

# **DOM 2020 – PROJEKT NIEZALEŻNEGO ENERGETYCZNIE, INTELIĞENTNEGO DOMU PASYWNEGO**

11-07-2011

Streszczenie. Inteligentny dom pasywny to koncepcja budynku odpowiadającego na wyzwania ekologiczne stawiane m.in. przez Pakiet 3x20. Niniejsze opracowanie ma na celu prezentację innowacyjnego rozwiązania łączącego wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, nowoczesnych rozwiązań architektonicznych, energooszczędnych materiałów oraz informacyjnego systemu zarządzania, realizowanego w ramach projektu „Dom 2020”.

## **Wprowadzenie**

Dom w systemie „zero energii”, czyli ze zintegrowanym systemem ogrzewania, klimatyzacji, wentylacji i podgrzewania wody użytkowej, łączy rozwiązania całkowicie nowatorskie z już znanymi. Budynek wykonuje się, jako bardzo szczelny „termos” – ściany, okna i dach są grubo izolowane, tak, że nie ma mostków termicznych. Wentylację zapewnia kombinacja nagrzewania i klimatyzacji, działających w systemie kanałów i zapewniających 24-krotną wymianę powietrza w ciągu doby w całym budynku. Centralne ogrzewanie zimą, podgrzewanie wody użytkowej oraz produkcja prądu elektrycznego zrealizowane są w oparciu o energię cieplną ze spalania biomasy oraz z hybrydowych ogniw fotowoltaicznych wykorzystujących energię promieniowania słonecznego. Ponadto dom zero energetyczny będzie wyposażony w informacyjny system zarządzania, zapewniający optymalizację profilu zużywanej energii, zarządzanie odnawialnymi źródłami energii oraz domowymi odbiorami jak również utrzymywanie stałej wilgotności, temperatury i składu powietrza oraz optymalnego zużycia energii elektrycznej i cieplnej. W efekcie powstanie nowoczesny, ekologiczny obiekt, którego koszty budowy będą przewyższały te ponoszone przy budowie budynku tradycyjnego, jednakże koszty eksploatacji będą plasowały się na wyraźnie niższym poziomie. Tak zaprojektowany i wykonany budynek określić można mianem „budynku inteligentnego”. Termin ten znany jest już od ponad dwudziestu lat i wciąż podlega ewaluacji. 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 budowlę spełniające wszystkie wcześniejsze wymagania, rozbudowane dodatkowo o połączenie sieciowe urządzeń domowych, zaawansowane zarządzanie zużywaną energią oraz posiadający zaimplementowane odnawialne źródła energii [1].

## **Urbanistyczne aspekty projektowania budynków pasywnych**

Dom jednorodzinny wolnostojący jest prawdopodobnie najpopularniejszą, ale nie najlepszą formą budownictwa pasywnego. Zrealizowanie tej samej powierzchni w formie zabudowy bliźniaczej lub szeregowej jest efektywniejsze energetycznie, gdyż odpowiednio ogranicza straty ciepła przez ściany zewnętrzne. Poza tym powiązane z problematyką domu pasywnego dążenie do niezależności energetycznej oraz korzystania z energii odnawialnej niejako wymuszają produkcję in situ energii elektrycznej 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 one więcej niż jedno gospodarstwo domowe.

Częstym powodem, dla którego zabudowa szeregowa w Polsce cieszy się małą popularnością są niewygodności związane z dużą ilością komunikacji pionowej. Bierze się ona z dążenia do

maksymalizacji współczynnika intensywności zabudowy, co skutkuje dużym zagęszczeniem zabudowy i przeznaczaniem małych powierzchni terenu dla poszczególnych segmentów. Dla zapewnienia w nich odpowiedniej powierzchni użytkowej projektuje się wówczas w nich więcej niż dwie kondygnacje. Aby zredukować udział schodów w ogólnej powierzchni takiego domu i zwiększyć udział pozostałych pomieszczeń popularnym swego czasu rozwiązaniem było lokowanie pomieszczeń co pół piętra. Celem takiego rozwiązania była „aktywizacja” spoczników, jednak wywoływało tak nielubianą przez użytkowników ciągłą potrzebę korzystania ze schodów przy poruszaniu się pomiędzy poszczególnymi pomieszczeniami. Na szczęście wszystkie te problemy zdają się omijać zabudowę szeregową w standardzie domu pasywnego. Ze względu na konieczność bardzo dobrego nasłonecznienia odległość takiego budynku od pozostałych musi być większa niż w przypadku standardowej zabudowy. Wpływa to również korzystnie na kwestie ekologiczne, gdyż zwiększa udział powierzchni biologicznie czynnej w powierzchni działki. Oczywiście zaplanowanie liczby kondygnacji większej niż dwie może prowadzić do zmniejszenia powierzchni przegród zewnętrznych, a dzięki temu także strat ciepła, jednak wyraźne pogorszenie funkcjonalności nie służy dobrze propagowaniu idei budownictwa ekologicznego. Rozsądnym kompromisem jest parter z poddaszem użytkowym, dzięki czemu dom zyskuje jasny podział na strefę dzienną ulokowaną na parterze i nocną na poddaszu.

Specyfika budownictwa pasywnego wymusza nietypowy układ urbanistyczny takiego szeregu. W związku z tym, że południowa strona budynku powinna być w całości zagospodarowana pomieszczeniami przeznaczonymi na pobyt ludzi z uwagi na maksymalizację pasywnych zysków słonecznych, strefa wejściowa domu musi znajdować się wówczas po stronie północnej. W efekcie ulica obsługująca szereg musi przebiegać w osi wschód-zachód, po jego północnej stronie. Ulokowanie drugiego ciągu domów pasywnych z wejściami od południa jest w znacznej mierze niefunkcjonalne.

Wybór działki pod budynek zaprojektowany w standardzie dom pasywny nie jest łatwy, gdyż musi ona spełniać wiele wymagań. Przede wszystkim powinna ona mieć jak najlepszą południową ekspozycję, to znaczy dawać możliwość usytuowania elewacji południowej pod kątem jak najbliższym  $90^\circ$  względem południa słonecznego, nie może być ona również zacieniona z zewnątrz, nie tylko w momencie powstawania, ale i w całym przewidywanym „cyklu życia” budynku [1]. Pożądane jest także ukształtowanie terenu, które minimalizuje wpływ wiatrów zachodnich, korzystna jest również bliskość zbiornika wodnego, gdyż może zostać wykorzystany jako dolne źródło dla pompy ciepła. Są to warunki trudne do spełnienia w przestrzeni śródmiejskiej, dlatego dom pasywny w świetle większości polskich realizacji może być kojarzony z lokalizacjami na terenach peryferyjnych. Dzieje się tak ze względu na dużą podaż terenów i większą możliwość znalezienia optymalnej działki, jednak niebagatelne znaczenie ma tu prawdopodobnie aspekt ekonomiczny. Budowa domu pasywnego jest obecnie droższa nawet o 37% od domu w technologii tradycyjnej [18], na skutek czego inwestorzy dla zrównoważenia budżetu starają się wybierać tańsze czyli położone z dala od centrum działki [8]. Wpisuje się to w szersze negatywne zjawisko, jakim jest suburbanizacja. Opiera się ona na tych samych mechanizmach, których krytyka doprowadziła do odejścia od paliw kopalnych na rzecz energii odnawialnej, to jest na nieuwzględnianiu ukrytych kosztów ekologicznych oraz przerzucaniu jawnych i ukrytych kosztów w bliżej nieokreśloną przyszłość, których przykładem jest oszczędzanie na cenie działki kosztem przyszłych dłuższych codziennych dojazdów samochodem do centrum. 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, co nie tylko wywołuje błędne koło indukcji ruchu samochodowego, ale również szkodzi lokalnym ekosystemom. Taki sam skutek rodzi zresztą także inny aspekt niekontrolowanego rozrostu aglomeracji, to jest wytyczanie działek budowlanych na terenach uprzednio nie zabudowanych, zwłaszcza zalesionych [4]. Zjawisko to jest o tyle groźne, iż większość pozwoleń na budowę

wydawanych jest na podstawie Decyzji o Warunkach Zabudowy, a te na ogół opierają się na precedensach, stąd jedna zabudowana działka budowlana w okolicy stanowi impuls do urbanizacji reszty. Jak pokazują badania, również miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego tworzone na zlecenie podmiejskich gmin nie starają się w żaden sposób ograniczać rozrostu obszarów zabudowanych, są również niedostosowane do prognoz rozwoju, stwarzając warunki do „urbanizacji wypowej” [17].

