zakupy władz publicznych mogą stanowić odpowiedni wzorzec konsumpcyjny, który upowszechni dobre zachowania oraz nauczy innych konsumentów postępowania zgodnie z odpowiedzialnymi normami [18].

Postęp dotyczący zastosowania w Polsce koncepcji zrównoważonego rozwoju, w tym zrównoważonego budownictwa, jest procesem powolnym. Działania są podejmowane selektywnie oraz powierzchownie. Zaangażowanie biznesu w koncepcję zrównoważonego rozwoju wymaga stosowania „łącznego podejścia” do zrównoważonej konsumpcji i produkcji, czyli przede wszystkim wpływania na konsumentów poprzez szeroko rozumianą promocję zachowań etycznych i zrównoważonych produktów, wdrażanie działań innowacyjnych, wpływanie na wybory konsumentów [14].

Wprowadzanie eko-innowacji jest jednym z najpopularniejszych sposobów wdrażania zrównoważonego rozwoju do zarządzania sektorem budowlanym. System zarządzania środowiskowego (SZŚ) stanowi formalne narzędzie zarządzania biznesem, natomiast nieformalne – program czystej produkcji. Odpowiednio funkcjonujący system SZŚ może przyczynić się do zmniejszenia kosztów produkcji dzięki obniżeniu poziomu zużycia energii, oszczędności zasobów, materiałów i odpadów. Dla sektora budowlanego SZŚ jako

instrument realizacji polityki ekologicznej państwa jest znaczącym obciążeniem, ponieważ przystosowanie się do standardów (ISO14001) wymaga nakładów finansowych, które mogą nie zostać pokryte przez zyski. W Polsce liczba przyznawanych certyfikatów w porównaniu z innymi państwami jest stosunkowo niska. W 2007 r. wynosiła ona zaledwie 1089, natomiast w tym samym roku w Niemczech 4877, a w Chinach 30 489. Zaledwie 13 produktów otrzymało etykietkę *eco-label*, która świadczy o spełnieniu najwyższych standardów ekologicznych, natomiast we Francji liczba ta wynosi 153 produkty. Coraz częściej jako narzędzie realizacji zrównoważonego rozwoju stosuje się podejście „od łąski do grobu”, polegające na analizie całego cyklu życia produktu w celu ponownego wykorzystania odpadów poprodukcyjnych i pokonsumpcyjnych podczas produkcji. Powstające parki ekoprzemysłowe lub ekologii przemysłowej są jednym z narzędzi wspomagających wprowadzanie zrównoważonego rozwoju do różnych sektorów gospodarki, w tym budownictwa [14].

Pojęcie zysku przedsiębiorstwa budowlanego nabiera szerszego znaczenia, jeżeli uwzględni się nie tylko wskaźniki ekonomiczne, lecz także ograniczoność zasobów naturalnych. Czynniki determinujące wzrost znaczenia ekologii to:

- ciągły przyrost naturalny na świecie;
- skracanie cyklu życia produktu, skutkujące zwiększającą się ilością powstałych odpadów;
- wzrost popytu na towary konsumpcyjne w wyniku wzrostu dobrobytu w niektórych częściach świata;
- nacisk społeczeństwa, uwzględniającego coraz częściej wartości niematerialne [13].

Należy mieć świadomość, że „straty ekologiczne to zmniejszone (poniesione szkody) lub nieosiągnięte (utracone sposobności) korzyści społeczne z tytułu użytkowania zasobów i walorów środowiska, co wyrazić można zwłaszcza obniżeniem bieżącego lub przyszłego dobrobytu społecznego” [8].

Podmioty stosujące politykę ekologiczną angażują się w poszanowanie środowiska naturalnego. Coraz częściej uwidacznia się eliminacja zanieczyszczeń u źródła (polityka antycypacyjna). Dotychczas stosowano koncepcję eliminacji skutków produkcji (filozofia końca rury). Działania podejmowane przez podmioty gospodarcze to przede wszystkim prowadzenie tzw. czystej produkcji, zarządzanie cyklem życia produktu, mające doprowadzić do minimalizacji zanieczyszczeń, odprowadzanych do środowiska naturalnego podczas jego produkcji, dystrybucji i konsumpcji, a także w fazie pokonsumpcyjnej. Przedsiębiorstwa budowlane stosują także zarządzanie środowiskowe, honorując ogólnie panujące normy i standardy (np. ISO 14000). Działania podejmowane na rzecz zrównowa-

ważenia funkcjonujących podmiotów opierają się głównie na redukcji zużycia zasobów, wprowadzaniu obrotu wtórnego produktami, stosowaniu technologii nieszkodliwych dla środowiska. Odzyskiwanie i wykorzystywanie surowców jest istotnym elementem ekologicznego gospodarowania, stanowi ostatnie ogniwo procesu produkcji i konsumpcji, tworząc zamknięty obieg przemysłowy [13].

Przyjęto, że dotychczasowy dorobek techniczny i intelektualny należy wykorzystać do stworzenia nowych modeli budowy obiektów opartych na racjonalnym wykorzystywaniu zasobów. Dlatego też ochronę środowiska naturalnego można rozpatrywać jako wejście na „wyższą” ścieżkę rozwoju [1]. Poszczególne jednostki, wchodzące w skład przedsiębiorstw budowlanych odznaczają się różnym poziomem ingerencji w środowisko naturalne. Podmioty należące do sektora budowlanego, chcąc zwiększyć konkurencyjność, powinny uwzględniać wymogi środowiskowe, których stosowanie w procesie produkcyjnym warunkują wymogi legislacyjne. J. Penc uważa, iż wybór odpowiedniej koncepcji ochrony środowiska powinien się opierać na jednej ze strategii przejściowych i wyróżnia:

- strategię ofensywną, która polega na zmianie procesu produkcyjnego na rzecz poszanowania środowiska za pomocą wszelkich narzędzi;
- strategię innowacyjną, polegającą na poszukiwaniu nowych technologii, które przyczynią się do wytwarzania produktów zgodnych z normami środowiskowymi;
- strategię pasywną, opierającą się na minimalnym zaangażowaniu podmiotu w aspekty środowiskowe poprzez stosowanie się tylko do wymaganych praw ochrony środowiska [16].

Strategie ofensywna oraz innowacyjna skutkują przejściem podmiotu na ścieżkę zrównoważonego rozwoju. Dodatkowo uwzględnienie strategii liczącej się z ochroną środowiska i społeczeństwem stwarza możliwość samodoskonalenia rozwiązania strategicznego oraz umocnienia pozycji konkurencyjnej [1]. W literaturze przedmiotu wyróżnia się jeszcze czwartą, tzw. strategię wycofania, zgodnie z którą podmiot świadomie eliminuje produkty/procesy niespełniające norm ekologicznych oraz w takim stopniu unowocześnia wytwarzanie, aby produkty zwiększyły swoją wartość ekologiczną [12].

3.4. Obligatoryjne uwarunkowania rozwoju zrównoważonego budownictwa

Inicjatywa zrównoważonego rozwoju stała się impulsem do rozszerzania jej zasad na poszczególne gałęzie gospodarki. Zrównoważone budownictwo to tworzenie nowych budowli z uwzględnieniem harmonizacji obszaru środowiskowego, ekonomicznego, spo-

łeczny i przestrzenny. W dobie wzrostu liczby ludności świata, szalejącego konsumpcjonizmu oraz dążeń do wzrostu gospodarczego zrównoważone budownictwo stało się niezbędne do osiągnięcia zrównoważonego rozwoju. Idea zrównoważonego budownictwa akcentuje trwałość, wysoką jakość oraz poprawę już istniejących lub powstających konstrukcji, co gwarantuje poprawę jakości życia społeczeństw. Jednym z głównych problemów obecnego postępu gospodarczo-cywilizacyjnego jest rozprzestrzenianie się miast. Zrównoważone budownictwo, dzięki zwartej zabudowie, ogranicza zajmowaną powierzchnię, zwiększając areale zieleni.

Wymiar ekonomiczny zrównoważonego budownictwa stanowi analiza kosztowa, uwzględniająca cały cykl życia produktu – od zakupu działki i budowy, poprzez użytkowanie i utylizację. Analiza obejmuje koszty zakupu terenu pod zabudowę, uzbrojenia działki, planów, budowy, materiałów itd. Na koszty użytkowania składają się korzystanie z mediów, tj. energii, wody, ścieków, gromadzenie odpadów, ogrzewanie, modernizacja i konserwacja. Dodatkowo należy uwzględnić koszty rozbiórki, utylizację oraz ponowne przeznaczenie. Wymiar środowiskowy jest związany z optymalizacją wykorzystania materiałów budowlanych, minimalizowaniem negatywnego wpływu na środowisko naturalne poprzez oszczędność energii, wody, ścieków, odpadów, ogrzewania. Wymiar społeczny zrównoważonego budownictwa to poprawa jakości życia poprzez minimalizowanie negatywnego wpływu na zdrowie, wzrost użyteczności obiektu budowlanego chroniącego przed hałasem i chłodem. Wymiar przestrzenny to budowa zwieszonych, zielonych miast [25]. Zrównoważone budownictwo charakteryzuje się odpowiedzialnością, harmonią oraz przyczynia się do rozwoju cywilizacji.

Komisja Europejska, wspierając zrównoważony rozwój, zainicjowała wytyczenie rynków pionierskich (LMI – *Leader Market Initiative*), które odgrywają kluczową rolę w procesie trwałego rozwoju. LMI ma na celu wskazanie obiecujących, wschodzących rynków, nakreśla ramy instytucjonalno-prawne, umożliwiając wzrost popytu. Głównym kryterium wyboru była zdolność danego sektora do rozwoju społeczno-gospodarczego Europy, potencjał innowacyjności, baza technologiczna. Do podstawowych instrumentów realizacji inicjatywy należą odpowiednie ramy prawne, zamówienia publiczne, uwzględniające prócz korzyści ekonomicznych także aspekt środowiskowy i społeczny, normalizacja, certyfikacja oraz etykietowanie, szkolenia, komunikacja, wsparcie i zachęty finansowe. Wytyczone rynki pionierskie to:

1) E-zdrowie. Biorąc pod uwagę prognozy wzrostu liczby ludzi starszych w Europie, wydatki na służbę zdrowia do 2020 r. mogą wzrosnąć do 16% PKB. Wprowadzenie no-

wych metod zarządzania, technologii informatycznych skutkować będzie wzrostem konkurencyjności usług medycznych oraz poprawą jakości życia społeczeństw.

2) Budownictwo. Istnieje konieczność zrównoważenia tego sektora gospodarki, który generuje ok. 10% PKB UE, zatrudniając 7% siły roboczej. Dodatkowo budynki zużywają ok. 42% finalnej energii w UE oraz emitują ok. 35% gazów cieplarnianych do atmosfery.

3) Tekstylna ochrona – odzież oraz inne systemy oparte na materiałach włókienniczych. Produkty pochodzenia biologicznego – obejmują nieżywnościowe nowe produkty i materiały z wyłączeniem tradycyjnych produktów papierowych i drewnianych oraz biomasy jako źródła energii.

4) Recykling. Istnieje konieczność ograniczenia produkcji odpadów w celu ograniczenia kosztów (eksploatacja zasobów naturalnych, zużycie energii), skutkująca uniezależnieniem Europy od wahań cen na rynku surowców.

5) Energia odnawialna – rozwój tego sektora zwiększy samowystarczalność energetyczną Europy oraz realizację pakietu energetyczno-klimatycznego „3 × 20%” [9].

Zgodnie z programem ramowym UE „Horyzont 2020”, celem Wspólnoty jest budowa konkurencyjnej, innowacyjnej gospodarki, wspierającej zrównoważony rozwój. Podkreślano konieczność zwiększenia efektywności przemysłu oraz technologii umożliwiających energooszczędne budownictwo, rozwój technologii niskoemisyjnych i niskowęglowych. Wnioskuje się, że okres programowania na lata 2014–2020 zakłada konieczność rozwoju zrównoważonego budownictwa. Dodatkowo, zgodnie z dyrektywą 2010/31/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków, wszystkie obiekty budowlane wznoszone po 31 grudnia 2020 r. powinny być zeroenergetyczne, natomiast budynki użyteczności publicznej ten wymóg powinny spełnić już w 2018 r.

Do głównych dokumentów UE, warunkujących konieczność wdrażania zasad zrównoważonego budownictwa należą:

- *Europa 2020. Strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu;*
- *Energia 2020. Strategia na rzecz konkurencyjnego, zrównoważonego i bezpiecznego sektora energetycznego;*
- plan na rzecz efektywności energetycznej z 2011 r.;
- rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzenia do obrotu wyrobów budowlanych;

- komunikat Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego oraz Komitetu Regionów dotyczący planu działania na rzecz zrównoważonej konsumpcji i produkcji oraz zrównoważonej polityki przemysłowej;
- komunikat Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego oraz Komitetu Regionów *Zamówienia publiczne na rzecz poprawy stanu środowiska*;
- komunikat Komisji Wspólnot Europejskich, Rady, Parlamentu Europejskiego, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego oraz Komitetu Regionów *Inicjatywa rynków pionierskich dla Europy*.

Wymienione dokumenty podkreślają konieczność przejścia na wyższy poziom rozwoju cywilizacji europejskiej, co będzie możliwe dzięki wdrażaniu nowych technologii opartych na ekoinnowacjach. Niezbędne jest zaangażowanie konsumentów oraz producentów poprzez przedłużanie cyklu życia produktu, znakowanie i ekoetykietowanie produktów, zielone zamówienia publiczne, zwiększanie świadomości społecznej, wzrost efektywności wykorzystywania zasobów, rozwój i wsparcie ekologicznych producentów. Zauważa się promowanie racjonalnego wykorzystania potencjału ekologicznego we wszystkich gałęziach gospodarki. Wspieranie rozwoju konkurencyjności Europy oraz wzmacnianie własnej pozycji rynkowej wymaga wpisania się w trendy europejskie oraz światowe. Zrównoważone budownictwo stanowi podstawę dalszego rozwoju branży budowlanej.

Światowe trendy w zakresie zrównoważonego budownictwa to przede wszystkim kreacja zielonych budynków miejskich. Budowa drapaczy chmur, przyjaznych środowisku naturalnemu stanowi obecnie wyzwanie dla architektów i inżynierów. Organizacja World Green Building Council (WGBC) zajmuje się propagowaniem zielonego budownictwa. Według niej, miejskie wieżowce zużywają 65% energii elektrycznej w USA i 40% w Europie. Zielone budownictwo umożliwi doskonalenie właściwości użytkowych budynku poprzez minimalizację zużycia energii, wody, gospodarowanie odpadami. Nakłady inwestycyjne, związane z konstrukcją i budową budynków ekologicznych są o około 5% wyższe od kosztów tradycyjnego budowania, jednakże oszczędności w zużyciu energii, wody, emisji zanieczyszczeń, w tym CO₂ oraz generowaniu odpadów podczas całego cyklu użytkowania budynku pozwalają uzyskać zwrot dodatkowych kosztów w ciągu 5–15 lat. Co więcej, według danych WGBC, zaangażowanie doświadczonych specjalistów budownictwa zrównoważonego może zniwelować dodatkowe koszty inwestycyjne, czyniąc projekty zielonych budynków miejskich jeszcze bardziej atrakcyjnymi [5].

Zrównoważone budownictwo stanowi odpowiedź tego sektora gospodarki na zmiany klimatu i globalne ocieplenie. Jako przykład światowego lidera rozwoju zrównoważonego budownictwa miejskiego należy wskazać firmę Gifford [28], która projektuje i realizuje budynki zgodnie ze strategią zrównoważonego rozwoju. Wśród zakończonych projektów zielonych budynków (biblioteki, obiekty biurowe, muzea i centra sztuki) jako wzorcowy przykład zielonego budownictwa warto wymienić biurowiec firmy, zlokalizowany w Southampton, który otrzymał szereg nagród architektonicznych w aspekcie budownictwa ekologicznego.

Spośród wielu przyszłościowych projektów zrównoważonego budownictwa konieczne jest uwzględnienie takich, jak:

1) Pearl River Tower w Chinach. Budynek złożony z 71 pięter, który jest energetycznie samowystarczalny. Jego aerodynamiczna konstrukcja została zaprojektowana tak, aby w wyniku ześlizgiwania się powietrza do turbin powstawała energia, potrzebna do działania klimatyzacji i ogrzania wieżowca. Poza tym budynek jest wyposażony w zbiorniki na deszczówkę, mechaniczne żaluzje umieszczone na fasadzie oraz ogniwa fotowoltaiczne. Ma wytworzyć więcej energii, niż potrzebuje. Jest praktycznie ukończony i powinien zostać oddany do eksploatacji.

2) Gwanggyo w Korei Południowej – zielone, przeszklone, bezkantowe kopce termiów, wkomponowujące się w górzysty krajobraz okolic Seulu. Stanowią alternatywę dla miast o gęstym zaludnieniu. Projekt ekomiasteczka stworzono na potrzeby 77 tys. osób.

3) Editt Tower – projekt wieżowca wkomponowującego się w miejską przestrzeń Singapuru. Roślinność porasta połowę powierzchni użytkowej budynku. Nawadnianie wykorzystuje systemy gromadzące wodę deszczową oraz sieć rozprowadzającą do każdego pomieszczenia.

4) Vertical Farm – projekt domu-szklarni, zapewniającego samowystarczalność żywnościową 6 tys. mieszkańców-wegetarian.

5) Sky Village – projekt budynku w Rodover (Kopenhaga), składającego się z tzw. pikseli, które można dobrowolnie przestawiać w zależności od potrzeb. Każda z kostek to 60 m² powierzchni użytkowej.

6) Dubai Dynamic Tower – drapacz chmur samowystarczalny energetycznie, dający możliwość produkcji energii. Składa się z 80 modułów obracających się wokół własnej osi zgodnie z podmuchami wiatru. Pomiędzy modułami zamontowano turbiny wiatrowe. Dodatkowo każdy z modułów może stać się dachem, na którym zamontowano baterie słoneczne [24].

3.5. Ocena cyklu życia produktu jako narzędzie warunkujące rozwój zrównoważonego budownictwa

Do głównych systemów oceny budownictwa zrównoważonego, obecnych także w Polsce, należą Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) oraz Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM). Systemy te opierają się na analizie wpisania się budynku w wymogi zrównoważonego rozwoju poprzez monitoring ogólnych grup tematycznych, tj. wody, energii, powietrza, odpadów i ich efektywnego wykorzystania oraz gospodarowania. Narzędziem umożliwiającym taką analizę jest ocena cyklu życia produktu – Life Cycle Assessment (LCA).

LCA stanowi środowiskową ocenę cyklu życia produktu pod względem wpływu na środowisko naturalne o charakterze ilościowym. Jest narzędziem o szerokim spektrum zastosowań. Wynik liczbowy umożliwia precyzyjną interpretację oraz zdobycie informacji o wielkości wpływu na środowisko naturalne danego produktu/usługi w całym cyklu życia. Ocena LCA ma znormalizowany charakter – jest ujęta przez Międzynarodową Organizację Standaryzacji w grupie norm ISO 14040 i 14044. Ocena cyklu życia produktu umożliwia analizę „od kołyski do grobu”. Technika ta posiada szeroko perspektywiczne zastosowanie, tj. ekoprojektowanie, ekoetykietowanie, zielone zamówienia publiczne, systemy zarządzania środowiskowego, określanie najlepszej techniki (Best Available Technique, BAT). Należy podkreślić, że znajduje zastosowanie również w analizie wpływu obiektu budowlanego na środowisko naturalne.

Badanie LCA składa się z następujących faz, zgodnych z normami serii ISO 14040:

– **Określenie celu i zakresu.** Etap ten obejmuje podejmowanie kluczowych decyzji. Wpływają one na efektywność przeprowadzonego badania oraz kształtują strukturę i przebieg analizy. Należy zdefiniować motyw działania LCA, wykorzystanie wyników oraz określenie podmiotów związanych z badaniem. Technika pozwala analizować wpływ produktu/usługi na środowisko naturalne i rozważać różne metody realizacji tych samych funkcji, tzn. LCA spełnia zasadę równoważności funkcyjnej.

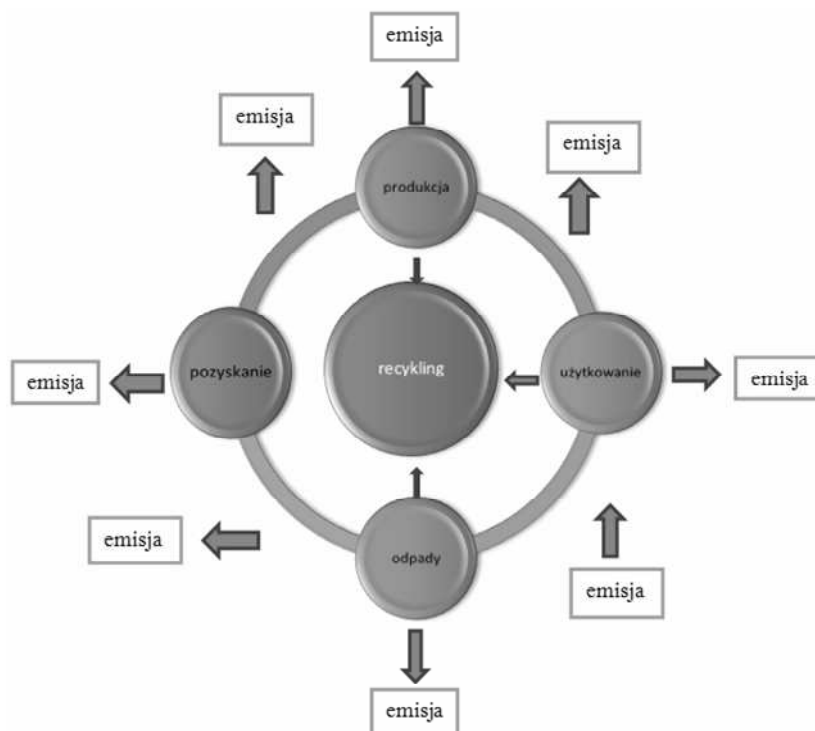
– **Analiza zbioru wejść i wyjść (LCI).** Etap ten obejmuje zbiór oraz przypisanie danych do poszczególnych etapów wytwarzania produktu/usługi. LCA ma charakter procesowy. Technika wymaga analizy i gromadzenia bardzo dużej ilości danych. Jest to uwarunkowane szerokim spektrum oddziaływania badania na poszczególne ogniwa procesu produkcji produktu/usługi, począwszy od surowców, półproduktów, materiałów pomocniczych, poprzez emisyjność, do powietrza, wody, gleby i wytwarzania odpadów w ramach każdego etapu. Im bardziej zróżnicowane dane pod względem rodzaju proce-

sów wchodzących w skład wytwarzania produktu/usługi, tym lepsza jakość wyników końcowych.

– **Ocena wpływu cyklu życia (LCIA).** Etap ten obejmuje określenie wpływu na środowisko poprzez wykorzystanie różnych metod. Do najbardziej popularnych należą CML2001, Impact2002+, Ecoindicator99, EDIP, EPS.

– **Interpretacja.** Ostatni etap obejmuje dogłębną analizę uzyskanych wyników z uwzględnieniem określenia ich wiarygodności [10].

Na cykl życia obiektu budowlanego składają się trzy jego etapy: budowa (projekt, budowa); użytkowanie (użytkowanie codzienne, remonty) i zakończenie użytkowania (rozbiórka, recykling).



Rys. 3.1. Cykl życia obiektu budowlanego

Rysunek 3.1 przedstawia schemat cyklu życia obiektu budowlanego od momentu pozyskania surowców niezbędnych do wytworzenia materiałów, poprzez budowę, użytkowanie, aż po produkcję odpadów. Należy dodatkowo uwzględnić emisję pyłów oraz gazów cieplarnianych, powstających na każdym etapie cyklu, a także podczas transportu poszczególnych surowców i wyrobów, do momentu powstania obiektu budowlanego i jego użytkowania.

Analizując zrównoważone budownictwo, należy zwrócić uwagę na dwa pierwsze etapy cyklu życia obiektu budowlanego, stanowiące pozyskanie surowców, przetwórstwo oraz produkcję dobra finalnego lub usług przy wykorzystaniu użytych metod produkcyjnych oraz zużycia energii. Wskaźniki umożliwiające ocenę efektywności to m.in. porównanie wielkości PKB z ilością zużytych zasobów oraz energii, jak również z wielkością emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Działania te mogą uwidocznic obszary produkcji, które są nieefektywne pod względem materiałochłonności, zużycia energii czy też emisji. Innowacje proekologiczne umożliwiają miarodajność efektywności wytwarzania w aspekcie środowiskowym. Natomiast należy pamiętać, że zrównoważone budownictwo – w rozumieniu koncepcji zrównoważonego rozwoju – to zastosowanie odpowiednich narzędzi, warunkujących równowagę czterech filarów, tj. środowiska, ekonomii, społeczeństwa i przestrzeni.

3.6. Wskaźniki budownictwa zrównoważonego

Oceniając obiekt budowlany pod względem jego zrównoważenia, należy rozważyć cztery grupy wskaźników. Pierwsza grupa wspomaga rozpoznanie uszczuplenia dostępnych zasobów naturalnych. Analizie podlegają nieodnawialne źródła energii, niezbędne do wytworzenia elementów konstrukcji obiektu budowlanego, materiałów budowlanych, konserwacji oraz użytkowania, rozbiórki, a także transport materiałów na miejsce budowy. Dodatkowo trzeba uwzględnić zużywanie energii związanej z eksploatacją obiektu, tj. ogrzewaniem, klimatyzacją, oświetleniem, zasilaniem urządzeń gospodarczych, gospodarką odpadami, urządzenia umożliwiające pozyskiwanie wody pitnej oraz jej dalsze przetwarzanie i dostarczanie. Druga grupa wskaźników obejmuje analizę emisyjności obiektu budowlanego do powietrza. Istnieje konieczność monitorowania emisji gazów cieplarnianych, związanych z użytkowaniem obiektu, tj. oświetleniem, ogrzewaniem, korzystaniem z urządzeń gospodarczych, usuwaniem odpadów, remontem, środkami transportu. Wskaźniki z trzeciej grupy służą ocenie emisyjności obiektu budowlanego do

Przykładowe wskaźniki zrównoważonego budownictwa w oparciu o LCA

Obszar środowiskowy	Obszar społeczny	Obszar ekonomiczny
<i>Zmiana klimatu</i>	<i>Komfort hydrotermalny</i>	<i>Koszty LCA</i>
Globalne ocieplenie [CO ₂ /kg emisji]	Wilgotność względna [%]	Koszty realizacji obiektu [PLN]
<i>Emisje do powietrza i wody</i>	Zimowa sprawność cieplna [%]	Koszty konserwacji [PLN]
Niszczanie warstwy ozonowej [CFC-11/kg emisji]	Letnia sprawność cieplna [%]	Koszty eksploatacji [PLN]
Zakwaszanie gleby [SO ₂ /kg emisji]	<i>Jakość powietrza wewnętrznego</i>	Koszty remontów, przeróbek [PLN]
Eutrofizacja gleby [PO ₄ /kg emisji]	Zawartość cząstek stałych [mg/m ³]	Koszty rozbiórki [PLN]
Odpady toksyczne do ziemi [m ³ gleby/g emisji]	Tlenek węgla [mg/m ³]	Koszty recyklingu [PLN]
Smog ozonowy [C ₂ H ₆ /kg emisji]	Dwutlenek węgla [mg/m ³]	
Odpady toksyczne do wody [m ³ wody/g emisji]	Ozon [mg/m ³]	
Odpady toksyczne do powietrza [m ³ powietrza/g emisji]	Formaldehyd [mg/m ³]	
<i>Gospodarka wodna</i>	Organiczne cząstki lotne [mg/m ³]	
Zużycie wody pitnej [m ³]	<i>Komfort akustyczny</i>	
Wykorzystanie wody deszczowej [m ³]	Izolacja od dźwięków powietrznych [dB]	
<i>Uszczuplenie zasobów naturalnych</i>	Izolacja od dźwięków uderzeniowych [dB]	
Zużycie ładu [m ²]	Czas echa [ms]	
Uszczuplenie zasobów mineralnych [kg, m ³]	<i>Wygoda widzenia</i>	
Zużycie paliw kopalnych [kg, m ³]	Wykorzystanie światła naturalnego [luks]	
	Natężenie oświetlenia [luks]	

ziemi i wody. Przykład stanowić może szeroko rozumiana gospodarka odpadami, tj. powstawanie odpadów stałych, będących rezultatem powstawania budynku i jego późniejszej eksploatacji, ścieki bytowo-gospodarcze, ścieki komunalne itd. Czwarta grupa obejmuje problemy związane z aspektem środowiskowym, tzn. analizę wpływu obiektu budowlanego na zmiany w krajobrazie przestrzennym oraz bioróżnorodność środowiska naturalnego [2].

Tabela 3.2 zawiera wykaz przykładowych wskaźników oddziaływania obiektu budowlanego z uwzględnieniem LCA.

3.7. Podsumowanie

Zrównoważone budownictwo stanowi przyszyły kierunek rozwoju sektora budowlanego. Należy pamiętać, że obiekt budowlany jest wtedy zrównoważony, gdy prócz aspektu środowiskowego uwzględniono w nim również aspekt społeczny, ekonomiczny i przestrzenny. Budownictwo zrównoważone wymaga analizy obiektu w całym cyklu życia, od fazy tworzenia projektu, wytwarzania materiałów budowlanych i ich transportu, przez budowę, użytkowanie, do rozbiórki i utylizacji. Dodatkowo każde z wymienionych ogniw łańcucha produkcji budowli generuje emisję substancji wpływających negatywnie na klimat, a przez to na jakość życia społeczeństw. Uwarunkowania te obrazują złożoność kreacji i wdrażania zrównoważonych budowli w przestrzeń miejską.

Projekt „Dom 2020” wpisuje się w światowe i europejskie trendy budownictwa zrównoważonego. Dzięki innowacyjnym rozwiązaniom wspierającym ochronę środowiska umożliwia podnoszenie komfortu użytkowania obiektu, a przez to poprawę samopoczucia jednostek tam zamieszkujących.

LITERATURA

- [1] Adamkiewicz-Drwiłło H. G., *Determinanty ekologiczne konkurencyjności przedsiębiorstw w warunkach globalizacji*, [w:] *Zrównoważony rozwój przedsiębiorstwa a relacje z interesariuszami*, red. H. Brdulak, T. Gołębiowski, Wydawnictwo Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie – Oficyna Wydawnicza, Warszawa 2005.
- [2] *An agenda for sustainable construction in Europe. A report drawn up by the Working Group for Sustainable Construction with participants from the European Commission, Member States of Industry*, 2001.

- [3] Broniewicz M., *Ocena cyklu życia obiektu budowlanego w ramach program badawczego Unii Europejskiej Cost 25*, „Ekonomia i Środowisko – Czasopismo Europejskiego Stowarzyszenia Ekonomistów Środowiska i Zasobów Naturalnych” 2011, nr 1 (39).
- [4] Czaja S., Becla A., *Czterech jeźdźców ekologicznej zagłady we współczesnym świecie*, [w:] *Trendy i wyzwania zrównoważonego rozwoju*, red. B. Kryk, Wydawnictwo Zapol, Szczecin 2011.
- [5] *Ekodomy przyszłości*, „Ekoporaadnik, Przekrój”, 9.03.2010, nr 10 (3376).
- [6] *06 Zrównoważona konsumpcja i produkcja*, „European Environment Agency” 2007, No 1.
- [7] *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the regions on the Sustainable Consumption and Production and Sustainable Industrial Policy Action Plan*, Commission of the European Communities, Brussels, 16.07.2008, COM(2008) 397 final.
- [8] Famielec J., *Straty i korzyści ekologiczne w gospodarce narodowej*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa–Kraków 1999.
- [9] *Komunikat Komisji do Rady, Parlamentu Europejskiego, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego oraz Komitetu Regionów. Inicjatywa rynków pionierskich dla Europy*, Komisja Wspólnot Europejskich, KOM(2007)860 wersja ostateczna, Bruksela, dnia 21.12.2007.
- [10] Kronenberg J., Bergier T. (red.), *Wyzwania zrównoważonego rozwoju w Polsce*, Fundacja Sendzimira, Kraków 2010.
- [11] Kozłowski S., *Europejska perspektywa zrównoważonego rozwoju*, [w:] *Zrównoważony rozwój w ujęciu interdyscyplinarnym*, red. J. Kostecka, Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Biologiczno-Rolniczy, Rzeszów 2008.
- [12] Malara Z., Kroik J., *O strategiach przedsiębiorstwa w globalnej gospodarce*, [w:] *Organizacja w warunkach nasilającej się konkurencji*, red. I. Stankiewicz, Wydawnictwo Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2004, s. 281–292, [w:] Z. Malara, *Przedsiębiorstwo w globalnej gospodarce. Wyzwania współczesności*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
- [13] Malara Z., *Przedsiębiorstwo w globalnej gospodarce. Wyzwania współczesności*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
- [14] *Założenia do programu działań na rzecz zrównoważonej produkcji i konsumpcji. Projekt*, Ministerstwo Gospodarki, Warszawa, grudzień 2009.
- [15] Munasinghe M., *Sustain comics and sustainable development*, http://www.eoearth.org/article/Sustainomics_and_sustainable_development.
- [16] Penc J., *Strategie zarządzania. Strategie dziedziczne i ich realizacja. Zintegrowane zarządzanie strategiczne*, AW Placet, Warszawa 1995.
- [17] Raport of the World Commission on Environment and Development, *Our Common Future*, <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>.
- [18] *Study on the incorporation of Social Considerations in Public Procurement in the EU. Proposed Elements for taking account of the Social Considerations in Public Procurement*, 21st July 2008.

- [19] T o c z y s k i W., *Monitoring rozwoju zrównoważonego*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2004.
- [20] W a ł o s z c z y k K., *Zrównoważony rozwój. Zbiór opracowań*, Oficyna Wydawnicza WSM SIG, Warszawa 2004.
- [21] Z a b ł o c k i G., *Rozwój zrównoważony. Idee, efekty, kontrowersje*, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2002.
- [22] COM(2001), *A Sustainable Europe for a Better World: A European Union Strategy for Sustainable Development*, Brussels 2001.
- [23] <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm> (dostęp 17.01.2012).
- [24] http://www.eoearth.org/article/Sustainomics_and_sustainable_development (dostęp 17.01.2012).
- [25] <http://www.zrownowazonebudownictwo.pl/subpage/7/> (dostęp 17.01.2012).
- [26] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0397:FIN:en:PDF> (dostęp 17.01.2012).
- [27] <http://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=331&langId=en> (dostęp 17.01.2012).
- [28] <http://www.gifford.uk.com> (dostęp 17.01.2012).
- [29] <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=410543&page=39> (dostęp 17.01.2012).

4. Charakterystyka energetyczna budynku energooszczędnego „Dom 2020” jako element oceny środowiskowej obiektu

4.1. Zintegrowany proces projektowy – przyszłość rozwoju zrównoważonego w budownictwie

Obserwując zbiór pewnych dążeń społecznych, ekonomicznych i środowiskowych, podkreślając tendencje i rezygnując z szerszego opisu szczegółów tych zmian, wywnioskować można, że przez ostatnie dekady kwestie rozwoju zrównoważonego (zwanego dalej w skrócie ZR) lub odpowiadającego zasadom zrównoważonego rozwoju stały się przedmiotem wzmoczonego zainteresowania w wielu krajach – pochłaniając tym samym umysły idealistów, realistów, badaczy, praktyków i artystów czy innych działaczy społecznych. Wyłączając ponadto z dalszych rozważań zrozumienie przez ogół społeczeństwa pojęcia i zasad rozwoju zrównoważonego, które – jak pokazują badania [5, 6] – ściśle łączą się z edukacją społeczną i podnoszeniem świadomości ekologicznej, warto odnieść zagadnienia takiego rozwoju do konkretnych jego gałęzi. Co zaś tyczy się samej świadomości ekologicznej Polaków, w badaniach przeprowadzonych w roku 2010 [5] członkowie reprezentatywnej grupy respondentów poproszeni o odpowiedź na pytanie: która działalność gospodarcza człowieka najbardziej przyczynia się do zmian klimatu, wskazywali przede wszystkim przemysł (61%), wielkoobszarowe wycinanie lasów (55%), energetykę (26%), a w dalszej kolejności transport (18%). Oczywiście niezbyt trafnie pokrywa się to z ogólnie przyjętymi danymi, wg których ponad 40% unijnej produkcji energii zużywa się w budownictwie, około 35% europejskiej emisji gazów cieplarnianych pochodzi z budownictwa i około 50% masy przetwarzanych materiałów przypada na ten sektor gospodarki.

Budownictwo, w szczególności budynki wraz z ich eksploatacją, wywierają szeroki, bezpośredni oraz pośredni, wpływ na środowisko, społeczeństwo i ekonomię – a zatem rozległa tematyka budownictwa wiąże się z trzema filarami ZR. Praktycznie każdy

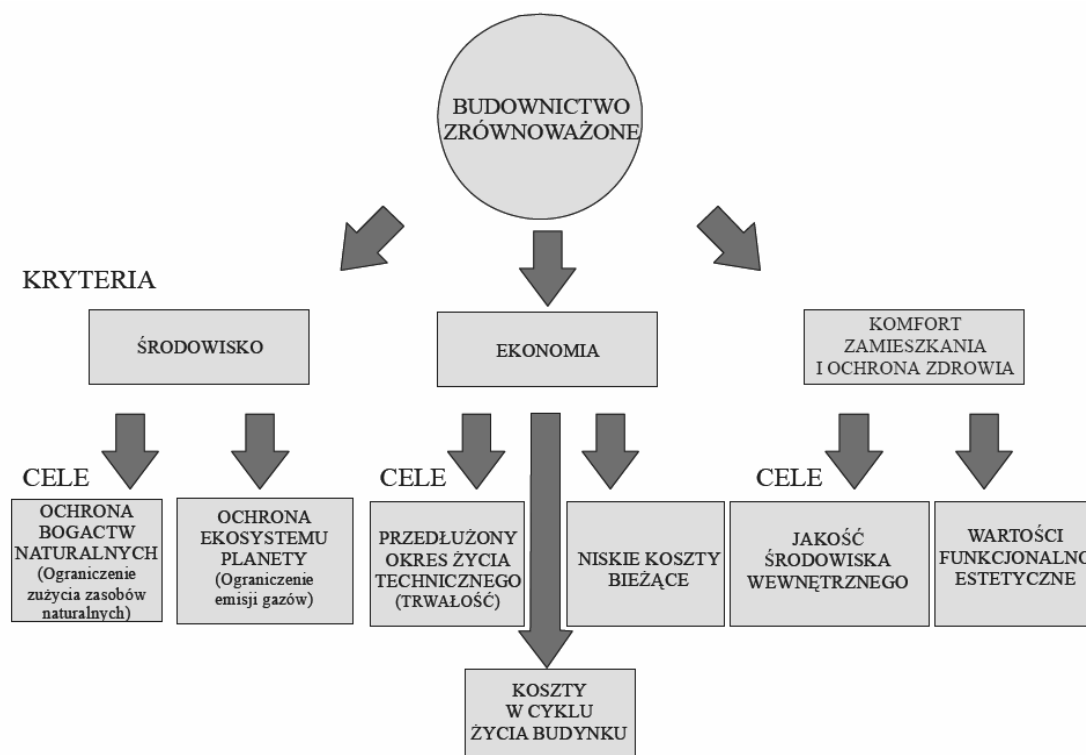
normalnie użytkowany budynek do prawidłowego funkcjonowania potrzebuje określonych grup zasobów, których racjonalne wykorzystanie postuluje właśnie ZR.

Do zasobów naturalnych związanych z cyklem istnienia budynku (opisanym szerzej w artykule [7] i innych publikacjach) zaliczać będziemy w pierwszej kolejności energię, w szczególności energię pierwotną (ukrytą pod postacią energii elektrycznej i ciepłej), związaną z wytworzeniem materiałów, dalej wzniesieniem budynku, jego użytkowaniem i w końcowej fazie rozbiórką, a następnie przetworzeniem materiałów. W procesie produkcji energii, szczególnie przy spalaniu paliw kopalnych, emitowane są gazy cieplarniane. Zawierają często gazy niszczące powłokę ozonową i wywołujące kwaśne deszcze, dlatego redukcja ich emisji do atmosfery stanowi kluczowy punkt na mapie strategicznych dążeń krajów Unii Europejskiej i krajów wysoko rozwiniętych reszty świata. Drugi z zasobów naturalnych stanowi teren zajmowany pod budynek i jego otoczenie. Szczególnie powinien nas interesować sposób przekształcenia istniejącego terenu – inaczej oddziaływać będzie na środowisko budynek stawiany w miejscu wyciętego lasu, inaczej budynek zastępujący obiekt wcześniej wyburzony. Ostatnim z zasobów naturalnych wykorzystywanych w budynkach jest woda – jej jakość, źródła pozyskiwania, sposoby przetwarzania i zagospodarowywania powstających ścieków również oddziałują na środowisko naturalne. W przeciętnym, średniej wielkości mieście żyje około 250 tysięcy ludzi. Jeżeli przyjąć dzienne zapotrzebowanie na wodę dla jednego mieszkańca na poziomie 70 litrów, dla samych celów sanitarno-bytowych otrzymamy 17 500 m³ wody zużywanej w ciągu doby w owym mieście. Wodę tę trzeba najpierw pozyskać, następnie uzdatnić (często w sposób chemiczny), by na końcu, przed odprowadzeniem do ekosystemu, znów poddać procesowi oczyszczania. Budownictwo – to również przetwarzanie i zużycie ogromnych mas materiałów oraz transport związany z koniecznością przemieszczenia tej masy. Omawiając wpływ budynku na środowisko, należy pamiętać o generowaniu odpadów stałych, które nieodpowiednio przetwarzane szybko prowadzą do jego degradacji. Prócz oddziaływania na środowisko zewnętrzne, rolą budownictwa jest kształtowanie środowiska wewnętrznego w taki sposób, aby zapewnić użytkownikom budynków jakość powietrza i wentylacji dostosowaną do ich potrzeb (formy wykonywanej aktywności fizycznej), komfort termiczny i wizualny (włączając w to dostęp do światła dziennego i możliwość kontaktu wzrokowego z otoczeniem), a także ochronę przed hałasem i wibracjami.

Rozwój zrównoważony stawia przed projektantami, wykonawcami oraz przyszłymi użytkownikami budynków (wraz z instalacjami) wyjątkowe, a nawet epokowe wyzwanie – minimalizacji wpływu na środowisko naturalne. Wysiłki i dążenia powinny być tak

kierowane, aby wszystkie nowo wznoszone i poddawane znaczącej modernizacji budynki ograniczały do **ekonomicznie** uzasadnionego minimum zużycie wymienionych zasobów, zapewniając jednocześnie maksimum bezpieczeństwa, komfortu użytkowania, stymulujących parametrów środowiska wewnętrznego oraz dostępności (zewnętrznej do obiektu oraz komunikacji wewnętrznej – poprzez eliminację barier architektonicznych i lokowanie budynków w już istniejącej infrastrukturze komunikacyjnej).

Wyznaczenie zasad oceny działań dla budownictwa spełniającego kryteria rozwoju zrównoważonego zilustrowano na rys. 4.1, przy czym jedno z ważniejszych kryteriów stanowi ograniczenie zużycia energii w cyklu istnienia obiektu [16].



Rys. 4.1. Budownictwo zrównoważone – kryteria oceny

Biorąc pod uwagę obecne wyzwania gospodarcze, warto dodatkowo wyznaczyć w metodologiach krajowych takie standardy, dzięki którym modernizacja istniejących budynków stanie się bardziej opłacalna niż budowa nowego obiektu. Odpowiednio zaprogramowane prace remontowe i modernizacyjne istniejących budynków pozwolą obniżyć koszty eksploatacji i wpływ budynku na środowisko, zapewniając przy tym większą trwałość obiektu.

Jedną z odpowiedzi na wyzwania ZR jest stale rozwijana i udoskonalana metodologia projektowania zintegrowanego, która uwzględnia wszystkie etapy cyklu istnienia obiektu [3]. Podejście takie, zwane często wymiennie „projektowaniem zrównoważonym”, zwiększa nacisk na zarządzanie środowiskowe zorientowane na oszczędne wykorzystywanie i ochronę zasobów, a dzięki zastosowaniu **metod optymalizacyjnych** pozwala osiągnąć równowagę w aspektach kosztów, środowiska i społeczeństwa, przy jednoczesnym zachowaniu planowanej funkcjonalności obiektu.

Definicja zrównoważonego projektowania budynków ulegała ciągłym zmianom, jednak stale obowiązuje w niej sześć podstawowych zasad, wymienionych poniżej [17].

1. Optymalizacja istniejącego potencjału lokalizacji obiektu: tworzenie zrównoważonych budynków powinien poprzedzać wybór właściwego miejsca, ze szczególnym uwzględnieniem ponownego zagospodarowania lub rewitalizacji istniejących zasobów. Lokalizacja, orientacja oraz wkomponowanie budynku w krajobraz wpływa na lokalny ekosystem, metody transportu i w konsekwencji na zużycie energii. Drogi dojazdowe i parkingi, dostęp do komunikacji publicznej, warunki oświetlenia obiektu światłem naturalnym i sztucznym, zagospodarowanie wód opadowych z obiektu i powierzchni utwardzonych wokół niego również powinny zawierać się w tym punkcie.

Większość istniejących lub nowo projektowanych obiektów biurowych i zamieszkania zbiorowego znajduje się w obszarach zabudowanych budynkami o podobnej lub nieco mniejszej wielkości, natomiast obiekty zamieszkania jednorodzinne lokalizowane są w obszarach zabudowanych budynkami o podobnym lub większym rozmiarze. Rzadziej spotyka się obiekty zdecydowanie mniejsze od budynków sąsiednich (za wyjątkiem centrów źle zaprojektowanych urbanistycznie miast). Rodzaj i wielkość budynków sąsiednich będą miały największy wpływ na dostęp bezpośredniego promieniowania słonecznego oraz przepływ wiatru [8]. Pośrednio zmiana natężenia docierającego promieniowania skutkować będzie ilością dostępnego światła dziennego [4].

2. Optymalizacja zużycia energii: jej istotę stanowi określenie sposobów obniżenia szczytowego obciążenia sieci (np. dzięki zastosowaniu sterowania pracą domowych odbiorników energii), zwiększenie wydajności procesów produkcji, dystrybucji i wykorzy-

stania energii przy jednoczesnym zwiększeniu wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych. Poprawa wydajności energetycznej budynków stanowi klucz do zapewnienia niezależności energetycznej. Ważne jest, aby każdy kraj dysponował uregulowaniami prawnymi i mechanizmami finansowymi sprzyjającymi powstawaniu rozproszonej sieci wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych. W chwili obecnej chaos panujący w przepisach krajowych nie sprzyja takim rozwiązaniom, szczególnie dla inwestorów prywatnych.

Wymiana ciepła pomiędzy strefą o kontrolowanej temperaturze wewnętrznej a środowiskiem zewnętrznym odbywa się bezpośrednio przez powłokę budynku i/lub pośrednio poprzez buforową strefę fasady – przy zastosowaniu oranżerii lub fasad podwójnych. Z uwagi na silne wyeksponowanie na oddziaływanie środowiska zewnętrznego mocno przeszklonej fasady południowej budynków energooszczędnych, zachodzące w nich procesy mają charakter dynamiczny i zależny od zmiennych parametrów meteorologicznych. Energię z budynku tracimy na drodze przenikania przez przegrody oraz przez przepływ powietrza pomiędzy wnętrzem budynku a otoczeniem. Wielkość wymiany ciepła jest uzależniona od temperatury w pomieszczeniach, zmiennej w ciągu doby w zależności od docierającego promieniowania słonecznego oraz temperatury powietrza zewnętrznego.

3. Racjonalna gospodarka wodna: problem zaopatrzenia w świeżą wodę przestaje być zagadnieniem dotyczącym krajów o klimacie gorącym i suchym. W wielu częściach Polski, zasoby wody pitnej, w tym wód gruntowych, kurczą się coraz bardziej, wywołując lokalne susze. Zrównoważone budownictwo powinno efektywnie wykorzystywać wodę poprzez np. uwzględnienie na etapie projektowym możliwości gromadzenia wody opadowej czy poddania procesowi oczyszczania ścieków w miejscu wytworzenia. Niestety, polskie prawodawstwo nie sprzyja rozwiązaniom przydomowych oczyszczalni ścieków, ponieważ nakłada na użytkownika konieczność podłączenia do kanalizacji zbiorowej, jeżeli jest ona zlokalizowana w pobliżu obiektu.

Dla budynków zrównoważonych proponuje się stosowanie urządzeń racjonalizujących zużycie wody, takich jak energooszczędne pralki i zmywarki, baterie czerpalne, miski ustępowe oraz pisuary, które zapewnią mniejszy pobór wody zimnej i ciepłej. W przypadku koncepcji Domu 2020 zaprojektowano również instalację do odzysku i wykorzystania wody deszczowej. Ponadto instalacja do oczyszczenia i ponownego wykorzystania wody szarej, ściekowej, może stanowić opcjonalne rozwiązanie, gdy podłączenie do kanalizacji zbiorowej nie jest możliwe.

4. Używanie produktów certyfikowanych, przyjaznych dla środowiska, czyli takich, które stwarzają w swoim cyklu istnienia mniejsze obciążenie dla środowiska i zdrowia ludzkiego. Sytuacja materiałów certyfikowanych na rynku polskim pozwala stwierdzić,

że większość deklaracji producentów odnośnie do wyrobów ma charakter raczej marketingowy – sporządzone zostały w sposób niekontrolowany i częstokroć niespójny z normami branżowymi. Można pokusić się o tezę, że w przypadku braku spójnego systemu krajowego dotyczącego certyfikacji materiałów budowlanych warto stosować te najbardziej naturalne i o możliwie najniższym stopniu przetworzenia.

5. Jakość środowiska wewnętrznego: wywiera istotny wpływ na zdrowie użytkowników budynku, ich komfort oraz produktywność. Spośród wszystkich możliwych do kontrolowania parametrów, prócz temperatury, w budynku zrównoważonym wykorzystuje się do maksimum oświetlenie dzienne, wentylację mechaniczną o adaptowalnych algorytmach sterowania z możliwością kontrolowania wilgotności powietrza, unika się natomiast stosowania materiałów o wysokiej emisji organicznych związków lotnych VOC czy materiałów o wysokiej radioaktywności naturalnej.

Procesy transmisji światła dziennego do wnętrza budynku za pośrednictwem jego powłoki są ściśle powiązane z transmisją całkowitej energii promieniowania słonecznego [10]. Z uwagi na wymagane natężenie oświetlenia w strefie przebywania osób podstawowy parametr stanowi współczynnik przepuszczalności promieniowania widzialnego dla powierzchni przeszklonych, który dla budynków energooszczędnych nie powinien być mniejszy niż 50%. Biorąc jednak pod uwagę pozostałe parametry komfortu, znaczenia nabiera kierunkowość strumienia świetlnego oraz kontrast luminancji. W celu zapewnienia właściwego oświetlenia pomieszczeń, zarówno pod kątem cech ilościowych, jak i jakościowych, proponuje się rozważenie zastosowania systemów oświetlenia dziennego. Do podstawowych należą: półki świetlne, łamacze światła i tunele świetlne. Ich głównym zadaniem jest odpowiednie naprowadzanie strumienia świetlnego przy zapewnieniu wysokiego poziomu i równomierności oświetlenia oraz eliminacji strumienia światła bezpośredniego. W zależności od warunków pogodowych rozważa się możliwość regulacji wydajności poszczególnych systemów poprzez zmianę ich geometrii i/lub położenia.

Jako kryterium komfortu termicznego przyjmować można różnicę pomiędzy temperaturą wynikową a temperaturą w pomieszczeniu ΔT_{ri} . Temperatura wynikowa T_{res} jest to parametr uwzględniający zarówno temperaturę powietrza, jak i temperaturę otaczających powierzchni, a pośrednio strumień energii promieniowania słonecznego, docierający do pomieszczenia.

$$\Delta T_{ri} = |T_{res} - T_i|$$

przy czym:

$$T_{res} = 0,5(T_i + T_s),$$

gdzie: T_i – temperatura powietrza w pomieszczeniu [°C], T_s – średnia ważona temperatura powierzchni otaczających [°C].

Poszukuje się rozwiązania, dla którego $T_{res} \rightarrow T_i$ lub inaczej $\Delta T_{ri} \rightarrow 0$. T_i jest z założenia temperaturą kontrolowaną i zakłada się, że wynosi odpowiednio 20°C w zimie oraz 24°C w lecie (lub np. 18°C w zimie dla temperatury nocnej oraz 26°C w lecie w okresie przebywania użytkowników poza obiektem).

Kryterium komfortu wizualnego wyznacza równomierność natężenia oświetlenia, wyrażona jako różnica minimalnego i maksymalnego natężenia oświetlenia ΔE_{sr} , w bezpośrednim otoczeniu pola zadania wzrokowego.

$$\Delta E_{sr} = \frac{E_{min}}{E_{sr}}$$

gdzie: E_{min} – minimalne natężenie oświetlenia w polu zadania wzrokowego [lx], E_{sr} – średnie natężenie oświetlenia w polu zadania wzrokowego [lx].

Jako pole zadania wzrokowego przyjmuje się płaszczyznę poziomą o powierzchni pomieszczenia pomniejszoną o powierzchnię strefy obwodowej szerokości 1m. Minimalne natężenie oświetlenia E_{min} określono na poziomie 500 lx. Wartość ΔE_{sr} nie powinna być mniejsza niż 0,5.

6. Wytyczne utrzymania budynku i optymalizacja zadań operacyjnych: mając na uwadze możliwy stopień skomplikowania systemów ogrzewania, chłodzenia i wentylacji (z ang. HVAC) nowoczesnych budynków, zagadnienia prawidłowej obsługi, użytkowania i utrzymywania tych obiektów powinny być rozważane już we wstępnej fazie projektowej. Przyczyni się to do poprawy środowiska pracy, wyższej wydajności, zmniejszenia kosztów utrzymania i pozwoli wyeliminować wiele przyczyn awarii systemów jeszcze nim budynek zostanie oddany do użytkowania. Operatorzy systemów HVAC i personel techniczny budynku również powinni wchodzić w skład zespołu projektowego, aby mieli możliwość wspierania procesu optymalizacji funkcji sterowania i jednocześnie uczyli się ich obsługi już we wstępnej fazie projektowej.

Co ciekawe, acz niepokojące, kupując dziś np. szczoteczkę elektryczną do mycia zębów otrzymujemy w zestawie instrukcję obsługi w 15 językach, po około 20 stron każda. Budując/kupując dom lub obiekt biurowy nie oczekujemy żadnych wytycznych odnośnie

do jego dalszego funkcjonowania i utrzymania – przecież obsługa domu to nie skomplikowanego, a w przypadku obiektów biurowych zatrudniamy pracownika technicznego i mamy w razie niepowodzeń kozła ofiarnego, który odpowiada za złe funkcjonowanie budynku. Tymczasem nowoczesne budownictwo energooszczędne wymaga od użytkowników zmiany dotychczasowych nawyków (jak chociażby otwierania okien i kontrolowania zamknięcia/otwarcia rolet) i zwiększenia koncentracji na aspekcie sterowania zasobami, o których rzadko są informowani.

Budynki zrównoważone powinny ponadto wykazywać zwiększoną elastyczność, tj. zdolność funkcjonowania i działania pod wpływem ekstremalnych warunków, takich jak skrajne temperatury, podnoszenie się poziomu morza, klęski żywiołowe (powodzie i podtopienia, huragany) itp. Z elastycznością wiążą się również możliwości adaptacyjne budynku, czyli jego potencjał zmiany przeznaczenia, w całym cyklu istnienia – np. możliwość zaadaptowania części budynku usługowego na potrzeby mieszkalne i odwrotnie.

Projektowanie budynków zrównoważonych wymaga integracji w syntetyczną całość wielu rodzajów informacji, zarówno technicznych, jak i estetycznych itp. **Zintegrowany proces projektowy**, lub inaczej projektowanie holistyczne, obejmuje aktywny i ciągły udział m.in. architektów i inżynierów budownictwa (w tym konstruktora, fizyka budowli, inżyniera procesów budowlanych, specjalisty od utrzymania i modernizacji obiektów), technologów, inżynierów systemowych, konsultantów kosztorysowych, elektrotechników – czyli specjalistów i konsultantów z różnych specjalistycznych dziedzin technicznych. Budynki o najwyższych standardach mogą powstawać tylko w wyniku aktywnej i spójnie zorganizowanej współpracy członków zespołu projektowego. Zintegrowany proces projektowania zakłada zawiązanie interdyscyplinarnej współpracy od samego początku fazy projektowej, w celu opracowania rozwiązań przynoszących **maksimum korzyści**.

Przygotowanie projektu może się odbywać z udziałem wielu osób, ale inicjatywy takie powinny stanowić odpowiedź na realne potrzeby inwestora, który wskazuje na potrzebę budowania w oparciu o sprecyzowane wymagania (inaczej cele projektowe), poparte zdolnością do ich sfinansowania. W związku z koniecznością zaangażowania większej liczby osób w proces projektowy oraz zwiększenia aktywnego ich zaangażowania, proces projektowania zintegrowanego stosuje się obecnie głównie w przypadku większych lub długoterminowych projektów, dla których niskie koszty funkcjonowania i środowiskowe odgrywają znaczącą rolę w całym cyklu istnienia obiektu. W takim przypadku, niezależnie od zakresu projektu, badania potrzeb i możliwości oraz programowanie stają się pierwszym etapem tworzenia udanego projektu.

W porozumieniu z zespołem, architekt lub główny konsultant w pierwszej kolejności ustanawia zasady projektowania, uwzględniające podstawowe i alternatywne koncepcje, mające na celu zaspokojenie potrzeb klienta. Zespół projektowy może przy tym nakreślić wstępne propozycje projektu lub jej części, np. w formie graficznej. Wstępne przyjmowanie propozycji stymuluje do dyskusji, twórczego myślenia, wymiany poglądów i doświadczeń, niekoniecznie w celu opisanie produktu końcowego. Na tym etapie kluczową rolę odgrywają główni konsultanci – ich zaangażowanie oraz indywidualne spojrzenie może zapobiec kosztownym zmianom koncepcji w dalszym etapie tego procesu. Ta sama idea uzasadnia także częste kontakty między zespołem projektowym a klientem, który stanowi ostatecznego odbiorcę całości projektu.

Stopniowo z biegiem czasu wyłania się zarys ogólny projektu, który reprezentuje interesy i potrzeby wszystkich uczestników procesu, przy jednoczesnym spełnieniu ogólnych wymagań klienta dotyczących inwestycji. Na tym etapie tworzy się schematy przedstawiające miejsce i warunki lokalizacji, ogólny kształt budynku, podział na strefy oraz zarys systemów i elementów, projektowanych w celu uzyskania ostatecznego wyniku. Można nakreślić również wstępnie kosztorys inwestycji, który może zostać zaakceptowany przez inwestora lub cofnięty do poprawek.

Dalsze opracowywanie projektu przynosi zmianę skali rozważań i wymaga studiów szczegółowych, dotyczących wszystkich aspektów projektowych budynku. Nad prawidłowym przebiegiem procesu współpracy nadal czuwa architekt (główny konsultant), który ułatwia przepływ informacji między uczestnikami. W wyniku tego etapu powstaje projekt szczegółowy, zaakceptowany przez wszystkich członków procesu.

Opracowanie pełnej dokumentacji budowlanej obejmuje przełożenie zbioru wytworzonych informacji technicznych na informacje uwzględniane w procesie kosztorysowania, pozyskiwania zezwoleń i rozpoczęcia realizacji projektu. Warto nadmienić, że idealne opracowanie dokumentacji, uwzględniające wszystkie aspekty budowlane i instalatorskie jest niemożliwe ze względu na multidyscyplinarny charakter przedsięwzięcia, jednak można osiągnąć jego wysoką jakość poprzez systematyczne kontrole, zachowanie spójności z pierwotnie określonymi celami programu oraz poprzez staranną koordynację pracy członków zespołu. Wprowadzenie na tym etapie można wprowadzać jeszcze zmiany, warto mieć jednak na względzie to, że w zależności od zakresu staną się one bardziej kosztowne, a poprawki implementowane w dokumentacji mogą prowadzić do chaosu, powstania nieporozumień, błędów i w konsekwencji generować dodatkowe koszty. Posiadając niezbędną dokumentację przechodzi się do etapu wyboru wykonawcy.

Po dokonaniu wyboru wykonawcy rozpoczyna się faza budowy. W dalszym ciągu wymaga się, aby projektanci i inni członkowie zespołu wykazywali pełne zaangażowanie w procesie kontroli wykonawczych i powykonawczych. Podjęte uprzednio decyzje mogą wymagać wyjaśnień, dodatkowych informacji czy dalszej oceny pod kątem zgodności z dokumentacją zawieranych umów. Jeśli podjęte zostaną decyzje o wprowadzeniu zmian, mające wpływ na funkcjonowanie budynku, szczególnie ważne jest poinformowanie użytkownika/klienta o ich zajściu i konsekwencjach z nich płynących. Zmianie mogą również ulec wymagania użytkownika, które spowodują szerokie konsultacje projektowe, ponowne wyceny i włączenie do dokumentacji budynku.

Zespół projektowy odpowiada za spełnienie przez oddawany do użytkowania budynek wymagań określonych w warunkach zamówienia. Spełnienie wymogów założonego programu funkcjonalnego jest oceniane w procesie znanym jako uruchomienie (z ang. *commissioning*), podczas którego poddaje się ocenie pełny zakres funkcjonowania, a zespół projektowy i wykonawczy wprowadza ewentualne zmiany i korekty lub usuwa ujawnione usterki.

Kiedy uzna się, że budynek uzyskał pełną funkcjonalność, można rozpocząć etap oceny wydajności funkcjonowania. Etap ten pozwala dokonać ewaluacji stopnia spełnienia celów i założeń projektowych. Uzyskane informacje są szczególnie przydatne podczas dalszej współpracy z inwestorem przy budowie nowego obiektu oraz do optymalizacji zużycia zasobów w ocenianym budynku.

Niniejsze streszczenie opisuje normalne działania zintegrowanego zespołu projektowego. Aby zapewnić najlepsze rezultaty, wszystkie strony procesu muszą stosować następujące zasady:

- jasną i ciągłą komunikację;
- rygorystyczną dbałość o szczegóły;
- aktywną współpracę wszystkich członków zespołu podczas realizacji wszystkich etapów projektu.

Realizacja tych trzech założeń pozwala przełamać panujący i szkodliwy dla procesu projektowego stereotyp, że architekt w porozumieniu z inwestorem ustala koncepcję funkcjonalno-użytkową i przestrzenną budynku, która następnie trafia do dalszego, indywidualnego opracowania przez projektantów branżowych, a po uwzględnieniu (bądź nie) ich uwag finalizuje się w postaci „posklejanego” projektu budowlanego.

Opracowanie koncepcji Domu 2020 zgodne z zasadami projektowania zintegrowanego. Połączone wysiłki architekta, inżyniera budownictwa, inżynierów mechaniki, elektrotechniki, biotechnologii i systemów zarządzania pozwoliły opracować kompleksowo koncepcję domu jednorodzinnego, przystosowanego do potrzeb 4-osobowej rodziny.

Uwzględnione zostały możliwości adaptacji przestrzennej dla osoby o ograniczonej sprawności ruchowej. Dom zaprojektowano w taki sposób, aby można było łączyć pojedynczy budynek w bliźniaki lub szereg domków zorientowanych w kierunku północno-południowym.

Cel projektowy został zdefiniowany następująco: zaproponować wzorcową koncepcję domu energooszczędnego z uwzględnieniem uwarunkowań klimatycznych i społecznych, charakterystycznych dla regionu województwa łódzkiego. Jednocześnie dom spełniać powinien podwyższone wymagania niskich kosztów budowy i utrzymania. W związku z powyższym, już na etapie projektowania koncepcyjnego wzięto pod uwagę wykorzystanie z ekologicznych, lokalnie dostępnych materiałów, ograniczenie zużycia energii i wody poprzez wprowadzenie pakietów rozwiązań dostosowanych do możliwości finansowych inwestora, poprawę jakości powietrza we wnętrzu oraz zmniejszenie ilości wytwarzanych odpadów.

Opis rozwiązań materiałowych i architektonicznych zamieszczono w innych opracowaniach, np. [10, 11, 12]. W dalszej części przedstawione zostaną najważniejsze, zdaniem autora, fragmenty oceny środowiskowej koncepcji budynku „Dom 2020”.

