

DOM 2020

**Propozycja inteligentnych,
energooszczędnych rozwiązań
z wykorzystaniem odnawialnych
źródeł energii**

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. **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: **Bożena Tkacz**

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

Pro-Akademia ISBN 978-83-63704-03-2
PAN ISBN 978-83-86492-66-4

Spis treści

1. Wprowadzenie (<i>Eliza Tkacz</i>)	5
2. Analiza finansowa (<i>Eliza Tkacz</i>)	9
2.1. Prosty okres zwrotu inwestycji	9
2.2. Zdolność kredytowa modelowej rodziny	12
3. Koncepcja architektoniczna domu prawie zeroenergetycznego (<i>Andrzej Klimek</i>)	14
3.1. Urbanistyczne aspekty projektowania budynków z pasywnym pozyskiwaniem ciepła	14
3.2. Zagospodarowanie terenu	15
3.3. Forma architektoniczna	16
3.4. Program funkcjonalno-użytkowy	17
4. Wpływ zagadnień wilgotnościowych na prawidłowe funkcjonowanie przegród budowlanych w domu pasywnym (<i>Marian Janicki</i>)	24
5. System centralnego ogrzewania, ciepłej wody użytkowej, wentylacji i klimatyzacji (<i>Łukasz Adrian</i>)	39
5.1. System wentylacji wraz z odzyskiem ciepła i pasywnym chłodzeniem	39
5.2. System centralnego ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej	47
6. Hybrydowy system solarny i fotowoltaika (<i>Katarzyna Znajdek</i>)	50
6.1. Zasadność zastosowania i charakterystyka systemu hybrydowego	51
6.2. Półprzezroczysty dach fotowoltaiczny	54
6.3. Pokrycie zapotrzebowania na energię elektryczną i ciepłą	55
7. Turbina wiatrowa (<i>Piotr Popławski</i>)	59
7.1. Konstrukcja, parametry techniczne	59
7.2. Zmienność mocy	63
7.3. Podłączenie elektryczne	63
8. Umożliwienie racjonalnego gospodarowania wodą (<i>Justyna Pawlak</i>)	65
9. Informatyczny system zarządzania budynkiem (<i>Marta R. Jabłońska</i>)	66
9.1. Rola informatyki w budownictwie energooszczędnym	66
9.2. Zakres projektowanego systemu	68
9.3. Zarządzanie odbiorami	70

9.4. Zarządzanie instalacjami.....	71
9.5. Obsługa pojazdu elektrycznego w domu	72
9.6. Optymalizacja zużycia energii elektrycznej.....	73
9.7. Podsumowanie.....	75
10. Zakończenie (<i>Marta R. Jabłońska, Eliza Tkacz</i>).....	77

1. Wprowadzenie

Pozyskiwanie oraz wykorzystywanie zasobów energetycznych stanowią podstawę bytu ludzkości. 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 jest kwestią niezwykle istotną, poruszaną zarówno przez naukowców, polityków, jak i specjalistów z dziedziny energetyki.

Według raportu Komisji Europejskiej z 2009 r., *ICT for a Low Carbon Economy. Smart Buildings*, 40% końcowego zużycia energii w krajach Unii Europejskiej przypada na budynki. Odsetek ten wskazuje, jak duży wpływ na gospodarkę energetyczną kraju ma budownictwo mieszkalne oraz pozwala na ocenę szans i zagrożeń wynikających z tego tytułu. Zatem szczególnie niepokojący jest fakt, iż zauważa się brak zintegrowanego podejścia do projektowania budynków, opartego na zachowaniach właściwych dla zrównoważonego rozwoju. Zminimalizowałoby ono szkodliwy wpływ działalności człowieka związanej z projektowaniem i wznoszeniem obiektów budowlanych na środowisko naturalne. Terminu zrównoważonego rozwoju używamy wtedy, gdy zaspokajane są potrzeby obecne, a jednocześnie nie są zagrożone możliwości zadowalania potrzeb przyszłych pokoleń. Opiera się on na dwóch podstawowych pojęciach: potrzeb oraz wynikających ze zdolności środowiska do ich zaspokojenia ograniczeń. W szczególności, w budownictwie przejawia się w postaci dbałości o środowisko naturalne oraz oszczędne gospodarowanie surowcami w całym cyklu budowlanym – począwszy od projektu, poprzez prace konstrukcyjne, eksploatację budynku, aż do jego rozbiórki.

Analizując literaturę oraz uczestnicząc w licznych konferencjach tematycznych, można zauważyć, że opinie ekspertów na temat, czym jest budownictwo ekologiczne i energooszczędne różnią się czasem od siebie. Wszyscy jednak zgadzają się co do tego, że musi ono spełniać następujące wymagania:

- minimalne zużycia surowców nieodnawialnych, w tym wody, materiałów budowlanych i paliw kopalnych,
- minimalna emisja szkodliwych gazów do atmosfery,

- minimalna produkcja ścieków i odpadów stałych oraz minimalne negatywne oddziaływanie na lokalne ekosystemy,
- maksymalnie dobre warunki środowiska wewnętrznego: jakość powietrza, komfort termiczny, oświetlenie i hałas,
- możliwości architektoniczne.

W związku z powyższym, rynek i przepisy nakładają na sektor budowlany coraz wyższe wymagania dotyczące charakterystyki energetycznej, co sprawia, iż projektanci starają się stosować technologie energii odnawialnych oraz zmniejszyć zużycie nabytej lub/i wyprodukowanej energii. Z drugiej jednak strony ograniczają ich jednak warunki finansowe stawiane przez deweloperów.

Przedmiotem niniejszego poradnika, który powstał w wyniku międzywydziałowej i międzyuczelnianej współpracy doktorantów Politechniki Łódzkiej i Uniwersytetu Łódzkiego pod hasłem: „Bioenergia dla regionu – zintegrowany program rozwoju doktorantów”, jest projekt wolno stojącego domu jednorodzinnego, będący spójną koncepcją 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 dom stanowi wzorzec rozwiązań. W tym celu wzięto pod uwagę uwarunkowania klimatyczne i społeczne charakterystyczne dla rejonu środkowoeuropejskiego, zachowując standardy użytkowe i mając na uwadze współczesne potrzeby mieszkańców. Budynek w minimalnym stopniu przyczynia się do pogarszania się stanu środowiska naturalnego, ponieważ niestety nie można całkowicie wyeliminować negatywnego oddziaływania budowy i użytkowania budynku na środowisko. Pracownikom projektowym przyświecała myśl, iż zintegrowane projektowanie energetyczne budynków powinno być naturalną częścią każdego procesu budowlanego.

Dom jest przeznaczony dla czteroosobowej rodziny z możliwością zamieszkania osoby niepełnosprawnej. Spełnia podwyższone wymagania minimalnego zużycia energii nieodnawialnej i niskich kosztów utrzymania zapisane w *Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków* (DzUrz WE L 153 z 18.06.2010, s. 13–35). W związku z powyższym, już na etapie projektowania koncepcyjnego, wzięto pod uwagę wykorzystanie ekologicz-

nych, lokalnie dostępnych materiałów, ograniczenie zużycia energii i wody, poprawę jakości powietrza we wnętrzu oraz zmniejszenie ilości wytwarzanych odpadów. Postarano się, aby dom został zaprojektowany zgodnie z praktyką budowlaną i inżynierską oraz przepisami, warunkami technicznymi i normami powszechnie obowiązującymi i stosowanymi, dlatego wymienione systemy łączą rozwiązania całkowicie nowatorskie z już znanymi w Polsce i na świecie.

Po krótkiej analizie finansowej zostanie przedstawiony projekt architektoniczny, w którym bryła jest zaprojektowana tak, aby opływowy kształt dachu podkreślał zwartą i harmonijną konstrukcję, a drewniane elewacje wskazywały na ekologiczny charakter budynku. Żeby jak najlepiej wykorzystać dobrą ekspozycję, południowa elewacja jest w dużej mierze przeszklona celem maksymalizacji pasywnych zysków cieplnych. Powoduje ona, że dom podzielony jest nie tylko na strefy funkcjonalne, ale i termiczne.

Przy wyborze materiałów na przegrody zewnętrzne domu wzięto pod uwagę kryterium spełnienia standardów energetycznych oraz założenie poszanowania środowiska naturalnego. Niskie zapotrzebowanie domu na energię cieplną zostało osiągnięte dzięki odpowiedniemu zastosowaniu nowoczesnych materiałów ocieplających i technologii budownictwa. Aby ograniczyć straty ciepła przez przegrody, dom ma szczelne, warstwowe ściany z izolacją pozwalającą osiągnąć współczynnik przenikania ciepła U na poziomie $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

Źródłem ciepła dla systemu CO jest kominek na pellet z płaszczem wodnym. Gorąca woda odprowadzana jest do pomieszczeń, gdzie zastosowano ogrzewanie promieniowe, które daje komfort cieplny przy niższych kosztach eksploatacyjnych. Bufor ciepłej wody użytkowej (CWU) zasilany jest ciepłem z kominka oraz z hybrydowego systemu solarne-go wytwarzającego również energię elektryczną. Należy zauważyć, że energia ze źródeł odnawialnych – z biomasy i promieniowania słonecznego – pokrywa całkowite zapotrzebowanie domu na energię cieplną do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody. Nadmiar energii cieplnej w miesiącach letnich magazynowany jest w gruncie za pomocą rurek umieszczonych pod podjazdem i chodnikiem. Zapewniają one całkowicie pasywne odmrażanie chodnika i podjazdu zimą.

W celu spełnienia wysokich standardów użytkowych instalacja zapewnia dobre gospodarowanie wyprodukowaną energią, dzięki systemowi wentylacji opartej na rekupe-ratorze przeciwpądowym z bardzo wydajnym wymiennikiem odzysku ciepła. Świeże powietrze zasysane jest z zewnątrz poprzez gruntowy wymiennik ciepła, gdzie wstępnie ogrzewa się zimą lub ochładza latem. W porze letniej świeże powietrze jest dodatkowo wychładzane dzięki przepływowi przez zasobnik z materiałami zmiennofazowymi, które

regenerują się pasywnie w nocy. Zarówno materiały zmiennofazowe, jak i gruntowy wymiennik ciepła powodują, iż mamy całkowicie pasywnie klimatyzowany dom latem.

Projekt przewiduje również produkcję energii elektrycznej, która jest następnie oddawana do sieci dystrybucyjnej. Do produkcji energii elektrycznej wykorzystano system ogniw fotowoltaicznych, hybrydowy system solarny oraz mikroturbinę wiatrową.

W zaprojektowanym budynku racjonalne gospodarowanie wodą odbywa się poprzez odzysk wody deszczowej oraz oczyszczanie ścieków. Woda deszczowa doprowadzona jest do zbiornika podziemnego jedynie z powierzchni zadaszonych, natomiast woda z powierzchni utwardzonych wykorzystywana jest do podlewania tzw. ogrodów deszczowych. W ramach gospodarki ściekowej zastosowano biologiczne oczyszczanie ścieków, które nie wymaga osadnika wstępnego oraz nie jest wrażliwe na nieregularne zasilanie. Przewidziano wykorzystanie zebranej w ten sposób wody do podlewania ogrodu i mycia samochodów oraz do celów socjalno-bytowych, jak np. spłukiwanie toalety.

Wartością dodaną do projektu domu jest specjalnie dla niego stworzony funkcjonalny projekt informatycznego systemu zarządzania. Szacuje się, że wprowadzenie rozwiązań wykorzystujących informatyczne zarządzanie budynkiem może przyczynić się do oszczędności zużycia energii rzędu 15% w kolejnych latach.

2. Analiza finansowa

2.1. Prosty okres zwrotu inwestycji

Prognoza dotyczy okresu zwrotu różnicy nakładów, jakie inwestor budujący dom musi ponieść w związku ze stawianiem domu tradycyjnego, a nakładami na dom ekologiczny zaprojektowany według opisanych wcześniej założeń. Podstawą określenia kosztów utrzymania domu są ceny energii elektrycznej, CWU, CO, wody zimnej oraz odbioru ścieków (tab. 2.1).

Tabela 2.1

Ceny energii elektrycznej, CWU, CO, wody zimnej oraz odbioru ścieków

Cena energii elektrycznej (zł/kWh)	Cena energii cieplnej (CO) (zł/GJ) opłata jednoczłonowa	Cena zimnej wody (zł/m ³)	Cena ciepłej wody użytkowej (CWU) (zł/GJ) opłata jednoczłonowa	Cena za odbiór i oczyszczenie ścieków (m ³)
0,46	38,27	3,51	38,27	4,03

Źródło: K. Zawistowski, *Prognoza okresu zwrotu inwestycji oraz obliczenie zdolności kredytowej*, niepublikowany raport dla projektu „Dom 2020”.

W celu policzenia okresu zwrotu różnicy nakładów przyjęto model prostego okresu zwrotu, według którego suma różnic pomiędzy niższymi kosztami utrzymania domu ekologicznego a wyższymi kosztami utrzymania domu tradycyjnego zrównoważy nadwyżkę kosztów poniesionych na budowę domu ekologicznego nad nakładami na dom tradycyjny. Model jest wielowariantowy, a w poszczególnych wariantach zakłada się:

- wariant 0; ceny nie wzrastają w czasie (brak inflacji w gospodarce),
- wariant 1; wzrost cen energii elektrycznej o 3,8% w każdym roku oraz wzrost pozostałych cen w skali 1% w każdym roku – wariant ostrożny,

- wariant 2; wzrost cen energii elektrycznej o 3,8% w każdym roku oraz wzrost pozostałych cen w skali 2,6% w każdym roku,
- wariant 3; wzrost cen energii elektrycznej o 3,8% w każdym roku i jednocześnie w 5. roku ze względów technologicznych oraz rynkowych wzrost o 100% ceny energii elektrycznej, a wzrost pozostałych cen na poziomie 2,6% w każdym roku,
- wariant 4; wzrost cen energii elektrycznej o 7% w każdym roku oraz wzrost pozostałych cen o 4% w każdym roku.

Wysokość wzrostu cen energii elektrycznej, tj. 3,8%, została wyprognozowana na podstawie cen energii elektrycznej w Polsce w latach 2001–2010 [3]. Inflacja przyjęta w modelu dotyczy 2010 r. i wynosi 2,6% [4]. Dodatkowo analiza polega na wyliczeniu, jak kształtowałyby się proste okresy zwrotu, gdyby dom ekologiczny nie był wyposażony w wybrane instalacje:

- instalacja do odzysku wody deszczowej, oczyszczania wody ściekowej szarej oraz podlewania ogrodów,
- gruntowy wymiennik ciepła,
- ogniwa konwersji fotowoltaicznej (PV),
- informatyczny system zarządzania,
- zasobnik materiałów zmiennofazowych (*phase change materiale* – PCM) i instalacja chłodzenia.

W prognozie finansowej nie wzięto pod uwagę kosztów instalacji ani zysków wynikających z zainstalowania turbiny wiatrowej, ze względu na charakter testowy prototypu proponowanej turbiny. W przypadku niewystarczającej mocy wiatraków i ich zbyt niskich osiągnięć, producent gwarantuje zwrot pieniędzy po okresie próbnym wynoszącym 8 miesięcy.

Z dokonanych obliczeń, których wyniki przedstawiono w tab. 2.2, wynika, iż najdłuższy okres prostego zwrotu dla całej inwestycji wynosi 25 lat (wariant 1). Wariant 0 jest niewzględniany w całej prognozie, ponieważ nie zakłada on żadnego wzrostu cen (brak inflacji) przez najbliższe 50 lat, co w gospodarce się nie zdarza. Jednakowoż nawet przy takim założeniu można zauważyć, iż nakłady poniesione na inwestycje zwracają się w wartości nominalnej po 29 latach. Statystycznie okres zwrotu dla powyższych modeli wynosi 18–25 lat. Wyjątek wśród przedstawionych modeli stanowi model domu bez instalacji ogniwa fotowoltaicznych, którego prosty okres zwrotu zawiera się w przedziale (20; 27) lat. Taka duża rozbieżność wynika z faktu, iż ogniwa produkują średniorocznie szacunkowo 1400 kWh, a w związku z brakiem ogniwa, o tyle więcej energii trzeba nabyć od dostawcy. Inną ciekawą obserwacją jest to, iż w domu, w którym nie zamontowano

ogniw fotowoltaicznych, gwałtowny wzrost kosztów energii w 5. roku (wariant 3) powoduje wydłużenie okresu zwrotu nakładów. Jednocześnie oznacza to, iż instalacja ogniw jest instalacją najbardziej redukującą koszty utrzymania domu ekologicznego w stosunku do domu tradycyjnego. Konkludując, z instalacji ogniw PV inwestor nie powinien rezygnować.

Tabela 2.2

Prosty okres zwrotu nakładów (w latach)

	Różnica nakładów poniesionych na inwestycje (w PLN)	Wariant 0	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
Model bez wyłączeń	151 574,08	29	25	22	21	19
Model bez systemu odzysku wody deszczowej	135 844,08	–	24	21	20	18
Model bez systemu GWC	144 974,08	–	24	21	20	18
Model bez ogniw fotowoltaicznych	135 974,08	–	27	22	23	20
Model bez systemu informatycznego	138 574,08	–	23	20	19	18
Model bez systemu PCM	143 874,08	–	33	26	25	22

Źródło: jak do tab. 2.1.

Dla porządku należy zauważyć, że w prognozie nie uwzględniono wartości odzyskiwanej inwestycji, co oznacza, iż nie uwzględniono przyszłego przychodu z tytułu sprzedaży domu. Nie uwzględniono również amortyzacji (utrąty wartości) domu, co spowodowałoby wydłużenie prognoz, ani wahań cykli koniunkturalnych – recesja spowodowałaby szybszy wzrost cen, co wpłynęłoby na skrócenie okresu zwrotu.

2.2. Zdolność kredytowa modelowej rodziny

Do wyliczenia zdolności kredytowej przyjęto następujące założenia:

- rodzina 4-osobowa w modelu 2 + 2,
- rodzice w wieku 35–40 lat, pracownicy biurowi, zatrudnieni aktualnie dłużej niż rok, mający na utrzymaniu 2 dzieci, posiadający rachunki oszczędnościowo-rozliczeniowe,
- brak innych zobowiązań kredytowych,
- miesięczny dochód rodziny w wysokości 6000,00 PLN netto,
- waluta kredytu: PLN,
- koszt budowy domu ekologicznego: ok. 700 tys. PLN,
- nie istnieje obecnie możliwość zwiększenia limitu kredytowego poprzez skorzystanie z programu „Rodzina na swoim”, gdyż maksymalna wielkość domu, przy którym możliwe byłyby dopłaty to 140 m².

Podstawowy model szacowania zdolności kredytowej dla wnioskodawców opiera się na następujących założeniach:

- miesięczny koszt utrzymania gospodarstwa domowego jest równy 46% dochodu netto wnioskodawców,
- miesięczna kwota dochodu do dyspozycji gospodarstwa domowego jest równa 46% dochodu netto wnioskodawców,
- zdarzenia losowe szacuje się na 8% dochodu netto.

Kwota miesięcznego dochodu wolnego określającego maksymalną kwotę raty, jaka może być obsługiwana przez klienta według tab. 2.3, wynosi więc 2760,00 PLN.

Tabela 2.1

Obliczenie miesięcznego dochodu wolnego (w PLN)

Kwota dochodu netto wnioskodawców	6 000,00
Miesięczny koszt utrzymania gospodarstwa domowego	2 760,00
Miesięczna kwota dochodu do dyspozycji gospodarstwa domowego	2 760,00
Zdarzenia losowe	480,00
Kwota miesięcznego dochodu wolnego, określającego maksymalną kwotę raty, jaka może być obsługiwana przez klienta	2 760,00

Maksymalna kwota kredytu wynosi (według tab. 2.4) 1 159 200,00 PLN w przypadku kredytu na okres 35 lat lub 828 000,00 PLN dla kredytu na 25 lat.

Tabela 2.4

Obliczenie maksymalnych kwot kredytu wraz z odsetkami (w PLN)

Kwota miesięcznego dochodu wolnego, określającego maksymalną kwotę raty, jaka może być obsługiwana przez klienta	2 760,00
Kwota rocznego dochodu wolnego	33 120,00
Kwota kredytu z kosztami na okres 25 lat	828 000,00
Kwota kredytu z kosztami na okres 35 lat	1 159 200,00

Źródło: jak do tab. 2.1.

W przypadku kredytu na 25 lat i przy oprocentowaniu rocznym (WIBOR 3M + marża) równym 6% i oprocentowaniu miesięcznym 0,5%, kredytobiorcy mogą ubiegać się maksymalnie o kwotę 330 tys. PLN przy ratach malejących lub 426 tys. PLN przy ratach stałych. W przypadku kredytu na 35 lat, oprocentowaniu rocznym 6% i oprocentowaniu miesięcznym równym 0,5%, kredytobiorcy mogą ubiegać się maksymalnie o kwotę 370 tys. PLN przy ratach malejących lub 482 tys. PLN przy ratach stałych.