Podsumowując, aby dom pasywny autentycznie wpisywał się w strategię zrównoważonego rozwoju, konieczne jest lokowanie go w strefie już zurbanizowanej, w jak najbliższym sąsiedztwie obszarów centralnych. Wynika to z szerszego pojmowania idei energooszczędności niż tylko w ograniczeniu do samego domu. Zdawali sobie z tego sprawę już twórcy standardu, umieszczając warunek dobrej obsługi transportem publicznym w liście kontrolnej domu pasywnego [18].

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

Dom pasywny to koncepcja budynku opracowana przed ponad 20 laty przez niemieckiego fizyka budowli – profesora Wolfganga Feista. Według założeń budynek wybudowany w standardzie pasywnym jest na tyle energooszczędny, że wymagane do ogrzewania ilości ciepła mogą być dostarczone przede wszystkim z "pasywnych" źródeł, takich jak: promieniowanie słoneczne, sprzęt gospodarstwa domowego oraz użytkowników budynku.

Jedyny aktywny zainstalowany system stanowi rekuperator, pozwalający odzyskiwać ciepło z powietrza wentylacyjnego. W zależności od klimatu, rekuperator wyposaża się dodatkowo w system wstępnego podgrzewania powietrza napływającego. Nie trudno sobie wyobrazić, że w warunkach klimatycznych Polski, gdzie temperatura może utrzymywać się przez dłuższy okres czasu w okolicy  $-10^{\circ}\text{C}$ , system taki stanowi konieczność dla zapewnienia optymalnej temperatury powietrza nawiewanego do wnętrza budynku.

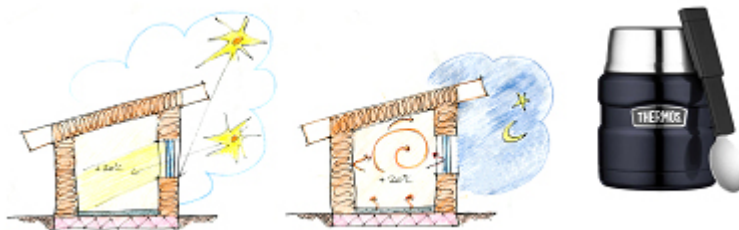
Niskie, czyli nie przekraczające w skali roku wartości  $15 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$ , zapotrzebowanie na energię końcową do ogrzewania osiąga się dla budynków poprzez:

- przemyślane i rozsądne projektowanie ,
- obniżenie współczynnika przenikania ciepła dla nieprzezroczystych zewnętrznych przegród poniżej wartości  $0.15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  – poprzez zwiększenie grubości izolacji termicznej do około 30cm, w zależności od technologii i użytego materiału termoizolacyjnego,
- zastosowanie stolarki okiennej i drzwiowej o możliwie najniższym współczynniku przenikania ciepła ( $U < 0.8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ); obecnie stosować można, dostępne także na rynku polskim, aerożelowe [14] panele ściennie, które przy grubości 7 cm charakteryzują się wartością współczynnika przenikania ciepła  $U = 0,28 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$  i doskonale sprawdzają się przy doświetlaniu pomieszczeń zorientowanych na północ,
- szczelne zaprojektowanie budynku – dla budynku pasywnego parametr  $n_{50}$  [2], określający liczbę wymian powietrza w kubaturze budynku w czasie 1 godziny przy różnicy ciśnień wewnątrz i na zewnątrz budynku równej 50 Pa, będzie mniejszy od 0.6/h
- zastosowanie rekuperatora o sprawności większej od  $n > 75\%$ .

„Budynek o niemal zerowym zużyciu energii” [3] oznacza budynek o bardzo wysokiej charakterystyce energetycznej określonej zgodnie z załącznikiem dyrektywy. Niemal zerowa lub bardzo niska ilość wymaganej energii powinna pochodzić w bardzo wysokim stopniu z energii ze źródeł odnawialnych, w tym energii ze źródeł odnawialnych wytwarzanej na miejscu lub w pobliżu.

Dzięki zastosowaniu rozwiązań opisanych w artykule, typowy budynek pasywny przekształcony zostanie w budynek niemal zero-energetyczny. Pod kątem inżynierskim, prawidłowe zaprojektowanie budynku pasywnego, a zatem i niemal zero-energetycznego, to spore wyzwanie. Jak zostało opisane powyżej, wysoką energooszczędność uzyskuje się poprzez minimalizację wymiany energii pomiędzy budynkiem, a otoczeniem na drodze przewodzenia energii oraz

niekontrolowanej wymiany powietrza. Zwiększenie grubości izolacji i zablokowanie infiltracji powietrza do wnętrza budynku powoduje, że zaprojektowany budynek zaczyna przypominać w swej koncepcji termos co zostało zaprezentowane na rysunku numer 1.



Rysunek numer 1. Koncepcja domu pasywnego.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie portalu Passive [Solar] House,  
<http://ecocentricdesign.ca>, dostęp z dnia 13.06.2011

W związku z określonym sposobem projektowania budynku powstaje ryzyko zawilgocenia ścian. Szczególnie niebezpieczna dla budynku pasywnego będzie kondensacja wilgoci wewnątrz przegrody, a dla użytkowników kondensacja powierzchniowa. Nadmierne zawilgocenie przegrody powoduje:

- pogorszenie mikroklimatu wnętrza (podwyższona wilgotność przegród powoduje wzrost wilgotności w pomieszczeniu – ryzyko chorób reumatycznych),
- dobre środowisko dla rozwoju mikroorganizmów (przebarwienia i zniszczenie powierzchniowe ścian a także zagrożenie dla zdrowia ludzi),
- spadek izolacyjności cieplnej (wzrost przewodności wraz ze wzrostem zawilgocenia),
- korozja i niszczenie przegród (łuszczenie się powłok malarskich, odpadanie tynków, rozpuszczenie i wypłukiwanie spoiwa w ścianach - tworzenie się wykwitów solnych, krystalizująca soli wewnątrz porów, spadek parametrów wytrzymałościowych szkody mrozowe) co ilustruje rysunek numer 2.



Rysunek numer 2. Niszczenie przegrody budowlanej wywołane nadmiernym zawilgoceniem.

Źródło: opracowanie własne.

Do kondensacji powierzchniowej pary wodnej na przegrodzie dochodzi wówczas, gdy powietrze stykające się z chłodną powierzchnią jest schładzane poniżej temperatury punktu rosy. Kondensacja na powierzchni przegrody nie wystąpi, jeśli w miesiaku krytycznym - miesiąc dla którego minimalny współczynnik temperaturowy osiągnął wartość maksymalną, spełniony będzie warunek  $fR_{si} > fR_{si,min}$  (zależne od współczynnika U) >  $fR_{si,min}$  (zależne od warunków termicznych pomieszczenia) [10].