4.2. Ocena środowiskowa budynku „Dom 2020” na podstawie opracowywanej krajowej metodologii E-AUDYT

Cel oceny środowiskowej stanowi oszacowanie wpływu budynku na środowisko w całym cyklu jego istnienia lub też w poszczególnych fazach. Dokonanie takiej oceny niesie ze sobą silną wartość dodaną w postaci zwiększenia świadomości użytkowników, właścicieli lub zarządców obiektów w zakresie jakości środowiskowej ich budynku.

Zaproponowana ocena jakościowa charakterystyki środowiskowej budynku, sporządzona według metodologii krajowej [9], stanowi alternatywę dla skomplikowanych zagranicznych metod oceny środowiskowej typu BREEAM czy LEED, niedostosowanych do polskich warunków.

Do wyznaczenia charakterystyki środowiskowej budynku w całym cyklu istnienia posłużono się metodą oceny E-AUDYT. Została ona stworzona w ramach projektu STEP Politechniki Warszawskiej. Metoda ta wykorzystuje doświadczenia i analizę prac projektu STEP, dotyczące wpływu budynków na środowisko, a jej zakres – odpowiednie normy europejskie. Zaproponowane w metodzie obliczenia są uproszczeniem międzynarodowej metody SBTool. Ze względu na brak dostępności komercyjnego programu, ocena sporządzona została w sposób opisowy.

Ocena jakościowa budynku stanowi subiektywną ocenę kryteriów mających wpływ na jego jakość środowiskową. Ewaluacji dokonano dla pięciu głównych działań: relacji obiektu ze środowiskiem zewnętrznym i wewnętrznym; oddziaływania i aspektów środowiskowych opartych na analizie LCA oraz analizie ekonomicznej. W każdym działaniu mieści się kilka kryteriów, którym przyznawane są noty. Określają one, czy dane kryterium spełnia aktualne wymagania, czy rażąco zaniedbano jakieś kryterium, czy też zastosowano elementy proekologiczne.

W metodzie wykorzystuje się analizę LCA, dla której określa się ilości materiałów zużytych do wybudowania czy modernizacji obiektu i na tej podstawie – oddziaływania środowiskowe, związane z energią wbudowaną w oceniany obiekt.

Według definicji UNEP, „LCA jest procesem oceny efektów, jaki dany wyrób wywiera na środowisko podczas całego cyklu istnienia, 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 oraz oszacowanie dostępnych opcji w celu ich zmniejszenia”.

Przejdźmy zatem do skróconej oceny opisowej oddziaływania budynku Dom 2020 na środowisko. Autor przedstawia w załączonym opisie tylko wybrane fragmenty ze względu na jej bardzo szeroki zakres, który warto prześledzić w materiałach źródłowych.

4.2.1. R. Zużycie zasobów

R-1: Zużycie energii cieplnej związane z użytkowaniem budynku – nie przeprowadzono dokładnej analizy energii skumulowanej. Jej wartość przyjęto na podstawie wielkości szacunkowych całkowitej energii, odniesionej do konstrukcji ciężkiej o wysokim stopniu skomplikowania ($9,0 \text{ GJ/m}^2$) i 100-letniego okresu użytkowania:

1.1. Energia skumulowana: 90 MJ/m^2 – **ocena 0,0**

1.2. Energia dostarczona: wg certyfikatu nakłady E_p dla budynku wynoszą $33,72 \text{ kWh/m}^2 \text{ rok}$ ($E_k 38,25 \text{ kWh/m}^2 \text{ rok}$) – **ocena 5,0**

R-2: Efektywność zagospodarowania terenu i zmiana jego wartości

2.1. Powierzchnia zabudowana: wielkość terenu (zajmowanego przez budynek, drogi dojazdowe i parkingi zewnętrzne), przypadająca na jednego mieszkańca wynosi około $68,10 \text{ m}^2/\text{os.}$ – **ocena -2,0**

2.2. Zmiany wartości ekologicznej gruntu: projektując zagospodarowanie terenu przewidziano zachowanie nienaruszonych fragmentów rzeźby terenu oraz roślin, zachowano rosnące na działce drzewa (poza obrysem budynku), wprowadzono system gromadzenia i użytkowania wody deszczowej, zaprojektowano roślinność i drzewa w oparciu o wytyczne projektowania budynków energooszczędnych, część działki poddano rekultywacji ze względu na stan zastany – **ocena 3,5**

R-3: Zużycie wody związane z utrzymaniem budynku

3.1. W ocenianym budynku zainstalowano wyposażenie zmniejszające ilość zużywaną wody oraz instalację wykorzystania „wody szarej” i wody deszczowej do spłukiwania toalet i podlewania ogródka. Maksymalne dzienne zużycie wody na osobę nie przekracza 70 l rocznie ($0,070 \cdot 365 \cdot 0,9 = 23\text{m}^3/\text{os.}$) – **ocena 5,0**

R-4: Wykorzystanie istniejących zabudowań lub wyrobów budowlanych znajdujących się na miejscu budowy

4.1. Wykorzystanie istniejących zabudowań: nowy budynek na terenie – **ocena -2,0**

4.2. Wykorzystanie odzyskanej stali z budynku ocenianego dla potrzeb innych budowli: ze względu na przykrycie dachu blachą pochodzącą z recyklingu szacuje się, że około 30% stali może zostać ponownie wykorzystane. Około 70% stali to stal zbrojeniowa, trudna do odzyskania – **ocena 1,0**

4.3. Wykorzystanie wyrobów odzyskanych z istniejących zabudowań w celu ich zastosowania w innych obiektach: ze względu na typ konstrukcji (tradycyjny) około 40% materiałów zastosowanych przy budowie domu można ponownie wykorzystać (w szczególności materiały konstrukcyjne ścian, pokrycie dachowe oraz materiały izolacyjne) – **ocena 2,0**

R-5 Ilość i jakość wyrobów pochodzących z innych budowli

5.1. Wykorzystanie odzyskanych wyrobów i elementów pochodzących z innych budowli, spoza miejsca budowy: znaczna ilość wyrobów i elementów (szczególnie bloczki ścienne, konstrukcja dachu i jego pokrycie, materiały izolacyjne) może być ponownie wykorzystana – **ocena 3,0**

5.2. Materiały pochodzące z recyklingu w zastosowanych wyrobach: niektóre materiały i elementy budynku (ok. 20% elementów ściennych oraz całe pokrycie dachu) pochodzą z recyklingu – **ocena 2,0**

5.3. Wykorzystanie drewna pochodzącego z upraw leśnych: każdy element drewniany, który został zastosowany w budynku i podczas jego wznoszenia posiada certyfikat pochodzenia z upraw przemysłowych. Ponadto elementy szalunków i deskowań wykorzystywane są wielokrotnie, a po ich zużyciu odsyłane do recyklingu – **ocena 5,0**

4.2.2. L. Obciążenie środowiska

L-1: Roczna emisja gazów cieplarnianych związana z użytkowaniem budynku

1.1. Emisja GHG z wyrobów w rocznym cyklu życia budynku: około 30% materiałów pochodzi z rozbiórki innych budynków oraz z recyklingu – **ocena 3,0**

1.2. Emisja GHG powstała w wyniku użytkowania energii w budynku w całym okresie jego życia: piec na pellet z zasobnikiem o sprawności ogólnej 91% i sprawność c.o./c.w.u. 85% – **ocena 5,0**

L-2: Emisja gazów niszczących powłokę ozonu

2.1. W budynku nie ma żadnych urządzeń uszkadzających warstwę ozonu – **ocena 5,0**

L-3: Emisja gazów powodujących kwaśne deszcze wynikająca z eksploatacji budynku

3.1. N.R.

L-4: Odpady stałe

4.1. Zmniejszenie ilości odpadów stałych w wyniku uprzątkowania terenu budowy: każdy materiał zastosowany w budynku kupowany będzie na podstawie szczegółowych wyliczeń ilościowych (bazujących na KNR-ach oraz doświadczeniu wykonawcy). Ponadto planuje się selektywne gromadzenie odpadów w celu ich łatwiejszego ponownego wykorzystania na miejscu budowy. Pozwoli to zminimalizowanie ilości wywożonych odpadów do maksymalnie 10% (wagowo) – **ocena 4,0**

4.2. Zmniejszenie ilości odpadów stałych powstających w wyniku procesu wznoszenia budynku: udział odpadów powtórnie wykorzystanych w ich ogólnej masie będzie wynosić min. 80% – **ocena 4,0**

4.3. Zmniejszenie ilości odpadów stałych powstających w wyniku eksploatacji budynku: w projektowanym budynku przewiduje się gromadzenie selektywne odpadów (w specjalnych pojemnikach w kuchni oraz w pomieszczeniu gospodarczym na parterze). Wszelkie opakowania będą zgniatane lub prasowane, a butelki pet wyrzucane po uprzednim odkręceniu zakrętek. W ogródku zainstalowany zostanie kompostownik.

4.3.1. Powierzchnia składowania i sortowania odpadów stałych wynosi 15,50 m² (w tym kuchnia 9,17 m² + pom. gosp. 3,78 m² + zewnętrzne składowisko odpadów 2,55 m²), odniesiona do powierzchni użytkowej 195,59 m² daje stosunek 0,08 – **ocena 1,0**

4.3.2. Powierzchnia składowania odpadów organicznych wynosi 13,78 m² (w tym kuchnia 9,17 m² + zewnętrzne składowisko odpadów 4,61m²), odniesiona do powierzchni użytkowej 195,59 daje stosunek 0,07 – **ocena 0,75**

4.3.3. Całkowita powierzchnia składowania odpadów na każdym piętrze – N.R.

4.3.4. Całkowita powierzchnia składowania odpadów organicznych na każdym piętrze – N.R.

L-5: Ścieki

5.1. Woda opadowa odprowadzana do kanalizacji miejskiej: całość wody opadającej na utwardzony teren i teren zabudowany poddawana jest rekuperacji – **ocena 5,0**

5.2. Ścieki bytowe odprowadzane do kanalizacji miejskiej: całość ścieków szarych poddawana jest rekuperacji – **ocena 5,0**

L-6: Niebezpieczne odpady powstałe podczas renowacji lub rozbiórki

6.1. Do wybudowania domu użyte będą materiały, które w 80% zostaną zagospodarowane na placu budowy lub poddane utylizacji/recyklingowi w 90%. Zastosowane będą pełne procedury ochrony i unieszkodliwiania odpadów – **ocena 5,0**

L-7: Obciążenie środowiska

7.1. Oddziaływanie termiczne do gruntu: przewidziano procedury projektowe ograniczające emisję termiczną oraz systemy rurek ciepła i materiałów fazowo-zmiennych – **ocena 5,0**

7.2. Odbicie światła od poziomych powierzchni budynku i nawierzchni wokół niego: ze względu na zastosowanie na dachu materiałów refleksyjnych istnieje ryzyko olśnienia – **ocena 0,0**

4.2.3. Q. Jakość środowiska wewnętrznego

Q-1: Jakość powietrza i wentylacja

1.1. Kontrola wilgoci

1.1.1. Kontrola wilgoci w przegrodach budowlanych: poświęcono należytą uwagę wykończeniu budynku w celu wyeliminowania potencjalnych problemów z zawilgoceniem – **ocena 4,5**

1.1.2. Kontrola aerozolu wodnego pochodzącego z mokrych wież chłodniczych i wody stojącej w części rozprowadzającej instalacji ogrzewania, klimatyzacji i wentylacji: N.R.

1.2. Zanieczyszczenia powietrza wewnętrznego

1.2.1. Rozprzestrzenianie się włókien mineralnych: nie zastosowano materiałów zawierających azbest i nie stosuje się nieosłoniętych włóknistych izolacji przewodów wentylacyjnych – **ocena 5,0**

1.2.2. Emisja lotnych związków organicznych (LZO): zastosowane farby, kleje, wykładziny podłogowe, materiały izolacyjne i inne posiadają aprobaty ekologiczne i techniczne, kwalifikujące jako materiały o bardzo niskiej emisji LZO – **ocena 4,5**

1.2.3. Migracja zanieczyszczeń powietrznych pomiędzy pomieszczeniami: dzięki zastosowaniu rekuperacji i kontroli wentylacji brak migracji zanieczyszczeń powietrza pomiędzy sąsiednimi pomieszczeniami – **ocena 5,0**

1.2.4. Obecność radonu: zastosowano szczelne powłoki jako ochronę przed emisją związku radonu – **ocena 4,0**

Jak wynika z powyższych rozważań, E-AUDYT jest oceną porównawczą w odniesieniu do przyjętych wartości referencyjnych. Kryteria oceny mogą dotyczyć cech jakościowych lub ilościowych. W takich przypadkach stosuje się zwykle przyporządkowanie danej cechy odpowiednio zbudowanej skali liczbowej, dzięki której można przeprowadzić agregację wyników i dokonać oceny. Ocena prowadzona w częściach zwanych działami jest czterostopniowa. Najniższy stopień to ocena na poziomie subkryterium, następnie na poziomie kryterium, podkategorii i kategorii, które składają się na ocenę działu [9] (przykładową ocenę końcową zilustrowano w tab. 4.1). Cechy ujęte we wspólnej składowej są spójne, tzn. dane zebrane na poziomie bardziej szczegółowym są źródłem danych dla poziomu wyższego.

Tabela 4.1

Przykładowa ocena budynku Dom 2020 na podstawie metody E-AUDYT

Zużycie zasobów	Ocena	Obciążenie środowiska	Ocena	Obciążenie środowiska	Ocena
Zużycie energii pierwotnej w LCA	2.50	Roczna emisja gazów cieplarnianych	4.00	Jakość powietrza i wentylacji	4.25
Efektywność zagospodarowania terenu	0.75	Emisja gazów niszczących powłokę ozonu	5.00	Komfort cieplny	5.00
Zużycie wody netto	5.00	Odpady stałe	3.00	Światło dzienne i oświetlenie	5.00
Wykorzystanie istniejących zabudowań lub wyrobów budowlanych	0.50	Ścieki	5.00	Hałas i akustyka	4.25
Liczba i jakość wyrobów pochodzących z innych budowli	3.50	Obciążenie środowiska	3.50	Zanieczyszczenia elektromagnetyczne	3.00

Źródło: opracowanie własne.

„Ocena danej składowej przeprowadzana jest przy użyciu odpowiednio dobranej skali, która gwarantuje obiektywność oceny oraz zgodność wyników na poszczególnych poziomach. Skala oceny musi mieć też ustaloną podziałkę. Przyjęta w tym opracowaniu podziałka jest tak dobrana, aby jej zasięg obejmował aktualny poziom budownictwa, a także umożliwiał ocenę budynków wykraczających poza przyjęte normy i powszechnie stosowane rozwiązania technologiczne. Skala ma zasięg od (-2) do 5 punktów, przy czym (-2) reprezentuje budynek nie spełniający obowiązujących wymagań technicznych, a 5 jest najlepszym z możliwych rozwiązań.

Wszystkie cechy budynku oceniane są w odniesieniu do punktu 0 na skali odniesienia, który reprezentuje aktualne wymagania lub przyjęte wartości referencyjne. Należy też zwrócić uwagę, że nie wszystkie cechy oceniane są w oparciu o pełną skalę oceny. Takie aspekty, jak np. kompostownie odpadów organicznych są cechami prostymi do określenia, gdyż albo kompostownik jest, albo go nie ma. Dla takich szczególnych przypadków stosujemy do oceny skalę tylko w zakresie (-2) (brak danej cechy) i 5 (cecha jest obecna)” [9].

Przedstawiona w tab. 3.1 ocena pozwala zaklasyfikować budynek jako „przyjazny środowisku”, mimo że nie uzyskał najwyższej z możliwych not przy ocenie efektywności zagospodarowania terenu czy wykorzystania istniejących zabudowań lub wyrobów budowlanych.

Na podstawie dokonanej oceny środowiskowej można wyciągnąć wniosek, że sprośanie wymaganiom stawianym przed budownictwem przez ZR stwarza dla inżynierów i projektantów szereg nowych wyzwań, odnoszących się do kompleksowego (holistycznego) podejścia do problemów budowlanych, wymagających konkretnych rozwiązań technicznych. Tak złożony proces projektowy wymaga udziału zespołu specjalistów i podejścia zintegrowanego do projektowania, gdyż inżynier czy architekt działający w pojedynkę nie jest w stanie sprośać mnogości wymagań, które tylko wybiórczo przedstawione zostały w niniejszym opracowaniu.

Proces projektowania zintegrowanego obejmuje swoim zasięgiem przede wszystkim rozwiązania funkcjonalno-użytkowe oraz architektoniczne, uwzględniające bezpieczeństwo konstrukcji. Odwołuje się on również do szeregu wymagań dodatkowych, m.in. zagadnień oszczędności energii w całym cyklu istnienia obiektu, zagadnień ciepłowo-wilgotnościowych, jakości akustycznej i jakości środowiska wewnętrznego oraz oddziaływania na środowisko naturalne.

Ze względu na brak możliwości samodzielnego projektowania obiektów zrównoważonych, konieczne jest stworzenie nowego stanowiska specjalisty branżowego – głównego

konsultanta/koordynatora zespołowego. Będzie się od niego wymagać szerokiej znajomości problematyki budownictwa (zrównoważonego) oraz umiejętności integracji pracy zespołu projektowego, czyli łączenia aspektów twardych (branżowych) z aspektami miękkimi (cechami osobowościowymi – umiejętnością zarządzania grupą i pracą w zespole, delegacją zadań, komunikatywnością, umiejętnością radzenia sobie z konfliktami i podejmowaniem decyzji w sytuacjach normalnych i stresowych).

Jak wyraźnie widać, rozwój zrównoważony to nie tylko aspekty techniczne, dające się policzyć lub skalkulować. Rozwój zrównoważony wymaga wykształcenia nowej kadry inżynierów, którzy umiejętnie połączą wiedzę branżową z wielu dziedzin z wiedzą o człowieku i dynamiką pracy zespołowej.

4.3. Charakterystyka energetyczna budynku „Dom 2020” sporządzona według krajowej metodologii certyfikacji zgodnie z rozporządzeniem krajowym

Prawodawstwo stanowi jeden z najsilniejszych bodźców przyspieszający wprowadzanie zmian, obok działań na rzecz promocji oraz tworzenia narzędzi finansowania inwestycji wspierających rozwój zrównoważony poprzez poprawę efektywności energetycznej. Ponieważ ludzie niechętnie przekonują się do zmian, wprowadzane są odgórnie w całej Unii Europejskiej pakiety efektywności energetycznej, które obejmują praktycznie wszystkie sektory gospodarki budowlanej – od koncepcji domów, przez zastosowane materiały, gotowe komponenty i elementy wyposażenia, po produkcję i dystrybucję form energii. Wprowadzanie i wdrażanie pakietów regulujących różne aspekty naszego życia może prowadzić w początkowym stadium do społecznego oporu i negacji obranej drogi postępu. Biorąc pod uwagę stale i znacząco rosnące ceny nośników energii (również regulowane odgórnie), w dłuższej perspektywie opór taki wydaje się bezzasadny.

16 grudnia 2002 r. ogłoszona została dyrektywa [1] dotycząca jakości energetycznej budynków, której cel określono jako promowanie poprawy efektywności energetycznej budynków we Wspólnocie Europejskiej, biorąc pod uwagę zewnętrzne i wewnętrzne warunki budynków oraz opłacalność przedsięwzięć. Wymusiła ona na władzy ustawodawczej RP stworzenie systemu certyfikacji energetycznej budynków, wdrożonego zmianami w ustawie zasadniczej *Prawo budowlane* [2] oraz w *Warunkach technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* [15].

W dalszej części rozdziału przedstawione zostaną wyniki opracowania świadectwa charakterystyki energetycznej dla koncepcyjnego opracowania budynku „Dom 2020”.

Tabela 4.2

Charakterystyka autonomicznego budynku „Dom 2020” z własnym źródłem ciepła w postaci kominka na pellet

Charakterystyka techniczno-użytkowa budynku	
Przeznaczenie budynku:	mieszkalny
Liczba kondygnacji:	2
Powierzchnia użytkowa budynku:	265,10 m ²
Powierzchnia użytkowa o regulowanej temperaturze (Af):	265,10 m ²
Normalne temperatury eksploatacyjne (zima/lato):	20 °C / -
Podział powierzchni użytkowej (mieszkalna / niemieszkalna):	265,10 m ² / 0,00 m ²
Kubatura budynku:	679,34 m ³
Wskaźnik zwartości budynku A/Ve:	1,01
Rodzaj konstrukcji budynku:	tradycyjna
Liczba użytkowników / mieszkańców:	4,0

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4.3

Charakterystyka budynku „Dom 2020” przygotowanego pod adaptację osiedlową z zewnętrznym źródłem ciepła w postaci turbogeneratorsa ORC na biomasę

Charakterystyka techniczno-użytkowa budynku	
Przeznaczenie budynku:	mieszkalny
Liczba kondygnacji:	2
Powierzchnia użytkowa budynku:	230,63 m ²
Powierzchnia użytkowa o regulowanej temperaturze (Af):	230,63 m ²
Normalne temperatury eksploatacyjne (zima/lato):	20 °C / -
Podział powierzchni użytkowej (mieszkalna / niemieszkalna):	230,63 m ² / 0,00 m ²
Kubatura budynku:	611,19 m ³
Wskaźnik zwartości budynku A/Ve:	0,78
Rodzaj konstrukcji budynku:	tradycyjna
Liczba użytkowników / mieszkańców:	3,2

Źródło: opracowanie własne.

Obowiązujące w Polsce przepisy regulują maksymalne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania w standardowym sezonie grzewczym w kontekście konkretnej lokalizacji obiektu, wyrażone w postaci wskaźnika nakładów energii pierwotnej E_p lub końcowej E_k , odniesione do budynku referencyjnego. Wskaźniki E_p i E_k oblicza się zgodnie z obowiązującym rozporządzeniem [14]. Metoda obliczania zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków wykorzystuje metodę miesięcznych bilansów energetycznych. Obliczeń dokonano dla dwóch budynków koncepcyjnych, opisanych w tab. 4.2 i 4.3.

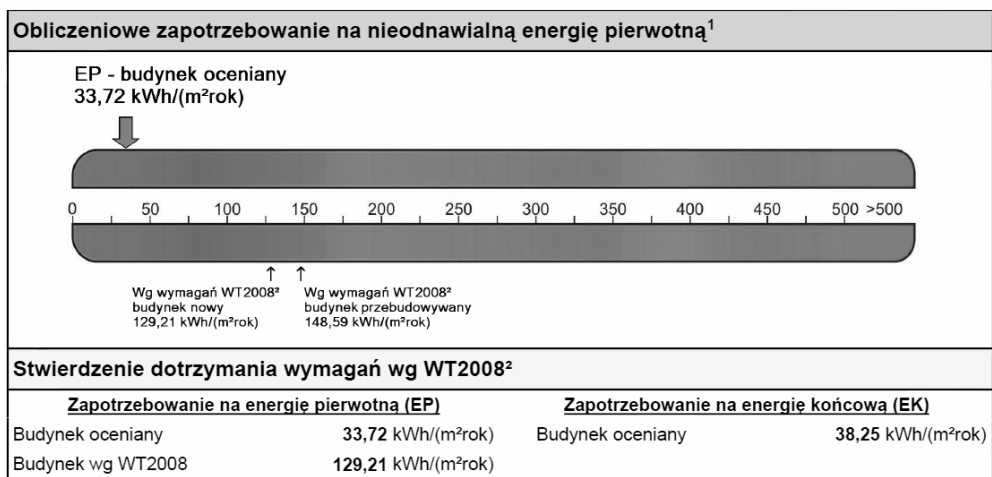
Różnica powierzchni między budynkiem autonomicznym i przygotowanym do adaptacji pod osiedle wynika z wyłączenia poza obręb budynku garażu (dla przypadku drugiego). Dla tak zdefiniowanych obiektów wyznaczono strefy o temperaturze regulowanej bądź nieregulowanej, przyjęto temperatury obliczeniowe dla poszczególnych pomieszczeń, zdefiniowano długości sezonu grzewczego i dane klimatyczne dla stacji meteorologicznej Łódź-Lublinek. Do obliczeń użyto wartości średnich miesięcznych temperaturowych.

Granice stref określają konkretne przegrody, tj. ściany, podłogi, stropy lub dachy, oddzielające rozpatrywaną przestrzeń ogrzewaną od środowiska zewnętrznego lub od przyległych ogrzewanych pomieszczeń czy przestrzeni nieogrzewanych.

Uwzględniono izolacyjność przegród:

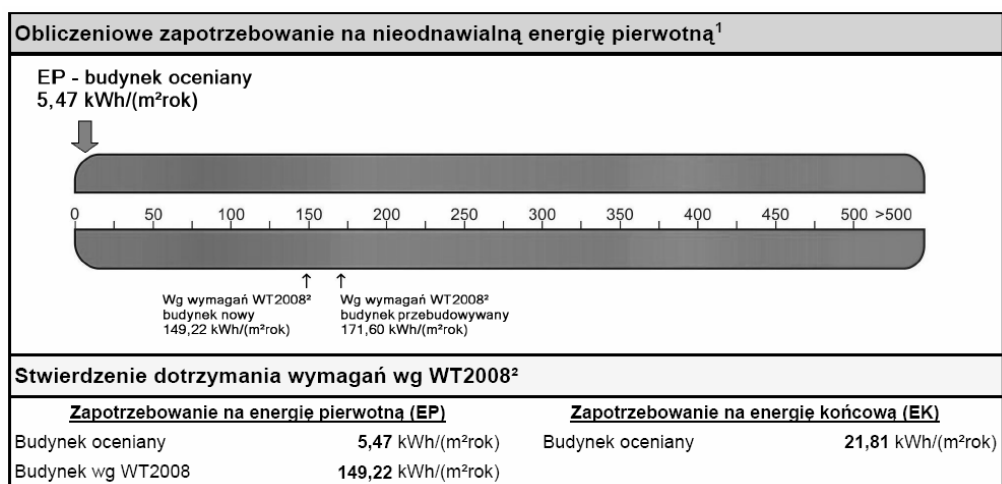
- podłoga na gruncie – $U = 0,127$ [W/m²K];
- ściana zewnętrzna – $U = 0,119$ [W/m²K];
- dach – $U = 0,112$ [W/m²K];
- okna – $U = 0,800$ [W/m²K].

Następnie obliczono straty ciepła przez przegrody pełne i transparentne, wyznaczono wewnętrzne zyski ciepła oraz zyski ciepła od nasłonecznienia i na tej podstawie określono zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania dla poszczególnych miesięcy i sumaryczne dla całego roku. Roczne zapotrzebowanie na energię do ogrzewania określają dwie charakterystyki przedstawione na rys. 4.2 i 4.3. Zgodnie z nimi oba budynki można ocenić jako budynki energooszczędne, gdyż obliczone zapotrzebowanie na energię końcową E_k nie przekroczyło 50 kWh/m²rok. Ocena charakterystyki energetycznej dwóch podobnych budynków pozwoliła zlokalizować pewne błędy i niedociągnięcia w samej metodologii, utrudniające dokonanie oceny budynków energooszczędnych.



Rys. 4.2. Zapotrzebowanie na energię pierwotną dla budynku autonomicznego „Dom 2020”

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4.3. Zapotrzebowanie na energię pierwotną dla budynku „Dom 2020” w wersji osiedlowej

Źródło: opracowanie własne.

Pierwsze uchybienie zlokalizowano przy uwzględnianiu powierzchni garażu wkomponowanego w bryłę autonomicznego budynku – w przypadku założenia, że garaż ogrzewany będzie do temp. 8°C uzyska się korzystniejszy wynik na certyfikacie niż w przypadku założenia, że garaż będzie stanowił przestrzeń nieogrzewaną. Wynika to z faktu dzielenia sumarycznej energii przez powierzchnię użytkową, która uwzględnia bądź nie powierzchnię garażu.

Problem następcza również uwzględnienie powierzchni użytkowej poddaszy. Według warunków technicznych liczymy ją do wysokości 1,9 m, a faktycznie ogrzewana jest cała powierzchnia podłogi. Problem liczenia powierzchni nie został, jak dotąd, doprecyzowany w rozporządzeniu [14].

Idźmy dalej – katalog mostków termicznych zaimplementowany w programach certyfikacyjnych nie obejmuje mostków występujących w budynkach energooszczędnych, np. tych powstających na stykach płyty fundamentowej i ściany zewnętrznej. Wartości te można wyznaczyć przy użyciu programów inżynierskich, jednak niedoświadczona osoba sporządzająca certyfikat pozostanie w tej sytuacji bezradna.

Niemożliwe lub bardzo trudne będzie uwzględnienie w certyfikacie przegród z izolacją transparentną lub przegród kolektorowo-akumulacyjnych – obecnie praktycznie żaden program do sporządzania certyfikatów energetycznych nie uwzględnia możliwości zastosowania przegród pozyskujących w sposób pasywny energię promieniowania słonecznego, w szczególności w odniesieniu do programów bazujących na metodzie bilansów miesięcznych. Co prawda metodologia certyfikacji pozwala obejść problem zastosowania np. oranżerii poprzez wprowadzenie dla przegród stykających się z taką przestrzenią współczynnika redukcyjnego obliczeniowej różnicy temperatury b_{tr} , jednak będzie to metoda niedokładna i szacunkowa.

Ważny punkt certyfikatu stanowi określenie szczelności budynku. Bada się ją za pomocą próby ciśnieniowej specjalistycznym testem, tzw. Blower Door Test. Jest on bezinwazyjnym pomiarem przepuszczalności powietrznej budynków metodą ciśnieniową przy użyciu wentylatora. Procedurę pomiaru przeprowadza się w oparciu o wytyczne normy PN-EN:13829. Główny element urządzenia pomiarowego stanowi wentylator, który umieszcza się w miejscu okna lub drzwi zewnętrznych. Badanie polega na wytworzeniu różnicy ciśnień równej 50 Pa (co odpowiada działaniu na budynek wiatru o prędkości ok. 9 m/s) pomiędzy wnętrzem a środowiskiem zewnętrznym przez regulowany elektronicznie za pośrednictwem czujników wentylator. Dzięki obróbce cyfrowej wynik pomiaru przedstawiony zostaje jako wartość współczynnika przepuszczalności powietrznej n_{50} , który określa wartość krotności godzinowej wymiany powietrza wypełniającego budynek.

Dla budynków pasywnych przyjmuje się wartość graniczną $n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$. Według Polskiej Normy rozróżnia się dwa rodzaje pomiarów:

– Metoda A – badanie użytkowanego budynku. Zaleca się, aby stan obudowy budynku odpowiadał jego stanowi podczas okresu, w którym są eksploatowane instalacje ogrzewania i klimatyzacji.

– Metoda B – badanie obudowy budynku. Wszystkie celowo wykonane otwory w obudowie budynku powinny być zamknięte lub zaślepione.

Przygotowanie budynku polega na zamknięciu wszystkich otworów w jego ścianach zewnętrznych i zaślepieniu bądź zamknięciu (w zależności od metody pomiaru) wszystkich otworów technologicznych, łączących budynek ze środowiskiem zewnętrznym (otworów kominowych, wentylacyjnych, przewodów wodno-kanalizacyjnych itp.). Wszystkie drzwi wewnętrzne powinny pozostać otwarte.

Problem w procesie certyfikacji stanowi określenie, według której metody będzie przeprowadzany pomiar szczelności budynku, gdyż nie zostało to jasno sprecyzowane w rozporządzeniu [14]. Jeszcze inną trudność stanowi obliczenie skuteczności odzysku ciepła z powietrza wywiewanego z zastosowaniem dodatkowego gruntowego wymiennika ciepła (GWC). Znajdziemy w rozporządzeniu [14] wzór na średnią sprawność takiego procesu, opisany w sposób następujący:

$$\eta_{oc} = [1 - (1 - \eta_{oc1}) \cdot (1 - \eta_{GWC})]$$

gdzie: η_{oc1} – skuteczność wymiennika do odzysku ciepła z powietrza wywiewanego; η_{GWC} – skuteczność gruntowego powietrznego wymiennika ciepła, przy braku urządzeń do odzyskiwania ciepła $\eta_{oc} = 0$.

Założmy dla przykładu wysoką sprawność obu urządzeń, np. $\eta_{oc1} = 0,9$ oraz $\eta_{GWC} = 0,9$, otrzymujemy:

$$\eta_{oc} = [1 - (1 - 0,9) \cdot (1 - 0,9)] = 0,99$$

Założmy dalej, że któreś z urządzeń jest bardzo mało sprawne, np. $\eta_{oc1} = 0,9$ oraz $\eta_{GWC} = 0,1$, otrzymujemy:

$$\eta_{oc} = [1 - (1 - 0,9) \cdot (1 - 0,9)] = 0,91$$

Nie jesteśmy w stanie oszacować bezpośredniego wpływu gruntowego wymiennika ciepła i jego sprawności na energię końcową w ocenianym budynku.

Przykładów błędów w metodologii znalazłoby się pewnie więcej, jednak te ujawnione w przypadku opracowywania koncepcji budynku „Dom 2020” pozwalają na stwierdzenie, że budownictwo energooszczędne, szczególnie jego certyfikacja środowiskowa i energetyczna, to zagadnienia skomplikowane, a każdy budynek powinien być obliczany niezależnie ze względu na unikatowy charakter kształtu, materiałów i mikroklimatu uwzględniającego helioaktywność terenu, co stwarza konieczność wspierania procesów certyfikacji obiektów zrównoważonych zaawansowanymi narzędziami symulacyjnymi.

Niepokojąca jest obecna w metodzie sporządzania certyfikatów energetycznych możliwość w pełni dopuszczalnej przez prawo manipulacji wynikami w taki sposób, aby uzyskana „na papierze” wartość była znacznie zaniżona w stosunku do rzeczywistej. Na przykład wartość energii pierwotnej dla budynku autonomicznego oszacowano na poziomie $E_p \approx 34$ kWh/m²rok, a dla budynku do zabudowy $E_p \approx 5.5$ kWh/m²rok. Tak wielka różnica została osiągnięta dzięki lokalizacji źródła ciepła poza obrysem budynku do zabudowy i założeniu pozyskiwania energii z kogeneracji spalania biomasy.

Na zakończenie warto dodać, że opracowanie projektu domu energooszczędnego nie musi się wiązać z zakupem drogich instalacji czy super energooszczędnych rozwiązań. Im więcej nakładów poświęci się na przygotowanie projektu uwzględniającego możliwości dalszych adaptacji budynku, tym lepszy efekt ekonomiczny uzyska się w cyklu istnienia obiektu. Niemal bez żadnych dodatkowych kosztów kształtować można bryłę budynku uwzględniającą prawidłową orientację, układ pomieszczeń względem stron świata czy eliminację nadmiernej ilości mostków termicznych.

LITERATURA

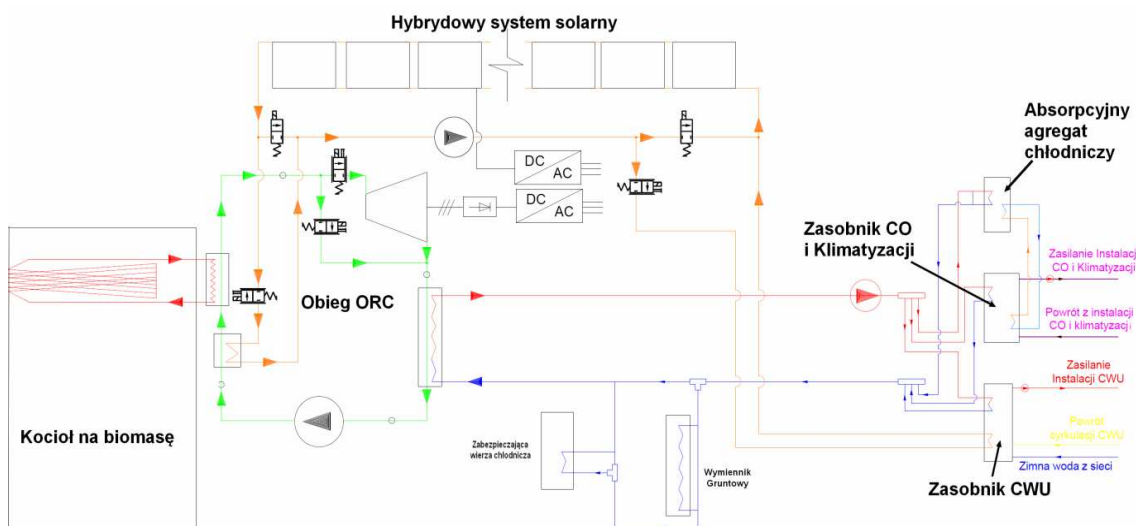
- [1] Dyrektywa 2002/91/ec Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 16 grudnia 2002 r.
- [2] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. *Prawo budowlane*, Dz. U. 1994, Nr 89, poz. 414, z późniejszymi zmianami.
- [3] *Field Guide for Sustainable Construction by the Pentagon Renovation and Construction Program Office*, Department of Defense 2004.
- [4] Heim D., Szczepańska E., *The impact of urban development on local daylight distribution*, *Proc. of Healthy Buildings 2006*, International ISIAQ Conference, Lisboa, 4–8 June 2006, “Indoor Climate” 2006, Vol. 2, s. 219–222.

- [5] *Badanie świadomości ekologicznej Polaków 2010 ze szczególnym uwzględnieniem energetyki przyjaznej środowisku*, raport z badań 2010, Instytut na Rzecz Ekorozwoju.
- [6] *Świadomość ekologiczna Polaków – Zrównoważony Rozwój*, raport z badań 2009, Instytut na Rzecz Ekorozwoju.
- [7] Janicki M., *Dom 2020 jako przykład budownictwa pasywnego lub o niemal zerowym zużyciu energii w świetle budownictwa zrównoważonego zgodnego z nowymi wytycznymi Unii Europejskiej*, www.bioenergiadlaregionu.eu, Łódź 2011.
- [8] Klemm K., Heim D., *Wind flow and sun accessibility in narrow spaces between buildings*, International Scientific Conference Renewables in a Changing Climate, CISBAT, Proceedings, Lausanne 2009, s. 427–432.
- [9] Panek A., *Holistyczna metoda oceny oddziaływania obiektów budowlanych na środowisko naturalne uwzględniająca zasady rozwoju zrównoważonego*, raport końcowy projektu 8 T07G 004 21.
- [10] Praca zbiorowa, *Dom 2020 – projekt ekologicznego i inteligentnego domu energooszczędnego*, Materiały Konferencyjne Dolnośląski Dom Energooszczędny, Wrocław 2011
- [11] Praca zbiorowa, *Dom ekologiczny*, Konkurs miesięcznika „Murator”.
- [13] Praca zbiorowa, *Dom 2020. Propozycja inteligentnych, energooszczędnych rozwiązań z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii* [w przygotowaniu].
- [14] Heim D., Janicki M., Jędrzejuk H., Klemm P., Marks W., *Sformułowanie zadania optymalizacji w odniesieniu do fasad podwójnych.*, XIII Polska Konferencja Naukowo-Techniczna Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Łódź 2011.
- [15] 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, Dz. U. 2008, nr 201, poz. 1240.
- [16] Rozporządzenie ministra infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz. U. 2008, nr 201, poz. 1238.
- [17] Stachowicz A., Fedorczak-Cisak M., *Niskoenergetyczne budynki – analiza zużycia energii w całym cyklu istnienia budynku*, „Czasopismo Techniczne” 2007.
- [18] *The New Sustainable Frontier: Principles of Sustainable Development by U.S. General Services Administration*. 2009.

5. Kogeneracyjny system centralnego ogrzewania, ciepłej wody użytkowej oraz system przeciwbłodzeniowy chodników

5.1. Kogeneracyjny system centralnego ogrzewania i chłodzenia oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej

System centralnego ogrzewania i chłodzenia oraz podgrzewania ciepłej wody użytkowej (rys. 5.1) jest oparty na kogeneracyjnym systemie wykorzystującym obieg ORC (pokazany w rozdziale 8.) oraz hybrydowym systemie solarnym, wytwarzającym zarówno ciepło, jak i energię elektryczną. Jak pokazuje rys. 5.1, głównym źródłem energii jest

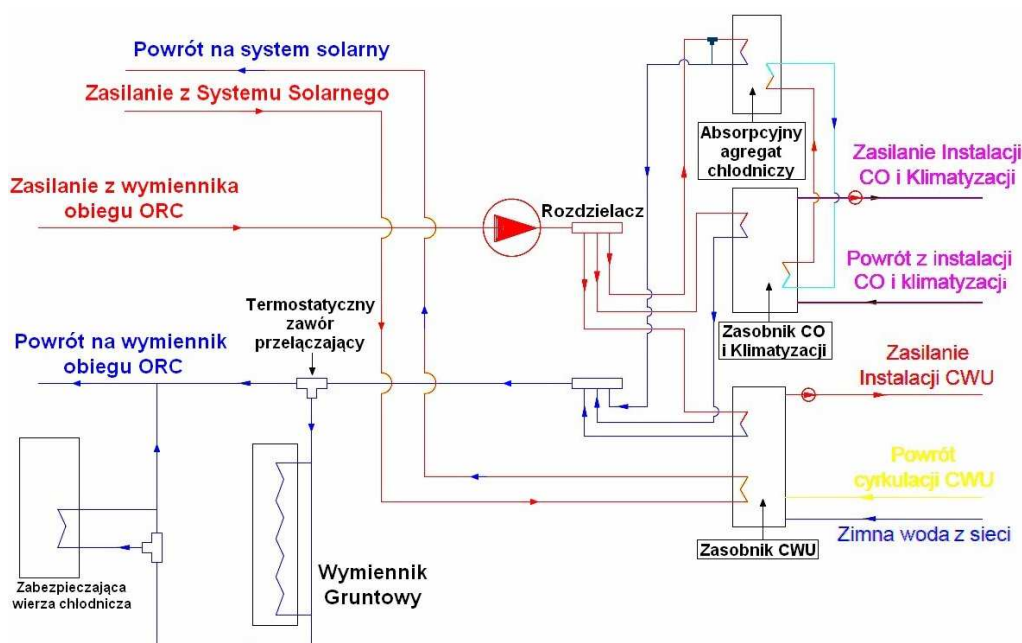


Rys. 5.1. Schemat całego kogeneracyjnego systemu produkcji energii cieplnej i elektrycznej

Źródło: opracowanie własne.

kocioł na biomasę (opisany w rozdziale 7.) oraz hybrydowy system solarny (opisany w rozdziale 9.).

Energia ciepła wyprodukowana w kotle na biomasę oraz dzięki hybrydowemu systemowi solarnemu zostaje wykorzystana do produkcji energii elektrycznej za pomocą obiegu ORC, turbiny oraz generatora. Ciepło odpadowe, które uzyskujemy na skraplaczu obiegu ORC jest wykorzystywane poprzez rozdzielacz do zasilania zasobnika centralnego ogrzewania, zasobnika ciepłej wody użytkowej oraz w porze letniej do zasilania w energię ciepłą absorpcyjnego urządzenia chłodniczego. Rozdzielacz, poprzez czujniki umieszczone w zasobnikach CO i CWU oraz na wejściu do absorpcyjnego urządzenia chłodniczego steruje przepływem czynnika grzewczego przez węzownice, a co za tym idzie ilością ciepła dostarczanego do tych urządzeń. Dzięki temu uzyskujemy stałą, wymaganą temperaturę w zasobniku CWU w zależności od zapotrzebowania oraz wymaganą temperaturę w zasobniku CO sterowaną za pomocą czujnika pogodowego.



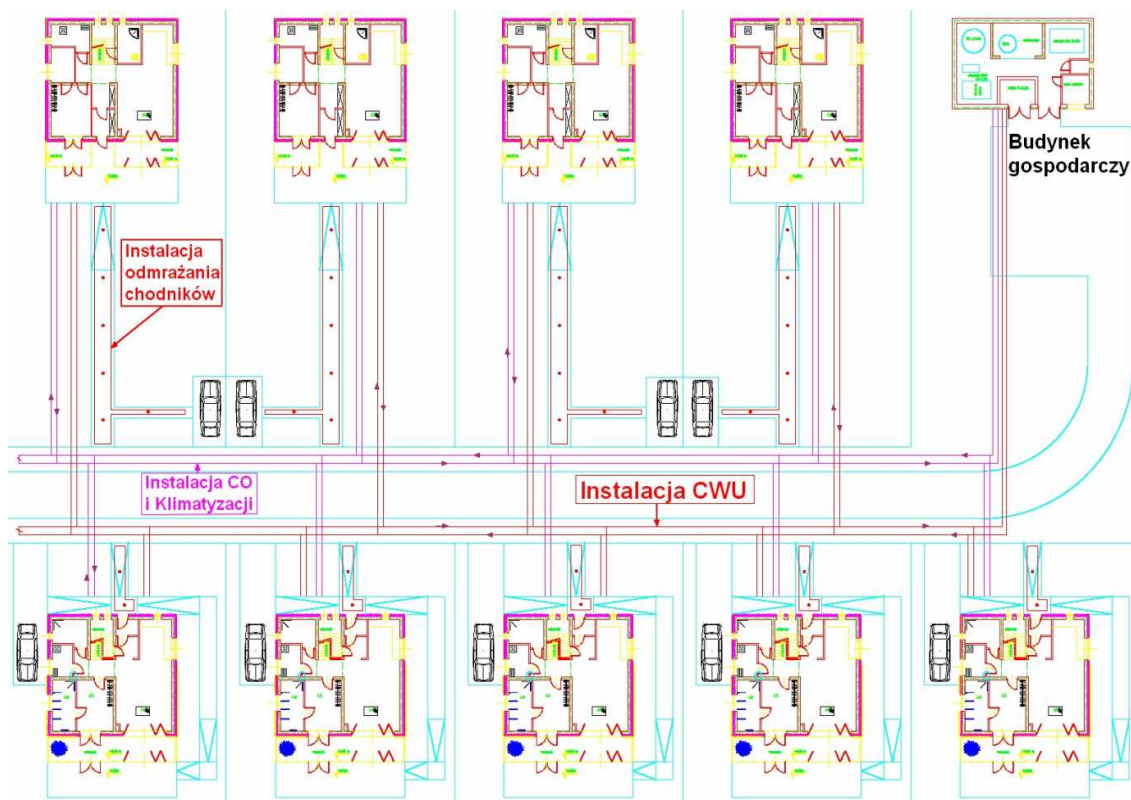
Rys. 5.2. Schemat systemu centralnego ogrzewania, chłodzenia i przygotowania ciepłej wody użytkowej

Źródło: opracowanie własne.

Podczas zimy zostaje odcięty dopływ ciepła na absorpcyjne urządzenie chłodnicze i ciepło otrzymane w wymienniku obiegu ORC zasila węzownice w zasobniku CO i CWU. Ciepła woda użytkowa z zasobnika CWU jest rozprowadzana do poszczególnych domów za pomocą instalacji ciepłej wody użytkowej z cyrkulacją, natomiast ciepło z zasobnika CO – za pomocą roztworu glikolu do poszczególnych domów. Zasila nagrzewnice wodne w rekuperatorach (pokazanych w podrozdziale 5.2) oraz systemy ogrzewania wodnego w poszczególnych budynkach. System wykorzystuje ogrzewanie nawiewowe oraz tradycyjne grzejnikowe lub podłogowe. Za pomocą kanałów wentylacyjnych powietrze podgrzane w nagrzewnicach wodnych dostarczane jest do tzw. czystych pomieszczeń, natomiast w pomieszczeniach, z których powietrze usuwamy wymagana jest instalacja ogrzewania podłogowego lub grzejnikowego, zasilana również z zasobnika CO. Schemat rozprowadzenia instalacji centralnego ogrzewania i chłodzenia oraz instalacji ciepłej wody użytkowej obrazuje rys. 5.3.

Podczas lata zostaje odcięty dopływ czynnika grzewczego do zasobnika centralnego ogrzewania, natomiast otwiera się dopływ ciepła z rozdzielacza do absorpcyjnego urządzenia chłodniczego firmy YAZAKI model WFC-SC 10 o mocy chłodniczej 45kW i poborze prądu 0,3kW. Proponowany absorpcyjny agregat chłodniczy wykorzystuje energię cieplną do produkcji wody lodowej przy minimalnym zużyciu energii elektrycznej. Dzięki wykorzystaniu ciepła odpadowego z produkcji energii elektrycznej uzyskujemy bardzo dużą sprawność całego układu, pozwalającego utrzymywać komfort cieplny w budynkach całego osiedla. Chłód w postaci wody lodowej jest transportowany do węzownicy umieszczonej w zasobniku centralnego ogrzewania i klimatyzacji, co powoduje zmagazynowanie go w tym zasobniku. Następnie jest rozprowadzany w postaci roztworu glikolu instalacją, która transportowała ciepło w zimie, do wymienników wodnych w rekuperatorach, gdzie za pomocą powietrza nawiewanego do pomieszczeń zostaje rozprowadzony po poszczególnych budynkach. System ten, w połączeniu z gruntowym wymiennikiem ciepła i odzyskiwaniem ciepła, pozwala utrzymać warunki komfortu cieplnego w pomieszczeniach projektowanych budynków nawet w bardzo upalne dni, przy jednoczesnym ograniczeniu zużycia energii elektrycznej.

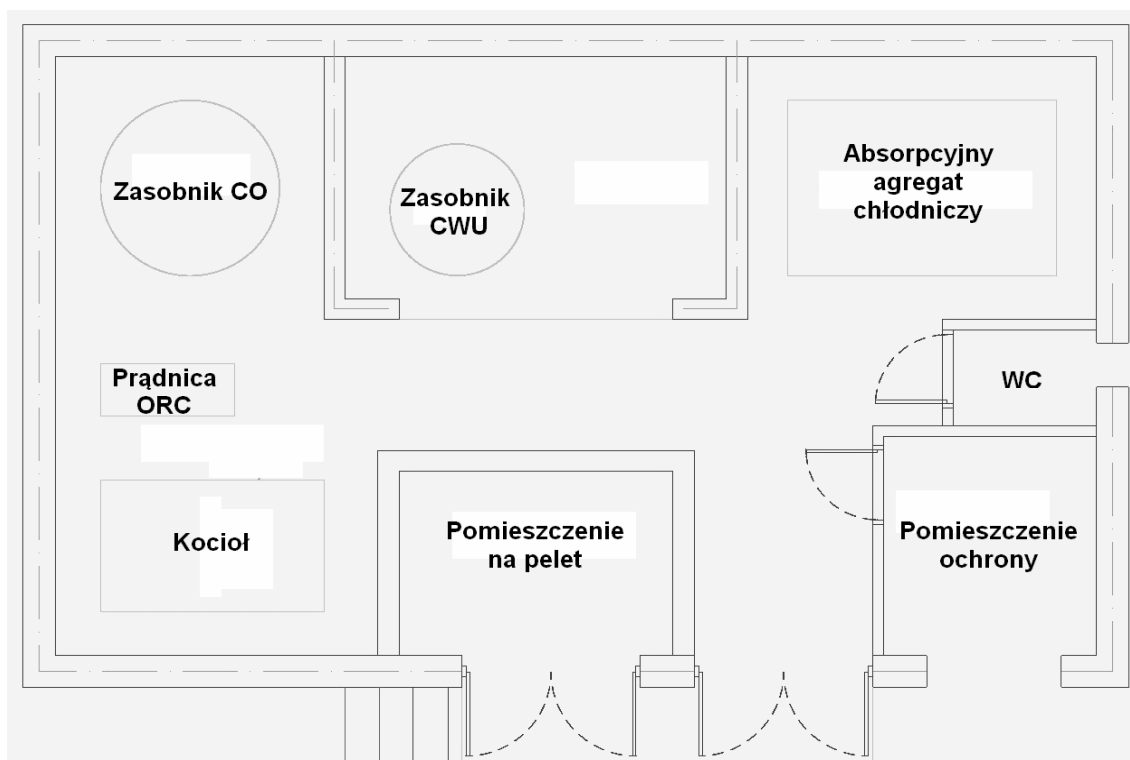
Zasobnik ciepłej wody użytkowej jest dodatkowo zasilany z hybrydowego systemu solarnego poprzez dodatkową węzownicę. W skład hybrydowego systemu solarnego wchodzi urządzenia, z których w polskich warunkach klimatycznych roczny zysk energetyczny z 1 m² wynosi ponad 525 kWh, a woda może być ogrzewana przez 240 dni w roku. Odpowiednio wykonane ogniwa hybrydowe zapewniają najwyższą jakość i trwałość przez minimum 25 lat.



Rys. 5.3. Schemat rozprowadzenia instalacji centralnego ogrzewania i chłodzenia oraz ciepłej wody użytkowej na przykładzie całego osiedla

Źródło: opracowanie własne.

Zasobnik centralnego ogrzewania i klimatyzacji firmy GALMET typ SG(B)2000 ma pojemność 2000 litrów i jest wyposażony w dwie wężownice zaizolowane pianką poliuretanową. Zasobnik ciepłej wody użytkowej posiada dwie wężownice spiralne firmy GALMET typ SGW(S)B1500 o pojemności 1500 litrów, jest pokryty emalią ceramiczną EXTRA GLASS oraz wyposażony w anodę magnezową i ocieplony pianką poliuretanową. Zasobniki, kocioł oraz wszystkie urządzenia służące do produkcji energii elektrycznej i chłodu są umiejscowione w budynku gospodarczym przedstawionym na rys. 5.4.



Rys. 5.4. Rzut budynku gospodarczego

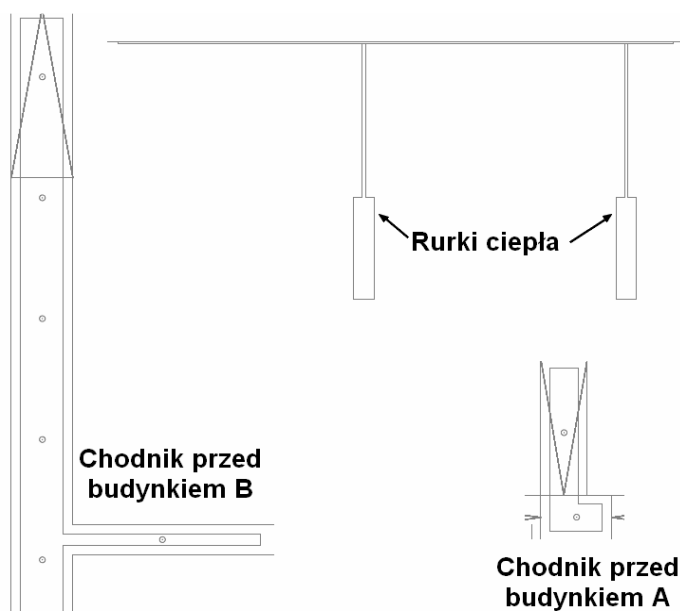
Źródło: opracowanie własne.

Podsumowując: ciepło odpadowe z obiegu ORC jest wykorzystywane w porze letniej do zasilania systemu klimatyzacji, a w porze zimowej do zasilania systemu centralnego ogrzewania. Dodatkowo przez cały rok służy również do zasilania systemu ciepłej wody użytkowej. Ze względu na to, że obieg ORC wymaga odpowiednio niskiej temperatury na skraplaczu, czyli w drodze powrotnej z instalacji grzewczo-klimatyzacyjnej, zastosowano wymiennik gruntowy i wieżę chłodniczą typ PMS 6/110. W czasie niskiego zapotrzebowania na ciepło, gdy czynnik grzewczy powracający na skraplacz obiegu ORC ma zbyt wysoką temperaturę, termostatyczny zawór przełączający kieruje go na wymiennik gruntowy w celu obniżenia jego temperatury. Dla bezpieczeństwa zastosowano również

wieżę chłodniczą, jeśli grunt nie odbierałby wystarczających ilości ciepła. Magazynowanie ciepła w gruncie pozwoli w porze zimowej na oddawanie ciepła przez grunt w celu odmrożenia i odśnieżenia podjazdu do rozładowywania biomasy. Schemat działania systemu centralnego ogrzewania i chłodzenia oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej przedstawia rys. 5.2.

5.2. Pasywny system przeciwołdzeniowy chodników

Zarówno przed samymi domami, jak i w chodnikach przed domami (rys. 5.5) umieszczone są systemy przeciwołdzeniowe bazujące na rurkach ciepła (ang. *heat pipe*), wykorzystujące zmagazynowane latem ciepło w gruncie do odmrażania wejść do domów i chodników przed domami. System ten wymaga osadzenia sekcji parownikowej rurki ciepła w gruncie na odpowiedniej głębokości oraz umieszczenia sekcji skraplającej jak najbliżej powierzchni chodnika i wejścia do domu, z niewielkim spadkiem w celu umożliwienia swobodnego powrotu skroplonej cieczy do sekcji parownikowej rurki ciepła. Praca rurki ciepła rozpoczyna się już w momencie, gdy temperatura powierzchni gruntu spadnie poniżej temperatury panującej pod powierzchnią gruntu. Płyn roboczy znajdujący się w rurce ciepła parując pobiera ciepło z gruntu i następnie transportuje je do sekcji skraplającej rurki ciepła, gdzie ulega skropleniu, oddając ciepło. Skroplony czynnik pod wpływem grawitacji spływa z powrotem do sekcji parownikowej i cały proces powtarza się.



Rys. 5.5. System przeciwołdzeniowy przed budynkami osiedla

Źródło: opracowanie własne.

System ten jest pasywny i nie wymaga żadnych dodatkowych źródeł energii oraz zapobiega oblodzeniu powierzchni chodników i wejść do domów, minimalizując niebezpieczeństwo oblodzenia.

LITERATURA

- [1] A d r i a n Ł., *Budowa i zasada działania rurki ciepła*, „Chłodnictwo i Klimatyzacja” 2010, nr 3.
- [2] A d r i a n Ł., *Wybrane aplikacje rurek ciepła w klimatyzacji i inżynierii budowlanej*, „Chłodnictwo i Klimatyzacja” 2010, nr 6.
- [3] K u t z M., *Energy and Power. Mechanical Engineers' Handbook*, John Wiley & Sons, New York 2006.
- [4] www.rehau.pl (dostęp 1.12.2011).
- [5] www.pro-vent.pl (dostęp 1.12.2011).
- [6] www.galmet.com.pl (dostęp 1.12.2011).

6. Kogeneracyjny system klimatyzacji i wentylacji z odzyskiem ciepła

6.1. Systemy klimatyzacji i wentylacji z odzyskiem ciepła

Drastycznie rosnące ceny energii cieplnej i elektrycznej oraz kurczące się zasoby paliw kopalnych skłaniają wielu inwestorów, osoby budujące domy, architektów czy projektantów do przemyśleń na temat stosowania odnawialnych źródeł energii. Ze względu na ograniczenie surowców kopalnych, takich jak: węgiel kamienny, węgiel brunatny, gaz, torf i ropa naftowa, projekty budynków zapewniające oszczędności energetyczne i wykorzystujące odnawialne źródła energii zyskują coraz większe znaczenie.

Właściwości izolacyjne zewnętrznych przegród budynków oraz szczelność okien i drzwi podlegają ciąglemu udoskonalaniu. Prowadzi to do redukcji strat energii np. poprzez unikanie mostków termicznych, co powoduje zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło bądź chłód w projektowanych budynkach, ale również przyczynia się do zakłócenia naturalnej wymiany powietrza budynku z otoczeniem, czyniąc go swoistym termosem uniemożliwiającym np. pozbycie się wilgoci z jego wnętrza. W celu zapewnienia w sposób ciągły napływu świeżego powietrza do pomieszczeń można, obok standardowego wietrzenia, dokonywać wymiany powietrza za pomocą mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej. Instalacja wentylacji tego rodzaju umożliwia również odzyskiwanie ciepła z powietrza usuwanego z pomieszczeń oraz ułatwia zastosowanie klimatyzacji pomieszczeń, znacząco poprawiając komfort cieplny w budynkach.

Rozwiązania energooszczędne wykorzystują mechaniczną wentylację pomieszczeń z odzyskiem ciepła w połączeniu z gruntowym powietrznym wymiennikiem ciepła (GPWC). Standardu pasywnego nie da się osiągnąć bez zastosowania mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej, umożliwiającej odzyskiwanie ciepła z usuwanego z pomieszczeń zużytego powietrza. Jej głównym elementem jest wysokoefektywna centrala wentylacyjna (rekuperator), w której nawiewanemu powietrzu zostaje przekazana znaczna część ciepła z powietrza wywiewanego. Zastosowana centrala powinna

charakteryzować się wysoką sprawnością przekraczającą 80% oraz niskim zużyciem energii elektrycznej. Powietrze zewnętrzne należy doprowadzać do budynku za pośrednictwem powietrznego wymiennika gruntowego, w którym podgrzewa się ono w czasie zimy i chłodzi latem, wykorzystując grunt jako swoisty zasobnik ciepła.

Wentylacja nawiewno-wywiewna budynku niskoenergetycznego ma charakter ukierunkowany. Świeże powietrze nawiewane jest bezpośrednio do tzw. czystych pomieszczeń (sypialnie, pokoje dzienne, pokoje gościnne itp.), gdzie powinien się znajdować każdorazowo co najmniej jeden nawiewnik. Zanieczyszczone powietrze usuwane jest z tzw. brudnych pomieszczeń (kuchnie i łazienki), zaopatrzonych w kratki wywiewne. Pozwala to na zapewnienie w projektowanym budynku ukierunkowanego przepływu powietrza – świeże zewnętrzne powietrze dociera najpierw do głównych pomieszczeń mieszkalnych, a następnie przepływa poprzez strefę pośrednią do pomieszczeń wilgotnych, w których panuje relatywnie wysoka krotność wymian, co umożliwia szybką neutralizację wilgoci. Dzięki zasadzie ukierunkowanego przepływu świeże powietrze jest wykorzystane w optymalny sposób i zostaje zapewniona wymagana krotność wymian powietrza, co umożliwia utrzymanie komfortu cieplnego w pomieszczeniach.

Elementem efektywnej instalacji wentylacyjnej budynku niskoenergetycznego jest gruntowy wymiennik ciepła, który wykorzystuje zakumulowane w gruncie ciepło do podgrzewania w zimie powietrza zewnętrznego, nawiewanego do pomieszczeń, lub do ochładzania go latem. Latem przepływające przez gruntowy wymiennik ciepła powietrze jest chłodzone, co daje efekt zbliżony do systemu klimatyzacji. Zastosowanie gruntowego powietrznego wymiennika ciepła zapobiega niebezpieczeństwu szronienia powierzchni wymiennika centrali wentylacyjnej i poprawia sprawność odzysku ciepła oraz eliminuje konieczność pracy energochłonnej nagrzewnicy wstępnej.

6.2. System wentylacji z odzyskiem ciepła oraz system klimatyzacji z absorpcyjnym urządzeniem chłodniczym na przykładzie projektowanego osiedla

System instalacji wentylacyjno-klimatyzacyjnej z odzyskiem usuwanego z powietrza ciepła w budynkach projektowanego osiedla jest oparty na rekuperatorze przeciwprądowym firmy PRO-VENT MISTRAL PRO 400 EC z bardzo wydajnym przeciwprądowym wymiennikiem ciepła wyposażonym dodatkowo w wentylator wspoma-

gający do gruntowego wymiennika ciepła, elektryczną nagrzewnicę wstępną oraz trzyczęściową glikolową nagrzewnicę (chłodnicę) wtórną. Centrala i nagrzewnice (chłodnice) są sterowane automatycznie za pomocą przepustnic i zaworów z siłownikiem, umożliwiają pobieranie powietrza z wymiennika gruntowego i dostosowywanie ilości przepływu czynnika grzewczego (chłodniczego) przez nagrzewnicę (chłodnicę) wtórną. W rekuperatorze stosuje się wentylatory EC (umożliwiające niezależną, płynną regulację wydajności nawiewu i wywiewu centrali) oraz filtry na nawiewie do klasy F7. Poziom dźwięku na zewnątrz obudowy podczas pracy centrali nie przekracza 45 dBA. Omawiany rekuperator przedstawiono na rys. 6.1. Projektując osiedle, wykorzystano system oparty na centralnym przygotowaniu czynnika grzewczego (chłodniczego) w budynku gospodarczym oraz na oddzielnych gruntowych powietrznych wymiennikach ciepła i rekuperatorach, umieszczonych w każdym domu. System taki jest w pełni autonomiczny i umożliwia zautomatyzowaną regulację centralnego ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji dla każdego domu oddzielnie, w zależności od upodobań i potrzeb mieszkańców. Rekuperator jest zainstalowany na poddaszu każdego budynku, a gruntowy powietrzny wymiennik ciepła – wokół każdego domu.



Rys. 6.1. Rekuperator firmy PRO-VENT typ MISTRAL PRO 400 EC wraz z osprzętem

Źródło: [5].

