

## Spis treści

<b>Paulina ANCHIM, Joanna PIOTROWSKA-WORONIAK</b> Ekogroszek - sposób na tańsze i ekologiczne ogrzewanie domu jednorodzinnego. Część 1: Wybór paliwa i kotła <i>The “eco small coal” – a way towards cheaper and more ecological single-family house heating.</i> <i>Part 1: The fuel and the boiler selection</i> .....	179
<b>Paulina ANCHIM, Joanna PIOTROWSKA-WORONIAK</b> Modernizacja kotłowni olejowej na kotłownię spalającą ekogroszek w połączeniu z niekonwencjonalnym źródłem ciepła <i>The replacement of the oil-fired boiler room by the “eco small coal”-fired one supported by the unconventional heat source</i> .....	185
<b>Dorota KRAWCZYK, Paulina JAROMA</b> Uwarunkowania techniczno-ekonomiczne w projektowaniu instalacji c.o. i c.w.u. w budynkach mieszkalnych <i>Technical and economic aspect in the central heating and warm usable water installation design in residential buildings</i> .....	193
<b>Dorota KRAWCZYK, Anna SOJKO-GIL</b> Wpływ termomodernizacji obiektów na wartość wskaźników EP i EK na przykładzie budynku przedszkola <i>The influence of the building thermomodernisation on EP and EK efficiencies on the basis of kindergarten building</i> .....	199
<b>Andrzej KUCZAJ</b> Emisja związków organicznych przy spalaniu biomasy <i>Emission of organic compounds during biomass combustion</i> .....	205
<b>Paweł ŁUKJANIUK, Katarzyna GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK</b> Analiza ogrzewania podłogowego w domach pasywnym i tradycyjnym <i>Analysis of floor heating in passive and traditional houses</i> .....	215
<b>Sylwia MIRONKO, Joanna PIOTROWSKA-WORONIAK</b> Opłacalność pozyskiwania energii elektrycznej przez wykorzystanie energii wiatru <i>The profitability of electric power production from wind energy</i> .....	221
<b>Wanda MOJKOWSKA, Katarzyna GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK</b> Analiza strat ciepła domu jednorodzinnego wykonanego w dwóch technologiach <i>Analysis of the heat losses for one-family house executed in two technologies</i> .....	229
<b>Jolanta NIEDZIELKO, Adrian TYSZKIEWICZ</b> Dywersyfikacja w sektorze paliw gazowych <i>Diversification in the fuel gas sector</i> .....	235
<b>Urszula PISZCZATOWSKA, Mirosław ŻUKOWSKI</b> Charakterystyka aktywnych i pasywnych systemów chłodzenia za pomocą pompy ciepła <i>Characteristics of passive and active cooling systems be means of heat pump</i> .....	241
<b>Tomasz Janusz TELESZEWSKI, Sławomir Adam SORKO</b> Modelowanie przepływu ciepła w przegrodach z instalacjami centralnego ogrzewania metodą brzegowych równań całkowych <i>Modelling of transient heat conduction in walls with heating installations by means of the boundary integral equations method</i> .....	245
<b>KOMUNIKATY</b> .....	251

# EKOGRΟΣZEK - SPOSÓB NA TAŃSZE I EKOLOGICZNE OGRZEWANIE DOMU JEDNORODZINNEGO. Część 1: WYBÓR PALIWA I KOTŁA

Paulina ANCHIM<sup>a</sup>, Joanna PIOTROWSKA-WORONIAK<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup>student, Politechnika Białostocka, Inżynieria Środowiska V rok

<sup>b</sup>Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono i porównano nowoczesne, najefektywniejsze źródła ciepła o mocy do 20 kW stosowane w domach jednorodzinnych w zależności od rodzaju paliwa, wybór ograniczono tylko do paliw konwencjonalnych. Krótko scharakteryzowano wybrane paliwa i źródła ciepła w zależności od rodzaju paliwa, wskazując wady i zalety oraz wymagania dla tych kotłowni. Porównano również wartości opałowe i koszty wytworzenia jednostki ciepła następujących wybranych paliw: pelletów, drewna, zboża, wierzby energetycznej, węgla kamiennego, gazu ziemnego i gazu propanu-butanu w porównaniu z ekogroszkiem.

*Słowa kluczowe:* ekogroszek, olej opałowy, pellet, drewno, zboże, wierzba energetyczna, węgiel kamienny, gaz ziemny, wartości opałowe.

## 1. Wstęp

Współczesna Inżynieria Środowiska, aby zadowolić każdego musi być zarówno prośrodowiskowa, praktyczna, jak i ekonomiczna. W dobie coraz większego negatywnego wpływu człowieka na środowisko naturalne i kryzysu energetycznego w Europie warto zastanowić się nad tym, w jaki sposób wspomóc naturę, przy równoczesnym wysokim komforcie życia, jak i oszczędności pieniędzy. Wbrew pozorom ekologia, wygoda i oszczędzanie mają ze sobą wiele wspólnego, a to za sprawą coraz to nowocześniejszych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych stosowanych do wytwarzania energii cieplnej w budynku mieszkalnym jednorodzinny.

Człowiek chcąc żyć w zgodzie z naturą zmuszony jest do racjonalnego gospodarowania coraz droższym paliwem wydobywanym ze skorupy ziemskiej oraz zastąpienia go w miarę możliwości surowcami odnawialnymi. Na etapie budowy nowego obiektu, bądź modernizacji budynku istniejącego należy zdecydować jakie zastosować źródło ciepła i paliwo. Wybór nie jest łatwy, gdyż rozważając wszystkie możliwości i nowinki technologiczne trzeba brać pod uwagę wiele aspektów, takich jak: przepisy prawne, nakład inwestycyjny, koszt eksploatacyjny, wpływ na środowisko, efektywność urządzenia, wielkość działki i kotłowni, dostępność, czy cenę paliwa.

W artykule przedstawiono i porównano nowoczesne,

najefektywniejsze źródła ciepła o mocy 20 kW, stosowane w domach jednorodzinnych w zależności od rodzaju paliwa. Wybór ograniczono tylko do paliw konwencjonalnych. W celu obniżenia kosztów wytwarzania energii cieplnej zaproponowano zamianę kotłowni olejowej na kotłownię na ekogroszek.

## 2. Charakterystyka wybranych paliw

### 2.1. Ekogroszek

Ekogroszek to paliwo stałe produkowane na bazie węgla kamiennego, uszlachetniane, o granulacji od 5 do 25 mm, przeznaczone do wytwarzania energii cieplnej w niskiemisyjnych kotłach z podajnikiem retortowym. Kotły z podajnikiem retortowym inaczej nazywane „beZRusztowe” są ekologicznymi i ekonomicznymi urządzeniami grzewczymi. Ekogroszek jest to paliwo stałe nowej generacji często nazywane paliwem XXI wieku. Charakteryzuje się wysoką kalorycznością gwarantującą pełne wykorzystanie nominalnej mocy kotła grzewczego retortowego przy obniżeniu emisji produktów spalania takich, jak siarka i popiół. W tabeli 1 przedstawiono dane charakteryzujące ekogroszek.

Zalety: Niższe koszty produkcji energii cieplnej, które w praktyce są około 2 razy niższe niż przy zastosowaniu energii ze spalania gazu ziemnego, i aż czterokrotnie

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: asia@pb.bialystok.pl

niższe, niż przy zastosowaniu oleju opałowego.

W warunkach zimowych zużycie ekogroszku w gospodarstwie domowych przy zastosowaniu kotła o mocy 15-25 kW, wynosi ok. 1-1,5 kg/h (www.ekogroszek.info.pl). Emisja gazów cieplarnianych jest znacznie niższa w procesie spalania ekogroszku, niż węgla kamiennego, pozwalając przy tym na spełnienie norm ekologicznych, które wprowadzono w życie w naszym kraju po przystąpieniu do wspólnoty europejskiej. Ekogroszek jest sprzedawany w wygodnych w użytkowaniu workach 25 kg lub luzem. Worki są zaniklowane co zapobiega wysuszeniu/zamoczeniu się opału. Jest tanim źródłem ciepła (www.zgoda.eu).