Para wodna wykrapla się w takim miejscu przegrody, w którym wilgotność względna powietrza w porach materiału osiąga stan nasycenia 100%. Ponieważ temperatura i ciśnienie pary wodnej ulega zmianie na grubości przegrody, to sprawdzenie czy nie dochodzi do kondensacji wglębnej w przegrodzie wymaga porównania rozkładów ciśnień rzeczywistego i stanu nasycenia w każdym punkcie przegrody. Metoda ta jest oparta na prawie Fokina-Glasera. Można powiedzieć, że kondensacja pary wodnej w przegrodzie wystąpi na styku dwóch materiałów wtedy, gdy przepuszczalny dla pary wodnej materiał termoizolacyjny zostanie pokryty od zewnątrz/wewnątrz nieprzepuszczalnym materiałem powłokowym, np. wełna mineralna pokryta w metodzie lekkiej mokrej tynkiem cienkowarstwowym akrylowym lub w metodzie ciężkiej cegłą klinkierową.

W tej sytuacji określa się strefę kondensacji w przegrodzie, oblicza się ilość wody wkraplanej w okresie kondensacji, oraz ilość wilgoci odsychającej w pozostałej części roku. Obliczenia zaczynamy od miesiąca, w którym jako pierwszym nastąpiło wykraplanie pary wodnej. Jeżeli w ciągu okresu odparowywania nie dojdzie do całkowitego wyschnięcia przegrody, wówczas ilość kondensatu rośnie w czasie doprowadzając do degradacji przegrody oraz pogorszenia jej izolacyjności.

Należy zatem dążyć do takiego projektowania, aby w przegrodzie nie dochodziło do kondensacji pary wodnej na żadnej z warstw i na powierzchni. Takie projektowanie pozwoli cieszyć się długim i zdrowym okresem użytkowania budynku. Jak zostało opisane w [6], długowieczność obiektów budowlanych oraz wysoki komfort użytkowników niezbędne są przy rozwijaniu budownictwa zrównoważonego.

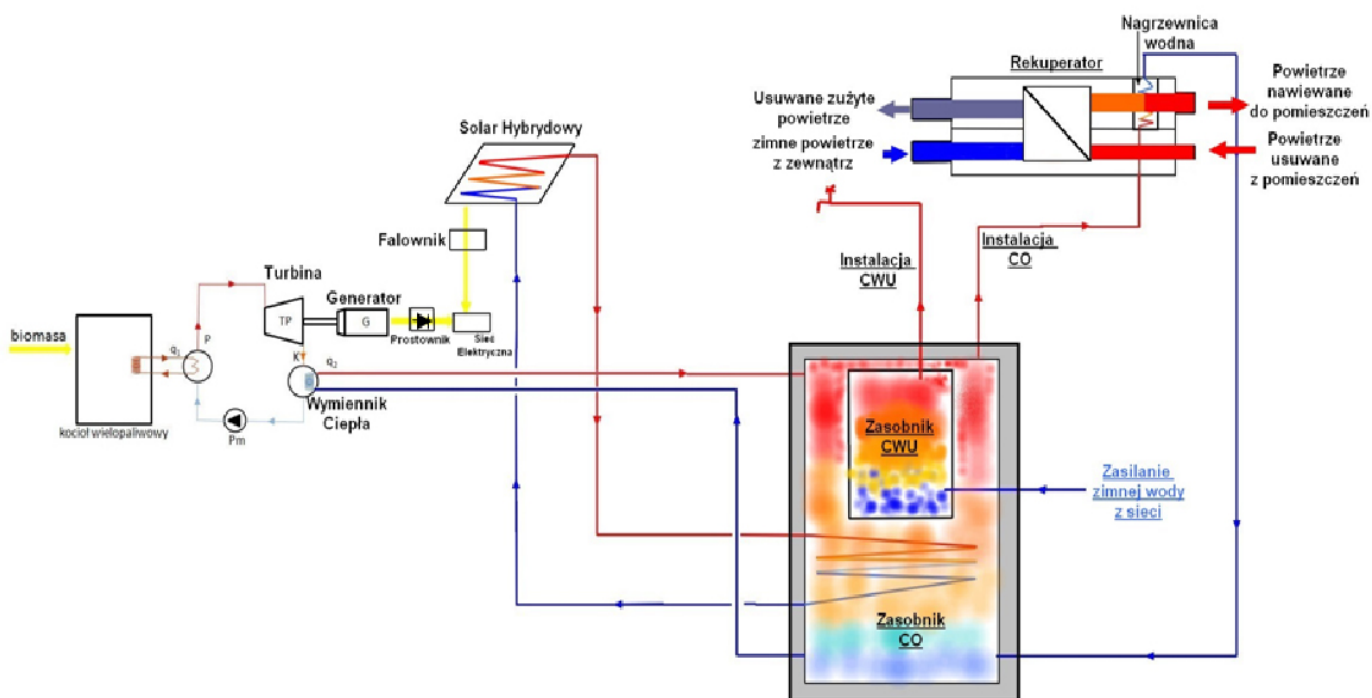
### **System wentylacji, klimatyzacji i ogrzewania oraz produkcji prądu, bazujący na mikrośilowni kogeneracyjnej małej mocy i hybrydowym systemie solarnym**

Instalacja wentylacyjna z odzyskiem ciepła jest nieodzownym elementem w budownictwie pasywnym, którego rolą jest maksymalna oszczędność energii cieplnej generowanej w budynku. Ponadto w obliczu ogólnopolskich problemów energetycznych, związanych ze stratami oraz awariami na liniach przesyłowych i dystrybucyjnych wraz ze wzrostem cen za energię elektryczną, jednostki badawcze poszukują pozasieciowych źródeł prądu. Kogeneracja, czyli skojarzona gospodarka energetyczna, jest to proces technologiczny jednoczesnego wytwarzania energii elektrycznej i użytkowej energii cieplnej. Zastosowanie kogeneracji daje duże oszczędności ekonomiczne i jest korzystne ze względów ekologicznych, gdyż powoduje mniejsze zużycie paliwa. Zaletą kogeneracji rozproszonej jest uniknięcie kosztów rozbudowy sieci cieplnej oraz redukcję strat ciepła związanych z jej eksploatacją. Ponadto dywersyfikacja źródeł energii zwiększa bezpieczeństwo energetyczne na obszarze jej stosowania. W związku z powyższym instalacja cieplna i elektryczna składać się będzie z czterech współpracujących ze sobą podzespołów:

- mikrośilowni kogeneracyjnej, w której energia powstała w wyniku spalania biomasy przekształcana jest w energię elektryczną oraz użytkową energię cieplną,
- hybrydowego systemu solarnego, gdzie następuje konwersja energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną oraz cieplną
- zasobnika CO i CWU do czasowego przechowywania ciepłej wody centralnego ogrzewania oraz ciepłej wody użytkowej,
- rekuperatora z nagrzewnicą wodną, odpowiedzialny za wentylację i kondycjonowanie

powietrza odpływającego i napływającego do pomieszczeń.