Rekuperatory posiadają regulatory RC-4 ze sterownikiem S-1. Automatyka central wentylacyjnych MISTRAL jest podzielona na 2 układy. Sterownik S-1 znajduje się wewnątrz centrali i służy kontrolowaniu pracy centrali wentylacyjnej i urządzeń dodatkowych. Manipulator RC-4, który umieszcza się na ścianie w miejscu dogodnym dla użytkowników, służy do komunikowania się z nimi. Z poziomu manipulatora użytkownik ma możliwość kontroli i ustawienia parametrów pracy centrali (wydajność wentylatorów, stan przepustnicy by-passu) oraz urządzeń dodatkowych (nagrzewnice i chłodnice kanałowe, przepustnice itd.). Dzięki zastosowaniu nowoczesnej techniki mikroprocesorowej sterownik jest urządzeniem niezawodnym i oszczędnym, a równocześnie zapewnia rozbudowane możliwości sterowania pracą systemu wentylacyjnego i konfiguracji samego sterownika. S-1 pozwala sterować pracą dodatkowych urządzeń zewnętrznych, podłączonych do centrali wentylacyjnej (np. nagrzewnica wtórna, chłodnica wtórna, przepustnica strefowa itd.) [5].

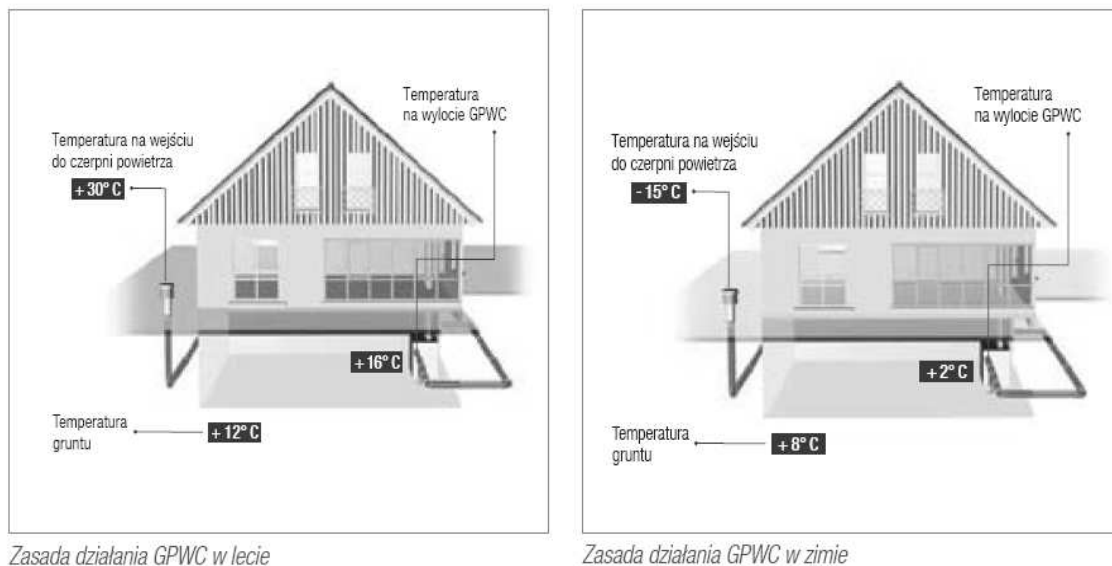
Funkcje realizowane przez sterownik S-1:

- wybór wydajności systemu wentylacyjnego (wydajność wentylatorów);
- sterowanie wydajnością na podstawie wilgotności (higrometr);
- sterowanie wydajnością na podstawie stężenia dwutlenku węgla (CO₂);
- sterowanie pracą dodatkowych elektrycznych nagrzewnic powietrza;
- sterowanie pracą dodatkowych wodnych nagrzewnic powietrza;
- sterowanie pracą dodatkowych chłodnic powietrza;
- sterowanie pracą przepustnicy GWC/czerpnia ścienna;
- sterowanie pracą przepustnicy by-passu (obejście wymiennika);
- sterowanie pracą dodatkowych przepustnic strefowych [5].

Rekuperator wywiewa zużyte powietrze z tzw. brudnych pomieszczeń (łazienka, kuchnia) i oddaje ciepło (chłód) do powietrza nawiewanego do tzw. czystych pomieszczeń (salon, sypialnia). Świeże powietrze jest zasysane z zewnątrz przez gruntowy powietrzny wymiennik ciepła (GPWC) – AWADUKT THERMO firmy REHAU o długości 60 mb, w którym następuje jego wstępne ogrzanie w porze zimowej lub ochłodzenie w porze letniej.

Funkcjonowanie gruntowego powietrznego wymiennika ciepła polega na wykorzystaniu temperatury gruntu – oscylującej na poziomie ok. 8°C (od głębokości ok. 1,5 m poniżej rzędnej terenu) – do ocieplenia zimą lub schłodzenia latem świeżego powietrza płynącego systemem kolektorów. Doświadczenia pokazują, że dzięki zastosowaniu gruntowego powietrznego wymiennika ciepła można podnieść temperaturę doprowadzanego powietrza nawet o 22°C w zimie i obniżyć ją nawet o 20°C w lecie

(rys. 6.2). Efektem jest nie tylko podwyższenie komfortu cieplnego użytkowników budynku, lecz także znaczne obniżenie kosztów zużywanej energii. Dodatkowo zastosowany w tym projekcie gruntowy wymiennik ciepła jest wyposażony w powłokę antibakteryjną, znacznie podnoszącą komfort życia mieszkańców i spełniającą wszystkie normy sanitarne.



Rys. 6.2. Zasada funkcjonowania gruntowego powietrznego wymiennika ciepła na przykładzie pory zimowej i letniej

Źródło: [4].

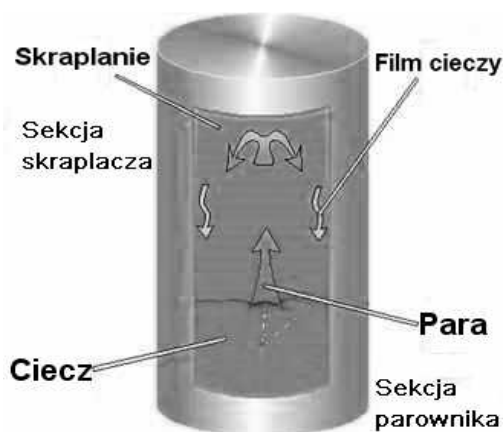
W porze zimowej zasysane z zewnątrz świeże powietrze, po przejściu przez gruntowy powietrzny wymiennik ciepła oraz wymiennik z wmontowanymi rurkami ciepła (*heat pipe*), umiejscowiony w górnej części przeszklonej werandy, jest ogrzewane w rekuperatorze za pomocą powietrza wywiewanego z pomieszczeń oraz w nagrzewnicy wtórnej zasilanej z zasobnika centralnego ogrzewania, znajdującego się w budynku gospodarczym. Następnie tak „przygotowane” powietrze jest transportowane przez sieć kanałów wentylacyjnych do tzw. czystych pomieszczeń (rys. 6.4, 6.5, 6.6).

Wymiennik do odzyskiwania ciepła (rys. 6.5 i 6.6) składa się z poszerzonego kanału wentylacyjnego z wbudowanym szeregiem ożebrowanych rurek.

Budynki A i B są skierowane przeszkloną werandą w stronę południową. Zyski ciepła, m.in. słonecznego, związane z takim usytuowaniem, kumulowane w górnej części pomieszczenia, są przekazywane do świeżego powietrza jeszcze przed rekupe ratorem za pomocą wysoko wydajnych ożebrowanych rurek ciepła. Głównym proble mem w tego typu urządzeniach jest uzyskanie wymaganego transferu ciepła (po wietrze w przeszklonej werandzie – powietrze w kanale wentylacyjnym) ze względu na brak wymuszonego ruchu powietrza w werandzie. Ciepłe powietrze, ze względu na swoją gęstość, unosi się do góry i jego ciepło jest odbierane przez system ożebro wanych rurek.

Wymiennik typu rurka ciepła (*heat pipe*) (rys. 6.3) jest urządzeniem, które wyko rzystuje dwufazowy, zamknięty i powtarzający się cykl z odparowaniem czynnika roboczego w parowniku, a następnie jego skropleniem w skraplaczu. Jedną z głów nych zalet rurek ciepła jest ich wysoka efektywność, która umożliwia przekazywanie znacznych ilości ciepła, nawet przy niewielkiej różnicy temperatur.

W konsekwencji jednoczesnego występowania parowania połączonego z konwekcją, zdolność odbioru ciepła i efektywność jego transportu w rurkach ciepła jest znacznie lepsza od nawet najlepszych przewodników ciepła. Mechanizm funkcyjno



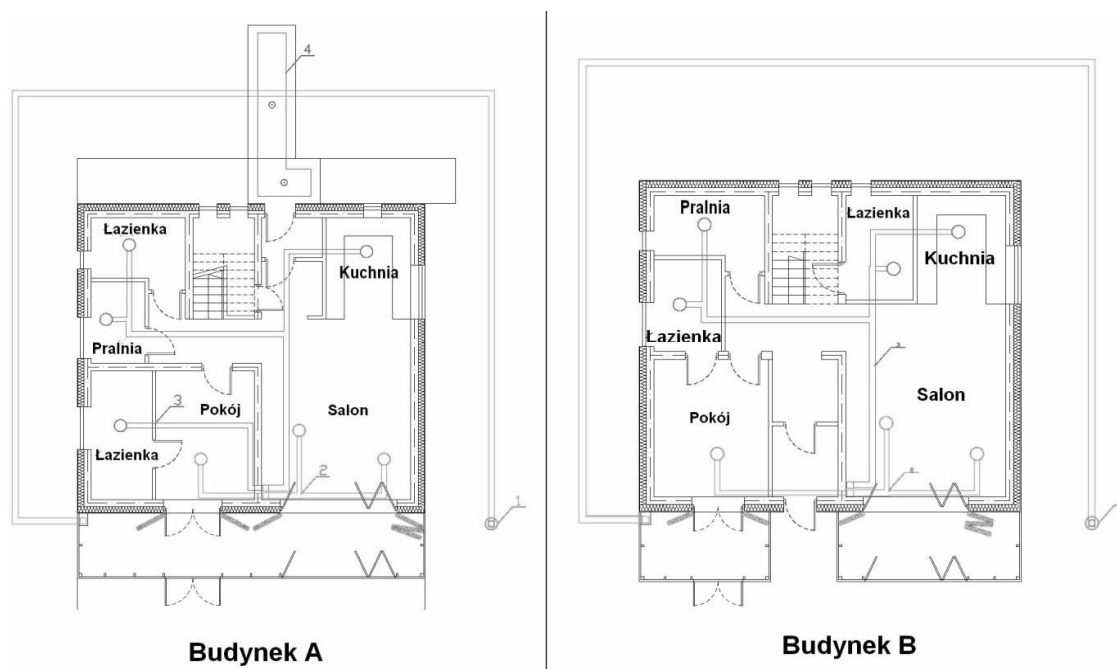
Rys. 6.3. Grawitacyjna rurka ciepła (termosyfon)

Źródło: [1].

wania grawitacyjnych rurek ciepła opiera się na cyrkulacji płynu roboczego na skutek sił grawitacji. Rurka ta pracuje w pozycji pionowej z sekcją dostarczania ciepła w dolnej części i sekcją oddawania ciepła w części górnej. Jak pokazuje rys. 6.3, rurki składają się z trzech odrębnych obszarów: parownika (obszar dostarczania ciepła), skraplacza (obszar odbierania ciepła) i adiabatycznego obszaru między nimi. Ciepło dostarczone do sekcji parownika powoduje, że roboczy płyn odparowuje. Odpowiednia temperatura i odpowiednio wysokie ciśnienie w tym obszarze powodują wytworzenie strumienia pary w kierunku przeciwnego, chłodniejszego końca rurki (sekcji skrapla-

jącej), gdzie para skrapla się, oddając swoje utajone ciepło parowania. Następnie siły grawitacyjne transportują ciecz z powrotem do parownika. Rurki ciepła funkcjonują jako zamknięty, dwufazowy cykl, wykorzystują również utajone ciepło parowania, by transportować ciepło przy bardzo małych różnicach temperatury [1].

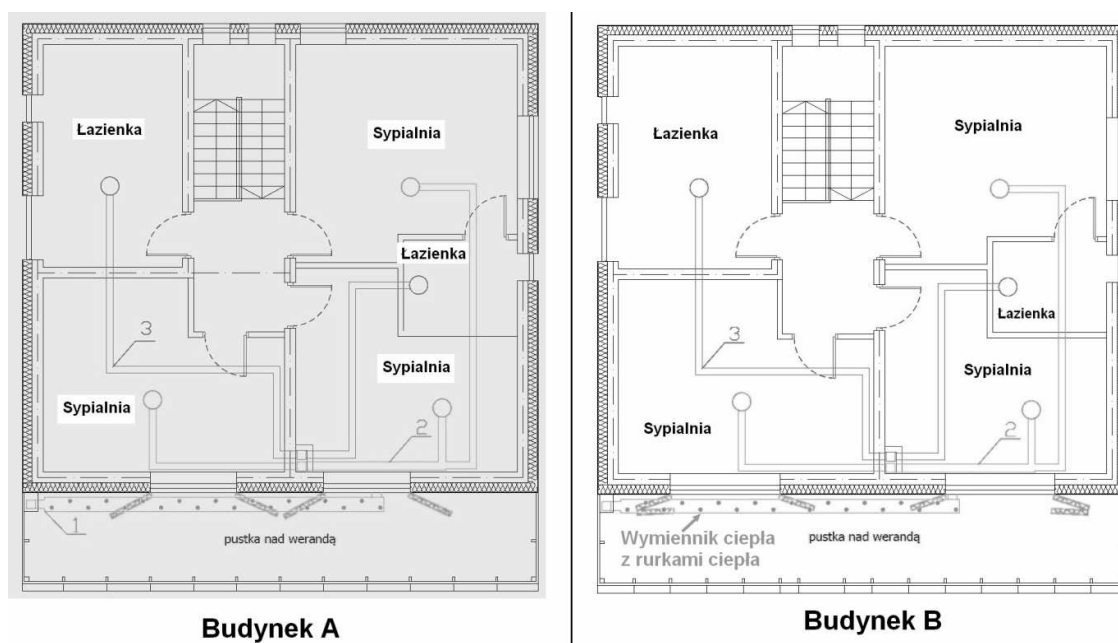
Użycie rurek ciepła jako elementów pośrednich do efektywnego transportu ciepła pomiędzy powietrzem w przeszklonej werandzie a powietrzem w kanale wentylacyjnym z konwekcją wymuszoną po stronie świeżego powietrza w kanale wentylacyjnym pozwala na zamknięcie i odizolowanie świeżego powietrza od powietrza w przeszklonej werandzie oraz na efektywny jego transfer. Rurki zastosowane w tym wymienniku działają na zasadzie grawitacyjnych rurek ciepła, ich praca rozpoczyna się



Rys. 6.4. Rzut parteru budynków typu A i B z naniesionymi instalacjami. 1 – Instalacja zasysająca świeże powietrze z zewnątrz, 2 – Instalacja nawiewna, 3 – Instalacja wywiewna, 4 – Instalacja odmrażająca chodnik i wejście do domu

samoczynnie, gdy temperatura powietrza wewnątrz kanału wentylacyjnego jest niższa od temperatury powietrza na górze przeszklonej werandy.

W sytuacji, gdy przez dłuższy czas nie będzie nasłonecznienia wystarczającego do ogrzania powietrza w werandzie i powietrze wewnątrz kanału wentylacyjnego będzie miało temperaturę wyższą od temperatury powietrza w werandzie, np. dzięki gruntowemu powietrznemu wymiennikowi ciepła – rurki ciepła samoczynnie przestaną działać. Będzie to również zachodzić w momencie wyrównania się temperatur powietrza w werandzie i w kanale wentylacyjnym na skutek działania rurek ciepła. W porze letniej podczas wstępnego chłodzenia powietrza przez gruntowy wymiennik ciepła, powietrze wewnątrz kanału wentylacyjnego będzie chłodniejsze od tego w przeszklonej werandzie – wtedy działanie rurek ciepła jest niepożądane. W celu

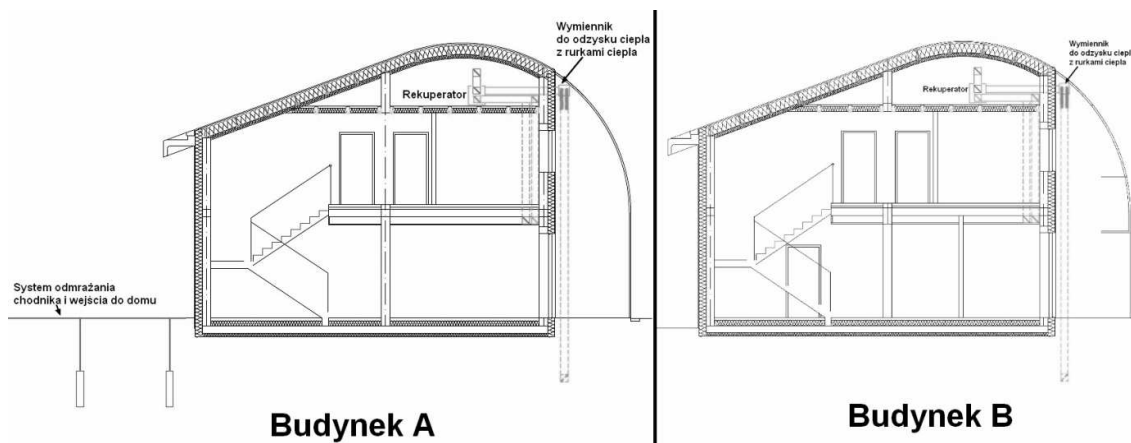


Rys. 6.5. Rzut pierwszego piętra budynków typu A i B z naniesionymi instalacjami. 1 – Instalacja zasysająca świeże powietrze z zewnątrz, 2 – Instalacja nawiewna, 3 – Instalacja wywiewna

Źródło: opracowanie własne.

zminimalizowania strat ciepła w porze letniej, w budynkach zastosowano by-pass umożliwiający ominięcie wymiennika ciepła z rurkami ciepła. Tak więc w porze zimowej powietrze przepływa przez wymiennik ciepła z rurkami ciepła, natomiast w porze letniej wymiennik jest pomijany.

W porze letniej powietrze, wstępnie ochłodzone w gruntowym powietrznym wymienniku ciepła, przepływa przez przeciwbieżący wymiennik rekuperatora, gdzie jest ochładzane za pomocą chłodnego powietrza usuwanego z pomieszczeń. Następnie powietrze jest ochładzane na trzyczędowej chłodnicy wodnej, zasilanej z zasobnika roztworu glikolu umieszczonego w budynku gospodarczym. Roztwór glikolu jest chłodzony dzięki absorpcyjnemu urządzeniu chłodniczemu (omówionemu w rozdziale 5), które wykorzystuje ciepło odpadowe z obiegu ORC w celu wytworzenia wody lodowej. Tak ochłodzone świeże powietrze jest nawiewane do pomieszczeń. Schemat rozdziału powietrza w pomieszczeniach jest pokazany na rys. 6.4, 6.5 i 6.6.



Rys. 6.6. Przekroje budynków A i B z naniesionymi instalacjami

Źródło: opracowanie własne

Na uwagę zasługuje fakt, że większość etapów ochładzania powietrza latem można realizować za pomocą systemów całkowicie pasywnych (nie wykorzystujących żadnej energii do ochładzania powietrza). Zarówno gruntowy wymiennik ciepła, jak i wymiennik rekuperatora nie zużywają energii do ochładzania powietrza nawiewa-

nego do pomieszczeń, a w znacznym stopniu pomagają utrzymać komfort cieplny w budynku. Jedynie absorpcyjne urządzenie chłodnicze pobiera energię elektryczną do uzyskania odpowiedniej mocy chłodniczej, ale dzięki wykorzystaniu ciepła odpadowego z systemu ORC zużycie energii elektrycznej w celach chłodniczych jest znikome. Zabezpieczenie przed przegrzewaniem stanowią będą rolety okienne oraz oszklona weranda od strony południowej. Pełni ona również funkcję bufora termicznego dla wymiennika ciepła z rurkami ciepła w sezonie grzewczym.

LITERATURA

- [1] Adrian Ł., *Budowa i zasada działania rurki ciepła*, „Chłodnictwo i Klimatyzacja” 2010, nr 3.
- [2] Adrian Ł., *Wybrane aplikacje rurek ciepła w klimatyzacji i inżynierii budowlanej*, „Chłodnictwo i Klimatyzacja” 2010, nr 6.
- [3] Kutz M., *Energy and Power. Mechanical Engineers' Handbook*, John Wiley & Sons, New York 2006.
- [4] www.rehau.pl (dostęp 1.12.2011).
- [5] www.pro-vent.pl (dostęp 1.12.2011).
- [6] www.galmet.com.pl (dostęp 1.12.2011).

7. Kogeneracja rozproszona oparta na biomasie

7.1. Wprowadzenie

Okolo sześćset lat temu, w powstających w tym czasie zakładach rzemieślniczych i wczesnych manufakturach, zaczęto wykorzystywać energię wiatru i wody w procesach wytwórczych i przetwórczych. Od tamtej pory w krajach rozwiniętych całkowite zużycie energii w przeliczeniu na osobę wzrosło ponad dziesięciokrotnie. Okazuje się, że rozwój społeczny i gospodarczy państwa przejawia się m.in. wzrostem zapotrzebowania na energię pod różnymi postaciami: energię promienistą, elektryczną, mechaniczną, ciepłą i chemiczną [2]. Zjawisko to jest związane z rozwojem technicznym, rozbudową przemysłu przetwórczego i transportu oraz z dążeniem człowieka do poprawy warunków życia.

Energia elektryczna jest szczególnie szlachetną formą energii, ponieważ możemy przetwarzać ją w prosty sposób na inne formy energii oraz przesyłać na duże odległości. Coraz szersze użycie urządzeń elektrycznych, w tym komputerów, telewizorów, kuchenek, hybrydowych samochodów powoduje ciągły wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną. Niestety, nie istnieje techniczna możliwość magazynowania energii w tej formie przez dłuższy czas i w dużych ilościach, dodatkową trudność stanowią straty wynikające z jej przesyłania. Dlatego produkcja energii elektrycznej powinna się odbywać w ścisłym sprzężeniu z odbiorem tej energii, w taki sposób, aby w każdym momencie całkowicie pokryć zapotrzebowanie oraz wyeliminować jej przesyłanie na duże odległości.

W dotychczasowym rozwoju energetyki dominującym źródłem energii były paliwa konwencjonalne: drewno, torf, węgiel brunatny, węgiel kamienny oraz ropa naftowa. Od końca lat 50. XX w. nastąpił szybki wzrost udziału gazu ziemnego oraz energetyki jądrowej. Jednocześnie ekstrapolacja danych o zużyciu energii paliw prowadziłaby do niemożliwego w ciągu 35 lat dostarczania 6 razy większej ilości energii paliw niż całkowite zużycie do roku 1965. Kryzys bliskowschodni z 1973 r. spowodował jednak

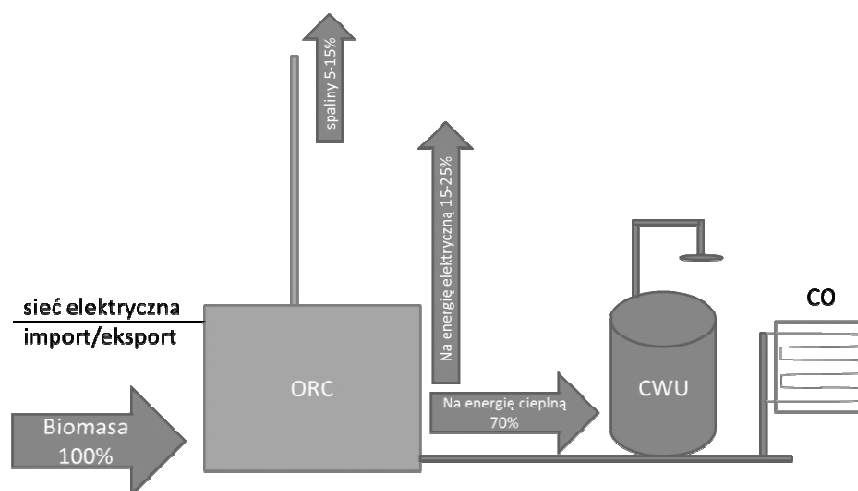
zwrot w kierunku intensywnej racjonalizacji gospodarki energią. W skali naszego globu udało się ograniczyć zużycie paliw bez hamowania rozwoju ekonomicznego i cywilizacyjnego ludzkości. Ratunkiem okazała się również energetyka jądrowa, ale czarnobylska katastrofa reaktora (26.04.1986) i katastrofa elektrowni jądrowej Fukushima (11.03.2011) wywołały popłoch, skutkujący spowolnieniem rozwoju energetyki jądrowej na całym świecie.

Wydarzenia lat 70. XX w., a także katastrofy reaktorów jądrowych stały się dla Zachodu bodźcem do uruchomienia i modernizacji systemów wydobywczych, dążenia do maksymalnego ograniczenia energochłonnej działalności gospodarczej i bytowej oraz poszukiwania alternatywnych źródeł energii. Udział energetyki wiatrowej, wodnej, solarnej, biomasy, odpadów stale wzrasta. Można przewidzieć, że dzięki dalszemu rozwojowi zdecentralizowanej gospodarki energetycznej osiągnie wartości porównywalne ze wskazaniami dla innych źródeł zasilających sieci energetyczne.

Z raportu Komisji Europejskiej „ICT for a Low Carbon Economy. Smart Buildings” z 2009 r. wynika, że 40% końcowego zużycia energii w krajach Unii Europejskiej przypada na budynki. Odsetek ten świadczy o dużym wpływie budownictwa mieszkaniowego na gospodarkę energetyczną kraju, pozwala też oceniać wynikające z tego szanse i zagrożenia. W związku z powyższym rynek i przepisy nakładają na sektor budowlany coraz wyższe wymagania dotyczące charakterystyki energetycznej budynków oraz wprowadzają nową terminologię, np. „budynki pasywne”, „ekologiczne”, „energooszczędne”. Opinie ekspertów na temat budownictwa ekologicznego są zróżnicowane, jednak wszyscy specjaliści zgadzają się, że takie budynki muszą charakteryzować się minimalnym zużyciem surowców nieodnawialnych, w tym wody, materiałów budowlanych i paliw kopalnych. Stąd projektanci starają się stosować w nowych realizacjach technologie produkcji energii odnawialnych, poszukując pozasieciowych źródeł prądu. Pozwala to wyeliminować straty energii, wynikające z jej przesyłania na duże odległości oraz ograniczyć wpływ awarii linii przesyłowych i dystrybucyjnych na funkcjonowanie gospodarstw domowych. Ponieważ produkcja energii elektrycznej jest skoncentrowana na południu kraju i prognozuje się wzrost cen energii, szczególnie ważne dla energetyki byłoby przeniesienie części tej produkcji do centralnej Polski. Najważniejszym zadaniem jest unikanie podczas przetwarzania paliw emisji szkodliwych gazów, zmniejszenie produkcji CO₂ oraz podwyższenie sprawności procesów i stopnia wykorzystania energii paliw w gospodarce skojarzonej.

7.1.1. Kogeneracja rozproszona i odnawialne źródła energii

Rozwiązaniem dla opisanych we wprowadzeniu problemów jest kogeneracja rozproszona, czyli proces technologiczny jednoczesnego wytwarzania energii elektrycznej i użytkowej energii cieplnej w układach położonych w bezpośrednim sąsiedztwie odbiorców energii. Na rys. 7.1 przedstawiono zasadę kogeneracyjnego wytwarzania energii elektrycznej i cieplnej. W wyniku spalania paliwa zostaje dostarczona energia cieplna, która jest przekazywana do prądnicy, a ta przetwarza ją na energię elektryczną. Ciepło odpadowe procesu wykorzystuje się do podgrzewania wody użytkowej oraz ogrzewania lub chłodzenia budynków, co zostało opisane w rozdziałach 5. i 6. monografii. Proces ten jest najbardziej wydajny, kiedy działa analogicznie do funkcjonowania elektrociepłowni, tzn. produkuje tylko tyle prądu, ile ciepła można odebrać. W przeciwnym wypadku nadprodukcję ciepła trzeba wypuścić do atmosfery, co stanowi dodatkowe straty. Zastosowanie kogeneracji daje duże oszczędności ekonomiczne i jest korzystne ze względów ekologicznych, ponieważ poprawia sprawność procesu wytwarzania energii. Dodatkową zaletą kogeneracji rozproszonej jest uniknięcie kosztów rozbudowy sieci ciepłej oraz redukcja strat ciepła związanych z jej eksploatacją.



Rys. 7.1. Schemat zasady kogeneracyjnego wytwarzania energii elektrycznej i cieplnej z biomasy

Źródło: opracowanie własne.

Dywersyfikacja źródeł energii zwiększa bezpieczeństwo energetyczne na obszarze jej stosowania, dlatego rozproszona produkcja energii elektrycznej i ciepłej, wykorzystująca lokalne i odnawialne źródła energii (OZE), przyczyni się do wzrostu tego bezpieczeństwa. Z OZE wiąże się problem dostępności i niezawodności, np. małe nasłonecznienie, nieregularne wiatry. Nie należy zapominać, że każdy kilowat mocy elektrycznej pozyskiwany z kolektorów słonecznych lub turbin wiatrowych wymaga takiej samej rezerwy mocy w elektrowniach konwencjonalnych, co nie przekłada się na oszczędności. W związku z tym wysuwa się hipotezę, iż energia pozyskana w wyniku spalania biomasy lub biogazu zapewni większe bezpieczeństwo energetyczne niż energia czerpana z wiatru lub promieniowania słonecznego.

W mikrośilowni kogeneracyjnej na biomasę, pracującej na użytek osiedla domków jednorodzinnych, przewiduje się zastosowanie technologii konwersji bioenergii ciepłej do użytecznej energii elektrycznej i ciepłej. Technologia ta opiera się na przemianach termodynamicznych organicznego czynnika niskowrzącego w obiegu organicznym Rankine'a (ORC). Na rynkach zagranicznych, m.in. w USA i we Włoszech, trwają również prototypowe prace nad podobną technologią, jednak różnią się one zasadniczo od propozycji zawartej w opracowaniu. Charakteryzuje ją użycie nietoksycznego czynnika napędzającego turbinę oraz zaprojektowanie i zbudowanie wysokoobrotowej maszyny małych rozmiarów, która ma prostszą konstrukcję, jest niezawodna oraz łatwa w eksploatacji i utrzymaniu. Innowacyjnym rozwiązaniem jest pomysł podparcia turbogeneratora w łożyskach foliowych, co jest możliwe dzięki małym mocom. Ponadto technologie, które można znaleźć na rynku, obejmują maszyny dużych mocy (powyżej 100 kW), dużych rozmiarów i wykorzystujące dużo droższe i bardziej skomplikowane technologie, np. podparcie wału w łożyskach magnetycznych [7].

7.1.2. Przyszłość mikroenergetyki

Rynek energii elektrycznej jest zmonopolizowany przez wielkich producentów, którzy często przenoszą na odbiorców dodatkowe koszty produkcji. Tradycyjna energetyka posiada większe moce, ale również ograniczoną liczbę elektrowni (ok. 70 w całym kraju), skoncentrowanych na południu kraju. Mikrośilownie mogą dawać od 2 do kilkunastu kW elektrycznych mocy (kWe), czyli są to urządzenia o mocy od 25 000 do 250 000 razy mniejszej w stosunku do energetyki zawodowej. Realizacja małych instalacji, czyli rozproszona produkcja małych mocy, poprawi konkurencję na rynku energii, a pokazane

rozwiązania stworzą podstawy dla budowy gniazd energetycznych, opartych na lokalnych zasobach odnawialnych źródeł energii, w tym zwłaszcza biomasy. Ponadto rozwój gospodarczy bez zagospodarowania zasobów biomasy i odpadów będzie powodował wzrost zanieczyszczenia środowiska, pogłębi jego degradację i zmniejszy walory przyrodniczo-turystyczne regionów rolniczych. Zastosowanie lokalnych źródeł energii spowoduje dostosowanie paliw do specyfiki regionu, a realizacja projektu przyczyni się do powstania dużego i nowoczesnego (obecnie prawie nieistniejącego) przemysłu technologii dla małej energetyki. Z rezultatów będą korzystać producenci instalacji do przetwarzania biomasy i odpadów w paliwo płynne, producenci tego paliwa oraz plantatorzy roślin energetycznych, zyska więc cała gospodarka [4]. Projekt dotyczy rozwiązań technicznych o stosunkowo niedużej skali, ale o dużym możliwym zasięgu zastosowań. Zapotrzebowanie na technologie energetyczne wykorzystujące odnawialne źródła energii niewątpliwie będzie tym większe, im bliżej do roku 2020, w którym 15% energii produkowanej w Polsce powinno pochodzić ze źródeł odnawialnych [5].

Konkurencyjne sposoby wytwarzania prądu elektrycznego w instalacjach bardzo małej mocy opierają się na różnych rozwiązaniach, m.in. na silniku Diesla, silniku iskrowym, turbinie gazowej, silniku Stirlinga, ogniwie paliwowym. Zauważamy jednak, że tylko organiczne układy Rankine'a (ORC), dzięki zastosowaniu czynnika niskowrzącego napędzającego turbinę gazową, umożliwiają wytworzenie prądu elektrycznego z energii cieplnej o niskiej temperaturze. Paliwem w układach ORC może być najtańsza biomasa. Na uwagę zasługuje fakt, iż w obiegach ORC spalanie odbywa się zewnątrz, w odróżnieniu od obiegów silników o spalaniu wewnętrznym, zarówno tłokowych, jak i turbinowych, w których stosowanym czynnikiem roboczym są mieszaniny gazów. Zaletami spalania w zewnętrznych wytwornicach pary są:

- realizacja obiegu zbliżonego do obiegu Carnota o możliwie największej sprawności cieplnej;
- niewielka wartość pracy sprężania cieczy w porównaniu z silnikami spalinowymi;
- intensywna wymiana ciepła między ściankami wymienników a wrzącą cieczą.

Obecnie istniejące siłownie ORC są stosunkowo duże, o mocach powyżej 100 kWe. Znaleźć je można w formie gotowych produktów w ofertach włoskiej firmy Turboden, szkockiej Triogen czy amerykańskiej Infinity Turbine. Bloków mniejszych nie ma w sprzedaży. Konkurencyjne, wymienione wcześniej sposoby produkcji prądu elektrycznego napotykają ograniczenia dotyczące przede wszystkim dobrej jakości paliw. Układy ORC mogą być zasilane paliwem niskiej jakości, którego nie da się zastosować w innych

urządzeniach. Zaletą tej technologii powinny być też niskie koszty serwisowania i obsługi oraz wysoka bezawaryjność ze względu na małą liczbę części ruchomych. W tab. 7.1 znajduje się charakterystyka techniczno-ekonomiczna konkurencyjnych w stosunku do ORC układów do produkcji prądu elektrycznego.

Tabela 7.1

Zestawienie maszyn do produkcji energii elektrycznej

Nazwa urządzenia	Paliwo	Sprawność (w %)		Minimalna moc (kWe)	Koszt inwestycji (zł/kWe)
		min	max		
Silnik Diesla	Ropa naftowa	35	45	5	7000
Silnik iskrowy	Benzyna	25	43	3	8750
Turbina gazowa	Gaz, biogaz	15	30	15	8750
Silnik Stirlinga	Różne paliwa	—	25	10	15750
ORC	Nie istnieje technologia w sprzedaży				

Źródło: [4].

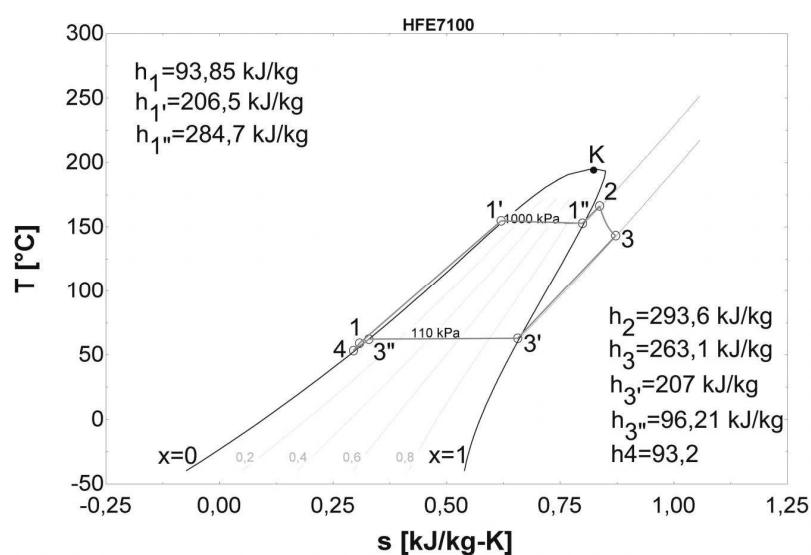
W niniejszym rozdziale zostaną przedstawione rozwiązania techniczne do zastosowania w mikrośilowni ORC na przykładzie projektu osiedla domów ekologicznych. Rozdział ma charakter poglądowy, a część badawczą stanowi fragment dotyczący mikroturbogeneratora ORC, którego projekt i realizacja prototypów powstały w Instytucie Maszyn Przepływowych Politechniki Łódzkiej pod kierunkiem prof. Zbigniewa Kozaneckiego [9]. W celu pokazania możliwości wdrożenia komercyjnego projektu stworzono koncepcyjny projekt mikrośilowni ORC, który obejmuje policzenie parametrów czynnika roboczego w obiegu, dobranie kotła na pellet oraz ustalenie parametrów dla wymienników. W oparciu o model zostanie przeprowadzona analiza rynku umożliwiająca wybór urządzeń spełniających zadane parametry. Następnie zostaną krótko opisane problemy techniczne, które muszą zostać wzięte pod uwagę przy wykonaniu obliczeń i wyborze głównych maszyn i urządzeń mikrośilowni. Należy podkreślić, że nie jest możliwe, aby autor samodzielnie skonstruował i przetestował wszystkie elementy siłowni, dlatego dobór urządzeń będzie w dużej mierze oparty na opinii ekspertów oraz informacjach zaczerpniętych z literatury i publikacji.

7.2. Opis procesów wytwarzania energii elektrycznej w kogeneracji

Analiza procesów termodynamicznych zachodzących w obiegu ORC jest konieczna do zrozumienia zasad działania podzespołów w mikrośiowni [10].

7.2.1. Organiczny obieg Rankine'a

Organiczny obieg Rankine'a (ORC) jest charakterystyczny dla siłowni kogeneracyjnej. Obieg termodynamiczny opisuje przemiany, które zachodzą podczas obiegu czynnika roboczego, a zrozumienie tych przemian jest konieczne do określenia parametrów maszyn i urządzeń napędzających lub napędzanych przez ten czynnik. Na rys. 7.2 przedstawiono obieg ORC we współrzędnych temperatura–entropia na parę przegrzaną suchą, opracowany dla czynnika HFE 7100, o którym szerzej w dalszej części rozdziału.



Rys. 7.2. Obieg termodynamiczny niskotemperaturowego czynnika HFE 7100

Krzywa (czarna linia ciągła) przedstawia wykres pary dla czynnika HFE 7100. Krzywą graniczną dolną ($x = 0$) nazywamy linię oddzielającą obszar cieczy od obszaru pary, a krzywą graniczną górną lub krzywą nasycenia ($x = 1$) nazywamy linię oddzielającą obszar pary wilgotnej nasyconej od obszaru pary przegrzanej. Obie krzywe łączą się w punkcie K , zwanym punktem krytycznym. Na wykresie oznaczono stany termodynamiczne czynnika zgodnie z modelem siłowni (rys. 8.1). W wyniku dostarczenia ciepła do obiegu następuje całkowite odparowanie i przegrzanie czynnika w parowniku (1–2). Dalej czynnik trafia do turbiny, rozpręża się (2–3), a jego energia cieplna jest zamieniana na energię mechaniczną turbiny. Za turbiną pozostała energia czynnika zostaje odebrana w postaci ciepła uzyskanego w wyniku skroplenia gazu w kondensatorze (3–4). Następnie należy podnieść ciśnienie powstałej w ten sposób cieczy (4–1), aby następnie jeszcze raz ją odparować w wyższej temperaturze i powtórzyć cały obieg.

Zrezygnowano z „karnotyzacji” obiegu, czyli regeneracji ciepła polegającej na podwyższeniu temperatury cieczy za pomocą gorącego gazu opuszczającego turbinę. Jednocześnie, w celu poprawienia sprawności obiegu, podwyższono temperaturę pary przez jej przegrzewanie przy stałym ciśnieniu do wartości 160°C . Na podstawie przebiegu krzywej nasycenia wykresu pary ($x = 1$ na rys. 7.2), można stwierdzić z całą pewnością, że przy użyciu czynnika niskowrzącego HFE 7100 nie istnieje ryzyko pojawienia się skroplin na łopatkach turbiny podczas rozprężania czynnika.

7.2.2. Czynnik organiczny

W procesie jednoczesnej produkcji prądu elektrycznego i ciepła ze źródeł niskotemperaturowych (np. z biomasy) termodynamiczne właściwości czynnika krążącego w obiegu są niezwykle istotne. Oprócz parametrów termodynamicznych ważne jest również uwzględnienie wpływu czynnika na środowisko.

Z punktu widzenia prawidłowego działania turbiny, czynnik roboczy musi przede wszystkim posiadać odpowiednie właściwości termodynamiczne, głównie [1]:

- temperaturę krytyczną powyżej najwyższej temperatury obiegu;
- górne ciśnienie nieprzekraczające 2–3 MPa;
- dolne ciśnienie wyższe od ciśnienia atmosferycznego, aby uniknąć wnikania powietrza do systemu;
- punkt potrójny poniżej minimalnej temperatury obiegu, aby uniknąć przejścia płynu w stały stan skupienia;

- możliwie duży spadek entalpii czynnika na turbinie, co zwiększy sprawność obiegu i zmniejszy przepływ czynnika, czyli wydatek;
- dodatni współczynnik kierunkowy krzywej nasycenia; para nasycona staje się parą przegrzaną po izentropowym rozprężeniu w turbinie;
- możliwie wysoką gęstość czynnika na wlocie do turbiny, co pozwoli na zmniejszenie rozmiarów maszyny;
- wysoki współczynnik konwekcji ciepła i przewodność ciepła;
- możliwie niskie lepkości dynamiczne fazy ciekłej i gazowej czynnika w celu zminimalizowania strat powstałych w wyniku tarcia.

Ponadto ze względów bezpieczeństwa i prawidłowego funkcjonowania mikrośilowni wymagane jest, aby w każdym punkcie obiegu czynnik nie powodował korozji materiałów, z których zbudowane są urządzenia w obiegu, tj. pompy, turbiny, generatora, wymienników i uszczelnień. Dodatkowo czynnik musi być termicznie i chemicznie stabilny w każdych warunkach działania systemu. Ważne jest również, aby nie wykazywał negatywnego wpływu na zdrowie i bezpieczeństwo człowieka. Ze względów wdrożeniowych i komercyjnych poszukuje się czynnika dostępnego na rynku, którego koszt będzie umiarkowany. Bardzo dobrą bazą danych dla różnych czynników są programy

Tabela 7.2

Właściwości fizyczne czynnika organicznego HFE 7100

Właściwości	HFE 7100
Masa molowa [g/mol]	250
Temperatura zapłonu	brak
Temperatura topnienia [°C]	-135
Temperatura wrzenia [°C]	61
Temperatura krytyczna [°C]	195,3
Ciśnienie krytyczne [MPa]	2,23
Ciepło parowania dla punktu wrzenia [kJ/kg]	111,6
Wytrzymałość elektryczna (0.1 in. gap) [kV (RMS)]	28
Stała dielektryczna [100 Hz – 10 MHz]	7,39

REFPROP [3] i EES [8], w których możemy odczytać właściwości termodynamiczne na wykresach i w formie tabelarycznej.

W Instytucie Maszyn Przepływowych turbogenerator ORC został zaprojektowany tak, aby współpracował z czynnikiem HFE 7100. Jest on czysty, bezbarwny, niepalny i o słabym zapachu, dielektryczny, półprzewodnikowy, niskotoksyczny oraz przyjazny dla środowiska. Producent wykazuje kompatybilność z komponentami elektronicznymi, nadmieniając, że jest on używany do chłodzenia kontaktowego. Szczegółowo jego właściwości zostały przedstawione w tabelach 7.2, 7.3 i 7.4.

Tabela 7.3

Wyniki testów toksykologicznych dla czynnika HFE 7100

Właściwości	HFE 7100
Stężenie śmiertelne dla wdychania	>100 000 ppm (4 godziny)
Doustnie	praktycznie nietoksyczny (> 5g/kg)
Drażniący dla oczu	praktycznie niedrażniący
Irytacja skóry	minimalnie drażliwy
Uczulenie skóry	nie wywołuje uczulenia
Działanie mutagenne	ujemne dla wszystkich 3 przeprowadzonych testów
Uczulenie dla akcji serca	nie wykazał do stężenia > 100 000 ppm
Ekotoksyczność	bardzo niska

Źródło: jak w tab. 7.2.

Tabela 7.4

Właściwości środowiskowe czynnika HFE 7100

Właściwości	HFE 7100
Współczynnik niszczenia ozonu [ODP]	0
Współczynnik globalnego ocieplenia [GWP]	320
Żywotność atmosferyczna [ALT, lata]	4,1

Źródło: jak w tab. 7.2.

Wstępne próby rozruchu instalacji z gorącym czynnikiem HFE 7100 wykazały problemy ze szczelnością stanowiska, co nie miało miejsca podczas wcześniejszych testów na powietrzu. Muszą być przeprowadzone dalsze badania w celu stwierdzenia, czy czynnik nadaje się do zastosowania w mikrośilowni komercyjnej.

7.3. Projektowanie obiegu mikrośilowni ORC

Na podstawie informacji zaczerpniętych z baz danych znane są właściwości fizyczne i termodynamiczne czynnika organicznego, który będzie napędzał turbogenerator. Kolejnym krokiem jest oszacowanie sprawności ogólnej silowni. W Polsce istnieje system certyfikatów energetycznych, o które można się ubiegać po spełnieniu określonych prawnie kryteriów [6].

System certyfikatów w zależności od pochodzenia energii obejmuje:

- certyfikaty zielone, potwierdzające pochodzenie energii ze źródeł odnawialnych (z elektrowni wiatrowych i wodnych, źródeł geotermalnych, wytwarzających energię z biomasy i biogazu oraz ze słonecznych ogniw fotowoltaicznych i kolektorów słonecznych do produkcji ciepła);
- certyfikaty czerwone, potwierdzające pochodzenie energii ze źródeł konwencjonalnych;
- certyfikaty białe, potwierdzające przeprowadzenie działań energooszczędnych.

Zielone certyfikaty są przypisane świadectwom pochodzenia, na podstawie których powstały, a czerwone stanowią mechanizm wsparcia dla energii elektrycznej wyprodukowanej w skojarzeniu z wytwarzaniem ciepła. Technologiczne połączenie wytwarzania tych dwóch produktów pozwala na bardziej efektywne wykorzystanie energii pierwotnej paliwa, co generuje oszczędności w jego zużyciu. Białe certyfikaty potwierdzają przeprowadzenie działań energooszczędnych, wykorzystanie ich mechanizmu jest uzasadnione potrzebą osiągania korzyści wynikających z poprawy efektywności energetycznej, będącej wielkością zużycia paliw i energii, odniesioną do uzyskiwanej wielkości efektu użytkowego urządzenia w typowych warunkach użytkowania. Białe certyfikaty można otrzymać, realizując działania, których skutkiem będzie:

- zwiększenie sprawności wytwarzania energii;
- zmniejszenie strat podczas przesyłania i dystrybucji energii;
- pozyskanie oszczędności w zużyciu energii przez odbiorców końcowych.

Oprócz korzyści wynikających z posiadania białych certyfikatów, wykazanie konkurencyjnej efektywności energetycznej daje techniczne podstawy do instalowania mikrosiłowni, również na obszarach, gdzie podłączenie do sieci zawodowej jest możliwe, a obecność innego dużego wytwórcy nie stwarza podstaw prawnych do korzystania ze źródeł własnych.

7.3.1. Sprawność ogólna siłowni

Możemy przyjąć sprawność teoretyczną obiegu ORC na poziomie 60%, jednak zjawiska zachodzące w siłowni przebiegają nieodwrotnie i dlatego w rzeczywistości nie osiąga się takiej sprawności jak w obiegu porównawczym. Obniżenie tej sprawności jest spowodowane stratami wszystkich zespołów i wynika głównie z nieizentropowego rozprężania pary w turbinie oraz spadków ciśnienia w wymiennikach ciepła w kotle. Dlatego, oprócz sprawności teoretycznego obiegu Rankine'a η_{CR} należy wziąć pod uwagę również sprawność energetyczną kotła (η_k), sprawność rurociągów (η_r) wynikającą ze strat przepływu pary do turbiny i strat ciepła do otoczenia oraz sprawność izentropową turbiny (η_s). Na rys. 7.2 przedstawiono projektowane rozprężanie czynnika na turbinie od pkt. 2 do 3. Gdyby rozprężenie to odbywało się izentropowo, charakterystyka przemiany 2–3 byłaby linią pionową ($ds/dT \sim 0$). Różnica charakterystyk tych dwóch przemian jest uzależniona od sprawności wewnętrznej turbiny. Oznacza to, iż różnica entalpii na drodze przemiany 2–3 obiegu teoretycznego (h_{2-3s}) jest otrzymaną pracą ekspansji izentropowej (adiabaty odwracalnej), a różnica entalpii obiegu rzeczywistego (h_{2-3}) to praca ekspansji rzeczywistej (adiabaty nieodwracalnej). Sprawność izentropową turbiny wyrażamy zatem wzorem [10]

$$\eta_s = \frac{h_{2-3}}{h_{2-3s}}$$

Sprawność generatora elektrycznego (η_g), która jest stosunkiem wytworzonej mocy elektrycznej siłowni do mocy dostarczanej przez turbinę napędzającą generator prądu, zbliża się do 100%, więc dla uproszczenia wyliczeń koncepcyjnych można ją pominąć. Stąd sprawność energetyczna obiegu siłowni (η_{eo}) jest zdefiniowana stosunkiem pracy wewnętrznej turbiny (l_i) do ilości ciepła doprowadzonego w jednostce czasu (q_1):

$$\eta_{eo} = \frac{l_i}{q_1} = \eta_{CR} \eta_r \eta_s$$

Po odpowiednim przekształceniu otrzymujemy sprawność jako iloczyn sprawności obiegu ORC (η_{CR}), strat hydraulicznych (η_r) oraz sprawności izentropowej turbiny (η_s).

Sprawność energetyczna siłowni parowej (η_{es}) uwzględnia sprawność kotła (η_k) oraz sprawność ogólną turbiny (η_m):

$$\eta_{es} = \eta_k \eta_{CR} \eta_r \eta_s \eta_m.$$

W efekcie sprawność elektrowni (η_{el}) jest stosunkiem energii dostarczonej do sieci elektrycznej (N_{el}) do energii zawartej w spalanej paliwie (q_{ch}). Uwzględniając straty poszczególnych zespołów, sprawność elektrowni możemy wyrazić, jako iloczyn omówionych powyżej sprawności oraz sprawności wynikającej z potrzeb własnych siłowni (zasilanie pompy – η_w):

$$\eta_{el} = \frac{N_{el}}{q_{ch}} = \eta_k \eta_{CR} \eta_r \eta_s \eta_m \eta_w.$$

W rozdziale przedstawiono tendencje i zagadnienia energetyczne, związane z kogeneracją rozproszoną opartą na energii z biomasy, będące przedmiotem badań na początku XXI w. W szczególności dobór odpowiedniego czynnika roboczego dla obiegu ORC oraz uzyskanie zadowalającej sprawności elektrowni jest podstawą do określenia wymagań technicznych dla maszyn i urządzeń mikrośilowni, co zostanie szerzej wyjaśnione w rozdziale 8.

LITERATURA

- [1] A o u n B., *Micro-cogénération pour les batiments résiduels fonctionnant avec des énergies renouvelables*, Praca doktorska, Ecole Nationales Supérieure des mines de Paris, Paris 2008.
- [2] G u n d l a c h W. R., *Podstawy maszyn przepływowych i ich systemów energetycznych*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2008.

- [3] Lemmon E. W., Huber M. L., McLinden M. O., *NIST Standard Reference Database 23: Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP*, Version 9.0, National Institute of Standards and Technology, Standard Reference Data Program, Gaithersburg 2010.
- [4] *Modelowe kompleksy agroenergetyczne, jako przykład kogeneracji rozproszonej opartej na lokalnych i odnawialnych źródłach energii. Studium wykonalności*, Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka, 2007–2013, projekt.
- [5] *Polityka energetyczna Polski do 2030 r.*, Ministerstwo Gospodarki, dokument przyjęty przez Radę Ministrów 10 listopada 2009 r.
- [6] *Prawo energetyczne*, tekst jednolity, Dz. U. 2006, nr 89, poz. 625, z późn. zm., http://poradnik.ekoportal.pl/producent/ZE_0.html (dostęp 13.01.2012).
- [7] Strona internetowa, <http://www.horus-energia.pl> (dostęp 13.01.2012).
- [8] Strona internetowa, <http://fchart.com/> (dostęp 13.01.2012).
- [9] Tkacz E., Kozanecki Z., *Investigations of oil-free support systems to improve the reliability of ORC hermetic high-speed turbomachinery*, "Mechanics and Mechanical Engineering" 2011, Vol. 15, No. 3.
- [10] Walentynowicz J., *Termodynamika techniczna i jej zastosowania*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2009.

8. Nowoczesny system zintegrowany z mikrośiownią ORC pracujący na potrzeby osiedla domów ekologicznych

8.1. Wymagania techniczne dla urządzeń mikrośiowni kogeneracyjnej na przykładzie projektu osiedla domów nisko energochłonnych

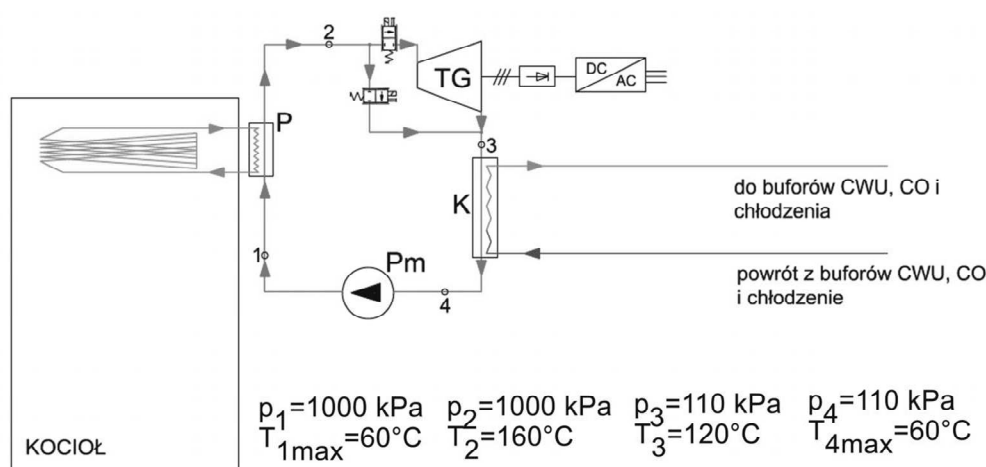
Projektowanie mikrośiowni kogeneracyjnej, działającej na zasadzie elektrociepłowni, tzn. produkującej tylko tyle prądu, ile ciepła można odebrać, należy zacząć od ustalenia całkowitego zapotrzebowania na moc cieplną i moc elektryczną odbiorców. Dane te powinny być ustalone na etapie projektu budowlanego instalacji centralnego ogrzewania (CO) i przygotowania ciepłej wody użytkowej (CWU).

W projekcie osiedla 2020 nie udało się uzyskać wszystkich potrzebnych danych, ponieważ certyfikat energetyczny zawierał jedynie informacje o całkowitym zapotrzebowaniu pojedynczego domu na energię cieplną oraz moc potrzebną do jego ogrzania. Na podstawie zapotrzebowania na energię elektryczną, wyliczonego za pomocą kalkulatorów umieszczonych na stronach internetowych [6] również nie można stwierdzić, jaka moc elektryczna powinna zostać zainstalowana. Nie jest to odpowiednia metodologia, gdyż kalkulatory internetowe skonstruowane są tak, aby wyliczyć średnie zużycie energii elektrycznej, potrzebne do oszacowania wysokości miesięcznych rachunków za energię elektryczną i cieplną. Nie mówią nic o chwilowej mocy czy mocy nominalnej, potrzebnych do zaprojektowania mikrośiowni. Jednocześnie moce zamawiane w elektrociepłowni też nie są miarodajne. Moc przyłączeniowa dla średniej wielkości domu jednorodzinnego wynosi 10–12 kW [5], a współczynnik jednoczesności 0,5–0,6. Oznacza to, że moc chwilowa powinna wynieść 5–6 kW. Jeżeli jednak przeanalizujemy dane rzeczywistego poboru energii elektrycznej na godzinę (dane poufne uzyskane od eksperta), to okazuje się, że średnia moc na godzinę jest o wiele niższa (do 1 kW).

8.1.1. Model teoretyczny instalacji mikrosiłowni

Projekt osiedla obejmuje 9 domów, a koszt instalacji ORC przypadający na jeden dom to ok. 10 000 PLN. Z finansowego punktu widzenia im większa liczba domów, tym relatywnie mniejszy koszt instalacji dla pojedynczego budynku, musiano jednak ograniczyć projekt do 9 budynków ze względu na atrakcyjność inwestycyjną dla deweloperów.

Schemat projektowanej instalacji został przedstawiony na rys. 8.1. W wyniku spalania biomasy w kotle powstaje energia cieplna, którą ogrzewamy olej termalny krążący w obiegu zamkniętym napędzany za pomocą pompy krążeniowej zintegrowanej z kotłem. W drugim obiegu czynnik niskowrzący zasila turbinę. Oba obiegi spotykają się w parowniku, gdzie ciepło oleju termalnego oddawane jest do obiegu czynnika niskowrzącego. Następuje całkowite odparowanie, a następnie przegrzanie czynnika roboczego. Czynnik niskowrzący w postaci gazowej przepływa przez turbinę zintegrowaną z generatorem prądu elektrycznego. W turbinie odbywa się rozprężenie pary, a dzięki indukcji elektromagnetycznej produkowana jest energia elektryczna. Całkowite skro-



Rys. 8.1. Schemat techniczny obiegu ORC dla osiedla domów ekologicznych

Objaśnienia: P – parownik, TG – turbogenerator, K – kondensator, Pm – pompa oraz proporcjonalne zawory regulacyjne.

Źródło: opracowanie własne.

plenie gazu następuje w skraplaczu, przez który przepływa woda z obiegu zasilającego domową instalację CO i CWU. Czynnik w stanie ciekłym zostaje przepompowany do parownika, w którym następuje jego ponowne odparowanie. Użytkownik odbiera energię elektryczną w postaci prądu oraz energię cieplną wody.

Projektowe obciążenie cieplne wg projektowanej charakterystyki energetycznej pojedynczego budynku wyniosło 3,69~4 kW. Po konsultacji z ekspertem ustalono, że średnie zapotrzebowanie na moc do przygotowania CWU można przyjąć na poziomie 5 kW. Z prostych obliczeń całkowitego zapotrzebowania wynika, że za kondensatorem (3–4), w warunkach nominalnych, budynki odbiorą 81 kW mocy cieplnej na CO i CWU. Stąd, po uwzględnieniu sprawności wymiennika (0,95) instalacja ma dostarczać minimum 85,3 kW mocy cieplnej za turbiną (punkt pracy 3).

Licząc nominalne punkty pracy obiegu czynnika HFE 7100 zakładamy wartość mocy elektrycznej. W celu wytlumaczenia metodologii liczenia przyjęto na początek moc zaniżoną równą 0,5 kWe na dom i 2 kWe na zasilanie elektrycznych urządzeń pomocniczych, tj. pomp, zaworów oraz rozdzielaczy hydraulicznych, o których mowa w rozdziałach 5. i 6. Daje to 6,5 kWe, które chcemy wyprodukować w nominalnych warunkach działania mikrosiłowni. Następnie z wykresu pary (rys. 7.2) odczytujemy spadek entalpii na turbinie (h_{2-3}) i liczymy stały dla całego obiegu przepływ masowy \dot{m} ze wzoru:

$$\dot{m} = \frac{P_e}{\eta_s h_{2-3}}$$

Tabela 8.1

Sprawności maszyn i urządzeń założone na podstawie danych katalogowych lub symulacji numerycznych

Podstawowe sprawności maszyn i urządzeń	Dane
Sprawność turbiny	0,7
Sprawność wymienników	0,95
Sprawność generatora	0,99
Sprawność kotła	0,9

Źródło: opracowanie własne.

gdzie: P_e – moc elektryczna potrzebna do wyprodukowania 6,5 kWe, η_s – sprawność izentropowa turbiny, h_{2-3} – spadek entalpii na turbinie. Iloraz P_e/η_s wyraża moc cieplną, którą należy dostarczyć przed turbiną. Wszystkie obliczenia są wykonywane przy założeniach sprawności maszyn i urządzeń przedstawionych w tab. 8.1.

Znając przepływ masowy, możemy obliczyć strumień ciepła, który należy przekazać na skraplaczu ze wzoru:

$$\dot{Q}_{3-4} = \dot{Q}_{T_3=120^\circ C} - \dot{Q}_{T_4=60^\circ C} = h_{3-4} \cdot \dot{m}$$

Porównanie wyniku (51,7 kW) z zapotrzebowaniem na moc ciepłą (81 kW) wskazuje, że produkując 0,5 kWe na dom nie można dostarczyć wystarczającej mocy ciepłej dla CO i CWU, należy zatem zwiększyć moc elektryczną. Gdyby natomiast strumień ciepła

Tabela 8.2

Określenie mocy dla urządzeń instalacji ORC z wyczeniem sprawności produkcji energii elektrycznej i ciepłej oraz całkowitej sprawności mikrośiowni

Projekt instalacji ORC

Dla 1 domu	Projektowe obciążenie ciepłe [kW]	4
	Średnie zapotrzebowanie na moc do przygotowania CWU [kW]	5
	Moc elektryczna na dom [kWe]	0,970

Dla osiedla	Liczba domów na osiedlu	9
	Moc ciepła na CO [kW]	36
	Moc ciepła na CWU [kW]	45
	Moc ciepła do odebrania dla wszystkich domów [kW]	81
	Moc ciepła do odebrania przed skraplaczem [kW]	85,263
	Moc ciepła do odebrania za turbiną [kW]	85,388
	Moc elektryczna na urządzenia [kWe]	2
	Moc elektryczna na generatorze [kWe]	10,73
	Moc generatora (min.) [kWe]	11
	Moc ciepła na turbinę [kW]	15,328
	Moc kotła [kW]	117,797

Sprawność produkcji mocy elektrycznej (sprawność elektrowni)	9,11%
Sprawność produkcji mocy ciepłej (sprawność ciepła siłowni)	72,49%
(sprawność energetyczna siłowni)	13,01%
Sprawność całkowita mocy użytecznej	85,50%

Źródło: opracowanie własne.

przewyższał zapotrzebowanie, należałoby nadmiar ciepła wypuścić do atmosfery, co obniżyłoby sprawność siłowni.