Tab.1. Podstawowe parametry ekogroszku (www.ekogroszek.info.pl)

Parametr	Wartość	Jednostka
Granulacja	5-25	mm
Wartość opałowa	26 000	kJ/kg
Zawartość popiołu	< 6	%
Zawartość całkowita siarki	do 0,44	%
Zawartość całkowita wilgoci	do 10	%

## 2.2. Biomasa

To materia organiczna powstająca dzięki zachodzącemu procesowi fotosyntezy. Obejmuje ona: drewno i odpady z przerobu drewna, tj. drewno kawałkowe, trociny, wióry, zrębki, kora; rośliny hodowane w celach energetycznych: rośliny drzewiaste szybkorosnące (np. wierzby, topole, eukaliptusy); wieloletnie byliny dwuliścienne; trawy wieloletnie (np. trzcina pospolita), produkty rolnicze oraz odpady organiczne z rolnictwa takie, jak: słoma, siano, buraki cukrowe, trzcina cukrowa, ziemniaki, rzepak, pozostałości przerobu owoców, odchody zwierzęce, zboża; wodorosty. Biomasa traktowana jest jako energia odnawialna.

Zalety: Biomasa to paliwo ekonomiczne pochodzące z własnej produkcji roślinnej. Przy prawidłowym jej spalaniu emisja CO<sub>2</sub> (obieg zamknięty) i NO<sub>x</sub> jest niższa, niż podczas spalania węgla kamiennego.

## 2.3. Pellet

Paliwo przystosowane do spalania w zautomatyzowanych, bezobsługowych kotłach. Pellety powstają poprzez prasowanie surowca pod wysokim ciśnieniem, bez udziału żadnych chemicznych substancji klejących.

Zalety: Pellety są paliwem przyjaznym dla środowiska i jednocześnie łatwym w transporcie, magazynowaniu i dystrybucji. Charakteryzują się niską zawartością wilgoci, popiołów i substancji szkodliwych dla środowiska oraz stosunkowo wysoką wartością opałową. Jest pakowany w worki, bądź dowożony specjalnie przygotowanymi samochodami. Stosunkowo tanie paliwo. Niska cena w stosunku do wydajności i innych paliw.

Wady: Rynek pelletów w Polsce jest stosunkowo młody, nie w każdym rejonie jest możliwość jego wytworzenia.

## 2.4. Wierzba energetyczna

Zalety: Jej wykorzystanie jako źródła energii służy dodatkowo ochronie środowiska, gdyż jest ona rośliną stosowaną do oczyszczania ścieków w przydomowych oczyszczalniach ścieków. Cechuje ją bardzo szybki przyrost biomasy (do 70 m<sup>3</sup> drewna z 1 hektara) i długa żywotność plantacji. Powstały popiół po spalaniu może być wykorzystywany do nawożenia gleby.

## 2.5. Zboże

Zalety: Zboże może być wykorzystywane jako paliwo, jeżeli występuje jego nadmiar lub jest uprawiane w celach energetycznych, może być spalane w specjalnie do tego celu dostosowanych kotłach. Ze względu na budowę ziarna, a także najniższą cenę najlepiej do spalania nadaje się owies. Urządzenia do zasilania kotłów, a także palniki zbliżone są budową do urządzeń przeznaczonych do spalania pellet drzewnych.

Wady: Zwiększona ilość potasu w popiele powoduje obniżenie temperatury topnienia popiołu, co jest niekorzystne ze względu na żużlowanie popiołu na ruszcie i zanieczyszczenie części wymiennikowych kotła upłynnionymi cząstkami popiołu.

## 2.6. Drewno kawałkowe - szczapy

Drewno rąbane to najczęściej używane paliwo.

Zalety: Do spalania w kominkach i kotłach lepsze jest drewno liściaste ze względu na większą gęstość oraz mniejszą zawartość żywic kopczących przy spalaniu.

Wady: Drewno kawałkowe używane do spalania powinno być powietrznie suche, co oznacza, że w procesie suszenia w warunkach naturalnych utraciło cały nadmiar wilgoci zawarty w mikroporach miazgi, a pozostała wilgoć znajduje się w stanie równowagi z otaczającym wilgotnym powietrzem. Drewno zaraz po ścięciu może zawierać około 60% wilgoci (Szlachta, 1999). Proces utraty wilgoci jest powolny i zależy od warunków pogodowych.

## 2.7. Gaz ziemny

Zalety: Może być stosowany w domach zlokalizowanych na terenach uzbrojonych w sieć gazową. Eliminuje się w ten sposób zbiorniki na paliwo, oszczędza na miejscu. Opłaty za paliwo są uiszczane dopiero po jego zużyciu.

Wady: Mankamentem natomiast jest to, że paliwo to jest sprowadzane z zagranicy i dostawy gazu są zależne od przedsiębiorstwa zaopatrującego w gaz, a koszt zależy od polityki kształtowania cen. W najbliższych latach prognozowany jest wzrost cen. Istnieje niebezpieczeństwo wybuchu (Mizielińska i Olszak, 2005).

## 2.8. Gaz płynny

Zalety: Odbiorca ma wolny wybór dostawcy. Opłatę można rozłożyć na raty lub rozliczać się co miesiąc w zależności od zużycia po wcześniejszym zamontowaniu gazomierza.

Wady: Wymaga wyposażenia działki w zbiornik nadziemny lub podziemny magazynujący paliwo (konieczne jest przy tym wydanie warunków zabudowy) i co za tym idzie ścieżki połączeniowej zbiornika z kotłem (do w/w przyłącza wymagane jest pozwolenie na budowę). Zbiornik taki musi być usytuowany w odpowiednich odległościach od innych obiektów budowlanych oraz posadowiony na fundamencie i uziemiony. Na zbiorniku musi być zamontowana armatura zabezpieczająca (zawory, reduktor regulujący ciśnienie gazu) i armatura pomiarowa (poziomowskaz). Konieczność uzupełniania zbiornika, gdy napełnienie zbiornika spadnie do 25%. Brak możliwości transportu paliwa na własną rękę. Wyższy koszt za metr sześcienny w stosunku do gazu ziemnego. Cena zimą wyższa niż latem.

Niewątpliwie gaz jako paliwo do podgrzewu wody grzejnej ma zalety: łatwą i czystą obsługę, przy prawidłowym ustawieniu kotła uzyskiwane jest całkowite spalanie i czyste spaliny.

## 2.9. Zestawienie paliw

W tabeli 2 przedstawiono wartości opałów oraz koszt wytworzenia jednostki ciepła 1 GJ bez uwzględnienia sprawności źródła ciepła wybranych paliw.