LITERATURA

- [1] *ICT for a Low Carbon Economy. Smart Buildings*, European Commission, Brussels, Juli 2009, Report.
- [2] K. Zawistowski, *Prognoza okresu zwrotu inwestycji oraz obliczenie zdolności kredytowej*, niepublikowany raport dla projektu „Dom 2020”.
- [3] Dane statystyczne Eurostatu, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>, 30.05.2012.
- [4] Dane statystyczne GUS-u, <http://www.stat.gov.pl/gus>, 30.05.2012.

3. Koncepcja architektoniczna domu prawie zeroenergetycznego

3.1. Urbanistyczne aspekty projektowania budynków z pasywnym pozyskiwaniem ciepła

Dom jednorodzinny wolnostojący, jakim jest również „Dom 2020”, z uwagi na skalę przedsięwzięcia jest prawdopodobnie najpopularniejszą, chociaż niekoniecznie najlepszą formą budownictwa „prawie zeroenergetycznego”. Zrealizowanie tej samej powierzchni w postaci zabudowy bliźniaczej lub szeregowej jest efektywniejsze energetycznie, gdyż odpowiednio ogranicza straty ciepła przez ściany zewnętrzne. Poza tym powiązane z problematyką domu ekologicznego, choć w żadnym wypadku tożsame, dążenie do autonomiczności oraz korzystania z energii odnawialnej niejako wymuszają produkcję *in situ* elektryczności za pomocą ogniw fotowoltaicznych lub niewielkich turbin wiatrowych, i/lub energii cieplnej z biomasy. Z uwagi na efekt skali, tego typu rozwiązania są dużo bardziej opłacalne, jeśli obsługują więcej niż jedno gospodarstwo domowe.

Wybór działki pod budynek opierający się na rozwiązaniach pasywnych nie jest łatwy, gdyż musi ona spełniać wiele wymagań. Przede wszystkim pożądana jest jak najlepsza południowa ekspozycja, tzn. możliwość usytuowania elewacji południowej pod kątem jak najbliższym 90° względem południa słonecznego; wykluczone jest również takie zacienienie z zewnątrz, które mogłoby obniżać bierne zyski ciepłe nie tylko w okresie grzewczym, ale i w całym przewidywanym „cyklu życia” budynku [1]. Pożądana jest także ukształtowanie terenu, które minimalizuje wpływ wiatrów zachodnich. Należy jednak pamiętać, że w niektórych regionach Polski, m. in. w województwie łódzkim, spory udział w wychładzaniu mogą mieć również wiatry wschodnie. Korzystna, choć trudna do zastosowania z uwzględnieniem polskich uwarunkowań prawnych, jest również bliskość zbiornika wodnego, gdyż może on służyć jako dolne źródło pompy ciepła.

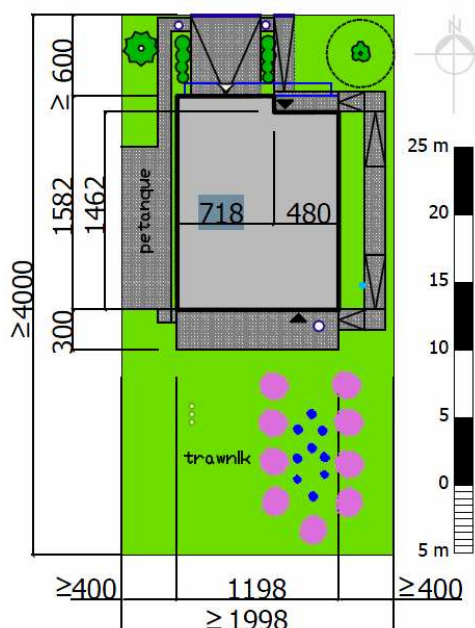
Wszystkie wymienione wymagania wydają się zdecydowanie łatwiejsze do spełnienia na terenach peryferyjnych niż w bezpośrednim sąsiedztwie centrum. W wielu przypadkach jednak takie miejsce wcale nie będzie służyło zmniejszeniu emisji gazów cieplarnianych i ograniczeniu produkcji energii, może się stać wręcz przeciwnie. Dzieje się tak na skutek negatywnego zjawiska, jakim jest suburbanizacja, czyli wyludnianie

się centrów miast i przeprowadzanie się mieszkańców na ich peryferia. Uzależnienie całych społeczeństw od indywidualnego transportu jest niekorzystne dla środowiska naturalnego nie tylko ze względu na emisję spalin, ale i z uwagi na ciągły rozwój infrastruktury transportowej indukującej ruch samochodowy szkodzi również lokalnym ekosystemom. Taki sam skutek rodzi zresztą także inny aspekt niekontrolowanego rozrostu aglomeracji, tj. wytyczanie działek budowlanych na terenach uprzednio niezabudowanych, zwłaszcza zalesionych [2]. Zdawali sobie z tego sprawę już twórcy standardu domu pasywnego, umieszczając warunek dobrej obsługi transportem publicznym na jego liście kontrolnej [3]. Dlatego też optymalna lokalizacja powinna łączyć zalety dobrej ekspozycji wobec słońca z bliskością obszarów centralnych.

3.2. Zagospodarowanie terenu

Jak już wspomniano, dla „Domu 2020” zalecana jest działka z jak najlepszą południową ekspozycją, tj. z dostępem do drogi publicznej od strony północnej. Projekt zakłada również dostępność podstawowych mediów w ulicy, z wyjątkiem sieci ciepłowniczej. Obiekt może stać na działce o minimalnej powierzchni ok. 800 m². Nie jest to wielkie ograniczenie. Wynika ono z obecności systemu rozsączania wody szarej i deszczowej służącego do nawadniania ogrodu. Powierzchnia zabudowy wynosi 184 m².

Przechodząc do szczegółów zagospodarowania działki (rys. 3.1), od frontu przewidziano ogród deszczowy zasilany wodą opadową z utwardzonych powierzchni, takich jak wjazd do garażu. Składa się on z roślin lubiących wysoką wilgotność. W tej części działki mogą również rosnąć drzewa iglaste, co dzięki ochronie przed zimnymi wiatrami korzystnie wpływa na bilans cieplny budynku. Pod podjazdem i pochylnią wejściową zaplanowano system rurek ciepła,



Rys. 3.1. Plan zagospodarowania działki
Źródło: opracowanie własne.

sprawiający, że nie trzeba ich odsłaniać. Zostanie on szczegółowo omówiony w dalszej części. Dzięki zastosowaniu pochylnej terenu działki dostępny jest dla osób niepełnosprawnych. Aby zapewnić domownikom w każdym wieku możliwość aktywnej rekreacji na świeżym powietrzu, w zachodniej części przewidziano plac do gry w *pétanque*. Ogród za domem dzieli się na zasilaną sztucznym nawadnianiem część kwiatową, która usytuowana jest *vis-à-vis* okien salonu, oraz trawnik na pozostałym terenie, choć radykalni miłośnicy ekologii mogą zdecydować się na inną formę aranżacji zieleni, gdyż strzyżenie i odchwaszczanie trawy niesie za sobą dodatkowe koszty ekologiczne i energetyczne. Na całym tym obszarze drzewa wolno sadzić tylko pod warunkiem, że korzyści ze zmniejszonego przegrzewania latem będą większe niż obniżone pasywne zyski termiczne w okresie grzewczym oraz że znajdujące się na dachu systemy energetyki słonecznej (o których w dalszej części) nie będą zaciemnione, a przez to bezużyteczne.

Opcją dla większych działek, którą warto rozważyć, jest sadzawka w bezpośrednim sąsiedztwie południowej ściany, która wpływa na mikroklimat, ograniczając wahania temperatur.

3.3. Forma architektoniczna

Wygląd zewnętrzny ma być czytelnym komunikatem o ekologicznym charakterze domu. Charakterystyczne elewacje z drewna zaprojektowano w taki sposób, żeby prezentowały złożoność, zmienność i nieprzewidywalność, zamiast typowego dla architektury współczesnej uporządkowania, znamionującego konfrontacyjne podejście do natury, nie popadając równocześnie w antycywilizacyjną idylliczność ekologii głębokiej i jej architektonicznych reprezentacji.

Starano się, aby bryła domu (rys. 3.2) była jak najbardziej zwarta, co wynika z dążenia do minimalizacji pola przegród zewnętrznych „opisujących” kubaturę. Ma to na celu ograniczanie strat ciepła i jest podstawą przy projektowaniu domów „prawie zeroenergetycznych”. Świadomie nie przewidziano piwnicy, gdyż przy najczęściej spotykanym w Polsce programie użytkowym zdecydowanie pogarsza ona charakterystykę energetyczną budynku. Wyjątkiem są budynki zagłębione w ziemi, jednak mając na uwadze uniwersalność budynku nie zdecydowano się na takie rozwiązanie. Przyjęto warunek, aby dom mieścił się na hipotetycznej działce o szerokości ok. 20 m po to, żeby można go było wznieść na większości działek (z dobrą południową ekspozycją) dostępnych na polskim rynku. Przyjęto również, że z uwagi na prawdopodobieństwo ogranicze-



Rys. 3.2. Widok od strony północno-wschodniej

Źródło: opracowanie własne.

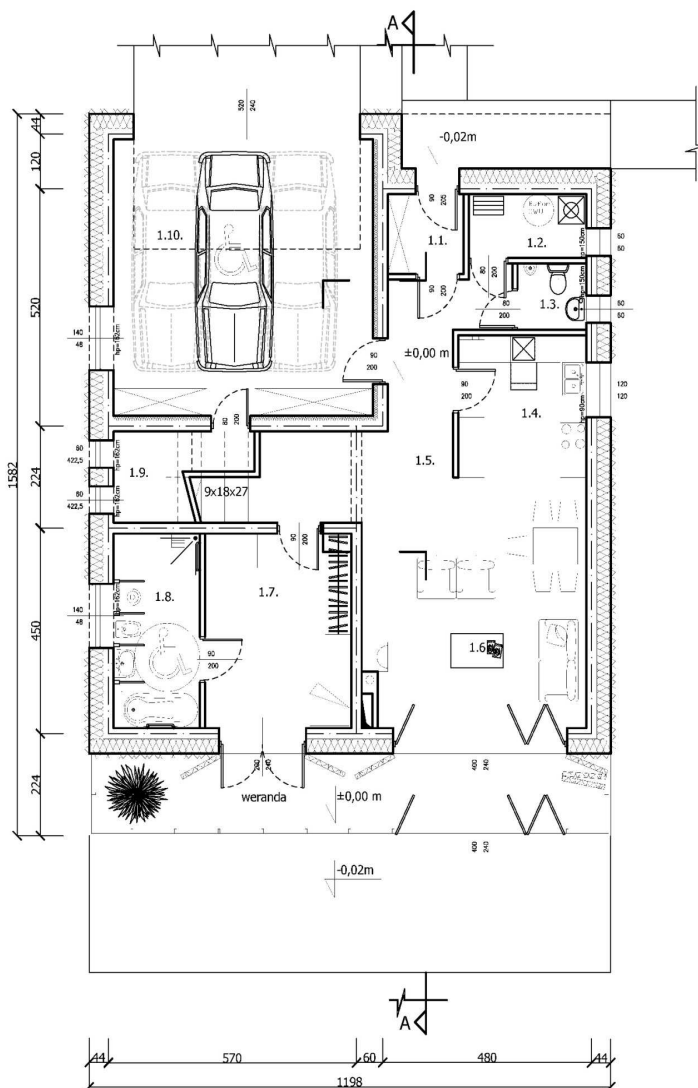
nia maksymalnej wysokości planem miejscowym lub decyzją o warunkach zabudowy nie powinna ona przekraczać 8 m. Aby jak najlepiej wykorzystać dobrą ekspozycję, południowa elewacja jest w dużej mierze przeszklona, co ma na celu maksymalizację pasywnych zysków cieplnych. Powoduje ona, że dom podzielony jest nie tylko na strefy funkcjonalne, ale i termiczne. W części północnej generalnie znajdują się pomieszczenia o niskiej temperaturze powietrza i wysokiej wilgotności, natomiast w południowej – o wyższej temperaturze i niższej wilgotności.

3.4. Program funkcjonalno-użytkowy

Koncepcja przewiduje, że dom jest przeznaczony dla czteroosobowej rodziny, zamieszkującej w nim na stałe z możliwością stałego lub czasowego zamieszkania osoby niepełnosprawnej ruchowo. Wejście do domu, jak już wspomniano, znajduje się od strony północnej, pod chroniącym od deszczu podcięciem pełniącym funkcję ganku (rys. 3.3).

Garaż ulokowany jest na prawo od wejścia, po stronie północno-zachodniej, i ogrzewany zimą do temperatury 8°C stanowi rodzaj bufora termicznego przed najchłodniejszym fragmentem zewnętrznego otoczenia budynku, zmniejsza również wpływ najczęściej spotykanych w Europie Środkowej zachodnich wiatrów na wychładzanie. Zaplanowany jest na dwa samochody lub jeden w przypadku, kiedy w domu przebywa osoba niepełnosprawna. Wzięto pod uwagę możliwość ładowania samochodu elektrycznego. Na przeciwległej do wrót ścianie przewidziano miejsce na szafy, znajduje się tam również wejście do umiejscowionego pod klatką schodową magazynu na pellet.

Kuchnię zdecydowano się umieścić po drugiej stronie hallu wejściowego, w części wschodniej, aby zmniejszyć ryzyko przegrzewania w porze popołudniowej, które wystąpiłoby w przypadku zaplanowania jej od zachodu. Preferowana jest przedstawiona w projekcie wersja, w której pozostaje ona częściowo otwarta



Rys. 3.3. Rzut parteru

Źródło: opracowanie własne.

na salon z jadalnią, lecz w zależności od upodobań klienta z łatwością projekt może zostać zmodyfikowany tak, aby kuchnia stała się całkowicie otwarta lub aby stała się osobnym pomieszczeniem. Na północ od niej znajduje się pralnia z suszarnią, w której jest również zbiornik buforowy, a także niewielka ogólnodostępna łazienka.

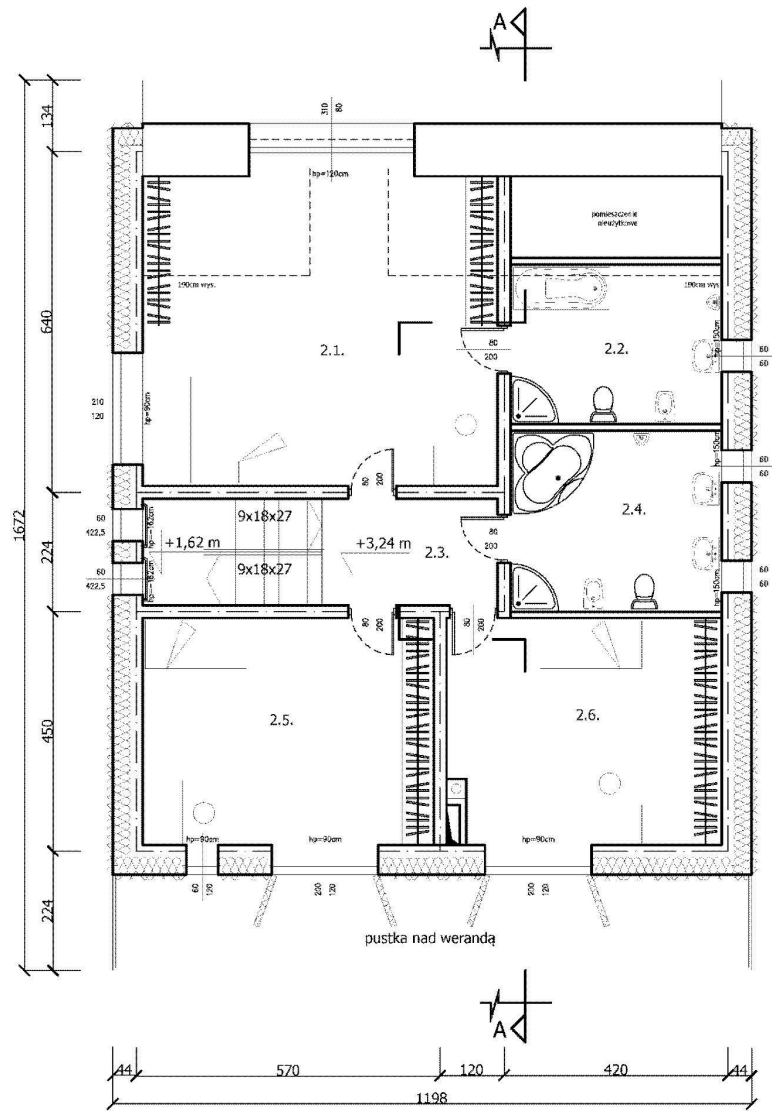
Południowo-wschodnią część domu zajmuje salon połączony z jadalnią. Ma on rozległe przeszklenie od strony ogrodowej, które nie tylko pozwala oglądać piękny widok, lecz również umożliwia maksymalizację biernych zysków cieplnych od słońca. W razie gdyby było ich za dużo, wszystkie południowe okna w budynku zostały wyposażone w okiennice komponujące się z okładziną elewacji. W ścianie wschodniej salonu nie zdecydowano się na zaprojektowanie okien, gdyż te od południa powinny zapewnić wystarczającą ilość światła słonecznego. Pomieszczenie to wyposażone jest również w kominek na pellet o wysokiej sprawności, który zostanie opisany w dalszej części niniejszego opracowania.

Parter praktycznie w całości jest dostosowany do potrzeb osoby niepełnosprawnej. Dla niej przeznaczony jest ulokowany w południowo-zachodniej części budynku pokój o powierzchni 14 m², mający dodatkowo własną łazienkę, oczywiście zaprojektowaną z myślą o wygodzie osoby poruszającej się na wózku inwalidzkim. W przypadku innych potrzeb ze strony inwestora pomieszczenia te mogą zostać zaaranżowane jako pokój gościnny lub gabinet.

Zarówno omawiany pokój, jak i salon mają wyjścia na wysoką na dwie kondygnacje werandę. Stanowi ona kolejny typ bufora termicznego i jest przydatna zwłaszcza w minimalizowaniu strat ciepła zimą. Dalej za nią w stronę ogrodu przewiduje się jeszcze odkryty taras.

Prowadząca na piętro klatka schodowa umieszczona jest w zachodniej części budowli. Prawdopodobnie lepsza z punktu widzenia fizyki budowli byłaby lokalizacja północna, jednak nie zdecydowano się na nią ze względów funkcjonalnych.

Nad parterem znajduje się poddasze użytkowe (rys. 3.4). Z uwagi na dużą powierzchnię netto wynikającą z bogatego programu funkcjonalno-użytkowego parteru i cechującą się sporą nadwyżką wobec potrzeb, zdecydowano się zmniejszyć kubaturę ogrzewaną poprzez zastosowanie dachu spadzistego. Jego nachylenie jest zmienne z uwagi na łukowy przekrój, jednak na połąci południowej występują nachylenia od 30° do 45°, dzięki czemu możliwe staje się wkomponowanie w nią solarnych urządzeń energetycznych, które opisane zostaną w dalszej części. Niestety niemożliwe było, aby wszystkie sypialnie zaplanować po stronie południowej, dlatego też tę dla rodziców zdecy-



Rys. 3.4. Rzut piętra

Źródło: opracowanie własne.

dowano się umieścić od strony północno-zachodniej. Z punktu widzenia fizyki budowli pewną przewagę ma strona wschodnia, jednak dla obniżenia kosztów i zgrupowania pionów kanalizacyjnych została ona przeznaczona na łazienki. Lukarna będąca redefinicją klasycznej formy „wolego oka” ma na celu zapewnienie komunikacji wizualnej z przestrzenią ulicy przed domem, co ma niebywale znaczenie dla bezpieczeństwa. Obie łazienki na kondygnacji znajdują się w części północno-wschodniej, przy czym jedna z nich dostępna jest bezpośrednio z sypialni rodziców, zaś druga – z korytarza.

Nad omawianą kondygnacją przewidziano jeszcze poddasze nieużytkowe, w którym ma się znajdować rekuperator wraz z zasobnikiem materiałów zmiennofazowych (zob. rys. 5.7).

Wszelkie dane dotyczące kubatur i powierzchni zostały ujęte w tab. 3.1.