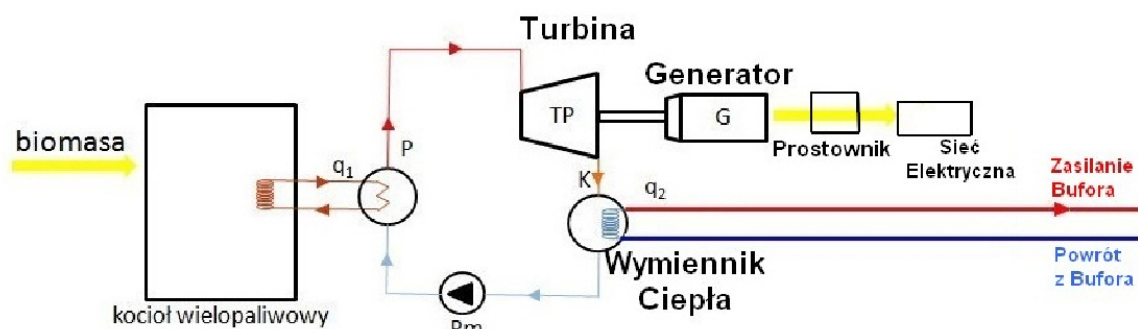
Instalacja została zilustrowana na rysunku numer 3.



Rysunek numer 3. Podzespoły instalacji ciepłej i elektrycznej. Źródło: opracowanie własne.

### Mikrosiłownia kogeneracyjna małej mocy

Siłownie i mikrosiłownie kogeneracyjne są rozwiązaniem technologicznym umożliwiającym konwersję energii cieplnej, wytworzonej w procesie spalania biomasy, na energię mechaniczną, która przekształcana jest w energię elektryczną. Obiegi siłowni są realizowane według procesów zachodzących w organicznym obiegu Clausiusa-Rankine'a (ORC). Schemat mikrosiłowni przedstawiono na rysunku numer 4.



Rysunek numer 4. Schemat mikrosiłowni. Źródło: opracowanie własne.

W wyniku spalania biomasy wytworzona zostaje energia cieplna, którą ogrzewamy olej termalny krążący w obiegu zamkniętym. W drugim obiegu czynnik niskowrzący zasila turbinę. Oba obiegi spotykają się w parowniku, gdzie ciepło oleju termalnego oddawane jest na zasadzie wymiany bez mieszania do obiegu czynnika niskowrzącego. Następuje całkowite odparowanie, a następnie przegrzanie czynnika roboczego. Czynnik niskowrzący w postaci gazowej przepływa przez turbinę, do której podłączony jest generator prądu elektrycznego. W turbinie odbywa się rozprężenie pary suchej, jednak właściwości czynnika nie pozwalają na jego wykraplanie. Całkowite skroplenie gazu następuje w skraplaczu, przez który przepływa woda z oddzielnego układu chłodzenia. Czynnik w stanie ciekłym zostaje przepompowany do parownika, w którym następuje jego ponowne odparowanie. Otrzymujemy energię elektryczną w postaci prądu oraz energię cieplną wody chłodzącej.

Sprawność elektrowni jest stosunkiem energii dostarczonej do sieci elektrycznej do energii zawartej w spalanej paliwie. Uwzględniając straty poszczególnych zespołów, sprawność elektrowni możemy wyrazić jako iloczyn sprawności każdego urządzenia mikrośiłowni [16]. W związku z tym poniżej zaprezentowano problemy techniczne, które muszą zostać wzięte pod uwagę przy wykonaniu obliczeń i wyborze niektórych maszyn i urządzeń mikrośiłowni [15]. Turbina parowa. Funkcjonowanie turbiny jest możliwe dzięki wykorzystaniu czynnika organicznego. W Instytucie Maszyn Przepływowych Politechniki Łódzkiej powstał projekt i prototyp mikroturbogeneratorsa, który wymaga zastosowania technologii hermetycznych maszyn i łożysk wysokoobrotowych, smarowanych organicznym czynnikiem roboczym turbiny [7]. Dostępne na rynku podzespoły nie spełniają specyficznych wymagań. Badania eksperymentalne wysokoobrotowych, małogabarytowych wirników, łożysk oraz uszczelnień wymagają specjalnego podejścia. Podstawowa różnica dotyczy tu przede wszystkim prędkości obrotowych, które dochodzą do kilkudziesięciu, a nawet kilkuset tysięcy obrotów na minutę. Drugim, poważnym problemem są w tym przypadku bardzo małe wymiary gabarytowe badanych elementów. W celu wykonania dokładnego pomiaru parametrów ruchu oraz innych żądanych wielkości konieczne jest zastosowanie specjalnych czujników pomiarowych.

Kocioł wielopaliwowy. Zastosowany w mikrośiłowni kocioł musi charakteryzować się niskim poziomem emisji szkodliwych substancji do atmosfery oraz być przystosowany do współpracy z mikroturbiną ORC. Zintegrowana i szczelna konstrukcja kotła i mikroturbiny, wykorzystywanych przez wiele lat, musi spełniać warunek wysokiej niezawodności. Ponadto kocioł powinien być łatwy w eksploatacji i utrzymaniu. Z olejem termalnym, jako medium przenoszącym ciepło, użytkownicy nie zetkną się z problemami z ciśnieniem, tworzeniem się kamienia kotłowego lub korozją i zamrażaniem.

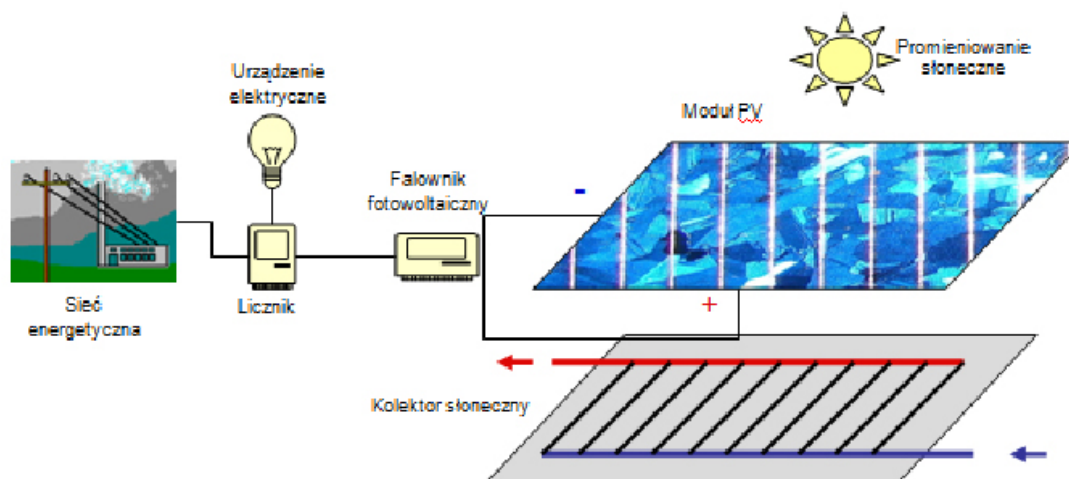
Parownik i kondensator. Konieczne jest wykorzystanie optymalnych konstrukcji do wymiany ciepła. Interesującym rozwiązaniem może być płytowy, przeciwprądowy wymiennik ciepła. Wymienniki te składają się z wielu wyprofilowanych płyt, które się za sobą łączą. Przekładamy je odpowiednimi uszczelkami, w wyniku czego pomiędzy płytami tworzą się przestrzenie, którymi przepływają w przeciwprądzie czynniki wymieniając między sobą ciepło. Ponadto wymienniki te charakteryzują się niewielkimi wymiarami przy dużej powierzchni wymiany ciepła. Odejmowanie i dodawanie kolejnych płyt daje możliwość regulacji.