Tab. 2. Porównanie cen i kosztów wytworzenia jednostki ciepła wybranych paliw

Rodzaj paliwa	Cena (średnia)	Wartość opałowa [GJ/t]	Koszt wytworzenia jednostki ciepła bez uwzględnienia sprawności źródła ciepła
Ekogroszek	0,60-0,80 zł/kg	26,0	23,08-30,77 zł/GJ 0,08-0,11 zł/kWh
Pellet	0,675-0,799 zł/kg	16,0 – 23,0	42,19-34,74 zł/GJ 0,15-0,12 zł/kWh
Drewno	0,08-0,33 zł/kg	11,0-22,0	7,27-15,00 zł/GJ 0,03-0,05 zł/kWh
Zboże (owies)	0,28-0,68 zł/kg	14,0 – 17,0	20,00-40,00 zł/GJ 0,07-0,14 zł/kWh
Wierzba energetyczna	0,30 zł/kg	15,0	20,00 zł/GJ 0,07 zł/kWh
Węgiel kamienny	0,70 zł/kg	24,0 – 31,0	29,17-22,58 zł/GJ 0,10-0,08 zł/kWh
Gaz ziemny	0,95-1,43 zł/m <sup>3</sup>	35,0 - 37,0	27,14-38,65 zł/GJ 0,10-0,14 zł/kWh
Gaz płynny	2,78-4,24 zł/dm <sup>3</sup>	46,0	60,43-92,17 zł/GJ 0,22-0,33 zł/kWh
Olej opałowy	2,24-3,17 zł/dm <sup>3</sup>	42,0	54,00-75,48 zł/GJ 0,20-0,27 zł/kWh
Energia elektryczna	0,23 zł/kWh	-	63,94 zł/GJ 0,23 zł/kWh

## 3. Charakterystyka wybranych źródeł ciepła

Wielu właścicieli domów jednorodzinnych zanim podejmie decyzję o rodzaju źródła ciepła, wcześniej szuka rozwiązania zapewniającego im, jak najtańszy koszt ogrzewania domu, czy podgrzewania ciepłej wody użytkowej. W artykule przedstawiono problem właściciela domu jednorodzinnego, który zdecydował się kilkanaście lat temu na kotłownię olejową na olej opałowy lekki. Niestety okazało się, że nie był to trafny wybór. Stale rosnące ceny oleju opałowego i stan techniczny kotłowni sprawiły, że koszty za ogrzewanie i podgrzew c.w.u. drastycznie wzrosły.

Poniżej przedstawiono propozycję i krótką charakterystykę kotłów na różne paliwa, które można byłoby wziąć pod uwagę przy zmianie kotłowni olejowej na inne, tańsze źródło ciepła. Podano wady i zalety oraz wymagania, jakie powinny być spełnione w odniesieniu do pomieszczenia kotłowni, jeśli właściciel chciałby zdecydować się na dany rodzaj paliwa.

### 3.1. Kotły do spalania paliwa stałego

W kotłach na paliwo stałe mogą być spalane paliwa: węgiel kamienny, węgiel asortymentu orzech, miążwęglowy, węgiel asortymentu groszek, drewno kawałkowe, pellet, biomasa.

Montaż: Jedynie w wersji stojącej.

Wymagania dla kotłowni do 25 kW: Kocioł powinien być umieszczony w wydzielonym pomieszczeniu, możliwie centralnie w stosunku do ogrzewanych pomieszczeń, na fundamencie o minimalnej wysokości 0,05 m nad poziomem podłogi. Odległość tyłu kotła od ściany nie mniejsza niż 0,7 m, boku - nie mniej niż 1 m, przodu - nie mniej niż 2 m. Podłoga i ściany kotłowni muszą być wykonane z materiałów niepalnych. W podłodze konieczny jest wpust podłogowy. Skład paliwa powinien być umieszczony w pobliżu kotła, np. w wydzielonym miejscu, w skrzyni o wielkości takiej, aby można było zgromadzić w niej opał na cały sezon grzewczy. Popiół gromadzony w oddzielnych pojemnikach opróżnianych codziennie. Kanał spalinowy o przekroju minimum 20 cm x 20 cm nie wymaga wkładów kominowych. Podłoga ułożona ze spadkiem w kierunku studzienki odwadniającej. Wysokość pomieszczenia nie mniejsza niż 2,2 m, chyba że jest to budynek istniejący, wtedy dopuszcza się 1,9 m (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r., PN-87/B-02411).

Wentylacja: Nawiewno-wywiewna, grawitacyjna. Nawiew o przekroju co najmniej 200 cm<sup>2</sup> nie wyżej niż 1 m nad podłogą, wywiew pod stropem o wymiarach 14 cm x 14 cm. Kanał wywiewny należy wyprowadzić ponad dach.

Konstrukcje: W niektórych kotłach istnieje możliwość spalania paru rodzajów paliwa.

Kotły bez nadmuchu z górnym spalaniem przystosowane do spalania koksu, węgla, zastępczo drewna; pracują na naturalnym podciśnieniu kominowym. Komora zasypowa jest jednocześnie komorą spalania –

rozżarza się cała objętość paliwa, a spaliny przechodzą przez całą tę rozżarzoną warstwę. Istnieje konieczność częstego dokładania paliwa do ognia, gdyż stałopalność nie przekracza 8 godzin. Sprawność nominalna waha się od 75% do 82% w zależności od producenta. Średnia sprawność eksploatacyjna – 65%. Kocioł o mocy 20 kW kosztuje w granicach od 2 220 do 2 942 zł. Przykładowo kocioł firmy ZĘBIEC SWK 20 kosztuje 2 677 zł brutto ([www.nokaut.pl](http://www.nokaut.pl)).

Kotły bez nadmuchu z dolnym spalaniem – nowocześniejsze i tym samym droższe, przeznaczone do spalania węgla lub sezonowanego drewna. Kotły te zużywają mniej paliwa. Spalanie odbywa się tu w tylnej części komory zasypowej. Spala i rozżarza się nie cała objętość zasypanego paliwa naraz. Spaliny odprowadzane są przez konwekcyjne kanały o wydłużonej drodze i zwiększonej powierzchni wymiany ciepła. Stałopalność może wynieść 18 godzin. Sprawność nominalna waha się – od 75,4% do 84% w zależności od producenta. Średnia sprawność eksploatacyjna – 69%. Kocioł o mocy 20 kW kosztuje w granicach od 3 050 do 5 140 zł. Przykładowo kocioł ZĘBIEC KWKD 22 firmy Zębiec kosztuje 3 386 zł brutto ([www.tworek.pl](http://www.tworek.pl)).

Kotły z nadmuchem wentylatorowym – droższe od wyżej wymienionych, przystosowane do spalania: węgla kamiennego, mialu węglowego i drewna. Powietrze potrzebne do spalania dostarcza wentylator nadmuchowy. Cały proces spalania zarządzany jest mikroprocesorem, który steruje pracą wentylatora i pompy obiegowej c.o. ,zależnie od temperatury wody w kotle, czy w pomieszczeniu. Ich stałopalność na jednym załadunku sięga nawet 36 godzin. Sprawność – powyżej 80%.

Kotły spalające drewno na zasadzie zgazowania drewna – ich stałopalność trwa nawet kilkanaście godzin. Sprawność – na poziomie 90%. Kotły te przystosowane są jedynie do spalania drewna o niskiej zawartości wilgoci.

Kotły z automatycznym podawaniem paliwa – najnowsza generacja do spalania paliwa stałego o odpowiednim rozdrobnieniu: węgiel sortymentu groszek, mial węglowy, trociny, zrębki, brykiety; przystosowane do ciągłej pracy, wyposażone w automatyczny podajnik paliwa z zasobnikiem. Paliwo do kotła transportowane jest za pomocą podajnika ślimakowego, tłokowego lub szufladowego. Kotły te mają palenisko retortowe, ale z możliwością zamontowania rusztu do spalania drewna kawałkowego. Sprawność nominalna waha się – od 86% do 92% w zależności od producenta. Średnia sprawność eksploatacyjna – 78%. Kocioł o mocy 20 kW kosztuje w granicach od 6 699 do 7 990 zł. Przykładowo kocioł Ling M 20 kW firmy Klimosz kosztuje około 10 175 zł brutto ([www.polmark.com.pl](http://www.polmark.com.pl)). Dzięki zainstalowanemu tam zasobnikowi załadunek wystarcza na 3-7 dni.

Kotły do spalania słomy i zboża w palenisku kotła utrzymuje się stosunkowo niską temperaturę w granicach 850°C, aby nie dopuścić do topnienia popiołu. Prowadzenie spalania w takiej temperaturze jest utrudnione i wymaga precyzyjnej automatyzacji doprowadzania słomy i powietrza do komory spalania. Niska temperatura spalania sprzyja obniżeniu własności

korozyjnych chloru, którego w słomie jest kilkanaście razy więcej niż w drewnie.

Konserwacja: Kotły na paliwo stałe zwykle wymagają gruntowego czyszczenia, łącznie z czyszczeniem komina.