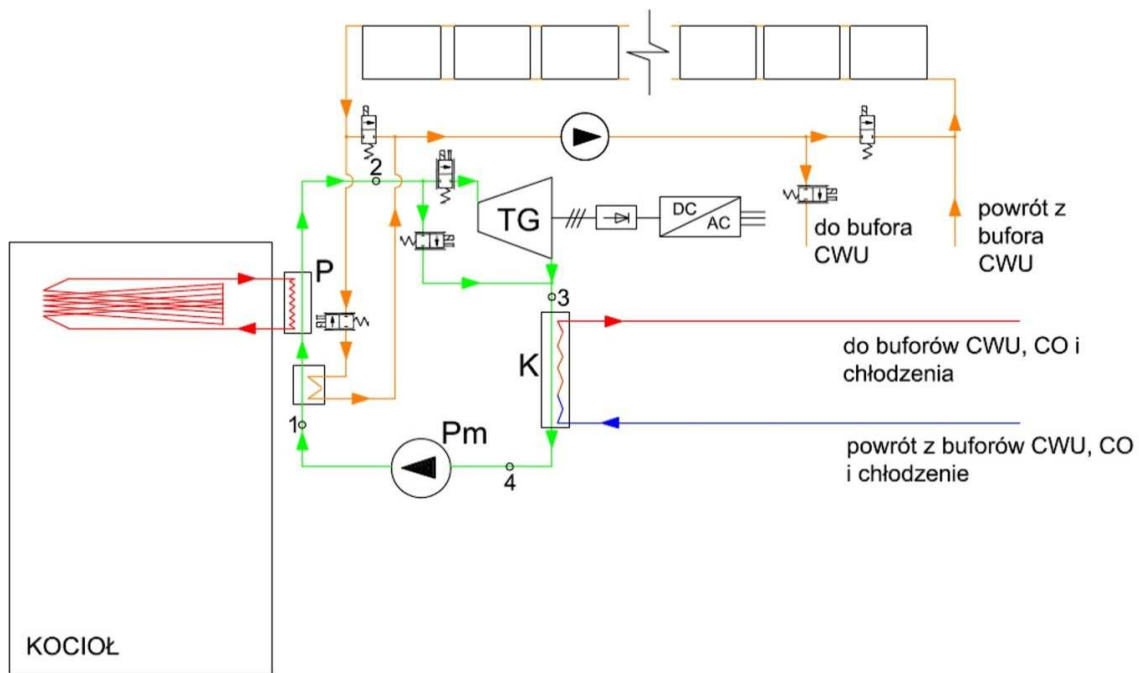
Na podstawie otrzymanych wyników wnioskujemy, że należy zwiększyć moc elektryczną do poziomu gwarantującego, że za turbiną do obioru zostanie dokładnie tyle mocy cieplnej, ile wynika z zapotrzebowania lub trochę więcej, aby mieć pewność całkowitego pokrycia zapotrzebowania. Wyniki obliczeń przedstawiono w tab. 8.2.

Uwzględniając moc cieplną potrzebną do kogeneracyjnego wyprodukowania założonej energii elektrycznej i cieplnej (biorąc pod uwagę sprawność wymienników oraz kotła) policzono moc kotła. W warunkach nominalnych (0,97 kWe na dom) otrzymano prawie 85,4 kW mocy cieplnej do wykorzystania na CO lub chłodzenie i CWU, co przekracza moc wymaganą, równą 85,3 kW i pokryje całkowite zapotrzebowanie (81 kW). Moc minimalna kotła wyniosła 118 kW. Ponieważ nie może on pracować cały czas na maksymalnej mocy i trzeba uwzględnić włączenie do obiegu systemu solarnego (co zostanie wyjaśnione w dalszej części rozdziału), urządzenie należy przewymiarować.

8.1.2. Zintegrowanie hybrydowego systemu solarnego z obiegiem ORC

Projektowana siłownia może być zasilana z dwóch źródeł, co oznacza, że dwa warianty realizacji obiegu są możliwe. Na rys. 8.1 przedstawiono zasilanie z kotła na biomasę, natomiast na rys. 8.2 – włączenie dodatkowego zasilania z hybrydowego systemu solarnego.

Pokazana na rys. 8.2 instalacja ma sens przy założeniu, że siłownia działa przez cały rok. Zimą tradycyjnie wykorzystujemy ciepło do podgrzewania wody oraz centralnego ogrzewania, latem – do przygotowania ciepłej wody oraz do chłodzenia dzięki zamontowanemu agregatowi absorpcyjnemu (patrz rozdziały 5. i 6.). Korzyści płynące z takiego podłączenia są największe latem, kiedy zyski z energii słonecznej są największe i możemy podgrzać wstępnie czynnik w obiegu, co pozwala na spalanie w kotle mniejszej ilości paliwa. Nadmiar ciepła z systemu solarnego wykorzystywany jest do chłodzenia pomieszczeń, a jeżeli parametry pozwalające na uruchomienie turbogeneratora są spełnione, również do produkcji energii elektrycznej. Zimą natomiast może zaistnieć konieczność odmrażania komponentów systemu solarnego, tzn. dogrzania ich do temperatury około 0°C. Utraconą w wyniku tego moc należy zrekompensować dodatkową mocą kotła i stąd konieczność jego przewymiarowania.



Rys. 8.2. Drugi wariant zrealizowania obiegu ORC – zintegrowanie hybrydowego systemu solarnego z obiegiem czynnika

Objaśnienia: Na zielono zaznaczono obieg ORC: P – parownik, TG – turbogenerator, K – kondensator, Pm – pompa oraz proporcjonalne zawory regulacyjne. Na pomarańczowo zaznaczono obieg glikolu hybrydowego systemu solarnego z pompą krążeniową i zaworami (patrz rozdział 9).

Źródło: opracowanie własne.

8.2. Mikroturbogenerator

Projekt wysokoobrotowego turbogeneratora parowego, powstały w Instytucie Maszyn Przepływowych Politechniki Łódzkiej, wymaga zastosowania technologii hermetycznych maszyn i łożysk wysokoobrotowych, smarowanych organicznym czynnikiem roboczym turbiny [12]. Budowa takiej maszyny przepływowej wymaga opracowania

nowych rozwiązań konstrukcyjnych łożysk, uszczelnień, wirników oraz korpusów, bowiem dostępne na rynku podzespoły nie spełniają specyficznych wymagań. Ponadto badania eksperymentalne wysokoobrotowych, małogabarytowych wirników, łożysk oraz uszczelnień wymagają specjalnego podejścia. Podstawowa kwestia dotyczy przede wszystkim prędkości obrotowych, które dochodzą do kilkudziesięciu, a nawet kilkuset tysięcy obrotów na minutę, druga to bardzo małe wymiary gabarytowe badanych elementów. W celu wykonania dokładnego pomiaru parametrów ruchu oraz innych żądanych wielkości należy zastosować specjalne czujniki pomiarowe [1].

Bezwzględny warunkiem powszechnego stosowania mikrośilowni jest jej niezawodna i bezawaryjna praca. Z tego powodu przyjmuje się następujące założenia techniczne:

- wysokoobrotowe maszyny w celu wygenerowania wystarczającej mocy za pomocą gabarytowo małej turbiny;
- niekonwencjonalne łożyska, smarowane czynnikiem roboczym maszyny, co spowoduje zwiększenie jej sprawności, uprości konstrukcję poprzez wyeliminowanie zewnętrznego sprzęgła i skróci długość wirującego wału;
- łożyska bezolejowe oraz nietoksyczny czynnik roboczy, dzięki czemu technologia wytwarzania prądu będzie „czysta”.

Z powyższych założeń wynikają wymagania techniczne dla mikroturbogeneratorsa: moc elektryczna 2–11 kW; czynnik roboczy turbiny – HFE 7100; technologia bezolejowych łożysk; generator zintegrowany z wałem turbiny.

W dalszej części opracowania zostanie przedstawiona teoretyczna i eksperymentalna analiza dynamiczna mikroturbogeneratorsa i jego bezolejowego systemu wirującego.

8.2.1. Technologia łożysk gazowych

Łożyska gazowe podtrzymują wirujący wał za pomocą siły wypadkowej wytworzonej w filmie gazowym o grubości kilku μm . Ze względu na system zasilania można je sklasyfikować jako łożyska aerostatyczne (zasilane zewnątrz) i aerodynamiczne (niezasilane z zewnętrznego źródła).

W celu zapewnienia bezpieczeństwa i niezawodności działania mikromaszyny energetycznej należy wybrać właściwy system podparcia wg następujących kryteriów:

- wysoka nośność;
- niskie zużycie dostarczonej energii;

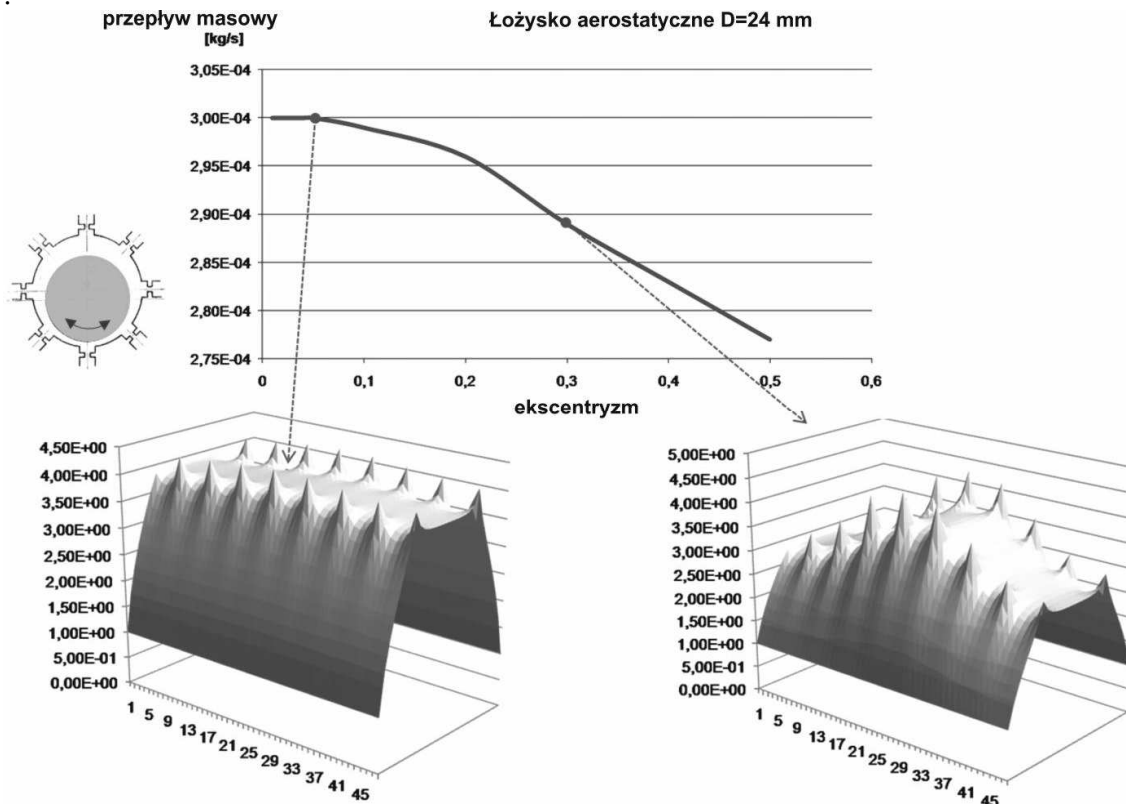
- stabilność czynnika smarującego;
- niska lepkość czynnika smarującego oznaczająca niskie tarcie, czyli małe straty;
- czystość technologii;
- prostota konstrukcji, nieskomplikowana produkcja.

Bezolejowe łożyska gazowe charakteryzują się wysoką czystością funkcjonowania, dużą stabilnością oraz niskim tarcie. Niestety, ich nośność nie może konkurować z nośnością łożysk olejowych. Ponadto łożyska aerostatyczne wymagają zewnętrznego zasilania, co należy wziąć pod uwagę w ogólnym bilansie energetycznym turbogeneratora. Uwzględniając zastosowanie dla mikroenergetyki, gdzie obciążenia na wale są stosunkowo małe, stwierdza się, że technologia łożysk gazowych jest odpowiednia. Porównanie właściwości systemu wirującego maszyny podpartej w łożyskach aerostacyjnych z właściwościami łożysk aerodynamicznych (foliowych) zostanie przedstawione w dalszej części rozdziału.

8.2.2. Łożyska aerostatyczne

Konstrukcja łożyska aerostycznego jest pokazana na rys. 8.3. Na panwi łożyska wywiercono dwa rzędy otworów zasilających. Gaz pod ciśnieniem jest dostarczany z zewnętrznego źródła do kieszeni smarującej. Kiedy wał nie jest obciążony, ciśnienie jest stałe na obwodzie łożyska i jedynie siły wynikające z rozprężania dostarczanego gazu utrzymują wał w lewitacji. Pod obciążeniem następuje jego wychylenie i na skutek wytworzenia zmiennego ciśnienia na obwodzie generują się siły podtrzymujące go. Dużą przewagę łożysk aerostycznych nad aerodynamicznymi powoduje relatywnie duża nośność oraz prawidłowe funkcjonowanie nawet przy braku obrotów wału. Oznacza to, że podczas rozruchu i wybiegu maszyny tarcie nie występuje, a co za tym idzie – materiały czopa i panwi nie zużywają się. Żywotność oraz niezawodność takich łożysk jest potencjalnie większa, a ich zastosowanie sprawia, że nie trzeba się martwić częstym uruchomianiem i wyłączaniem maszyny w momentach zerowych odbiorów.

Jak już wcześniej zostało powiedziane, dużą niedogodność stanowią straty wynikające z zewnętrznego zasilania. Obserwuje się jednak (rys. 8.3), że przy większych obciążeniach przepływ przez łożysko maleje, co oznacza, że zużywamy mniej czynnika do smarowania łożyska, co poprawia bilans energetyczny.



Rys. 8.3. Model fizyczny łożyska aerostaticznego oraz wyniki obliczeń numerycznych pola ciśnienia

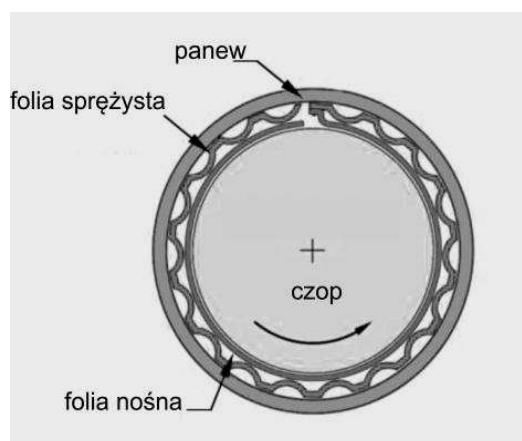
Źródło: [12].

8.2.3. Foliowe łożyska aerodynamiczne

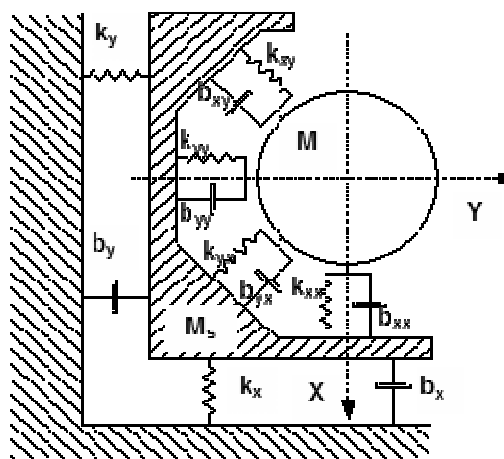
Łożysko foliowe jest łożyskiem aerodynamicznym, w którym folia nośna jest elastycznie podparta na folii sprężystej (rys. 8.4).

Kiedy wał wykonuje ruch obrotowy, między nim a folią nośną wytwarza się gazowy film smarujący na skutek efektu wiskotycznego. Analiza teoretyczna łożyska foliowego

jest skomplikowana ze względu na trudność matematycznego opisanie interakcji ciśnienia w filmie gazowym z elastycznym zespołem folii nośnej i sprężystej. Zgodnie z teorią liniową, właściwości dynamiczne łożyska foliowego można opisać za pomocą ośmiu współczynników dynamicznych, tj. czterech współczynników sprężystości k i czterech tłumienia b (rys. 8.5). Współczynniki te opisują zachowanie dynamiczne systemu tylko w najbliższym otoczeniu pozycji równowagi statycznej wału w łożysku. Dlatego trzeba ograniczyć siły wymuszające w celu spełnienia założenia małych przemieszczeń wokół pozycji równowagi.



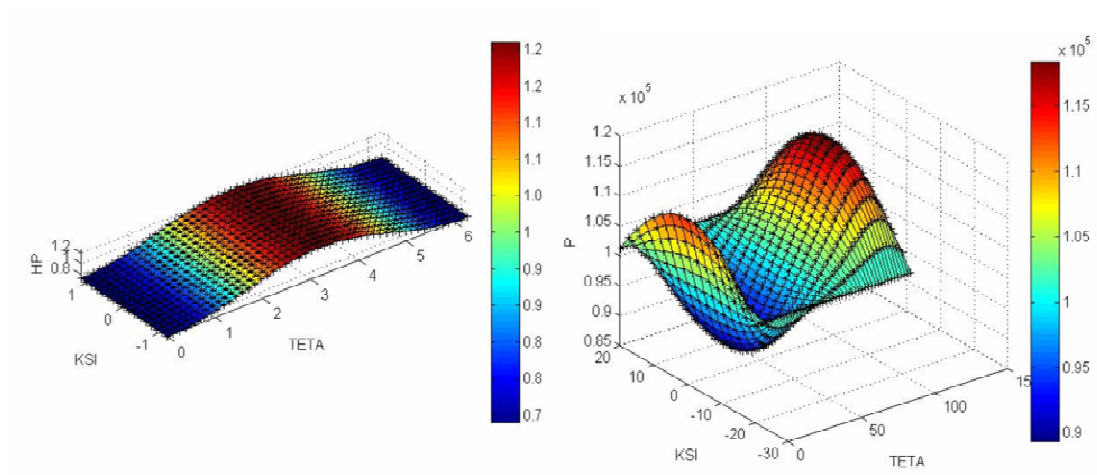
Rys. 8.4. Model fizyczny łożyska foliowego
Źródło: [3].



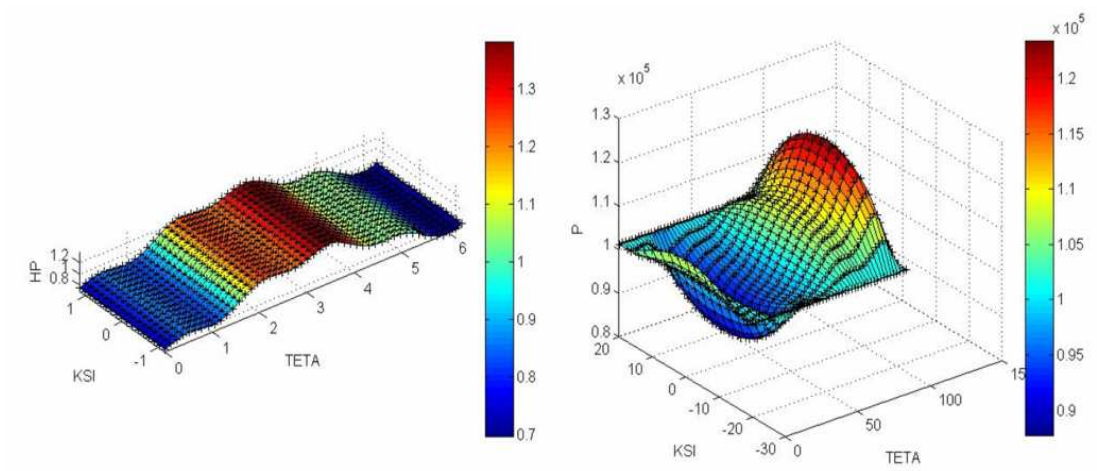
Rys. 8.5. Model matematyczny łożyska foliowego
Źródło: [12].

Model numeryczny łożyska foliowego, zaprogramowany w języku FORTRAN, w pierwszym etapie obejmuje analizę rozkładu ciśnienia w filmie gazowym. Wyniki można zobaczyć na rys. 8.6 (wizualizacja w programie MATLAB), gdzie pokazano rozkład grubości filmu oraz odpowiadające mu ciśnienie.

Zjawiskiem charakterystycznym dla łożyska foliowego jest niecylicyndryczny rozkład grubości filmu gazowego. Program pozwala również policzyć rozkład ciśnienia w takiej szczelinie (rys. 8.7).



Rys. 8.6. Model numeryczny cylindrycznego rozkładu ciśnienia w filmie smarującym łożyska gazowego
 Źródło: [12].



Rys. 8.7. Model numeryczny dowolnego rozkładu ciśnienia w filmie smarującym łożyska foliowego
 Źródło: [12].

Żeby model numeryczny był kompletny, należy zaprogramować interakcję sił wytworzonych w filmie gazowym z elastyczną folią.

Jak można łatwo zauważyć, funkcjonowanie łożyska foliowego jest nieuchronnie związane ze zjawiskiem tarcia [4] (tarcie folii sprężystej o panew oraz o folię nośną). Przewiduje się, że analiza nieliniowa wysokoobrotowych łożysk byłaby bardziej odpowiednia, jest ona jednak trudna do przeprowadzenia, a ponadto obecnie nie istnieje znana metodologia przeprowadzenia nieliniowej analizy całej maszyny, a zatem podejście to nie może być stosowane w projektach przemysłowych.

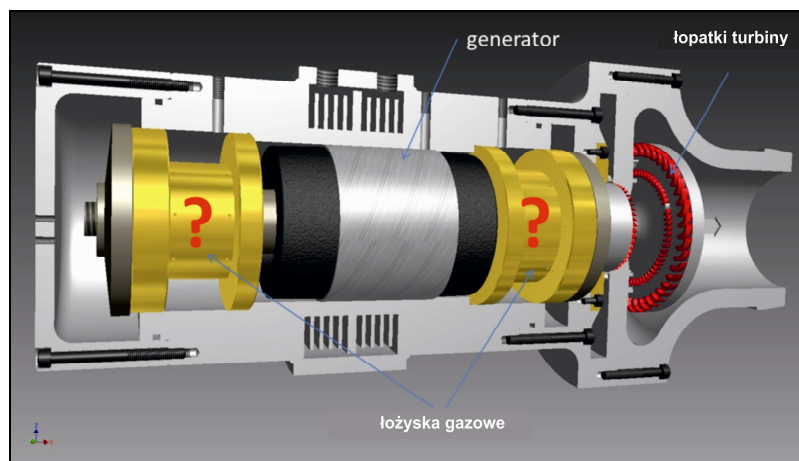
Dodatkowym zagadnieniem do przeanalizowania w przypadku łożysk foliowych jest tarcie przy rozruchu i wybiegu łożyska. W odróżnieniu od łożysk aerostatycznych, w łożyskach foliowych mamy duże momenty tarcia przy obrotach bliskich zeru, kiedy efekt wiskotyczny jeszcze nie działa. W dobie szybko rozwijającej się inżynierii materiałowej okazuje się, że znalezienie odpowiedniej pary materiałów na czop i folię nośną jest już możliwe. Z ostatnich wyników eksperymentalnych analiz prototypowych wynika, że dla temperatur poniżej 300°C najlepszą parą materiałów są AS20 (pokrycie folii nośnej) i Cr2O3 (zewnątrzne pokrycie czopa) [4].

Główną zaletą łożysk foliowych jest brak dodatkowego zasilania, co poprawia sprawność maszyny i upraszcza jej konstrukcję. Same łożyska foliowe są również nieskomplikowane, a wymiana zużytych części na nowe nie wymaga demontażu całej maszyny.

8.2.4. Dynamika turbogeneratora

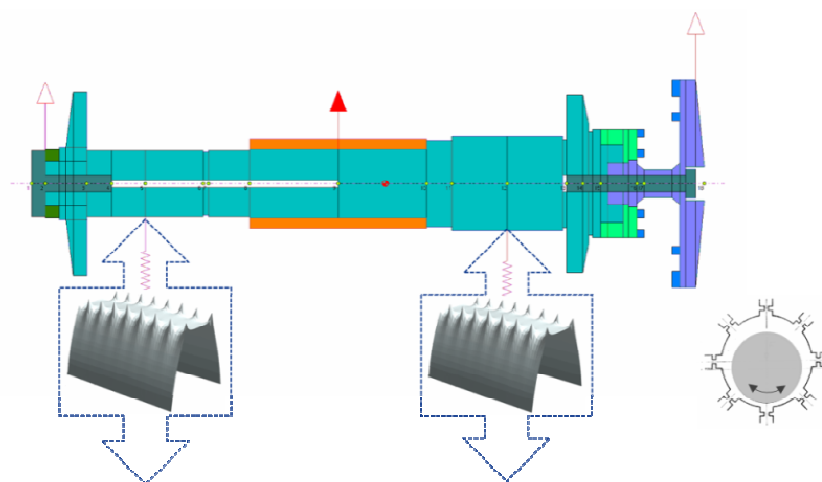
Analiza dynamiki systemu wirującego maszyny przepływowej jest jednym z etapów jej projektowania. W tym celu stworzono model numeryczny systemu wirującego, który na etapie projektowania pozwoli określić przewidywane częstotliwości rezonansowe oraz stabilność całej maszyny. Ponadto model dynamiczny dobrze zsynchronizowany z obiektem rzeczywistym umożliwi szybką identyfikację przyczyn ewentualnych awarii. Na rys. 8.8 przedstawiono model numeryczny konstrukcji turbogeneratora, podpartego w łożyskach gazowych o nieznannej konstrukcji.

Jak widać na rysunku, turbogenerators jest czterostopniową turbiną promieniową dośrodkowo-odśrodkową. Konstrukcja kolejnych stopni turbiny została tak pomyślana, aby zmniejszyć obciążenia osiowe.



Rys. 8.8. Model turbogeneratorsa ORC (Instytut Maszyn Przeplywowych Politechniki Łódzkiej)

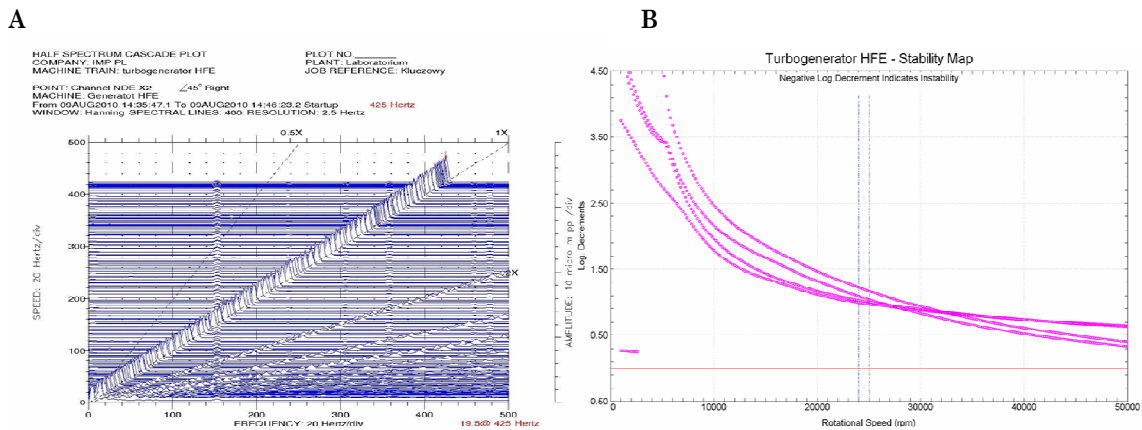
Źródło: Z. Kozanecki, Instytut Maszyn Przeplywowych Politechniki Łódzkiej, opracowanie wewnętrzne.



Rys. 8.9. Model numeryczny systemu wirującego turbogeneratorsa podpartego w łożyskach aerostacyjnych

Źródło: [12].

Na rys. 8.9 możemy zobaczyć numeryczny model systemu wirującego maszyny podpartej w łożyskach aerostaticznych oraz działające siły. Z wykresu logarytmicznego dekrementu tłumienia wynika, że maszyna jest stabilna, aż do 50 000 rpm (rys. 8.10) – wartość mniejsza od zera wskazywałaby na niestabilność. Stabilnie przechodzi przez częstość krytyczną i stabilnie pracuje nadkrytycznie na około 25 000 rpm. Symulacja numeryczna została potwierdzona przez badania eksperymentalne na pierwszym i drugim prototypie mikroturbogeneratora. Na rys. 8.10 przedstawiono pomiar drgań podczas rozruchu maszyny, który potwierdza jej prawidłowe funkcjonowanie oraz zgodność modelu numerycznego z obiektem rzeczywistym. Pierwszy prototyp został podparty w łożyskach aerostaticznych, a dobra stabilność została uzyskana dzięki zastosowaniu przeciwwirowego wtrysku gazu (rys. 8.11), którego skutkiem jest pojawienie się w przepływie wirów, powodujących poprawę stabilności.



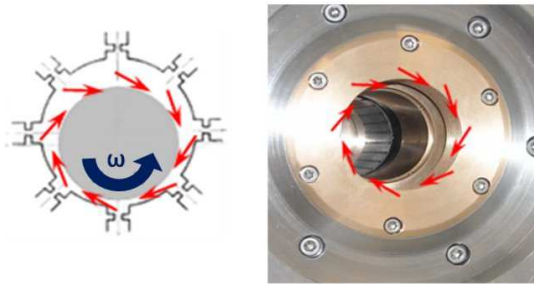
Rys. 8.10. Mapa stabilności systemu wirującego turbogeneratora otrzymana z symulacji numerycznych (B) i wykres kaskadowy otrzymany z pomiarów wykonanych na prototypie turbogeneratora (A)

Źródło: [12].

Dalsze prace badawcze dążą do wyeliminowania zasilania. Łożyska foliowe dają taką możliwość, a jednocześnie przewiduje się, że system wirujący będzie miał lepszą charakterystykę dynamiczną. W celu porównania obu przypadków przeanalizowano teoretyczne wykresy Bodego, obrazujące wirujący system pod przyłożonym obciążeniem dynamicznym (rys. 8.12). Dla obrotów nominalnych oba systemy są nadkry-

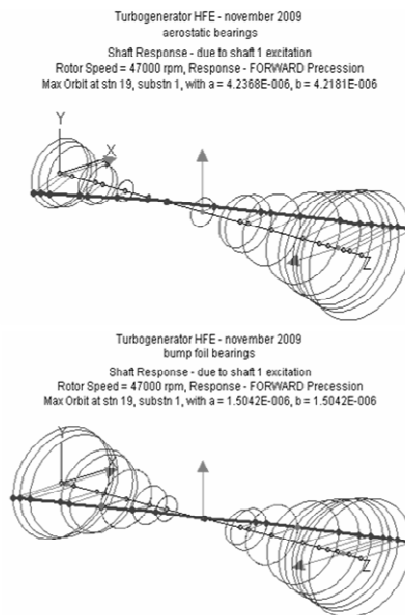
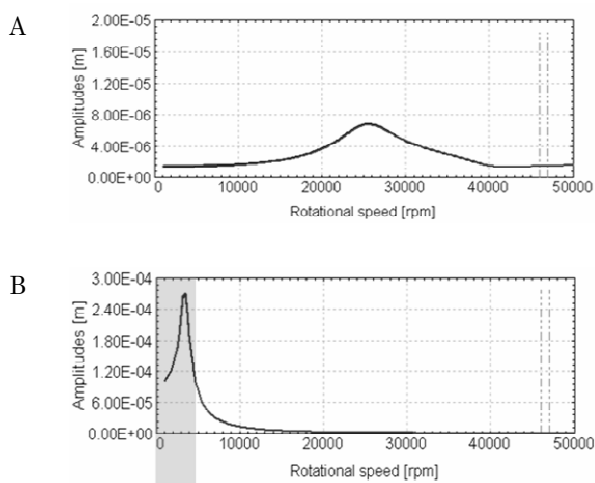
tyczne – pierwsza krytyczna pojawia się przy 25 000 rpm dla podparcia z łożyskami aerostaticznymi lub 4000 rpm w przypadku podparcia w łożyskach foliowych. Różnica jest zasadnicza, gdyż przy obrotach 4000 rpm łożyska jeszcze nie działają, a pracy towarzyszy suche tarcie. Wyniki numeryczne potwierdzają zasadność użycia łożysk foliowych i większą niezawodność maszyny na nich podpartej.

Wartość sprawności izentropowej przedprototypowej mikroturbiny o mocy 2,5 kW, testowanej w warunkach laboratoryjnych, szacuje się na 70%.



Rys. 8.11. Zasada przeciwwrędnego wtrysku gazu w łożysku aerostaticznym

Źródło: [12].

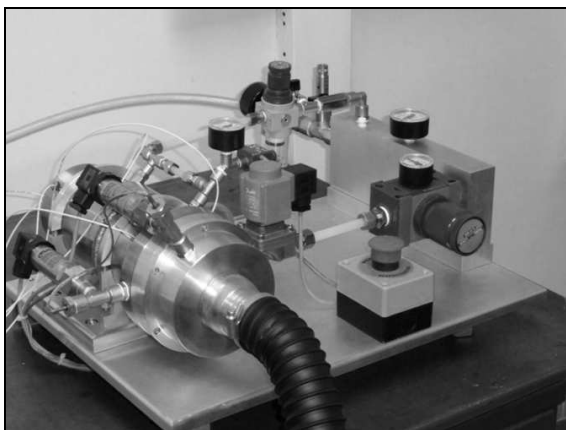


Rys. 8.12. Dynamika turbogeneratora podpartego w łożyskach aerostaticznych (A) i w łożyskach foliowych (B)

Źródło: [12].

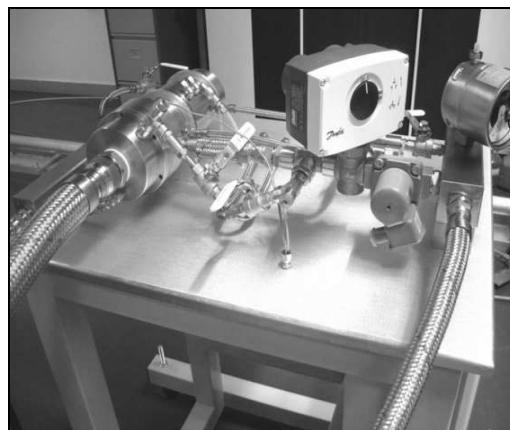
8.2.5. Prototypy turbogeneratorsa

Pierwszy prototyp (rys. 8.13) został zaprojektowany i skonstruowany w Instytucie Maszyn Przepływowych Politechniki Łódzkiej. System jest otwarty i zaprojektowany do prób na powietrzu (jest ono czynnikiem roboczym maszyny oraz czynnikiem smarującym łożyska aerostaticzne). Głównymi parametrami podlegającymi pomiarom są: ciśnienie i temperatura na wlocie i na wylocie, przepływ masy, drgania, napięcie i natężenie prądu oraz moc elektryczna.



Rys. 8.13. Pierwszy prototyp turbogeneratorsa z jego oprzyrządowaniem

Źródło: Z. Kozanecki, Instytut Maszyn Przepływowych Politechniki Łódzkiej.



Rys. 8.14. Drugi prototyp turbogeneratorsa z jego oprzyrządowaniem

Źródło: Z. Kozanecki, Instytut Maszyn Przepływowych Politechniki Łódzkiej.

W drugim prototypie zastosowano mniej czujników, aby zbliżyć maszynę do produktu komercyjnego. Jest on gotowy do prób z gorącym czynnikiem HFE 7100, wyposażony w sterowniki i system automatyzacji oraz kondycjonowania prądu (patrz rozdz. 8.3.4).

8.3. Inne maszyny i urządzenia

8.3.1. Nagrzewnica powietrza z palnikiem na pellet z podajnikiem retortowym

Zastosowany w mikrośilowni kocioł musi mieć niski poziom emisji szkodliwych substancji do atmosfery oraz przystosowanie do współpracy z mikroturbiną ORC. Zintegrowana i szczelna konstrukcja kotła oraz mikroturbiny (pracujących przez wiele lat) powinna spełniać warunek wysokiej niezawodności, łatwej eksploatacji i utrzymania. Stosując olej termalny jako medium przenoszące ciepło, użytkownicy nie zetkną się z występującymi wcześniej problemami z ciśnieniem, tworzeniem się kamienia kotłowego czy korozją i zamrażaniem.

Wstępne poszukiwanie dostępnych rozwiązań komercyjnych wykazało, że wymagane parametry spełnia nagrzewnica powietrza typu EKOPAL, proponowana przez firmę Metalerg. W nagrzewnicy powietrza typu EKOPAL S występuje kocioł i rurkowy wymiennik ciepła, co sprawia, że nie jest konieczne montowanie oddzielnego wymiennika. System spalania słomy w tych nagrzewnicach jest przeciwprądowy, ze wstępnym jej zgazowywaniem i późniejszym końcowym spalaniem powstałego gazu. W nagrzewnicach można spalać również drewno kawałkowe i wszelką inną biomasę.

Woda w kotle została zastąpiona olejem diatermicznym. Ciepło przenoszone za pośrednictwem spalin z paliwa poprzez płomienice przekazywane jest do płynu, dzięki czemu jest on nagrzewany do wysokiej temperatury. Producent zapewnia, że temperatura oleju termalnego może sięgać nawet 190°C. Nagrzewnica jest seryjnie wyposażona w sterowanie elektroniczne, wentylator nadmuchowy, pompę olejową, zawory, czujniki powietrza, spalin i oleju. Wybrano nagrzewnicę o mocy 140 kW (tab. 8.3).

Tabela 8.3

Parametry nagrzewnicy EKOPAL S-140

Parametry	EKOPAL S-140
Moc	140 kW
Wymiary	
– szerokość	1500 mm
– wysokość	3200 mm
– długość	2500 mm
Komory spalania	
– szerokość	900 mm
– wysokość	1350 mm
– długość	1150 mm
Masa własna	3 200 kg
Ilość płynu	~2000 kg
Sprawność nagrzewnicy	do 85%

Źródło: [9].

W celu przystosowania nagrzewnicy do spalania pelletu należy zamontować palnik retortowy (tab. 8.4). Producent palnika, firma KOSTRZEWA, informuje, że zastosowane rozwiązania pozwalają na obniżenie ilości spalanego paliwa o 20%, a także mniejsze zużycie podzespołów w stosunku do palników konkurencyjnych (zmniejszona liczba rozpałen znacząco zmniejsza ilość zużytej energii elektrycznej). Dzięki dotacjom z Unii Europejskiej palniki mają niską cenę. Elementy palnika są wykonane ze stali żaroodpornej H25N20S2, wytrzymującej temperaturę do 1150°C, zbiornik paliwa – z blachy ocynkowanej (pokrycie blachy cynkiem ogranicza powstawanie korozji). Urządzenie jest w pełni zautomatyzowane – samo się rozpała i wygasza.

Tabela 8.4

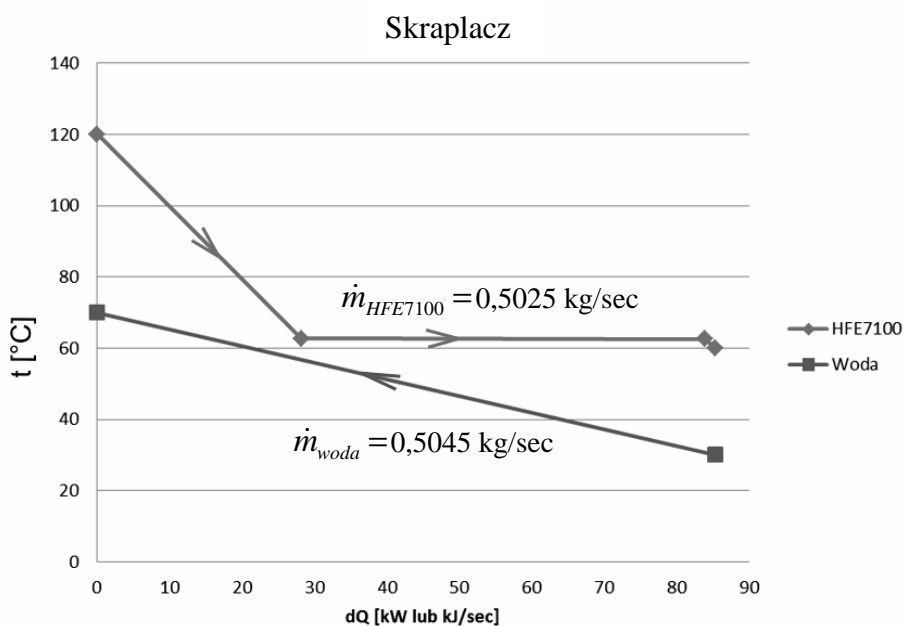
Parametry palnika retortowego firmy KOSTRZEWA

Parametry	PPB 150 kW
Zakres mocy grzewczej dla pelletu [kW]	50–50
Emisyjność CO [ppm]	< 200
Paliwo	pellet
Średnica paliwa [mm]	6–8
Napięcie zasilania [V]	230
Średni pobór prądu [W]	35
Stopień ochrony	IP 40
Długość podajnika standard [m]	2
Wymiary zbiornika standard (szerokość, głębokość, wysokość [mm])	600 × 600 × 1300
Pojemność zbiornika standard [L]	305
Długość podajnika (opcja) [m]	2.5; 3.0
Wymiary zbiornika nadstawka (szerokość, głębokość, wysokość [mm])	600 × 600 × 1800
Pojemność zbiornika nadstawka [L]	485

Źródło: [11].

8.3.2. Wymienniki

Konieczne jest wykorzystanie optymalnych konstrukcji wymienników pod względem wymiany ciepła. Interesującym rozwiązaniem są płytowe, przeciwprądowe wymienniki ciepła firmy THERMOWAVE [10]. Istnieją w wersji spawanej laserowo i w wersji uszczelkowej. Składają się z wielu wyprofilowanych, połączonych ze sobą płyt, przełożonych odpowiednimi uszczelkami, dzięki czemu pomiędzy płytami tworzą się przestrzenie, którymi przepływają w przeciwprądzie czynniki, wymieniając między sobą ciepło. Ponadto wymienniki te charakteryzują się niewielkimi wymiarami oraz dużą powierzchnią wymiany ciepła. Odejmuwanie i dodawanie kolejnych płyt daje możliwość regulacji. W modułowo spawanym płytowym wymienniku ciepła, obok „klasycznej” wymiany między cieczami, istnieje możliwość zastosowania skręcanych wymienników płytowych do wysokiego ciśnienia roboczego i/lub przejścia fazowego w szczelinie prze-



Rys. 8.15. Wykres temperaturowy płynów w skraplaczu

plywu. Moduł taki składa się z dwóch płyt wymiany ciepła, mających identyczny wymiar i zespawanych ze sobą laserowo. Spoina laserowa jest wytrzymała na wysokie ciśnienie statyczne, a także na często zachodzące zmiany ciśnienia. Ze względu na brak zastosowania dodatkowych materiałów podczas spawania płyt, spaw toleruje również częstą zmianę temperatury.

Skraplacz jest ważnym wymiennikiem, pozwalającym ustalać parametry instalacji CO i CWU oraz chłodzenia. Górnym źródłem ciepła jest czynnik HFE 7100. Parę czynnika pod ciśnieniem 1,1 bara należy schłodzić do temperatury 62,61°C, skroplić, a następnie skropliny schłodzić do 60°C. Na wykresie (rys. 8.15) przedstawiono przemiany zachodzące w skraplaczu – na osi X zaznaczono strumień ciepła, a na osi Y temperatury przemian. Wykres temperaturowy sporządza się w celu ustalenia paramentów wymiennika. Należy zwrócić uwagę, aby w każdym punkcie różnica temperatur między charakterystykami wynosiła minimum 5°C. Woda chłodząca, przepływając przez skraplacz, ogrzewa się i zostaje dostarczona do buforów CO, CWU oraz agregatu absorpcyjnego, a następnie systemem kanałów do domów.

W parowniku wymagane jest uzyskanie wysokiej temperatury. Zwyczajowo stosowanymi nośnikami ciepła są para lub gorąca woda pod ciśnieniem. Obecnie wykorzystuje się nowe nośniki ciepła, które mogą być zastosowane do wielu celów. Główną zaletą tych nośników jest to, że mimo wysokiej temperatury nie wymagają stosowania nadciśnienia w instalacji (praca bezciśnieniowa). Jednym z tego typu nośników jest olej termiczny, produkt organiczny (pochodny węglowodorów), składający się z dwufenylu i tlenku dwufenylu [7].

Własności wysokotemperaturowych nośników ciepła (olejów diatermicznych) przedstawiono w tab. 8.5.

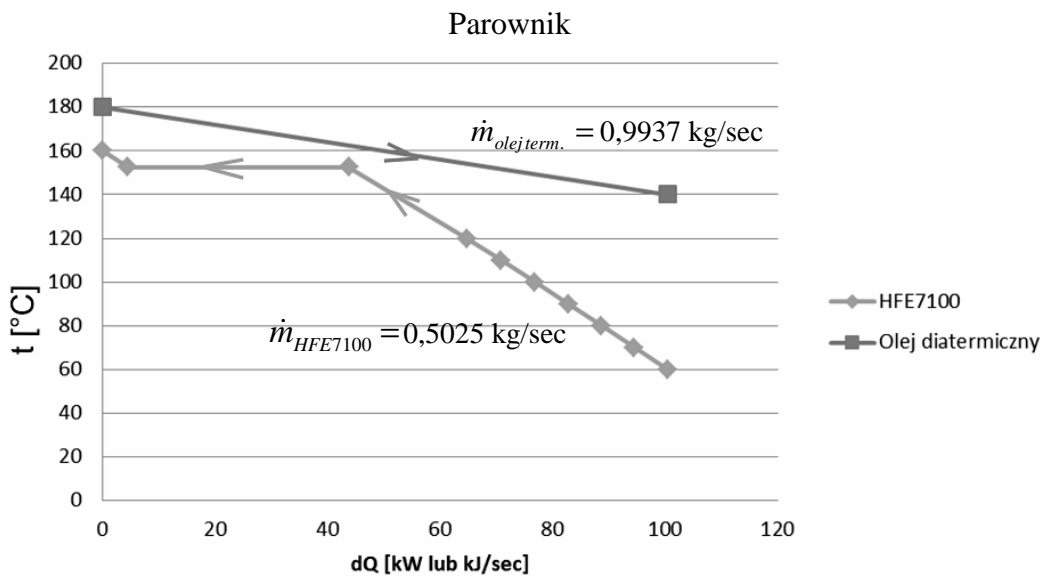
T a b e l a 8.5

Właściwości przykładowego oleju termalnego

Właściwości oleju termalnego	
Gęstość w temperaturze 15°C [kg/dm ³]	0,86–1,04
Ciepło właściwe 15°C [kcal/(kg·°C)]	0,37–0,46
Ciepło właściwe w 250°C [kcal/(kg·°C)]	0,45–0,67
Temperatura wrzenia [°C]	287–350
Temperatura krzepnięcia [°C]	7–(-55)

Ź r ó d ł o: [7].

Na wykresie (rys. 8.16) można prześledzić przemiany zachodzące w parowniku, w którym czynnik HFE 7100 pod ciśnieniem 10 barów jest podgrzany do temperatury 152,6°C, odparowany i przegrzany do temperatury 160°C.

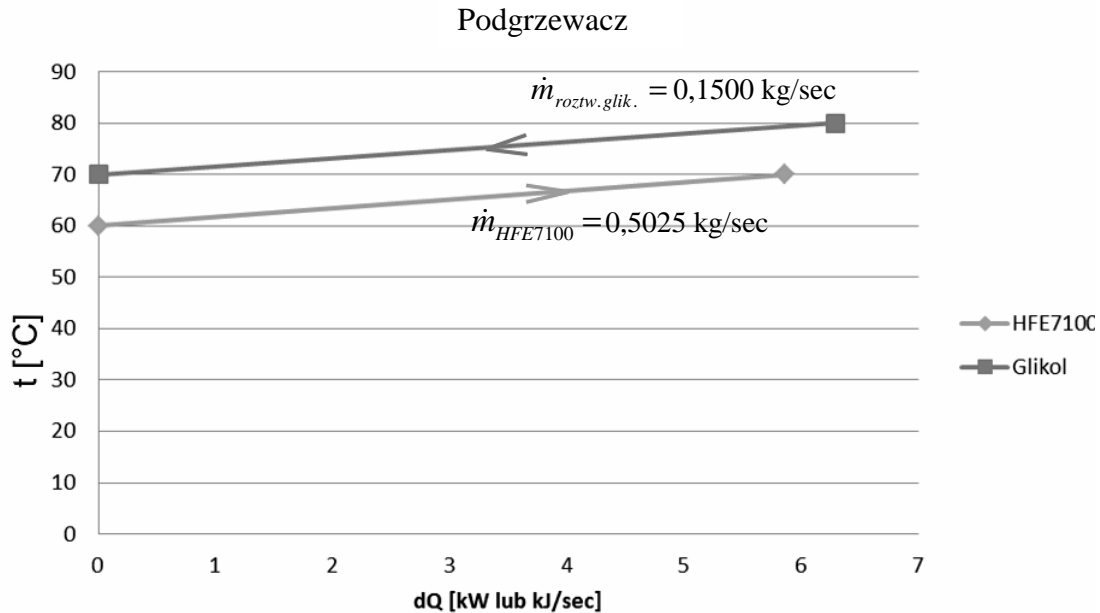


Rys. 8.16. Wykres temperaturowy płynów w parowniku

Źródło: opracowanie własne.

Podgrzewacz może być zastosowany, gdy do obiegu podłączymy hybrydowy system solarny. Jest to innowacyjne rozwiązanie, które z energii słonecznej wytwarza kogeneracyjnie energię cieplną i energię elektryczną. Część energii cieplnej można wykorzystać do produkcji prądu i chłodzenia pomieszczeń latem. Niestety, dotychczasowe dane nie pozwalają na dokładne określenie zysków z zastosowania tego rozwiązania. Pojawia się problem odmrażania ogniw zimą, co negatywnie wpływa na bilans cieplny układu. Biorąc jednak pod uwagę fakt, że parametry nie zostały jeszcze potwierdzone, wysuwa się hipotezę, że włączenie systemu do obiegu wpłynie na oszczędności wynikające z mniejszego zużycia pelletu w kotle.

Z analizy dostępnych danych wynika, że w warunkach nominalnych nie można włączyć do obiegu wszystkich 27 paneli. Czynnik HFE 7100 w podgrzewaczu, przy zadanym przepływie masowym, nie może odebrać takiego strumienia ciepła. Dlatego zakłada się włączenie 3 kolektorów. Na rys. 8.17 przedstawiono stan obu cieczy w podgrzewaczu.



Rys. 8.17. Wykres temperaturowy płynów w podgrzewaczu

Źródło: opracowanie własne.

Dodatkowym problemem są wymagania temperaturowe dla ogniw. Rozbieżności w opiniach ekspertów są znaczne. Jedni twierdzą, że wyższa temperatura ogniw może dojść nawet do 120°C, inni, że tylko do 60°C. Właściwości roztworu glikolu i HFE 7100 świadczą o tym, że czynnik organiczny w obiegu ORC może schłodzić glikol tylko o 5–10°C, co oznacza konieczność zastosowania dodatkowego obejścia, tzn. przetransportowanie gorącego glikolu do bufora CWU w celu odprowadzenia nadmiaru ciepła.

8.3.3. Pompa

Pompa zapewni odpowiednio wysokie ciśnienie czynnika oraz jego krążenie w obiegu. Pompa membranowa pozwala podnieść ciśnienie płynu do wymaganego poziomu niezależnie od lepkości czynnika, poza tym nie wymaga dodatkowego smarowania, a co za tym idzie – może pracować w wymaganych temperaturach.

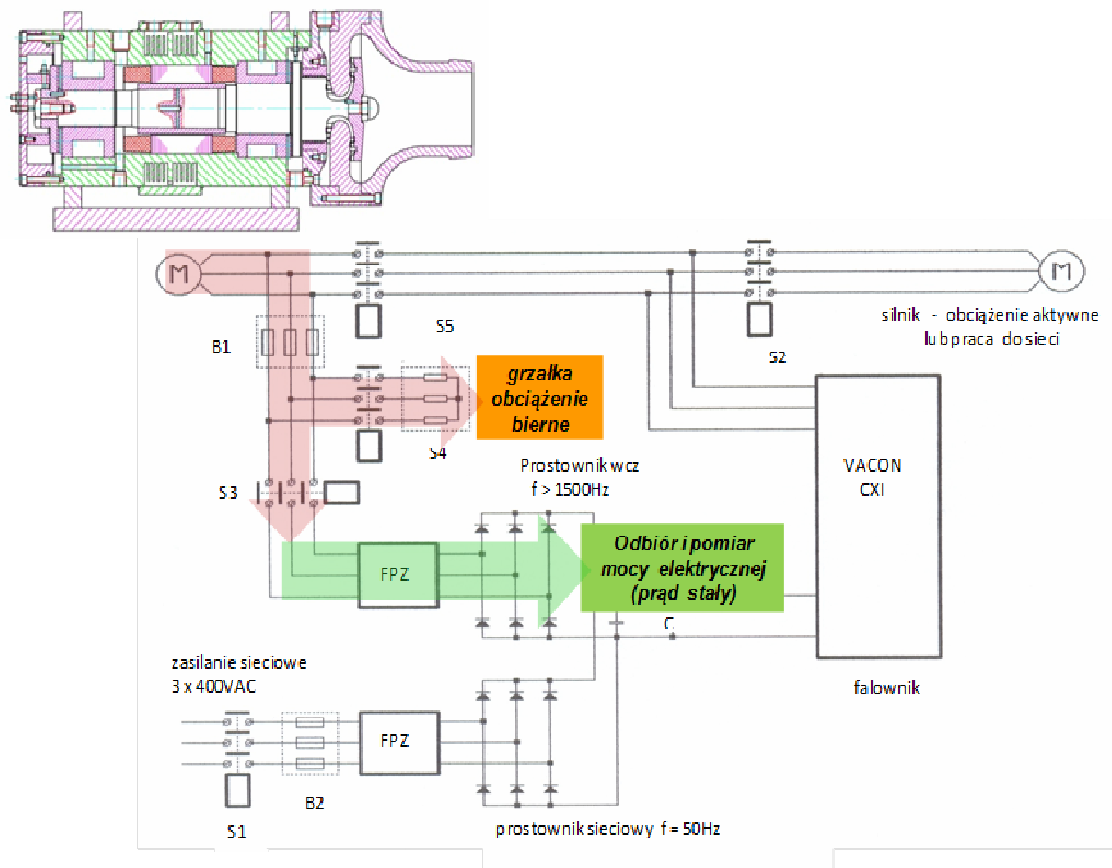
Wadami pomp membranowych są ich rozmiary oraz wymóg zamontowania na odpowiedniej, dość znacznej wysokości, aby uniknąć problemu kawitacji. Dotychczasowe testy wykazały jednak problemy ze szczelnością przy podłączeniu pompy. Czynnik HFE 7100 może również reagować z membraną, dlatego wybór pompy pozostaje sprawą otwartą.

Mimo niedogodności rozwiązaniem, które warto rozważyć są pneumatyczne pompy membranowe firmy VERDER [8]. W pompie membranowej istnieją elementy robocze (elastyczne membrany), a zasilanie odbywa się przy użyciu sprężonego powietrza, które kierowane jest bezpośrednio na membrany (alternatywę stanowi napęd hydrauliczny). Pompa jest wyposażona w minimum dwa zawory – jeden po stronie ssawnej, drugi po stronie tłocznej. Wykorzystuje się kilka rodzajów zaworów. Do najpopularniejszych należą zawory klapowe, cylindryczne oraz kulowe. Ich zaletami są:

- bezprzeciekowa praca (brak ruchomych trzpieni i trzonów tokowych); należy prewencyjnie wymieniać membrany, aby zapobiec ich pęknięciom, czego skutkiem będzie przeciek;
- zmienny przepływ dzięki regulacji ciśnienia zasilającego;
- zdolność do pracy na sucho oraz zasysanie medium bez wcześniejszego zalewania;
- brak uszczelnień sznurowych oraz części ślizgowych czy rotacyjnych, wymagających regularnej konserwacji;
- brak konieczności zastosowania kosztownego napędu elektrycznego.

8.3.4. Konwersja energii elektrycznej i system automatyzacji

Konwersja energii elektrycznej to proces mający na celu umożliwienie współpracy źródeł energii elektrycznej i odbiorów oraz jej optymalizację dzięki zmianie parametrów energii. Realizowana jest m.in. w przypadku dopasowania źródeł odnawialnych do parametrów sieci. Na rys. 8.18 przedstawiono schemat układu kondycjonowania i odbioru energii dla stanowiska badawczego turbogeneratorsa ORC w Instytucie Maszyn Przepływowych Politechniki Łódzkiej.



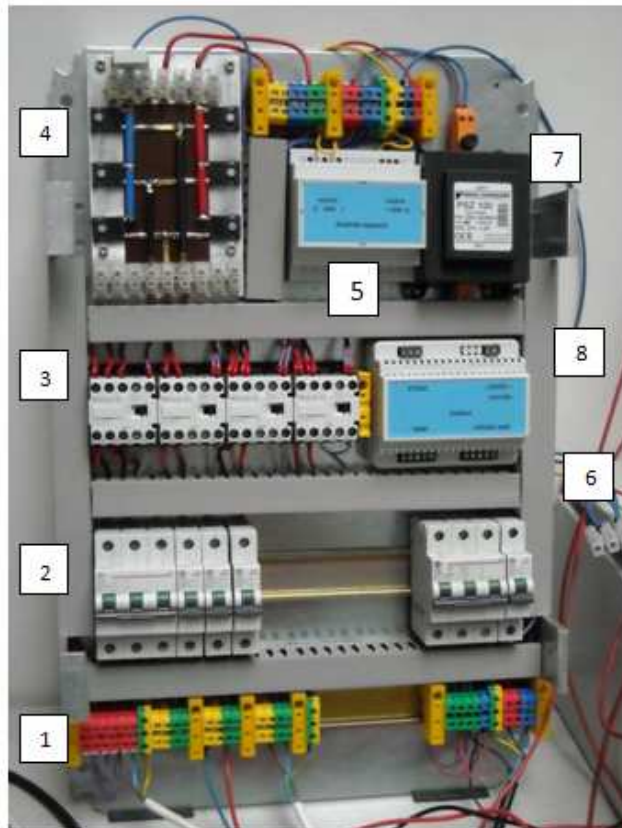
Rys. 8.18. Schemat ideowy układu kondycjonowania i odbioru energii elektrycznej mikrośilowni

Źródło: [2].

Częstość obrotów turbiny może dochodzić nawet do 30 000 rpm, z generatora otrzymujemy zatem prąd zmienny trójfazowy o częstotliwości ponad 500 Hz. Należy go przystosować do podłączenia do sieci zawodowej (musi być trójfazowy, o częstotliwości 50 Hz, a fazy muszą być zsynchronizowane z siecią). Podstawowym elementem układu odbioru i kondycjonowania energii elektrycznej prototypowego turbogeneratora jest prostownik

trójfazowy wysokiej częstotliwości, przystosowany do pracy z napięciem ≈ 600 VAC, z prądem ≈ 20 A, z częstotliwością ≈ 1.5 kHz. Zamontowany jest również falownik, zamieniający prąd stały, którym jest zasilany, na prąd przemienny o regulowanej częstotliwości wyjściowej [2].

Rzeczywisty, skompletowany i zmontowany układ odbioru energii przedstawiono na rys. 8.19, a elementy układu energii są oznaczone na fotografii numerami.



1. zaciski wejściowe - listwa przyłączeniowa
2. bezpieczniki
3. styczniki załączające zasilanie
4. prostownik wysokiej częstotliwości
5. dzielnik napięcia
6. bezpieczniki urządzeń odbiorczych
7. transformator
8. zasilacz części sterownikowej

Projekt osiedla domów ekologicznych jest w opinii wielu ekspertów zarazem interesujący i skomplikowany. Złożoność zastosowanych systemów, mechanizmów i maszyn może stanowić utrudnienie dla zwykłego użytkownika. Dlatego bardzo ważnym elementem instalacji jest system automatyzacji. W tym miejscu należy odróżnić dwa systemy: informatyczny system zarządzania budynkiem oraz system automatyzacji zintegrowanych instalacji kotła, prądnicy ORC, CO, CWU, wentylacji i chłodzenia. Pierwszy powinien pełnić funkcje regulacyjne dla drugiego. Rozgraniczenie to wynika z braku zintegrowania projektowania instalacji. System pomiaru i monitorowania pracy mikrośilowni jest na tyle skomplikowany, że raz zaprogramowany powinien być dostarczany razem z prądnicą ORC. Dostępne funkcje powinny być zaprogramowane na stałe w sterownikach, co zwiększyłoby niezawodności działania.

8.4. Podsumowanie i propozycje dalszych badań

W celu zasygnalizowania problemów technicznych, związanych z produkcją energii elektrycznej i użytkowej energii cieplnej w mikrośilowni ORC, przedstawiono projekt turbogenerатора, koncentrując się na analizie dynamiki jego systemu wirującego. Prace badawcze nad turbogeneratorem przebiegają pomyślnie i dotychczasowe testy pokazały, że możliwe jest zbudowanie maszyny energetycznej małych rozmiarów, spełniającej zadane wymagania techniczne. Jednocześnie chciano pokazać możliwości aplikacyjne i komercyjne, tj. mikroturbogeneratorem ORC jako serce przydomowej instalacji w osiedlu domów jednorodzinnych. Udało się nie tylko opisać ideę, lecz także wykonać wstępny projekt koncepcyjny i technologiczny mikrośilowni. Już na tym etapie projektowania pojawiły się pewne wątpliwości natury technicznej, a każdy z zasygnalizowanych problemów mógłby stanowić przedmiot osobnych wielomiesięcznych badań. W związku z tym wnioski nie zawsze są jednoznaczne. Innowacyjna technologia jest cały czas przedmiotem badań i poszukiwań technicznych rozwiązań, choć na tym etapie nie zawsze udaje się potwierdzić finansową i techniczną zasadność tych działań.

Użycie oleju termalnego jako czynnika grzewczego w kotle jest rozwiązaniem innowacyjnym, ale może lepsze byłoby tradycyjne użycie wody pod ciśnieniem. Konstruktorzy kotłów kierują się chęcią wyeliminowania wysokich ciśnień instalacji, ale rozwiązanie to stwarza ryzyko zbyt dużej różnicy ciśnień pomiędzy dwoma płynami wymieniającymi ciepło w parowniku.

Zbudowanie obiegu ORC jest trudne z wielu powodów opisanych w rozdziale, wśród których najważniejszym jest brak szczelności układu.

Jeśli chodzi o budowę turbogeneratorsa, to zintegrowanie generatora z wałem turbiny przedstawia wiele korzyści opisanych w rozdziale, jednak na skutek zastosowania tego rozwiązania generator jest narażony na pracę w zanurzeniu w czynniku o wysokiej temperaturze. Wymaga to użycia dodatkowej energii, potrzebnej do bardziej wydajnego chłodzenia generatora.

Interdyscyplinarny projekt osiedla domów energetycznych okazał się niezwykle interesujący i rozwojowy, ale przeprowadzenie szeroko zakrojonych i rzetelnych międzywydziałowych prac badawczych jest w obecnych warunkach niemożliwe. Dlatego część zagadnień musiała zostać potraktowana zbyt ogólnie, a dane zaczerpnięto z literatury oraz internetowych baz danych. Zasygnalizowane problemy należy zatem potraktować jako punkt wyjścia do dalszych rozważań i bodziec do podejmowania prób realizacji stanowisk badawczych.

LITERATURA

- [1] Kozanecki Z., *Systemy wirujące maszyn przepływowych małej i średniej mocy*, Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Łódź–Radom 2008.
- [2] Kozanecki Z., Kaczmarek A., *Wykonanie i próby funkcjonalne układu odbioru i kondycjonowania energii elektrycznej prototypowego turbogeneratorsa*, Opracowanie wewnętrzne w ramach projektu kluczowego nr POIG.01.01.02-00-016/08.
- [3] Łagodziński J., *Łożysko foliowe zasilane podczas rozruchu*, www.sila-wiedzy.pl/sia-wiedzy/nauki-techniczne (dostęp 13.01.2012).
- [4] Miazga K., Kozanecki Z., *Investigation of coating materials for air-foil bearings*, „Ciepłota maszyn przepływowych, Turbomachinery” 2011, No. 140.
- [5] *Moc szczytowa budynków mieszkalnych*, „Elektroinstalator” 2008, nr 9, www.elektroinstalator.com.pl (dostęp 13.01.2012).
- [6] Strona internetowa, <http://kalkulator.vattenfall.pl> (dostęp 13.01.2012).
- [7] Strona internetowa, <http://www.en-tech.pl/olejtermalny.htm> (dostęp 13.01.2012).
- [8] Strona internetowa, <http://www.verder.pl> (dostęp 13.01.2012).
- [9] Strona internetowa, <http://www.metalerg.pl> (dostęp 13.01.2012).
- [10] Strona internetowa, www.thermowave.de (dostęp 13.01.2012).
- [11] Strona internetowa, www.kostrzewa.com.pl (dostęp 13.01.2012).
- [12] Tkacz E., Kozanecki Z., *Investigations of oil-free support systems to improve the reliability of ORC hermetic high-speed turbomachinery*, „Mechanics and Mechanical Engineering” 2011, Vol. 15, No. 3.