Nieodzowny jest ponadto wybór odpowiedniego czynnika niskowrzącego, który zapewni poprawność działania obiegu również w sytuacji pracy kotła w temperaturze niższej od nominalnej. Chcemy zapewnić dostarczanie energii elektrycznej przy mniejszych temperaturach w przypadku częściowego wychłodzenia kotła. Zostanie przeprowadzona weryfikacja rynku pod względem parametrów termodynamicznych oraz wpływu czynnika na środowisko. Ponadto bardzo ważnym elementem projektu, mającym duży wpływ na niezawodność działania systemu, będą poprawnie

opracowane procedury automatyzacji, ponieważ system musi działać automatycznie, a jego regulacja powinna być łatwa w obsłudze.

## Hybrydowy system solarny do produkcji energii elektrycznej i ciepłej

Jednym z elementów instalacji w projekcie „Dom 2020” jest zintegrowany, hybrydowy system solarny. Innowacyjny system zapewnia bezpośrednią konwersję energii słonecznej, jednocześnie na energię elektryczną i ciepłą. Jest to możliwe dzięki integracji modułu fotowoltaicznego (PV) i słonecznego kolektora termicznego. Energia elektryczna wyprodukowana w systemie przez moduł fotowoltaiczny przekazywana jest do sieci energetycznej za pośrednictwem falownika i tam też magazynowana. Kolektor słoneczny natomiast pełni tu dwie funkcje. Pierwszą z nich jest chłodzenie modułu fotowoltaicznego w celu zapewnienia mu optymalnych warunków pracy. Odebrane ciepło transportowane jest przez czynnik roboczy do głównego zbiornika grzewczego gdzie następuje wstępne podgrzanie wody, co stanowi drugą rolę kolektora w układzie. Rysunek numer 5 przedstawia poglądowo schemat omawianego systemu hybrydowego. Wierzchnią część układu stanowi moduł PV, na który bezpośrednio pada promieniowanie słoneczne. W projektowanym przypadku moduł fotowoltaiczny zbudowany jest z krzemu mutikrystalicznego. Ze względu na obecnie najlepszą relację sprawności do ceny, wybrany został właśnie ten materiał półprzewodnikowy. Dzięki zjawisku konwersji fotowoltaicznej, w półprzewodniku pod wpływem promieniowania elektromagnetycznego Słońca, zachodzi generacja par dziura elektron. W wyniku istnienia wewnętrznego pola elektrycznego w obszarze złącza p-n, następuje rozdzielanie ładunków. W ten sposób generowana jest energia elektryczna prądu stałego. Do modułu PV podłączony jest dedykowany falownik fotowoltaiczny z wbudowanym systemem monitoringu i dopasowania punktu mocy maksymalnej (MPP). Falownik konwertuje prąd stały (DC) na zmienny (AC) i dopasowuje jego parametry do wymagań sieciowych. Dzięki temu energia elektryczna może być sprzedawana do sieci o okresie nadwyżki produkcji.



Rysunek numer 5. Schemat działania hybrydowego systemu solarnego. Źródło: opracowanie własne.

Optymalna temperatura, dla której moduł fotowoltaiczny osiąga najlepszą sprawność, wynosi 25°C. Jednak rzeczywista temperatura pracy tych urządzeń waha się od ok. -25°C w okresie zimowym do nawet 80°C w czasie letnim, podczas długotrwałego wystawienia na intensywne działanie promieni słonecznych. Wraz ze wzrostem temperatury modułu PV maleje jego sprawność. Jest to spadek o ok. 0,4% na każdy °C przyrostu temperatury. W celu minimalizacji strat wydajności, na spodniej

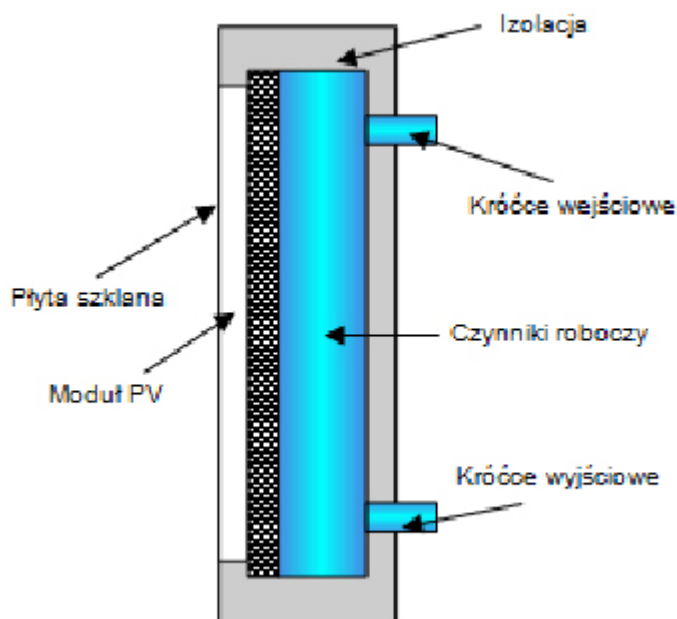


części modułu, dodano rurki miedziane stanowiące układ kolektora słonecznego. Czynnik roboczy przepływający kanałami umieszczonymi pod powierzchnią ogniw fotowoltaicznych chłodzi moduł, a równocześnie może być wykorzystany do podgrzania wody użytkowej. Rysunek numer 4 prezentuje przekrój poprzeczny omawianej konstrukcji, natomiast tabela numer 1 przedstawia jej parametry. Z obliczeń oraz z danych literaturowych wynika, iż sprawność zintegrowanego układu hybrydowego jest większa niż suma sprawności jego składników. Wynika to z utrzymania optymalnej temperatury pracy ogniw w module fotowoltaicznym.

Tabela numer 1. Porównanie wartości teoretycznych parametrów omawianych konstrukcji.

	Moduł PV	Kolektor słoneczny	System hybrydowy
$\eta$ [%]	10,6	62,8	75,8
P [W]	74,8	552,0	645,2

Źródło: Witold M. Lewandowski, „Proekologiczne odnawialne źródła energii“, WNT, Warszawa 2007



Rysunek numer 6. Przekrój poprzeczny konstrukcji solarnego układu hybrydowego.

Źródło: opracowanie własne.

Zastosowanie układu hybrydowego ma również ogromny wpływ na poprawę sprawności modułu PV zimą. W tym okresie niezmiernie częstym problemem, ograniczającym lub wręcz redukującym do zera moc pozyskiwaną z paneli fotowoltaicznych, jest zaśnieżenie urządzeń. Zacienienie modułu przez zalegającą warstwę śniegu uniemożliwia konwersję energii podczas słonecznych dni zimowych. W hybrydowym układzie solarnym, czynnik przepływający w układzie kolektora pod powierzchnią modułu PV, ma temperaturę dodatnią. Rozwiązuje to problem poprzez roztopienie śniegu, a tym samym likwidację powstałego zacienienia. Hybrydowy system solarny jest rozwiązaniem planowanym do zastosowania oddzielnie na każdym budynku projektowanego osiedla. W celu zapewnienia optymalnych warunków pracy, układ