Tabela 3.1

Zestawienie podstawowych parametrów domu

Symbol pomieszczenia	Przedmiot	Wartość (m ² lub m ³)	Uwagi
1	2	3	4
Dane podstawowe			
1	powierzchnia działki	808	minimum
2	powierzchnia zabudowy	184	–
3	powierzchnia całkowita domu	352	bez tarasów
4	powierzchnia netto	318	–
5	powierzchnia netto bez garażu, balkonów, tarasów i loggi	205	–
6	powierzchnia pomieszczeń o wysokości powyżej 1,9 m	192	–
7	powierzchnia netto części pomieszczeń o wysokości do 1,9 m	13	–
8	kubatura	1 367	–
9	kubatura ogrzewana	1 218	–

Symbol pomieszczenia	Rodzaj powierzchni/nazwa pomieszczenia	Powierzchnia o wysokości ponad 1,9 m (m ²)	Powierzchnia o wysokości do 1,9 m (m ²)	Uwagi
1	2	3	4	5
Zestawienie pomieszczeń domu				
Suma powierzchni pomieszczeń domu		192	13	bez garażu i innych obiektów
PARTER		85	–	–
1.7	pokój przystosowany	14	–	–
1.8	łazienka przystosowana	8	–	–
1.4	kuchnia	9	–	–
1.6	pokój dzienny	28	–	–
1.5	hall + klatka schodowa	17	–	–
1.3	łazienka	2	–	–
1.1	wiatrołap	3	–	–
1.2	pralnia	4	–	–
PIĘTRO		107	13	–
2.1	sypialnia 1	29	12	–
2.5	sypialnia 2	23	–	–
2.6	sypialnia 3	21	–	–
2.3	hall + klatka schodowa	10	–	–
2.4	łazienka 1	13	–	–
2.2	łazienka 2	11	1	–
Suma powierzchni wszystkich pomieszczeń			205	bez garażu i innych obiektów
1.10	powierzchnia netto garażu	36	–	–
	powierzchnia netto innych obiektów	65	12	w tym:
		1	5	– pomieszczenie gospodarcze (1.9)
		–	7	– pomieszczenie nieużytkowane
		21	–	– weranda
		7	–	– taras północny
		36	–	– taras południowy



Rys. 3.5. Widok od strony północno-zachodniej

Źródło: opracowanie własne.

LITERATURA

- [1] M. Dąbrowski, *Zrównoważony rozwój: poprawność polityczna czy realna potrzeba?*, „Murator” 2011, 3 (198), s. 108–113.
- [2] B. Edwards, *Rough Guide to Sustainability. A Design Primer*, RIBA Publishing, London 2010.
- [3] *TermoDom*, <http://www.termodom.pl>, 1.12.2011.

4. Wpływ zagadnień wilgotnościowych na prawidłowe funkcjonowanie przegród budowlanych w domu pasywnym

Wprowadzanie powszechnej edukacji i promocji medialnej zasad zrównoważonego rozwoju sprawiło, że obecnie niemal każdy człowiek świadomy jest istnienia tego pojęcia. Badania przeprowadzone w 2009 r. przez Instytutu na rzecz Ekorozwoju [5] wykazują jednak, że jedynie co trzeci respondent potrafił poprawnie przyporządkować termin „zrównoważony rozwój” jego trzem filarom – środowisku, społeczeństwu i ekonomii. Co ciekawe, spowolnienie tempa rozwoju gospodarczego, jakie nastąpiło po roku 2008, nie znalazło jak dotąd zbyt dużego odzwierciedlenia w badanych zachowaniach Polaków. Nie stwierdzono bowiem wzrostu zainteresowania oszczędzaniem energii (elektrycznej oraz cieplnej) lub wody, których koszty znacząco wpływają na domowy budżet. Jako społeczeństwo ochronę środowiska wolimy zawierzyć rozwojowi technologicznemu, a nie zmianie nawyków konsumpcyjnych. Zamiast oszczędzać i pozyskiwać energię ze źródeł odnawialnych, pokładamy co raz większe nadzieje w energetyce jądrowej. Świadczy to o umacnianiu się konsumpcyjnego stylu życia polskiego społeczeństwa.

Nieco bardziej optymistyczne wyniki przedstawiają przeprowadzone rok później badania [6], które w metodologii uwzględniły aspekty oszczędzania energii w gospodarstwie domowym. Ponad 3/4 respondentów wymieniłaby okna i drzwi na energooszczędne (79%), blisko 2/3 badanych zdecydowałoby się na ocieplenie dachu i ścian budynku (64%), a prawie połowa badanych poprawiłaby w swoim domu wentylację (44%) i system ogrzewania (42%). Niestety wciąż pozostaje obce większości społeczeństwa (70%) pojęcie i znaczenie świadectwa charakterystyki energetycznej budynku.

Niezależnie od wiedzy i świadomości ludzi, w krajach Unii Europejskiej oraz poza nią, wprowadzane są w życie zasady zrównoważonego rozwoju wyznaczające nowe standardy – w tym również i dla budownictwa [7], które w istotny sposób oddziałuje na środowisko naturalne. Wprowadzanie norm, wzorców i kanonów każe zrezygnować z poszukiwania odpowiedzi na pytanie: Czy w Polsce też dokonają się zmiany związane z rozwojem zrównoważonym” i zwrócić się ku pytaniom – kiedy, jak i gdzie tych zmian dokonać.

Pierwsze poważniejsze przemiany w sektorze budownictwa, mające na celu podniesienie świadomości społecznej, wprowadzone zostały w latach 2007–2009 wraz z nowelizacją ustawy „Prawo budowlane” [4, 15] oraz ustawy określającej „Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie” [10] w postaci systemu certyfikacji energetycznej budynków. Nowelizacje te nie zostały wprowadzone z powodu troski rządu RP o środowisko i zasoby naturalne, a wyniknęły z przymusu ich wprowadzenia zapisanego w dyrektywie Unii Europejskiej [2]. Jak pokazują przytoczone powyżej wyniki badań przeprowadzone na reprezentatywnej grupie Polaków, za wcześniej jest jeszcze, aby mówić o sukcesie systemu certyfikacji, a oto kraje należące do Unii znajdują się w przededniu konieczności wprowadzenia dalszych, o wiele bardziej istotnych zmian. Na podstawie doświadczeń z wdrażania dyrektywy [2] opracowana i ogłoszona została jej kolejna wersja [3]. Ministerstwo Infrastruktury jako organ administracji państwowej odpowiadać będzie za przygotowanie rozwiązań prawnych implementujących przepisy przekształconej dyrektywy. Terminy graniczne w zakresie ustanowienia przepisów ustalono na początek lipca 2012 r., zaś ich wejścia w życie na styczeń 2013 r. Prace nad wcieleniem dyrektywy rozpoczęły się w 2011 i nie są łatwe, ponieważ zakres koniecznych do wprowadzenia zmian jest bardzo szeroki i nie sprowadza się jedynie do zaostrzenia wymagań odnośnie do współczynnika przenikania ciepła dla ścian, który powinien zmniejszyć się do wartości 0,15 (obecnie $U = 0,3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$).

Przekształcona dyrektywa [3] przewiduje podjęcie przez kraje członkowskie UE prac m. in. nad:

- określeniem definicji i podstaw budynku o niemal zerowym zużyciu energii, ważniejszej renowacji budynku oraz poziomu optymalnego pod względem kosztów,
- określeniem minimalnych wymagań dotyczących charakterystyki energetycznej budynków nowych i poddawanych ważniejszej renowacji,
- dopracowaniem lub opracowaniem nowej metodologii certyfikacji energetycznej budynków oraz wprowadzeniem obowiązku sporządzania charakterystyki energetycznej budynków i systemów kontroli ich jakości,
- określeniem wymagań odnośnie do instalacji technicznych w budynkach, w tym również instalacji pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych, wytwarzanej na miejscu lub w pobliżu.

Znane są ramy czasowe i możliwe działania, dla których zaistnieć mają zmiany, należy zatem zastanowić się nad ich zasięgiem w odniesieniu do budownictwa, ściślej – sektora mieszkaniowego. Zgodnie z zasadą „małych kroków” oraz ze względu na miejsce

zamieszkania autorów, dokonano oceny **potencjału** przeprowadzenia zmian w ich najbliższym otoczeniu, tj. w regionie łódzkim.

Sytuację mieszkaniową województwa łódzkiego można określić na podstawie dokumentu [1], jako bardzo złożoną. Na jej złożoność składają się różne wymagania stawiane przed budownictwem w zależności od regionu, uwarunkowań kulturowych i dostępnych zasobów, a także poziom jego rozwoju na obszarach miejskich i na terenach wiejskich. Niezależnie od stopnia skomplikowania problemu, przewiduje się, że do 2030 r. w samej Łodzi powstać powinno ok. 50–57 tys. mieszkań, natomiast w całym województwie ok. 272 tys. Na podstawie tej oceny można stwierdzić, że istnieje w tym województwie duże zapotrzebowanie na budownictwo mieszkaniowe, usługowe, gospodarcze oraz obiekty infrastruktury na terenach pozamiejskich, w tym w szczególności budownictwo ekologiczne i energooszczędne.

Odpowiedzią na przedstawione potrzeby mieszkaniowe zrównoważonego budownictwa jednorodzinnego jest **konceptyjne** opracowanie budynku energooszczędnego, zwanego roboczo „Domem 2020”. „2020” pochodzi od przewidzianej w dyrektywie [3] daty 31 grudnia 2020 r., po której wszystkie nowo wznoszone budynki mieszkalne powinny być prawie zeroenergetyczne. Współpraca na rzecz **zintegrowanego procesu** projektowego obejmowała formę architektoniczną, rozwiązania konstrukcyjne i materiałowe, systemy oraz instalacje przewidziane i dobrane w tym budynku tak, aby spełniał on kryteria domu energooszczędnego o możliwie najniższym szacowanym zużyciu energii końcowej i pierwotnej [8]. „Dom 2020” zaprojektowany został również pod kątem oddziaływania na środowiskowo (zewnętrzne i wewnętrzne) oraz jego ekonomicznej opłacalności.

Powszechnie panuje przekonanie, że budownictwo wysoko energooszczędne, pasywne czy prawie zeroenergetyczne przewidziane zostało dla ludzi bogatych i bardzo bogatych, dla których stanowić ma formę podkreślenia ich luksusowego stylu życia. Poniekąd wiąże się to z postrzeganiem efektywności energetycznej przez pryzmat konieczności stosowania doraźnie „droższych” rozwiązań, jak choćby z koniecznością zakupu sprzętów AGD (od lodówek, przez świetlówki, po kotły instalacji CO i CWU) klasy A+, A++. Oczywiście podwyższone o ok. 25% koszty budowy takiego domu, jak wykazała przedstawiona analiza ekonomiczna, zwracają się po ok. 20 latach. Perspektywa zwrotu kosztów inwestycji po tak długim okresie wywołuje u niejednego odbiorcy uśmiech. Może to bardzo dziwić z uwagi na fakt, że ten sam respondent „oczekuje” od swojego budynku zapewnienia mu bezpieczeństwa i komfortu użytkowania często przez 50 lat i więcej! Okazuje się

więc, że człowiek, który inwestuje w początkowej fazie większe pieniądze na wybudowanie energooszczędnego domu, nie czyni tego, aby udowodnić, że stać go na luksus, tylko dlatego, że potrafi dokonać analizy finansowej i zredukować swoje przyszłe wydatki.

Budując dom, niezależnie od przypadku, należy mieć na względzie pewne etapy tworzenia obiektu budowlanego, tj. po pierwsze – wybór koncepcji, po drugie – wykonanie projektu i po trzecie – jego realizację.

Przy wyborze koncepcji, której poświęcone są prace zespołu projektowego, określenia postaci ogólnej, wywodzące się z dyrektyw, np. „trzeba stosować materiały o lepszych parametrach” lub „o mniejszej energochłonności”, stają się mało wartościowe – wyznaczają jedynie znany kierunek. Autorzy dołożyli starań, aby zgodnie z wytycznymi wskazać i uzasadnić wybór konkretnych rozwiązań i konkretnej skali zastosowania w konkretnym czasie. Zaprojektowany dom ma stanowić wzorzec, w tym celu wzięto pod uwagę uwarunkowania klimatyczne i społeczne charakterystyczne dla województwa łódzkiego, zachowując standardy użytkowe przy uwzględnieniu współczesnych potrzeb mieszkańców, w tym mieszkańców o **ograniczonej sprawności ruchowej**. Jednocześnie dom spełnia podwyższone wymagania minimalnego zużycia energii nieodnawialnej i niskich kosztów utrzymania. W związku z powyższym, już na etapie projektowania koncepcyjnego, wzięto pod uwagę wykorzystanie ekologicznych, lokalnie dostępnych materiałów, ograniczenie zużycia energii i wody, poprawę jakości powietrza we wnętrzu oraz zmniejszenie ilości wytwarzanych odpadów.

Zgodnie z założeniami dom jest przeznaczony dla czteroosobowej rodziny. Powierzchnia netto pomieszczeń o wysokości powyżej 1,9 m dwukondygnacyjnego domu jest równa 192 m² [9]. Do tej powierzchni nie został wliczony ogrzewany do temperatury 8°C garaż wkomponowany w bryłę budynku, który może pomieścić maksymalnie dwa samochody. Dom zaprojektowano jako niepodpiwniczony. Wszystkie materiały, urządzenia i instalacje zostały dobrane spośród propozycji producentów lokalnych i posiadają klasę A+ i wyższą. W celu zachowania spójnego, uniwersalnego i koncepcyjnego charakteru projektu nazwy producentów nie zostały zacytowane. Zaznacza się jedynie, iż aby zredukować emisję szkodliwych substancji do atmosfery podczas transportu, dokonano wyboru materiałów i urządzeń lokalnych producentów.

Dobór materiału i technologii definiuje sposób budowania i wszystkie z nim związane konsekwencje. Wybierając materiał automatycznie decydujemy się na grupę adekwatnych do niego technologii, a wybierając technologie automatycznie wskazujemy grupę materiałów, jakie mogą być użyte [12]. Spośród tych dwóch elementów wiodącą

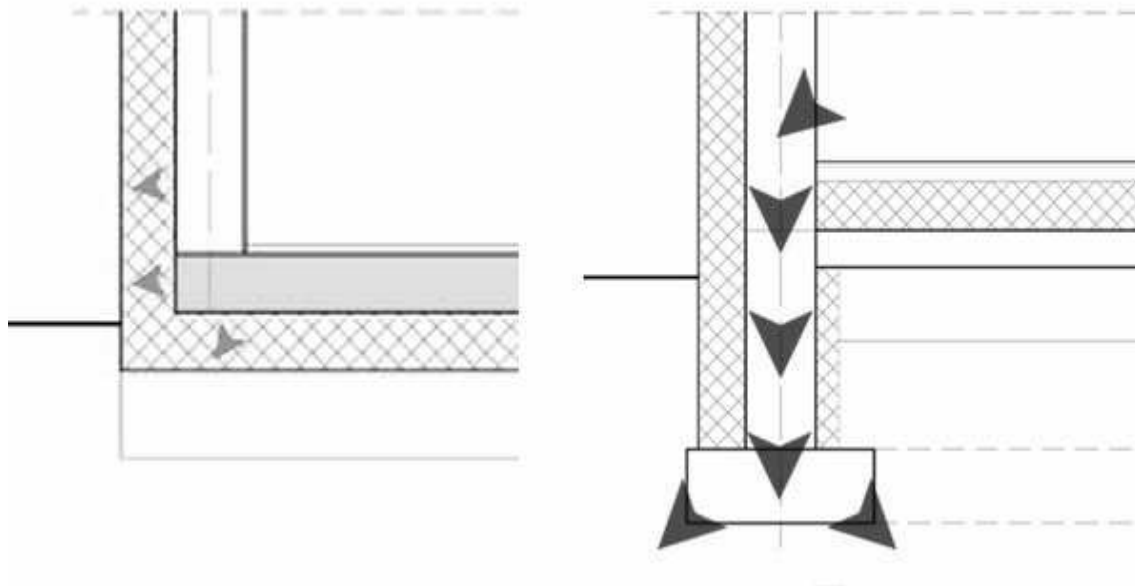
rolę odgrywa jednak materiał. Wprawdzie sama technologia zależy aż od 5 czynników, tj. materiału (tworzywa), rodzaju konstrukcji obiektu, miejsca budowy, warunków budowy, posiadanych środków technicznych, jednak o sposobie budowania, a tym samym o wyborze technologii, decyduje wybór materiału. Oczywiście budynku nie wznosi się z jednego typu materiału – zawsze istnieje jednak jeden dominujący. Według tego materiału obiekt nazywa się np. murywanym tradycyjnym, monolitycznym żelbetowym, prefabrykowanym szkieletowym drewnianym itd.

Zgodnie z definicją [4] pod pojęciem budynku należy rozumieć taki obiekt budowlany, który jest trwale związany z gruntem, wydzielony z przestrzeni za pomocą przegród budowlanych oraz posiada **fundamenty** i dach. Fundamenty stanowią podwalinę każdego wznoszonego budynku i mają zapewnić mu stateczność przez długie lata. Najtrudniej też dokonuje się jego napraw, więc warto zwrócić nań szczególną uwagę, zaprojektować go i wykonać jak najdokładniej i wedle prawideł sztuki budowlanej. Zamiast na ławach fundamentowych, budynki energooszczędne dość często osadza się na płycie fundamentowej. Rozwiązanie to stosuje się zwłaszcza w przypadku, gdy jest on stawiany na gruncie o niewielkiej/nierównej nośności lub wysokim poziomie wód gruntowych. Posadowienie budynku na płycie fundamentowej w analizie finansowej wypada konkurencyjnie w stosunku do ław, a na pewno jest bardziej efektywne energetycznie, co zilustrowano na rys. 4.1.

Strzałkami wskazano strumień przepływu ciepła, czyli jego „drogę ucieczki” z budynku do gruntu. Jak widać w przypadku ław (po stronie prawej), nawet obustronne zaizolowanie ścian fundamentowych nie eliminuje mostka termicznego, który nie występuje w takiej postaci w przypadku płyty.

Osadzając budynek na płycie, oszczędza się również na wydatkach związanych z prowadzeniem prac ziemnych. Usuwa się bowiem łącznie tylko ok. 60 cm warstwy ziemi, z czego ok. połowy stanowi cenny humus, a drugą połowę usuwa się i zastępuje warstwą pospółki, w której można poprowadzić niezbędne instalacje. Trochę więcej problemu nastęrcza wykonanie płyty fundamentowej w przypadku posadowienia obiektu na gruncie wysadzinowym. Konieczne staje się wtedy umieszczenie płyty poniżej poziomu przemarzania gruntu, co przestaje być ekonomicznie uzasadnione.

Dla potrzeb naszego obiektu zaprojektowano płytę grubości 200 mm z betonu klasy C16/20, zbrojonego powierzchniowo stalą RB500 (z zagęszczeniem zbrojenia pod obrysem ścian konstrukcyjnych). Płytę ułożono na izolacji termicznej wykonanej ze styropianu przystosowanego do izolowania posadzek przemysłowych PS-E FS 30 (czyli o zwiększo-



Rys. 4.1. Korzyści energetyczne stosowania płyty fundamentowej

Źródło: *Ekoarchitekci. Projekty domów nowoczesnych*, http://ekoarchitekci.pl/plyta_fundamentowa.html, 1.12.2011.

nej wytrzymałości na ściskanie) grubości 10 cm. Izolację wykonano z dwóch warstw z zachowaniem przesunięcia łączeń arkuszy (co eliminuje termiczne mostki liniowe powstające na ich stykach) z zachowaniem szczególnej staranności przy ocieplaniu brzegów płyty (ocieplonych specjalnymi kształtkami, które stanowią dodatkowo szalunek tracony). Styropian oddzielono od zagęszczonej pospółki folią kubelkową, która stanowi izolację przeciwwodną dla płyty. Pomiędzy płytą żelbetową a styropianem ułożono warstwę z cienkiej (ok. 0,2 mm grubości) folii PE, która wytwarza warstwę poślizgową dla płyty w taki sposób, aby na skutek nierównomiernego osiadania płyta nie rozrywała styropianu, doprowadzając do powstawania mostków termicznych (miejsc ucieczki energii cieplnej z budynku). Układ warstw i obliczony współczynnik przenikania ciepła dla podłogi przedstawiono w tab. 4.1.

Układ warstw podłogi na gruncie

Lp.	Opis		Podłoga na gruncie ułożona na płycie fundamentowej żelbetowej o grubości 200 mm		
			warstwa	d (m)	l (W/m·K)
1	płytki ceramiczne na zaprawie klejowej		0,010	1,300	0,008
2	podkład z betonu pod posadzkę		0,060	1,400	0,043
3	folia PE 0,2 mm		0,000	0,200	0,001
4	styropian PS-E FS 30		0,150	0,036	4,167
5	płyta fundamentowa żelbetowa		0,200	1,700	0,118
6	folia PE 0,2 mm		0,000	0,200	0,001
7	styropian PS-E FS 30		0,100	0,036	2,778
8	folia kubelkowa 12 mm		0,002	0,180	0,008
9	piasek średni, zagęszczony		0,300	0,400	0,500
i	$R_{si} =$	0,17	–	$R_T =$	7,879
e	$R_{se} =$	0,04	–	$U =$	0,127

Źródło: opracowanie własne.