9. Pozyskiwanie energii elektrycznej i ciepłej ze Słońca

Słońce jest głównym i pierwotnym źródłem niemal całej energii wykorzystywanej na Ziemi. Jako centralna gwiazda naszego układu słonecznego jest żółtym karłem o typie widmowym G2V [3], stanowiącym kulę zjonizowanego gazu o masie $2 \cdot 10^{30}$ kg (71% wodoru; 27% hel, 2% wszystkie cięższe pierwiastki, w tym O, C, N, Si, Mg, Ne, Fe, S) i temperaturze efektywnej fotosfery ok. 5800 K [5]. Źródłem energii emitowanej przez Słońce są reakcje termojądrowe, podczas których jądra wodoru przekształcają się w hel z wydzieleniem energii promieniowania i ciepła. Generowanie energii w jądrze Słońca odbywa się kosztem niszczenia wodoru z ograniczonego zapasu materii. Ocenia się, iż dotychczas w jądrze Słońca około 37% wodoru uległo już przemianom w hel, a więc jego zapas uległ znaczącej redukcji. W stosunkowo odległej przyszłości (za ok. 5 miliardów lat) spowoduje to narastanie dramatycznego kryzysu paliwowego na Słońcu, który doprowadzi ostatecznie do przekształcenia go najpierw w czerwonego olbrzyma (za ok. 7 miliardów lat), a następnie w białego karła [5]. W zestawieniu z zasobami konwencjonalnych paliw kopalnych (węgiel, ropa i gaz) można więc uznać Słońce za niewyczerpalne i odnawialne źródło energii.

Gęstość mocy pochodzącej z promieniowania Słońca i docierającej do powierzchni atmosfery ziemskiej, odległej od Słońca o 150 milionów kilometrów, wynosi ok. 1366 W/m^2 . Jest to wartość średnia, nazywana stałą promieniowania słonecznego. Natężenie promieniowania słonecznego docierającego do atmosfery waha się jednak rocznie o ok. 6,6% w zależności od zmian odległości Ziemi i Słońca. Roczna suma energii słonecznej padającej na powierzchnię 1 m^2 w Polsce wynosi 950–1250 kWh, w zależności od położenia (wybrzeże, góry). Jest to wartość zbliżona do notowanej w Niemczech, północnej Francji, południowej Anglii, północnych regionach Stanów Zjednoczonych, Kanadzie, a większa niż w Danii, Szwecji, Norwegii – gdzie od wielu lat energia słoneczna jest wykorzystywana dla potrzeb budownictwa mieszkaniowego i gospodarstw indywidualnych [6].

W wyniku absorpcji promieniowania słonecznego w atmosferze oraz na powierzchni planety powstają następujące zjawiska:

- obieg wody w przyrodzie: parowanie, opady, zasoby wód w jeziorach, lodowcach, przepływ w rzekach;
- ruch termiczny wody i atmosfery: wiatr, fale, prądy morskie;
- energia zakumulowana i przejawiająca się w różnych formach życia: paliwa kopalne, biomasa, CO₂, organizmy żywe [29].

W tabeli 9.1 został przedstawiony podział odnawialnych źródeł energii, których energia pierwotna pochodzi pośrednio lub bezpośrednio ze Słońca (wraz ze wskazaniem możliwości jej konwersji).

Tabela 9.1

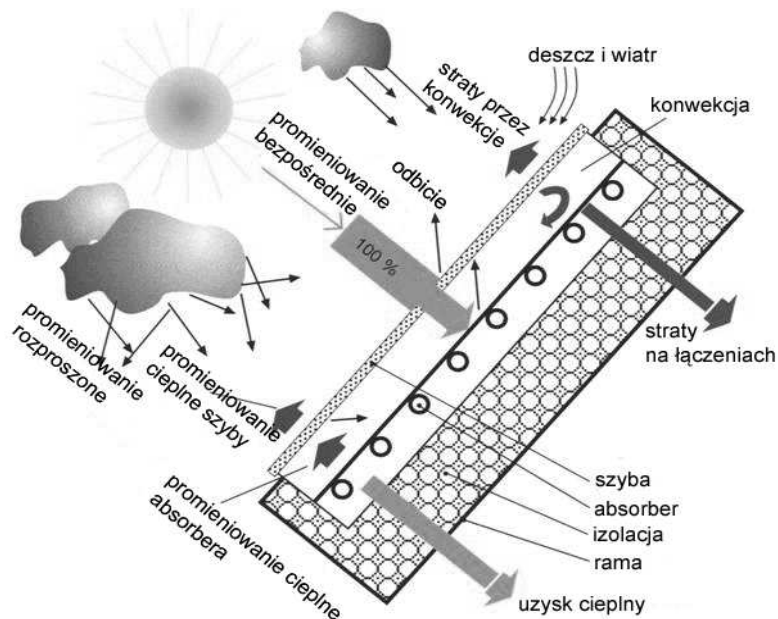
Podział odnawialnych źródeł energii wykorzystujących energię słoneczną

Źródło energii	Naturalne procesy przemiany energii	Techniczne wykorzystanie przemiany energii	Forma uzyskanej energii końcowej	
Słońce	Woda	Parowanie, topnienie lodu i śniegu, opady	Elektrownie wodne	Energia elektryczna
	Wiatr	Ruch atmosfery	Elektrownie wiatrowe	Energia elektryczna
		Energia fal	Elektrownie falowe	Energia elektryczna
	Promieniowanie słoneczne	Prądy oceaniczne	Elektrownie wykorzystujące prądy oceaniczne	Energia elektryczna
		Nagrzewanie powierzchni Ziemi i atmosfery	Elektrownie wykorzystujące ciepło oceanów	Energia elektryczna
			Pompy ciepła	Energia cieplna
		Promienie słoneczne	Kolektory słoneczne i ciepłne elektrownie słoneczne	Energia cieplna
			Ogniwa fotowoltaiczne i elektrownie słoneczne	Energia elektryczna
		Fotoliza	Paliwa	
	Biomasa	Produkcja biomasy	Ogrzewanie i elektrownie ciepłne	Energia cieplna i elektryczna

W projekcie osiedla, z wyjątkiem wody, wykorzystane zostały wszystkie wymienione odnawialne źródła energii pochodzące ze Słońca. Energia elektryczna i ciepła na potrzeby mieszkańców będzie produkowana w systemie rozproszonym, wykorzystującym: biomasę w lokalnej mikroelektrociepłowni, wiatr w turbinach wiatrowych oraz promieniowanie słoneczne dzięki zastosowaniu kolektorów ciepłych i ogniw/modułów fotowoltaicznych (PV). Niniejszy rozdział jest poświęcony ostatniemu z wymienionych zagadnień. Wykorzystanie promieniowania słonecznego do produkcji energii ciepłej w kolektorach słonecznych i energii elektrycznej przez ogniwa fotowoltaiczne stanowi dwie najbardziej bezpośrednie metody konwersji energii słonecznej na energię użytkową.

Konwersja fototermiczna, zachodząca w kolektorach słonecznych, jest to zamiana energii słonecznej na energię ciepłą, wykorzystywaną do podgrzewania wody użytkowej i/lub do wspomagania centralnego ogrzewania. Zamiana ta może się odbywać dwojako – w sposób pasywny lub aktywny. W obu przypadkach zamiana energii odbywa się w absorberach kolektorów słonecznych. W przypadku konwersji pasywnej przepływ nośnika ciepła (np. powietrza, wody lub innego czynnika) odbywa się jedynie w drodze konwekcji naturalnej. W przypadku konwersji aktywnej (wymuszonej) używane są pompy zasilane z dodatkowych źródeł energii. Funkcjonowanie kolektora słonecznego jest związane z podgrzewaniem przepływającego przez absorber czynnika roboczego, który przenosi i oddaje ciepło w części odbiorczej instalacji grzewczej [34]. Na rys. 9.1 zaprezentowano przekrój poprzeczny przez płaski kolektor słoneczny wraz z niektórymi zachodzącymi w nim zjawiskami.

Konwersja fotowoltaiczna jest to bezpośrednia zamiana energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną. Proces ten odbywa się dzięki wykorzystaniu odkrytego w 1839 r. przez Edmunda Becquerela [2] tzw. efektu fotowoltaicznego, zachodzącego w ogniwach słonecznych, w pobliżu półprzewodnikowego złącza p-n. W półprzewodniku, na skutek absorpcji fal elektromagnetycznych o energiach większych niż przerwa energetyczna, generowane są pary dziura-elektron. Generacja par nośników zachodzi poprzez wybijanie elektronów (przez fotony) z pasma walencyjnego na poziom przewodnictwa, co powoduje powstanie dziury w miejscu wybitego z sieci elektronu. Jeżeli w półprzewodniku nie ma wewnętrznego pola elektrycznego, pary rekombinują ze sobą i w efekcie energia fotonów zamieniana jest na energię ciepłą. Jeśli jednak istnieje wewnętrzne pole elektryczne, to rekombinacja nie dojdzie do skutku, gdyż dziury i elektrony będą odciągane w przeciwnych kierunkach: elektrony w stronę obszaru typu n, zaś dziury do obsza-

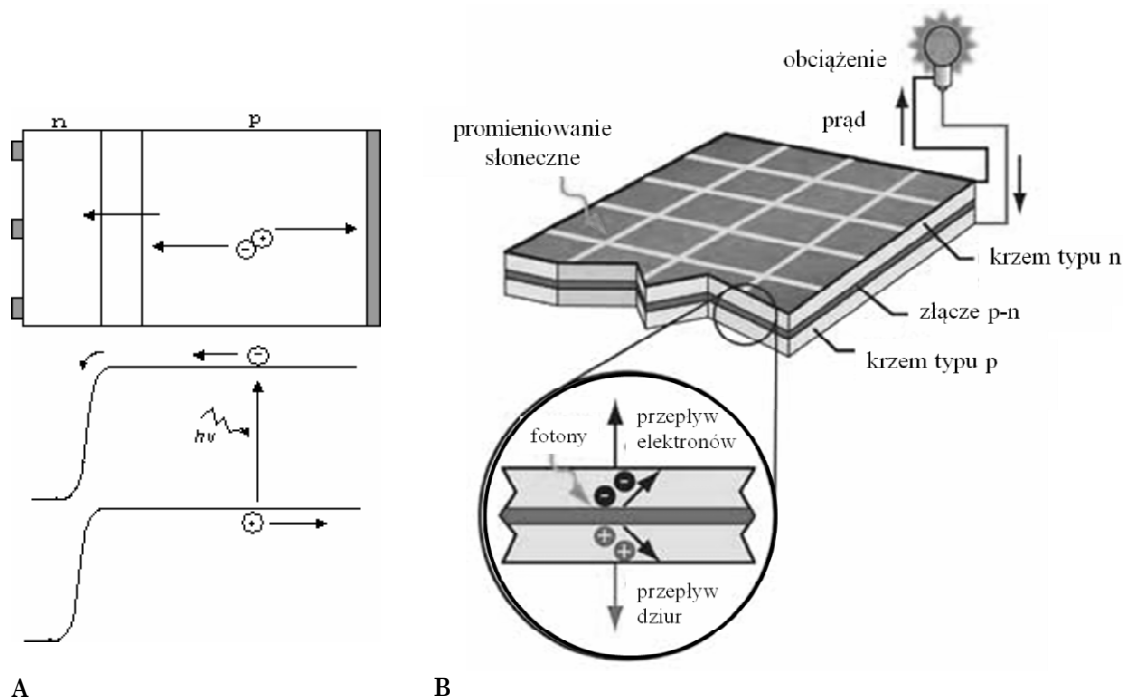


Rys. 9.1. Kolektor słoneczny – przekrój

Źródło: [21].

ru typu p. Takie pole elektryczne istnieje pomiędzy półprzewodnikami o różnym typie przewodnictwa – typu n i p oraz w układzie metal-półprzewodnik (złącze Schotky'ego). Proces ten jest przedstawiony na rys. 9.2 A. Krzemowe ogniwo fotowoltaiczne jest tu przedstawione na dwa sposoby. Jeden schemat (górny) pokazuje budowę fizyczną przyrządu oraz transport elektronu i dziury w przeciwnych kierunkach, ilustrując proces konwersji fotowoltaicznej. Drugi prezentuje te same zjawiska na modelu pasmowym (eksponującym poziomy energetyczne) półprzewodnika [30]. Rysunek 9.2 B ilustruje wygląd ogniwa fotowoltaicznego wykonanego z krzemu wraz z jego przekrojem.

Bezpośredni wpływ na efektywność przyrządów fotowoltaicznych mają właściwości optyczne materiałów półprzewodnikowych zastosowanych do ich budowy. Parametry ogniw słonecznych zależą od zjawisk elektrycznych, związanych z transportem nośników ładunku, czasu życia nośników oraz drogi dyfuzji, a także od zjawisk związanych z odbiciem, przenikaniem i absorpcją promieniowania w całym zakresie widma promieniowa-



A

B

Rys. 9.2. Ogniwo fotowoltaiczne wykonane z krzemu: A – budowa fizyczna oraz schemat pasmowy, B – budowa i przekrój poprzeczny przyrządu

Źródło: A [30], B [9].

nia słonecznego [27]. Eksperymentalne prace technologiczne prowadzone w wielu laboratoriach na całym świecie zmierzają do otrzymania przyrządów fotowoltaicznych jak najwyższej jakości, przy zachowaniu jak najniższej ceny produkcji. W tym celu zaczęto poszukiwać nowych materiałów półprzewodnikowych o wyższym współczynniku absorpcji optycznej, umożliwiającym minimalizację grubości warstw ogniw PV, a co za tym idzie – redukcję kosztów. Obecnie do materiałów najczęściej stosowanych w fotowoltaice należą krzem monokrystaliczny (polikrystaliczny) i amorficzny oraz związki półprzewodnikowe, takie jak: CuInSe_2 (CIS), Cu(InGa)Se_2 (CIGS), CdTe i CdS. Coraz większym zainteresowaniem cieszą się także ogniwa słoneczne na bazie związków organicznych, głównie ze względu na ich walory estetyczne oraz stosunkowo niskie koszty produkcji.

Ogniwa tego typu mogą występować w dowolnych kolorach, są półprzezroczyste i elastyczne. Dotychczas barierę na drodze do komercjalizacji stanowi jednak ich niska sprawność w stosunku do rozwiązań półprzewodnikowych, a także degradacja materiału organicznego. Jest to jednak technologia w fazie rozwoju i badania w tej dziedzinie wskazują na stopniową poprawę parametrów tego typu urządzeń.

9.1. Fotowoltaika zintegrowana z budownictwem (BIPV)

W ostatnich latach spotyka się coraz częściej łączenie fotowoltaiki ze strukturą nowych budynków już na etapie projektu architektonicznego. W takich zastosowaniach zmienia się nieco rola modułów fotowoltaicznych. Nie są one już tylko źródłem darmowej energii elektrycznej, lecz także mogą pełnić funkcje dekoracyjne, termoizolacyjne oraz przepuszczać do wnętrza budynku ściśle określoną ilość światła słonecznego [39].

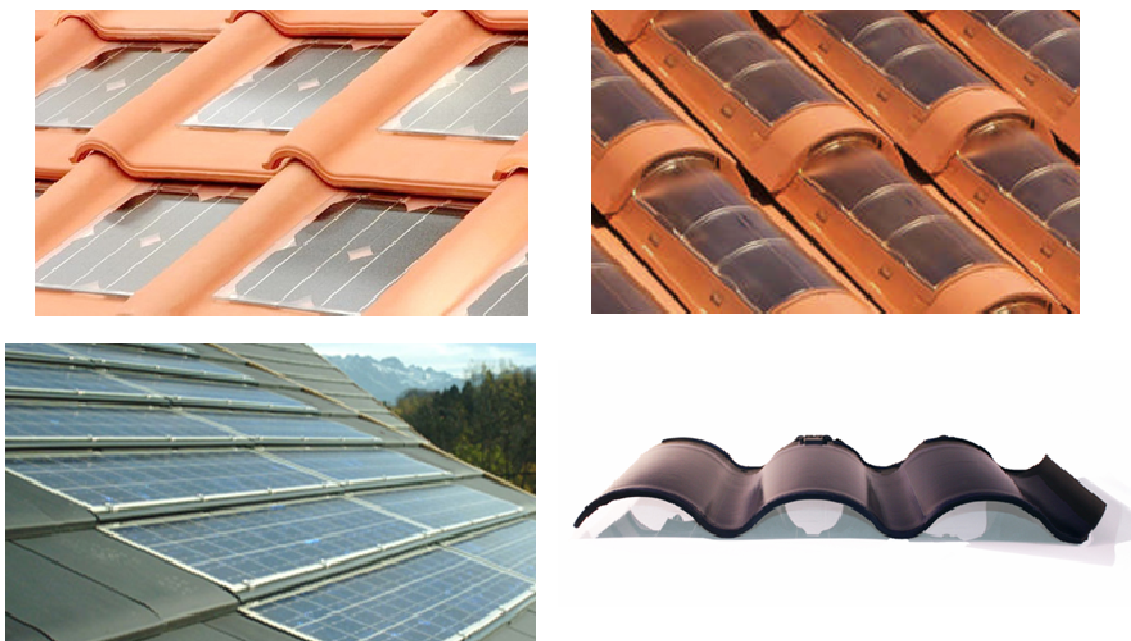
Koncepcja BIPV (ang. *Building Integrated Photovoltaics*) powstała z myślą o jak najlepszym wykorzystaniu paneli fotowoltaicznych rozmieszczanych na obiektach różnego typu, w tym budynkach o różnym przeznaczeniu i konstrukcji [35]. Ogniwa fotowoltaiczne mogą być zintegrowane nie tylko z dachem budynku, ale już bezpośrednio z dachówką go pokrywającą, co poszerza znacznie pole zastosowań fotowoltaiki i eliminuje zaburzenia architektury budynku powstające często w wyniku montażu paneli PV na istniejących dachach. Przykłady dachówek fotowoltaicznych prezentowane są na rys. 9.3.

Inną, dosyć często stosowaną metodą integracji fotowoltaiki i budownictwa jest zamknięcie ogniw słonecznych pomiędzy dwoma szybami. Dzięki temu można tworzyć dowolne konfiguracje i kształty z pojedynczych ogniw (jedno samodzielne ogniwo krzemowe ma wielkość ok. 12×12 cm), a także dokładnie sterować poziomem zacielenia poprzez dobór zagęszczenia ogniw w przeszkleniu (np. w ogrodzie zimowym). Tego typu integracja może być stosowana zarówno w przypadku dowolnego kształtu dachów, jak i fasad wszelkiego rodzaju budynków. Rozwiązania BIPV niosą ze sobą szereg zalet, które można ująć w następujących kategoriach [35]:

- produkcja energii elektrycznej bezpośrednio w miejscu zapotrzebowania na nią i związane z tym małe koszty przesyłowe;
- wkomponowanie systemów fotowoltaicznych w istniejącą infrastrukturę prowadzące m.in. do maksymalnego wykorzystania przestrzeni użytkowej na terenach zabudowanych;

- zwiększona niezależność energetyczna obiektów specjalnych (np. szpitale, banki, budynki, schroniska górskie);
- nowoczesny i ekologiczny wizerunek budynków oraz zwiększone możliwości kształtowania ich formy architektonicznej;
- oszczędność na konwencjonalnych materiałach budowlanych;
- możliwość lepszego zabezpieczenia paneli ogni słonecznych przed uszkodzeniem i/lub kradzieżą;
- pełna dowolność w doborze zainstalowanej mocy nominalnej systemu.

W związku ze wskazanymi zaletami BIPV jest intensywnie rozwijającą się gałęzią fotowoltaiki [38, 40], znajdującą swoje aplikacje w budynkach mieszkalnych, biurowych, gospodarczych i użyteczności publicznej.



Rys. 9.3. Dachówki fotowoltaiczne różnych typów

Źródło: [8, 10, 11, 18].

9.2. Zastosowanie kolektorów słonecznych

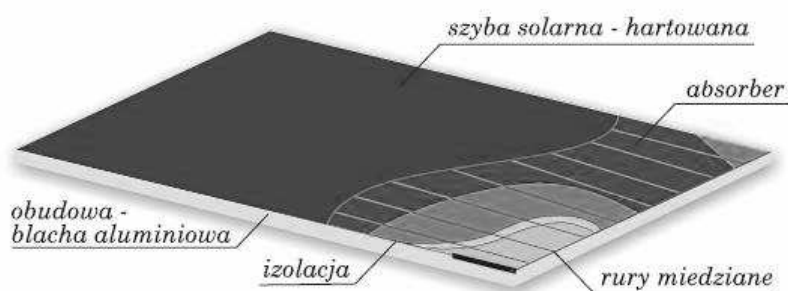
Kolektor słoneczny działa dzięki wykorzystaniu zjawiska konwersji fototermicznej. Jest to urządzenie energetyczne, absorbujące promieniowanie bezpośrednie i rozproszone pochodzące ze Słońca. Absorber kolektora przetwarza na ciepło pochłoniętą energię promieniowania słonecznego, które jest od niego odbierane przez czynnik roboczy. W zależności od rodzaju medium roboczego istnieje podział kolektorów na powietrzne i cieczowe. Zarówno kolektory cieczowe, jak i powietrzne prezentują wiele typów różniących się od siebie budową i przeznaczeniem. Spośród kolektorów cieczowych największe znaczenie mają: płaskie (płytowe), próżniowe, magazynujące oraz elastyczne (wykonane z tworzyw sztucznych). Wśród kolektorów powietrznych można wyróżnić kolektory z absorberami płaskimi, o powierzchni rozwiniętej, porowatymi oraz kolektory naciśnieniowe [36]. W większości zastosowań konstrukcja kolektorów słonecznych powinna zapewniać (przy właściwej ich eksploatacji) trwałość umożliwiającą użytkowanie bez znaczącego pogorszenia parametrów przez 10–30 lat [4]. Polscy producenci i dostawcy udzielają na kolektory średnio dziesięcioletniej gwarancji (np. firmy: Bachus, Biawar).

Zasadniczy podział instalacji słonecznych służących do przetwarzania energii promieniowania słonecznego na ciepło użyteczne wynika z tego, w jaki sposób zachodzi w nich przepływ czynnika roboczego przenoszącego ciepło. Jeśli przepływ ciepła zachodzi głównie przy wykorzystaniu konwekcji swobodnej, wynikającej z różnicy temperatur czynnika roboczego (cieczy lub powietrza) między różnymi częściami instalacji, to mamy do czynienia z bierną instalacją słoneczną. Gdy ruch czynnika roboczego jest wymuszony przez pompę lub wentylator, wówczas mamy do czynienia z instalacją aktywną. Słoneczne instalacje aktywne obejmują instalacje służące m.in. do podgrzewania wody użytkowej, suszenia płodów rolnych i ogrzewania budynków. W skład typowej słonecznej instalacji aktywnej wchodzi przede wszystkim układ kolektorów oraz pompa względnie wentylator, zależnie od tego, czy czynnikiem roboczym przenoszącym ciepło jest ciecz czy powietrze. W bardziej złożonych instalacjach słonecznych, stosowanych do podgrzewania wody użytkowej i do ogrzewania budynków, znajdują się również magazyny ciepła oraz układy automatycznej regulacji. Praca takich instalacji słonecznych jest sterowana [36].

W instalacjach służących do podgrzewania wody użytkowej do celów sanitarnych lub do wykorzystania w basenach kąpielowych najczęściej stosowane są kolektory cieczowe w dwóch wariantach – płaskim i próżniowym.

Kolektor płaski, przedstawiony na rys. 9.4, składa się z szyby, absorbera, rurek przenoszących ciepło poprzez znajdującą się w nich ciecz, izolacji i obudowy. Szyba kolektora wykonana jest najczęściej ze szkła hartowanego o niskiej zawartości tlenu

żelaza i charakteryzującego się wysoką przepuszczalnością promieniowania słonecznego (ok. 92% widma energetycznego). Absorber stanowi zazwyczaj płyta miedziana lub aluminiowa, będąca dobrym przewodnikiem elektrycznym i cieplnym. Absorber jest dodatkowo pokrywany warstwą selektywną (często w postaci tlenków metali), pochłaniającą promieniowanie słoneczne. Znajdujące się pod płytą absorbera rurki miedziane (lub aluminiowe), w których przepływa czynnik roboczy o niskiej temperaturze krzepnięcia (np. wodny roztwór glikolu), odbierają ciepło z powierzchni absorbera, przekazując je dalej do wymiennika. Połączenie orurowania z blachą miedzianą lub aluminiową może być wykonane metodą lutowania, zgrzewania ultradźwiękowego lub spawania laserowego. Aby ograniczyć straty ciepła z kolektora, absorber umieszcza się w obudowie wykonanej z blachy aluminiowej, wewnątrz której znajduje się izolacja termiczna ze specjalnej wełny mineralnej.



Rys. 9.4. Schemat budowy kolektora płaskiego

Źródło: [23].

Kolektory, w których jako izolacja termiczna wykorzystywana jest próżnia, mają najczęściej kształt cylindryczny i noszą nazwę kolektorów próżniowych (tubowych, rurowych). Średnica zewnętrzna cylindra wynosi od ok. 30 do 100 mm, zaś długość od 1 do 2 m. Izolacja próżniowa ma zazwyczaj postać zamkniętego odcinka rury szklanej. Ciśnienie panujące wewnątrz nie powinno przekraczać 0,1 Pa [36]. Kolektory próżniowe mogą mieć teoretycznie do 30% wyższą sprawność od kolektorów płaskich. Wynika to z ich zdolności do absorbowania promieniowania rozproszonego i odbitego oraz łączy się z ograniczeniem strat ciepła dzięki próżni istniejącej między dwiema rurami szklanymi. Jest to szczególnie istotne w sezonie zimowym.

Rury próżniowe są mocowane szeregowo w izolowanej szynie zbiorczej, w której biegą rurki miedziane zbiorcze. Ogrzewanie płynu w rurach próżniowych może działać na dwa sposoby, w zależności od typu kolektora:

- podobnie jak w kolektorach płaskich – poprzez kanały przepływowe z czynnikiem grzewczym, które mają postać litery U w rurze próżniowej (ogrzewanie płynu następuje podczas jego przepływu przez kanał);
- poprzez zamkniętą pojedynczą rurę, nazywaną także „rurką ciepłą” i działającą na zasadzie kondensatora.

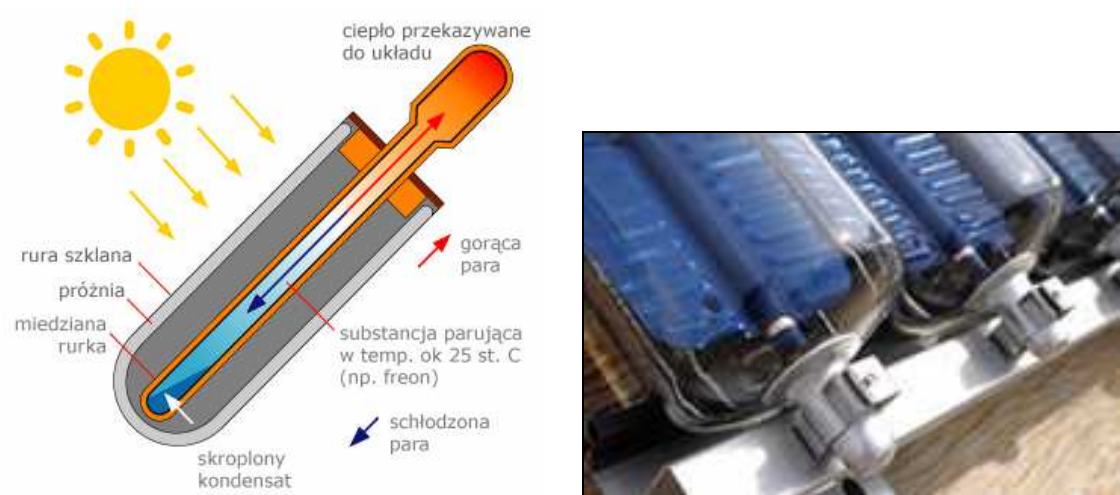
Sposób pierwszy ilustruje rys. 9.5, zaś rozwiązanie drugie jest widoczne na rys. 9.6.



Rys. 9.5. Schemat budowy kolektora próżniowego w wariantach A

Źródło: [12, 25].

W rurkach ciepła znajduje się łatwo odparowująca ciecz (temperatura wrzenia ok. 25–30°C), która przy ogrzewaniu rur przez słońce zaczyna parować, a powstała para konwekcyjnie przechodzi do końcówki rury (kondensatora), umiejscowionej w kanale zbiorczym, będącym wymiennikiem ciepła. Poprzez kondensator ciepło oddawane jest do kanału głównego w szynie zbiorczej kolektora, zaś para w kondensatorze schładza się, zamienia w ciecz i sływa na dół do ponownego nagrzania. Kolektory próżniowe z rurkami ciepła są bardziej efektywne od systemu przepływowego. Rysunek 9.7 i tab. 9.2 przedstawiają porównanie cieczowych kolektorów płaskich i próżniowych.



Rys. 9.6. Schemat budowy pojedynczej rurki kolektora próżniowego (z lewej) oraz widok rzeczywistych rurek kolektora wykonanych w wariacie B

Źródło: [13].



Rys. 9.7. Kolektory cieczowe: płaski (z lewej) i próżniowy (z prawej)

Źródło: [7].

Porównanie kolektorów płaskich i próżniowych

Parametry	Kolektor płaski	Kolektor próżniowy
Izolacja	Włna mineralna	Próżnia – chroni ciepło nagromadzone w kolektorze przed rozproszeniem
Warstwa absorpcyjna	Blacha miedziana lub aluminiowa pokryta warstwą selektywną	Warstwa metalu napylana na wewnętrzną stronę rury próżniowej
Uzyski energii	Zdecydowanie lepszy w miesiącach „letnich” (kwiecień–wrzesień)	Dobra sprawność latem i zimą ze względu na wykorzystanie, w większym stopniu promieniowania rozproszonego – średnioroczny uzysk ciepła ok. 10–30% wyższy niż dla kolektorów płaskich
Zalety i wady	Systemy „otwarte”, hydrauliczna w kolektorze, prosta budowa i system montażu, niższa cena	Wyższe temperatury czynnika roboczego, duże obciążenie termiczne, konieczność zachowania szczelności, wyższa cena
Zastosowanie	Fasady, dachy domów jednorodzinnych, konstrukcje wolnostojące	Dachy domów jednorodzinnych, konstrukcje wolnostojące

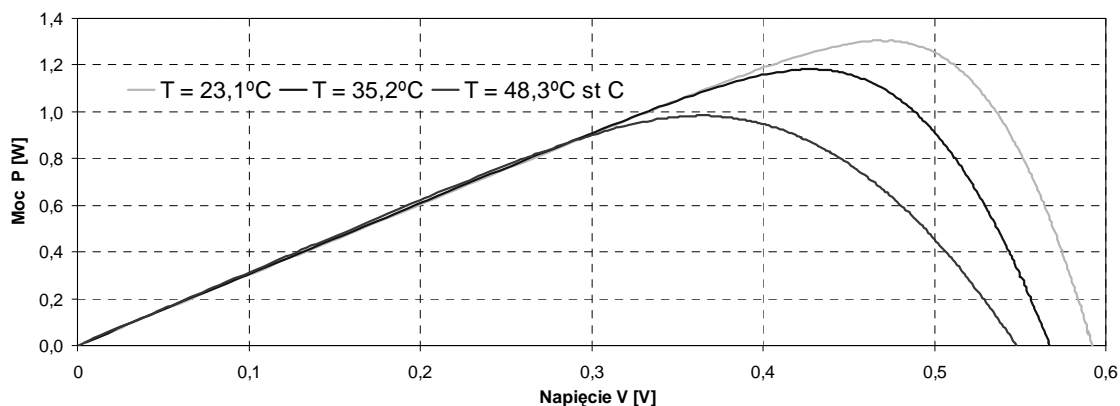
Źródło: opracowanie własne na podstawie [21].

Każda z opisanych konstrukcji charakteryzuje się pewnymi pozytywnymi i negatywnymi parametrami i nie można jednoznacznie określić wyższości jednej nad drugą. Dobór odpowiedniego wariantu zależy od indywidualnych potrzeb i możliwości odbiorcy.

9.3. Eksperymentalny hybrydowy system solarny

Z uwagi na fakt negatywnego wpływu wzrostu temperatury pracy ogniw i modułów fotowoltaicznych, powodującego spadek ich mocy wyjściowej (a zatem i sprawności systemu), opracowany został eksperymentalny hybrydowy system solarny. Zaprojektowane i skonstruowane urządzenie łączy w sobie funkcjonalność modułu fotowoltaicznego produkującego energię elektryczną oraz kolektora słonecznego wytwarzającego ciepło, poprawiając jednocześnie uzyskiwane parametry wyjściowe.

Standardowe warunki pomiarowe, dla których podawane są parametry ogniw i modułów fotowoltaicznych (STC – *Standard Test Conditions*), definiują nominalną temperaturę ich pracy na poziomie 25°C [32]. Badania właściwości modułów i paneli PV w warunkach rzeczywistych (środkowoeuropejskich) wskazują, że w przypadku silnego nasłonecznienia powierzchnia urządzeń może się nagrzewać nawet do 8°C. W zależności od materiału i technologii wykonania ogniw fotowoltaicznych, ich sprawność w miarę wzrostu temperatury spada o 0,4–0,9% wartości nominalnej (w 25°C) na każdy stopień Celsjusza. Na rys. 9.8 przedstawione zostały wyniki własnych badań laboratoryjnych, przeprowadzonych dla pojedynczego ogniwa słonecznego o wymiarach 12 × 12 cm, wykonanego z krzemu multikrystalicznego.



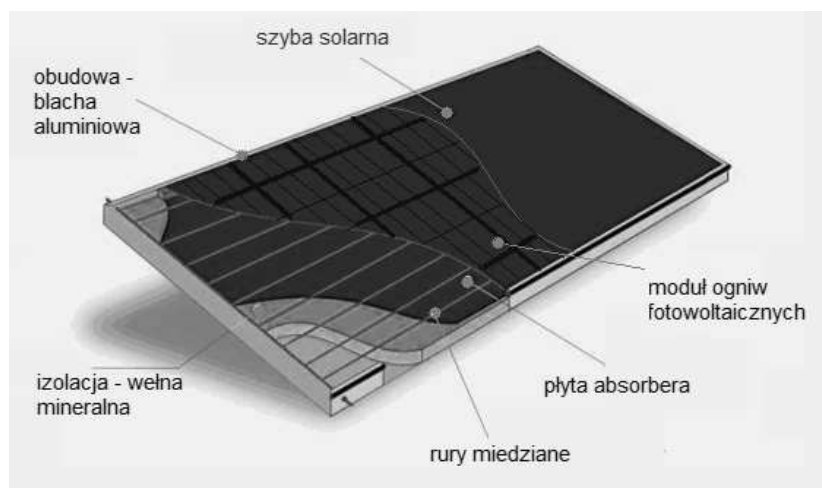
Rys. 9.8. Spadek mocy pojedynczego ogniwa krzemowego pod wpływem wzrostu jego temperatury
 Źródło: opracowanie własne.

Urządzenie hybrydowe zostało zaprojektowane m.in. w celu minimalizacji tego typu strat energetycznych. Bezpośrednio pod powierzchnią modułu fotowoltaicznego zaprojektowano układ miedzianych rurek odprowadzających ciepło za pomocą czynnika roboczego. Efektem opisanej w dalszej części rozdziału koncepcji jest dodatkowe pozyskiwanie ciepła do wstępnego podgrzewania wody użytkowej. Główne zalety zintegrowanego systemu, w stosunku do urządzeń niezależnych, to:

- wzrost sprawności modułu PV;
- zmniejszenie powierzchni wymagającej zagospodarowania;
- redukcja kosztów produkcji.

9.3.1. Koncepcja projektowa

Koncepcja projektowa hybrydowego systemu solarnego zakłada integrację modułu fotowoltaicznego i słonecznego, płaskiego, cieczowego kolektora ciepła. Ogólna konstrukcja zaprojektowanego urządzenia przedstawiona jest schematycznie na rys. 9.9.



Rys. 9.9. Koncepcja konstrukcji hybrydowego systemu solarnego

Źródło: opracowanie własne na podstawie [12].

Solarne urządzenie hybrydowe do jednoczesnego i bezpośredniego pozyskiwania energii elektrycznej i ciepła użytkowego zakłada zamknięcie w jednej obudowie dwóch znanych urządzeń, jakimi są kolektor słoneczny i moduł PV. Dzięki takiemu połączeniu oczekiwana jest poprawa parametrów modułu fotowoltaicznego w warunkach podwyższonej temperatury otoczenia, związana z odbiorem nadmiaru ciepła przez czynnik roboczy w kolektorze. Zintegrowany system solarny składa się kolejno z następujących warstw:

- szyby solarnej o bardzo wysokiej transmisyjności optycznej i wysokiej wytrzymałości mechanicznej;
- modułu krzemowych ogniw fotowoltaicznych, pokrywających niemal całą powierzchnię urządzenia;

- płyty absorbera, zintegrowanej od góry z modułem PV oraz od dołu z miedzianym orurowaniem, w którym przyływa czynnik roboczy;
- izolacji termicznej, np. w postaci wysokiej jakości wełny mineralnej.

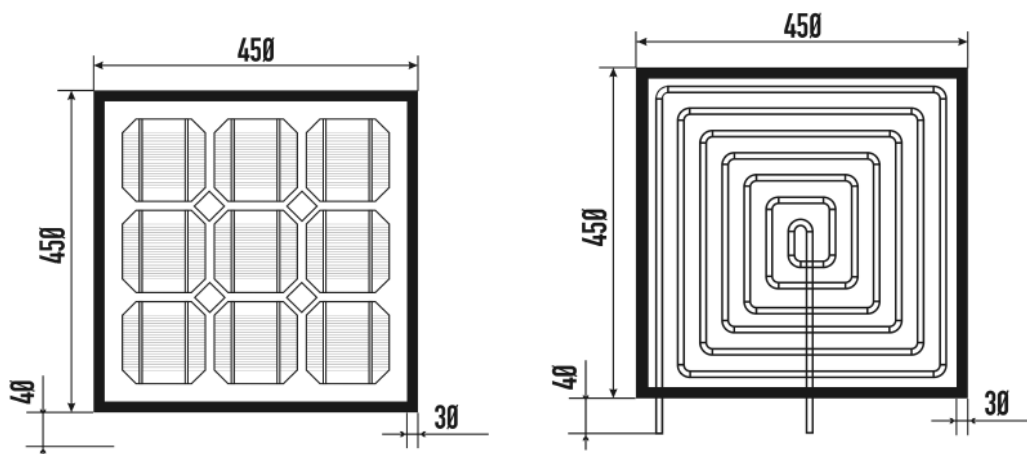
Całość konstrukcji jest uszczelniona pod względem hydraulicznym i zamknięta w obudowie z blachy aluminiowej. Na zewnątrz układu znajdują się króćce doprowadzające i odprowadzające czynnik roboczy, a także przewody elektryczne wraz z układem zabezpieczającym.

Z opisanego ogólnego schematu budowy urządzenia hybrydowego wynika, że można zastosować dowolne konfiguracje zarówno ze względu na moduł fotowoltaiczny, jak i kolektor cieczowy. Ogniwa wchodzące w skład modułu PV wykonuje się z różnych materiałów lub związków półprzewodnikowych, wymienionych w początkowej części rozdziału. Cieczowy kolektor płaski również może być wykonany na szereg różnych sposobów. Modyfikacjom ulegają chociażby średnice i sposób rozmieszczenia rur na danej płaszczyźnie, sposób ich połączenia z absorberem i modułem PV, a także skład płynu roboczego.

9.3.2. Konstrukcje prototypowe

W celu weryfikacji rzeczywistej przydatności proponowanego systemu hybrydowego zbudowane zostały dwa prototypy, z których każdy wykorzystuje nieco inne rozwiązania i materiały, jednak oba spełniają założenia koncepcji projektowej. Pierwszy został skonstruowany według wcześniej wykonanego wstępnego projektu przedstawionego na rys. 9.10. Założono mniejsze wymiary konstrukcji w celu przeprowadzenia pomiarów w warunkach laboratoryjnych, a także ze względu na niższe koszty budowy mniejszego urządzenia.

Lewa strona rysunku przedstawia górną część urządzenia hybrydowego, którą stanowi moduł fotowoltaiczny. W tym przypadku składa się on z dziewięciu ogniw połączonych szeregowo-równolegle, wykonanych w technologii krzemu monokrystalicznego. Na rysunku widoczne są pojedyncze ogniwa, które mają charakterystyczne dla monokrystalicznych ogniw Si ściecia krawędzi. Semi-kwadratowy kształt ogniw powstał w wyniku optymalizacji okrągłych płytek, wycinanych z monokrystalicznego walca krzemowego, do możliwości jak najgęstszego upakowania ich w module, przy jednoczesnych jak najmniej stratach precyzyjnie czystego materiału (fragmenty płytek, które ulegają odcięciu). Krzem monokrystaliczny jest bardzo drogim materiałem, powstającym w powolnym pro-



Rys. 9.10. Projekt pierwszego prototypu: górna (z lewej) i dolna (z prawej) powierzchnia urządzenia hybrydowego

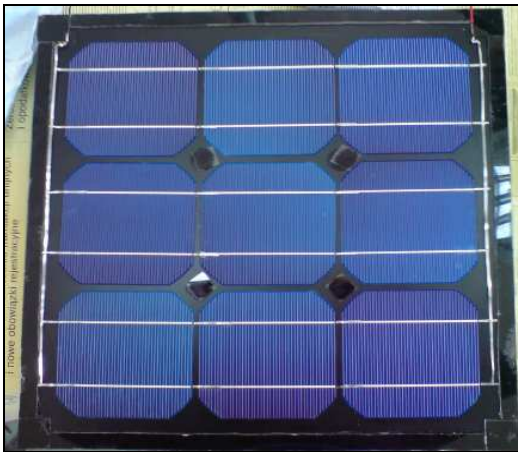
Źródło: opracowanie własne.

cesie krystalizacji, zwanym wzrostem monokryształu metodą Czochralskiego. Metoda ta polega na zanurzeniu zarodka kryształu Si o precyzyjnie ustalonej orientacji sieci krystalicznej w tyglu z roztopionym czystym krzemem polikrystalicznym. Na powierzchni styku zarodka kryształu z roztopionym materiałem obniżana jest temperatura o jeden lub dwa stopnie poniżej temperatury topnienia (dla krzemu 1420°C), wskutek czego następuje krystalizacja polegająca na tym, że atomy poruszające się bezwładnie w fazie ciekłej przywierają w odpowiednich miejscach do powierzchni zarodka krystalizacji. Zarodek jest wyciągany do góry bardzo powolnym ruchem postępowo obrotowym, co umożliwia narastanie kolejnych warstw uporządkowanej struktury krystalicznej. Narastające warstwy ciała stałego zachowują dokładną ciągłość z siecią krystaliczną zarodka. Ogniwa PV wykonane z krzemu monokrystalicznego charakteryzują się najwyższą sprawnością spośród obecnie dostępnych i powszechnie stosowanych przyrządów fotowoltaicznych (istnieją struktury o wyższych sprawnościach, np. GaAs, stosowane w kosmonautyce lub ogniwa wielozłączowe na etapie laboratoryjnym). Do wykonania prototypu zostały wykorzystane ogniwa słoneczne o następujących parametrach:

- model MOTECH IS125-R150-B;
- wymiary $125\text{ mm} \times 125\text{ mm} \pm 1.5\text{ mm}$;
- grubość $320\text{ }\mu\text{m} \pm 40\text{ }\mu\text{m}$;

- przednia powierzchnia pokryta niebieską antyodbiciową warstwą azotku krzemu;
- srebrne kontakty przednie o szerokości 1,5 mm;
- aluminiowa powierzchnia tylna stanowi tylny kontakt ogniwa;
- parametry elektryczne (STC): η (%) 17,25 – 17,49; P_{max} (W) 2,57 – 2,61.

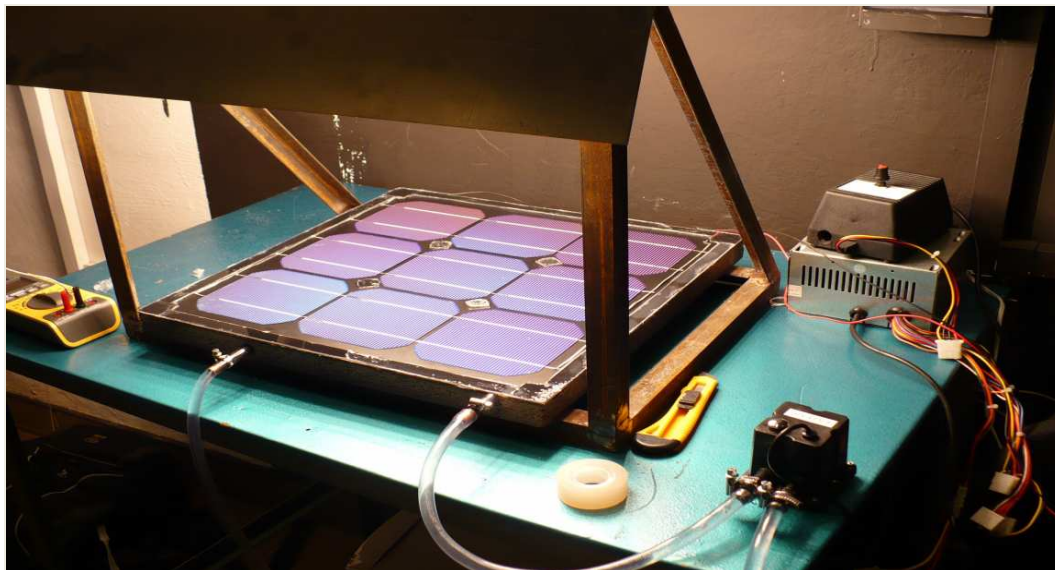
Po prawej stronie rys. 9.10, reprezentującej dolną warstwę prototypu, widoczny jest zaprojektowany układ rur kolektora, które zostały ułożone w spiralę. Średnica wewnętrzna rur w tym układzie wynosi 6 mm, a ich całkowita długość 7,65 m, a w związku z tym objętość czynnika roboczego w kolektorze wynosi ok. 0,22 dm³. Ze względu na wysoką przewodność cieplną, rury, w których przepływa czynnik, zostały wykonane z miedzi i przylutowane miejscowo do miedzianej blachy o powierzchni 0,2 m². Druga strona blachy została zaizolowana plastikiem w sprayu (Plastik 70), zabezpieczającym przed zwarciem elektrycznym z modułem PV, a następnie polakierowana czarnym matowym lakierem, umożliwiającym uzyskanie lepszej absorpcji promieniowania słonecznego. Mini moduł ogniw słonecznych został ułożony i zamocowany bezpośrednio na czarnej odizolowanej elektrycznie powierzchni. Po wyprowadzeniu połączeń elektrycznych i hydraulicznych całość została zaizolowana i zabezpieczona przed działaniem czynników zewnętrznych. Górne zabezpieczenie mechaniczne układu stanowi szyba przyklejona do powierzchni za pomocą silikonu, zaś funkcję dolnej bariery termicznej



Rys. 9.11. Realizacja pierwszego prototypu: górna (z lewej) i dolna (z prawej) powierzchnia urządzenia hybrydowego

Źródło: opracowanie własne.

pełni gruba warstwa kleju Polastosil na bazie silikonu, którym została zalana cała spódna część urządzenia. Realizację projektu przedstawiono na rys. 9.11 – górna i dolna warstwa systemu solarnego w trakcie realizacji konstrukcji oraz na rys. 9.12 prezentującym fotografię kompletnego systemu wraz ze wszystkimi urządzeniami peryferyjnymi (pompa, zasilacz, mierniki) i oświetlaczem.



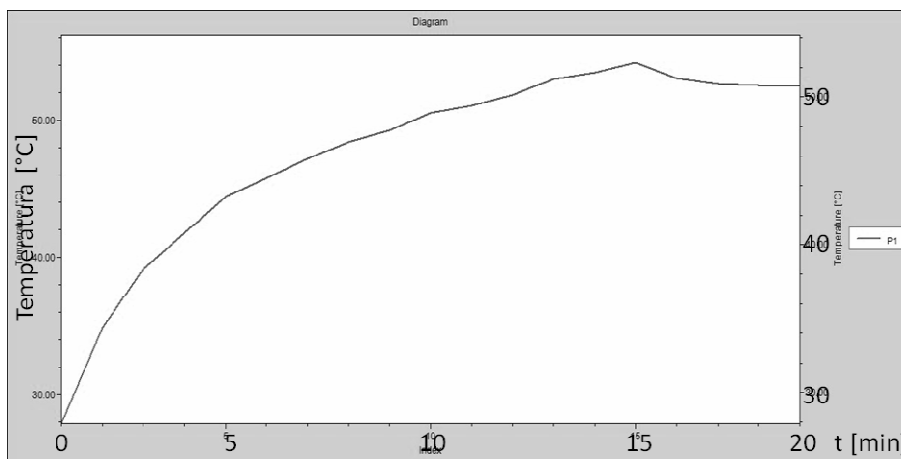
Rys. 9.12. Pierwszy prototyp hybrydowego systemu solarnego wraz z symulatorem promieniowania słonecznego

Źródło: opracowanie własne.

Wszystkie pomiary dotyczące pierwszego prototypu zostały przeprowadzone w warunkach wewnętrznych (sztucznych), zastosowano w nich symulator promieniowania słonecznego i specjalistyczną aparaturę pomiarową. Temperatura na powierzchni modułu była monitorowana za pomocą kamery termowizyjnej VarioCAM® HiRes – Jenoptic o dokładności pomiarowej $\pm 1,5K$, czułości widmowej $7,5\text{--}14\ \mu\text{m}$ i rozdzielczości termicznej poniżej $80\ \text{mK}$.

Podczas pierwszego etapu testów skonstruowanego systemu eksperymentalnego zostały przeprowadzone pomiary parametrów modułu fotowoltaicznego bez załączania

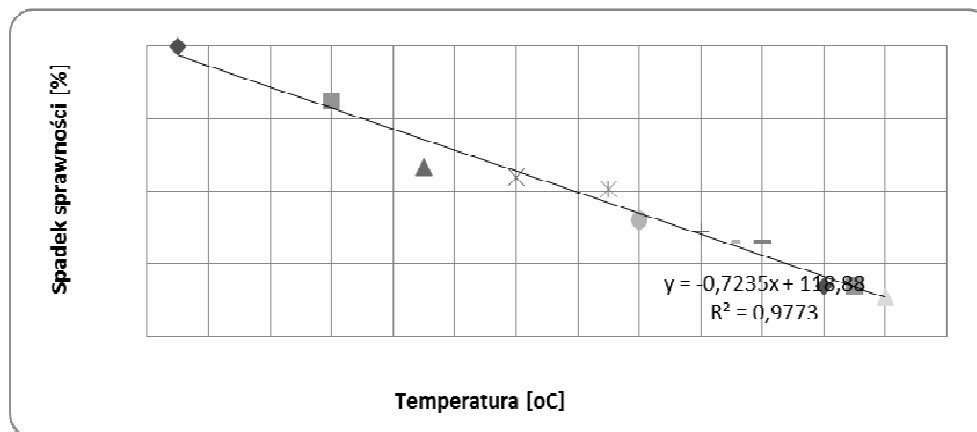
przepływu czynnika roboczego w kolektorze. Pozwoliły one ocenić, czy zastosowanie proponowanego systemu hybrydowego spełnia pierwszą z zakładanych funkcji – odbiera niekorzystne dla modułu ciepło i obniża temperaturę jego pracy. Rezultaty przeprowadzonego testu pokazują, że temperatura pracy urządzenia po około 20 minutach ekspozycji na działanie symulatora promieniowania słonecznego wzrasta niemal dwukrotnie (z początkowych 27°C do ponad 50°C). Zależność ta jest przedstawiona na rys. 9.13, gdzie na osi Y prezentowana jest temperatura w °C, zaś na osi X – czas w minutach.



Rys. 9.13. Zależność temperatury modułu PV od czasu jego ekspozycji na działanie symulatora promieniowania słonecznego

Źródło: opracowanie własne.

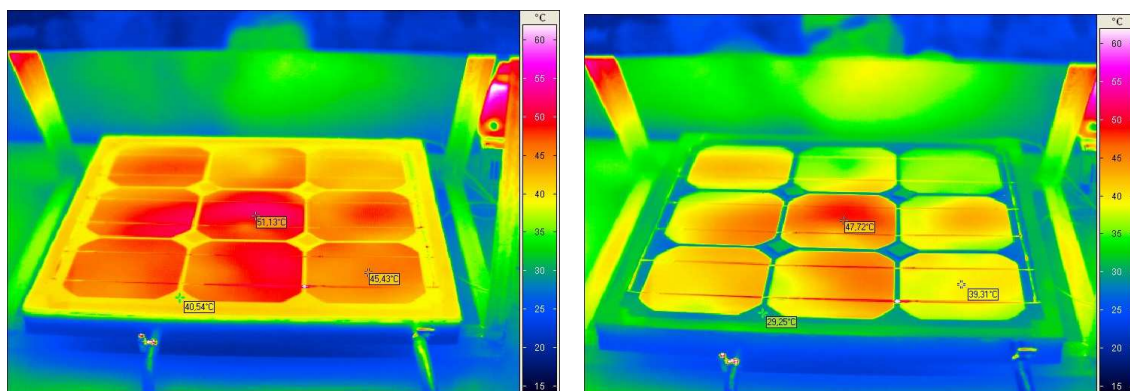
Wzrost temperatury pracy modułu słonecznego powoduje przewidywany spadek wydajności zachodzącej w nim konwersji fotowoltaicznej. Procentowy spadek sprawności w stosunku do wartości początkowej (mierzonej w temperaturze nominalnej ok. 25°C), wynikający ze wzrostu temperatury modułu, przedstawiono na rys. 9.14. Analizując dane pomiarowe, łatwo można obliczyć, że badany minimoduł traci średnio 0,75% swojej sprawności wyjściowej na każdy stopień Celsjusza powyżej temperatury nominalnej. Oznacza to, że przy długotrwałym, kilkugodzinnym nasłonecznieniu, występującym często w warunkach rzeczywistych, moduł ogrzany do temperatury 70°C będzie pracował ze sprawnością równą niespełna jednej trzeciej swojej sprawności nominalnej.



Rys. 9.14. Bezwzględny spadek sprawności eksperymentalnego modułu PV pod wpływem wzrostu temperatury
 Źródło: opracowanie własne.

Kolejny etap badań stanowią obserwacje funkcjonowania systemu po włączeniu przepływu czynnika przez miedzianą spiralę kolektora. Po dziesięciu minutach pracy układu chłodzącego temperatura na powierzchni modułu fotowoltaicznego spadła średnio do 40°C, a miejscami nawet do 35°C. Efekt ten przyczynia się do poprawy parametrów modułu PV i wzrostu jego sprawności z wartości ok. 80% (dla temp. ok. 52°C) do ponad 90% (dla temp. poniżej 40°C) sprawności osiąganey w temperaturze nominalnej. Rysunek 9.15 zawiera zdjęcia termograficzne oświetlonego systemu hybrydowego podczas pracy przed i po włączeniu obiegu cieczy. Obydwa termogramy przedstawione są w takiej samej skali kolorów reprezentujących wartości temperatury.

Analizując zdjęcie przedstawiające rozkład temperatury na powierzchni urządzenia po załączeniu przepływu cieczy w systemie odbioru ciepła przez układ (rys. 9.15 z prawej), dostrzegamy stosunkowo dużą rozbieżność wartości. Skrajne temperatury wynoszą tu około 45°C (maksymalna) i 35°C (minimalna), a ich rozkład sugeruje, że ogniwa zewnętrzne są chłodzone znacznie lepiej niż centrum. Taka zależność potwierdza jedynie poprawność funkcjonowania systemu chłodzenia, wykonanego w formie spirali. Ponieważ czynnik chłodzący jest doprowadzany do układu prawym króćcem, stanowiącym zewnętrzny początek zwoju miedzianej spirali kolektora, w chwili, gdy dociera do końcowej jej części, znajdującej się w centrum, jest już na tyle ogrzany, że nie może ochłodzić środkowego ogniwa w takim samym stopniu, jak pozostałe.

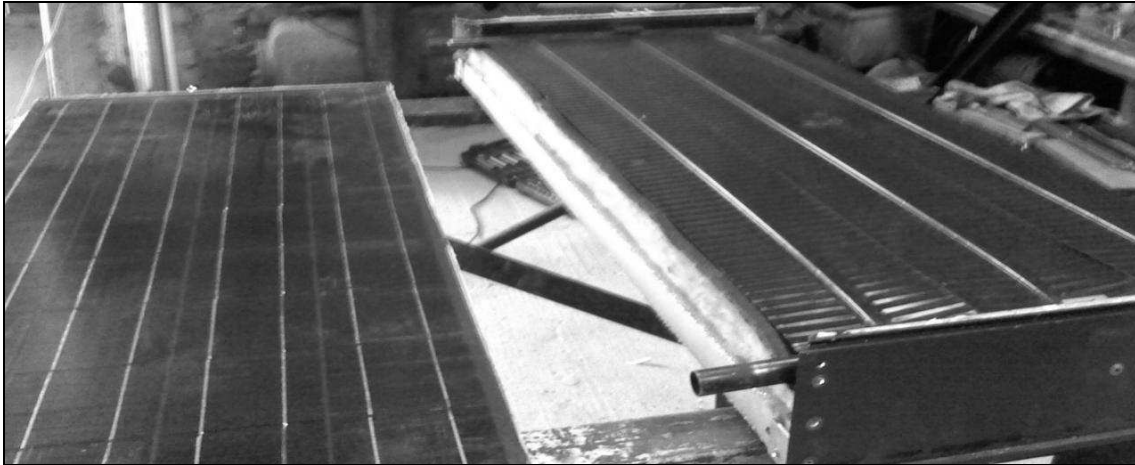


Rys. 9.15. Oświetlony hybrydowy system solarny pracujący z wyłączonym przepływem cieczy (z lewej) oraz 10 minut po załączeniu przepływu cieczy w systemie odbioru ciepła przez kolektor słoneczny (z prawej)

Źródło: opracowanie własne.

Sprawność cieplna systemu kolektora została obliczona na poziomie 40%, co jest wartością znacznie niższą (mniej więcej o połowę) od tej deklarowanej przez producentów kolektorów słonecznych. Jednakże w opisanym systemie priorytet stanowiła energia elektryczna, a więc poprawa degradowanej pod wpływem wysokiej temperatury sprawności modułu fotowoltaicznego. Cel ten został osiągnięty, a eksperyment pokazał, że zaprojektowany hybrydowy system solarny działa wedle założenia, mianowicie skutecznie chłodzi część fotowoltaiczną i jednocześnie dostarcza ciepło użytkowe, które może być wykorzystywane do wstępnego podgrzewania wody. Wyniki eksperymentu potwierdzają celowość projektu.

Opisany prototyp jest w pełni autorskim projektem, uwzględniającym pewne nietypowe rozwiązania, np. spirala odbioru ciepła, izolacja, a także wymiary. Chęć i potrzeba stworzenia urządzenia nadającego się do łatwej i taniej implementacji, bez konieczności tworzenia nowych wysublimowanych linii i odrębnych procesów technologicznych, z wykorzystaniem istniejących krajowych i lokalnych producentów, zaowocowały projektem prototypu numer 2. Ogólna koncepcja pozostała niezmienna i jest zgodna z modelem prezentowanym na rys. 9.9. Do budowy drugiego prototypu został wykorzystany fabryczny moduł fotowoltaiczny firmy Solar Fabrik (model: SF5, typ: T6294) oraz wersja demonstracyjna płaskiego kolektora słonecznego, odzwierciedlająca swoją budową urządzenia produkowane przez łódzką firmę Ergom (Aparel). Na rys. 9.16 znajdują się opisane elementy prototypu.

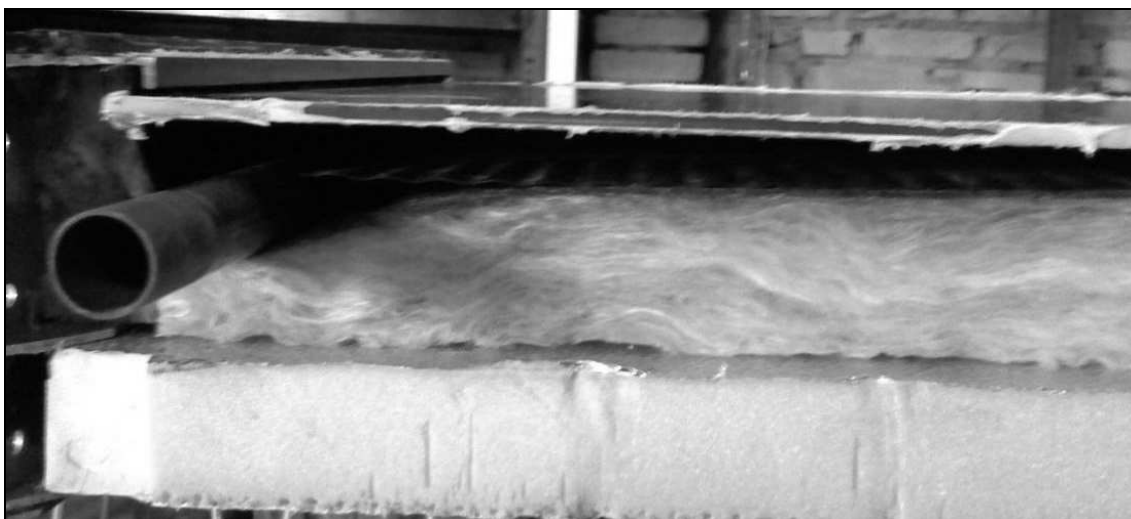


Rys. 9.16. Elementy drugiego prototypu, częściowo zdemontowane – moduł fotowoltaiczny (z lewej) i kolektor słoneczny (z prawej)

Źródło: opracowanie własne.

Zastosowany moduł PV jest złożony z 36 ogniw słonecznych, wykonanych z krzemu polikrystalicznego, połączonych szeregowo, o łącznej mocy nominalnej $50W_p$ ($I_{sc} = 3,1A$; $V_{oc} = 21,1V$; $I_m = 2,9A$; $V_m = 17,1V$). Moduł jest obustronnie zalaminowany i zabezpieczony od góry szybą solarną bez możliwości jej demontażu, co gwarantuje szczelność konstrukcji i odporność na narażenia środowiskowe (np. grad). Fabrycznie moduł był dodatkowo zamknięty w ramie aluminiowej o grubości ok. 30 mm, stanowiącej dokładniejsze zabezpieczenie mechaniczne. Do planowanego zastosowania modułu w hybrydowym urządzeniu solarnym jego rama została zdemontowana, aby uzyskać jak najcieńszą warstwę (5–10 mm), gotową do umieszczenia w miejscu szyby kolektora. Wykorzystany kolektor składa się standardowo z absorbera połączonego z miedzianym orurowaniem, izolacji i obudowy. Szyba kolektora została zdemontowana, a w jej miejscu znajdzie się opisany wcześniej moduł PV. Absorber omawianego kolektora składa się z trzech miedzianych płytek („taśm”), połączonych z rurkami miedzianymi o średnicy zewnętrznej 8 mm za pomocą zgrzewania ultradźwiękowego. Wszystkie rurki przepływowe przyspawane są do dwóch miedzianych rur zbiorczych o średnicy zewnętrznej 18 mm, z których jedna stanowi wlot, a druga wylot czynnika roboczego w układzie. Kolektor ma również

boczną i zewnętrzną izolację termiczną w postaci wełny mineralnej o grubości 30 mm i 50 mm oraz dodatkową warstwę pianki od dołu. Całość była zamknięta w obudowie z blachy aluminiowej, która została rozmontowana w celu integracji z modułem PV oraz kształtowniki aluminiowe w kolorze brązowym [28]. Obudowa kolektora zostanie wykorzystana do osłony kompletnego hybrydowego systemu solarnego. Na rys. 9.17 przedstawiono zbliżenie przekroju konstruowanego prototypu i widok jego warstw składowych (od góry): szyba z modułem ogniw fotowoltaicznych, rura z przymocowanym absorberem i rurkami przepływowymi, wełna mineralna, pianka izolacyjna.



Rys. 9.17. Przekrój poprzeczny budowy solarnego systemu hybrydowego w drugiej wersji prototypu

Źródło: opracowanie własne.