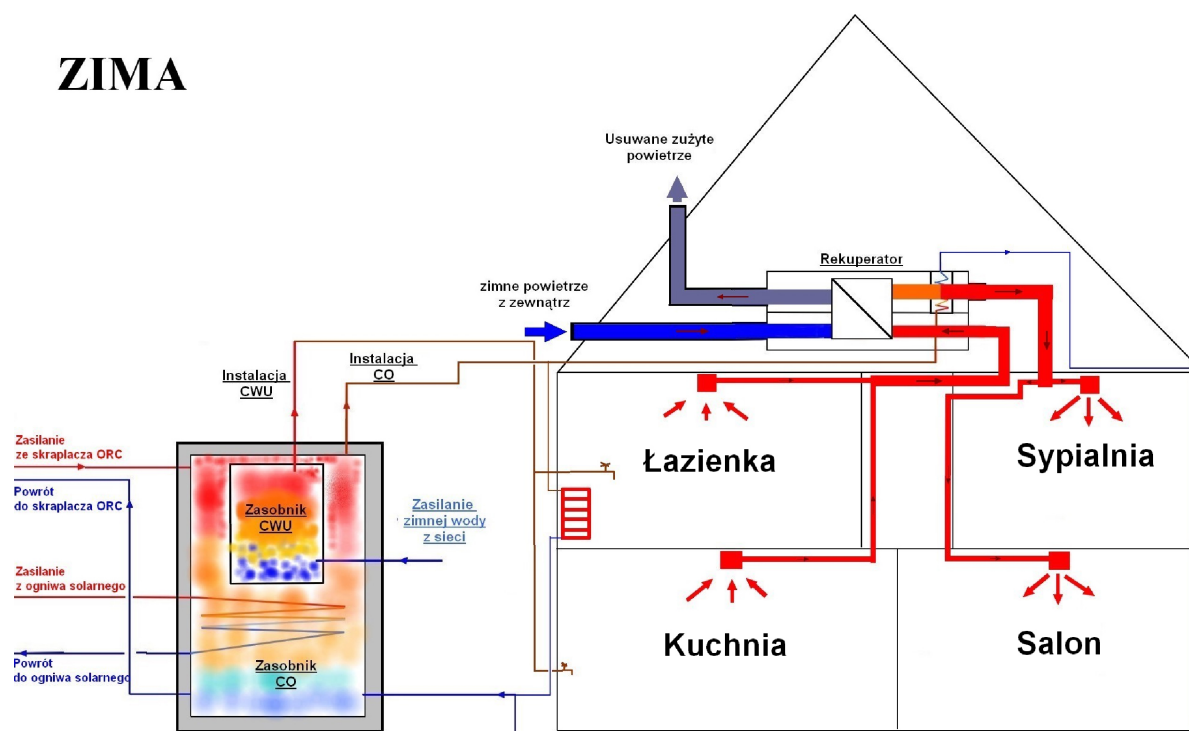
kolektor słoneczny-moduł fotowoltaiczny wkomponowany zostanie w architekturę dachu od strony południowej, usytuowanego pod kątem 45 stopni.

#### 4.3. Instalacja wentylacyjna wraz z instalacją ogrzewania oraz instalacją podgrzewania ciepłej wody użytkowej podczas pory zimowej

Niezbędnym elementem każdego budynku, pozwalającym na znaczne ograniczenie strat ciepła, jest mechaniczna wentylacja nawiewno-wywiewna dostosowująca swoją wydajność do aktualnego zapotrzebowania na świeże powietrze. Najważniejszym elementem instalacji wentylacyjnej jest wysokosprawny wymiennik ciepła, w którym powietrze nawiewanemu zostaje przekazana duża część ciepła odzyskana z powietrza wywiewanego. Wymiennik ten powinien charakteryzować się wysoką sprawnością powyżej 80 % i niskim zużyciem energii elektrycznej. Zadaniem mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła jest doprowadzenie świeżego powietrza zewnętrznego do pokoi mieszkalnych i usunięcie zużytego powietrza wewnętrznego.

Rysunek numer 7 przedstawia schemat instalacji grzewczej i wentylacyjnej dla jednego budynku podczas pory zimowej. Po lewej stronie znajduje się bufor instalacji centralnego ogrzewania wraz z wbudowanym buforem ciepłej wody użytkowej. Bufor zasilany jest w ciepło ze skraplacza systemu ORC opisanego we wcześniej oraz poprzez wężownicę z hybrydowego ogniwa słonecznego. Podgrzana woda w buforze ciepłej wody użytkowej zasila wszystkie odbiorniki ciepłej wody użytkowej w domu, natomiast ciepła woda z bufora centralnego ogrzewania służy do zasilania w ciepło nagrzewnicy wodnej umieszczonej w rekuperatorze oraz do dogrzewania pomieszczeń takich jak kuchnia czy łazienka za pomocą grzejników lub ogrzewania podłogowego. System bazuje na jednym lub kilku buforach umieszczonych centralnie zasilających cały kompleks domów. W każdym budynku znajduje się natomiast oddzielny rekuperator. Rekuperator poprzez sieć kanałów wentylacyjnych wyciąga zużyte ciepłe powietrze z tzw. brudnych pomieszczeń tj. kuchnia czy łazienka. Wywiewane ciepłe powietrze przepływając przez wymiennik rekuperatora oddaje ciepło do zimnego powietrza zasysanego z zewnątrz. Świeże powietrze z zewnątrz może być zasysane do rekuperatora bezpośrednio lub poprzez gruntowy wymiennik ciepła, który podczas pory zimowej wstępnie podgrzeje nam zimne powietrze. Zużyte powietrze jest wyrzucane na zewnątrz, natomiast zimne świeże powietrze po wstępnym ogrzaniu w wymienniku rekuperatora przepływa przez nagrzewnicę wodną i dogrzewa się do optymalnej, ustawionej przez użytkownika temperatury. Następnie poprzez sieć kanałów wentylacyjnych świeże powietrze o odpowiedniej temperaturze i wilgotności rozprowadzane jest do tzw. czystych pomieszczeń w domu tj. salon czy sypialnia. Powoduje to powstanie nadciśnienia w tych pomieszczeniach i swobodny przepływ powietrza do pomieszczeń z których powietrze jest wywiewane. Następnie cały cykl powtarza się i pozwala utrzymywać komfort cieplny w budynku, przy ograniczonym zużyciu energii.

# ZIMA



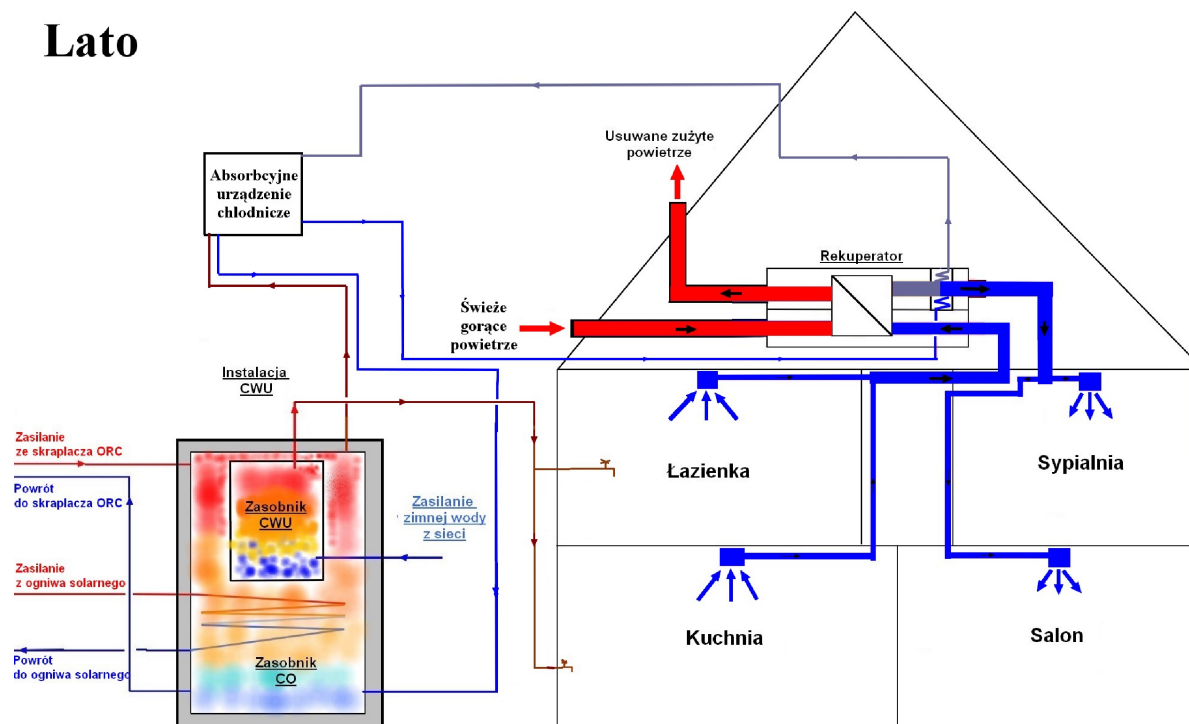
Rysunek numer. 7. Schemat instalacji grzewczej, CWU oraz wentylacyjnej dla jednego budynku podczas pory zimowej.