Ponieważ budownictwo w Polsce posiada wieloletnią, o ile nie wielowiekową tradycję wykonywania konstrukcji w technologii murowej, zdecydowano się na jej wybór przy ustaleniu ustroju budynku. Wybierając konkretny materiał pamiętać należy, że w tym przypadku kryterium ekologiczności nie odgrywa dominującej roli. Obiekt budowlany musi bowiem spełniać określone i prawnie obowiązujące wymagania podstawowe [4] z zakresu:

- bezpieczeństwa konstrukcji (pod względem nośności i stateczności),
- bezpieczeństwa pożarowego,
- bezpieczeństwa użytkowania,
- odpowiednich warunków higienicznych i zdrowotnych oraz ochrony środowiska,
- ochrony przed hałasem i drganiami,
- oszczędności energii i odpowiedniej izolacyjności cieplnej przegród.

Za rzecz niedopuszczalną uznaje się wybór takiego rozwiązania materiałowego, które minimalizuje emisję gazów cieplarnianych i pogarsza np. warunki zdrowotne użytkowników obiektu. Społecznie nie do przyjęcia byłby również wybór rozwiązań wysoce efektywnych energetycznie, jeśli powodowałyby znaczny wzrost kosztów inwestycji.

Ostatecznie, spośród materiałów mających spełnić rozmaite kryteria, wybrano ten dostępny lokalnie (którego produkcja odbywa się na terenie województwa łódzkiego), o możliwie najniższym stopniu przetworzenia (określający ilość energii skumulowanej w wyrobie), który częściowo pochodzić może z ponownego wykorzystania elementów z budynków rozbieranych lub remontowanych – czyli **silikaty**.

Silikaty to wyroby wapienno-piaskowe stosowane na terenie Polski od bardzo dawna. Materiał do ich produkcji (skały wapienne i piasek) łatwo pozyskać na terenie naszego kraju, a do ich przetworzenia na gotowy wyrób potrzeba stosunkowo niewielkiej energii [7]. Ze względu na dużą wytrzymałość na ściskanie, silikaty doskonale sprawdzają się jako materiał konstrukcyjny ścian nośnych. Gotowy wyrób charakteryzuje się stabilnością parametrów i odpornością na niesprzyjające warunki transportowe. Zawartość krzemianów powoduje, że trwałość w eksploatacji takich materiałów dorównać może trwałości kamienia naturalnego (wyroby te odporne są na agresję chemiczną), nie ulegają także degradacji pod wpływem oddziaływania promieniowania słonecznego. Z uwagi na niewielką nasiąkliwość wykazują wysoką mrozoodporność. Dzięki dość wysokiej gęstości i ciepła właściwego potrafią akumulować energię termiczną porównywalnie do cegły pełnej, wysoka gęstość zapewnia również izolacyjność akustyczną. Zdolności akumulacyjne przyczynią się do możliwości pozyskania i zgromadzenia energii pochodzącej od promieniowania słonecznego, a latem przy zastosowaniu strategii nocnej wentylacji zwiększy się ochronę wnętrza budynku przed nadmiernym przegrzewaniem. Ściany z silikatów uznawane są ponadto za „oddychające”, czyli charakteryzujące się wysoką paroprzepuszczalnością, co pozytywnie wpływa na parametry wilgotnościowe wnętrza budynku. Mają najniższe wskaźniki radioaktywności naturalnej i nie emitują substancji toksycznych. Bakteriobójcze właściwości wapna blokują rozwój ewentualnych mikroorganizmów, grzybów i pleśni. Zużycie energii pierwotnej przy produkcji cegieł silikatowych wynosi zaledwie 250 kWh/Mg. Przy wymienionych zaletach silikaty są praktycznie bezkonkurencyjne wobec innych materiałów tradycyjnych przetworzonych, a przy tym należą do najtańszych na rynku.

Proponowany układ warstw i obliczony współczynnik przenikania ciepła dla ściany przedstawiono w tab. 4.2.

Układ warstw ściany zewnętrznej konstrukcyjnej

Lp.	Opis		Ściana zewnętrzna wykonana z silikatowych bloczków pionowo drażonych odmiany 1500, izolowana 300 mm styropianu EPS 80		
	warstwa		d (m)	l (W/m · K)	R (m ² · K/W)
1	tynk lub gładź cementowo-wapienna		0,015	0,820	0,018
2	mur z pustaków silikatowych na zaprawie cienkowarstwowej		0,240	0,750	0,320
3	styropian EPS 80 grubości 300 mm		0,300	0,038	7,895
4	zaprawa klejowa cienkowarstwowa		0,005	0,850	0,006
5	okładzina z desek		0,000	0,000	0,000
i	$R_{si} =$	0,13	–	$R_T =$	8,457
e	$R_{se} =$	0,04	–	$U =$	0,118

Źródło: opracowanie własne.

Ze względu na parametry izolacyjności termicznej zaproponowano wykonanie ścian zewnętrznych dwuwarstwowych z izolacją ze styropianu. Ocieplenie powinno być chronione siatką wykonaną z włókna szklanego i zabezpieczone tynkiem cienkowarstwowym. Z powodów estetycznych zdecydowano się zastąpić powłokę malarską tynku osłoną z desek, pochodzących z upraw certyfikowanych.

Styropian, stanowiący dobry i jeden z najtańszych materiałów termoizolacyjnych, wzbudza wśród ekologów mieszane uczucia. Jest to spieniony polistyren, w którym czynnik spieniający stanowi pentan – węglowodór prosty, niezawierający atomów chloru. Jak podają producenci, produkcja, przetwarzanie i stosowanie styropianu nie stanowi zagrożenia dla zdrowia czy środowiska przy założeniu, że stosuje się właściwe normy postępowania. Pentan po uwolnieniu do atmosfery szybko ulega rozkładowi [11]. Ilość energii, jaka potrzebna jest do wyprodukowania 1 m³ styropianu, włącznie z energią potrzebną na pozyskanie surowców i ich transport, wynosi w zależności od gęstości produktu 150–270 kWh. Procesy przetwarzania styropianu są bezpieczne dla zdrowia ludzkiego – podczas obróbki mechanicznej materiał nie pyli, powstają bezpieczne dla zdrowia człowieka drobinki. Wpływ styropianu na żywe organizmy był przedmiotem

wszechstronnych badań, prowadzonych przez niemiecki Instytut Badań Biobudowlanych w Arlsfeld. W ich wyniku stwierdzono, że styropian jest produktem neutralnym pod względem biologicznym. Na tej podstawie został on dopuszczony m. in. jako materiał do opakowań na żywność [13].

Niestety to, co jest w przypadku tego materiału zaletą, może być również jego wadą. Jest on materiałem tanim i długowiecznym (szacowany czas rozkładu to w warunkach naturalnych ok. 500 lat), co sprawia, że rozpylone drobinki długo pokrywać będą powierzchnię ziemi i stwarzać zagrożenie dla organizmów, w przypadku zanieczyszczenia nimi zbiorników wodnych. Niskie koszty produkcji i trudność w pozyskaniu czystego, czyli łatwo poddającego się ponownej obróbce, materiału odpadowego przekładają się na kumulowanie styropianu w masie odpadów komunalnych, zamiast w masie odpadów poddawanych recyklingowi.

Odpowiednio do technologii wykonania ścian i fundamentów, zaproponowano energooszczędną konstrukcję dachu, którego elementy nośne stanowią rozpięte na wyprofilowanych ścianach konstrukcyjnych krokwie z drewna klejonego wysokości 350 cm. Między krokwie wdmuchnięty zostanie granulat z wełny mineralnej w postaci warstwy o grubości 300 mm, dodatkowo od strony wnętrza poddasza ułożone będą płyty z wełny grubości 70 mm.

Układ warstw i obliczony współczynnik przenikania ciepła dla dachu przedstawiono w tab. 4.3.

Tabela 4.3

Układ warstw dachu

Lp.	Opis		Konstrukcja dachu załamanego		
	warstwa		d (m)	l (W/m · K)	R (m ² · K/W)
1	deski sosnowe grubości 32 mm + wentylacja		0,032	0,160	0,200
2	granulat wełny mineralnej grubości 300 mm		0,300	0,045	6,667
3	folia PE		0,001	0,230	0,004
4	płyta izolacyjna z wełny mineralnej 70 mm		0,070	0,037	1,892
5	płyta gipsowo-kartonowa		0,013	0,230	0,054
i	$R_{si} =$	0,10	–	$R_T =$	9,063
e	$R_{se} =$	0,10	–	$U =$	0,110

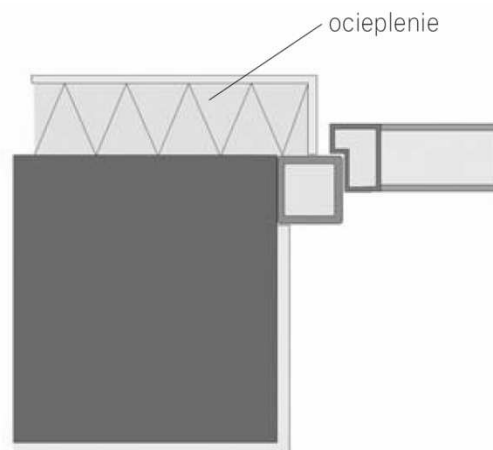
Źródło: opracowanie własne.

Ze względów bezpieczeństwa pożarowego zdecydowano się na zmianę materiału termoizolacyjnego w poszyciu dachu, jednak zwiększona grubość izolacji będzie w stanie zapewnić niskie nakłady energii niezbędnej do ogrzewania pomieszczeń znajdujących się na poddaszu. Łączna grubość warstw termoizolacji w połaci dachowej wznosi 370 mm, co stwarza również dobrą izolację akustyczną. Ponieważ przewidziano sztywne poszycie z desek pod krycie blachą, pomiędzy deskowaniem a wełną pozostawiono 50-milimetrową szczelinę wentylacyjną. Pokrycie dachu ma być wykonane z blachodachówki pochodzącej z recydingu.

Jak widać w tab. 4.1–4.3, współczynniki przenikania ciepła U dla pełnych przegród zewnętrznych zawarte są w przedziale 0,110–0,127 $W/m^2 \cdot K$. Izolacyjność termiczna okien i drzwi kształtuje się znacznie gorzej. Standardy stosowania „efektywnej” stolarki każą poszukiwać produktów o współczynniku $U \leq 0,8 W/m^2 \cdot K$, które są droższe od standardowych nawet o 50%. Warto mieć na uwadze, że współczynnik przenikania ciepła dla okien określony jest tak naprawdę na podstawie średniej ważonej izolacyjności i powierzchni szyb, profili oraz mostków liniowych tworzących się na styku tych dwóch elementów. Okna w budynkach energooszczędnych powinny charakteryzować się, przy zastosowaniu wentylacji mechanicznej, możliwie najmniejszą przepuszczalnością powietrza, aby zapewnić szczelność budynku.

Samo umiejscowienie okna w ścianie konstrukcyjnej również nie pozostaje bez wpływu na zachowanie się budynku. Aby wyeliminować wpływ mostków liniowych w miejscach styku okno–ściana, dosunąć należy okno do krawędzi muru i warstwy izolacji, przy zachowaniu odpowiedniej zakładki wykonanej z tego materiału w postaci ościeży okien – patrz rys. 4.2.

Aby dodatkowo ograniczyć straty ciepła przez okna, zastosować można zewnętrzne rolety zamykane (głównie na noc) w okresie grzewczym i (w ciągu dnia latem) poza tym okresem. W celu zapewnienia prawidłowego ich funkcjonowania, warto pokusić się o wybór nieco droższej (ok. 600 PLN na okno), ale bardziej komfortowej, opcji sterowania elek-



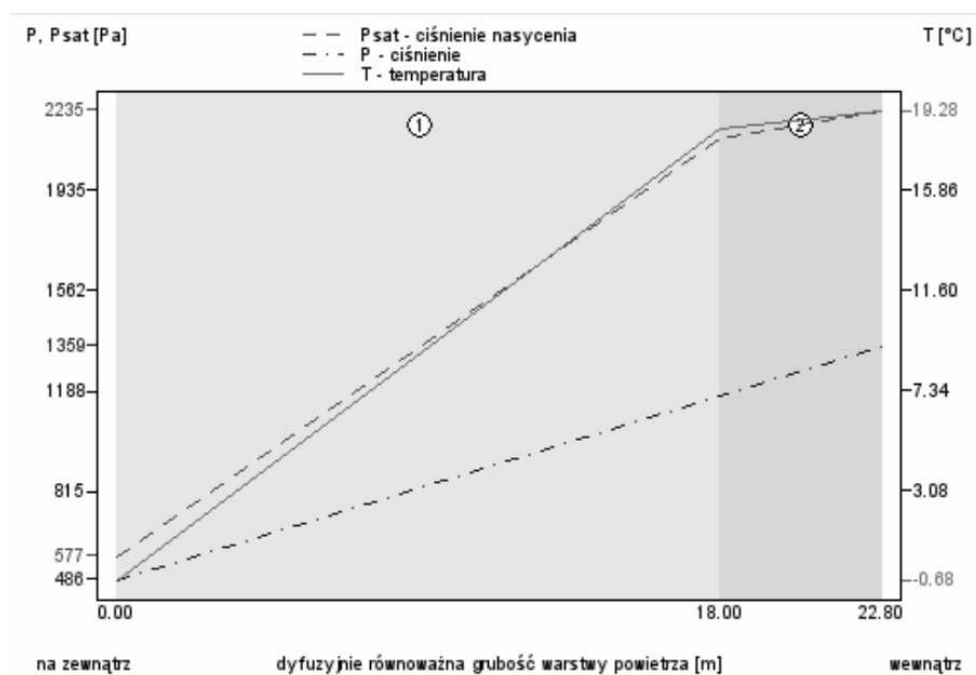
Rys. 4.2. Schemat korzystnego umiejscowienia okna w ścianie dwuwarstwowej

Źródło: opracowanie własne.

tronicznego roletami, które ustawić można np. godzinowo zgodnie z rytmem dnia domowników lub zestroić z czujnikami natężenia oświetlenia, aby otwierały się o świcie i zamykały samoczynnie o brzasku.

W powyższych rozważaniach przedstawiony został aspekt doboru, najbardziej zasadnych zdaniem autora, materiałów dla projektowanego budynku. W związku z określonym doбором materiałów i technologii, powstaje pytanie o ryzyko wystąpienia zawilgocenia ścian, które wpływa na pogorszenie mikroklimatu wnętrza, sprzyja powstawaniu odpowiedniego środowiska dla rozwoju mikroorganizmów i owocuje spadkiem izolacyjności cieplnej materiałów.

Na podstawie prawa Fokina–Glaser a przy użyciu inżynierskiego narzędzia obliczeniowego dokonano analizy aspektów wilgotnościowych przedstawionej w tab. 4.2 ściany zewnętrznej, zilustrowane na rys. 4.3. Jak widać, dla najbardziej newralgicznego mie-

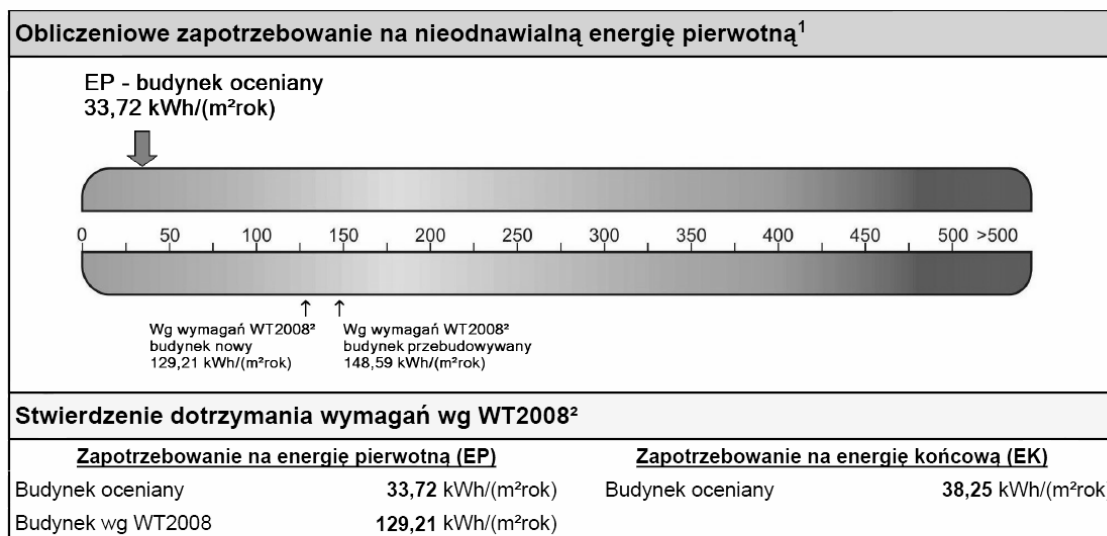


Rys. 4.3. Rozkład ciśnień pary wodnej i temperatury w przegrodzie

Źródło: opracowanie własne.

siąca (grudnia), w żadnym miejscu na wykresie linia ciśnienia nasyconej pary wodnej nie przecina się z linią rozkładu ciśnienia pary wodnej w przegrodzie. Na podstawie wyników obliczeń rocznego bilansu wilgoci oraz maksymalnej ilości wilgoci zakumulowanej w przegrodzie można stwierdzić, że przegroda jest wolna od wewnętrznej kondensacji, czyli została zaprojektowana prawidłowo.

Ostatni krok dla oszacowania efektywności energetycznej przyjętej koncepcji stanowi opracowanie świadectwa charakterystyki energetycznej budynku (inaczej certyfikatu lub paszportu energetycznego). Przygotowanie certyfikatu polega na obliczeniu zapotrzebowania energii cieplnej dla domu (tj. dla potrzeb centralnego ogrzewania, wentylacji i ciepłej wody użytkowej). Wpływ zastosowania klimatyzacji i oświetlenia pominięto



¹ Charakterystyka energetyczna budynku określana jest na podstawie porównania jednostkowej ilości nieodnawialnej energii pierwotnej EP niezbędnej do zaspokojenia potrzeb energetycznych budynku w zakresie ogrzewania, chłodzenia, wentylacji i ciepłej wody użytkowej (efektywność całkowita) z odpowiednią wartością referencyjną.

² Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 75, poz. 690, z późn. zm.), spełnienie warunków jest wymagane tylko dla części budynku nowego lub przebudowanego.

Rys. 4.4. Charakterystyka energetyczna budynku „Dom 2020”

Źródło: opracowanie własne.

na tym etapie projektowania. Otrzymane wyniki wyrażone są za pomocą wskaźnika nakładów energii pierwotnej E_P podanej w kWh/m²rocznie i odnosi się je do tzw. budynku referencyjnego, czyli porównawczego.

Zapotrzebowanie „Domu 2020” na energię zostało policzone za pomocą jednego z dostępnych komercyjnie programów i wykonane w obecności uprawnionego certyfikatora. Użyty program jest zgodny z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej [10] oraz z zasadami określonymi w aktualnie obowiązujących normach. Dzięki opisanym w pracy rozwiązaniom materiałowym i pewnym rozwiązaniom instalacyjnym (wentylacja mechaniczna z gruntowym wymiennikiem ciepła, kolektory słoneczne) otrzymano przedstawioną na rys. 4.4 charakterystykę energetyczną.

Uzyskany niewielki nakład energii pierwotnej równy w przybliżeniu 34 kWh/m²rok napawa optymizmem i pozwala na sformułowanie twierdzenia, że cel opracowania koncepcji domu efektywnego energetycznie, dostosowanego do potrzeb rynku lokalnego, został osiągnięty.

LITERATURA

- [1] *Analiza potrzeb mieszkaniowych w miastach i wsiach w poszczególnych powiatach województwa łódzkiego do 2030*, Biuro Planowania Przestrzennego Województwa Łódzkiego, Łódź 2006.
- [2] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2002/91/UE z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków, DzUrz WE L 1 z 4.01.2003, s. 65–71.
- [3] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków, DzUrz WE L 153 z 18.06.2010, s. 13–35.
- [4] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – *Prawo budowlane*, DzU 1994, nr 89, poz. 414, z późn. zm.
- [5] *Świadomość ekologiczna Polaków – Zrównoważony Rozwój*, Instytut na rzecz Ekorozwoju, Warszawa 2009, raport z badań.
- [6] *Badanie Świadomości Ekologicznej Polaków 2010 ze szczególnym uwzględnieniem energetyki przyjaznej środowisku*, Instytut na rzecz Ekorozwoju, Warszawa 2010, raport z badań.
- [7] M. Janicki, *Dom 2020 jako przykład budownictwa pasywnego lub o niemal zerowym zużyciu energii w świetle budownictwa zrównoważonego zgodnego z nowymi wytycznymi Unii Europejskiej*, <http://www.bioenergiadlaregionu.eu/pl/doktoranci/artykulydoktorantow/art55,dm-2020-jako-przyklad-budownictwa-zrownowazonego.html>, 13.06.2012.