Zalety: Wytwórcy stale je ulepszają, zmierzając do efektywniejszego i bardziej ekologicznego spalania paliw stałych. Cechuje je coraz łatwiejsza i wygodniejsza obsługa, automatyzacja procesu spalania, wysoka sprawność, oszczędność na ogrzewaniu, możliwość współpracy z nowoczesnymi instalacjami c.o., dbałość o środowisko naturalne.

Wady: Konieczność usuwania popiołu i żużlu, dość częste zasypywanie paliwa. Możliwość wystąpienia awarii części mechanicznych. Kotły spalające paliwa stałe, a zwłaszcza z automatycznymi podajnikami i zasobnikami paliwa nie są małe, a gdy weźmie się jeszcze pod uwagę wymogi odległościowe to konieczna będzie stosunkowo duża kotłownia.

Sprawność nominalna waha się – od 84,7% do 94% w zależności od producenta. Średnia sprawność eksploatacyjna – 79%. Kocioł o mocy 20 kW kosztuje w granicach od 10 185 do 16 226 zł. Przykładowo kocioł, w którym można spalać słomę BIOWAT U245 firmy METALERG kosztuje około 10 187 zł brutto ([www.metalerg.pl](http://www.metalerg.pl); [www.sanitsystem.pl](http://www.sanitsystem.pl)).

### 3.2. Kominki

Montaż: Umieszcza się go w miarę w centralnej części domu na parterze.

Konstrukcje: Z płaszczem wodnym mogą służyć jako źródło ciepła w budynku jednorodzinny i jednocześnie podgrzewać ciepłą wodę użytkową.

Zalety: Wygląd i tworzenie przemiłej atmosfery. Brak uzależnienia od energii elektrycznej. Cieszą oko i jednocześnie mogą spełniać funkcje grzewcze.

Wady: Kominek jest w stanie ogrzać jedynie niewielki budynek. Wymaga częstego dokładania drewna do paleniska.

Sprawność nominalna waha się – do 92%, w zależności od producenta. Średnia sprawność eksploatacyjna – 75%. Kominek o mocy 20 kW kosztuje w granicach od 2 684 do 7 544 zł. Przykładowo kominek z płaszczem wodnym Oliwia 22 kW firmy KRATKI kosztuje około 3 660 zł brutto ([www.fuego.pl](http://www.fuego.pl)).

### 3.3. Kotły gazowe

Montaż: Kotły te mogą być zawieszane na ścianie, z racji małych gabarytów, bądź stojące zintegrowane już z zasobnikiem ciepłej wody.

Wymagania dla kotłowni do 60 kW: Podłogi i ściany z materiałów niepalnych. Przód kotła oddalony od przegrody budowlanej o co najmniej 1m, bok kotła – o conajmniej 0,5 m, pozostałe strony w takich odległościach, aby umożliwić serwis. Oświetlenie naturalne i sztuczne. Obecność instalacji wodociągowej dla uzupełnienia zładu i instalacji kanalizacyjnej. Kotłownia zlokalizowana może być na dowolnej kondygnacji, w pomieszczeniu niemieszkalnym.

Możliwe konstrukcje: Kotły gazowe z otwartą komorą spalania; z palnikiem atmosferycznym lub z palnikiem wentylatorowym, jednostopniowym, dwustopniowym, czy modulowanym; przepływowe lub pojemnościowe (ze zbiornikiem magazynującym wodę ciepłą). Kotły z zamkniętą komorą spalania. Ich zastosowanie nie wpływa w sposób bezpośredni na zużycie paliwa, są zalecane w domach energooszczędnych, jako nowoczesne i bezpieczne w użytkowaniu. Pobierają powietrze do spalania nie z pomieszczenia, w którym są zainstalowane, ale przewodem wyprowadzonym na zewnątrz budynku. Drugim przewodem, umieszczonym zazwyczaj współosiowo wewnątrz pierwszego, usuwane są na zewnątrz spaliny. Przy spalaniu gazu powstaje para wodna, która unosi duże ilości ciepła, dlatego bardziej proekologiczne są nowoczesne kotły kondensacyjne, w których para ulega skropleniu, a ciepło oddawane podczas tego procesu jest przekazywane do wymiennika, co zwiększa ilość ciepła uzyskaną z takiej samej ilości paliwa (zwiększa to sprawność takiego kotła do ponad 100%), tym samym zmniejsza zużycie paliwa nawet do 20%. Powstający kondensat ma bardzo silnie kwaśny odczyn. W kotłach o mocy do 25 kW skropliny mogą być wprowadzane bezpośrednio do domowej kanalizacji (bez ich neutralizowania), pod warunkiem, że użyte materiały są odporne na korozję: kamionka, twarde PVC, polietylen, polipropylen. Rozwiązanie to wymaga specjalnego systemu odprowadzenia spalin, gdyż spaliny po skropleniu stają się zimne i nie są usuwane na zasadzie różnicy gęstości. Konieczne są kanały spalinowo – nawiewne, które posiadają wydajniejszy układ cyrkulacyjny i są odporne na korozję. Do kotłów z otwartą komorą spalania wystarczające są kominy ze stali kwasoodpornej jednościenne. Kotły gazowe mogą mieć wymienne palniki.

Wentylacja: Wywiewno-nawiewna. Dopuszcza się nawiew powietrza zewnętrznego z sąsiednich pomieszczeń.

Konserwacja: Polega na sprawdzeniu elementów doprowadzających paliwo i palnika gazowego pod kątem szczelności i drożności, dokonanie odpowiednich nastaw proporcji gazu i powietrza. Oprócz tego (w każdej kotłowni niezależnie od typu kotła) konieczny jest przegląd wszystkich części mechanicznych: wentylatora, pompy obiegowej, mieszacza; zaworów odcinających (na szczelność); elementów zabezpieczających (zaworu bezpieczeństwa, filtra siatkowego, czujnika wypływu spalin, naczynia wzbiorczego).

Zalety: Producenci tych urządzeń stale je doskonalą, dzięki temu zajmują one coraz mniej miejsca, stają się bezpieczniejsze i efektywniejsze, poprawiono także ich wygląd na estetyczniejszy, są lepiej izolowane dla zmniejszenia strat u źródła, prostsze w obsłudze, po części zautomatyzowane, wyposażone w urządzenia i armaturę pomocniczą, tj. zawory: bezpieczeństwa, przyłączający, przepływu, spustowy, napełniający, przyłącze do naczynia wzbiorczego; pompy obiegu grzewczego; odpowietrznik; manometr; ogranicznik temperatury spalin; system odprowadzenia spalin i kondensatu. Mogą być

montowane w kuchni, łazience, w przedpokoju, kotłowni, na strychu, w piwnicy. Niska emisja spalin.

Sprawność nominalna waha się – od 93% do 109% w zależności od producenta. Średnia sprawność eksploatacyjna – 85-88%. Kocioł o mocy 20 kW kosztuje w granicach od 3 628 do 13 100 zł. Przykładowo kocioł kondensacyjny PRESTIGE 24 firmy ACV o mocy 20 kW kosztuje około 10 360 zł brutto ([www.ogarek.eu](http://www.ogarek.eu)).

### 3.4. Kotły do spalania gazu płynnego

Montaż: Łatwe w montażu. Kotły te różnią się od kotłów gazowych jedynie palnikiem, dlatego jeśli w okolicy jest planowany rozwój sieci gazowej warto zainstalować taki kocioł i w razie potrzeby wymienić tylko dysze.

Wymagania dla kotłowni opalanej gazem płynnym: Kotłownia musi znajdować się nad poziomem terenu, podłoga powinna być gładka pozbawiona progów przy drzwiach, w razie awarii gaz cięższy od powietrza musi mieć możliwość wydostania się na zewnątrz.

Wentylacja: Nawiewno-wywiewna. Otwory wentylacyjne nie mniejsze niż 18 cm<sup>2</sup>, wywiew umieszczony, jak najbliżej podłogi.