Widoczne jest zjawisko zmniejszenia objętości („osiadania”) warstwy wełny mineralnej pod ciężarem zbiorczej 18-milimetrowej rurki. Efekt ten zostanie wyeliminowany i rura wraz z blachą absorbera zostanie dociśnięta do warstwy modułu po zamontowaniu ramy bocznej wyposażonej w specjalnie dopasowane otwory umożliwiające wyprowadzenie rur zbiorczych na zewnątrz układu. Króćce rur zbiorczych wyprowadzane są w kolektorach z czterech stron, a następnie dwa z nich zamyka się za pomocą korków samozaci-

skowych. Dokładnie tak samo zostało to wykonane w tym przypadku. Na rys. 9.18 zaprezentowano zmontowane urządzenie hybrydowe w wersji surowej, bez zacisków i systemu połączeń hydraulicznych oraz elektrycznych. Wymiary zewnętrzne (wraz z ramą) prototypu numer 2 to: 102 cm (długość), 47 cm (szerokość) i 10,5 cm (grubość). Wymiary wewnętrzne (części aktywnej warstwy absorbującej) to: 94 cm (długość), 40 cm (szerokość) i 9 cm (grubość nieuwzględniająca zewnętrzną ramę).



Rys. 9.18. Prototyp numer 2 hybrydowego systemu solarnego – stan surowy

Źródło: opracowanie własne.

Tak przygotowany prototyp został następnie podłączony hydraulicznie i elektrycznie do specjalnie dla niego opracowanego i przystosowanego systemu pomiarowego. Gotowy i w pełni funkcjonalny prototyp jest przeznaczony do kompleksowych testów w warunkach rzeczywistych, zgodnie z normą dotyczącą warunków oceny właściwości kolektorów słonecznych [33]. Ze względu jednak na niekorzystny pod tym względem okres skonstruowania prototypu (listopad 2011), postanowiono wykonać dodatkowo wstępne pomiary jego właściwości w warunkach sztucznego oświetlenia. W tym celu został zaprojektowany i wykonany specjalnie dopasowany do wymiarów urządzenia oświetlacz, składający się z 4 lamp halogenowych o łącznej mocy 2 kW, spełniający funkcję symulatora promieniowania słonecznego. Kompletnie urządzenie hybrydowe wraz z oświetlaczem przedstawiono na rys. 9.19.



Rys. 9.19. Prototyp numer 2 hybrydowego systemu solarnego – wersja kompletna

Źródło: opracowanie własne.

Obecnie cały system jest w fazie testów laboratoryjnych i jak dotąd wykazuje satysfakcjonujące wyniki, analogiczne jak w przypadku prototypu numer 1. Publikacja dokładnych parametrów otrzymanych w testach laboratoryjnych planowana jest po wykonaniu kompletnej serii pomiarów w warunkach rzeczywistych, przewidzianych w okresie wiosenno-letnim 2012. Dodatkowo podczas kolejnego etapu zostały zaplanowane znormalizowane testy wytrzymałości mechanicznej oraz szczelności systemu i odporności na zróżnicowane warunki klimatyczne. Po wstępnych testach można jednak stwierdzić, że proponowany hybrydowy system do pozyskiwania energii elektrycznej i ciepłej z darmowej energii słonecznej jest obiecującym i zorientowanym przyszłościowo rozwiązaniem, którego implementacja może się okazać niezwykle łatwa.

9.4. Rozwiązania zastosowane w projekcie osiedla

W projekcie osiedla zostały zaproponowane dwa rozwiązania wykorzystujące bezpośrednią konwersję energii promieniowania słonecznego na energię użyteczną. Pierwsze z nich opiera się na przedstawionej w poprzednim podrozdziale koncepcji hybrydowych systemów solarnych, stosujących konwersję fotowoltaiczną i fototermiczną. W koncepcji osiedla planowane jest pokrycie nimi południowej strony dachu budynku gospodarczego i stworzenie dzięki temu mikroelektrowni słonecznej z odzyskiwaniem ciepła na potrzeby mieszkańców i administracji. Drugie rozwiązanie to opcja indywidualnego montażu dowolnej liczby ogniw fotowoltaicznych, zintegrowanych z przeszklonym elementem werandy. Planowany jest gęsty rozkład ogniw, stwarzający częściowe zacienienie w wybranym miejscu. Bardziej szczegółowy opis obu rozwiązań znajduje się w podrozdziałach 9.4.2 i 9.4.3.

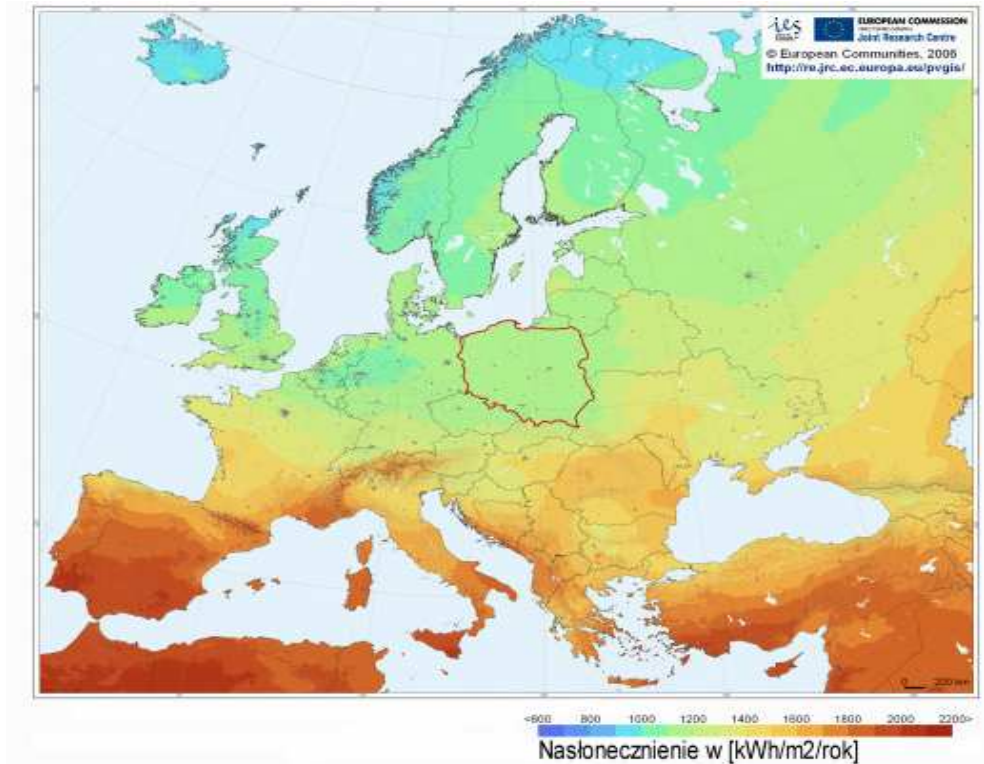
9.4.1. Potencjał energii słonecznej na terenie Polski

W energetyce solarnej zasoby energii słonecznej opisywane są za pomocą takich wielkości, jak natężenie promieniowania słonecznego, nasłonecznienie, a czasem także usłonecznienie (parametr opisujący warunki pogodowe). Wielkości te mogą określać potencjał energii słonecznej do wykorzystania w danej lokalizacji, jednak każda z nich na inny sposób. Przeanalizujemy definicje tych pojęć.

Natężenie promieniowania słonecznego jest to chwilowa wartość gęstości mocy promieniowania słonecznego, padającego w ciągu jednej sekundy na powierzchnię 1 m^2 . Wartość ta jest podawana zazwyczaj w W/m^2 lub kW/m^2 . Do granicy atmosfery Ziemi dociera ze Słońca w sposób ciągły strumień energii o mocy 1366 W/m^2 (tzw. stała słoneczna – patrz początek rozdziału). Natężenie promieniowania słonecznego, docierające do powierzchni ziemi, ulega ciągłym zmianom, zazwyczaj w przedziale $100\text{--}1000 \text{ W/m}^2$ w ciągu dnia.

Nasłonecznienie stanowi sumę natężenia promieniowania słonecznego w danym czasie i na danej powierzchni, np. suma natężenia promieniowania słonecznego w czasie godziny, dnia, roku na powierzchni 1 m^2 . Nasłonecznienie jest wielkością opisującą zasoby energii słonecznej w danym miejscu i czasie, najczęściej jest wyrażane w Wh/m^2 , kWh/m^2 , MJ/m^2 , GJ/m^2 – na dzień, miesiąc lub rok. Mnożąc wartość średniego natężenia promieniowania słonecznego przez czas, w jakim ono występuje, otrzymamy wielkość nasłonecznienia.

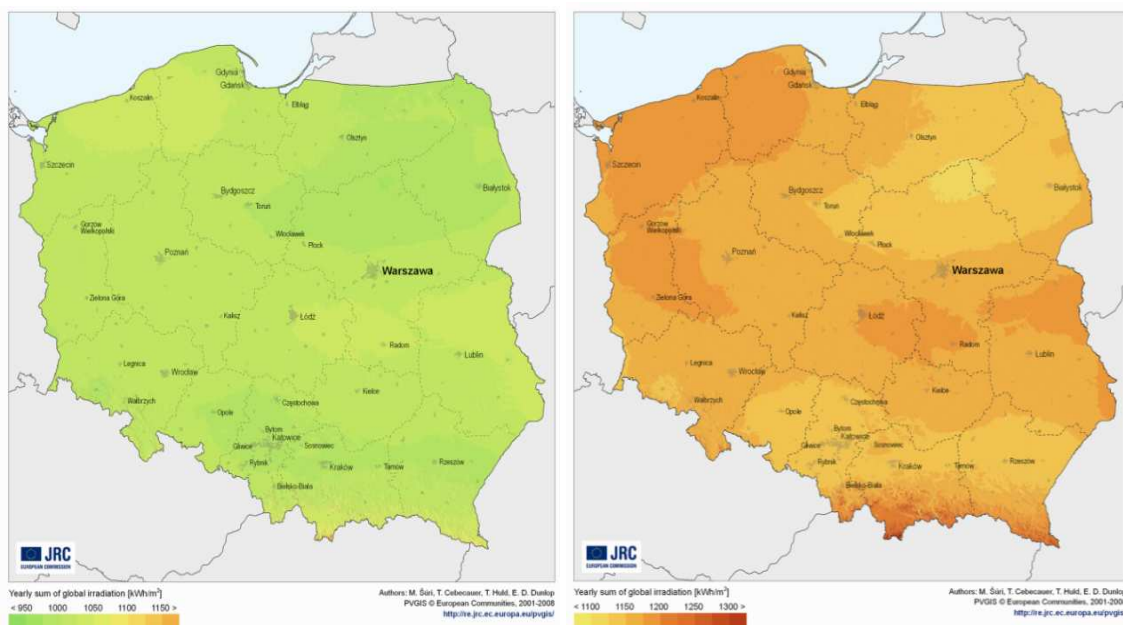
Usłonecznienie jest to liczba godzin słonecznych, czas podany w godzinach, podczas którego na powierzchnię Ziemi padają bezpośrednio promienie słoneczne. Jest to parametr opisujący głównie warunki pogodowe i w energetyce słonecznej służy szacowaniu warunków pracy instalacji, np. do wyliczania godzin pracy pompy cyrkulacyjnej w instalacji kolektorów słonecznych. Warunki klimatyczne, które m.in. opisuje usłonecznienie, determinują możliwości wykorzystania energii słonecznej, limitują również opłacalny okres eksploatacji instalacji słonecznych. W Polsce średnia wieloletnia wartość usłonecznienia jest największa dla Kołobrzegu i wynosi 1624 h/rok, odpowiednio dla Warszawy jest to 1579 h/rok, zaś dla Zakopanego 1467 h/rok [37].



Rys. 9.20. Mapa nasłonecznienia Polski na tle Europy

Źródła: [1, 26].

Zasoby energii słonecznej w postaci nasłonecznienia w Polsce wynoszą około 1000 kWh/m²/rok. Na tle europejskim można je uznać za przeciętne. Przykładowo, na południu Europy, w Hiszpanii czy we Włoszech, rocznie 1 m² otrzymuje blisko 2000 kWh energii słonecznej, natomiast w krajach na północy Europy, w Norwegii czy Szwecji – nieco ponad 500 kWh. Rejonizacja zasobów energii słonecznej w Polsce jest niewielka. Najwyższe nasłonecznienie, wynoszące ok. 1050 kWh/m²/rok ma południowa część województwa lubelskiego. W centralnej Polsce nasłonecznienie waha się od 1022 do 1048 kWh/m²/rok. Najniższe nasłonecznienie, wynoszące nieco poniżej 1000 kWh/m²/rok, występuje na północy Polski, w centralnej części województwa śląskiego, południowej części województwa dolnośląskiego i w południowej części Podkarpacia [26]. Na rys. 9.20 przedstawiono mapę nasłonecznienia Europy. Granice Polski zostały zaznaczone czerwoną linią.



Rys. 9.21. Mapy nasłonecznienia Polski: płaszczyzna horyzontalna (z lewej) i płaszczyzna pod kątem optymalnym (z prawej)

Mapa stanowi ilustrację nasłonecznienia powierzchni w płaszczyźnie poziomej. W instalacjach słonecznych można jednak uzyskać stosunkowo większą wartość tego parametru, ustawiając je pod odpowiednim kątem, zależnym od położenia geograficznego oraz pory roku. Na rys. 9.21 uwidoczniono nasłonecznienie terenu naszego kraju w obydwu wskazanych wariantach.

Dzięki poprawnemu zaprojektowaniu instalacji, z uwzględnieniem optymalnego kąta ich montażu, można zyskać wartość nasłonecznienia wyższą o ok. 20%, a co za tym idzie – większą moc urządzenia, czyli jeszcze większe oszczędności. Kąt optymalnego ustawienia modułów PV czy kolektorów słonecznych zmienia się wraz ze zmianą pór roku, jednak dla danej lokalizacji można wybrać roczny średni kąt optymalny. W tab. 9.3 zestawiono miesięczne i roczne wyniki nasłonecznienia dla współrzędnych geograficznych Łodzi, położonej w centrum Polski, w zależności od kąta ustawienia płaszczyzny padania promieni słonecznych. Dla tej lokalizacji symulator wybrał kąt optymalnego ustawienia paneli równy 36°.

Tabela 9.3

Wartości nasłonecznienia Łodzi dla różnych kątów nachylenia płaszczyzny

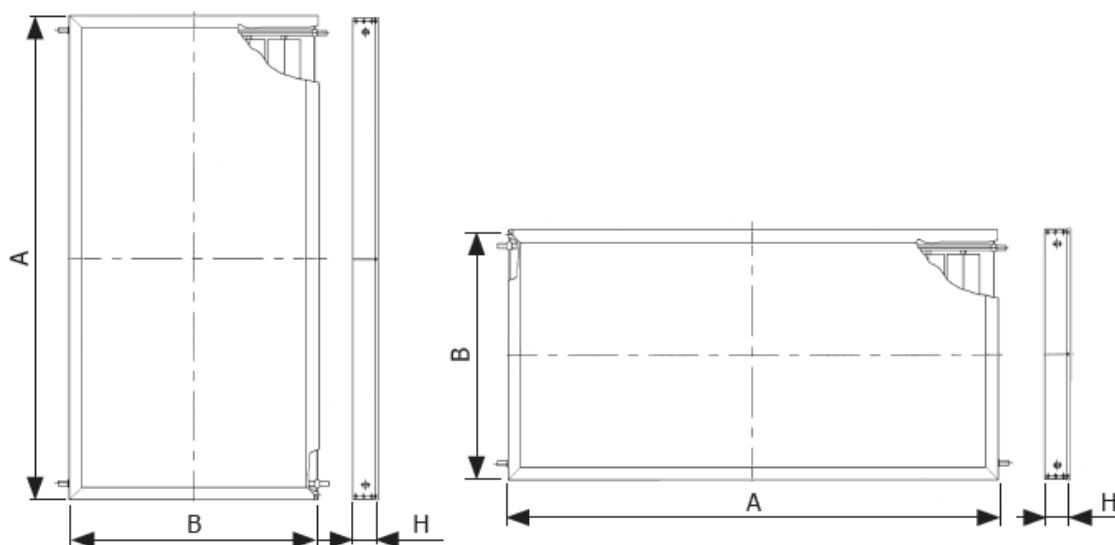
Miesiąc	Nasłonecznienie dla Łodzi w zależności od kąta nachylenia płaszczyzny [kWh/m ² /miesiąc]						
	0°	15°	25°	36°	45°	60°	90°
Styczeń	21	27	31	34	36	38	36
Luty	37	47	52	57	59	61	54
Marzec	75	86	92	96	97	96	78
Kwiecień	110	120	123	124	122	115	83
Maj	157	164	164	161	156	140	92
Czerwiec	149	152	150	145	139	123	78
Lipiec	160	164	164	160	153	137	87
Sierpień	136	146	149	149	146	135	94
Wrzesień	85	96	101	104	104	101	79
Październik	56	70	77	83	86	87	76
Listopad	24	32	36	39	41	43	40
Grudzień	15	20	22	25	26	28	26
Nasłonecznienie roczne [kWh/m ² /rok]	1025	1123	1161	1176	1166	1103	823

Źródło: opracowanie własne na podstawie PVGIS [1].

Korzystając z ogólnodostępnego symulatora i bazy meteorologicznej PVGIS, można z łatwością dobrać kąt optymalny dla danej lokalizacji na terenie całej Europy. Otrzymane w ten sposób dane dotyczące optymalnego usytuowania płaszczyzny, na którą padają promienie słoneczne, zostały wykorzystane w projekcie koncepcyjnym osiedla.

9.4.2. Hybrydowa mikroelektrownia słoneczna

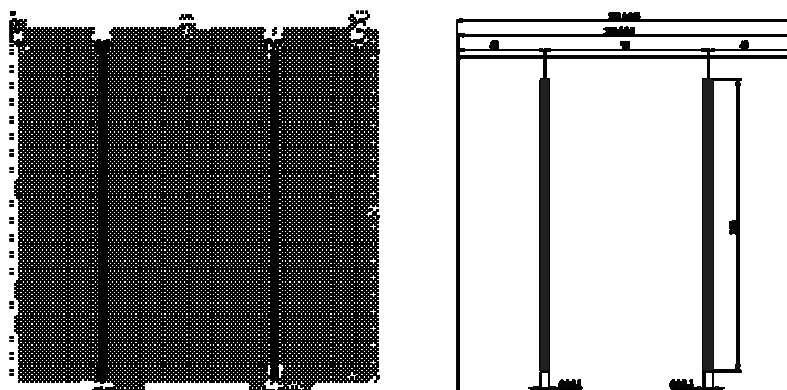
Hybrydy solarne zostały zaprojektowane w liczbie 28 sztuk na dachu budynku gospodarczego, tworząc mikroelektrownię słoneczną z odzyskiem ciepła na potrzeby wstępnego podgrzewania wody użytkowej. Ten specjalnie wydzielony budynek mieści w sobie główny bufor ciepła, cały system automatyki i sterowania, falowniki wraz z systemem rozprowadzenia energii elektrycznej między mieszkańców i odprowadzenia do sieci publicznej. Dokładny opis i budowa budynku gospodarczego przedstawione zostały w rozdziale 2.



Rys. 9.22. Schemat budowy zastosowanego kolektora do montażu pionowego (z lewej) i poziomego (z prawej);
 $A = 2272 \text{ mm}$, $B = 1026 \text{ mm}$, $H = 94 \text{ mm}$

Ponieważ hybrydowe systemy solarne nie stanowią przedmiotu masowej produkcji i nie są dostępne komercyjnie, projekt przewiduje także ich budowę z zastosowaniem składowych elementów konstrukcyjnych. Projekt hybrydowej mikroelektrowni słonecznej zakłada budowę zestawów solarnych z kolektorami płaskimi Aparel i mutlikrystalicznymi krzemowymi ogniwami Motech. Na rys. 9.22 przedstawiono schemat zastosowanego kolektora w zależności od orientacji jego montażu w pozycji pionowej lub poziomej, wraz z wymiarami zewnętrznymi. W kolektorze znajdują się pionowe miedziane rury przepływowe o średnicy zewnętrznej \varnothing 8 mm, połączone z poziomą rurą zbiorczą \varnothing 18 mm od góry i od dołu układu.

Na powierzchnię jednego kolektora przypada 78 pojedynczych ogniw fotowoltaicznych: 13 w kierunku wymiaru A i 6 w wymiarze B. Pozwoli to na uzyskanie szczytowej mocy elektrycznej z jednego modułu, równej niemal $320 W_p$, co w przeliczeniu na liczbę modułów daje moc znamionową mikroelektrowni blisko $9 kW_p$ ($8,96 kW_p$). Schematyczną budowę zastosowanego ogniwa przedstawiono na rys. 9.23.



Rys. 9.23. Schemat budowy zastosowanego ogniwa fotowoltaicznego: strona przednia (z lewej) i tylna (z prawej); wymiary: dł. = 156 mm, szer. = 156 mm, grubość = 200 μ m

Źródło: [16].

Przednia strona ogniwa pokryta jest niebieską antyrefleksyjną powłoką z azotku krzemu i dwoma głównymi szynami kontaktów srebrnych o grubości 2 mm. Spód ogniwa stanowi aluminiowe pokrycie całej powierzchni z dodatkiem 4 mm srebrnych pasków lutowniczych. Ogniwa fotowoltaiczne zostały zaprojektowane w module w połączeniu

szeregowym, co pozwala uzyskać wyższe wartości napięcia wyjściowego. Poszczególne kolektory słoneczne są natomiast przewidziane w połączeniu równoległym, umożliwiającym bardziej równomierny rozkład temperatury w kolejnych urządzeniach. Parametry słonecznej hybrydowej mikroelektrowni z odzyskiem ciepła zostały zestawione w tab. 9.4, natomiast na rys. 9.24 widnieje schematyczne połączenie równoległe dwóch zestawów, składających się z sześciu także równoległe połączonych kolektorów.

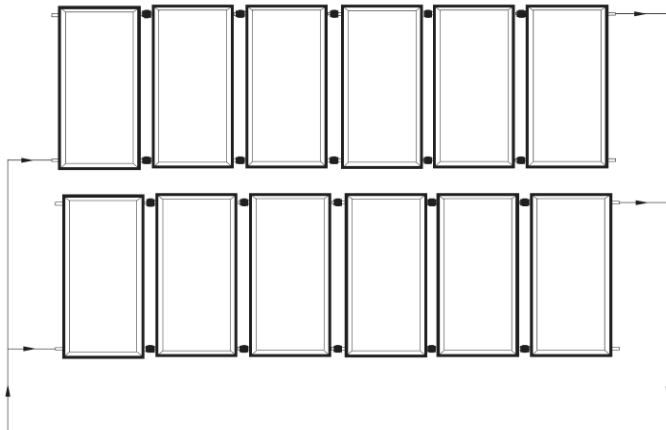
Tabela 9.4

Parametry składowych części hybrydowej mikroelektrowni słonecznej

Element składowy	Kolektor płaski		Ogniwo PV multikrystaliczne	
Parametry konstrukcyjne	wymiary [mm]	2272 × 1026	wymiary [mm]	156 × 156
	grubość [mm]	94	grubość [μm]	200
	ciężar [kg]	43	przednia strona kontakt [mm]	powłoka Si ₃ N ₄ srebrny 2
	izolacja cieplna [mm]	welna mineralna 50	spodnia strona kontakt [mm]	pokrycie Al srebrny 4
Parametry pracy	max ciśnienie robocze [bar]	6	sprawność [%]	16,8
			P_{max} [W]	4,1
	objętość płynu w kolektorze [dm ³]	1,1	I_m / I_{sc} [A]	8/8,5
			V_m / V_{oc} [V]	0,5/0,6
Liczba w systemie	28		2 184 (78 na kolektor)	
Obudowa	Wanna aluminiowa			
Pokrywa przednia	Hartowana szyba solarna o grubości 4 mm			

Źródło: opracowanie własne na podstawie [16, 28].

Zapotrzebowanie na energię cieplną umożliwiającą przygotowanie ciepłej wody użytkowej zostało oszacowane na poziomie 15,5 kWh na dobę w przeliczeniu na dom. Pozwala to na podgrzanie 300 l/dobę, co daje zapotrzebowanie miesięczne ok. 470 kWh i roczne rzędu 5700 kWh. Mnożąc te wielkości przez liczbę domów, wchodzących w skład osiedla (9), otrzymujemy odpowiednio zapotrzebowanie 4,2 MWh/miesiąc i 51,3 MW/rok. Do tego należałoby doliczyć straty przesyłowe oraz zapotrzebowanie w budynku gospodarczym.



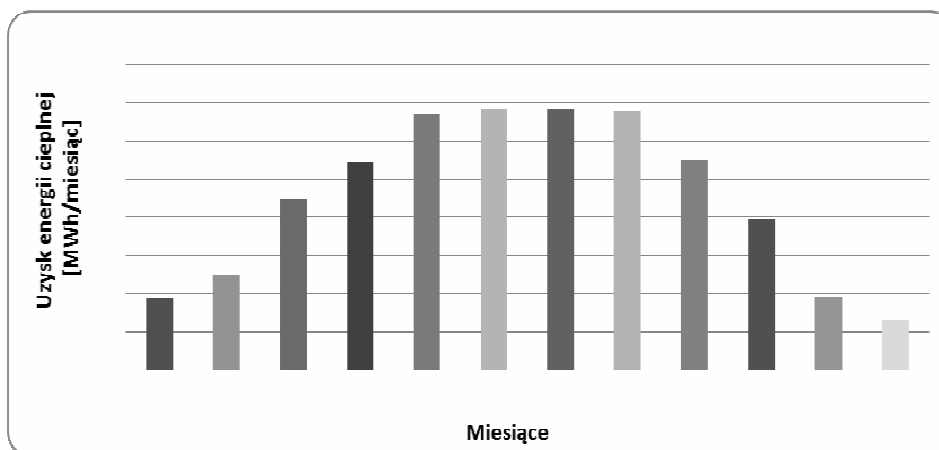
Rys. 9.24. Schemat równoległego połączenia hydraulicznego kolektorów w hybrydowym systemie solarnym

Źródło: [28].

Na tym etapie jednak te składowe zostaną pominięte. Część całkowitego zapotrzebowania na ciepło do podgrzewania wody użytkowej będzie pokryta przez hybrydowe systemy solarne, szczególnie w okresie od kwietnia do września. Pozostała energia, niezbędna do zaspokojenia potrzeb CWU (także CO), będzie wytworzona w specjalnie zaprojektowanej kogeneracyjnej mikrośirowni na biomasę z obiegiem ORC. Szczegóły dotyczące mikrośirowni i jej integracji ze słonecznym systemem hybrydowym przedstawione zostały

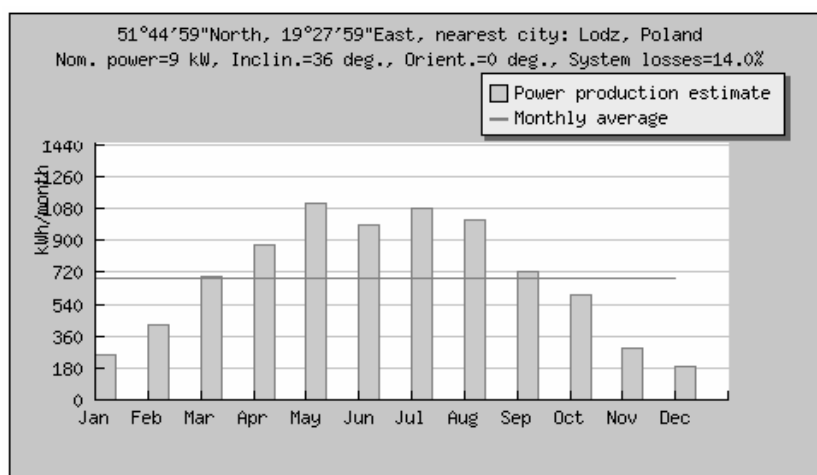
w rozdziałach 7. i 8. Wykres widoczny na rys. 9.25 obrazuje wyniki symulacji produkcji energii cieplnej przez zaprojektowany system hybrydowy przy założeniu, że kolektory wchodzące w skład systemu wytwarzają jedynie połowę ciepła w stosunku do układów niezależnych. Założenie to wynika z rezultatów badań przeprowadzonych na urządzeniach prototypowych, które wskazywały podobną zależność (patrz podrozdział 9.3.2) Sumaryczny roczny odzysk energii cieplnej z układu wynosi w takim przypadku 54,23 MWh.

Pomimo celowego zmniejszenia sprawności kolektorów, wchodzących w skład hybrydowego systemu solarnego, jest on w stanie pokryć znaczną część zapotrzebowania na energię potrzebną do przygotowania ciepłej wody użytkowej (patrz rys. 9.20). Jest to szczególnie widoczne w okresie wiosenno-letnim. Priorytetową odmianą energii generowanej przez zintegrowany system solarny jest jednak energia elektryczna. Jak już wcześniej wspomniano, zaprojektowane panele fotowoltaiczne charakteryzują się łączną nominalną mocą szczytową równą w przybliżeniu 9 kW_p . Wyniki symulacji w skali rocznej dla takiej wartości, w warunkach klimatycznych Polski centralnej (Łódź), przy orientacji paneli pod kątem 36° , przedstawiono na rys. 9.26. Wynika z tego, że średnio mikroelektrownia produkuje dziennie 23 kWh, natomiast rocznie 8 228 kWh.



Rys. 9.25. Roczna produkcja energii cieplnej dla osiedla – zintegrowany system solarny (przy założeniu zmniejszenia sprawności o połowę w stosunku do danych producenta)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z Aparel [28].



Rys. 9.26. Energia elektryczna produkowana dla osiedla przez hybrydową mikroelektrownię słoneczną

Źródło: opracowanie własne na podstawie PVGIS [1].

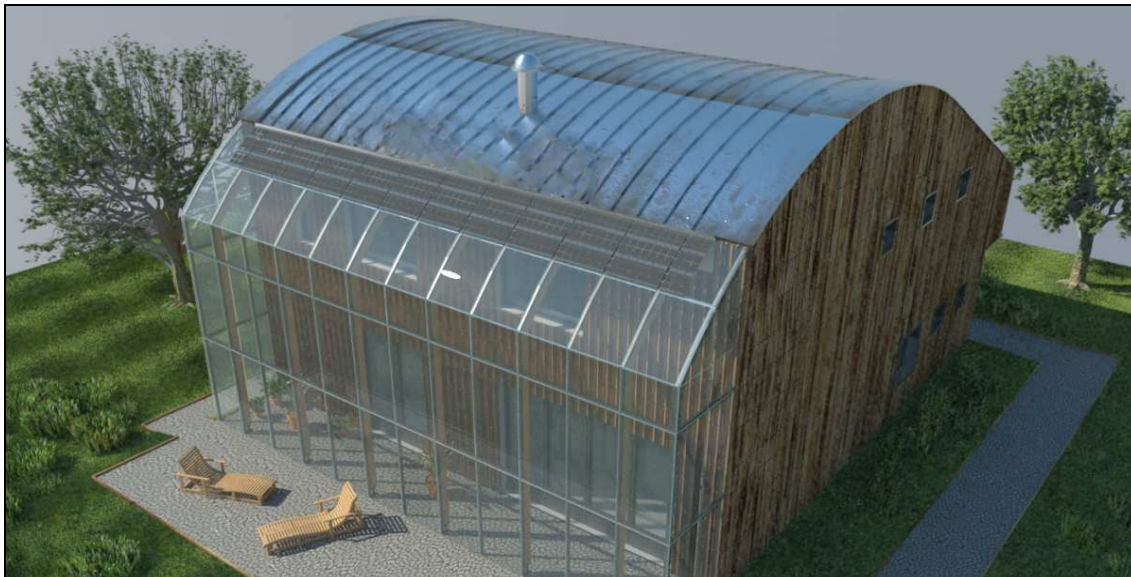
Ze względu na to, że dokładne obliczenie zapotrzebowania na energię elektryczną jest dość skomplikowane i zależy w bardzo dużej mierze od indywidualnych potrzeb i świadomości ekologicznej użytkowników, w tej kwestii przyjęte zostały pewne przedziały szacunkowe. Zakładając zapotrzebowanie na energię elektryczną jednego domu w granicach od 2000 do 4000 kWh rocznie (z uwzględnieniem energooszczędności, racjonalnego gospodarowania energią i wysokiej świadomości użytkowników), można prognozować zapotrzebowanie projektowanego osiedla na 20–40 MWh na rok. Hybrydowa mikroelektrownia słoneczna o opisanych parametrach produkuje rocznie nieco ponad 8 MWh, czyli nie jest w stanie pokryć nawet połowy tych potrzeb. System energetyczny osiedla stanowi jednak rozbudowaną sieć rozproszoną, wyposażoną dodatkowo w możliwość pozyskiwania energii elektrycznej w systemie kogeneracji z biomasy (rozdział 7) oraz bezpośrednio z energii wiatru (rozdział 10). Dzięki takiej dywersyfikacji źródeł możliwa jest większa niezależność energetyczna i nieco bardziej równomierna produkcja energii. Projekt osiedla zakłada również podłączenie do sieci publicznej, nie tylko dla zabezpieczenia przed sezonowo niższym poziomem energii uzyskiwanej z OZE, lecz także w celu oddawania nadmiaru energii i bilansowania dzięki temu jej kosztów. Schemat i metodę podłączenia niezależnych źródeł energii elektrycznej do sieci publicznej przedstawiono w podrozdziale 9.3.

9.4.3. Implementacja systemu BIPV

Opcjonalnym przewidzianym rozwiązaniem dodatkowego pozyskiwania energii elektrycznej z promieniowania słonecznego, w pełni indywidualnie dopasowanym do każdego użytkownika/domu, jest zastosowanie systemów BIPV (patrz podrozdział 9.1), zintegrowanych z przeszkleniem werandy. Integracja ogniw fotowoltaicznych z zabudową werandy, która w każdym domu wchodzącym w skład projektowanego osiedla skierowana jest fasadą w kierunku południowym, będzie zrealizowana w sposób, zilustrowany na rys. 9.28. Pojedyncze ogniwa PV są zabudowane w szkle (zaizolowane pomiędzy dwoma szklanymi szybami) i rozłożone celowo w sposób bardziej „rozstrzelony” niż w tradycyjnych modułach. Taki układ pozwala na uzyskanie częściowego zacienienia w danym obiekcie czy pomieszczeniu, przy jednoczesnym wpuszczeniu oświetlających go promieni słonecznych.

W przypadku projektu „Osiedle 2020” takie rozwiązania fotowoltaiczne są przewidziane do zintegrowania z dachem lub fasadą szklanej zabudowy werandy. Do wyboru przyszłych użytkowników każdego z domów pozostanie decyzja o zastosowaniu dodatkowych modułów BIPV, co z pewnością zwiększy nieco koszty początkowe inwestycji, jed-

nak pozwoli na osiągnięcie korzyści finansowych w przyszłości. Zgodnie z decyzją potencjalnego nabywcy danej nieruchomości, dobrana będzie także wielkość instalacji oraz jej usytuowanie, możliwe w dowolnym miejscu dachu lub fasady przeszklonej zabudowy. Najprostszy, a zarazem najbardziej efektywny energetycznie układ przedstawiono za pomocą wizualizacji (rys. 9.27).



Rys. 9.27. Przykładowa realizacja systemu BIPV w domu „Osiedla 2020”

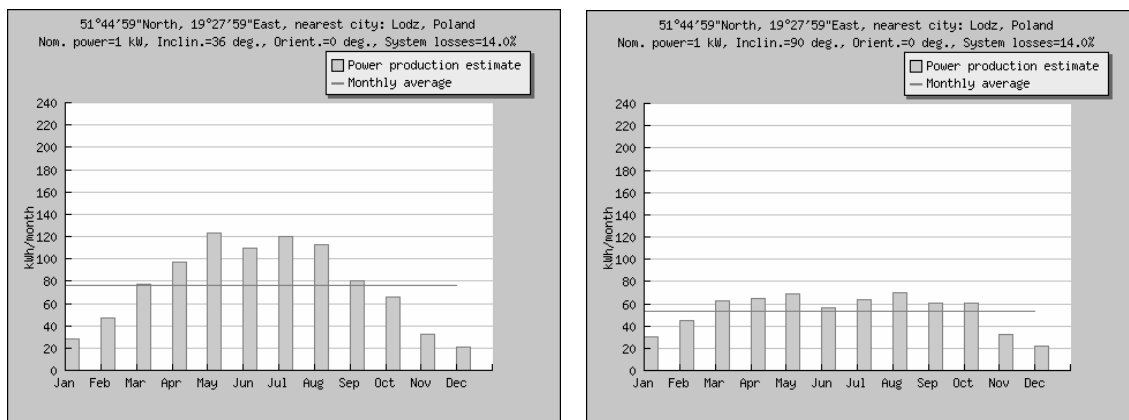
Źródło: praca konkursowa do miesięcznika „Murator” (A. Klimek z zespołem).

W zależności od wyboru miejsca realizacji zintegrowanego z zabudową systemu fotowoltaicznego (dach lub fasada), zmienne będą wartości rocznego i miesięcznego uzyskiwania z nich energii elektrycznej. Oto przykładowa instalacja w obydwu wariantach:

- umieszczenie systemu fotowoltaicznego na dachu przeszklonej zabudowy werandy, usytuowanym pod kątem 36° do płaszczyzny poziomej (pochylenie dachu werandy zostało specjalnie dobrane do systemu PV w zakładanej lokalizacji);

- zintegrowanie modułów PV ze szklaną fasadą zabudowy, co naturalnie orientuje je pod kątem 90° do poziomu.

Dla ułatwienia porównywania w obydwu analizowanych wersjach została założona identyczna moc nominalna modułów, równa 1 kW_p . Instalacja o takiej mocy, przy zastosowaniu ogniw fotowoltaicznych opisanych w podrozdziale 9.4.2 (z uwzględnieniem jej półprzezroczystości) zajmie powierzchnię ok. $7\text{--}7,5 \text{ m}^2$ (co powoduje usytuowanie ogniw na całej szerokości zabudowy werandy i wysokości ok. 1 m). Otrzymanie zakładanej wartości mocy instalacji wymaga zastosowania 250 sztuk proponowanych ogniw fotowoltaicznych. Na rys. 9.28 przedstawiono symulację rocznego rozkładu uzysku energii w kWh na miesiąc w zależności od wariantu montażu: dach (36°) – lewa strona, fasada (90°) – prawa strona. Obie symulacje sporządzone zostały dla warunków klimatycznych szerokości geograficznej odpowiadającej centrum Polski (Łódź).



Rys. 9.28. Roczny uzysk energii elektrycznej produkowanej przez ogniwa PV o mocy nominalnej 1 W_p , w warunkach klimatycznych Łodzi, w zależności od orientacji modułu: dach od strony południowej pod kątem 36° (z lewej), południowa fasada (z prawej)

Źródło: opracowanie własne na podstawie PVGIS [1].

Z przedstawionych wykresów wynika, że wariantem bardziej opłacalnym pod względem energetycznym jest usytuowanie systemu BIPV na pochylonym dachu. W takim rozwiązaniu średni miesięczny uzysk energii elektrycznej produkowanej przez system fotowoltaiczny wynosi niemal 80 kWh/miesiąc , podczas gdy w przypadku fasady jest to wartość niespełna 60 kWh/miesiąc . Średnie wartości dzienne wynoszą $2,5 \text{ kWh/dzień}$ dla systemu dachowego i $1,75 \text{ kWh/dzień}$ dla fasady. Wartości uzysku rocznego zostały

obliczone na poziomie 914 kWh/rok i 638 kWh/rok, odpowiednio dla instalacji pod kątem do płaszczyzny poziomej równym 36 i 90°. Montaż systemu fotowoltaicznego na dachu pochylonym pod optymalnym dla danej lokalizacji kątem pozwoli uzyskać aż o 43% więcej darmowej energii elektrycznej w ciągu roku w stosunku do instalacji fasadowej. System BIPV, zintegrowany z fasadą zabudowy werandy, ma jednak pewne zalety związane z większą równomiernością pozyskiwania energii na przestrzeni całego roku. Różnice między uzyskiem energetycznym w miesiącach wiosenno-letnich i jesienno-zimowych nie są aż tak znaczące jak w przypadku układu pod kątem optymalnym. Ponadto o wyborze danego wariantu mogą również decydować względy estetyczne, które są definiowane dla każdego indywidualnie, lub też chęć zacieniania konkretnego miejsca wewnątrz pomieszczenia. Dlatego też aspekt ten został pozostawiony do decyzji potencjalnego właściciela konkretnej posesji, wchodzącej w skład osiedla. Rozwiązaniem alternatywnym jest także zastosowanie systemu mieszanego z częścią ogniw umieszczonych na dachu i częścią na fasadzie.

LITERATURA

- [1] *Baza meteorologiczna PVGIS*, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis> (dostęp 7.01.2012).
- [2] Bellis M., *History: Photovoltaics Timeline*, The New York Times Company, New York 1997.
- [3] Brinkworth B., *Energia słoneczna w służbie człowieka*, PWN, Warszawa 1979.
- [4] Duffie J. A., Beckman W. A., *Solar Engineering of Thermal Processes*, Wiley-Interscience, New York 1991.
- [5] Falewicz R., *Przewodnik po Słońcu*, Instytut Astronomiczny Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław 2005.
- [6] <http://www.altbio.pl> (dostęp 20.12.2011).
- [7] <http://aside.pl> (dostęp 20.12.2011).
- [8] <http://buildersavvy.com> (dostęp 20.12.2011).
- [9] <http://climate.nasa.gov> (dostęp 20.12.2011).
- [10] <http://domusweb.it> (dostęp 20.12.2011).
- [11] <http://metalroofsss.com> (dostęp 20.12.2011).
- [12] <http://pl.immergas.com> (dostęp 20.12.2011).
- [13] <http://postcarbon.pl> (dostęp 20.12.2011).
- [14] <http://windweathersolar.com> (dostęp 7.01.2012).
- [15] <http://www.geni.org> (dostęp 20.12.2011).
- [16] <http://www.motechsolar.com>, (dostęp 7.01.2012).
- [17] <http://www.philadelphia-solar.com> (dostęp 7.01.2012).

- [18] <http://www.pvdatabase.org> (dostęp 20.12.2011).
- [19] <http://www.pv-magazine.com> (dostęp 20.12.2011).
- [20] <http://www.sapa-solar.com> (dostęp 20.12.2011).
- [21] <http://www.schueco.pl> (dostęp 20.12.2011).
- [22] <http://www.solarcentury.co.uk> (dostęp 20.12.2011).
- [23] <http://www.thermico.p>, (dostęp 20.12.2011).
- [24] <http://www.ukladsloneczny.com.pl> (dostęp 20.12.2011).
- [25] <http://www.wolf-heiztechnik.de> (dostęp 20.12.2011).
- [26] <http://zielonaenergia.eco.pl> (dostęp 7.01.2012).
- [27] Kim S., Lim D., Kim W., Yi J., *The optimization of poly-si solar cell*, Conference Proceedings of 5th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials 1997.
- [28] *Kolektory słoneczne, instalacje solarne*, Zakład Aparatury Elektrycznej ERGOM, Łódź 2010.
- [29] Lewandowski W. M., *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007.
- [30] Markvart T., Castaner L., *Solar Cells: Materials, Manufacture and Operation*, Elsevier, Oxford 2005.
- [31] Martin J., *BIPV: Building-integrated Photovoltaics, the future of PV*, Solar Choice, Sydney 2011.
- [32] Norma Europejska: IEC 60904-1 *Photovoltaic devices – Part 1: Measurement of PV current-voltage characteristics*, International Electrotechnical Commission IEC, 2006.
- [33] Polskie Normy, *Energetyka słoneczna: PN-EN 12975-1, 2007 ; Słoneczne systemy grzewcze i ich elementy – kolektory słoneczne, cz. 1 : Wymagania ogólne ; PN-EN 12975-2, 2007, Słoneczne systemy grzewcze i ich elementy – kolektory słoneczne, cz. 2 : Metody badań*.
- [34] Pietrzko D., *Pomiary właściwości termicznych ogniw i modułów słonecznych*, praca magisterska, Politechnika Łódzka, Łódź 2011.
- [35] Sibiński M., *Polikrystaliczne ogniwa słoneczne na bazie CdTe*, rozprawa doktorska, Politechnika Łódzka, Łódź 2007.
- [36] Smolec W., *Fototermiczna konwersja energii słonecznej*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
- [37] Szymański B., *Nastonecznienie, usłonecznienie i natężenie promieniowania słonecznego*, 2011, <http://solaris18.blogspot.com> (dostęp 7.01.2012).
- [38] Takehara T., Hayashi H., *Building Integrated Photovoltaics (BIPV) module design & experience in Japan*, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka 2003.
- [39] Teneta J., *Fotowoltaiczne systemy zasilania. Zielone prądy w edukacji*, Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej, Oddział Krakowski, Agencja Wydawniczo-Poligraficzna Art-Tekst, Kraków 2006.
- [40] Yang H., Fung Y., *Energy performance simulation and experiments of different BIPV facades*, Conference Proceedings of 6th International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management APSCOM, Honk-Kong 2003.

10. Połączenie elektryczne i zastosowanie turbin wiatrowych w projekcie osiedla

W rozdziale opisano metodę podłączenia sieci elektrycznej do każdego z domów w projekcie osiedla i sposób integracji małych turbin wiatrowych. Przedstawiono prognozowane parametry turbiny i generowanej mocy, wyjaśniono obawy przed nadmiernym hałasem i wpływem na sieć energetyczną oraz rozważono różne sposoby podłączenia. Wybrany i opisany jest najkorzystniejszy i najmniej kłopotliwy.

10.1. Wprowadzenie

Projektowanie połączeń elektrycznych w przypadku kilku domów jest zadaniem kłopotliwym. O ile w przypadku pojedynczego domu można pozwolić sobie na rozwiązania indywidualne, dopasowane do potrzeb danego mieszkańca, o tyle w przypadku kilku gospodarstw należy pójść na kompromis, zapewniający wygodne użytkowanie wszystkim uczestnikom projektu.

Najważniejszym kryterium projektowania sieci jest niezawodność, a dopiero na drugim miejscu pojawia się cena. Wprawdzie głównym założeniem projektu jest ograniczenie kosztów elektryczności i zminimalizowanie konsumpcji energii, nie można jednak dopuścić do sytuacji, w której użytkownicy będą całkowicie uzależnieni od kaprysów pogody. Z tego względu odnawialne źródła energii nie będą jedynymi dostawcami prądu w projekcie. Tradycyjne podłączenie do sieci krajowej zostanie utrzymane na wypadek zwiększonego zapotrzebowania na prąd lub małej wietrzności i nasłonecznienia.

Oprócz mikrośiłowni i paneli słonecznych, do zestawu „zielonych” źródeł dołączą także turbiny wiatrowe. Ich docelowa liczba będzie zależeć od zapotrzebowania mieszkańców na energię. W razie nadmiaru produkcji elektryczności zostanie ona sprzedana do sieci po korzystnej dla obu stron cenie (w przypadku zdobycia przez osiedle „zielonego certyfikatu” cena sprzedawanego prądu może być nawet wyższa od ceny kupowanego).

10.2. Moc produkowana a zapotrzebowanie na energię

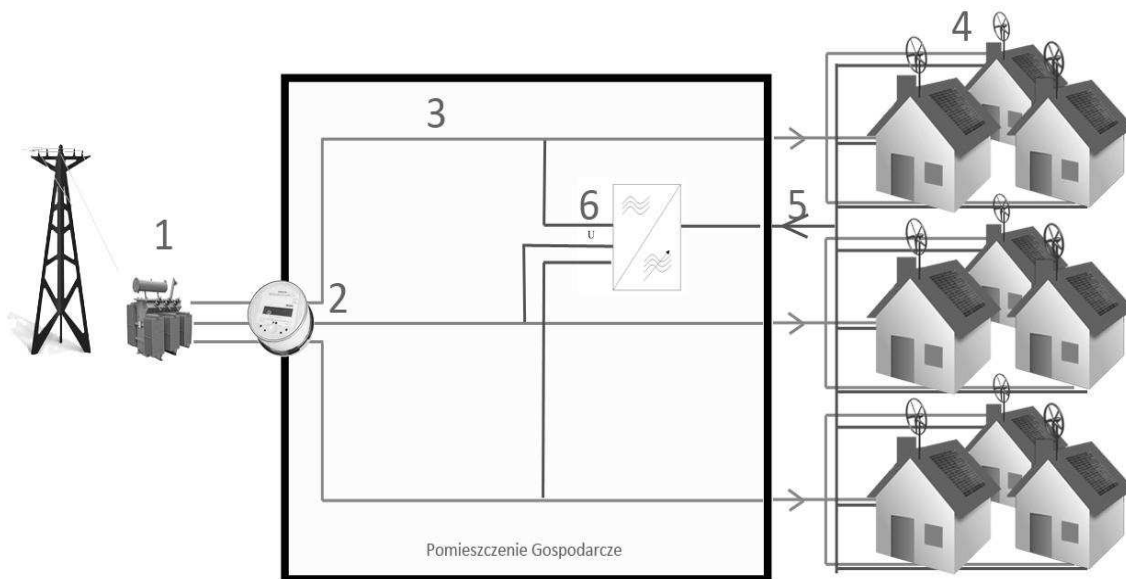
Nie da się oszacować ostatecznej liczby kilowatogodzin, wskazującej zużycie każdego z przyszłych mieszkańców. Nie znamy ich jeszcze, nie wiemy, jakie będą mieli przyzwyczajenia. Uśrednianie oparte na dotychczas zebranych danych pochodzących od innych odbiorców może być mylne, zwłaszcza, że w najbliższych latach można spodziewać się coraz niższej konsumpcji energii (coraz bardziej popularne żarówki energooszczędne, pralki i lodówki klasy energetycznej A+++ oraz większa świadomość społeczeństwa). Do projektowania pozostałych źródeł przyjęto ogólne oszacowanie, ale dokładniejsze dane będą dostępne dopiero po pierwszym roku eksploatacji.

Nie ma również możliwości precyzyjnego określenia nominalnej mocy paneli słonecznych i turbin wiatrowych. Zmienność pogody w ciągu roku jest tak duża, że jakiegokolwiek szacowanie, nawet oparte na najdokładniejszych danych pomiarowych dla danego regionu, jest tylko przybliżoną estymacją, która wcale nie daje gwarancji, że te same warunki będą panowały w następnym roku. Jedynym słusznym rozwiązaniem jest dokonanie pomiarów długoterminowych w lokalizacji, w której będzie się znajdować turbina wiatrowa. Duże znaczenie ma wiarygodne odwzorowanie warunków pracy w przyszłości (szczególnie wysokość nad ziemią i otoczenie planowanych budynków). Tego typu pomiary stosuje się jedynie w przypadku dużych inwestycji, dotyczących turbin wielkiej mocy.

W przypadku małych, tanich turbin (a takie właśnie będą zastosowane w osiedlu), zamiast inwestować w długie i kosztowne pomiary prędkości wiatru i nasłonecznienia, należy bardzo ogólnie oszacować przewidywaną moc na podstawie istniejących w regionie danych, aby w przybliżeniu policzyć, czy inwestycja będzie się opłacać. Następnie powinno się po prostu zadbać o prawidłową instalację (odpowiednio wysoki maszt dla każdego wiatraka i prawidłowe ustawienie paneli). Ze względu na możliwość sprzedaży energii do sieci i zastosowanie tanich turbin, inwestycja będzie na pewno opłacalna i zwróci się w krótkim czasie.

10.3. Schemat elektryczny

Jest wiele możliwości podłączenia elektrycznego dla osiedla – najbardziej korzystne przedstawiono na rys. 10.1. Schemat ten został opracowany z myślą o optymalnym wykorzystaniu wszystkich źródeł. Poszczególne punkty zaznaczone na rysunku wymagają objaśnienia.



Rys. 10.1. Schemat podłączenia elektrycznego dla domów w osiedlu

Źródło: opracowanie własne.

1. Osiedle będzie podłączone do najbliższej lokalnej sieci niskiego napięcia (230 V, prąd trójfazowy). Do tego punktu sieć należy do zakładu energetycznego.

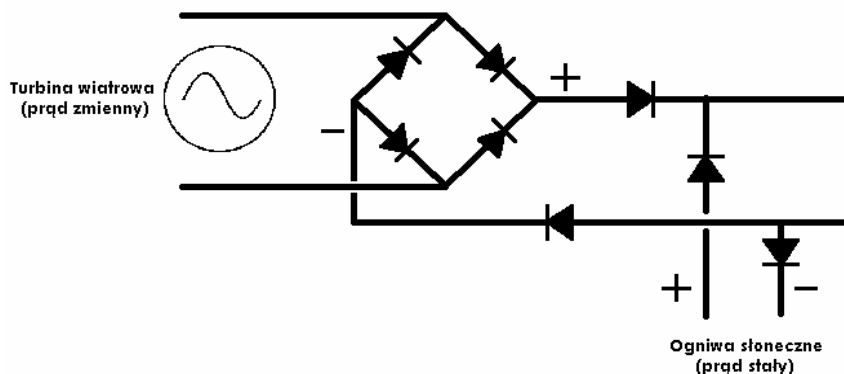
2. Trójfazowy licznik energii elektrycznej służy do rozliczania się osiedla z elektrownią. Licznik powinien mieć dwa wskazania – liczbę kilowatogodzin pobranych oraz oddanych do sieci. Dzięki temu możliwe będzie realne generowanie zysków z wyprodukowanej elektryczności. Licznik może mieć tylko jedno wskazanie, jeśli nie będzie przewidywana nadwyżka produkcji w stosunku do konsumpcji prądu. Ewentualny przepływ w drugą stronę będzie wtedy pomijany.

3. Każdy z domów będzie miał w założeniu podłączenie do jednej z faz. Na życzenie mieszkańców można zainstalować podłączenie trójfazowe do wybranego domu. Nie będzie to wymagało większych zmian oprócz zamiany licznika na trójfazowy i doprowadzenia dodatkowego kabla.

4. Posiadanie odnawialnych źródeł energii w każdym z domów nie jest narzuconym obowiązkiem i zależy od właścicieli. To niewątpliwie korzystna instalacja, jednak nie

można nikogo zmusić do dbania o własną turbinę lub okresowe czyszczenie paneli. Jeśli gospodarz zdecyduje się na te instalacje (lub tylko jedną z nich), dostanie dodatkowy licznik (licznik prądu stałego), wskazujący wyprodukowaną „zieloną” energię. Jego comiesięczny rachunek za energię będzie pomniejszany o odpowiednią kwotę w zależności od sprawności jego urządzeń. Dzięki temu każdy z właścicieli będzie dbał o swój wiatrak, chcąc zyskać dla siebie (a nie dla wszystkich sąsiadów) jak najwięcej. Oprócz wiatraków na domach osiedle będzie dysponować trzema wiatrakami umiejscowionymi na pomieszczeniu gospodarczym, które będą dobrem wspólnym.

5. Panele słoneczne i wiatraki będą podłączone do jednej linii, a odpowiedni układ diod półprzewodnikowych zapobiegnie zakłócaniu ich wzajemnej pracy.



Rys. 10.2. Podłączenie zabezpieczające przed napędzaniem wiatraka przez panele

Źródło: opracowanie własne

Prąd stały może być wykorzystywany bezpośrednio przez mieszkańców, ale nie jest dostosowany do zasilania większości urządzeń domowych. Nieprzystosowany prąd z wiatraka lub ogniw słonecznych można wykorzystać najwyżej do zasilania wentylacji lub grzałki elektrycznej, ale nie komputera, sprzętu muzycznego albo telewizora. Z tego względu skumulowany prąd z odnawialnych źródeł energii będzie dostarczany do falownika, który zamieni prąd stały na zmienny o odpowiedniej charakterystyce, co umożliwi podłączenie do sieci.

6. Falownik trójfazowy, znajdujący się w pomieszczeniu gospodarczym, będzie tańszym rozwiązaniem niż ustawianie pojedynczych urządzeń w każdym domu. Niestety,

wymaga poprowadzenia kabli w przeciwnym kierunku i uzależnia wszystkie gospodarstwa od prawidłowej pracy tego urządzenia (w przypadku awarii falownika prąd płynie zwyczajnie z sieci krajowej). Zdecydowaną zaletą tego rozwiązania jest możliwość korzystania z wiatraków sąsiadów. Jeśli wieje odpowiedni wiatr i turbiny wiatrowe wszystkich mieszkańców obracają się nawet z małą prędkością, a np. tylko 3 domy mają włączone urządzenia elektryczne, to ich całe zapotrzebowanie może być zaspokojone przez odnawialne źródła energii, bez pobierania prądu z sieci.

Największą przeszkodą w realizacji tego typu połączenia będzie uzyskanie pozwolenia od zakładu energetycznego na podłączenie źródła do sieci. W Polsce procedura ta trwa bardzo długo i jest wyjątkowo kosztowna. Istnieje jednak szansa, że przepisy w tej sprawie zmienią się niedługo za sprawą powstającej ustawy o odnawialnych źródłach energii, mającej wspierać energetykę rozproszoną.

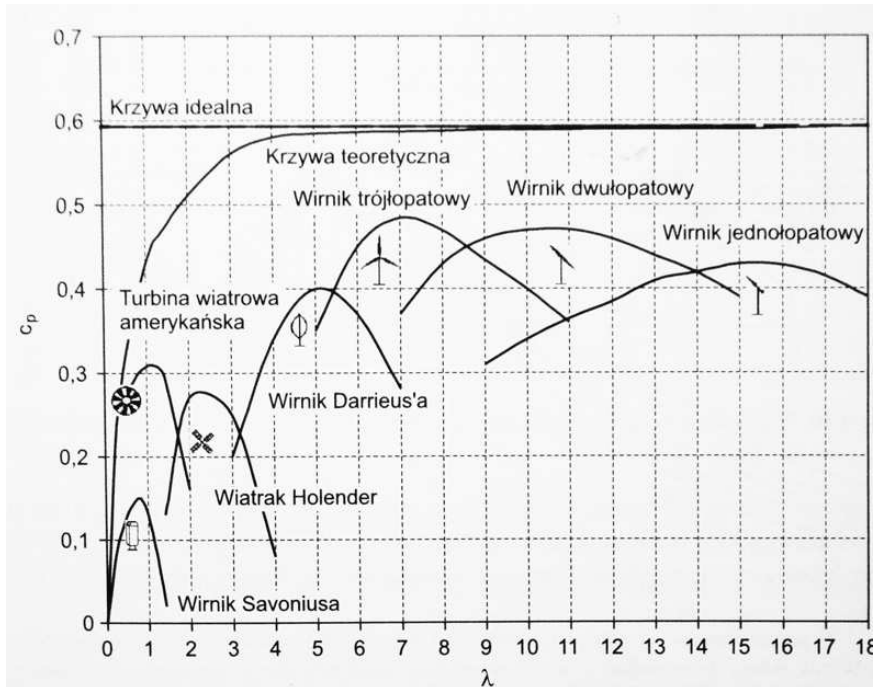
Schemat nie uwzględnia 3 turbin umieszczonych na dachu pomieszczenia gospodarczego ani paneli hybrydowych, lecz będą one podłączone do tego samego falownika, co pozostałe źródła. Wyjątek stanowi mikrosiłownia, podłączona niezależnie.

10.4. Energetyka wiatrowa

Praktycznie cała energia dostępna na Ziemi pochodzi od Słońca. Proces fotosyntezy powoduje wzrost roślin zielonych, dzięki czemu mogą rozwijać się wszystkie inne stworzenia z długiego łańcucha pokarmowego. Węgiel, gaz ziemny, ropa naftowa, a nawet wodór stanowią produkty działania promieni słonecznych oraz długotrwałych procesów chemicznych. Do pochodnych należy także ruch powietrza, spowodowany różnicą temperatury powierzchni Ziemi, ruch rzek wywołany opadami w pobliżu ich źródeł oraz np. morskie fale. Turbiny wiatrowe wykorzystują także pochodną energii słonecznej – siłę wiatru. Ich działanie nie zmieniło się od wieków i wciąż opiera się na podobnych zasadach. Główną różnicą między starymi wiatrakami holenderskimi a dzisiejszymi turbinami jest sposób wykorzystania energii (konwersja na elektryczność) i sprawność. Obecne techniki obliczeń komputerowych pozwalają na dokładne zaprojektowanie profili łopatek, generatora i pozostałych elementów tak, aby maksymalnie wykorzystać dostępną moc.

Wiatraki są stosowane w przypadku dużych farm, w których liczy się maksymalne wykorzystanie siły wiatru i szybki zwrot poniesionych (zazwyczaj bardzo wysokich)

kosztów wieloetapowej inwestycji. Obliczenia numeryczne oraz eksperymenty praktyczne i dane z eksploatacji, zebrane w ostatnim pięćdziesięcioleciu, wskazują wyraźnie, że najbardziej optymalną konstrukcją dla dużych prędkości wiatru jest wirnik trójłopatowy. Szczególnie dobrze sprawdza się on w dużych, ponad jednomegawatowych turbinach. Ten ciekawy fakt łatwo wyjaśnić (rys. 10.3).



Rys. 10.3. Zależność wskaźnika mocy (C_p) od wskaźnika szybkobieżności (λ)

Źródło: [4].

λ oznacza stosunek prędkości końcówki łopaty do prędkości wiatru, natomiast C_p jest stosunkiem mocy mechanicznej na wale turbiny do teoretycznej mocy kinetycznej pędzącego wiatru. Widoczna na wykresie linia pozioma oznacza maksymalną teoretyczną „sprawność” idealnej turbiny wiatrowej, równą niemal 0,6. Wartość ta wynika z następujących zależności.

Energia kinetyczna powietrza o masie m , poruszającego się z prędkością v jest równa

$$E = \frac{1}{2}mv^2.$$

Moc tego strumienia wynosi:

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2}\dot{m}v^2.$$

Dla określonej powierzchni A moc powietrza można wyliczyć ze wzoru:

$$P = \frac{1}{2}\rho Av^3,$$

gdzie ρ – gęstość powietrza. Z ostatniego równania wynika, że moc wiatraka (z dużym przybliżeniem) jest wprost proporcjonalna do trzeciej potęgi prędkości wiatru.

Gęstość powietrza zależy od ciśnienia i temperatury:

$$\rho = \frac{p}{RT}$$

przy czym p – ciśnienie powietrza, T – temperatura, R – stała gazowa.

Można wyliczyć gęstość powietrza na danej wysokości z przybliżonego wzoru, który ułatwi wstępne obliczenia dla konkretnej elektrowni

$$\rho = \rho_0 - 1,94 \cdot 10^{-4} \cdot H,$$

gdzie $\rho_0 = 1,225 \text{ kg/m}^3$ jest gęstością powietrza na poziomie morza w temperaturze 15°C .

Nie sposób odzyskać całą energię mechaniczną z wiatru, gdyż oznaczałoby to konieczność jego zatrzymania, co z oczywistych względów jest niemożliwe. Dla określenia mocy możliwej do uzyskania (P_{ww}), należy porównać energie kinetyczne wiatru przed wirnikiem i za nim:

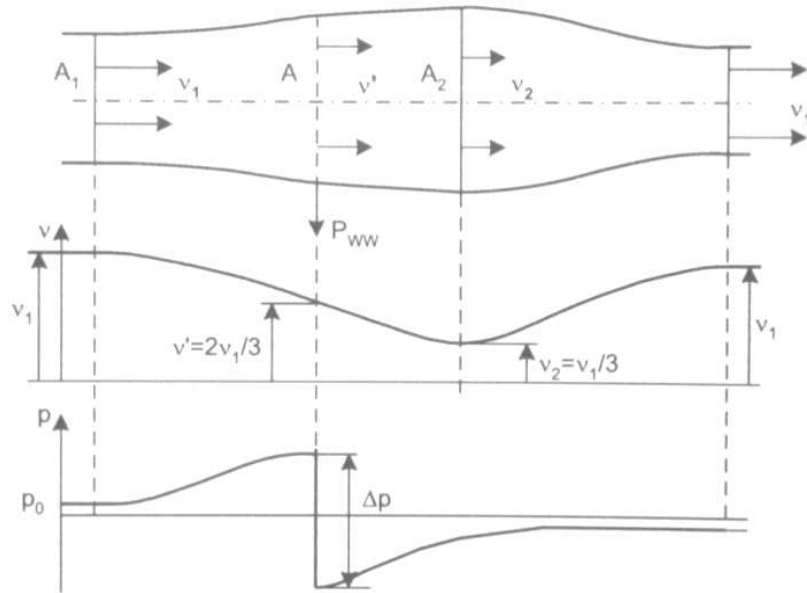
$$174 \quad P_{WW} = P_{wind1} - P_{wind2} = \frac{1}{2}\rho(A_1v_1^3 - A_2v_2^3)$$

Siła wywierana przez powietrze na powierzchnię wirnika jest równa:

$$F = m(v_1 - v_2)$$

A zatem moc mechaniczna wynosi

$$P_{ww} = Fv' = m(v_1 - v_2)v'$$



Rys. 10.4. Rozkład prędkości przed i za wirnikiem

Źródło: [4].