- [8] *Dom 2020 – projekt ekologicznego i inteligentnego domu energooszczędnego*, Dolnośląski Dom Energooszczędny, Wrocław 2011, materiały konferencyjne.
- [9] „Dom ekologiczny”, konkurs miesięcznika „Murator”, <http://www.bioenergiadlaregionu.eu/pl/doktoranci/artykulydoktorantow/art55,konkurs-murator.html>, 13.06.2012.
- [10] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. *w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej*, DzU 2008, nr 201, poz. 1240.
- [11] *Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals (1983)*, United Nations Environment Programme: „Technical progress on protecting the ozone layer”, Nairobi 1989, (updated 1991).
- [12] P. Witkowski, *Pożądane kierunki zmian w polskim budownictwie*, Instytut Techniki Budowlanej, Społeczna Rada Narodowego Programu Redukcji Emisji, AGH, Warszawa 2010.
- [13] *Muratorplus*, http://www.muratorplus.pl/technika/izolacje/styropian-ekologia_59022.html, 01.12.2011.
- [14] *EkoArchitekci. Projekty domów nowoczesnych*, http://ekoarchitekci.pl/plyta_fundamentowa.html, 1.12.2011.
- [15] Ustawa z dnia 26 czerwca 2008 r. o zmianie ustawy – *Prawo budowlane*, DzU 2008, nr 145, poz. 914.

5. System centralnego ogrzewania, ciepłej wody użytkowej, wentylacji i klimatyzacji

5.1. System wentylacji wraz z odzyskiem ciepła i pasywnym chłodzeniem

Wzrastające ceny energii zarówno ciepłej, jak i elektrycznej oraz kurczące się jej zasoby skłaniają wielu inwestorów, osoby budujące domy, architektów czy projektantów do przemyśleń na temat 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 zyskują coraz bardziej na znaczeniu.

Zarówno właściwości izolacyjne zewnętrznych przegród budynków, jak i szczelność okien i drzwi podlegają ciągłemu udoskonalaniu. Prowadzi to do redukcji np. mostków termicznych, co powoduje wprawdzie zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło bądź chłód projektowanych budynkach, ale przyczynia się również do zakłócenia naturalnej wymiany powietrza budynku z otoczeniem czyniąc go swoistym termosem. W celu zapewnienia w sposób ciągły świeżego powietrza w pomieszczeniach, można obok standardowego wietrzenia dokonywać wymiany powietrza za pomocą wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła z powietrza usuwanego z pomieszczeń.

Istotnym składnikiem rozwiązań energooszczędnych jest mechaniczna wentylacja pomieszczeń z odzyskiem ciepła w połączeniu z gruntowym powietrznym wymiennikiem ciepła (GPWC). Standardu pasywnego nie da się osiągnąć bez zastosowania mechanicznej wentylacji nawiewowo-wywiewnej z odzyskiem ciepła. Jej głównym elementem jest wysokoefektywna centrala wentylacyjna (rekuperator), w której powietrze nawiewanemu zostaje przekazana znaczna część ciepła z powietrza wywiewanego. Zastosowana centrala powinna charakteryzować się 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. Wentylacja nawiewowo-wywiewna budynku niskoenergetycznego ma charakter ukierunkowany. Świeże powietrze zostaje doprowadzone bezpośrednio do tzw. czystych pomieszczeń, tj. sypialń, pokoi dziennych, gościnnych itp. W każdym z tych po-

mieszkań powinien znajdować się co najmniej jeden nawiewnik. Zanieczyszczone powietrze usuwane jest z tzw. brudnych pomieszczeń, tj. kuchni i łazienki, gdzie umieszczone są kratki wywiewne. Zapewnienia to w projektowanym budynku ukierunkowany przepływ powietrza. Świeże 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 np. szybkie wysychanie mokrych ręczników i szybką neutralizację wilgoci. Dzięki zasadzie ukierunkowanego przepływu świeże powietrze zostaje wykorzystane w optymalny sposób.



Rys. 5.1. Przykładowy wariant umiejscowienia gruntowego wymiennika ciepła

1.1 – gruntowy powietrzny wymiennik ciepła, 3.1 – czerpnia powietrza, 3.2 – odpływ kondensatu,
3.3 – szczelne przejście przez ścianę.

Jednym z elementów efektywnej instalacji wentylacyjnej budynku niskoenergetycznego jest gruntowy wymiennik ciepła. Wykorzystuje on zakumulowane w gruncie ciepło do podgrzania w zimie powietrza zewnętrznego lub do ochłodzenia go latem. Schemat jednego z wariantów umiejscowienia gruntowego wymiennika ciepła pokazano na rys. 5.1.

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, co poprawia sprawność odzysku ciepła i eliminuje konieczność pracy energochłonnej nagrzewnicy wstępnej.

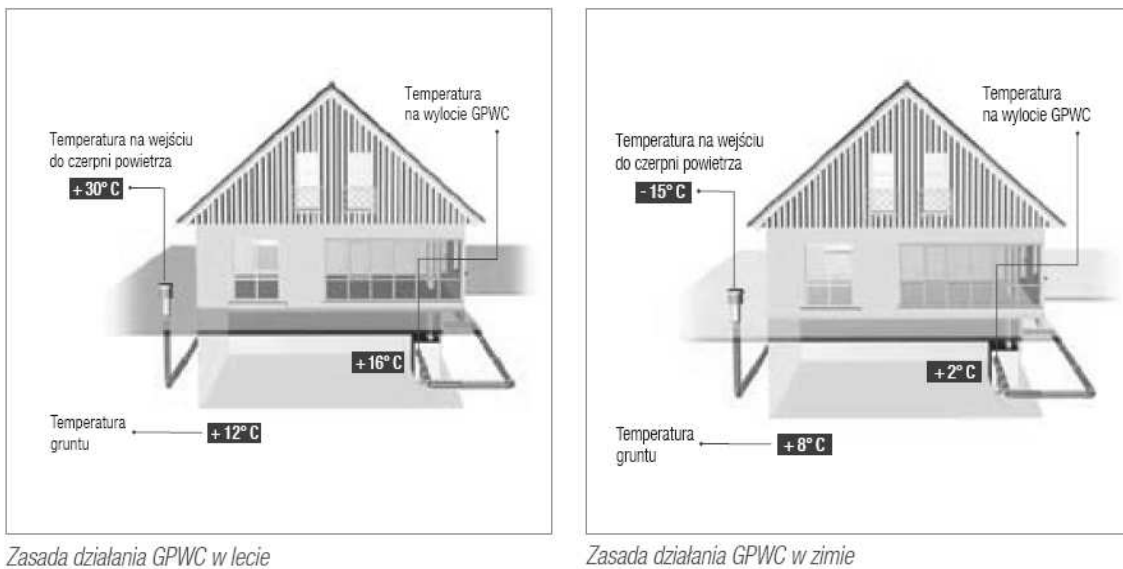
System instalacji wentylacyjnej wraz z pasywnym systemem chłodzenia powietrza w projektowanym budynku oparty jest na rekuperatorze przeciwprądowym firmy Provent Mistral pro 400EC z bardzo wydajnym wymiennikiem odzysku ciepła. Centrala sterowana jest automatycznie za pomocą przepustnicy z siłownikiem, umożliwiając pobieranie powietrza z wymiennika gruntowego. W rekuperatorze zastosowane są wentylatory EC, które umożliwiają niezależną, płynną regulację wydajności nawiewu i wywiewu centrali, oraz filtry w nawiewie klasy F7. Poziom dźwięku na zewnątrz obudowy podczas pracy centrali nie przekracza 45 dBA. Zastosowany rekuperator przedstawiony jest na rys. 5.2.



Rys. 5.2. Rekuperator firmy Provent typ Mistral pro 400EC

Źródło: *Rekuperator MISTRAL PRO 400 EC*, <http://www.pro-vent.pl>, 1.12.2011.

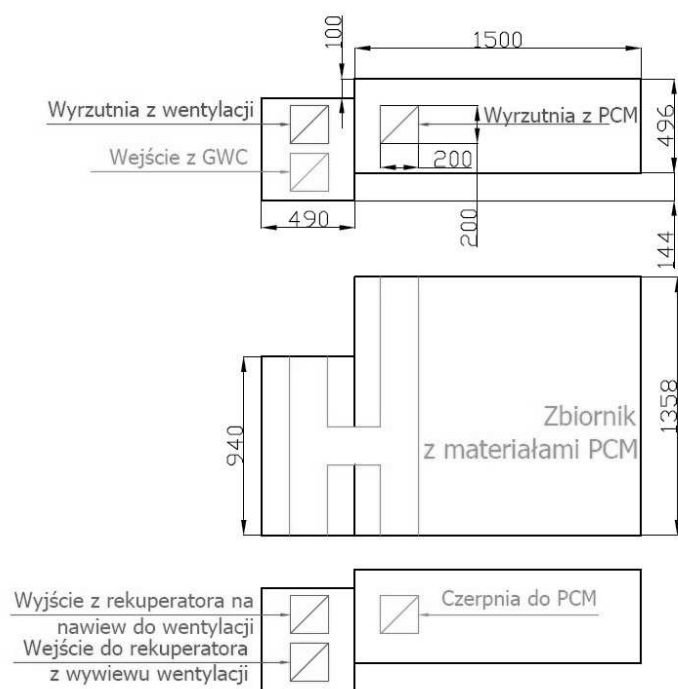
Rekuperator wywiewa zużyte powietrze z łazienki lub kuchni i oddaje ciepło (chłód) do powietrza nawiewanego do salonu i sypialnia. Świeże powietrze zasysane jest z zewnątrz poprzez GPWC AKWADUKT Thermo firmy Rehau, w tym przypadku o długości 65 m, gdzie następuje jego wstępne ogrzanie w porze zimowej lub ochłodzenie w porze letniej.



Rys. 5.3. Zasada funkcjonowania gruntowego powietrznego wymiennika ciepła na przykładzie pory zimowej i letniej

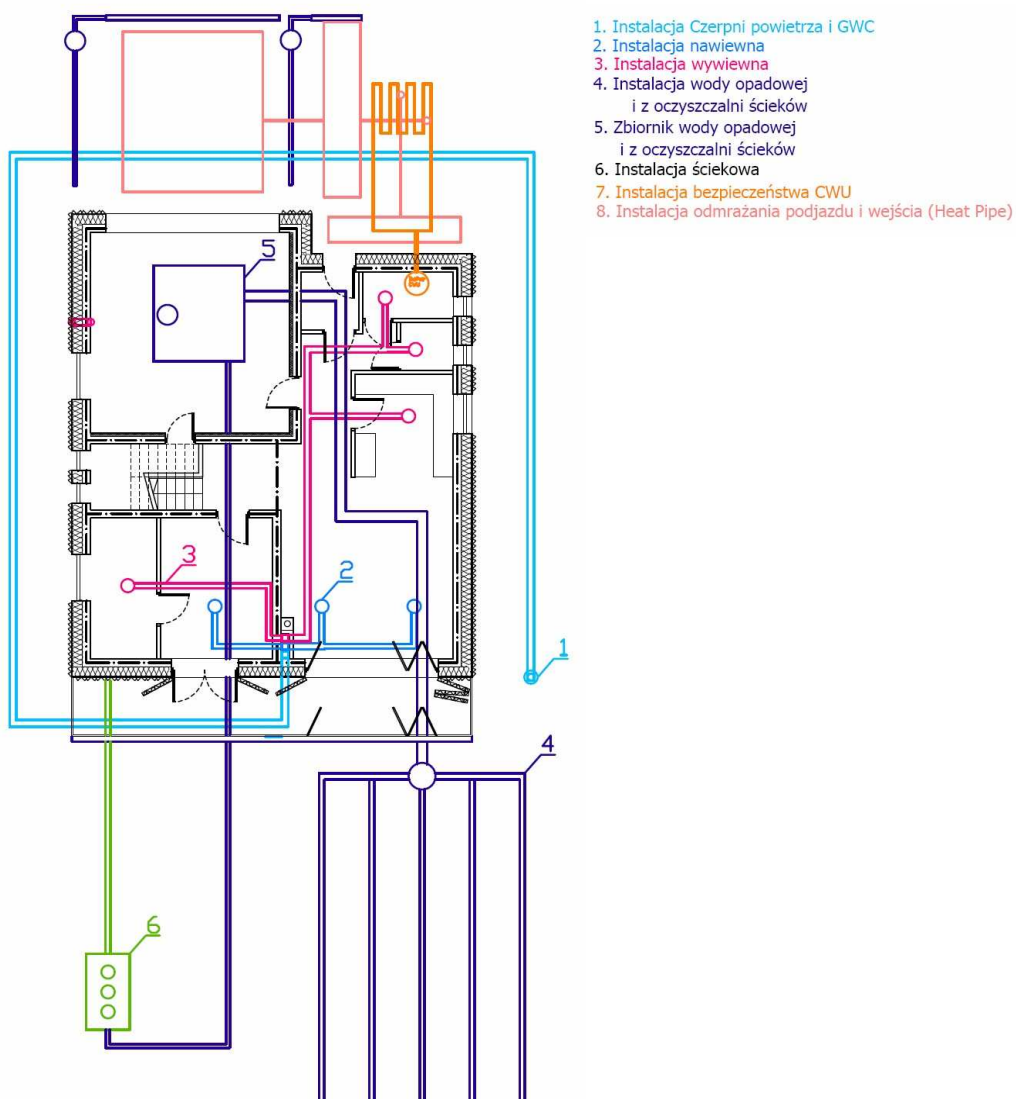
Źródło: jak do rys. 5.1.

Zasada funkcjonowania 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 powietrza płynącego przez system kolektorów.



Rys. 5.4. Schemat umiejscowienia i podłączenia zasobnika z materiałami zmiennofazowymi
 Źródło: opracowanie własne.

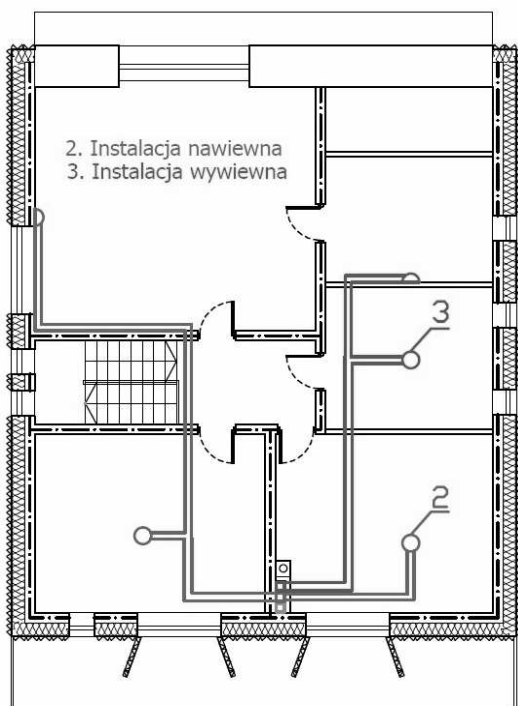
Doświadczenia pokazują, że dzięki zastosowaniu gruntowego powietrznego wymiennika ciepła można podnieść temperaturę doprowadzanego powietrza o 22°C w zimie i obniżyć ją nawet o 20°C w lecie (rys. 5.3), czego efektem jest nie tylko podwyższenie komfortu użytkowników budynku, lecz również znaczne obniżenie kosztów zużywanej energii. Dodatkowo zastosowany w tym projekcie gruntowy wymiennik ciepła posiada antibakteryjną powłokę znacznie podnoszącą komfort życia mieszkańców. W porze zimowej zasysane z zewnątrz świeże powietrze po przejściu przez gruntowy powietrzny wymiennik ciepła jest ogrzewane w rekuperatorze za pomocą powietrza wywiewanego i następnie tak przygotowane powietrze jest transportowane poprzez sieć kanałów wentylacyjnych do tzw. czystych pomieszczeń (rys. 5.5–5.7).



Rys. 5.5. Rzut parteru budynku z naniesionymi instalacjami

Źródło: opracowanie własne.

W porze letniej natomiast świeże powietrze jest wstępnie ochładzane w gruntowym wymienniku ciepła, a następnie wychłodzone dzięki przepływowi przez zasobnik z materiałami zmiennofazowymi. Materiały zmiennofazowe (PCM) magazynują w sobie chłód odebrany od przepływającego przez nie powietrza w nocy, a następnie ochładzają gorące powietrze przepływające przez nie w dzień. System ten bazuje na wykorzystaniu rurek ciepła do przekazywania ciepła pomiędzy powietrzem a materiałami zmiennofazowymi. Podczas nocy chłodne powietrze zewnętrzne jest używane do „zamrażania” PCM, natomiast podczas dnia ciepło (chłód) jest odbierane za pomocą powietrza nawiewanego do pomieszczeń, co powoduje „roztapianie” PCM. Cykl ten jest powtarzany w systemie dobowym. Decydującym procesem jest tutaj transfer ciepła pomiędzy powietrzem a materiałami zmiennofazowymi.



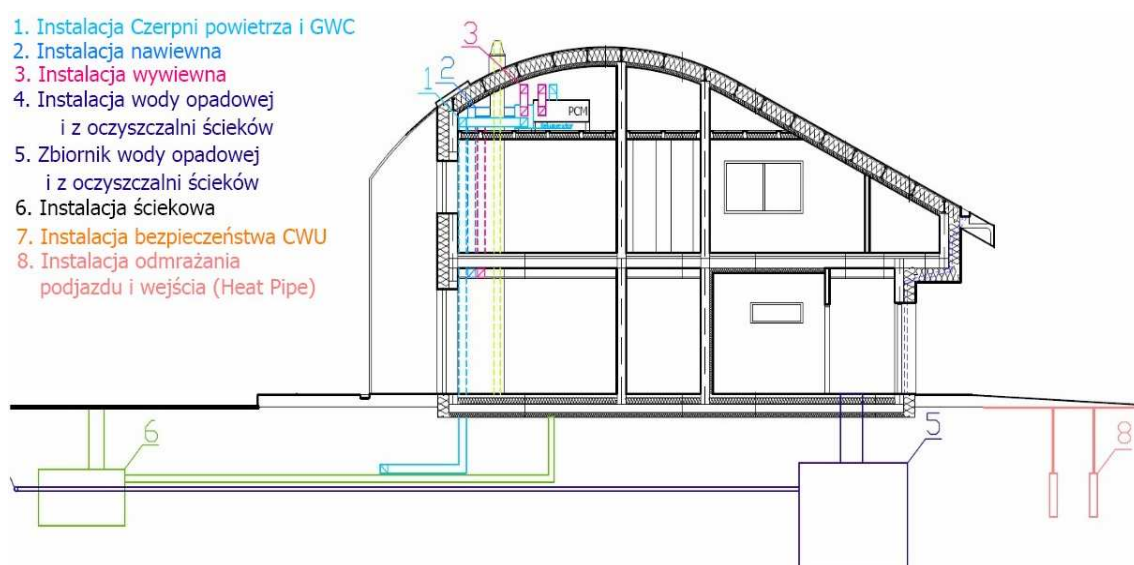
Rys. 5.6. Rzut 1. piętra wraz z naniesionymi instalacjami

Źródło: opracowanie własne.

Współczynniki wnikania i przewodzenia ciepła muszą być wysokie ze względu na małe różnice temperatur pomiędzy powietrzem a „PCM” (zazwyczaj różnica ta nie przekracza 6°C). Głównym problemem w tego typu urządzeniach jest uzyskanie wymaganego transferu ciepła do, ale także od, materiałów zmiennofazowych, a wynika to z aktu, iż materiały zmiennofazowe zasadniczo zachowują się jak ciała stałe i transfer ciepła poprzez przewodzenie jest praktycznie jedynym rozwiązaniem. Ponadto z powodu zapachów i zagrożeń dla zdrowia bezpośredni kontakt pomiędzy powietrzem a materiałami zmiennofazowymi jest niepożądany. Użycie rurek ciepła jako elementów pośrednich do efektywnego transportu ciepła pomiędzy powietrzem a „PCM” z konwekcją wymuszoną po stronie powietrza pozwala na zamknięcie i odizolowanie materiałów zmiennofazowych od powietrza. Schemat umiejscowienia i podłączenia zasobnika z materiałami zmiennofazowymi pokazano na rys. 5.4 [2].

W porze letniej powietrze wstępnie ochłodzone w gruntowym wymienniku ciepła oraz dzięki materiałom zmiennofazowym przepływa następnie przez wymiennik rekuperatora, gdzie jest jeszcze ochładzane za pomocą powietrza usuwanego z pomieszczeń. Tak ochłodzone świeże powietrze jest nawiewane do pomieszczeń. Schemat rozdziału powietrza w pomieszczeniach pokazany jest na rys. 5.5–5.7.