Konstrukcja: Pewnym nowum w tej branży są niskotemperaturowe kotły grzewcze. Jeżeli w domu ma być zastosowany niskotemperaturowy system ogrzewania, to nie istnieje potrzeba kupowania tradycyjnego kotła wysokotemperaturowego. Warto, wtedy zakupić kocioł niskotemperaturowy, który umożliwi obniżenie kosztów ogrzewania o 5-10%. Temperatura wody grzewczej, uzyskiwana w takim kotle na zasilaniu, nie przekracza 75°C, ale może się obniżyć do 40°C i mniej, bez występowania korozji, a więc i niszczenia kotła. Jest to korzystne zwłaszcza w kotłach, które pracują również w lecie, podgrzewając ciepłą wodę użytkową ([www.ogrzewnictwo.pl](http://www.ogrzewnictwo.pl)).

Konserwacja: Urządzenia w kotłowni na paliwo gazowe propan-butan należy konserwować analogicznie, jak w przypadku kotłowni na gaz ziemny.

Zalety: Zaletami takiego rozwiązania są: pełna automatyka, możliwość programowania sterowania, zdolność regulacji procesu ogrzewania, prosta obsługa (kocioł sam pobiera paliwo), stała gotowość do pracy, mała emisja zanieczyszczeń.

Wady: Znaczne koszty inwestycyjne – kotła, jak i ścieżki paliwowej. Ograniczenia co do projektowania i usytuowania pomieszczenia kotłowni. Kocioł opalany gazem propan-butan wymaga też częstszego czyszczenia. Gaz propan-butan należy do najdroższych obecnie paliw na rynku, dlatego nie jest zalecany i nie będzie brany pod uwagę podczas modernizacji kotłowni olejowej. Koszt wytworzenia 1 GJ energii przy tym paliwie waha się w zależności od rynkowej ceny jednostkowej od 60,43zł/GJ do 92,17 zł/GJ. Koszty wytworzenia jednostki ciepła wybranych paliw zestawione są w tab. 1.

Sprawność nominalna waha się – od 92% do 97% w zależności od producenta. Średnia sprawność eksploatacyjna – 85 - 88%. Kocioł o mocy 20 kW kosztuje w granicach od 4 799 do 12 381 zł. Przykładowo kocioł firmy DeDietrich o mocy 20 kW kosztuje około

7 000 zł brutto. Do tego należy doliczyć zakup lub dzierżawę butli do gazu propan-butan.

### Literatura

- Mizielińska K., Olszak J. (2005). Gazowe i olejowe źródła ciepła małej mocy. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*. Warszawa 2005.
- Szlachta J. (1999). Niekonwencjonalne źródła energii. *Wydawnictwo Akademii Rolniczej*, Wrocław 1999.
- Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie

### THE “ECO SMALL COAL” – A WAY TO CHEAPER AND MORE ECOLOGICAL SINGLE-FAMILY HOUSE HEATING. Part 1: THE FUEL AND THE BOILER SELECTION

**Abstract:** The paper aim is to present and compare modern, the most effective heat sources (max. power 20 kW) applied in the single-family houses. Only the conventional fuels were considered. Authors present the short characteristics of the chosen fuels and heat sources in dependence on the fuel kind, considering the pros and cons of the selected boiler rooms. The heat values of selected fuels (pellets, wood, corn, energetic willow, coal, natural gas and propane-butane), and the costs of the heat unit generation, in comparison with the “eco small coal” (milled coal, grain diameter 8-25 mm, low contents of sulfur and ash) were shown in the papaer.

Pracę wykonano w ramach realizacji zadania statutowego S/WBiS/23/08 realizowanego w Politechnice Białostockiej

## MODERNIZACJA KOTŁOWNI OLEJOWEJ NA KOTŁOWNIĘ SPALAJĄCĄ EKOGROSZEK W POŁĄCZENIU Z NIEKONWENCJONALNYM ŹRÓDŁEM CIEPŁA

Paulina ANCHIM<sup>a</sup>, Joanna PIOTROWSKA-WORONIAK<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup>student, Politechnika Białostocka, Inżynieria Środowiska V rok

<sup>b</sup>Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono sposób zamiany istniejącej wyeksploatowanej kotłowni olejowej na kotłownię na ekogroszek z wykorzystaniem niekonwencjonalnych źródeł ciepła (kolektorów słonecznych i pompy ciepła) w celu obniżenia kosztów wytwarzania energii cieplnej w domu jednorodzinny. Rozważono dwa warianty modernizacji kotłowni olejowej. W wariantcie I przyjęto rozwiązanie technologiczne kotłowni na ekogroszek współpracującej z kolektorami słonecznymi wspomagającymi podgrzewanie c.w.u. w budynku, zaś w wariantcie II przyjęto rozwiązanie technologiczne kotłowni na ekogroszek, ale współpracującej z pompą ciepła, w układzie bivalentnym, wspomagającym centralne ogrzewanie. Przedstawiono koszt wykonania zaproponowanego przedsięwzięcia modernizacyjnego i roczne oszczędności.

*Słowa kluczowe:* ekogroszek, kolektory słoneczne, pompa ciepła, koszty, modernizacja kotłowni, roczne oszczędności.

### 1. Wstęp

Coraz większym zainteresowaniem w Polsce cieszą się niekonwencjonalne źródła ciepła. Jest to wpływ po części medialnego nacisku na ochronę otaczającej nas przyrody i dbałość o minimalizację zanieczyszczeń. Dotyczy to odpadów stałych w kotłowni, takich jak: popiół, żużel, sadza z komina; ciekłych: powstający kondensat, nieczystości powstające w trakcie płukania/mycia kotła/kotłowni oraz gazowych: gazy emitowane przez komin: CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, związki siarki, i inne, opary i ulatnianie się paliw z przecieków. Po wtóre: ludzie chcąc oszczędzać (w formie niższych rachunków) sami przekonują się, że lepiej jest raz zainwestować więcej i potem mieć niższe koszty eksploatacyjne.

Ale ceny niekonwencjonalnych źródeł ciepła nadal skutecznie odstrasza.

W artykule przedstawiono i porównano dwa niekonwencjonalne źródła ciepła wspomagające kocioł konwencjonalny opalany ekogroszkiem. W wariantcie I – wykorzystano kolektory słoneczne, zaś w wariantcie II – pompę ciepła.

### 2. Charakterystyka paliw

#### 2.1. Energia słońca

Do wspomaganie centralnego ogrzewania i podgrzewu ciepłej wody użytkowej warto wykorzystać energię słoneczną, gdyż woda nawet podgrzana o parę stopni to korzyści ekonomiczne.

Słońce emituje na Ziemię promieniowanie bezpośrednie - jest to tzw. nasłonecznienie oraz pośrednie, stała słoneczna, która uległa odbiciu i zostaje pochłonięta przez cząsteczki gazów i pyłów, a następnie przez nie wyemitowana. Wynika, że gdy nad kolektorami słonecznymi wiszą chmury to, są one również zasilane promieniami odbitymi i wyemitowanymi, dlatego zachmurzenie krótkotrwałe nie wpływa negatywnie na pracę kolektorów. Niewątpliwie na pracę kolektorów ma wpływ: temperatura powietrza zewnętrznego, pora roku (kąt padania promieni słonecznych i długość dnia - okres wiosenno-letni -  $\frac{3}{4}$  rocznego promieniowania (Drzazga, 2007) oraz położenie geograficzne.

W Polsce najefektywniejsze są rejony pasa nadmorskiego (warto zauważyć, że są tu duże ilości promieni odbitych od tafli wody). Najmniej korzystne natomiast są tereny uprzemysłowione Śląska.

Zalety: Słońce to bezpłatna niewyczerpywalna energia,

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: asia@pb.bialystok.pl



czysta, nie mająca negatywnego wpływu na środowisko. Jej wykorzystanie nie pociąga za sobą produkcji dwutlenku węgla, nie zanieczyszcza otoczenia. Optymalnie dobrana instalacja solarna pozwala zaoszczędzić rocznie średnio 70% kosztów ogrzania wody i 15-30% kosztów ogrzania budynku (Drzazga, 2007).