Źródło: opracowanie własne.

## **Instalacja wentylacyjno-klimatyzacyjna wraz z instalacją podgrzewania ciepłej wody użytkowej podczas pory letniej.**

Schemat przedstawiony na rysunku numer 8 przedstawia zasadę działania tej samej instalacji co powyżej, ale w porze letniej. Rozdział i wywiew powietrza z pomieszczeń realizowany jest w ten sam sposób co w porze zimowej natomiast różnica polega na nie podgrzewaniu powietrza, a jego ochładzaniu. Bufor centralnego ogrzewania jak i zasobnik oraz instalacja ciepłej wody użytkowej są dokładnie takie same. Ciepła woda z bufora centralnego ogrzewania zasila absorpcyjne urządzenie chłodnicze, które wykorzystuje energię cieplną do produkcji wody lodowej przy minimalnym zapotrzebowaniu na energię elektryczną. Następnie woda lodowa wyprodukowana w absorpcyjnym urządzeniu chłodniczym transportowana jest do chłodnicy wodnej umieszczonej w rekuperatorze, dzięki której powietrze nawiewane do pomieszczeń jest ochładzane do odpowiedniej temperatury. Gorące świeże powietrze z zewnątrz jest wstępnie ochładzane w wymienniku rekuperatora za pomocą chłodnego powietrza usuwanego z pomieszczeń. System ten jest w stanie utrzymywać komfort cieplny w budynku w porze letniej chłodząc powietrze oraz utrzymując jego wilgotność na odpowiednim poziomie, przy jednoczesnym ograniczeniu zużycia energii.

## Lato



Rysunek numer 8. Schemat instalacji klimatyzacyjnej, wentylacyjnej oraz CWU dla jednego budynku podczas pory letniej.

Źródło: opracowanie własne.

## Informacyjny system zarządzania budynkiem

Projektowany obiekt będzie spełniał założenia budynku inteligentnego. 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 tak zwane mikrosieci. Jako podstawowe elementy budynku „inteligentnego” wymienić należy [9]:

- 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 zapewniająca komunikację pomiędzy wszystkimi elementami systemu,
- „inteligentne” liczniki 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 energii (OZE) zmienia rolę takiego budynku z biernego konsumenta dostarczonej energii elektrycznej na aktywnego prosumenta. Łącząc

informacje otrzymywane z sieci elektroenergetycznej oraz indywidualne preferencje mieszkańców budynku, informatyczny system zarządzania, może podejmować decyzje o tym, kiedy korzystać z energii pochodzącej z OZE a kiedy z sieci, sterować sprzedażą nadwyżek wyprodukowanej energii czy zarządzać magazynowaniem tej energii, jeżeli w budynku zainstalowane będzie urządzenie magazynujące.

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

I tak, kluczową rolę informatyki w rozwoju budownictwa energooszczędnego podkreśla się w następujący sposób:

- „Jest oczywistym, iż upowszechnienie się „zielonych budynków” jest możliwe jedynie za pomocą ICT.” [11]
- „Sektor ICT może dostarczyć metod symulacji, modelowania, analizy, monitorowania oraz wizualizacji niezbędnych dla usprawniania metod budowania oraz zarządzania budynkami w sposób wpływający na popyt na energię elektryczną. (...) Inteligentne liczniki oraz sieci inteligentne to istotne czynniki w maksymalizowaniu oszczędności energii w budynkach, upowszechnianiu pojazdów elektrycznych, efektywnym dostarczaniu energii oraz integracji odnawialnych źródeł energii.” [13]
- „ICT to „finalny element” na drodze do efektywnego systemu jakim jest budynek energooszczędny. Rozszerzone możliwości monitoringu, zdolności sieciowe, które zapewnia ICT łączą uwarunkowania architektoniczne oraz środowiskowe infrastruktury budynku w zakresie instalacji HVAC, oświetlenia, systemów bezpieczeństwa oraz dużych odbiorów. W tym sensie ICT przyczynia się do uczynienia budynku „inteligentnym””. [12]
- „ICT nie tylko poprawi wydajność energetyczną oraz pomoże walczyć ze zmianami klimatu, (...) rozszerzając się na wszystkie gałęzie przemysłu i biznesu, upatruje się w nim silnego wpływu na energooszczędność budynków jutra (zarówno tych nowych jak i odremontowanych).” [2]

Wśród uzasadnień powyższych twierdzeń uwypuklających rolę informatycznych systemów zarządzania w budownictwie energooszczędnym, wymienia się fakt, iż 40% końcowego zużycia energii w krajach Unii Europejskiej przypada na budynki [11]. Zarówno materiały budowlane, jak i instalacje oświetlenia, ogrzewania, wentylacji czy klimatyzacji są opracowywane indywidualnie przez odrębne przedsiębiorstwa. Z tego powodu występuje brak zintegrowanego podejścia do projektowania budynku, które mogłoby przełożyć się na większe oszczędności energii w porównaniu do projektowania każdego elementu budynku oddzielnie. W sektorze ICT upatruje się swobodnego łącznika, który za pomocą narzędzi służących do symulacji, modelowania, analizy, monitoringu oraz wizualizacji doprowadziłby do zintegrowania tych rozproszonych elementów. Szacuje się [11], że wprowadzenie rozwiązań wykorzystujących ICT może przyczynić się do oszczędności w zużyciu energii rzędu 15% w następnych latach. Zadania stawiane przed sektorem ICT we wspomaganiu budownictwa energooszczędnego wymagają podejmowania badań i opracowywania nowych rozwiązań z zakresu:

- „inteligentnych” odbiorów zdolnymi do interakcji ze sobą jak również z otoczeniem zewnętrznym,
- rozwiązań w zakresie komunikacji „inteligentnych” odbiorów ze sobą oraz z siecią opartych na protokołach, które są ustandaryzowane i otwarte,
- „inteligentnych” systemów BMS oraz ECMS do zarządzania budynkiem, zapewniających procesy optymalizacji zużywanego energii, komunikujących się z zainstalowanymi „inteligentnymi” odbiorami, monitorujących otoczenie oraz zdolnych do nauki,
- wielomodalnych interaktywnych interfejsów ułatwiających użytkownikowi łatwe, wygodne i intuicyjne zarządzanie budynkiem.