Na uwagę zasługuje fakt, iż wszystkie etapy ochładzania powietrza latem są realizowane poprzez systemy całkowicie pasywne (niewykorzystujące żadnej energii do ochładzania powietrza). Zarówno gruntowy wymiennik ciepła, zasobnik z materiałami zmiennofazowymi, jak i wymiennik rekuperatora nie zużywają energii do ochładzania powietrza nawiewanego do pomieszczeń, a w znacznym stopniu pomagają utrzymać komfort cieplny w budynku [1]. Zabezpieczenie przed przegrzewaniem stanowią będą rolety okienne oraz oszklona weranda od strony południowej. Weranda ta pełni również funkcję bufora termicznego w sezonie grzewczym.

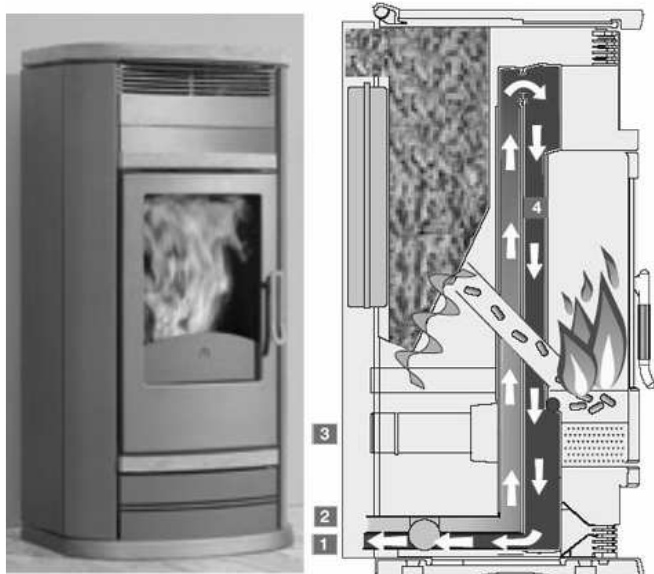


Rys. 5.7. Przekrój budynku z naniesionymi instalacjami

5.2. System centralnego ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej

System centralnego ogrzewania i podgrzewania ciepłej wody użytkowej bazuje na kominku na biomasę (pellet) oraz hybrydowym systemie solarnym wytwarzającym zarówno ciepło, jak i energię elektryczną.

Proponowany kominek jest to produkt firmy EdilKamin model Melody Line o mocy do 14 kW wyposażony w kasetę na paliwo (pellet) oraz system zarówno pełnej automatyki podawania paliwa, jak i regulacji temperatury (rys. 5.8). Kominek służy do ogrzewania domu poprzez system ogrzewania promieniowego oraz do podgrzewania CWU. System ogrzewania promieniowego jest niezwykle efektywnym rozwiązaniem umożliwiającym utrzymanie odczucia komfortu cieplnego w budynku przy niższej temperaturze czynnika krążącego w układzie centralnego ogrzewania. Rolę zasobnika na ciepłą wodę użytkową pełni bufor biwalentny z dwoma wężownicami spiralnymi firmy Galmet typ SGW(S)B o pojemności 400 l. Bufor ten jest pokryty emalią ceramiczną „EXTRA GLASS”



Rys. 5.8. Kominek EdilKamin model Melody Line

Źródło: Kominek na pellet, <http://www.edilkamin.com.pl>, 1.12.2011.

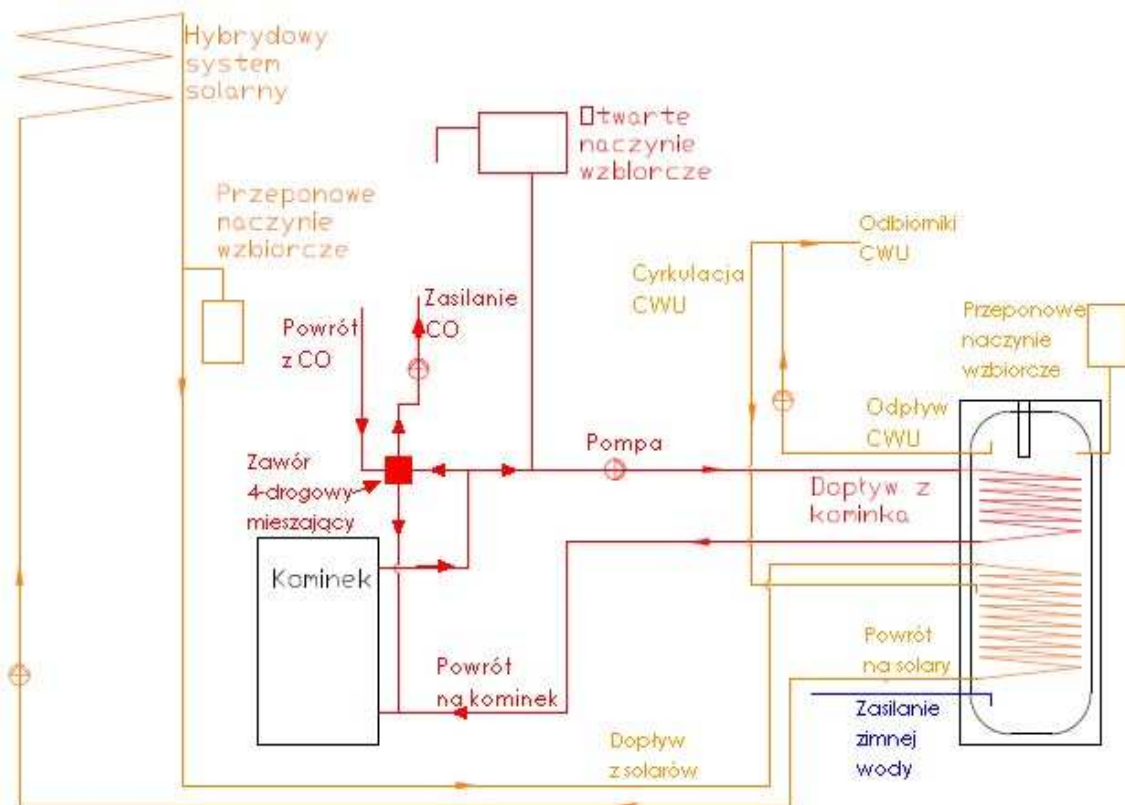


Rys. 5.9. Bufor biwalentny firmy Galmet

Źródło: Bufor centralnego ogrzewania i ciepłej wody, <http://www.galmet.com.pl>, 1.12.2011.

oraz wyposażony w anodę magnezową i ocieplony pianką poliuretanową. Zastosowany zasobnik pokazany jest na rys. 5.9, natomiast schemat systemu centralnego ogrzewania i podgrzewania ciepłej wody użytkowej przedstawiony jest na rys. 5.10.

Ewentualny nadmiar ciepła z hybrydowego systemu solarnego w porze letniej jest automatycznie magazynowany w gruncie poprzez wymiennik ciepła umiejscowiony w gruncie pod podjazdem i chodnikiem przed domem. Gdy temperatura w buforze przekracza 90°C, załączana jest automatycznie pompa, która tłoczy gorącą wodę poprzez



Rys. 5.10. Schemat systemu centralnego ogrzewania oraz ciepłej wody użytkowej

Źródło: opracowanie własne.

wymiennik usytuowany w gruncie, co umożliwia wystudzenie bufora w przypadku nieobecności domowników i braku odbioru ciepła z kolektorów w słoneczne dni. Zarówno w podjeździe, jak i w chodniku przed domem umieszczone są rurki ciepła (*heat pipe*) wykorzystujące zmagazynowane latem ciepło w gruncie do podgrzewania i odmarzania podjazdu, chodnika i wejścia do domu. System podgrzewania wyżej wymienionych elementów bazujący na rurkach ciepła jest systemem całkowicie pasywnym niewymagającym do swojej pracy jakiegokolwiek energii zewnętrznej, a pomagającym utrzymać podjazd i chodnik bez nadmiernego zaśnieżenia i oblodzenia zimą [3].

LITERATURA

- [1] Ł. Adrian, *Budowa i zasada działania rurki ciepła*, „Chłodnictwo i Klimatyzacja” 2010, nr 3, ISSN 1425-9796.
- [2] Ł. Adrian, *Wybrane aplikacje rurek ciepła w klimatyzacji i inżynierii budowlanej*, „Chłodnictwo i Klimatyzacja” 2010, nr 6, ISSN 1425-9796.
- [3] M. K u t z, *Energy and Power*, [w:] *Mechanical Engineers' Handbook*, 3rd Ed., John Wiley & Sons, Hoboken (NJ) 2006.
- [4] *Gruntowy powietrzny wymiennik ciepła AWADUKT Thermo*, <http://www.rehau.pl>, 1.12.2011.
- [5] *Rekuperator MISTRAL PRO 400 EC*, <http://www.pro-vent.pl>, 1.12.2011.
- [6] *Kominek na pellet*, <http://www.edilkamin.com.pl>, 1.12.2011.
- [7] *Bufor centralnego ogrzewania i ciepłej wody*, <http://www.galmet.com.pl>, 1.12.2011.

6. Hybrydowy system solarny i fotowoltaika

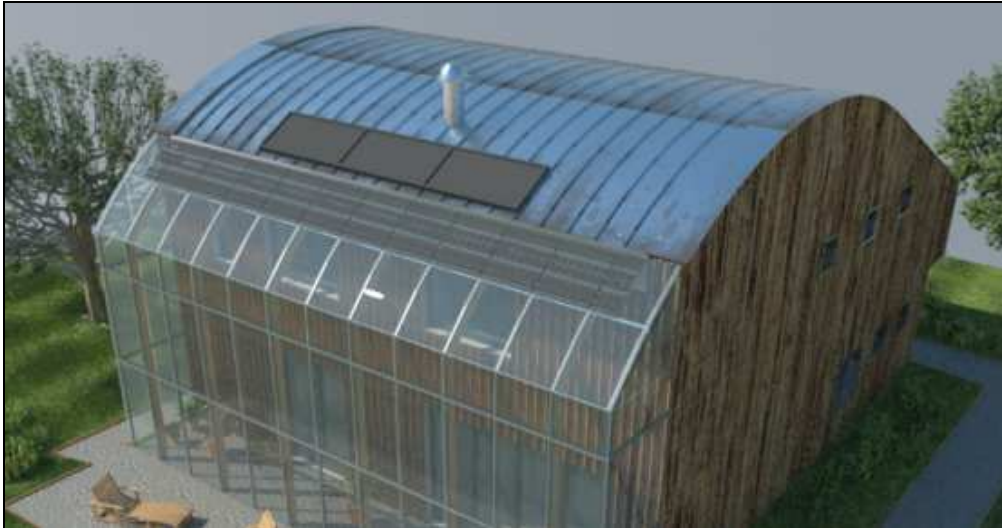
Niewyczerpalnym, odnawialnym i czystym ekologicznie źródłem energii jest Słońce. W „Domu 2020” planowane jest maksymalne wykorzystanie energii promieniowania słonecznego. W tym celu zakładane jest zarówno pozyskiwanie energii elektrycznej na drodze konwersji fotowoltaicznej, jak i energii cieplnej dzięki konwersji fototermicznej.

Konwersja fotowoltaiczna (PV) jest to bezpośrednia zamiana energii promieniowania słonecznego zachodząca w specjalnym przyrządzie półprzewodnikowym (tzw. ogniwie słonecznym/fotowoltaicznym/PV) [1]. W wyniku wykorzystania ogniw, modułów i paneli fotowoltaicznych nie powstają zanieczyszczenia, substancje odpadowe, ani hałas, a same moduły nie wymagają żadnej konserwacji podczas użytkowania. Ponadto montaż pod kątem 30–45° od poziomu zapewnia ich automatyczne czyszczenie i spłukiwanie pyłów poprzez opady atmosferyczne.

W konwersji fototermicznej energia słoneczna zamieniana jest na ciepło, a zjawisko to jest wykorzystywane w kolektorach słonecznych najczęściej do podgrzewania wody użytkowej. Prawidłowo zaprojektowane i wykonane instalacje kolektorów słonecznych mogą pokrywać 50–65% rocznego zapotrzebowania na energię cieplną dla podgrzania ciepłej wody użytkowej [2]. Do wymuszenia obiegu medium grzewczego w instalacji wykorzystana jest pompa napędzana elektrycznie i sterowana przez regulatory współpracujące z czujnikami temperatury.

W celu obniżenia kosztów materiałów, instalacji i montażu, a także w wyniku dążenia do oszczędności powierzchni oraz zwiększenia sprawności pozyskiwania energii elektrycznej z paneli fotowoltaicznych, w projekcie zaproponowano innowacyjny hybrydowy system solarny. System integruje funkcjonalność modułu fotowoltaicznego i kolektora słonecznego w jednym urządzeniu zajmującym połowę powierzchni potrzebnej do zainstalowania tych systemów niezależnie. Ponadto w wyniku działania takiego układu hybrydowego zwiększa się uzysk mocy produkowanej przez moduły fotowoltaiczne poprzez odbiór ciepła przez płytę kolektora i stabilizację ich temperatury pracy.

W projekcie „Domu 2020” wykorzystane zostały zarówno rozwiązania hybrydowe, jak i samodzielne ogniwa fotowoltaiczne. Na zdjęciu (rys. 6.1) widoczne są 3 zestawy hybrydowe kolektor–moduł PV bezpośrednio na dachu budynku oraz pasy fotowoltaiczne tworzące półprzezroczystą siatkę nad przeszkloną werandą.

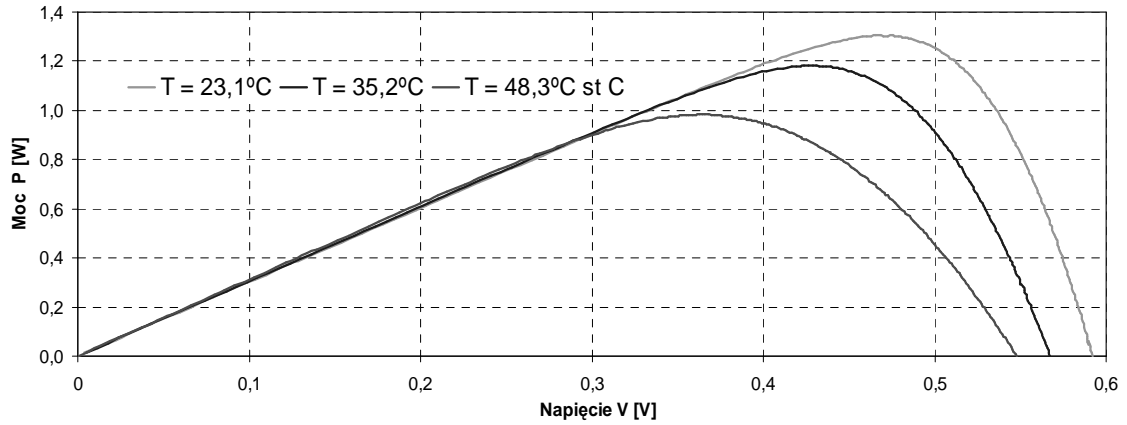


Rys. 6.1. Południowo-wschodnia strona domu – widok z lotu ptaka

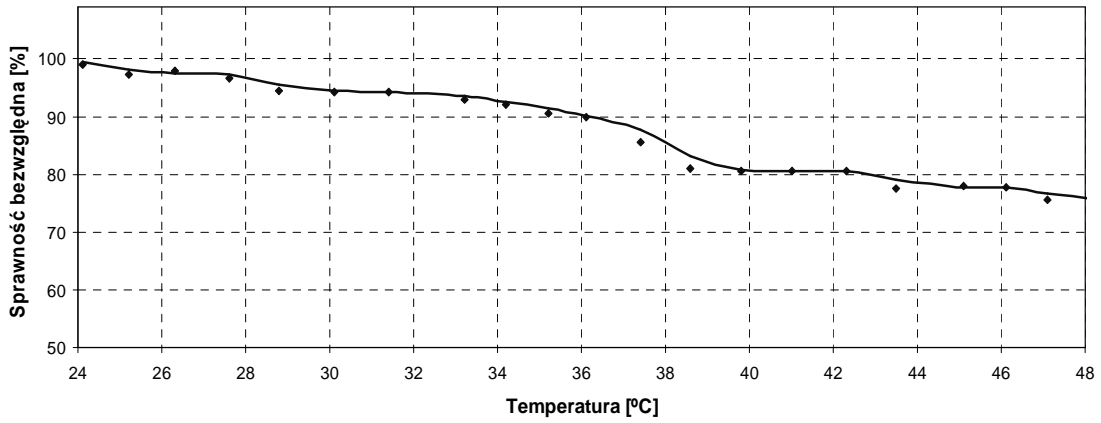
Źródło: praca konkursowa miesięcznika „Murator” (A. Klimek z zespołem).

6.1. Zasadność zastosowania i charakterystyka systemu hybrydowego

Pomysł zastosowania hybrydowego systemu solarnego jest nowym, niestosowanym dotąd rozwiązaniem. Źródłem tego pomysłu jest fakt wynikający zarówno z danych literaturowych [4], jak i z własnych badań eksperymentalnych, iż sprawność, a zatem i moc pozyskiwana z modułów fotowoltaicznych, spadają wraz ze wzrostem temperatury ich pracy. Standardowe warunki badania (STC – Standard Test Conditions) dla ogniw słonecznych definiują temperaturę 25°C [3], podczas gdy w słoneczny dzień w środkowej Europie moduł PV może nagrzać się nawet do 80°C. Sprawność modułów i paneli fotowoltaicznych, w zależności od materiału i sposobu wykonania, spada wraz ze wzrostem temperatury pracy o 0,4 do 0,9% wartości początkowej (w 25°C) na każdy 1°C powyżej temperatury nominalnej. W ten sposób użytkownik może stracić do 50% energii tylko za sprawą podwyższonej temperatury. Na rys. 6.2 i 6.3 pokazano wyniki eksperymentalne wpływu temperatury odpowiednio na uzysk mocy oraz sprawność, przeprowadzone na pojedynczym ogniwie wykonanym z krzemu polikrystalicznego (p-Si).

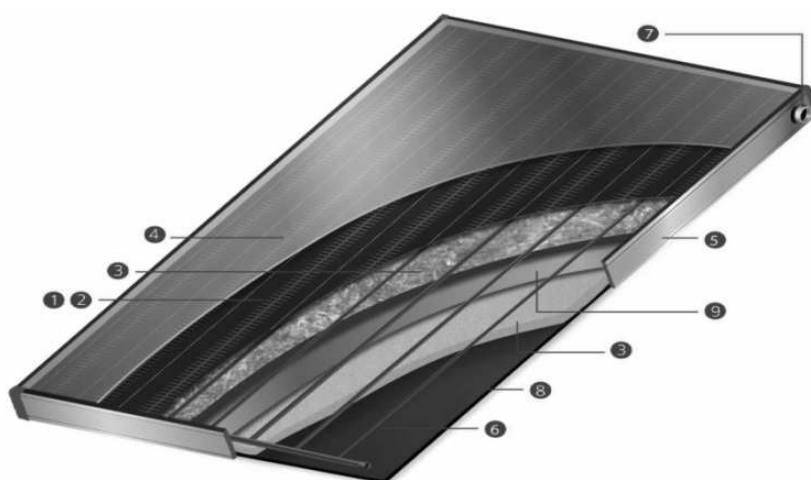


Rys. 6.2. Spadek mocy pojedynczego ogniwa p-Si w wyniku wzrostu temperatury
 Źródło: opracowanie własne.



Rys. 6.3. Spadek sprawności pojedynczego ogniwa p-Si w wyniku wzrostu temperatury
 Źródło: opracowanie własne.

Aby zminimalizować widoczne na powyższych wykresach straty energetyczne, zaprojektowany został system hybrydowy, o którym już wcześniej wspomiano. Wierzchnią część urządzenia stanowi moduł fotowoltaiczny zabezpieczony antyrefleksyjną szybą solarną. Bezpośrednio pod powierzchnią modułu zamontowano układ miedzianych rurek pełniących funkcję kolektora słonecznego. Czynnik roboczy przepływający przez kanały cieczowe ochładza moduł fotowoltaiczny redukując spadek jego wydajności poprzez zmniejszenie temperatury pracy. Ogrzany czynnik wraca do bufora, gdzie oddaje ciepło przeznaczone na podgrzewanie wstępnej ciepłej wody użytkowej. Jednym z najlepszych czynników roboczych w kolektorach jest woda ze względu na bardzo korzystne właściwości przenoszenia ciepła. Niestety może być wykorzystywana tylko przy temperaturze powyżej 0°C. Dlatego też, aby zapewnić kolektorom prawidłowe funkcjonowanie również w niższych temperaturach, należy użyć płynu o odpowiednio niskiej temperaturze krzepnięcia. Najczęściej stosowanymi rozwiązaniami są roztwory (40–60%) wodne glikolu dostępne w gotowej postaci przeznaczonej do danych instalacji.