Wady: W Polsce w okresie jesienno-wiosennym mamy tylko  $\frac{1}{4}$  rocznego promieniowania. Z tego względu w naszych warunkach system solarny nie jest w stanie w pełni pokryć całorocznego zapotrzebowania na c.w.u. i c.o. Koniecznym jest brakującą część energii pozyskiwać ze źródeł konwencjonalnych.

## 2.2. Energia z wnętrza Ziemi

Energia z wnętrza ziemi jest alternatywnym wyjściem dla tradycyjnych rozwiązań. Źródłem energii może być grunt, woda, powietrze. Temperatury tych źródeł zależą od ich rodzajów (najwyższe temperatury uzyskamy w studniach głębinowych, następnie studniach gruntowych, gruntach wilgotnych, zbiornikach powierzchniowych, a najniekorzystniejsze jest pozyskiwanie ciepła z powietrza) i pory roku (wydajność grzejna pomp ciepła jest o tyle mniejsza, o ile jest niższa temperatura powietrza). Im głębiej posadowiony wymiennik niskotemperaturowy, tym wyższą temperaturę uzyskujemy, a co za tym idzie wyższe efektywności i mniejsze wahania temperatury (Lewandowski, 2001).

Zalety: Energia ta jest bezpłatna, czysta i niewyczerpywalna.

Wady: Brak wiedzy jaki wpływ na środowisko ma długoterminowe wykorzystywanie wymiennika gruntowego, wodnego, powietrznego. Przy szczytowym zapotrzebowaniu na moc cieplną może okazać się, że energia cieplna pobierana z naturalnych źródeł dolnych jest niewystarczająca i powinna być wspierana dodatkowym konwencjonalnym źródłem ciepła.

## 3. Charakterystyka źródeł ciepła

### 3.1. Kolektory słoneczne

Montaż: Kolektory montuje się w najbardziej nasłonecznionym miejscu, najczęściej jest to dach, ale może być również elewacja budynku lub na powierzchni gruntu na specjalnych stelażach. Najlepsze efekty pozyskiwania ciepła mają kolektory ustawione prostopadle do padania promieni słonecznych w kierunku południowym. W Polsce kolektory słoneczne są wykorzystywane do podgrzewu ciepłej wody i czasami do wspomaganie c.o., nigdy nie są samodzielną instalacją.

Konstrukcje: Typowy kolektor słoneczny składa się z: absorbera, osłony, izolacji, instalacji z armaturą (układ pompowy), układu regulacji, obudowy i konstrukcji nośnej. Koniecznym jest również wyposażenie instalacji w zbiornik magazynujący wodę podgrzaną, który dobiera się ze względu na dobowe zapotrzebowanie na wodę danego odbiorcy. Kolektory mogą być płaskie bądź

rurowe, próżniowe, cieczkowe, gazowe, mieszane (Pluta, 2007).

Konserwacja: Serwisu może jedynie dokonywać specjalistyczna firma.

Zalety: Kolektory słoneczne korzystają z darmowego promieniowania słonecznego docierającego na powierzchnię ziemi. Nie ingerują w środowisko naturalne, istnieje możliwość łączenia kolektorów w baterie łączone szeregowo lub równoległe i możliwość tworzenia układów hybrydowych z pompą ciepła (parownik pompy ciepła znajduje się bezpośrednio w kolektorze słonecznym). Systemy solarne są dostępne na rynku w pakietach, dzięki czemu kupujący nie musi dobierać poszczególnych jego elementów.

Wady: Wraz z większą różnicą temperatury czynnika na wylocie z kolektora i temperaturą otoczenia generowane są większe straty ciepła. Uzależnienie od promieniowania słonecznego, przy dużym zachmurzeniu małe wykorzystanie. Konieczność czyszczenia powierzchni kolektora – zakurzony ma niższą sprawność. Koszt zestawu kolektorów słonecznych przeznaczonych dla 5 osobowej rodziny wynosi od 7 695 do 23 980 zł w zależności od producenta. Sprawność kolektorów słonecznych wynosi od 75% do 85% sprawność zmienia się w zależności do natężenia promieniowania i różnicy temperatur w stosunku do otoczenia. Przykładowy zestaw solarny z 2 kolektorami firmy Hoval wynosi 13 000 zł brutto (Katalog firmy Homal, 2009).

### 3.2. Pompa ciepła

Montaż: Sama pompa ciepła jest niewielkich gabarytów i nie zajmuje wiele miejsca w kotłowni. Jednakże, aby pompa ciepła mogła działać konieczne jest źródło ciepła niskoparametrowe, jakim jest wymiennik umiejscowiony w gruncie, wodzie lub powietrzu.

Konstrukcje: Pompa ciepła składa się z takich podstawowych części jak: sprężarka, dwa wymienniki ciepła: skraplacz i parownik oraz zawór rozprężny. Stroną niskoparametrową jest wymiennik, który może być zbudowany z kolektora poziomego lub pionowego.

Zalety: Pompy ciepła korzystają z zasobów cieplnych ziemi. Umożliwiają przemianę ciepła o niskiej temperaturze w ciepło o wysokiej temperaturze. Dzięki tym urządzeniom właściciel może zaoszczędzić połowę kosztów eksploatacyjnych w porównaniu do kotłów gazowych czy olejowych. Charakteryzują się niewielkim poborem energii elektrycznej, tylko do napędu sprężarki i pompy obiegu czynnika w pompie ciepła. Pracuje bez emisji jakichkolwiek substancji szkodliwych dla środowiska (Balcerowska, 2009).

Wady: Konieczność posiadania dużej działki, w przypadku zastosowania wymienników gruntowych poziomych. Bardzo wysoki koszt inwestycyjny zniechęcający społeczność polską. Brak dotacji i wsparcia projektu ze strony państwa. Zwrot kosztów po kilkunastu latach, a nie mamy jeszcze pewności co do żywotności tego rozwiązania. W warunkach jakie panują w Polsce, (czyli ostre zimy) pompa ciepła nie powinna być jedynym

źródłem energii cieplnej budynku, co podraża koszty inwestycyjne. Wymiennik gruntowy powinien być instalowany poniżej głębokości zamarzania gruntu, co również podraża koszty inwestycyjne. Niemożność wykorzystania gruntu, pod którym umiejscowiony jest wymiennik gruntowy. Koszt pompy ciepła o mocy grzewczej 20 kW wynosi od 35 214 do 44 000 zł w zależności od producenta pompy. Sprawność pomp ciepła waha się od COP = 3,0 do COP = 6,0. Przykładowy koszt pompy ciepła bez oprzyrządowania firmy Hoval wynosi 33 000 zł brutto.

#### 4. Modernizacja kotłowni olejowej w domu jednorodzinnym

##### 4.1. Obiekt modernizacji

Modernizowana jest 20 letnia kotłownia w domu jednorodzinnym, generująca ogromne koszty eksploatacyjne i wymagająca w sezonie grzewczym częstych napraw. Projektowe obciążenie cieplne budynku 20 kW, zapotrzebowanie mocy na cele c.w.u. 9 kW. Powierzchnia domu: 170 m<sup>2</sup>. Powierzchnia działki: 400 m<sup>2</sup>, w tym pod zabudową 100 m<sup>2</sup>.

W opracowaniu rozpatrzone będą dwa warianty modernizacji istniejącej kotłowni olejowej, a mianowicie:

Wariant I: zastąpienie istniejącego kotła olejowego kotłem przystosowanym do spalania ekogroszku ze wspomaganie podgrzewu ciepłej wody użytkowej za pomocą kolektorów słonecznych.

Wariant II: zastąpienie istniejącego kotła olejowego pompą ciepła z wymiennikiem gruntowym, pracującą w układzie bivalentnym z kotłem przystosowanym do spalania ekogroszku.