Szereg raportów i opracowań opublikowanych przez Komisję Europejską oraz inne organizacje wskazuje na kluczową rolę, jaką technologie ICT powinny odegrać w rozwoju oraz upowszechnianiu budownictwa energooszczędnego. Należy przy tym podkreślić, iż rola ta nie ogranicza się jedynie do okresu użytkowania budynku, lecz obejmuje pełen cykl życia, począwszy już od fazy projektu. I tak, wsparcie ze strony sektora ICT może być stosowane na etapie wytwarzania materiałów budowlanych zwiększających energooszczędność budynku, w optymalizacji procesów transportowych w procesie budowy, udoskonalania istniejących rozwiązań na skutek mechanizmów dzielenia się wiedzą i doświadczeniami czy nawiązywaniu współpracy pomiędzy architektami, konstruktorami, deweloperami oraz właścicielami budynku, by prowadzić do efektu synergii w zwiększaniu energooszczędności budynku. Więcej o roli ICT w budownictwie energooszczędnym zostało opisane w [5].

Istniejący budynek może być wspomagany technologiami ICT w zakresie systemów automatyki oraz sterowania, lokalnego wytwarzania i magazynowania energii, sterowania popytem na energię elektryczną oraz jego optymalizacją, inteligentnego opomiarowania gwarantującego przepływ informacji pomiędzy użytkownikiem a operatorem, zarządzania kompleksem połączonych ze sobą budynków energooszczędnych tworzących mikrosieć czy wspomagania rozwoju „energooszczędnej świadomości” użytkownika końcowego. Informacyjny system zarządzania budynkiem powstającym w ramach projektu „Dom 2020” stanowił będzie innowacyjne połączenie funkcjonalności aktualnie stosowanych systemów z funkcjami wynikającymi z nowych wyzwań stawianych przed budynkiem inteligentnym. Oprócz tradycyjnie stosowanych modułów monitorujących podstawowe parametry takie jak temperatura czy wilgotność powietrza oraz wykrywających awarie zainstalowanych urządzeń, system wyposażony zostanie w funkcjonalność odpowiadającą potrzebom prosumenta.

Zaimplementowanie nowych funkcjonalności dostosowanych do potrzeb użytkownika, uczyni korzystanie z systemu intuicyjne, jak również pomoże w przejściu z biernej roli odbiorcy końcowego energii elektrycznej do roli odbiorcy aktywnego – prosumenta. System będzie zbierał dane dotyczące zużycia energii w budynku, korzystając z inteligentnych odbiorów znajdujących się w domu lub z danych o odbiorach bezpośrednio wprowadzonych do systemu przez użytkownika. Następnie, wykorzystując zebrane dane, zaprojektowane zostaną „profile użytkownika”, ustawiające parametry urządzeń zasilających oraz odbiorów. Dzięki takiej funkcjonalności użytkownik nie będzie musiał zarządzać każdym odbiorem oddzielnie, sprowadzając zarządzanie budynkiem do obsługi intuicyjnego panelu. Dodatkowo, system będzie wyposażony w funkcjonalność optymalizowania profilu zużycia energii tak aby ograniczać korzystanie z energii elektrycznej pochodzącej z sieci a maksymalizować wykorzystanie energii pochodzącej z OZE. Podejście takie będzie przynosiło korzyści zarówno wymiarze ekologicznym jak i ekonomicznym.

## Podsumowanie

W niniejszym rozdziale przedstawiono kontekst powstania projektu domu zeroenergetycznego oraz omówiono innowacyjne rozwiązania budownictwa pasywnego. Podkreślone zostały zalety energetyki rozproszonej. W kolejnych podrozdziałach przedstawiono układ kogeneracyjny ORC, solar hybrydowy oraz system centralnego ogrzewania i wentylacji, jak również koncepcję informacyjnego systemu zarządzania budynkiem. W niedalekiej przyszłości wszystkie przedstawione rozwiązania będą mogły współpracować z sieciami inteligentnymi. Autorzy położyli nacisk na fakt, iż projekt przedstawia czysto ekologiczne rozwiązania produkcji oraz gospodarowania energią. „Dom 2020” nie oznacza jedynie budynku wyznaczającego standardy budownictwa po 2020 roku, ale stanowiącego istotny element na drodze do osiągnięcia celów energetycznych wyznaczone dla Polski przez Komisję Europejską w pakiecie 3x20: 20% produkcji energii w energii odnawialnych oraz 20% mniej emisji szkodliwych substancji do atmosfery.

## LITERATURA

1. Dąbrowski M., „Zrównoważony rozwój: poprawność polityczna czy realna potrzeba?” Architektura-Murator 3/2011 (198), s. 108-113
2. DIN EN 13829 (Określanie przepuszczalności powietrza budynków)
3. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków
4. Edwards B., “Rough Guide to Sustainability. A Design Primer”, London 2010
5. Jabłońska M.R., "Rola informatyki w budownictwie energooszczędnym", publikacja powstała w ramach projektu "Bioenergia dla Regionu - Zintegrowany Program Rozwoju Doktorantów", [www.bioenergiadlaregionu.eu](http://www.bioenergiadlaregionu.eu), Łódź 2011
6. Janicki M., „Dom 2020 jako przykład budownictwa pasywnego lub o niemal zerowym zużyciu energii w świetle budownictwa zrównoważonego”, publikacja powstała w ramach projektu "Bioenergia dla Regionu - Zintegrowany Program Rozwoju Doktorantów", [www.bioenergiadlaregionu.eu](http://www.bioenergiadlaregionu.eu), Łódź 2011
7. Kozanecki Z., „Systemy wirujące maszyn przepływowych małej i średniej mocy”, Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Łódź — Radom 2008
8. Lugaric L., Krajcar S., Simic Z., “ Smart City - Platform for Emergent Phenomena Power System Testbed Simulator”, IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies Europe, October 11-13, 2010, 2048017
9. Lorens A., „Dom pasywny w Wielkopolsce koło Złotowa”. Architektura-Murator 3/2011 (198), s. 66-74
10. PN-EN-ISO 13788 „Ciepłno – wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych elementów budynku – Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa – metody obliczania”
11. Raport Komisji Europejskiej, „ICT for a Low Carbon Economy. Smart Buildings.”, Bruksela, lipiec 2009
12. Raport Komisji Europejskiej „Impacts of Information and Communication Technologies of Energy Efficiency”, Bruksela, wrzesień 2008
13. Rekomendacje Komisji Wspólnot Europejskich „Commission Recommendation of 9.10.2009 on mobilising Information and Communications Technologies to facilitate the transition to an energy-efficient, low-carbon economy”, Bruksela, październik, 2009
14. Schultz J.M., Jensen K.I., „Evacuated aerogel glazings”, „Vacuum”, no. 82/2008
15. Tkacz E., „Kogeneracja rozproszona oparta na lokalnych i odnawialnych źródłach energii. Mikrośilownie kogeneracyjne małej mocy” publikacja powstała w ramach projektu "Bioenergia dla Regionu - Zintegrowany Program Rozwoju Doktorantów", [www.bioenergiadlaregionu.eu](http://www.bioenergiadlaregionu.eu), Łódź 2011

16. Walentynowicz J., „Termodynamika techniczna i jej zastosowania”, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2009
17. Warsza R., „Urbanizacja obszaru metropolitalnego Łodzi w latach 1990-2011”, praca w przygotowaniu
18. Zasoby portalu Termo dom, <http://www.termodom.pl> dostęp z dnia 14.06.2011