Rys. 6.4. Przekrój przez kolektor słoneczny

(1) (2) płyta absorbera – zintegrowana z modułem fotowoltaicznym w wersji hybrydowej, (3) izolacja termiczna, (4) przesłona przezroczysta, (5) obudowa, (6) rury absorbera, (7) wyjście – połączenie z instalacją, (8) obudowa dolna kolektora, (9) folia aluminiowa pomiędzy absorberem a izolacją termiczną.

Źródło: Energia odnawialna, <http://www.grec-energy.com>, 1.12.2011.

Projekt i model urządzenia można zobrazować jak na rys. 6.4. Choć nie jest to autor-
ski rysunek wystarczy wyobrazić sobie, że pomiędzy szybą a płytą absorbera umieszczony
jest moduł fotowoltaiczny. Grubość ogniów słonecznych to zaledwie 0,5 mm, więc jest
to wartość zanedbywanie mała w stosunku do grubości izolacji (ok. 9 cm).

W celu weryfikacji założeń projektowych zbudowany został prototyp urządzenia hy-
brydowego, do budowy którego wykorzystany został fabryczny moduł fotowoltaiczny
wykonany z polikrzemu o mocy nominalnej 50 W_p oraz wersja demonstracyjna kolektora
słonecznego z miedzianą warstwą płyty i rur absorbera. Na przełomie listopada i grud-
nia 2011 r. system był w fazie testów laboratoryjnych, których wyniki były satysfakcyj-
nujące. Pomiary w warunkach rzeczywistych planowane były na maj 2012 r.

6.2. Półprzezroczysty dach fotowoltaiczny

Jak już wcześniej wspomniano, proponowany projekt „Domu 2020” wyposażony jest
w dodatkowe zasilanie w energię elektryczną z baterii samodzielnych ogniów fotowolta-
icznych. Są to ogniwa polikrystaliczne ułożone w półprzezroczystą siatkę umieszczoną na
dachu werandy, częściowo ją zacieniającą.



Rys. 6.5. Przed Politechniką w Turynie (Włochy)

Źródło: fotografia własna.

Dodatkowe zasilanie domu z samodzielnej fotowoltaiki, bez integracji z kolektorami ciepła pojawiło się w projekcie z kilku powodów. Pierwszą i kluczową przesłanką przemawiającą za tym rozwiązaniem były wnioski z obliczeń, które wskazały na wystarczające zaspokojenie zapotrzebowania na energię cieplną potrzebną do podgrzewania wody użytkowej przez trzy zestawy hybrydowe o łącznej powierzchni ok. 7 m². Taka powierzchnia pozwala na uzyskanie baterii fotowoltaicznej z krzemu polikrystalicznego o mocy szczytowej ok. 1 kW_p, co jest wartością niewystarczającą w analizowanym przypadku. Inspiracją do zaprojektowania dachu werandy w formie półprzezroczystej był półdach altany przy Politechnice w Turynie (rys. 6.5), który osobom pod nim się znajdującym dawkuje energię słoneczną w idealnych proporcjach.

Na zaprojektowanym dachu werandy umieszczonych zostało blisko 500 szt. polikrystalicznych ogniw słonecznych o wymiarach 12 × 12 cm, powierzchni całkowitej niemal 7 m² i łącznej mocy szczytowej blisko 1,2 kW_p. Sumaryczna moc nominalna zainstalowanego systemu fotowoltaicznego (łącznie z hybrydami) wynosi w projekcie 2,2 kW_p. Wyniki symulacji uzysków energetycznych dla takich parametrów w warunkach klimatycznych Łodzi zostaną przedstawione w podrozdziale 6.3.

6.3. Pokrycie zapotrzebowania na energię elektryczną i ciepłą

Zapotrzebowanie na energię elektryczną zostało wyliczone na poziomie 2000–3000 kWh rocznie w zależności od indywidualnych potrzeb, jednak z dużym uwzględnieniem energooszczędności (oświetlenie LED, urządzenia gospodarstwa domowego klasy energetycznej A+, racjonalne gospodarowanie energią i świadomość użytkowników). Zapotrzebowanie na energię cieplną niezbędną do przygotowania ciepłej wody użytkowej oszacowane zostało na poziomie 15,5 kWh pozwalających na podgrzanie 300 l/dobę, co daje zapotrzebowanie miesięczne ok. 470 kWh i roczne rzędu 5700 kWh. Nasłonecznienie oraz idealne kąty nachylenia instalacji dla Łodzi (współrzędne geograficzne: 51°44'59" N, 19°27'59" E) przedstawiono w tab. 6.1.

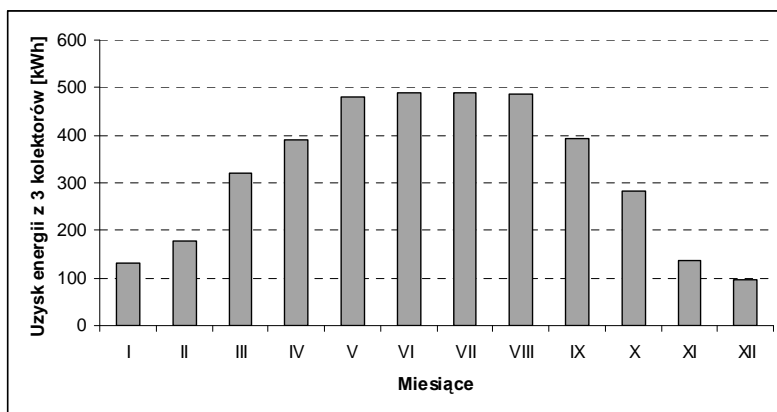
Na rys. 6.6 i 6.7 przedstawiono roczne uzyski energii w podziale na miesiące w odniesieniu do całej instalacji solarnej, wyliczone za pomocą symulacji komputerowych na podstawie nasłonecznienia i parametrów urządzeń. Na rys. 6.6 pokazano symulację uzysku energii cieplnej z systemów hybrydowych. Sumaryczny uzysk wynosi tu 3873 kWh, co stanowi ok. 68% pokrycia zapotrzebowania na ciepło do podgrzewania wody użytkowej. Odnosząc się do wyprodukowanej przez panele fotowoltaiczne energii elektrycznej, jej su-

Optymalny kąt nachylenia modułów fotowoltaicznych i kolektorów słonecznych oraz średnie nasłonecznienie dzienne dla Łodzi w zależności od miesiąca w roku

Miesiąc	Optymalny kąt nachylenia modułów PV i kolektorów słonecznych (°)	Nasłonecznienie dla Łodzi dla paneli pod kątem 36°	
		(kWh/m ² /dzień)	(kWh/m ² /miesiąc)
Styczeń	66	1,11	34,26
Luty	60	2,03	56,78
Marzec	48	3,09	95,85
Kwiecień	33	4,13	123,87
Maj	22	5,20	161,29
Czerwiec	14	4,84	145,50
Lipiec	18	5,15	159,62
Sierpień	30	4,81	148,99
Wrzesień	43	3,46	103,77
Październik	57	2,67	82,34
Listopad	64	1,30	39,09
Grudzień	67	0,80	24,80
Cały rok, średnia	36	3,22	98

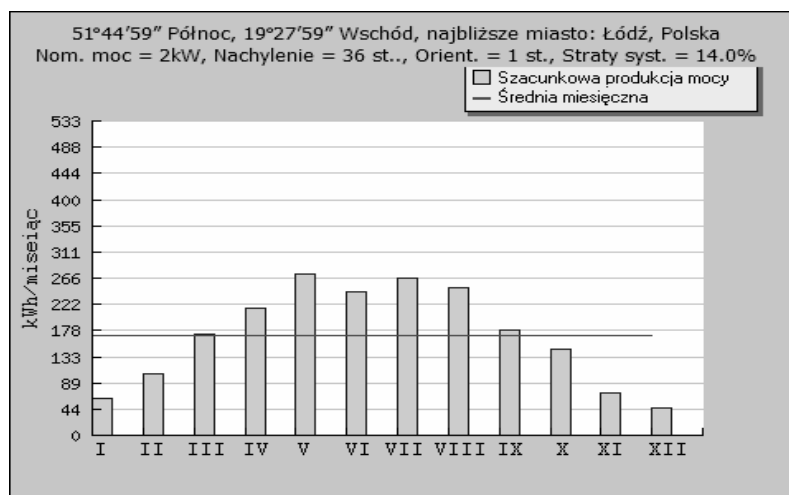
Źródło: dane z bazy meteorologicznej PVGIS.

suma roczna wyniosła 2030 kWh, co w najgorszym przypadku pokrywa 70% zapotrzebowania. Trzeba jednak pamiętać, że w obydwu przypadkach rozkład pozyskiwanej, darmowej energii jest nierównomierny i największa jej ilość przypada w okresie od marca do września. Projekt zakłada, że do roku 2020 uproszczone zostaną procedury prawne sprzedaży energii elektrycznej do sieci przez odbiorców/sprzedawców indywidualnych, co rozwiązałoby problem jej nadmiaru w pewnych okresach. Ewentualny nadmiar energii cieplnej można latem wykorzystać np. do podgrzewania wody w basenie.



Rys. 6.6. Uzysk energii z trzech kolektorów słonecznych wchodzących w skład systemu hybrydowego

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z firmy Ergom Sp. z o.o., dotyczących kolektorów marki Aparel, <http://www.ergom.com>, 1.12.2011.



Rys. 6.7. Energia elektryczna wyprodukowana w ciągu roku przez cały system fotowoltaiczny zainstalowany w „Domu 2020”

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z bazy meteorologicznej PVGIS.

LITERATURA

- [1] Z. J a r z ę b s k i, *Energia słoneczna – konwersja fotowoltaiczna*, PWN, Warszawa 1990.
- [2] *Kolektory słoneczne, instalacje solarne*, Zakład Aparatury Elektrycznej ERGOM, Łódź 2010.
- [3] *International Standard: IEC 60904-1 Photovoltaic devices – Part 1: Measurement of PV current-voltage characteristics*, IEC Central Office, Geneva 2006.
- [4] S. R. W e n h a m, M. A. G r e e n, M. E. W a t t, R. C o r k i s h, *Applied Photovoltaics*, Earthscan, London–Washington, D.C. 2007.
- [5] K. Z n a j d e k, M. S i b i ń s k i, Z. L i s i k, S. W a l c z a k, *Badanie wpływu temperatury na parametry elektryczne krzemowych ogniw fotowoltaicznych*, „Elektronika – Konstrukcje, Technologie, Zastosowania” 2010, nr 5.
- [6] Energia odnawialna, <http://www.grec-energy.com>, 1.12.2011.

7. Turbina wiatrowa

Niniejszy rozdział opisuje metodę integracji małej turbiny wiatrowej z projektowanym domem. Przedstawione są prognozowane parametry turbiny oraz generowanej mocy. Wyjaśnione są obawy przed nadmiernym hałasem oraz wpływem na sieć energetyczną. Przedstawione są przewidywane zyski oraz szacowany koszt inwestycji.

Turbina wiatrowa jest podstawowym i najbardziej charakterystycznym elementem układanki „Odnawialne źródła energii”, więc trudno wyobrazić sobie, aby nasz ekologiczny i nowoczesny dom mógł się bez niego obejść. Zatem do projektu domu zostanie dodany wiatrak służący do generowania prądu mogącego częściowo lub całkowicie zaspokoić zapotrzebowanie na energię. Tego typu instalacje przyczyniają się do rozwoju energetyki rozproszonej, pozwalającej mieszkańcom na większą niezależność od dostaw prądu i naturalnie zmniejszając emisję CO₂, NO_x, SO_x oraz wszelkich innych zanieczyszczeń powstających przy tradycyjnej produkcji elektryczności.

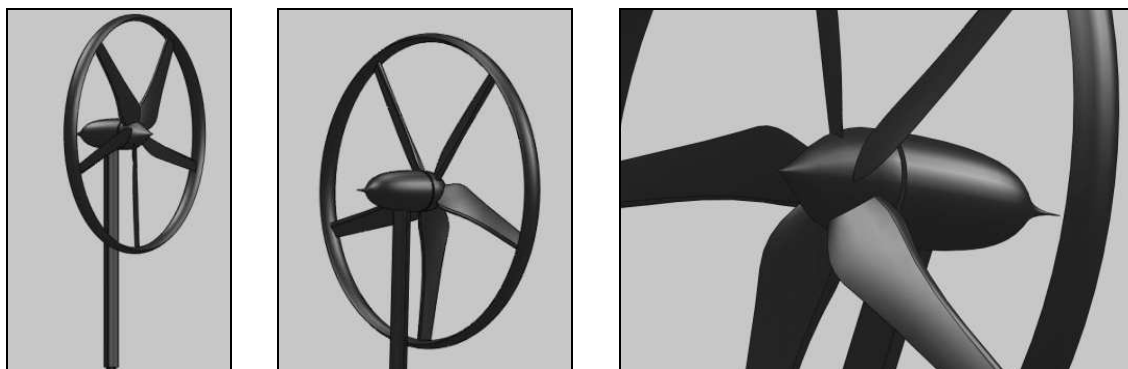
Należy podkreślić, że ze względu na zmienną prędkość wiatru i brak efektywnych metod akumulowania energii, turbiny nie mogą stanowić autonomicznego źródła zasilania, na którym mógłby opierać się współczesny dom. Z tego powodu są one jedynie uzupełnieniem, pozwalającym na zmniejszenie rachunków za energię. Nie wyklucza to jednak faktu, że przy sprzyjających warunkach mogą przyczynić się nawet do realnych korzyści finansowych¹.

7.1. Konstrukcja, parametry techniczne

W projekcie wykorzystywane będą wiatraki małej mocy (ok. 1 kW). Choć wartość ta nie robi spektakularnego wrażenia, to w większości czasu jest to moc całkowicie wystarczająca do zasilenia urządzeń domowych. Atutem użycia małych turbin jest przede

¹ Gdyby właściciel domu zdecydował się na uzyskanie zgody na bezpośrednie podłączenie do sieci energetycznej, każda kilowatogodzina wyprodukowana przez wiatrak, a niewykorzystana w domu, mogłaby zostać sprzedana za bardzo korzystną cenę, która może być dodatkowo powiększona z racji „zielonego certyfikatu”.

wszystkim ich cena, prostota i niezawodność. Wymagają one znacznie mniejszej troski niż duże turbiny, a stawianie kilku sztuk zwyczajnie zwiela całkowitą moc. O ile duże maszyny na pewno cechuje większa sprawność i wyższy poziom technologiczny, to na pewno ustępują małym wiatrakom ceną i prostotą konstrukcji. Ostateczny kształt i parametry łopatek nie są jeszcze zdefiniowane. Obecnie wiatraki są w fazie projektu, ale ich poglądowe wizualizacje można obejrzeć na rys. 7.1.

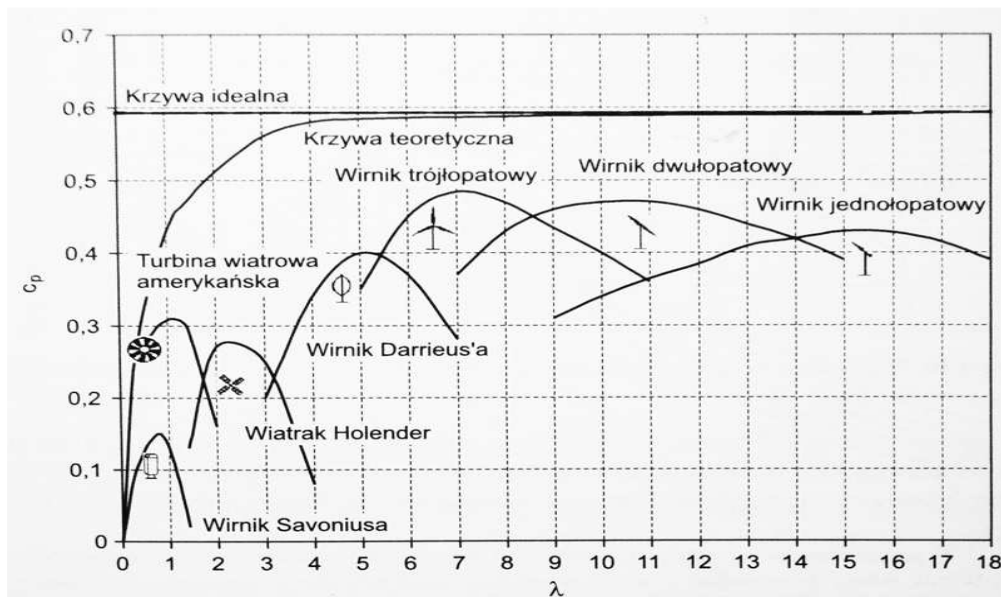


Rys. 7.1. Projekt wiatraka planowanego do zastosowania w elektrowni

Źródło: opracowanie własne.

Powszechnie stosowaną praktyką jest projektowanie turbin wiatrowych o 3 łopatach. Mają one najwyższą możliwą do osiągnięcia sprawność w porównaniu z innymi konstrukcjami, teoretycznie mogąca sięgać ok. 48% (sprawność konwersji energii wiatru na energię mechaniczną turbiny). Na rys. 7.2 przedstawiono zależność między sprawnością a współczynnikiem szybkobieżności dla różnych turbin.

Zatem zastosowana w projekcie konstrukcja 5-łopatowa będzie miała nieznacznie mniejszą maksymalną sprawność teoretyczną w porównaniu z turbiną 3-łopatkową. Ważniejszym kryterium będzie tu jednak minimalna prędkość wiatru, przy której następuje start turbiny. Dla zwiększonej ilości łopatek moment siły wywołany przez ruchome powietrze jest większy dla małych prędkości. Sprawia to, że projektowana turbina będzie działać nawet dla słabych podmuchów wiatru. Dodatkowo 5 łopatek zapewnia większą sztywność konstrukcji.



Rys. 7.2. Sprawność różnych typów wiatraków

Źródło: Z. Lubośny, *Farmy wiatrowe w systemie elektroenergetycznym*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2009.

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 w ten sposób również na zwiększenie wydajności, bo właśnie turbulencje powodują spore straty przy konwersji energii².

² Turbina jest tematem pracy doktorskiej autora niniejszego rozdziału – Piotra Popławskiego, który pracuje nad jej konstrukcją w Instytucie Maszyn Przepływowych Politechniki Łódzkiej. Głównym założeniem tej pracy jest stworzenie turbiny pracującej w optymalny sposób w bardzo szerokim zakresie prędkości wiatru.

Unikalną 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 odbywało się 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 konstrukcji, a co za tym idzie również zmniejszenie ceny końcowej produktu.

Projektowana średnica talerza będzie wynosić 2 metry. Dzięki temu przy prędkości wiatru 11 m/s turbina osiąga moc teoretyczną wynoszącą 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 kwadratową. W razie większego zapotrzebowania mieszkańców na prąd, można bez większych komplikacji dołożyć jedną lub dwie turbiny, bez konieczności przebudowy instalacji elektrycznej.

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 odciągi linowe i elementy mocujące. Ze względu na brak fundamentów, nie będą wymagane pozwolenia na budowę.

Generator turbiny będzie przekształconym uniwersalnym silnikiem elektrycznym. Ze względu na wysokie ceny specjalistycznych generatorów do elektrowni wiatrowych oraz brak dostępności odpowiednich silników/generatorów wolnobieżnych, zastosowana będzie przekładnia napędzająca popularny silnik uniwersalny o mocy ok. 1000 W. Silnik ten zostanie pozbawiony szczotek (byłyby one elementem szybko zużywającym się w trakcie eksploatacji) i komutatora, a dodatkowo wyposażony w odpowiednio połączone diody prostownicze. W konstrukcji brak będzie magnesów stałych, a funkcję wzbudzającą będzie pełnić uzwojenie wirnika zasilane prądem stałym z obwodu. Prąd będzie wzbudzany samoczynnie po ułamku sekundy pracy generatora, mimo braku zewnętrznego źródła zasilania. Zarówno napięcie, jak i natężenie prądu będą zależeć od oporu odbiornika (lub ustawienia falownika/przekształtnika) oraz naturalnie od prędkości wiatru. Obecnie nie jest planowana regulacja kąta natarcia łopatek, przez co konstrukcja będzie trwalsza, tańsza i mniej awaryjna. Rozważa się zastosowanie przekładni bezstopniowej stożkowej z pierścieniem regulacyjnym zamiast tradycyjnej przekładni zębatej.

Opcjonalnym wyposażeniem wiatraków będzie kratka ochronna, która nie tylko zapewni bezpieczeństwo dla ptaków, ale też wykluczy konieczność przeprowadzenia badań nad przelotami nietoperzy w rejonie inwestycji. Będzie ona łatwa do zdemontowania, przez co użytkownik sam będzie mógł zdecydować o tym, czy zastosuje ją w swojej turbinie.