Według poprzednich założeń, teoretyczna prędkość wiatru w pobliżu wirnika v' jest równa średniej z prędkości v_1 i v_2 (rys. 10.4, 10.5)

$$v' = \frac{1}{2}(v_1 + v_2)$$

Podstawiając do wzoru prędkości otrzymujemy:

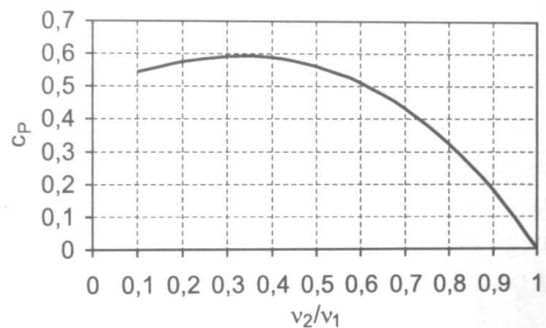
$$P_{wzw} = \frac{1}{4} \rho A (v_1^2 - v_2^2) (v_1 + v_2)$$

Bardziej przejrzysty jest wzór

$$P_{wzw} = c_p P_{wind} = c_p \frac{1}{2} \rho A v_1^3$$

Dla określenia maksymalnej wartości współczynnika mocy C_p należy znaleźć maksimum następującej funkcji

$$c_p = \frac{P_{wzw}}{P_{wind}} = \frac{1}{2} \left(1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right) \left(1 + v_2/v_1 \right)$$



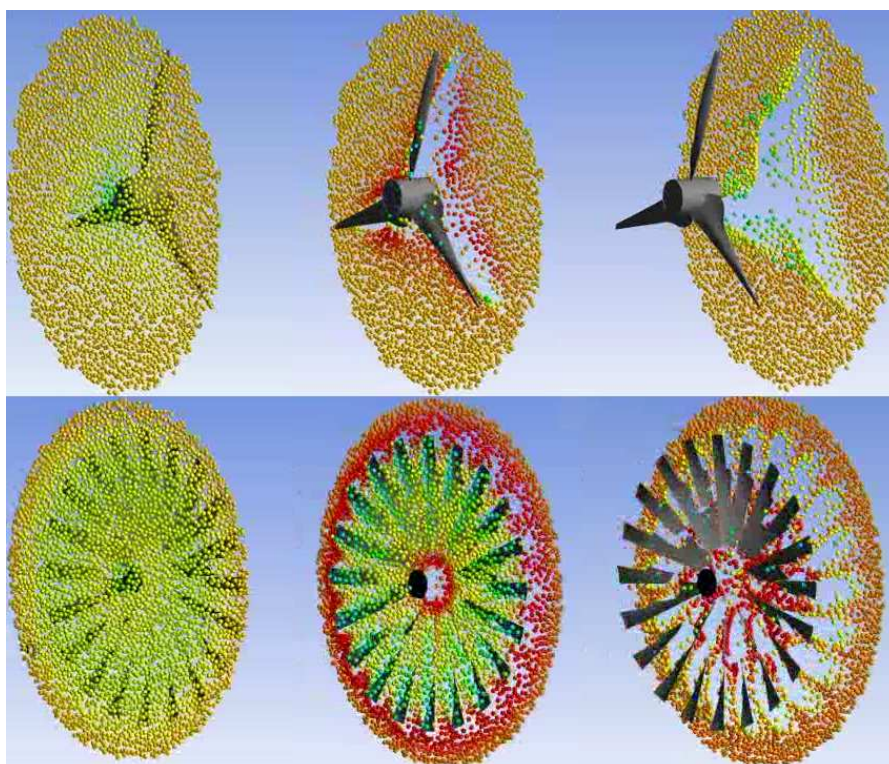
Rys. 10.5. Wartość współczynnika mocy dla różnego stosunku prędkości przed i za wirnikiem

Źródło: [4].

Wartość maksymalna wyliczonego współczynnika mocy wynosi 0,593 dla stosunku prędkości wiatru 1/3. Jest to maksymalna teoretyczna „sprawność” dowolnej turbiny wiatrowej. Faktyczna sprawność zależy od strat na przekładni, oporów przewodów, pracy generatora i mocy odbieranej. Najbliższe tej wartości są turbiny trzyłopatkowe. Wynika to stąd, że powietrze nalatujące na łopatki daje się „przerobić” w odpowiednio

krótkim czasie, zanim na jego torze pojawi się następna łopatka. W turbinach o większej liczbie łopatek powietrze może nie zdążyć „uciec” i negatywnie wpływa na pracę kolejnego profilu. Z kolei turbiny jedno- i dwułopatkowe nie wykorzystują całej mocy dostępnej w obszarze zataczanego przez nie koła. Nie oznacza to jednak, że jest to konstrukcja idealna, nawet najlepsze turbiny trójłopatkowe mają współczynnik C_p nie większy niż 48%.

Istotną wadą turbin o małej liczbie łopatek jest wysoka prędkość startowa. Aby wprawić wirnik w ruch, potrzebna jest duża początkowa prędkość wiatru. Przy małym wietrze turbina nie jest w stanie wirować, traci spora część energii, która mogłaby zostać wykorzystana. Różnicę pomiędzy tymi dwoma podejściami przedstawiono na rys. 10.6.

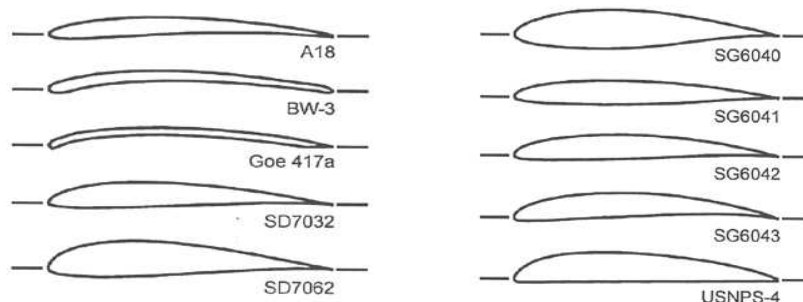


Rys. 10.6. Przepływ powietrza przy małej prędkości wiatru

Źródło: [6].

Turbiny o wielu łopatkach mają znacznie większy moment rozruchowy, nadają się też lepiej do napędzania urządzeń wymagających dużej siły (np. pomp wodnych). Jednak przy większych prędkościach stawiają zbyt duży opór dla wiatru, który „widzi” je jak jednolity dysk. Z tych względów turbiny wiatrowe projektuje się, uwzględniając konkretny zakres prędkości.

Głównym elementem podlegającym projektowaniu są łopatki. Muszą mieć odpowiedni kształt, aby optymalnie wykorzystać warunki przepływowe i zapobiegać powstawaniu turbulencji. Istotą kształtu łopatki są profile. Zwykle wykorzystuje się profile podobne do stosowanych w projektowaniu skrzydeł samolotów lub śmigieł lotniczych (rys. 10.7).



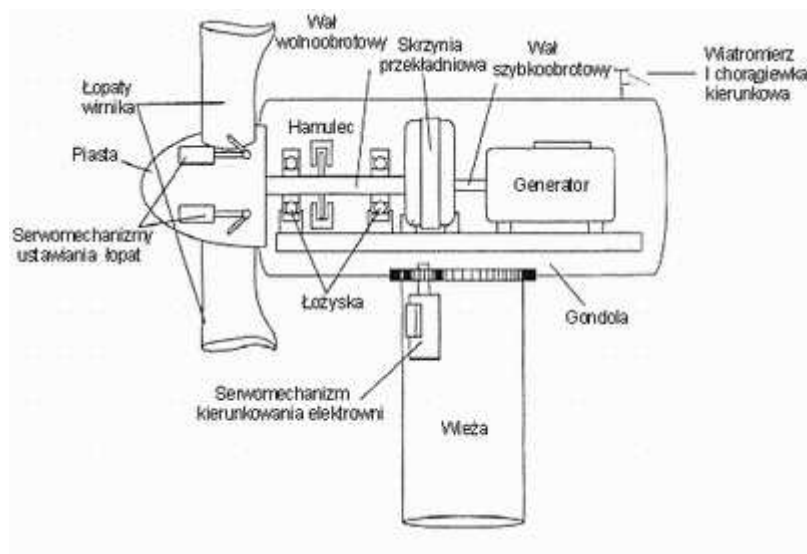
Rys. 10.7. Przykładowe profile wykorzystywane przy projektowaniu turbin wiatrowych

Źródło: [6].

Kształt przekroju na każdej wysokości łopatki jest inny ze względu na jej ruch obrotowy. Im dalej od osi obrotu, tym szybciej powietrze przepływa przy powierzchni, a więc kształt profilu robi się bardziej opływowy, aby nie stawiał oporów. Pozostałe elementy dużych turbin wiatrowych również wymagają odpowiedniego zaprojektowania. Do prawidłowego działania niezbędne są: generator, przekładnia i mechanizm kierunkowania (rys. 10.8).

Szczególnie ważne jest dobranie właściwego przełożenia przekładni. Zazwyczaj łopatki turbin poruszają się dosyć wolno. Do generowania prądu niezbędna jest duża prędkość obrotowa wirnika generatora. W przypadku dużych turbin energetycznych jest to zazwyczaj 3000 obrotów/min, które powodują, że częstotliwość sieci wynosi 50 Hz, podczas gdy częstotliwość obrotu łopatek zazwyczaj nie przekracza kilku Hz. Stosowanie

takich przekładni (szczególnie w małych turbinach wiatrowych) pociąga za sobą powstawanie strat w pobliżu zębatek. Często zbyt duże przełożenie sprawia, że uruchomienie wiatraka jest utrudnione przez hamowanie tarczym statycznym.



Rys. 10.8. Pozostałe elementy gondoli turbiny wiatrowej

Źródło: [7].

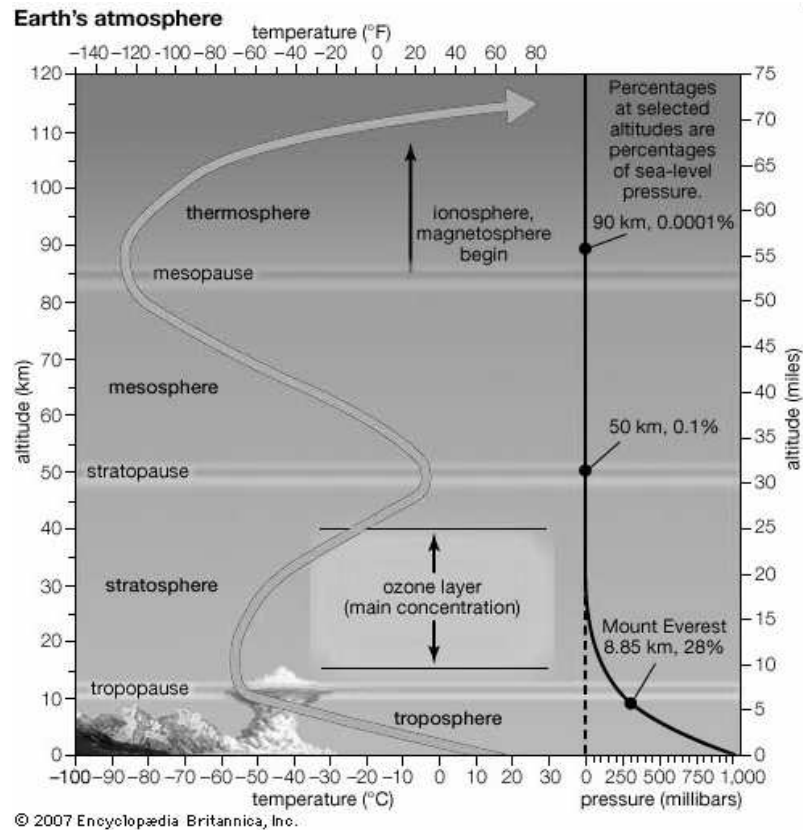
Sposobem ominięcia części niezbędnego przełożenia jest stosowanie generatorów wolnoobrotowych. W odróżnieniu od tradycyjnych, mają one więcej par biegunów, ułożonych na większym promieniu. Generatory wolnoobrotowe kształtem przypominają bardziej placki niż puszkę. Konstrukcje amatorskie wykorzystują do tego celu małe magnesy neodymowe, umocowane na wale przerobionego silnika elektrycznego.

10.5. „Turbinofobia”

Turbiny wiatrowe budzą zupełnie nieuzasadnione protesty społeczne. Argumentacja przeciwników jest czasami tak irracjonalna, że trudno uwierzyć, iż tak wiele osób zgadza się z tymi niedorzecznymi motywami. Pierwszy i chyba najmniej zrozumiały z nich

mówi, że turbiny wiatrowe zmniejszają prędkość wiatru. Owszem, prędkość wiatru tuż za wirnikiem spada, w najlepszym wypadku trzykrotnie, ale w porównaniu z ogromną objętością powietrza, jaką niesie z sobą front atmosferyczny, nawet 60-metrowy maszt nie stawia praktycznie żadnego oporu (rys. 10.9).

Nawet, jeśli w „cieniu” turbiny można zauważyć spadek prędkości, to już w odległości kilkudziesięciu metrów za nią różnica ta jest niezauważalna. Przeciwnicy energetyki wiatrowej twierdzą, że nawet takie małe spadki prędkości wpływają niekorzystnie na



Rys. 10.9. Podział atmosfery Ziemi

Źródło: [1].

naturę... Trudno określić, z jakiego względu, ale w takim razie powinni oni przeciwstawić się również powstawaniu bloków mieszkalnych albo kominów elektrowni. Energia wykorzystywana przez wiatraki do napędzania generatorów byłaby rozproszona w postaci ciepła, gdyby zostawić ją samą sobie.

Kolejnym eksponowanym przez przeciwników zagrożeniem jest niebezpieczeństwo dla przelatujących ptaków i nietoperzy. Mit mówi, że ptaki są nieświadome zagrożenia wynikającego z kontaktu z turbiną wiatrową, a nietoperze nie są w stanie wykryć ich obecności. Z tego powodu na przedsiębiorstwa planujące inwestycje w farmy wiatrowe nałożony jest obowiązek przeprowadzenia długotrwałych badań nad zachowaniami nietoperzy w danym regionie. W praktyce sytuacja przedstawia się jednak zdecydowanie mniej groźnie (tab. 10.1).

Tabela 10.1

Statystyki dotyczące ginących ptaków w USA

Struktura/technologia stworzona przez człowieka	Roczna liczba uśmierconych ptaków w Stanach Zjednoczonych
Dzikie i domowe koty	Setki milionów
Linie energetyczne	130 000 000–174 000 000
Okna (domowe i biurowe)	100 000 000–1 000 000 000
Pestycydy	70 000 000
Samochody	60 000 000–80 000 000
Oświetlone wieże komunikacyjne	40 000 000–50 000 000
Turbiny wiatrowe	10 000–40 000

Źródło: [9].

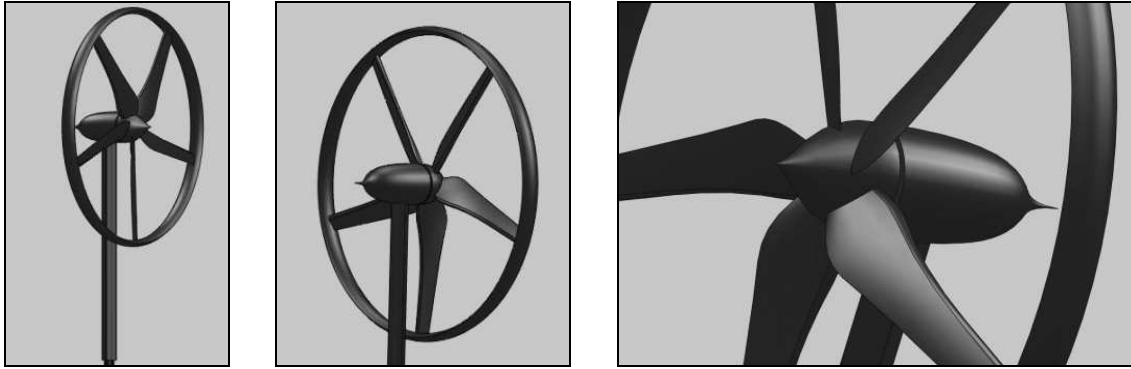
Okazuje się, że ptaki są w stanie z łatwością ominąć przeszkodę w postaci turbiny wiatrowej. Te duże konstrukcje są widoczne z daleka, a ich łopatki poruszają się na tyle wolno, że ptaki bez problemu omijają je tak samo łatwo, jak drzewa. Inaczej wygląda sprawa z oszklonymi biurowcami (np. błękitny biurowiec przy ul. Sienkiewicza w Łodzi; por. [10]). Należy zauważyć, że budowa tego typu budynków nie budzi tak dużych zastrzeżeń. O ile poruszająca się prostopadle do kierunku wiatru łopatka typowego wirnika może rzeczywiście nie odzwierciedlać typowego ruchu gałęzi, do których omijania przyzwyczajone są ptaki, o tyle turbiny Savoniusa nie powinny sprawiać im żadnych trudności.

Wyraźną przeszkodą dla przeciwników turbin wiatrowych jest także ich wygląd. Uważam te konstrukcje za jeden z piękniejszych przejawów inżynierii, lecz o gustach się nie dyskutuje. Istotnie, stanowią one ingerencję w krajobraz i zdecydowanie wyróżniają się na tle jednolitego nieba. Pytanie brzmi, czy wyróżniają się bardziej niż dym z komina elektrowni węglowej albo chłodnia elektrowni atomowej? Jest to z pewnością kwestia przyzwyczajenia i zrozumienia, że te zielone źródła energii wyraźnie przyczyniają się do zmniejszenia emisji szkodliwych substancji do atmosfery i ograniczają efekt cieplarniany.

Właściwie jedynym argumentem godnym uwagi racjonalnie myślącego człowieka jest kwestia hałasu. Nie chodzi tu o rzekome ultradźwięki, których tak bardzo boją się pesymiści, ale o zwyczajny hałas towarzyszący normalnej pracy wiatraka. Nie są to dźwięki bardziej donośne niż świst gałęzi drzewa przy mocniejszym podmuchu wiatru, ale mogą być uciążliwe dla osób wrażliwych i nerwowych. Problem ten pojawia się w przypadku źle skonstruowanej lub źle eksploatowanej turbiny. Szczególnie widoczny jest w konstrukcjach amatorskich, którym daleko do profesjonalnych wirników. Większa część tego typu dźwięków powstaje na końcówkach łopatek oraz przy maszcie. Prawidłowe zaprojektowanie kształtów i właściwe sterowanie prędkością obrotową sprawia, że nowoczesne wirniki są znacznie cichsze niż te produkowane przed laty. W warunkach nominalnych każda prawidłowo zaprojektowana turbina może działać bezszelestnie, ale wiatr samodzielnie nie dostosowuje się zazwyczaj do wymagań projektantów. Większe odstępstwa powodują powstawanie zawirowań, szczególnie uciążliwych na końcach łopatek. Ten szczegół musi być szczególnie wzięty pod uwagę w trakcie projektowania turbiny wiatrowej na potrzeby osiedla.

10.6. Założenia, parametry techniczne

W projekcie osiedla wykorzystywane będą wiatraki małej mocy, do 1 kW. Jest to związane z promocją tego typu konstrukcji jako źródła prądu w energetyce rozproszonej. Atutem użycia małych turbin jest przede wszystkim ich cena, prostota i niezawodność. Wymagają one znacznie mniejszej troski niż duże turbiny, a stawianie kilku sztuk (o ile nie przeszkadzają sobie nawzajem, tzn. nie zasłaniają się) liniowo zwielokrotnia całkowitą moc. Duże maszyny na pewno cechuje większa sprawność i wyższy poziom technologiczny, jednak ustępują małym wiatrakom ceną i prostotą konstrukcji. Ostateczny kształt i parametry łopatek nie są jeszcze zdefiniowane, pozostają w fazie projektu, ale ich poglądowe wizualizacje można obejrzeć na rys. 10.10.



Rys. 10.10. Projekt wiatraka planowanego do zastosowania w projekcie osiedla

Źródło: opracowanie własne.

Istotną cechą wiatraka jest zastosowanie obręczy zewnętrznej. Element ten likwiduje turbulencje powstające często na końcówkach łopatek, które przyczyniają się do hałasu. Cała konstrukcja korpusu i kształt łopatek będą nastawione na zminimalizowanie turbulencji, a co za tym idzie – maksymalną redukcję hałasu, związanego z przepływem powietrza. Optymalizacja konstrukcji pozwoli na zwiększenie wydajności, bo właśnie turbulencje powodują spore straty podczas konwersji energii. Główne kryterium konstrukcyjne stanowi właśnie komfort dla użytkowników. Skoro turbiny mają być użytkowane, ich pracy nie może towarzyszyć żaden efekt (drgania, hałas, konieczność częstych napraw), zniechęcający mieszkańców. Jeśli którekolwiek z tych objawów wystąpią, może dojść do sytuacji, że zdecydują się oni na demontaż, mimo zysków związanych z produkcją prądu.

Unikatową cechą turbiny będzie umiejscowienie łopatek za masztem w stosunku do kierunku wiatru. Dzięki temu uniknie się konieczności montowania steru i mechanizmu nakierowującego na wiatr, a ustawienie wiatraka będzie się odbywało samoczynnie dzięki oporowi łopatek. Aby uniknąć zakłóceń przepływu, kształt korpusu zostanie starannie dostosowany pod kątem aerodynamicznym, a na maszt zostanie nałożona otulina zmniejszająca jego opór. Taka konstrukcja ma na celu ograniczenie przestrzeni zajmowanej przez turbinę, większą estetykę i uproszczenie struktury, a co za tym idzie – również obniżenie ceny końcowej produktu.

Powszechnie stosowaną praktyką jest projektowanie turbin wiatrowych o 3 łopatach. Mają one najwyższą możliwą do osiągnięcia sprawność w porównaniu z innymi konstrukcjami, teoretycznie mogąą sięgać ok. 48% (sprawność konwersji energii wiatru na energię mechaniczną turbiny). Zastosowana w projekcie konstrukcja 5-łopatowa będzie zatem miała nieznacznie mniejszą maksymalną sprawność teoretyczną w porównaniu z turbiną 3-łopatkową (przewiduje się ok. 45%). Ważniejszym kryterium będzie tu jednak minimalna prędkość wiatru, przy której następuje start turbiny. Dla zwiększonej liczby łopatek moment siły wywołany przez ruchome powietrze jest większy dla małych prędkości, stąd projektowana turbina będzie działać nawet przy słabych podmuchach wiatru. Dodatkowo 5 łopatek zapewnia większą sztywność konstrukcji, która jest niezbędna z powodu zainstalowanej obręczy.

Projektowana średnica wirnika będzie wynosić 2 metry. Dzięki temu przy prędkości wiatru 11 m/s turbina osiąga moc teoretyczną ok. 1,12 kW. Po odjęciu strat mechanicznych w przekładni, strat generatora oraz innych, moc elektryczna powinna wynosić nieco poniżej 1 kW. Należy pamiętać, że zależność mocy od prędkości nie jest funkcją liniową, a raczej potęgową. Wysokość masztu pozostaje kwestią otwartą aż do momentu powstania domu. Nie jest ona ograniczona przez konstrukcję wiatraka, który może być nałożony na dowolną okrągłą rurę o średnicy zewnętrznej 60 mm i minimalnej wysokości 1,5 m. Zestaw montażowy będzie zawierał odciąg linowy i elementy mocujące. Ze względu na brak fundamentów, nie będą wymagane pozwolenia na budowę.

W konstrukcji brak będzie magnesów stałych, a funkcję wzbudzającą przejmie uzwojenie wirnika generatora zasilane prądem stałym z obwodu. Funkcję generatora będzie pełnił odwrócony silnik uniwersalny (zasilany zarówno prądem stałym, jak i zmiennym). Prąd będzie wzbudzany samoczynnie po ułamku sekundy pracy generatora, mimo braku zewnętrznego źródła zasilania. Napięcie i natężenie prądu będzie zależęć od oporu odbiornika (lub ustawienia falownika/przekształtnika) oraz od prędkości wiatru. Rozważa się zastosowanie przekładni bezstopniowej stożkowej z pierścieniem regulacyjnym zamiast tradycyjnej przekładni zębatej. Pozwoli to na dokładniejszą regulację przełożenia i ciągłą pracę w punkcie nominalnym założonym w trakcie projektu.

Opcjonalne wyposażenie wiatraków stanowi krata ochronna. Jej montowanie nie będzie konieczne i zostanie uzależnione od decyzji mieszkańców. Krata teoretycznie zapewni bezpieczeństwo ptakom (albo raczej spokojny sen mieszkańcom), ale też wykluczy ewentualną konieczność przeprowadzenia badań nad przelotami nietoperzy w rejonie inwestycji w razie zmiany prawa (w tej chwili pozwolenia takie wymagane są jedynie od przedsiębiorstw). Jej opór będzie mały, ale nieznacznie wpłynie na pracę wiatraka.

10.7. Savonius

Alternatywą dla przedstawionej konstrukcji wirnika jest turbina o pionowej osi obrotu, tzw. Savonius. Przedstawiany jest jako najmniej atrakcyjny pod względem wydajności, lecz ma wiele zalet. Przede wszystkim istnieje dużo większa akceptacja społeczna dla tego typu konstrukcji. O ile w tradycyjnych turbinach o poziomej osi obrotu ruch łopatek jest prostopadły do kierunku wiatru (łopatki jakby „tną” przepływające powietrze), o tyle Savoniusy poruszają się zgodnie z nim, nie stanowiąc zagrożenia dla ptaków (rys. 10.11).



Rys. 10.11. Przykładowa turbina Savoniusa

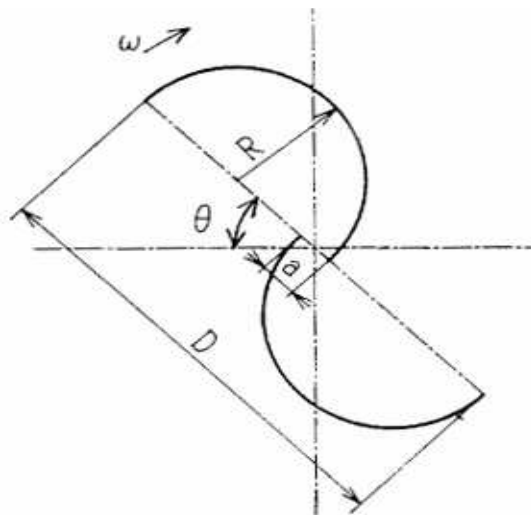
Źródło: [11].

Dodatkowym plusem jest znacznie cichsza praca i wolniejsze obroty. Oprócz tego konstrukcja jest zdecydowanie tańsza w wykonaniu, prostsza i mniej zawodna. Wykorzystuje lepiej dostępne miejsca (ma cylindryczny kształt), przez co z tej samej objętości powietrza w praktyce potrafi wyprodukować większą ilość energii. Kolejnym plusem jest duży obwód dolnego dysku, pozwalający na zamontowanie u podstawy elektromagnesów, umożliwiających porównywalne z tradycyjnymi turbinami parametry generowania prądu, bez konieczności stosowania przekładni.

Kwestią konieczną do rozstrzygnięcia jest kształt i układ łopatek. Istnieją bardzo duże różnice w sprawności różnych profili zastosowanych do budowy tego typu turbin. Małe różnice wymiarów mają spory wpływ na moc wyjściową. (rys. 10.12).

Oprócz całkowitej szerokości łopatek ważny jest rozmiar szczeliny, kształt krzywej (może to być łuk, elipsa, sinusoida, parabola) i kąt skrzywienia w pionie, który ułatwia uruchomienie turbiny. Bez niego wirnik może ustawić się na wiatr i nie wystartować nawet przy dużych prędko-

ściach. Dodatkowo skreńcenie tworzy wektor siły skierowany korzystnie dla zwiększenia momentu siły. Do podstawowego dopracowania odpowiedniego kształtu przekroju może posłużyć symulacja komputerowa. Najlepszym i najbardziej popularnym programem używanym do tego celu jest ANSYS CFX. Pozwala on na odtwarzanie rzeczywistych warunków przepływu na wirtualnym modelu, bez konieczności budowania wielu turbin przeznaczonych wyłącznie do badań. Dzięki takiemu podejściu można łatwo porównać wyniki drobnych zmian kształtu i zdecydować, które propozycje nadają się do przetestowania w warunkach rzeczywistych, nie można przecież polegać wyłącznie na wynikach symulacji, modele muszą być sprawdzone. Do tego celu wykorzystuje się tunele aerodynamiczne.



Rys. 10.12. Wymiary brane pod uwagę przy opracowywaniu kształtu

Źródło: [12].

Ostateczne wyniki obliczeń oraz decyzja inwestorów przesądzą o wyborze dla osiedla określonego rodzaju turbiny. Oprócz efektywności ważny będzie także okres zwrotu inwestycji, który zdecyduje o jej ostatecznej opłacalności.

10.8. Podsumowanie

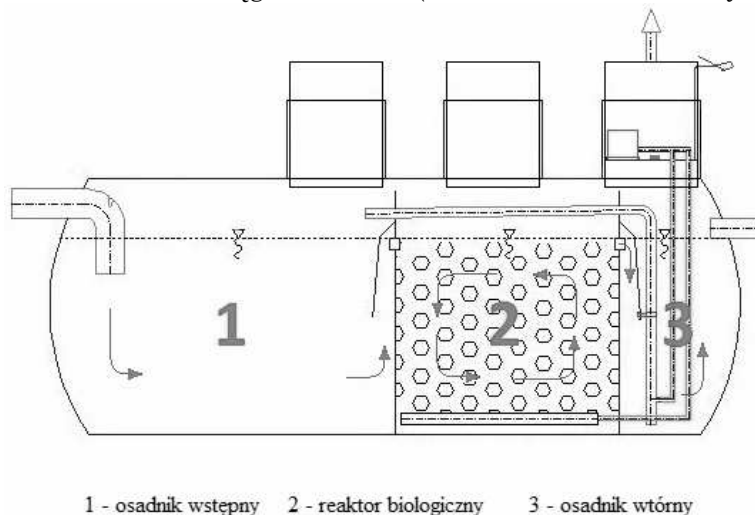
Mimo małej mocy zastosowanych wiatraków, mają one duży wpływ na redukcję emisji szkodliwych gazów do atmosfery i przyczyniają się do zmniejszenia całkowitego kosztu energii elektrycznej w osiedlu. Przy dłuższym okresie użytkowania stanowią znaczący element zysku mieszkańców, a ponadto rozpowszechniają odnawialną formę energetyki rozproszonej i demonstrują, jak łatwo jest wdrożyć podobne rozwiązania w dowolnym osiedlu.

LITERATURA

- [1] *Encyclopaedia Britannica*, Chicago 2007.
- [2] Jha A. R., *Wind Turbine Technology*, London 2011.
- [3] Lubośny Z., *Elektrownie wiatrowe w systemie energetycznym*, Warszawa 2006.
- [4] Lubośny Z., *Farmy wiatrowe w systemie energetycznym*, Warszawa 2009.
- [5] Mahamarakkalage Saman Udaya Kumar F., *On the performance and wake aerodynamics of the savonius wind turbine*, Sri Lanka 1980.
- [6] <http://www.windtronics.com/comparison-chart>.
- [7] <http://www.cire.pl/zielonaenergia/wiatrowa.html?smid=28>.
- [8] <http://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/wind-turbine-kill-birds.htm>.
- [9] <http://hodowca.blox.pl/2006/07/Blekitny-wiezowiec.html>.
- [10] <http://www.archiexpo.com/prod/helixwind/small-vertical-axis-wind-turbines-helical-savonius-rotor-62253-159877.html>.
- [11] Fujisawa N., *Velocity measurements and numerical calculations of flow fields in and around Savonius rotors*, "Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics" 1996, Vol. 59, Iss. 1.

11. Racjonalne gospodarowanie wodą

W zaprojektowanym osiedlu racjonalne gospodarowanie wodą odbywa się poprzez rekuperację wody deszczowej oraz oczyszczanie ścieków. Zastosowano oczyszczanie ze złożem biologicznym, w którym wykorzystuje się naturalne procesy biochemicznego rozkładu zanieczyszczeń. Do prowadzenia tych procesów wykorzystuje się populacje mikroorganizmów, które tworzą utwierdzoną biomasę. Drobnoustroje wykorzystują związki organiczne zawarte w ściekach jako pokarm, co przyczynia się do przyrostu biomasy bakteryjnej. Pozostała część związków zostaje rozłożona do dwutlenku węgla i wody (w warunkach tlenowych) lub do dwutlenku węgla i metanu (w warunkach beztlenowych).

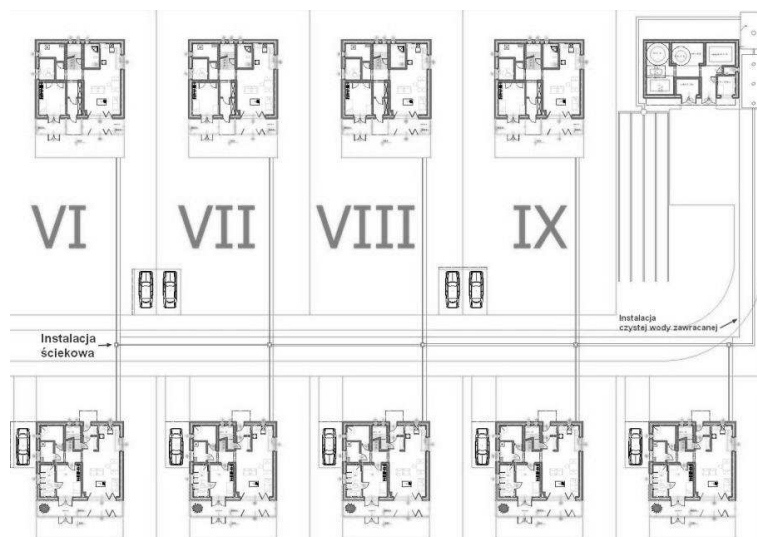


Rys. 11.1. Schemat budowy biologicznej oczyszczalni ścieków

Cały wieloetapowy proces oczyszczania zachodzi w jednym zbiorniku, dzięki czemu ostatecznie wypływa jedynie oczyszczona woda pościekowa. Ścieki surowe są doprowadzane do osadnika gnilnego, w którym zachodzi wstępne, mechaniczne oczyszczanie – zostają usunięte zawiesiny i tłuszcze. Powstające w tym procesie osady są częściowo degradowane w wyniku fermentacji beztlenowej. Złoże biologiczne pozostaje w ciągłym ruchu, a co za tym idzie nie ma konieczności oczyszczania jego elementów. Następnie ścieki przepływają do reaktora biologicznego, gdzie w warunkach tlenowych zachodzą procesy z udziałem żywej błony biologicznej porastającej złoże oraz bakterii wolnopływających. Kolejny etap, klarowanie oczyszczonej wody (cząstki osadu oddzielają się od wody i opadają na dno, a oczyszczona woda pozostaje w górnej części komory), zachodzi w ostatniej komorze. Jest w niej zainstalowany podnośnik powietrzny, który zbiera z dna osad i przenosi go do komory pierwszej, oczyszczanej raz w roku. Wyklarowana woda pościekowa jest gotowa do rozprowadzenia w sieci domów. Złoże biologiczne ma dużą odporność, jeżeli chodzi o nierównomierność w dopływie ścieków oraz zmienne temperatury zewnętrzne. Charakteryzuje się wysoką redukcją zanieczyszczeń, sięgającą nawet 95%. Schemat budowy biologicznej oczyszczalni ścieków przedstawiono na rys. 11.1.

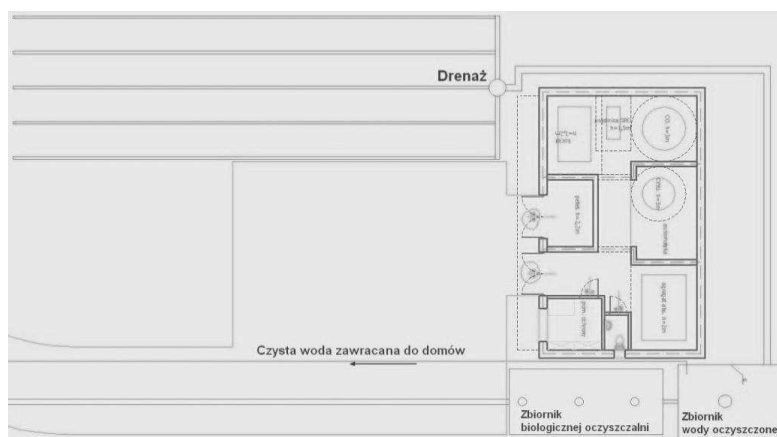
Woda pościekowa jest zawracana i wykorzystywana do podlewania ogrodów, mycia samochodów oraz do celów socjalno-bytowych, takich jak splukiwanie wody w toalecie. Schemat instalacji rozprowadzającej oczyszczoną wodę przedstawiono na rys. 11.2.

Drugim etapem racjonalnego gospodarowania wodą jest rekuperacja wody deszczowej. Jest ona doprowadzana do zbiornika jedynie z powierzchni zadaszonych. Wykorzystano zbiornik o pojemności 20 000 l, do którego oprócz wody deszczowej doprowadzana będzie również woda z oczyszczalni ścieków. W przypadku zbyt małej ilości wody zbiornik będzie uzupełniany wodą wodociagową, natomiast zbyt duża jej ilość zostanie rozprowadzona za pomocą drenażu rozsączającego. Jest to układ rur, połączonych ze sobą, które mają za zadanie równomierne rozprowadzenie nadmiernej ilości wody zgromadzonej w zbiorniku. Najczęściej stosowane są rury PCV, z otworami w formie nacięć bądź nawiercanych otworów. Wykopy pod drenaż wykonuje się na głębokość około 150 cm nad maksymalnym rocznym poziomem wód gruntowych. Górna część rury drenażowej została zabezpieczona geowłókniną, zaś warstwa filtracyjna pod drenażem jest wykonana ze żwiru o uziarnieniu 16–32 mm. Obszar, na którym ułożony jest drenaż porasta trawa. W opisanym osiedlu wykorzystano 5 nitek drenażowych o łącznej długości 80 m. Schematy przedstawiające cały system zagospodarowania wody w osiedlu przedstawiono na rys. 11.3 i 11.4.



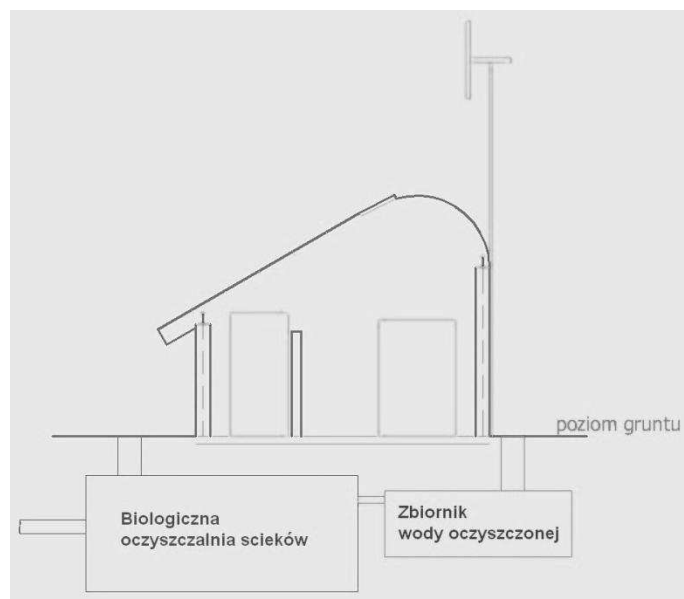
Rys. 11.2. Schemat instalacji do rozprowadzania wody oczyszczonej

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 11.3. Schemat systemu zagospodarowania wody

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 11.4. Przekrój pomieszczenia gospodarczego, pod którym znajduje się system do zagospodarowania wody

Źródło: opracowanie własne.

W opisywanym osiedlu wykorzystano zbiornik do biologicznego oczyszczania ścieków o pojemności 16 000 l, o objętości złoża 3,5 m³ oraz przepustowości dobowej 4,8 m³.

Woda z powierzchni utwardzonych jest wykorzystywana do podlewania tzw. ogrodów deszczowych. Dobierając rośliny do ogrodu deszczowego wzięto pod uwagę rośliny wilgociolubne, czyli takie, które preferują wilgotną glebę, ale tolerują również suche podłoże oraz charakteryzujące się średnim zapotrzebowaniem na wodę, czyli takie, które dobrze tolerują zarówno wilgoć, jak i jej brak.

LITERATURA

- [1] Brzostowski N., Hawryłyszyn M., Karbowski D., Paniczko S., *Przydomowe oczyszczalnie ścieków*, Białystok 2008.
 [2] <http://www.ekopol.pl> (dostęp 13.01.2012).

12. Informatyczny system zarządzania budynkiem

12.1. Rola informatyki w budownictwie energooszczędnym

Termin „budynki inteligentne” (ang. *smart building*) jest znany od ponad dwudziestu lat i wciąż podlega ewaluacji. W latach osiemdziesiątych oznaczał budynki pasywne. Dziesięć lat później był to budynek wyposażony dodatkowo w jednostkę centralną, zarządzającą jego infrastrukturą. Dziś „inteligentnym” budynkiem nazywa się budowlę spełniającą wszystkie wcześniejsze wymogi, dodatkowo wyposażoną w połączenie sieciowe urządzeń domowych, zaawansowane zarządzanie zużywaną energią oraz posiadające zaimplementowane odnawialne źródła energii [13].

Koncepcja takiego budynku łączy możliwość istnienia pojedynczych autonomicznych budowli oraz ich wzajemnej komunikacji. Powstałe w ten sposób sieci budynków „inteligentnych” dokonują pomiędzy sobą wymiany informacji oraz ewentualnych nadwyżek energii, kreując tzw. mikro sieci (ang. *microgrids*).

Jako podstawowe elementy budynku „inteligentnego” wymienić należy [13]:

- sensory monitorujące wybrane parametry i przesyłające dane do urządzeń uruchamiających;
- urządzenia uruchamiające, inicjujące takie czynności, jak otwieranie czy zamykanie okien oraz sterowanie odbiorami;
- kontrolery analizujące dane pochodzące z sensorów oraz zarządzające odbiorami na podstawie zasad zdefiniowanych przez użytkownika;
- jednostkę centralną nadzorującą pracę pozostałych elementów systemu;
- interfejs człowiek-komputer;
- sieć zapewniającą komunikację pomiędzy wszystkimi elementami systemu;
- „inteligentne” liczniki (ang. *smart meters*), odpowiedzialne za dwukierunkową komunikację w czasie rzeczywistym pomiędzy budynkiem a operatorem.

Energooszczędność budynku jest uzyskiwana dzięki odpowiedniemu doborowi materiałów budowlanych oraz rozwiązaniom architektonicznym. Jednakże bez informatycz-

nego systemu zarządzania integracja z siecią i innymi budynkami nie jest w pełni możliwa. Ponadto instalowanie w budynkach energooszczędnych odnawialnych źródeł energii (OZE) zmienia rolę takiego budynku z biernego konsumenta dostarczanej energii elektrycznej na aktywnego prosumenta. Łącząc informacje otrzymywane z sieci elektroenergetycznej oraz indywidualne preferencje mieszkańców budynku, informatyczny system zarządzania może podejmować decyzje o tym, kiedy korzystać z energii pochodzącej z OZE, a kiedy z sieci, sterować sprzedażą nadwyżek wyprodukowanej energii czy zarządzać magazynowaniem tej energii, jeżeli w budynku zainstalowane będzie urządzenie magazynujące.

Istotną rolę informatycznych systemów zarządzania w rozwoju budownictwa energooszczędnego (tzw. „zielonych budynków”) podkreślają autorzy licznych publikowanych dokumentów Komisji Europejskiej oraz innych organizacji. Wymienić wśród nich należy chociażby raport z 2009 r. „ICT for a Low Carbon Economy. Smart Buildings”, opracowany przez Komisję Europejską, rekomendacje Komisji Wspólnot Europejskich „Commission Recommendation of 9.10.2009 on mobilising Information and Communications Technologies to facilitate the transition to an energy-efficient, low-carbon economy” czy raport Komisji Europejskiej „Impacts of Information and Communication Technologies of Energy Efficiency” z roku 2008.

Kluczowa rola informatyki w rozwoju budownictwa energooszczędnego jest podkreślana w następujący sposób:

Jest oczywistym, iż upowszechnienie się „zielonych budynków” jest możliwe jedynie za pomocą ICT (ang. *Information and Communication Technologies*) [16].

Sektor ICT może dostarczyć metod symulacji, modelowania, analizy, monitorowania oraz wizualizacji niezbędnych dla usprawniania metod budowania oraz zarządzania budynkami w sposób wpływający na popyt na energię elektryczną. [...] Inteligentne liczniki oraz sieci inteligentne to istotne czynniki w maksymalizowaniu oszczędności energii w budynkach, upowszechnianiu pojazdów elektrycznych, efektywnym dostarczaniu energii oraz integracji odnawialnych źródeł energii [18].

ICT to „finalny element” na drodze do efektywnego systemu, jakim jest budynek energooszczędny. Rozszerzone możliwości monitoringu, zdolności sieciowe, które zapewnia ICT łączą uwarunkowania architektoniczne oraz środowiskowe infrastruktury budynku w zakresie instalacji HVAC (ang. *Heating, Ventilation, Air Conditioning*) oświetlenia, systemów bezpieczeństwa oraz dużych odbiorów. W tym sensie ICT przyczynia się do uczynienia budynku „inteligentnym” [17].

ICT nie tylko poprawi wydajność energetyczną oraz pomoże walczyć ze zmianami klimatu, [...] rozszerzając się na wszystkie gałęzie przemysłu i biznesu, upatruje się w nim silnego wpływu na energooszczędność budynków jutra (zarówno tych nowych, jak i odremontowanych) [16].

Uzasadniając cytowane twierdzenia uwypuklając rolę informatycznych systemów zarządzania w budownictwie energooszczędnym, wymienia się fakt, iż 40% końcowego zużycia energii w krajach Unii Europejskiej przypada na budynki [16]. Materiały budowlane, instalacje oświetlenia, ogrzewania, wentylacji czy klimatyzacji są opracowywane indywidualnie przez odrębne przedsiębiorstwa. Brakuje zintegrowanego podejścia do projektowania budynku, które mogłoby przełożyć się na większe oszczędności energii w porównaniu do projektowania każdego elementu budynku oddzielnie. W sektorze ICT upatruje się swobodnego łącznika, który za pomocą narzędzi służących do symulacji, modelowania, analizy, monitoringu oraz wizualizacji doprowadziłby do zintegrowania tych rozproszonych elementów. Szacuje się [16], że wprowadzenie rozwiązań wykorzystujących ICT może przyczynić się w następnych latach do zmniejszenia zużycia energii rzędu 15%.

Wymienia się pięć aspektów wpływu ICT na zwiększanie energooszczędności budynków [17]. Są to: spójność, elastyczność, przejrzystość, upowszechnienie „inteligentnych” technologii oraz miniaturyzacja.

W kwestii spójności, ICT występuje w roli łącznika pojedynczych elementów infrastruktury budynku, umożliwia też automatyczne reagowanie na zmienne warunki. Przekłada się to na lepsze wykorzystanie energii oraz jej ukierunkowanie zgodnie ze specyfiką popytu na energię elektryczną mieszkańców budynku.

Elastyczność jest rozumiana jako zdolność ICT do wyposażania oraz modyfikacji indywidualnych odbiorów w istniejącej infrastrukturze budynku. Umożliwia m.in. instalowanie odbiorów energooszczędnych oraz lepsze zarządzanie istniejącymi.

Dwustronna komunikacja, możliwa dzięki inteligentnemu opomiarowaniu, zapewnia transfer użytecznych danych pomiędzy administratorem systemu a mieszkańcami budynku. Informacje te mogą następnie służyć do wyliczania istniejącego potencjału dalszych oszczędności energii lub modyfikacji parametrów istniejących transakcji pomiędzy obiema stronami. Jest to również pomost do implementacji programów zarządzania stroną popytową (ang. *Demand Response* – DR). Reakcja strony popytowej została zdefiniowana w różnorodnych opracowaniach [1, 2, 3, 4, 5, 6, 14]. Pomimo różnic pojawiających się między tymi definicjami, wyróżnić można pewne stałe fragmenty, na podstawie których DR będzie oznaczać dobrowolne działanie odbiorcy (we współpracy z operatorem),

mające na celu zmniejszenie ilości zużywanej energii na skutek bodźców przybierających różnorodną formę. Stosowanie zachęt lub kar ma na celu zmianę zachowania odbiorcy z pasywnej na aktywną, gdy staje się bardziej świadomym konsumentem zużywanej energii.

Wśród zalet programów DR wymienia się [15]: poprawę niezawodności i bezpieczeństwa systemu elektroenergetycznego, lepsze zarządzanie zdolnościami przesyłowymi oraz ryzykiem cenowym i ilościowym na rynku energii, redukcję kosztów pozyskiwania źródeł szczytowych oraz korzyści finansowe i poprawę świadomości jako benefity po stronie odbiorców.

Rozwój programów DR, rosnące zainteresowanie kolejnych państw ich wprowadzaniem czyni tematykę reakcji strony popytowej przedmiotem badań, mających na celu zmniejszenie zapotrzebowania na energię elektryczną. Zintegrowanie dotychczas funkcjonujących programów reakcji strony popytowej z nową technologią, jaką stanowią sieci inteligentne, mogłoby zaowocować znacznymi oszczędnościami zużywanej energii, co byłoby pożądane ze względów ekologicznych, gospodarczych i społecznych, przyczyniając się do budowy społeczeństwa świadomie i aktywnie kierującego swoim popytem na energię elektryczną.

Upowszechnienie technologii „inteligentnych” za pomocą sektora ICT jest rozumiane jako wprowadzenie nowych rozwiązań, wbudowanych w infrastrukturę budynku, łatwo dostępnych, niewymagających wysiłku podczas obsługi, autonomicznych oraz dostosowujących się do potrzeb użytkownika.

Z przeprowadzonych badań dotyczących postrzegania sieci inteligentnych przez odbiorców [12] wynika, że tylko niewielka liczba badanych chciałaby każdego dnia koordynować pracę urządzeń domowych w odpowiedzi na otrzymywane sygnały cenowe. Powoduje to konieczność implementacji rozwiązań, które umożliwiłyby odbiorcy intuicyjną obsługę wszystkich urządzeń z poziomu jednego panelu o przejrzystym interfejsie użytkownika. Wprowadzenie udogodnień w postaci „inteligentnych” urządzeń domowych, umożliwiających dwustronną komunikację na linii odbiorca–operator oraz łatwych w obsłudze paneli sterowania domową siecią zwiększy zainteresowanie technologią sieci inteligentnych wśród odbiorców końcowych oraz chęć modyfikowania własnych wzorców zużycia energii.

Ostatni aspekt – miniaturyzacja – odwołuje się do konstruowania komponentów ICT w skali mikro oraz dołączaniu ich do odbiorów. Postęp w rozwoju protokołów i technologii komunikacyjnych, który zaowocował dostępem do taniej i szybkiej komunikacji oraz

dalszy rozwój niedrogich łączy szerokopasmowych (ang. *broadband*) przyczynia się do wyposażania coraz większej liczby odbiorów w moduły służące do komunikacji i zdalnego sterowania. Powstanie programów do zdalnego zarządzania wybranymi odbiorami użytkownika było możliwe dzięki komunikacji odbywającej się w czasie rzeczywistym i może być zaimplementowane dla wszystkich urządzeń, które sterowane zdalnie nie będą powodowały uczucia dyskomfortu dla odbiorcy. Wymienia się wśród nich zmywarki, pralki, systemy HVAC czy ładowanie akumulatorów pojazdów elektrycznych. W sumie szacuje się [2], że około 33% wszystkich odbiorów może być – przynajmniej w pewnym stopniu – sterowane zdalnie za pomocą DR bez znacznego wpływu na odbiorców.

Zadania stawiane przed sektorem ICT we wspomaganiu budownictwa energooszczędnego wymagają podejmowania badań i opracowywania nowych rozwiązań z zakresu:

- „inteligentnych” odbiorów zdolnych do interakcji ze sobą i z otoczeniem zewnętrznym;
- komunikacji „inteligentnych” odbiorów ze sobą oraz z siecią, opartych na protokołach, które są ustandaryzowane i otwarte;
- „inteligentnych” systemów BMS (ang. *Building Management Systems*) oraz ECMS (ang. *Energy Control Management Systems*) do zarządzania budynkiem, zapewniających procesy optymalizacji zużywanej energii, komunikujących się z zainstalowanymi „inteligentnymi” odbiorami, monitorujących otoczenie oraz zdolnych do nauki;
- wielomodalnych interaktywnych interfejsów, ułatwiających użytkownikowi łatwe, wygodne i intuicyjne zarządzanie budynkiem.

Nowe wprowadzane rozwiązania, wykorzystujące technologie ICT, powinny spełniać określone kryteria. Po pierwsze, dla każdego rozwiązania należy przeprowadzić analizy wykazujące rzeczywiste oszczędności, płynące z jego wprowadzenia w odniesieniu do wariantów konwencjonalnych. Ponadto nowe rozwiązania powinny mieć zdolność „replikacji”, rozumianą jako możliwość do implementacji danego elementu w innych budynkach, krajach czy obszarach zróżnicowanych klimatycznie. Każde nowo powstałe rozwiązanie powinno integrować się z już istniejącymi, zainstalowanymi w budynku elementami. Najważniejszą właściwością jest nastawienie na użytkownika poprzez wypracowywanie algorytmów i interfejsów, możliwie jak najbardziej ułatwiających obsługę. Jako ostatnie kryterium wymienić należy opłacalność ekonomiczną implementacji opracowanego rozwiązania.

Implementacja nowych rozwiązań ICT w budynkach energooszczędnych wymaga opracowania rozwiązań z zakresu zidentyfikowanych obszarów problemowych [16], takich jak:

– niedostatecznie wydajny proces decyzyjny po stronie użytkownika i systemu zarządzania budynkiem, w istniejących rozwiązaniach niedopasowujący istniejącego w budynku popytu na energię elektryczną poszczególnych odbiorów do dostarczanej energii;

– brak ujednoczonej wizji budynku energooszczędnego oraz nadmiar różnorodnych standardów przyczyną tego, że nie wszystkie wprowadzane rozwiązania prowadzą do zwiększenia energooszczędności budynku;

– konieczna zmiana postaw odbiorców, przejawiająca się wzrostem świadomości obejmującej zużywanie energii i metody jej oszczędzania;

– potrzebne opracowanie metod zarządzania źródłami energii zainstalowanymi w budynkach i optymalizowania tego procesu.

Wymienia się ponadto liczne bariery utrudniające implementację nowych rozwiązań z zakresu informatycznych systemów zarządzania w budynkach energooszczędnych [19]. Po pierwsze, brak wystarczających zachęt dla architektów, budowniczych, deweloperów oraz właścicieli budynków do inwestowania w „inteligentne” technologie. Nie opracowano dotąd modeli biznesowych, wspomagających i promujących inwestowanie w energooszczędność. Dodatkowe utrudnienie stanowi długi okres adaptacji nowych technologii w sektorze budowlanym, wynoszący 20–25 lat dla budynków rezydualnych. Trudności tkwią także w indywidualnym podejściu do projektowania nowych budynków. Różniące się między sobą projekty utrudniają implementację standardowych rozwiązań, natomiast standaryzacja prowadzi do obniżania kosztów implementacji. Jako ostatnią barierę wymienia się brak zachęt dla spółek energetycznych, mających motywować odbiorców końcowych do zmiany postawy z biernej na aktywną i podjęcia się wytwarzania energii we własnym zakresie, np. z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii.

12.2. Zakres projektowanego systemu

Projektowany pod kątem projektu „Dom 2020” informatyczny system zarządzania (SIZ) prezentowanym budynkiem stanowi swoisty łącznik, umożliwiający kompleksowe zarządzanie instalacjami oraz odbiorami z poziomu jednego intuicyjnego panelu dotykowego, zainstalowanego w budynku.

W projektowaniu systemów informatycznych wyróżnia się dwa typy wymagań – funkcjonalne i niefunkcjonalne. Pierwszy to zbiór funkcji, jakie powinien spełniać two-

rzony system. Funkcjonalności te są w większości określane na podstawie analizy potrzeb użytkownika końcowego, jednak pewna ich część wynika z zasad użytkowania systemu oraz bezpieczeństwa przechowywanych w nim danych. Drugi typ wymagań, inaczej zwanych sprzętowymi, definiują parametry sprzętu, na którym system będzie zainstalowany.

Do głównych wymagań funkcjonalnych projektowanego SIZ, odnoszących się do potrzeb użytkownika końcowego – mieszkańca budynku – należą:

- zarządzanie wybranymi funkcjami znajdujących się w budynku instalacji (reku- perator, zbiornik na deszczówkę, sterowanie chłodzeniem ogniw fotowoltaicznych za pomocą obiegu glikolu, zbiornik CWU, rolety, kominek);

- zarządzanie odbiorami uznanymi za odpowiednie do zdalnego zarządzania bez poczucia dyskomfortu;

- optymalizacja poziomu zużycia energii elektrycznej. Proces ten rozpoczyna się od zbierania danych dotyczących krzywej zapotrzebowania na energię mieszkańców budyn- ku. Na podstawie zgromadzonego materiału SIZ ustala średnie poziomy zużycia w dni powszednie, świąteczne oraz z uwzględnieniem pory roku. Porównanie otrzymanych krzywych z mocą otrzymywaną z zainstalowanych w budynku OZE pozwoli na wykrycie okresów szczytowego zapotrzebowania, które wymagają dodatkowego poboru energii elektrycznej z sieci. Sterowanie częścią odbiorów pozwoli na „złagodzenie” krzywej obcią- żeń tak, aby zminimalizować pobór energii z sieci. Podczas zbierania danych, przed wyznaczeniem krzywych średniego zapotrzebowania, możliwe jest ograniczanie zużycia energii elektrycznej za pomocą sterowania odbiorami oraz informowania mieszkańców o okresach, w których cena energii jest wysoka oraz niska;

- komunikacja z „inteligentnym” licznikiem zainstalowanym w budynku;

- monitorowanie podstawowych parametrów (temperatura i wilgotność powietrza, poziom tlenu i dwutlenku węgla);

- wykrywanie stanów awaryjnych;

- obsługa procesu ładowania pojazdu elektrycznego;

- zarządzanie monitoringiem otoczenia za pomocą kamer;

- łączenie się z SIZ za pomocą Internetu i połączenia szyfrowanego SSL, umożli- wiające zarządzanie budynkiem z dowolnego miejsca;

- „tryb wakacyjny”, obejmujący sterowanie wybranymi instalacjami oraz oświetle- niem pod nieobecność mieszkańców. Możliwość łączenia się z SIZ za pomocą Internetu gwarantuje monitoring (czujniki i kamery) budynku.

Wśród wymagań wynikających z zasad użytkowania systemu oraz bezpieczeństwa przechowywanych w nim danych wymienić można m.in.: inicjalizację (pierwsze uruchomienie) systemu, procedury logowania, obejmujące weryfikację haseł czy obsługę kont użytkowników.

W kolejnych podrozdziałach opisane zostaną funkcje realizowane przez system w ramach wymagań funkcjonalnych. Dla logicznego uporządkowania procesów wymagania te zebrano w zbiory: inicjalizacja systemu, obsługa kont użytkownika, zarządzanie odbiorami, zarządzanie instalacjami, obsługa pojazdu elektrycznego oraz optymalizacja zużycia energii elektrycznej.

W końcowej części rozdziału zostaną zaprezentowane wymagania нефункционалне dla projektowanego systemu.

12.3. Wymagania funkcjonalne

Wymagania funkcjonalne, oprócz szczegółowego opisu, zilustrowane zostały za pomocą diagramów przypadków użycia oraz diagramów czynności wykonanych w notacji UML. Diagramy przypadków użycia [15] są stosowane do definiowania funkcjonalności analizowanego i projektowanego systemu oraz sposobów interakcji użytkownik–system. Innymi słowy, jest to graficzna prezentacja, obejmująca przypadki użycia, aktorów oraz relacje występujące pomiędzy nimi. Pod pojęciem aktora należy rozumieć zestaw ról odgrywanych przez użytkowników końcowych projektowanego systemu w czasie danego użycia. Jednakże aktorem może być nie tylko człowiek – użytkownik systemu, lecz także odbiór lub czas, np. określony dzień miesiąca. Diagram czynności [15] koncentruje się na dynamicznym aspekcie systemu, ilustrując sekwencję czynności i akcji oraz przepływy sterowania i danych realizowanych w procesach systemowych. Przepływy mogą mieć charakter sekwencyjny lub współbieżny. Diagramy czynności prezentują scenariusze przypadków użycia za pomocą sekwencji warunków-pętli, które mogą prowadzić do wykonania różnych zestawów akcji w zależności od otrzymanych danych wejściowych. Połączenie tych dwóch rodzajów diagramów umożliwi dokładne zrozumienie projektowanych procesów.

Należy równocześnie pamiętać, że czytelność prezentowanych diagramów wymusza pominięcie części mniej istotnych funkcji, które zostały jednak ujęte w opisie, np. większość wykonywanych czynności może być w każdej chwili anulowana przez użytkownika. Umieszczenie pytania „Czy anulowano?” po każdej akcji w diagramie czynności znacznie

zmniejszyłoby jego czytelność. Fragmenty procesów zostały dodatkowo opatrzone projektem interfejsu graficznego¹.

Z uwagi na objętość niniejszego opracowania, zostały w nim zamieszczone jedynie wybrane diagramy oraz interfejsy graficzne.

12.3.1. Inicjalizacja systemu

Pierwsze uruchomienie

Inicjalizacja systemu oznacza sparametryzowanie umożliwiające jak najlepsze dopasowanie jego funkcjonalności do charakterystyki budynku, w którym został zainstalowany. Proces ten odbywa się poprzez wprowadzenie żądanych danych przez użytkownika. Dane te dotyczą podstawowych parametrów budynku, liczby mieszkańców, czujników i kamer oraz odbiorów, których praca będzie przez system koordynowana.

W celu ułatwienia procesu inicjalizacji systemu stworzono możliwość wgrania parametrów budynku z zewnętrznego nośnika pamięci. Nośnik taki mógłby zostać nagrany przez biuro architektoniczne zajmujące się projektem budynku. W przypadku braku takiego nośnika użytkownik wprowadza dane ręcznie.

Inicjalizacja systemu odbywa się jednorazowo na początku jego użytkowania. Jeżeli wystąpi konieczność modyfikacji wprowadzonych danych, np. w przypadku zwiększenia liczby mieszkańców, możliwe jest wprowadzenie zmian w ustawieniach systemowych.

Oprócz informacji o budynku oraz liczbie mieszkańców na etapie inicjalizacji nadawane jest także nowe hasło zabezpieczające. Domyślnie do systemu wprowadzone jest hasło jednorazowe, które w trakcie pierwszego uruchomienia użytkownik zmienia na wybrane przez siebie. Hasło to jest wykorzystywane do autoryzacji wykonywania wybranych operacji, przy uruchamianiu systemu oraz logowaniu na konto użytkownika-administratora.

Ostatnim elementem procesu inicjalizacji jest zdefiniowanie kont użytkowników mających dostęp do systemu przez Internet. Dostęp ten umożliwia zarządzanie wybranymi aspektami systemowymi po zalogowaniu się na stronę internetową. Dozwolone jest założenie trzech takich kont użytkowników. Możliwe jest także podanie jednego numeru

telefonu komórkowego, na który będą wysyłane powiadomienia SMS. W przypadku, gdy dane te nie zostały wprowadzone w trakcie inicjalizacji lub konieczności ich modyfikacji, możliwe jest ich uzupełnienie oraz korekta poprzez menu ustawień systemowych.

Inicjalizacja systemu – odbiory

Pod pojęciem „inteligentnych” odbiorów należy rozumieć urządzenia gospodarstwa domowego, wyposażone w modemy do komunikacji bezprzewodowej. Urządzenia te mają zdolność do współpracy z SIZ – system może sterować ich pracą. Choć odbiory „inteligentne” nie są dziś bardzo rozpowszechnione, traktuje się je jako technologię niezbyt odległej przyszłości, dlatego należy przewidzieć ich udział w projektowaniu informatycznego systemu zarządzania budynkiem inteligentnym.