##### 4.2. Wariant I modernizacji

Wspomaganie podgrzewu ciepłej wody użytkowej panelami solarnymi.

Pracę kotła na ekogroszek DEFRO KOMFORT EKO 15 kW wsparto systemem solarnym zaprojektowanym dla 5 osobowej rodziny. Zawartość pakietu obejmuje: 3 kolektory słoneczne Dietrisol ECO 2, podgrzewacz solarny S 400-2P, regulator solarny Diemasol A, haki dachowe, zestaw podłączeniowy kolektorów, naczynie wzbiorcze i zestaw pompowy do utrzymania stałego krążenia czynnika – glikolu w obiegu. Kolektory słoneczne umieszczono na dachu skierowanym na południową stronę, z pochyleniem 45°, co umożliwi optymalne padanie promieni słonecznych prostopadle do powierzchni absorbera. Latem kolektory pokrywać będą 100% zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową. Zimą natomiast pokryją 60% tegoż zapotrzebowania, co stanowić będzie około 5,4 kW mocy. Kotłownia z zestawem solarnym jest dwa razy droższa od wariantu pierwszego. Mimo to warto zainwestować już teraz w nowoczesność, gdyż słońce należy do „paliw” niewyczerpywalnych, a zastosowanie wysokiej jakości materiałów umożliwia uzyskanie optymalnego wykorzystania energii i wysokiej sprawności. W instalacji

wymieniono podgrzewacz ciepłej wody użytkowej na podgrzewacz z dwiema węzownicami (dolna solarna i górna kotłowa) dzięki czemu woda w tym podgrzewaczu może być podgrzewana z dwóch źródeł jednocześnie. Regulator solarny pozwala na precyzyjną obsługę i nastawę parametrów regulacji optymalnego działania instalacji solarnej. Część kotłową zaprojektowano, jak dla wariantu I, z wyjątkiem kotła, który przy wspomaganie kolektorów słonecznych może mieć teraz mniejszą moc grzewczą. Na rysunku 1 przedstawiono schemat technologiczny kotłowni opalanej ekogroszkiem wspomagającej podgrzew c.w.u. za pomocą kolektorów słonecznych.

##### 4.3. Wariant II modernizacji

Inwestor ma do dyspozycji działkę o powierzchni 300 m<sup>2</sup>, zostanie ona wykorzystana do ułożenia kolektora gruntowego, na głębokości 1,2 m. Zaproponowany układ wymaga dwóch zbiorników: zbiornika buforowego Hoval EnerVal 300, dla utrzymania odpowiedniego przepływu wody grzewczej, wyeliminowania częstego włączania i wyłączania się pompy ciepła Hoval Thermalia W10W35 typu 8P o mocy 10,5 kW, a także gromadzenia energii cieplnej oraz podgrzewacza ciepłej wody z dwiema węzownicami Hoval MultiVal ERR 300. W systemie tym konieczne są pompy wymuszające przepływy czynników dla pokonania oporów wszystkich urządzeń. Zaprojektowano trzy pompy 25P0r-40C LFP firmy Leszno i pompę WILO IL po stronie zimnej instalacji. Każdy obieg powinien być wyposażony w grupę bezpieczeństwa: naczynie wzbiorcze, zawór bezpieczeństwa, zawór zwrotny za pompą. Całość będzie sterowana wbudowanym w pompę ciepła regulatorem ciepła TopTronic T/N i regulatorem kotłowym. Część kotłową zaprojektowano, jak dla wariantu I z wyjątkiem kotła. Jest to jednak inwestycja niosąca za sobą ogromne koszty, które podraża zakup pompy ciepła.

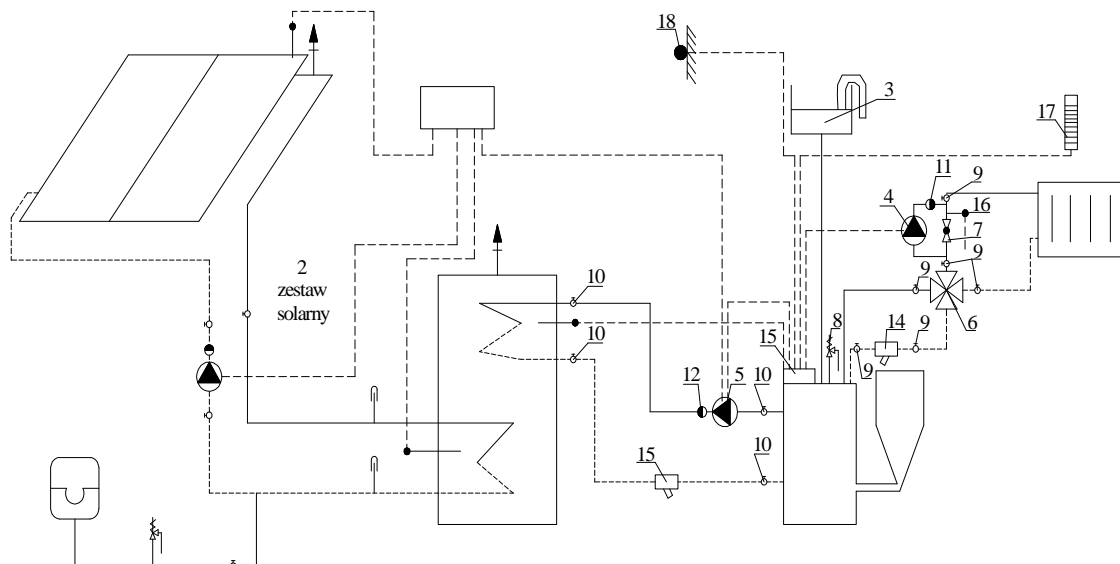
#### 5. Obliczenie nakładów inwestycyjnych dla poszczególnych wariantów kotłowni

W tabeli 1 zestawiono nakłady inwestycyjne zaproponowanego przedsięwzięcia w ramach wariantu I, zaś w tabeli 2 zestawiono nakłady inwestycyjne zaproponowanego przedsięwzięcia w ramach wariantu II. Koszt urządzeń i armatury obliczono w oparciu o cenniki firm instalacyjnych.

#### 6. Zużycia paliwa w sezonie grzewczym

##### 6.1. Zużycie oleju opałowego lekkiego

W rozpatrywanym domu jednorodzinnym roczne zużycie oleju wynosiło 4 305 dm<sup>3</sup>/sezon grzewczy i 236 dm<sup>3</sup>/sezon letni. Koszty paliwa ponoszone przez właściciela z tytułu ogrzewania i podgrzewu ciepłej wody



Rys. 1. Schemat kotłowni opalanej ekogroszkiem z systemem solarnym: 1 - kocioł, 2 - zestaw solarny, 3 - naczynie wyrównawcze otwarte, 4 - pompa obiegowa, 5 - pompa ładująca c.w.u., 6 - zawór czterodrogowy, 7 - zawór różnicowy, 8 - zawór bezpieczeństwa, 9 - zawór odcinający 1", 10 - zawór odcinający 1/2", 11 - zawór zwrotny 1", 12 - zawór zwrotny 1/2", 13 - filtr siatkowy 1", 14 - filtr siatkowy 1/2", 15 - regulator kotłowy, 16 - czujnik temperatury zasilającej, 17 - czujnik temperatury pokojowej, 18 - czujnik temperatury zewnętrznej

Tab. 1. Zestawienie nakładów inwestycyjnych kotłowni na ekogroszek z kolektorami słonecznymi