7.2. Zmienność mocy

Prędkość wiatru jest bardzo zmienna w ciągu doby i w ciągu roku. Jej najczęstszy dobowy rozkład osiąga maksimum w środku dnia i maleje do zera w nocy. Średnia dobowo zmienia się w ciągu roku, a najczęściej średnia roczna różni się w poszczególnych latach. Czasami różnice między sąsiednimi latami dochodzą nawet do 30%. Z tego względu przed dokonaniem większych inwestycji w farmy wiatrowe, najczęściej sprawdza się długoterminowe pomiary wiatru w okolicach inwestycji, aby potwierdzić jej opłacalność i wyliczyć okres zwrotu na danym terenie. W przypadku naszego domu, turbiny zostaną zainstalowane bez względu na prognozy ekonomiczne z wielu powodów. Przede wszystkim w przypadku niewystarczającej mocy wiatraków i ich zbyt niskich osiągnięć producent gwarantuje zwrot pieniędzy po okresie próbnym wynoszącym 8 miesięcy. Oprócz tego, chcąc zwiększyć moc z wiatru, można zawsze dostawić kilka jednostek bez większych kosztów inwestycyjnych. Nie warto przeprowadzać długotrwałych badań poprzedzających, skoro można przetestować gotowe wiatraki w rzeczywistych warunkach bez żadnego ryzyka i z gwarancją zwrotu pieniędzy.

7.3. Podłączenie elektryczne

Najważniejszą funkcję w obwodzie będzie pełnił falownik/przekształtnik w połączeniu z automatyką pozwalającą na „współpracę z siecią”³. Jego głównym zadaniem będzie przekształcanie prądu stałego z generatora na prąd przemienny 1-fazowy o napięciu 230 V i fazie dostosowanej do sieci. Natężenie prądu płynącego z generatora będzie w większości wypadków (najczęściej prąd generowany z wiatraka nie wystarcza do zasi-

³ Tak naprawdę nie można mówić tu o współpracy, gdyż podłączenie z siecią krajową (podłączenie do gniazdka elektrycznego 230 V) będzie stosowane tylko w celu dopełnienia wartości prądu płynącej od wiatraka. Nie ma bezpośredniego połączenia tych dwóch obwodów.

lenia wszystkich urządzeń) musiało być uzupełniane przez natężenie z sieci. Najważniejsze jest to, że nie ma bezpośredniego wpływu turbiny na prąd z sieci, generator „nie zanieczyszcza” prądu z elektrowni. Podłączenie do gniazdka jedynie uzupełnia prąd, który w przypadku słabych wiatrów może okazać się niewystarczający do zasilenia wszystkich urządzeń. W przypadku takiego podłączenia można mówić o trzech trybach pracy:

– brak wiatru – cały prąd pobierany jest z sieci, nie ma ingerencji wiatraka, falownik nie pracuje; odłączony jest układ elektroniczny w celu oszczędzania energii;

– umiarkowany wiatr – zasilanie częściowe z wiatru, falownik pracuje; braki wynikające z dużej mocy podłączonych urządzeń są uzupełniane prądem z sieci;

– silny wiatr – cały prąd pochodzi z wiatraka, podłączenie do sieci zewnętrznej ma tylko na celu synchronizację z fazą, aby w razie skoku napięcia umożliwić natychmiastowe wsparcie z sieci zewnętrznej; nadmiar energii pochodzący z wiatraka jest marnowany lub kierowany do podgrzewania wody.

Falownik będzie również przystosowany do podłączenia bezpośredniego do sieci. W ten sposób użytkownik po uzyskaniu pozwolenia od zakładu energetycznego może zacząć zarabiać na produkowanej energii. Nowoczesny przekształtnik będzie zapewniał pełną synchronizację z siecią i nie wpłynie w negatywny sposób na jakość prądu u innych odbiorców.

LITERATURA

- [1] Z. Lubośny, *Farmy wiatrowe w systemie elektroenergetycznym*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2009.

8. Umożliwienie racjonalnego gospodarowania wodą

W zaprojektowanym budynku racjonalne gospodarowanie wodą odbywa się poprzez rekuperację wody deszczowej oraz oczyszczanie ścieków. Woda deszczowa doprowadzona jest do zbiornika podziemnego jedynie z powierzchni zadaszonych, natomiast woda z powierzchni utwardzonych wykorzystywana jest do podlewania tzw. ogrodów deszczowych. Woda deszczowa w filtrze samoczyszczącym i wyłapywaczu zostaje oddzielona od zanieczyszczeń i trafia do podziemnego zbiornika. Zaprojektowany zbiornik na wodę deszczową o pojemności 7000 l został umieszczony pod garażem. Przewidziano wykorzystanie zebranej w ten sposób wody do podlewania ogrodu i mycia samochodów oraz do celów socjalno-bytowych, jak np. spłukiwanie toalety. W przypadku braku opadów, kiedy wody w zbiorniku ubywa do określonego poziomu, system dopuszcza do zbiornika wodę z wodociągu. Zapobiega to uszkodzeniu pompy i zapewnia stały dopływ wody do urządzeń sanitarnych. W okresie nadmiaru wody jest ona rozprowadzana po złożu drenażowym.

W ramach gospodarki ściekowej zastosowano biologiczne oczyszczanie ścieków, które nie wymaga osadnika wstępnego oraz nie jest wrażliwe na nieregularny dopływ ścieków. Oczyszczalnia typu NV pracuje w połączonej technologii zanurzonego złoża biologicznego i nisko obciążonego osadu czynnego, co zwiększa efektywność oczyszczonego ścieku. Dostarczane do oczyszczalni ścieki zostają wymieszane i napowietrzane w komorze osadu czynnego, gdzie mikroorganizmy w kontakcie z dostarczanym tlenem rozdzielają zanieczyszczenia, błyskawicznie namnażając się. Następuje przyrost żywej masy mikroorganizmów, które żywiąc się ściekami powodują eliminację związków węgla oraz związków biogenych. Następnie oczyszczone ścieki są zawracane do zbiornika na wodę deszczową i dalej rozprowadzone w wyżej wymienionej sieci, w domu.

Przyrost masy osadu czynnego i zawiesiny powoduje powstanie osadu nadmiernego, który gromadzony jest w komorze osadnika wtórnego i musi być w regularnych odstępach czasu wypompowywany (ok. 1–2 razy w roku).

9. Informatyczny system zarządzania budynkiem

9.1. Rola informatyki w budownictwie energooszczędnym

Termin „budynków inteligentnych” (ang. *smart building*) znany jest już od ponad 20 lat i wciąż podlega ewolucji. W latach osiemdziesiątych rozumiano pod tym terminem budynki pasywne. Dziesięć lat później był to budynek wyposażony dodatkowo w jednostkę centralną zarządzającą jego infrastrukturą. Dziś, „inteligentnym” budynkiem nazywa się budowle spełniające wszystkie wcześniejsze wymogi, rozbudowane dodatkowo o połączenie sieciowe urządzeń domowych, zaawansowane zarządzanie zużywaną energią oraz posiadający zaimplementowane odnawialne źródła energii [7].

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

Jako podstawowe elementy budynku „inteligentnego” wymienić należy [7]:

- sensory monitorujące wybrane parametry i przesyłające dane do urządzeń uruchamiających,
- urządzenia uruchamiające inicjujące czynności, takie 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 metres*) odpowiedzialne za dwukierunkową komunikację w czasie rzeczywistym pomiędzy budynkiem a operatorem.

Energooszczędność budynku uzyskiwana jest dzięki odpowiedniemu doborowi materiałów budowlanych oraz rozwiązaniom architektonicznym. Jednakże bez informatycznego systemu zarządzania integracja z siecią i innymi budynkami nie jest w pełni możliwa. Ponadto instalowanie w budynkach energooszczędnych odnawialnych źródeł ener-

gii (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 lub zarządzać magazynowaniem tej energii, jeżeli w budynku zainstalowane będzie urządzenie magazynujące.

Istotna rola, jaką pełnią informatyczne systemy zarządzania w rozwoju budownictwa energooszczędnego (tzw. „zielonych budynków”) podkreślana jest w wielu publikowanych dokumentach 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 *Information and Communications Technologies to facilitate the transition to an energy-efficient, low-carbon economy. Commission Recommendation* czy raport Komisji Europejskiej: *Impacts of Information and Communication Technologies of Energy Efficiency* z roku 2008.

W przeprowadzonych badaniach dotyczących postrzegania sieci inteligentnych przez odbiorców [8] uzyskano wnioski, 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, urządzeń umożliwiających dwustronną komunikację na linii odbiorca–operator oraz łatwych w obsłudze paneli sterowania domową siecią urządzeń zwiększy zainteresowanie technologią sieci inteligentnych wśród odbiorców końcowych oraz chęć do modyfikowania własnych wzorców zużycia energii.

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, jak również 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, zapewniają-

cych procesy optymalizacji zużywanej energii, komunikujących się z zainstalowanymi „inteligentnymi” odbiorami, monitorujących otoczenie oraz zdolnych do nauki,

– wielomodułowych interaktywnych interfejsów ułatwiających użytkownikowi łatwe, wygodne i intuicyjne zarządzanie budynkiem.

Nowe, wprowadzane rozwiązania bazujące na technologiach ICT powinny spełniać wiele kryteriów. Po pierwsze, dla każdego rozwiązania należy przeprowadzić analizy wykazujące rzeczywiste oszczędności płynące z wprowadzenia nowego rozwiązania w odniesieniu do rozwiązań 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. Kluczową właściwością jest ponadto nastawienie na użytkownika poprzez wypracowywanie algorytmów i interfejsów możliwie jak najbardziej ułatwiających obsługę. Jako ostatnie kryterium wymienić należy opłacalność ekonomiczną implementacji opracowanego rozwiązania.

9.2. Zakres projektowanego systemu

Projektowany na potrzeby „Domu 2020” informatyczny system zarządzania (SIZ) prezentowanym budynkiem stanowi swoisty łącznik, umożliwiając kompleksowe zarządzanie instalacjami oraz odbiorami z poziomu jednego, intuicyjnego panelu dotykowego zainstalowanego w budynku.

W projektowaniu systemów informatycznych wyróżnia się dwa typy wymagań. Pierwszy, wymagania funkcjonalne, to zbiór funkcji, jakie powinien spełniać powstały system. Funkcjonalności te, w większości określane są na podstawie analizy potrzeb użytkownika końcowego, jednakże pewna ich część wynika z zasad użytkowania systemu oraz bezpieczeństwa przechowywanych w nim danych. Drugi typ wymagań stanowią wymagania нефunkcjonalne, inaczej zwane sprzętowymi. Definiują one parametry sprzętu, na którym będzie zainstalowany system.

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

– zarządzanie wybranymi funkcjami instalacji w budynku, tj.: rekuperatora, zbiornika na deszczówkę, zbiornika CWU, oraz sterowanie hybrydowym systemem solarnym, roletami lub kominkiem;

- zarządzanie odbiorami, klasyfikującymi się jako odpowiednie do zdalnego zarządzania bez poczucia dyskomfortu u mieszkańców;
- optymalizacja poziomu zużycia energii elektrycznej. Proces optymalizacji zużycia energii elektrycznej rozpoczyna się od zbierania danych dotyczących krzywej zapotrzebowania na energię mieszkańców budynku. Na podstawie zebranych danych, 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, w których wymagany jest dodatkowy pobór energii elektrycznej z sieci. Sterowanie częścią odbiorów pozwoli na „złagodzenie” krzywej obciążeń tak, aby zminimalizować pobór energii z sieci, natomiast w trakcie 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, tj. temperatury i wilgotności powietrza, poziomu tlenku węgla, 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) umożliwiające zarządzanie budynkiem z dowolnego miejsca;
 - „tryb wakacyjny” obejmujący sterowanie wybranymi instalacjami oraz oświetleniem podczas wyjazdu mieszkańców. Dodatkowo możliwość łączenia się z SIZ za pomocą Internetu gwarantuje monitoring (czujniki i kamery) budynku podczas nieobecności mieszkańców.

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.

Wymagania funkcjonalne, oprócz szczegółowego opisu, zdefiniowane zostały za pomocą diagramów przypadków użycia oraz diagramów czynności wykonanych w notacji UML. Diagramy przypadków użycia [13] stosowane są do definiowania funkcjonalności analizowanego i projektowanego systemu, jak również sposobów interakcji użytkownik – system. Innymi słowy, jest to graficzna prezentacja obejmująca przypadki użycia aktorów oraz relacje występujące pomiędzy nimi. Pod pojęciem aktora należy rozumieć ze-

staw ról odgrywanych przez użytkowników końcowych projektowanego systemu w czasie wykonywania danego przypadku użycia. Jednakże aktorem może być nie tylko człowiek–użytkownik systemu, lecz również odbiór czy czas, np. określony dzień miesiąca. Diagram czynności [13] koncentruje się natomiast 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 przedstawiają 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.

Wymagania нефunkcjonalne 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:

Najważniejsze elementy systemu to:

- dotykowy tablet (opcjonalnie),
- serwer,
- 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 interfejsów 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, urządzeń mobilnych) różnych producentów,
- łatwość aktualizacji systemu lub jego interfejsów.

9.3. Zarządzanie odbiorami

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 umożliwi 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” system ma 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), uruchomienia o określonej godzinie dokona system.

Wśród najważniejszych funkcji realizowanych przez SIZ w zakresie zarządzania odbiorami wymienić należy:

- sterowanie ich uruchamianiem,
- budowa i wykonywanie harmonogramu,
- dodawanie i usuwanie z bazy danych informacji o odbiorach,
- informowanie o sytuacjach alarmowych.

9.4. Zarządzanie instalacjami

Projektowany budynek wyposażony zostanie w wiele instalacji, 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.

W zależności od charakterystyki poszczególnych instalacji współpraca pomiędzy konkretnym elementem budynku a systemem informatycznym może być w pełni zautomatyzowana bądź też sprowadzać 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 posiadające zdolność bezprzewodowej komunikacji z systemem informatycznym. Czujniki te wysyłają w odstępie określonej jednostki czasu sygnał kontrolny do systemu. W przypadku wystąpienia błędu w przesyłanym sygnale zostanie zawarty kod sytuacji nietypowej. W poniższych podrozdziałach 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.

9.5. Obsługa pojazdu elektrycznego w domu

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 naładowania baterii,
- wydajności baterii,
- wydajności ładowarki,
- średniej liczby przejeżdżanych w ciągu dnia kilometrów [12].

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 [1]:

- 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 [2]. Pojazdy elektryczne są zaparkowane średnio przez 92% czasu w ciągu dnia. Ta dostępność czyni je pożądanymi urządzeniami magazynującymi. Idea V2G polega na wykorzystaniu akumulatorów pojazdów elektrycznych jako urządzeń magazynujących energię elektryczną i wykorzystanie jej w okresach niedoboru. Koncepcja V2G

wymaga implementacji systemu agregującego wiele 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. Bowiernie zakłada się agregacji wielu 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, do SIZ przesyłane są informacje dotyczące: aktualnego poziomu naładowania oraz wskazanej przez użytkownika godziny, 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 rozpocząć się natychmiast.

Korzystanie z zasobów akumulatora w przypadku niedoboru energii elektrycznej również rozpoczyna się od podłączenia pojazdu do urządzenia ładującego. System oszacowuje zdolność akumulatora pojazdu do zasilania 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.

9.6. 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, o którym wspomiano w podrozdziale dotyczącym zarządzania odbiorami, iż część odbiorów może być zdalnie sterowana w określonym zakresie bez wywołania poczucia dyskomfortu u mieszkańców. Z tego powodu proces optymalizacji rozpoczyna się już pośrednio na etapie budowy harmonogramu, kiedy system próbuje tak ustalić plan uruchomień, aby został on 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. pralki, zmywarki, suszarki do ubrań. Na podstawie danych pochodzących z licznika, każdego dnia rysowane są krzywe dobowego zużycia energii, a raz w miesiącu – 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. kominiek 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.

W celu dbania o poczucie komfortu u użytkownika, które mogłoby zostać naruszone w przypadku podejmowania autonomicznych decyzji przez SIZ dotyczących sterowania zużyciem energii, proces optymalizacji przyjmuje charakter raportu oraz wskazań, do których użytkownik może się zastosować bądź też nie.

Dane dotyczące zużycia 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 on 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.

9.7. Podsumowanie

Projektowany SIZ 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.

Przedstawione rozwiązanie jest przeznaczone dla budynku powstającego w projekcie „Dom 2020”, niemniej jednak – po dokonaniu pewnych modyfikacji – można będzie zastosować je również w innych budynkach energooszczędnych.

LITERATURA

- [1] D. Aggeler, F. Canales, H. Zelaya, A. Coccia, N. Butcher, O. Apeldoorn, *Ultra-Fast DC-Charge Infrastructures for EV-Mobility and Future Smart Grids SG*, IEEE PES Conference on „Innovative Smart Grid Technologies Europe”, 11–13, October 2010, Lindholmen Science Park, Gothenburg, Sweden, Article No. 2006809.
- [2] *ICT for Breakthrough Industry Transformation*, [w:] *ICT for a Low Carbon Economy Smart Electricity Distribution Networks*, European Commission Information Society and Media, Brussels, July 2009, s. 36–39.
- [3] M. R. Jabłońska, *Rola informatyki w budownictwie energooszczędnym*, publikacja powstała w ramach projektu „Bioenergia dla regionu – zintegrowany program rozwoju doktorantów”, Łódź 2011, <http://www.bioenergiadlaregionu.eu>, 1.12.2011.
- [4] M. R. Jabłońska, J. S. Zieliński, *Electric vehicles' influence on smart grids*, Konferencja „Aktualne problemy w elektroenergetyce”, Jurata 08–10.06.2011, t. 2, materiały konferencyjne.
- [5] M. R. Jabłońska, *Aktualne trendy w badaniach nad reakcją strony popytowej oraz możliwości ich implementacji w warunkach krajowych*, „Rynek Energii” 2011, 3 (94), (Wydawnictwo KAPRINT, Lublin), s. 81–86.
- [6] M. R. Jabłońska, Ł. Adrian, M. Janicki, A. Klimek, J. Pawlak, E. Tkacz, K. Znajdek, *Dom 2020 – projekt niezależnego energetycznie, inteligentnego domu energooszczędnego*, Dolnośląski Dom Energooszczędny, Wrocław 2011.
- [7] L. Lugaric, S. Krajcar, Z. Simic, *Smart City – Platform for Emergent Phenomena Power System Testbed Simulator*, IEEE PES Conference on „Innovative Smart Grid Technologies Europe”, 11–13, October 2010, Lindholmen Science Park, Gothenburg, Sweden, Article No. 2048017.
- [8] T. J. Lui, W. Stirling, H. O. Marcy, *Get smart*, „IEEE Power & Energy Magazine”, May/June 2010, s. 66–78.

- [9] *ICT for a Low Carbon Economy. Smart Buildings*, European Commission, Brussels, Juli 2009, Report.
- [10] *Information and Communications Technologies to facilitate the transition to an energy-efficient, low-carbon economy. Commission Recommendation*, Commission of the European Communities, Brussels, 9.10.2009.
- [11] *Impacts of Information and Communication Technologies of Energy Efficiency*, European Commission, September 2008, Final report – Executive Summary.
- [12] H. Turker, S. Bacha, D. Chatroux, *Impact of Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVS) on the French Electric Grid*, IEEE PES Conference on „Innovative Smart Grid Technologies Europe”, 11–13, October 2010, Lindholmen Science Park, Gothenburg, Sweden, Article No. SG 2048068.
- [13] St. Wrycza, B. Marcinkowski, K. Wyrzykowski, *Język UML 2.0 w modelowaniu systemów informatycznych*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2005.

10. Zakończenie

W niniejszym opracowaniu przedstawiono projekt powstania domu zeroenergetycznego oraz omówiono innowacyjne rozwiązania budownictwa pasywnego. Podkreślone zostały zalety energetyki rozproszonej. W kolejnych rozdziałach przedstawiono: układ kogeneracyjny ORC, solar hybrydowy, turbinę wiatrową oraz system centralnego ogrzewania i wentylacji, jak również koncepcję informacyjnego systemu zarządzania budynkiem. W niedalekiej przyszłości wszystkie opisane rozwiązania będą mogły współpracować z sieciami inteligentnymi.

Autorzy położyli nacisk na fakt, iż projekt obejmuje czysto ekologiczne rozwiązania produkcji oraz gospodarowania energią. „Dom 2020” nie jest jedynie budynkiem „wyznaczającym” standardy budownictwa po 2020 r., ale stanowi istotny element na drodze do osiągnięcia celów energetycznych określonych dla Polski do 2020 r. przez Komisję Europejską w pakiecie 3 × 20: 20% mniej emisji szkodliwych substancji do atmosfery, zmniejszenie zużycia energii o 20% oraz 15-procentowy udział odnawialnych źródeł energii w jej całkowitym zużyciu, który ma wzrosnąć do 2030 r., do 20%.