W niniejszym opracowaniu za odbiory „inteligentne” uznano: pralkę, zmywarkę, ładowarkę pojazdu elektrycznego, suszarkę do ubrań oraz cykl rozmrażania lodówki. Inicjalizacja takich urządzeń wymaga od użytkownika ich podłączenia tak, aby system mógł nawiązać z nimi łączność. W razie problemów z nawiązaniem połączenia, system podejmuje kolejno trzy próby. Jeżeli wszystkie zakończą się niepowodzeniem, wyświetlany jest komunikat informujący o zaistniałym błędzie. Po nawiązaniu komunikacji następuje dodanie odbioru do bazy danych w systemie oraz pobranie parametrów odbioru. Przykładowo, jeżeli dodawanym odbiorem byłaby zmywarka, pobrane dane dotyczyłyby parametrów zaimplementowanych w urządzeniu programów zmywania: ilości zużywanej energii elektrycznej, czasu trwania, nazwy programu itp. Informacje te znajdują zastosowanie w projektowaniu harmonogramów oraz w procesie optymalizacji zużycia energii elektrycznej.

Po dodaniu jednego odbioru system rozpoczyna wprowadzanie kolejnych. Proces ten trwa, dopóki nie zostaną wprowadzone dane wszystkich odbiorów, z którymi nawiązano połączenie. Na końcu procesu zostanie wyświetlona lista odbiorów, które dodano pomyślnie. Jeżeli z jakiegokolwiek powodu inicjalizacja odbioru rozpoczęła się, ale nie zakończyła sukcesem, informacja ta również zostanie wyświetlona w końcowym komunikacie.

Odbiory tradycyjne nie są wyposażone w moduł komunikacji z systemem, zatem nie może on sterować ich pracą. Pełnią one istotną rolę w planowaniu zapotrzebowania na energię elektryczną dla gospodarstwa domowego oraz w procesie jego optymalizacji, dlatego również dane o parametrach tych odbiorów powinny zostać ujęte w systemie. Użytkownik samodzielnie wprowadza informacje w procesie ich inicjalizacji, a w okresie eksploatacji systemu – informacje o ich używaniu. Zakres wprowadzanych informacji jest taki sam, jak w przypadku odbiorów „inteligentnych”.

12.4. Obsługa kont użytkownika

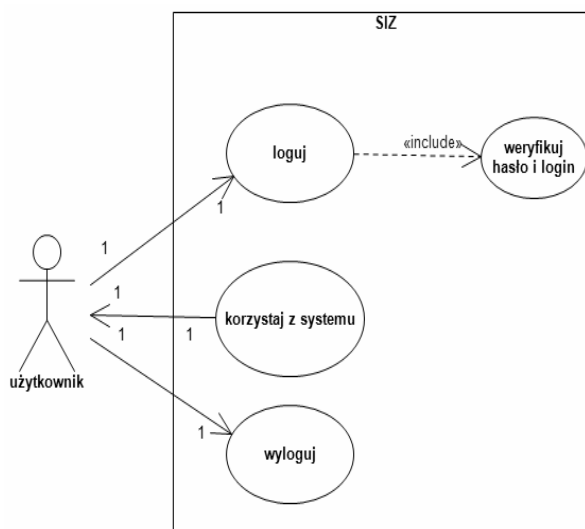
System domyślnie ma wbudowane konto administratora, do którego jest przypisane hasło nadawane w procesie inicjalizacji. Jak wspomiano, przedstawiając założenia projektowanego systemu, przewidywane są dodatkowo konta umożliwiające zarządzanie i monitoring wybranych funkcji przez Internet za pomocą połączenia szyfrowanego. Zakładanie dodatkowych kont zostało opisane w procesie inicjalizacji systemu. Przewidziana jest możliwość edycji oraz założenia nowych kont w menu systemowym.

12.4.1. Logowanie do systemu przez Internet

Procedura logowania do systemu polega na weryfikacji hasła oraz loginu. Po nieudanych trzech próbach zalogowania konto zostaje zablokowane. Jeżeli weryfikacja przebiegnie pomyślnie, użytkownik otrzymuje dostęp do funkcji systemu w zakresie:

- monitorowania komunikatów wysyłanych przez czujniki;
- podglądu materiału z zainstalowanych kamer;
- przeglądania raportów;
- planowania oraz śledzenia wykonywania harmonogramu;
- zarządzania odbiorami;
- monitorowania stanu naładowania baterii pojazdu elektrycznego (jeżeli jest podłączony do stacji ładującej);
- zarządzania wybranymi instalacjami;
- dokonywania zmian w ustawieniach systemu.

Wszystkie polecenia wprowadzone do systemu przez użytkownika korzystającego z dodatkowego konta mają



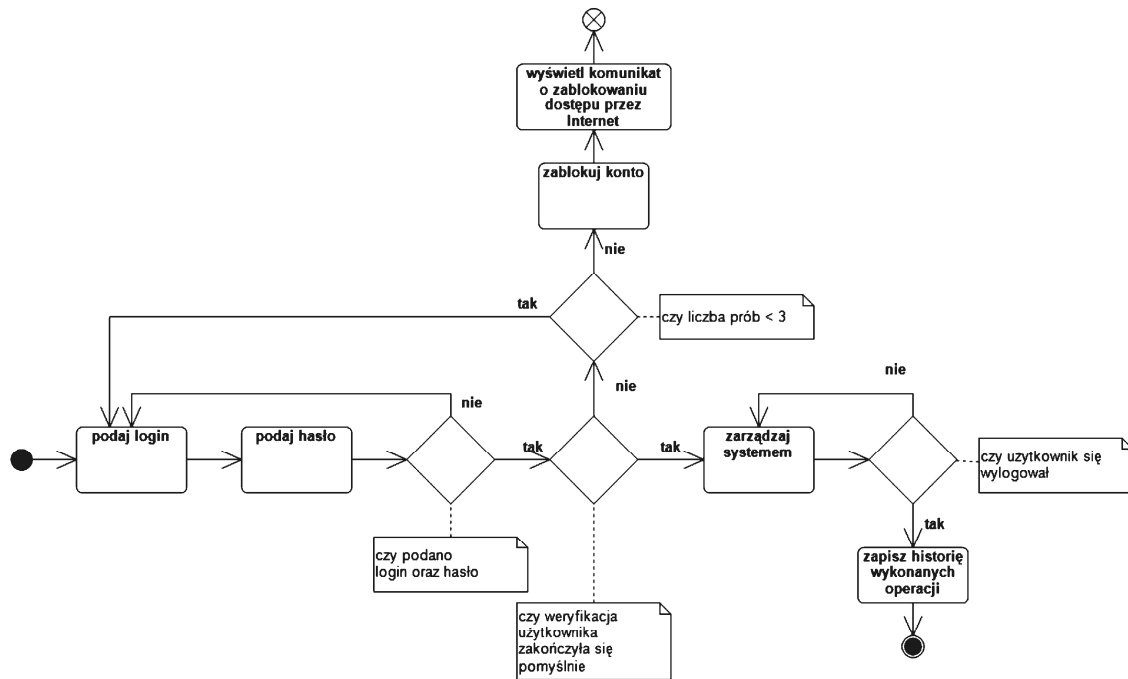
Rys. 12.1. Diagram przypadków użycia – logowanie do systemu przez Internet

Źródło: opracowanie własne.

niższy priorytet niż te pochodzące z domowego konta administratora. W ten sposób praca systemu będzie mniej podatna na błędy wynikające z równoległe podanych komend od różnych użytkowników. W przypadku, gdy użytkownik konta dodatkowego próbuje skorzystać z zasobu zajętego w tym samym czasie przez użytkownika pracującego na koncie administratora, otrzymuje on dostęp w formie „tylko do odczytu” bez możliwości edycji.

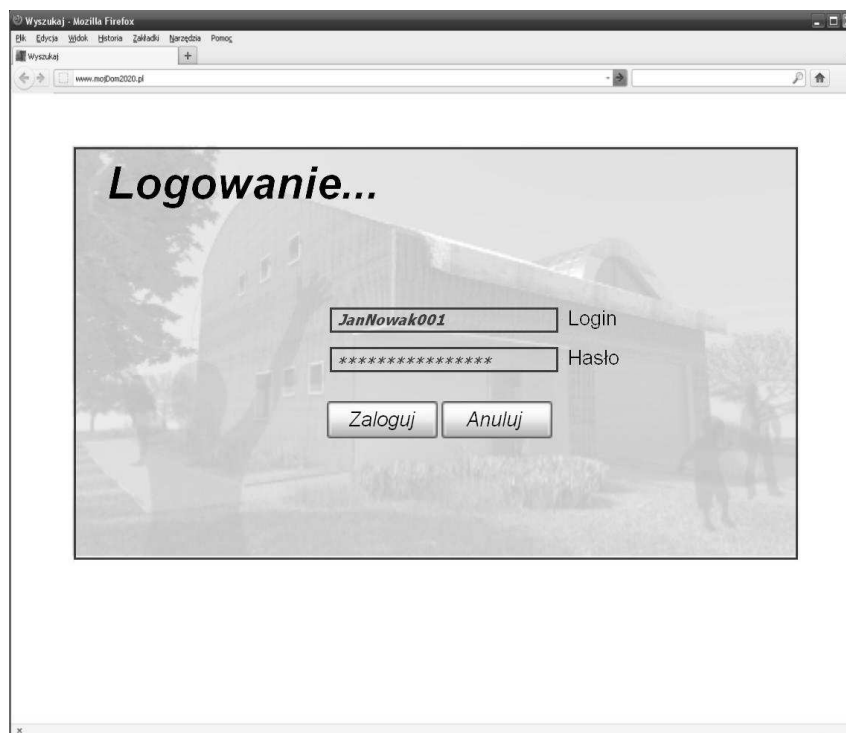
Jeżeli dwóch użytkowników zaloguje się do systemu przez Internet, wówczas mają te same uprawnienia i jako ostateczne zmiany zostaną zapisane te dokonane jako ostatnie. W przypadku, gdy dwie osoby próbują uzyskać dostęp do tego samego zasobu, użytkownik, który zgłosił zapotrzebowanie później, otrzymuje dostęp „tylko do odczytu”.

Proces logowania został przedstawiony na rys. 12.1 i 12.2, natomiast na rys. 12.3 – interfejs graficzny.



Rys. 12.2. Diagram czynności – logowanie do systemu przez Internet

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 12.3. Interfejs graficzny – logowanie do systemu przez Internet

Źródło: opracowanie własne.

12.4.2. Odblokowanie konta użytkownika

Odblokowanie konta może się odbyć jedynie z konta administratora. Użytkownik podaje hasło administratora, a następnie login i hasło do zablokowanego konta. System wymusza kompletne podanie tych danych. Jeżeli weryfikacja hasła administratora oraz loginu użytkownika została zakończona pomyślnie, użytkownik podaje nowe hasło do zablokowanego konta, a następnie potwierdza je w sposób analogiczny jak przy jego zakładaniu. Po zmianie hasła system odblokowuje konto, informując o tym za pomocą wyświetlonego komunikatu.

12.5. Zarządzanie odbiorami

12.5.1. Uruchamianie odbiorów – sprzęt „inteligentny”

Uruchamianie odbiorów może następować w trakcie realizacji wyznaczonego harmonogramu bądź poza nim. Użytkownik, korzystając z odbiorów typu: pralka, zmywarka, suszarka do ubrań czy cykl rozmrażania lodówki za pośrednictwem projektowanego SIZ umożliwia gromadzenie danych wykorzystywanych w procesie optymalizacji zużycia energii elektrycznej oraz harmonogramowania wybranych uruchomień tak, aby pokrycie zapotrzebowania na energię, z tą wyprodukowaną z OZE zainstalowanych w budynku, było jak najdokładniejsze i minimalizowało konieczność pobierania energii z sieci energetycznej.

W przypadku odbiorów „inteligentnych” istnieje możliwość komunikacji, co minimalizuje udział użytkownika w procesie ich uruchamiania. Po włożeniu ubrań do pralki czy suszarki lub naczyń do zmywarki oraz wskazaniu parametrów uruchomienia odbioru (np. prana będzie odzież bawełniana w temperaturze 40°C), system dokona uruchomienia o określonej godzinie.

Proces rozpoczyna się od próby nawiązania połączenia pomiędzy SIZ a wybranym odbiorem. Po trzech nieudanych próbach wyświetlony zostanie komunikat o braku połączenia. W przypadku pomyślnego nawiązania komunikacji SIZ sprawdzi, czy odbiór nie jest aktualnie zajęty. Jeżeli odbiór aktualnie pracuje, użytkownik zostanie poinformowany o tym fakcie kolejnym komunikatem. Jeżeli odbiór jest dostępny, SIZ przesyła parametry i następuje uruchomienie.

12.5.2. Uruchamianie odbiorów – sprzęt tradycyjny

Umieszczenie funkcji uruchamiania odbiorów tradycyjnych w SIZ jest uzasadnione pozyskiwaniem danych o obciążeniach w ciągu doby, wykorzystywanych do późniejszej optymalizacji zapotrzebowania na energię. Możliwe jest także projektowanie harmonogramu obejmującego zarówno odbiory tradycyjne, jak i „inteligentne”.

Uruchomienie odbioru tradycyjnego za pośrednictwem SIZ sprowadza się do wyświetlenia komunikatu o konieczności uruchomienia oraz jego akceptacji przez użytkownika w żądanym czasie. Proces odbywa się zatem w trzech etapach:

1. Wyświetlenie komunikatu o konieczności uruchomienia odbioru (wynikającej z harmonogramu).

2. Oczekiwanie systemu na potwierdzenie od użytkownika, iż odbiór został uruchomiony.

3. W przypadku potwierdzenia – kontynuowanie wykonywania harmonogramu, w przypadku jego braku – wyświetlenie komunikatu o przerwaniu wykonywania harmonogramu.

Jeżeli użytkownik uruchamia odbiór tradycyjny poza harmonogramem, może wprowadzić do SIZ informacje o parametrach tego uruchomienia (godzina rozpoczęcia, czas trwania, wybrany program itp.) za pomocą odpowiedniego przycisku w menu zarządzania odbiorami. W ten sposób jakość wykonywanej optymalizacji zużycia energii będzie wzrastała.

12.5.3. Budowa harmonogramu

Harmonogram obejmuje sterowanie pracą odbiorów monitorowanych przez system. Odbiory te cechują się stosunkowo dużym poborem mocy i dlatego odgrywają istotną rolę w procesie optymalizacji zużycia energii. Ponadto mają potencjał do zdalnego sterowania za pomocą systemu informatycznego. Oznacza to, że w większości przypadków pracę takich odbiorów można rozkładać w czasie, dokonując pewnych przesunięć, mających na celu zapewnienie energii elektrycznej pochodzącej z zainstalowanych OZE bez konieczności zakupu energii z sieci. Przesunięcia te nie powinny wywoływać poczucia dyskomfortu mieszkańców budynku.

Harmonogram może być w dowolnym momencie przerwany przez użytkownika, możliwe jest również uruchamianie wszystkich odbiorów bez konieczności budowy harmonogramu. Jest on jednak narzędziem zwiększającym komfort użytkowania odbiorów oraz umożliwiającym sterowanie ich pracą, także w sytuacji, gdy nikogo z mieszkańców nie ma w domu.

Proces budowy harmonogramu rozpoczyna się od wprowadzenia do SIZ przez użytkownika informacji o wszystkich odbiorach, jakie chciałby umieścić w harmonogramie wraz z parametrami ich uruchomienia. System weryfikuje i wymusza konieczność kompletności podawanych parametrów. Po zakończeniu tych czynności SIZ oblicza, ile energii zostanie zużyte na zrealizowanie harmonogramu i czy istnieje pokrycie w energii wytworzonej z zainstalowanych OZE. W przypadku wystąpienia deficytu system prosi użytkownika o zezwolenie na pobór energii z sieci. Jeżeli go nie otrzyma, wyświetla powiadomienie o przerwaniu budowy harmonogramu. W przeciwnym przypadku komu-

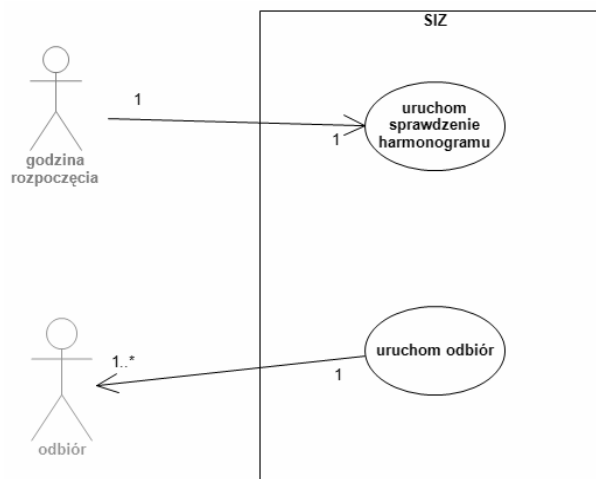
nikuje się z „inteligentnym” licznikiem, pobierając informacje o przewidywanych cenach energii i oblicza koszt wykonania harmonogramu.

Następnym etapem jest sprawdzanie przez system, czy proponowany harmonogram nie koliduje z innymi, wcześniej wprowadzonymi planami uruchomień oraz odnosi go do krzywych średniego dobowego zużycia energii, zbudowanych na podstawie danych historycznych. Korzystając z wszystkich opisanych wyżej danych, SIZ projektuje harmonogram i przedstawia go użytkownikowi, który może zaproponować modyfikacje. Powoduje to przeliczenie harmonogramu na nowo. Po zatwierdzeniu przez użytkownika harmonogram zostaje zapisany.

12.5.4. Wykonywanie harmonogramu

W wyznaczonym czasie rozpoczyna się wykonywanie harmonogramu – system weryfikuje możliwości. W tym celu obliczana jest ilość energii pochodzącej z OZE, a w przypadku jej niedoboru SIZ sprawdza, czy użytkownik wyraził zgodę na pobranie energii z sieci. Następnie weryfikowana jest dostępność odbiorów. Istnieje możliwość, że któreś z urządzeń ujętych w harmonogramie zostało uruchomione przez użytkownika i jest aktualnie zajęte, blokując poprawne wykonanie planu uruchomień. Jeżeli którykolwiek z przedstawionych elementów weryfikacji zakończy się niepomyślnie, wyświetlany jest komunikat o przerwaniu wykonywania harmonogramu.

Po pomyślnym zakończeniu sprawdzania warunków uruchomienia następuje próba włączenia pierwszego odbioru. W przypadku odbioru „inteligentnego” SIZ usiłuje nawiązać połączenie, a dla urzą-

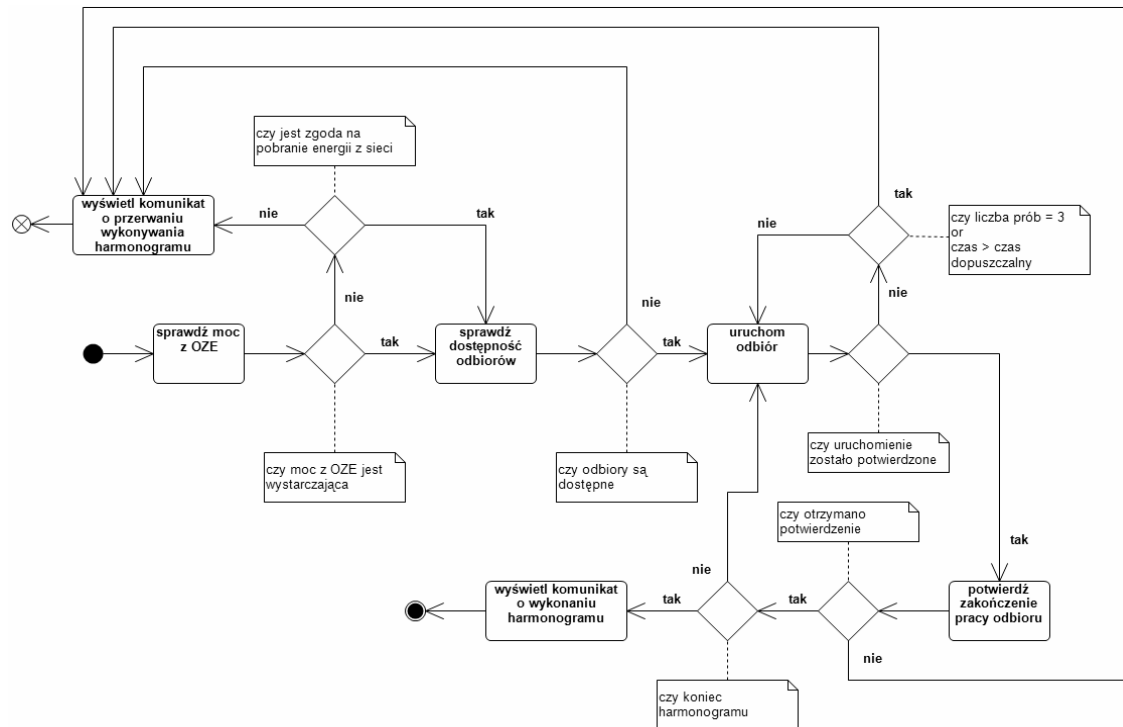


Rys. 12.4. Diagram przypadków użycia – wykonywanie harmonogramu

Źródło: opracowanie własne.

dzeń tradycyjnych wyświetlany jest komunikat na panelu systemowym, informujący użytkownika o konieczności uruchomienia odbioru. Po trzech nieudanych próbach nawiązania komunikacji lub po upływie czasu przewidzianego na potwierdzenie przez użytkownika włączenia odbioru, wyświetlane jest powiadomienie o przerwaniu wykonywania odbioru. Jeżeli czynności te zakończą się sukcesem, urządzenie zostaje uruchomione, a harmonogram jest realizowany. Po zakończeniu pracy pierwszego odbioru następuje próba włączenia kolejnych – według tej samej zasady. O pomyślnym zakończeniu wykonywania harmonogramu użytkownik jest powiadomiony stosownym komunikatem.

Proces wykonywania harmonogramu został zilustrowany za pomocą rys. 12.4 oraz 12.5. Na rys. 12.6 przedstawiono interfejs graficzny.



Rys. 12.5. Diagram czynności – wykonywanie harmonogramu



Rys. 12.6. Interfejs graficzny – wykonywanie harmonogramu

Źródło: opracowanie własne.

12.5.5. Dodawanie nowego odbioru do systemowej bazy danych – sprzęt „inteligentny”

W okresie eksploatacji budynku część zainstalowanych w nim odbiorów ulegnie uszkodzeniu i wymianie na nowe, możliwy jest również zakup nowych urządzeń. Z tego powodu konieczne jest zaimplementowanie funkcjonalności umożliwiającej wprowadzenie do systemowej bazy danych informacji o nowych urządzeniach. Proces przebiega analogicznie jak w przypadku wprowadzania danych o odbiorach podczas inicjalizacji systemu.

Użytkownik podłącza odbiór „inteligentny”, a następnie uruchamia w systemie funkcję dodawania nowych urządzeń. SIZ próbuje nawiązać komunikację z urządzeniem. Po trzech nieudanych próbach wyświetla komunikat o braku połączenia. Natomiast po nawiązaniu komunikacji pobiera niezbędne dane dotyczące nowego urządzenia, zapisuje je w bazie oraz wyświetla potwierdzenie pomyślnego zakończenia wykonywanej operacji.

12.5.6. Dodawanie nowego odbioru do systemowej bazy danych – sprzęt tradycyjny

Podobnie jak w przypadku dodawania urządzeń „inteligentnych” do bazy danych SIZ, wprowadzanie informacji o tradycyjnych sprzętach gospodarstwa domowego przebiega analogicznie do etapu inicjalizacji całego systemu, z tym, że jest uruchamiane w dowolnym momencie jego eksploatacji, na żądanie użytkownika.

Użytkownik wybiera odpowiedni przycisk z menu zarządzania odbiorami, a następnie wprowadza unikatową nazwę dodawanego odbioru oraz informacje o parametrach jego uruchomienia i pracy. System zapisuje podane dane, umieszczając odbiór na liście wszystkich urządzeń.

12.5.7. Usuwanie informacji o odbiorze z systemowej bazy danych

Zastępowanie starych urządzeń nowymi i umieszczanie informacji o nich w SIZ powoduje wydłużanie się listy odbiorów, co może negatywnie wpływać na czytelność i przejrzystość prezentowanych danych. Z tego powodu, w celu zwiększenia komfortu pracy użytkownika z systemem, zaimplementowana została funkcja usuwania informacji o odbiorze z systemowej bazy danych. W wyniku przeprowadzenia tej operacji dane urządzenie nie będzie figurowało na liście wszystkich odbiorów. Pewne historyczne dane zostaną jednak zachowane i wykorzystane w procesie raportowania oraz optymalizacji.

Zaczyna się od wyboru przez użytkownika urządzenia z listy odbiorów i zatwierdzenia opcji „Usuń” (system prosi o potwierdzenie). Jest to standardowa procedura, stosowana w celu zapobieżenia przypadkowemu usunięciu danych. Ponowne potwierdzenie powoduje usunięcie danych, a wybrane informacje historyczne są archiwizowane. Na końcu system wyświetla powiadomienie o usunięciu odbioru z listy.

12.5.8. Informowanie o sytuacjach alarmowych

Zaburzenia w pracy odbiorów mogą być raportowane do systemu, jeżeli urządzenie ma zdolność komunikacji, czyli jest zakwalifikowane do sprzętu „inteligentnego”. W takim przypadku kod błędu wysyłany jest do SIZ. Listę kodów błędów wprowadza się do systemu podczas dodawania odbioru. W odpowiedzi na zaistniałą sytuację możliwe jest zaimplementowanie dwóch reakcji systemu:

- odłączenie zasilania odbioru;

- wyświetlenie komunikatu na panelu systemowym wraz z wyemitowaniem sygnału dźwiękowego i ewentualne przesłanie informacji o błędzie na telefon komórkowy użytkownika.

12.6. Zarządzanie instalacjami

Projektowany budynek zostanie wyposażony w liczne instalacje, spośród których większość zostanie objęta monitoringiem SIZ. Należą do nich: zbiornik na deszczówkę, hybrydowy system solarny, rolety okienne, rekuperator, instalacja centralnego ogrzewania (CO) oraz ciepłej wody użytkowej (CWU), turbina wiatrowa, instalacja podgrzewania chodnika i podjazdu oraz zainstalowane w budynku kamery i sensory. Zbiór instalacji może się zmieniać w zależności od takich czynników, jak wyposażenie budynku technicznego, wpływające na instalacje zamontowane w budynkach mieszkalnych czy osobiste preferencje użytkowników.

W zależności od charakterystyki poszczególnych instalacji, współpraca między konkretnym elementem budynku a systemem informatycznym albo może być w pełni zautomatyzowana, albo sprowadza się do monitorowania określonych stanów alarmowych i sygnalizowania ich użytkownikowi za pomocą komunikatu na głównym panelu systemowym bądź powiadomienia na telefon komórkowy. Aby współpraca ta była możliwa, przyjęto założenie, że projektowane instalacje zostaną wyposażone w czujniki monitorujące zadane parametry oraz mające zdolność bezprzewodowej komunikacji z systemem informatycznym. Czujniki te wysyłają, z określoną częstotliwością, sygnał kontrolny do systemu. W przypadku wystąpienia błędu w przesyłanym sygnale zostanie zawarty kod sytuacji nietypowej. W poniższych paragrafach zostaną opisane wybrane sytuacje alarmowe wymagające podjęcia szczególnych działań przez system bądź przez użytkownika. Mogą wystąpić jednakże inne, dodatkowe sytuacje, wynikające np. z wyczerpywania baterii czujnika (jeżeli będzie w nie wyposażony), problemów z połączeniem czy innych, które zależą bezpośrednio od instalacji.

12.6.1. Zbiornik na deszczówkę

Kooperacja pomiędzy SIZ a zbiornikiem przeznaczonym na gromadzenie wody opadowej polega na monitorowaniu przez system aktualnego poziomu zapelnienia pojemnika. Zakładając, że przewidywany zbiornik będzie wyposażony w czujnik monitorujący ten parametr oraz system automatyki sterujący zaworem rury odprowadzającej/doprowadzającej wodę, przewidywane są dwa typy interakcji system–instalacja:

- regulacja zaworu rury odprowadzającej wodę w przypadku przepełnienia się zbiornika;
- regulacja zaworu doprowadzającego wodę z wodociągu w przypadku zbyt niskiego poziomu zapelnienia.

W pierwszym przypadku czujnik wysyła do SIZ sygnał o za wysokim poziomie wody w zbiorniku, który w odpowiedzi przekazuje komendę „Otworzyć zawór” do systemu sterowania zaworem. Podczas opróżniania zbiornika poziom wody jest na bieżąco monitorowany. Po osiągnięciu żadanego poziomu system wysyła komendę zamknięcia zaworu oraz zapisuje w swojej bazie danych informację o zaistniałym incydencie, informując ponadto użytkownika.

Druga sytuacja dotyczy zbyt niskiego poziomu wody. Sekwencja zdarzeń przebiega analogicznie jak w pierwszym przypadku: sygnał od czujnika, reakcja systemu, rozpoczęcie napełniania zbiornika, komenda zamknięcia zaworu po osiągnięciu odpowiedniego poziomu zapełnienia.

12.6.2. Obieg glikolu do chłodzenia ogniwa fotowoltaicznego

Po przekroczeniu maksymalnego dopuszczalnego poziomu temperatury zwiększany jest przepływ glikolu wykorzystywanego do chłodzenia ogniwa fotowoltaicznego. Ustabilizowanie temperatury przywraca obieg glikolu do poprzedniego stanu.

12.6.3. Rolety okienne

Współpraca SIZ z systemem sterowania roletami okiennymi polega na regulowaniu poziomu nasłonecznienia. Czujnik, informując o zbyt wysokim poziomie nasłonecznienia w pomieszczeniu, powoduje reakcję systemu w postaci przesłania komendy do automatyki zarządzającej roletami.

12.6.4. Rekuperator

Sterowanie instalacją wentylacyjną obejmuje regulację wydajności rekuperatora. W pomieszczeniach tzw. „mokrych”, czyli łazienki oraz kuchni, monitorowany jest poziom dwutlenku węgla, natomiast w salonie oraz sypialniach – wysokość temperatury. Po przekroczeniu dozwolonego poziomu któregoś z tych parametrów zwiększana jest wydajność rekuperatora w celu przewietrzenia pomieszczenia. Po zakończeniu procesu prędkość rekuperatora jest przywracana do ustalonej wartości.

Druga sytuacja monitorowana przez system dotyczy sterowania przepustnicą oraz wentylatorem tłoczącym powietrze do zbiornika z PCM w zależności od temperatury w pomieszczeniach i na zewnątrz.

12.6.5. Instalacja CO

W skład instalacji centralnego ogrzewania wchodzi kominek opalany pelletem. W ogrzewanych pomieszczeniach planowane jest zainstalowanie czujników mierzących poziom temperatury powietrza. Jeżeli wystąpi sygnał informujący o za wysokim bądź za niskim poziomie temperatury, SIZ wysyła komendę zwiększenia mocy kominka do jego układu sterowania. Sygnał ten może mieć dwojakie źródło:

- możliwe jest zdefiniowanie w systemie żadanego poziomu temperatury, utrzymywanej w pomieszczeniu;
- użytkownik może w dowolnym momencie wydać polecenie regulacji poziomu temperatury do poziomu zdefiniowanego według własnej potrzeby.

Drugą funkcjonalność dotyczy zbiornika pelletu, zasilającego kominek. Zakładając zainstalowanie w nim czujnika monitorującego poziom zapełnienia, planowane jest wysyłanie przez system powiadomienia w postaci wiadomości SMS o konieczności jego napełnienia.

12.6.6. Instalacja CWU

W instalacji centralnej wody użytkowej mierzony jest poziom temperatury wody. Jeżeli osiągnie ona zbyt niskie wartości, załączana jest grzałka elektryczna. W sytuacji odwrotnej, gdy temperatura jest za wysoka, uruchamiane jest przetłaczanie wody, mające na celu jej ochłodzenie. Po osiągnięciu żadanego poziomu temperatury grzałka jest wyłączana lub przetłaczanie wody wstrzymywane.

12.6.7. Instalacja podgrzewania powierzchni chodnika i podjazdu

Wsparcie ze strony SIZ w przypadku tej instalacji jest ograniczone do wyświetlenia użytkownikowi powiadomienia o możliwym oblodzeniu chodnika przed budynkiem lub podjazdu.

12.6.8. Turbina wiatrowa

Sterowanie pracą turbiny wiatrowej zainstalowanej w budynku będzie stanowić instalację autonomiczną i nie będzie podlegało systemowi informatycznemu. Przewidywane jest jednak wsparcie systemowe w zakresie zarządzania wytworzoną energią. Możli-

we będą dwa tryby wykorzystywania wyprodukowanej energii: zużywanie jej na własne potrzeby bądź oddawanie do sieci. W przypadku powstawania nadwyżek energii będzie ona odprowadzana do sieci elektroenergetycznej, co może być wykonywane przez system informatyczny w sposób zautomatyzowany, dodatkowo będzie zaimplementowana możliwość ręcznego zdefiniowania przez użytkownika sposobu wykorzystania tej energii.

12.6.9. Czujniki monitorujące podstawowe parametry w budynku oraz kamery

Przewidywane jest zainstalowanie w budynku czujników, sprawdzających m.in. temperaturę powietrza, wilgotność czy poziom tlenu węgla. Możliwe jest ponadto zainstalowanie kamer zwiększających bezpieczeństwo mieszkańców.

Dane pochodzące z tych urządzeń będą okresowo przesyłane do systemu, którego zadaniem będzie ich archiwizacja oraz wykrywanie ewentualnych stanów odbiegających od normy (w przypadku czujników). Aby zapobiec nadmiernemu gromadzeniu danych, będą one przechowywane jedynie przez dobę, po czym zostaną skasowane przy zachowaniu jedynie informacji o stanach nietypowych. Możliwe jest również trwale zarchiwizowanie wybranych fragmentów nagrań z kamer na żądanie użytkownika.

12.7. Obsługa pojazdu elektrycznego

Pomimo iż pojazdy elektryczne w Polsce nie są jeszcze upowszechnione, koncepcja projektu „Dom 2020” zakłada wprowadzenie do budynku nowoczesnych technologii oczekiwanych w przyszłości. Z tego powodu projektowany system informatyczny obejmuje w swojej funkcjonalności obsługę pojazdów elektrycznych.

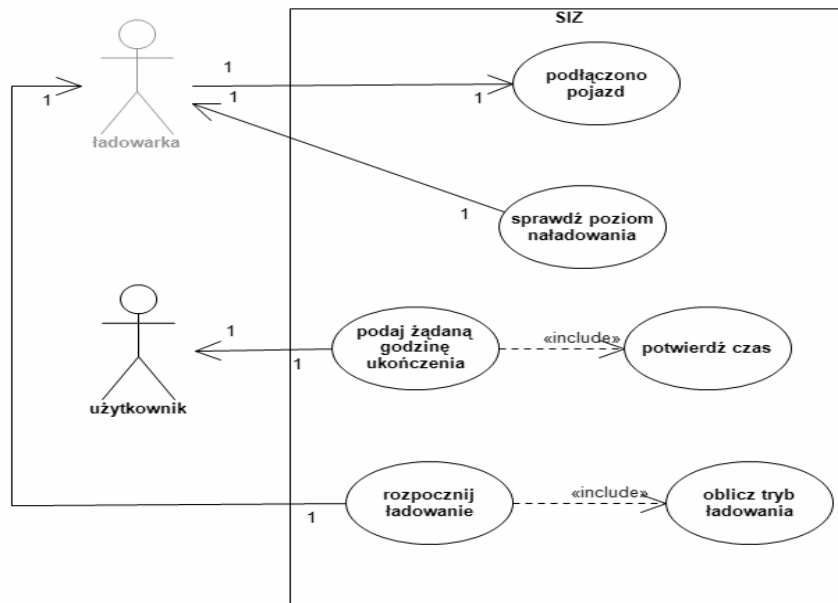
Proces ładowania pojazdu elektrycznego wymaga wykorzystania urządzenia zasilającego, konektora oraz przewodu elektrycznego, a czas ładowania oraz ilość energii potrzebnej do naładowania baterii są uzależnione od:

- pojemności baterii;
- poziomu jej naładowania;
- wydajności baterii;
- wydajności ładowarki;
- średniej liczby przejeżdżanych w ciągu dnia kilometrów [20].

Wyróżnia się kilka trybów ładowania pojazdów elektrycznych: domowy, publiczny i szybki/ultraszybki. Projektowana funkcjonalność systemu odnosi się do pierwszej ze wskazanych kategorii, wyróżniającej się następującymi regułami [22]:

- parametry zasilania: jedna faza, prąd zmienny, 110/220 V_{rms} i 50/60 Hz;
- pojazd jest ładowany z reguły przez całą noc;
- metoda wydajna, proces ładowania odbywa się w okresie niskiego zapotrzebowania na energię elektryczną;
- stacja do ładowania umieszczona w garażu, przed domem lub wmontowana w ścianę budynku.

Baterie pojazdów elektrycznych mogą być postrzegane jako urządzenia magazynujące nadwyżki wyprodukowanej energii. Technologia Vehicle-to-grid (V2G) uznawana jest za jedną z kluczowych technologii integrujących odnawialne źródła energii w sieciach inteligentnych [7]. Pojazdy elektryczne są zaparkowane średnio przez 92% czasu w ciągu dnia. Ta dostępność czyni je pożądanymi urządzeniami magazynującymi. Idea V2G



Rys. 12.7. Diagram przypadków użycia – sterowanie procesem ładowania akumulatora pojazdu elektrycznego

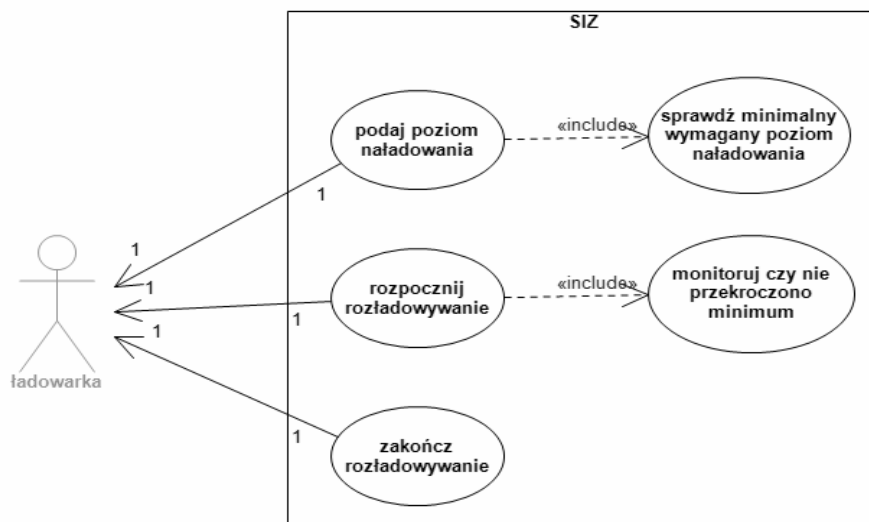
Źródło: opracowanie własne.

polega na wykorzystaniu akumulatorów pojazdów elektrycznych jako urządzeń magazynujących energię elektryczną i wykorzystanie jej w okresach niedoboru. Koncepcja V2G wymaga implementacji systemu agregującego szereg pojazdów elektrycznych, ponieważ korzyść z zastosowania pojedynczego pojazdu jako magazynu energii jest mniejsza niż z zastosowania zespołu pojazdów. Pociąga to za sobą wprowadzenie technologii ICT w postaci: inteligentnych liczników, oprogramowania, interfejsów czy aplikacji przeznaczonych dla użytkownika końcowego.

Zastosowanie koncepcji V2G w pojedynczym gospodarstwie domowym dla celów omawianego projektu wymaga dokonania pewnych uproszczeń. Nie zakłada się bowiem agregacji pojazdów, lecz wykorzystanie akumulatora pojazdu jako alternatywnego źródła energii dla pojedynczego gospodarstwa domowego.

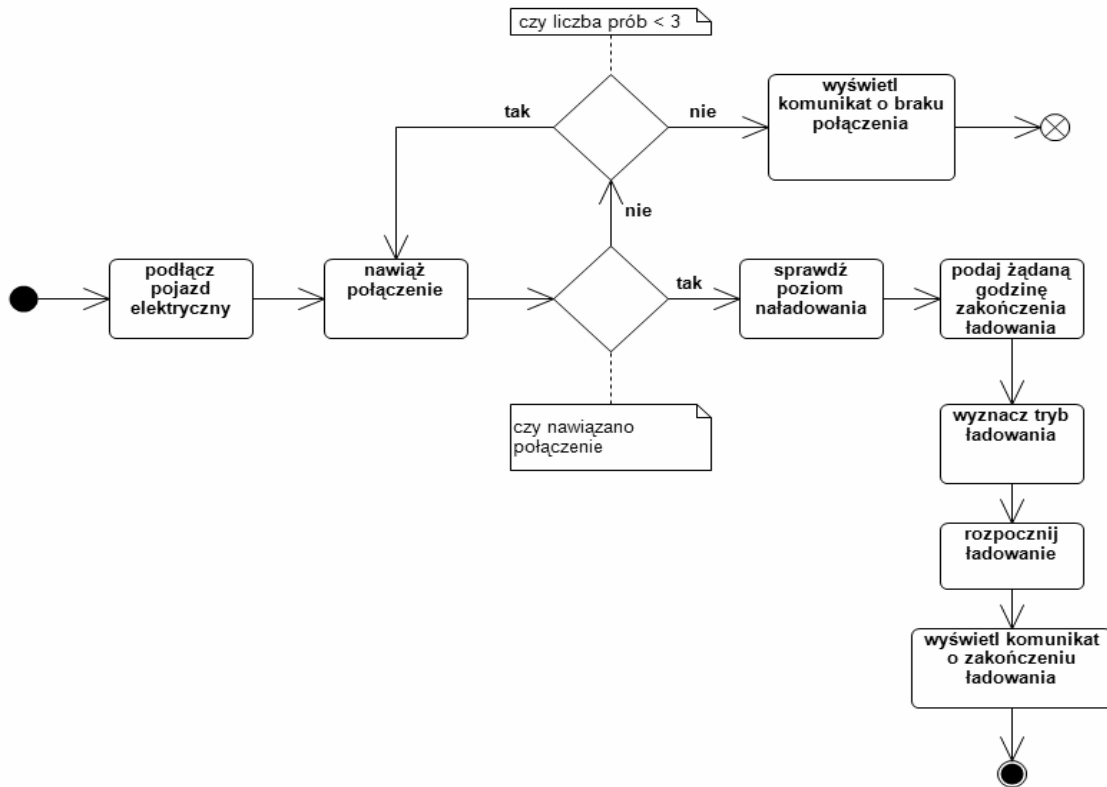
SIZ obejmuje zatem dwa aspekty obsługi pojazdu elektrycznego: ładowanie akumulatora oraz proces kontrolowanego rozładowywania go, wykorzystujący technologię V2G.

Z chwilą podłączenia pojazdu do urządzenia ładującego przesyłane są informacje dotyczące: aktualnego poziomu naładowania oraz wskazanej przez użytkownika godziny,



Rys. 12.8. Diagram przypadków użycia – sterowanie procesem rozładowywania akumulatora pojazdu elektrycznego (V2G)

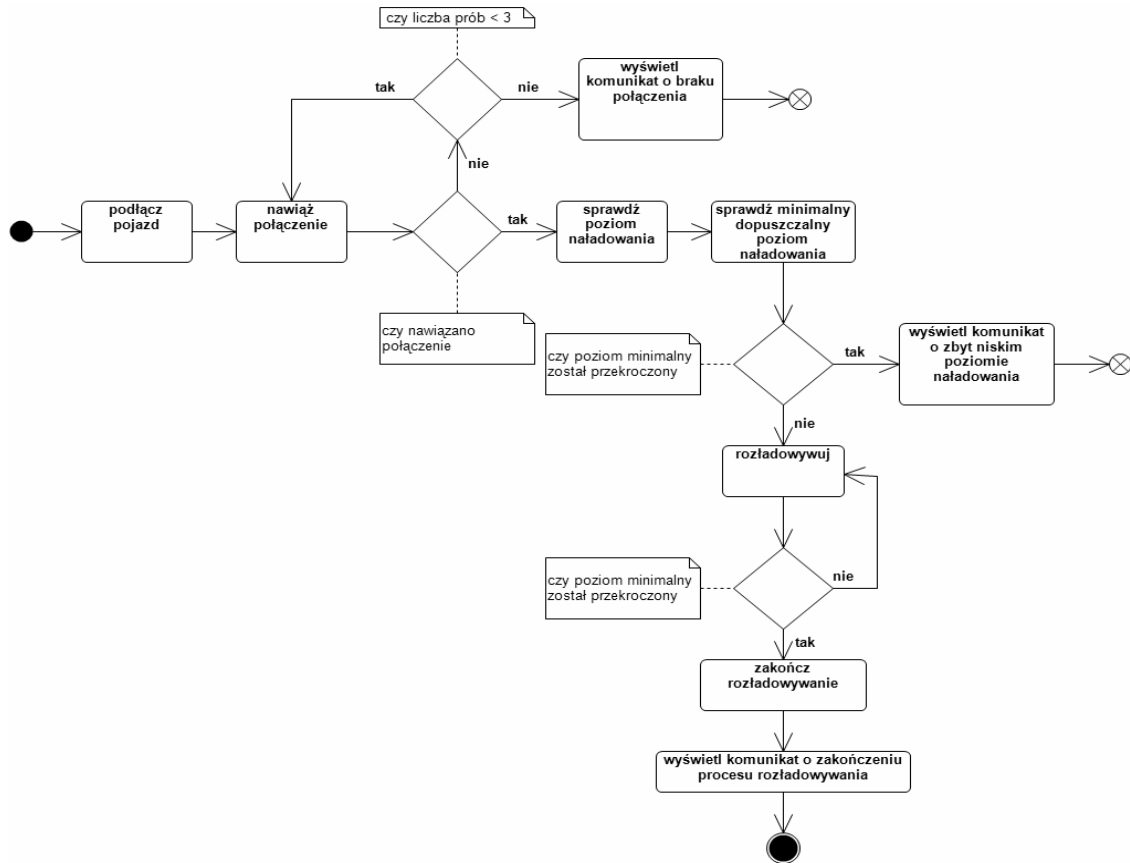
o której chce ponownie skorzystać z pojazdu. Na podstawie informacji o aktualnym poziomie naładowania system oszacowuje, ile czasu wymaga pełne naładowanie baterii. Wyznaczona godzina zakończenia procesu ładowania służy natomiast do ustalenia jego trybu: w przypadku, gdy pojazd zostanie naładowany szybciej niż wskazał użytkownik, możliwe jest przesunięcie procesu ładowania na godziny o mniejszym zapotrzebowaniu na energię elektryczną tak, by uniknąć pobierania energii z sieci i wykorzystać energię wytworzoną z zainstalowanych w budynku OZE. Gdy wskazanego „luzu” czasowego nie ma, proces ładowania musi się rozpocząć natychmiast.



Rys. 12.9. Diagram czynności – sterowanie procesem ładowania akumulatora pojazdu elektrycznego

Źródło: opracowanie własne.

Korzystanie z zasobów akumulatora w przypadku niedoboru energii elektrycznej również rozpoczyna się od podłączenia pojazdu do urządzenia ładującego. System oszacowuje zdolność akumulatora pojazdu do zasilenia domowej sieci na podstawie danych o aktualnym i dopuszczalnym minimalnym poziomie naładowania. Jeżeli aktualny poziom naładowania przewyższa dopuszczalne minimum, rozładowywanie może być rozpoczęte. Proces ten jest monitorowany i zostaje zakończony z chwilą osiągnięcia punktu granicznego.



Rys. 12.10. Diagram czynności – sterowanie procesem rozładowywania akumulatora pojazdu elektrycznego (V2G)

Opisane funkcje zostały zilustrowane na czterech poniższych diagramach (rys. 12.7, 12.8, 12.9, oraz 12.10). Na rys. 12.11 zaprezentowano interfejs graficzny, przedstawiający proces ładowania pojazdu elektrycznego.



Rys. 12.11. Interfejs graficzny – sterowanie procesem ładowania akumulatora pojazdu elektrycznego

Źródło: opracowanie własne.

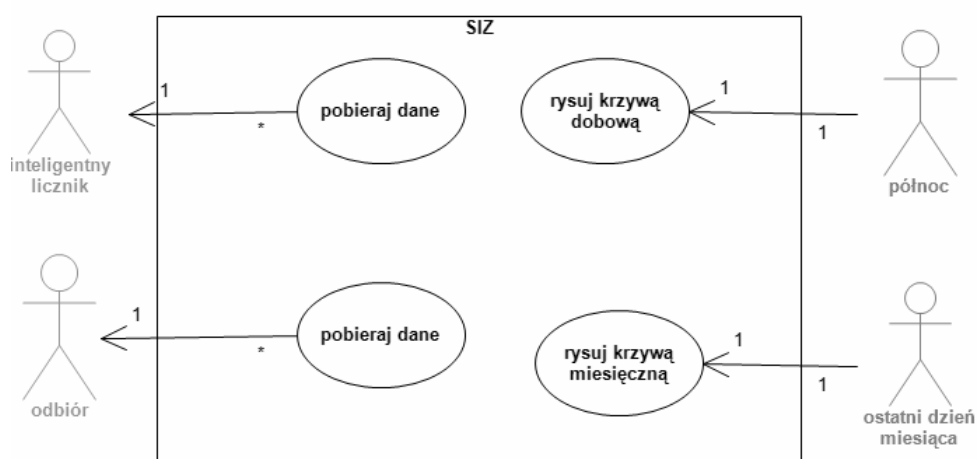
12.8. Optymalizacja zużycia energii elektrycznej

Zagadnienie optymalizacji zużycia energii elektrycznej ma na celu dążenie do zaspokajania popytu mieszkańców na energię za pomocą źródeł OZE zainstalowanych w budynku, przy jednoczesnej minimalizacji poboru energii z sieci. U źródła procesu leży założenie wymieniane w podrozdziale dotyczącym zarządzania odbiorami stwierdzające, iż część odbiorów może być zdalnie sterowana w określonym zakresie, bez wywołania u mieszkańców poczucia dyskomfortu. Z tego powodu proces optymalizacji rozpoczyna się już pośrednio na etapie budowy harmonogramu, kiedy system próbuje tak ustalić

plan uruchomień, aby został w jak największej części pokryty za pomocą energii wytworzonej z OZE, przy jednoczesnym zachowaniu ram czasowych, wskazanych przez użytkownika.

Jednakże zasadnicza optymalizacja przeprowadzana jest na podstawie danych historycznych, dotyczących zużycia energii elektrycznej w ciągu doby/miesiąca. Proces rozpoczyna się od zbierania danych o poborze energii elektrycznej z licznika „inteligentnego”. Dodatkowo gromadzone są dane o uruchomieniach odbiorów zarządzanych przez SIZ (tj. pralka, zmywarka, suszarka do ubrań). Na podstawie danych pochodzących z licznika każdego dnia rysowane są krzywe dobowego zużycia energii, a raz na miesiąc również miesięczne. Wykorzystywane one są do sporządzania bieżących raportów dla użytkownika oraz do wyznaczenia tzw. profilu zużycia energii, czyli do sporządzenia krzywej średniego dobowego/miesięcznego zapotrzebowania na energię.

Drugi typ pobieranych danych to informacje o mocy wytwórczej OZE w danym momencie doby. Zainstalowane w budynku odnawialne źródła (tj. kominek opalany pelletem, turbina wiatrowa czy ogniwo fotowoltaiczne) cechują się bowiem niestabilnym trybem pracy, uwarunkowanym dostępnością paliwa typu pellet, nasłonecznieniem czy siłą wiatru w danym momencie.

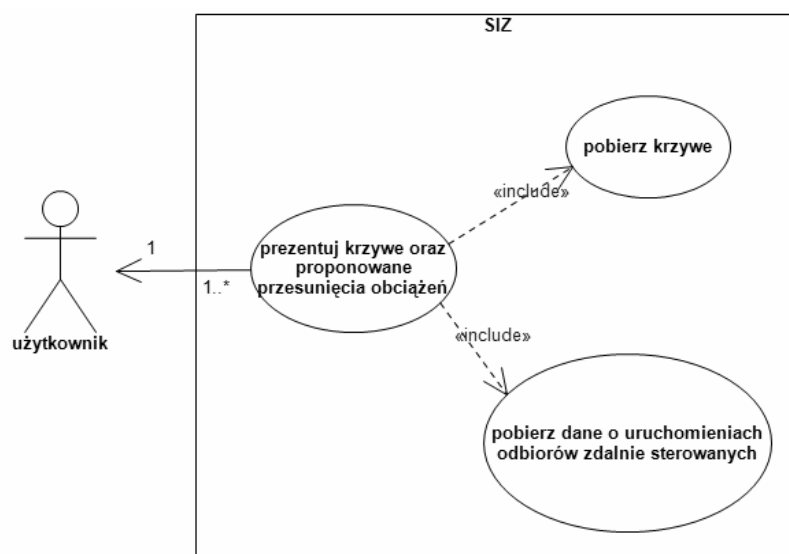


Rys. 12.12. Diagram przypadków użycia – gromadzenie danych o dobowym/miesięcznym zapotrzebowaniu na energię elektryczną

Dbając o poczucie komfortu użytkownika, które mogłoby zostać naruszone w przypadku podejmowania przez SIZ autonomicznych decyzji, dotyczących sterowania zużyciem energii, proces optymalizacji przyjmuje charakter raportu oraz wskazań, do których użytkownik może, ale nie musi się zastosować.

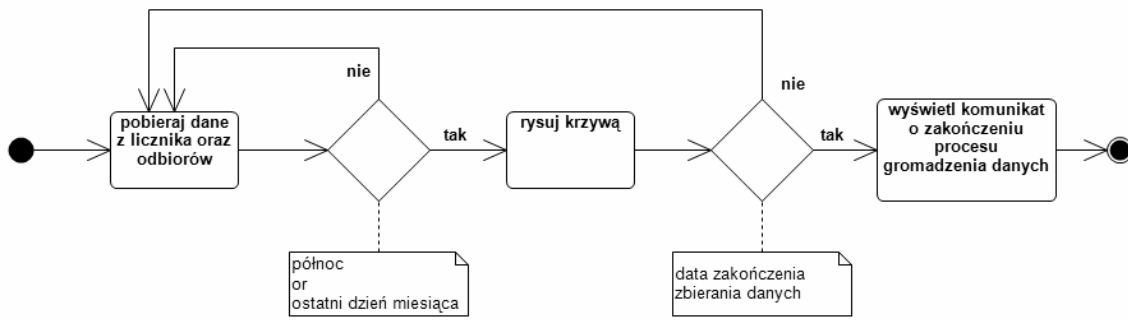
Dane o zużyciu energii w ciągu doby porównywane są z danymi o mocach wytwórczych OZE, co pozwala na wskazanie nadwyżek oraz niedoborów energii. W przypadku, gdy system wykryje niedobór, który wymagał dodatkowego poboru energii z sieci, dokona analizy, czy w okresie tym były uruchamiane odbiory zarządzane przez niego. Jeżeli tak, wskaże możliwości przesunięć, tak, aby odbiory te (cechujące się z reguły znacznym poborem energii) były uruchamiane w okresach o zapotrzebowaniu niżowym. Podobna analiza wykonywana jest w skali miesiąca.

Zaprezentowane wyniki analizy optymalizacyjnej mają charakter informacyjny. Użytkownik otrzymuje wskazania, w jaki sposób może zminimalizować pobór energii elektrycznej z sieci. Różnorodne czynniki mogą jednak determinować przedkładanie



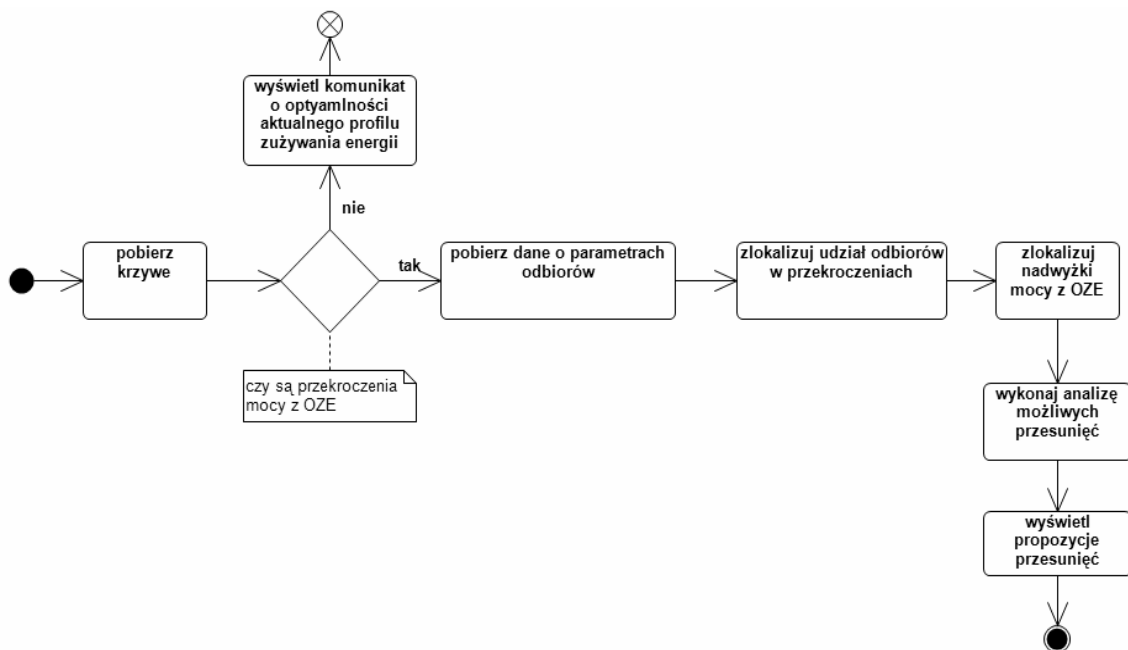
Rys. 12.13. Diagram przypadków użycia – analiza optymalizacyjna

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 12.14. Diagram czynności – gromadzenie danych o dobowym / miesięcznym zapotrzebowaniu na energię elektryczną

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 12.15. Diagram czynności – analiza optymalizacyjna

Źródło: opracowanie własne.

aktualnego profilu zużycia energii nad możliwości jej oszczędzania, np. częste wykonywanie prania z powodu posiadania małych dzieci, odwiedziny gości, długie godziny pracy itp. Wymuszenie przez SIZ przesunięć pracy odbiorów jest w takiej sytuacji wysoce niepożądane, co uzasadnia przyjęte rozwiązanie.

Przebieg procesu optymalizacyjnego, obejmujący dwa etapy: gromadzenia danych oraz ich analizy, został przedstawiony na rys. 12.12, 12.13, 12.14 oraz 12.15. Na rys. 12.16 zaprezentowano interfejs graficzny, przedstawiający raport dobowego zużycia energii, przypadającego na konkretny dzień, natomiast na rys. 12.17 – interfejs ilustrujący fragment procesu optymalizacyjnego.



Rys. 12.16. Interfejs graficzny – raport dobowego zużycia energii

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 12.17. Interfejs graficzny – fragment procesu optymalizacyjnego

Źródło: opracowanie własne

12.9. Wymagania niefunkcjonalne

Jak wspomiano w rozdziale 2., wymagania niefunkcjonalne służą do definiowania zakresu sprzętowego systemu. Szczegółowa parametryzacja tego typu wymagań nie wchodzi w zakres niniejszego opracowania. Niemniej jednak wymienić należy podstawowe elementy składające się na budowę opisywanego SIZ. Są to:

- dotykowy tablet;
- zespół czujników i sensorów, które nie należą bezpośrednio do SIZ, lecz ściśle z nim współpracują;
- moduł do komunikacji bezprzewodowej z czujnikami, odbiorami oraz stacją ładującą pojazd elektryczny.

Do projektowania systemu zostanie wykorzystany HTML. Wśród głównych zalet takiego rozwiązania wymienić należy:

- uniwersalny charakter: aplikacje w HTML są obsługiwane przez wiele urządzeń, także mobilnych;
- brak dodatkowych kosztów, wynikających z konieczności dostosowania SIZ do urządzeń (np. tabletu) różnych producentów;
- łatwość aktualizacji systemu lub jego interfejsów.

12.10. Podsumowanie

Projektowany system stanowi innowacyjne podejście do zarządzania budynkiem energooszczędnym. Wychodząc poza funkcjonalność, jaką oferują dzisiejsze systemy automatyki, SIZ oferuje kompleksowe zarządzanie kluczowymi instalacjami oraz odbiorami, optymalizowanie poziomu zużywanej energii oraz obsługę procesu ładowania pojazdu elektrycznego.

Zaprezentowane rozwiązanie jest przeznaczone dla budynku powstającego w projekcie Dom 2020, niemniej jednak – po dokonaniu pewnych modyfikacji – można je zastosować również w innych budynkach energooszczędnych.

LITERATURA

- [1] *Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them*, US Department of Energy, A Report to the United States Congress Pursuant to Section 1252 of Energy Policy Act of 2005, February 2006.
- [2] Brooks A., Lu E., Reicher D., Spirakis Ch., Wehl B., *Demand Dispatch*, "IEEE Power & energy magazine", May/june 2010.
- [3] *Demand Response as a resource for the adequacy and operational reliability of the power systems. Explanatory Note*, ETSO 2007.
- [4] *Demand Side Response in the National Electricity Market. Case Studies*, Energy Users Association of Australia, www.euaa.com.au, April 2005.
- [5] *Enhancement of Demand Response. FINAL STATUS REPORT*, Nordel Demand Response Group, www.fourfact.com, 2006.
- [6] Goldberg M., *Measure Twice, Cut Once*, "IEEE Power & energy magazine", May/june 2010.

- [7] *ICT for Breakthrough Industry Transformation. ICT for a Low Carbon Economy Smart Electricity Distribution Networks*, European Commission Information Society and Media, July 2009.
- [8] Jabłońska M. R., Adrian Ł., Janicki M., Klimek A., Pawlak J., Tkacz E., Znajdek K., *Dom 2020 – projekt niezależnego energetycznie, inteligentnego domu energooszczędnego*, „Dolnośląski Dom Energooszczędny”, Wrocław 2011.
- [9] Jabłońska M. R., *Aktualne trendy w badaniach nad reakcją strony popytowej oraz możliwości ich implementacji w warunkach krajowych*, „Rynek Energii” 2011, nr 3(94).
- [10] Jabłońska M. R., *Rola informatyki w budownictwie energooszczędnym*, projekt „Bioenergia dla Regionu – Zintegrowany Program Rozwoju Doktorantów”, www.bioenergiadlaregionu.eu, Łódź 2011.
- [11] Jabłońska M. R., Zieliński J. S., *Electric vehicles’ influence on smart grids*, [w:] *Aktualne problemy w elektroenergetyce*, t. 2, Jurata 2011.
- [12] Lui T.J., Stirling W., Marcy H. O., *Get smart*, „IEEE Power & energy magazine”, May/June 2010.
- [13] Lugaric L., Krajcar S., Simic Z., *Smart City – Platform for Emergent Phenomena Power System Testbed Simulator*, “IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies Europe”, October 11–13, 2010, Lindholmen Science Park, Gothenburg 2010.
- [14] Nieuwenhout F., *Flexible electricity grids*, Report of Work Package 1, EOS-LT project FLEXIBEL, 4 April 2006.
- [15] Opracowanie modelu stosowania mechanizmów DSR na rynku energii w Polsce, wykonane na zlecenie PSE Operator S.A., Konstancin-Jeziorna 2009.
- [16] Raport Komisji Europejskiej, *ICT for a Low Carbon Economy. Smart Buildings*, Bruksela, lipiec 2009.
- [17] Raport Komisji Europejskiej, *Impacts of Information and Communication Technologies of Energy Efficiency*, Bruksela, wrzesień 2008.
- [18] Rekomendacje Komisji Wspólnot Europejskich, *Commission Recommendation of 9.10.2009 on mobilising Information and Communications Technologies to facilitate the transition to an energy-efficient, low-carbon economy*, Bruksela, październik 2009.
- [19] *SMART 2020: Enabling the low carbon economy in the information age*, The Climate Group, The Global e-Sustainability Initiative (GeSI), www.gesi.org, 2008.
- [20] Turker H., Bacha S., Chatroux D., *Impact of Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVS) on the French Electric Grid*, SG 2048068, October 11–13, 2010, Lindholmen Science Park, Gothenburg 2010.
- [21] Wrycza St., Marcinkowski B., Wyrzykowski K., *Język UML 2.0 w modelowaniu systemów informatycznych*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2005.
- [22] Zelaya H., Coccia A., Butcher N., Aggeler D., Canales F., Apeldoorn O., *Ultra-Fast DC-Charge Infrastructures for EV-Mobility and Future Smart Grids*, SG 2006809, October 11–13, 2010, Lindholmen Science Park, Gothenburg 2010.