L.p.	Wyszczególnienie	Ilość [szt]	Cena jednostkowa [zł/szt]	Koszt całkowity [zł] z VAT -em
1	Kocioł c.o. DEFRO KOMFORT EKO 15 kW	1	6 346,00	6 346
2	Zestaw solarny Dietrisol Light 400-6	1	12 990,00	12 990
3	Naczynie wzbiorcze otwarte BASCO NW-15, o pojemności 15 litrów	1	65,30	65
4	Pompa obiegowa c.o.25P0r-40C LFP Leszno, wysokość podnoszenia do 4m	1	315,00	315
5	Pompa ładująca c.w.u.25P0r-40C LFP Leszno, wysokość podnoszenia do 4m	1	315,00	315
6	Zawór czterodrogowy mieszający, WOMIX 1" DN25 FV + siłownik WOMIX MP 06	1+1	419,0	419
7	Zawór różnicowy ZRCO DN-25 (1125)	1	20,60	21
8	Zawór bezpieczeństwa SYR 1915 1,5 bar	1	76,50	77
9	Zawór odcinający 1"	1	9,40	47
10	Zawór odcinający 1/2"	3	4,20	13
11	Zawór zwrotny 1"	1	8,30	8
12	Zawór zwrotny 1/2"	1	5,30	5
13	Filtr siatkowy MI-0, 1" , Infracorr	1	226,00	226
14	Filtr siatkowy MI-mini, 1/2", Infracorr	1	110,00	110
15	Regulator kotłowy RK-2006L	1	380,00	380
16	Czujnik temperatury wody zasilającej, zanurzeniowy KTY 81-210	1	31,00	31
17	Czujnik temperatury pokojowej CP-1	1	15,00	15
18	Czujnik temperatury zewnętrznej CZ-1	1	25,00	25
19	Przewody		860,40	860
RAZEM [M]:				22 268

Całkowite koszty nakładów inwestycyjnych zostały obliczone na podstawie „Zbioru jednostkowych wskaźników cenowych z zakresu budownictwa ogólnego, mieszkaniowego oraz przemysłowego” z zależności:

Materiały [M]	22 268 zł
Robocizna [R]= 20% [M]	4 454 zł
Koszty pośrednie [Kp]= 67% [R]	2 984 zł
Koszty zakupu [Kz]= 8% [M]	1 781 zł
Zysk [Z]= 12,6% [R i Kp]	937 zł
Prace demontażowe [Pd]= 25% [R]	516 zł
Wykonanie dokumentacji technicznej [Dt]	1 113 zł
Koszt całkowity wariantu I:	34 053 zł brutto

Tab. 2. Zestawienie nakładów inwestycyjnych kotłowni na ekogroszek z pompą ciepła i wymiennikiem gruntowym

Lp	Wyszczególnienie	Ilość [szt]	Cena jednostkowa [zł/szt]	Koszt całkowity [zł]
1	Kocioł c.o. DEFRO KOMFORT EKO 15 kW	1	6 346,00	6 346
2	Zbiornik buforowy Hoval EnerVal 300	1	2 188,00	2 188
3	Podgrzewacz wody z dwiema węzownicami Hoval MultiVal ERR 300	1	4 700,00	4 700
4	Pompa ciepła Hoval Thermalia W10W35 typu 8P	1	25 617,00	25 617
5	Naczynie zbiorcze otwarte BASCO NW-15, o pojemności 15 litrów	1	65,30	65
6	Naczynie przeponowe Reflex NG140, 50 l	1	688,00	688
7	Naczynie przeponowe Reflex NG35, 35 l	3	182,00	546
8	Pompa 25P0r-40C LFP Leszno, wysokość podnoszenia do 4 m	3	315,00	945
9	Pompa strona zimna, pompa dławnicowa WILO IL	1	400,00	400
10	Zawór trójdrogowy mieszający, WOMIX 1" DN25 FV + siłownik WOMIX MP 06	3	231,30	694
11	Zawór różnicowy ZRCO DN-25 (1125)	1	20,60	21
12	Zawór bezpieczeństwa SYR 1915 1,5 bar	1	76,50	77
13	Grupa podłączenia naczynia zbiorczego przeponowego	3	312,10	936
14	Zawory odcinające	22	5,60	123
15	Zawory zwrotne	4	6,20	25
16	Regulator kotłowy RK-2006L	1	380,00	380
17	Filtry siatkowe	4	226,00	904
18	Czujnik temperatury zanurzeniowy KTY 81-210	9	31,00	279
19	Czujnik temperatury pokojowej CP-1	1	15,00	15
20	Czujnik temperatury zewnętrznej CZ-1	1	25,00	25
21	Przewody wymiennika gruntowego, rura polietylenowa DN32x2,9, Wirsbo	440	3,00	1324
22	Przewody		1 376,60	1377
RAZEM [M]:				47 675

Całkowite koszty nakładów inwestycyjnych zostały obliczone na podstawie „Zbioru jednostkowych wskaźników cenowych z zakresu budownictwa ogólnego, mieszkaniowego oraz przemysłowego” z zależności:

Materiały [M]	47 675 zł
Robocizna [R]= 20%[M]	9 535 zł *
Koszty pośrednie [Kp]= 67%[R]	6 388 zł
Koszty zakupu [Kz]= 8%[M]	3 814 zł
Zysk [Z]= 12,6%[R i Kp]	2 006 zł
Prace demontażowe [Pd]= 25%[R]	516 zł
Wykonanie dokumentacji technicznej [Dt]	2 384 zł
Koszt całkowity wariantu II:	73 695 zł brutto

\* - nie uwzględniono kosztów wykonania wykopów

Tab. 3. Roczne oszczędności kosztów ogrzewania i ciepłej wody użytkowej z tytułu wprowadzenia źródeł niekonwencjonalnych

Paliwo	Wartość opała przyjęta do obliczeń [kJ/kg]	Cena [zł/kg]	Sprawność eksploatacyjna kotła [%]	Zużycie paliwa w sezonie grzewczym [kg/sezon]	Zużycie paliwa w sezonie letnim [kg/sezon]	Koszt paliwa w sezonie grzewczym [zł/sezon]	Koszt paliwa w sezonie letnim [zł/sezon]	Koszt roczny [zł/rok]	Roczne oszczędności [zł/rok]
Ekogroszek	26 000	0,60	78	7 489	411	4493	247	4 740	5 432
Ekogroszek z systemem solarnym	26 000	0,60	78	5 467	wykorzystanie energii ze źródeł	3280	0	3 280	6 892
Ekogroszek z pompą ciepła	26 000	0,60	78	3 557	niekonwencjonalnych	2134	0	2 134	8 038

użytkowej kotłowni olejowej wynosiły dotychczas 9 643 zł. Średni koszt zakupu paliwa przez właściciela budynku wyniósł 2,24 zł/dm<sup>3</sup>.

#### 6.2. Prognozowe wyliczenie zużycia ekogroszku przy wspomaganiu podgrzewu ciepłej wody energią słoneczną

Ponieważ dobór kolektorów słonecznych zapewniających 100% pokrycie zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową w ciągu całego roku jest inwestycją nieopłacalną, przyjęto że kolektory słoneczne w okresie letnim pokrywać będą około 100% zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową, zaś w okresie przejściowym około 60%. Moc jednostki kotłowej w domu jednorodzinnym wynosić będzie  $Q = 20 - (9 \cdot 0,6) = 14,6$  kW.

Zużycie ekogroszku w warunkach obliczeniowych kształtuje się na poziomie 5 467 kg/sezon grzewczy, po uwzględnieniu ceny jednostkowej, wynoszącej 0,60 zł koszt paliwa wyniesie 3 280 zł na rok i jest on o 1 460 zł niższy niż w kotłowni, w której nie ma wspomaganie c.w.u. za pomocą kolektorów słonecznych. Do obliczeń nie był brany pod uwagę wzrost ceny paliwa – ekogroszku.

#### 6.3. Prognozowe zużycie ekogroszku przy wspomaganiu centralnego ogrzewania za pomocą pompy ciepła

Zaprojektowana pompa ciepła o mocy 10,5 kW pozwala na dobór kotła na ekogroszek pracującego w układzie biwalentnym, znacznie mniejszego, niż miało to miejsce w wariantcie I, bo o mocy cieplnej około 9,5 kW. W tym wypadku zużycie ekogroszku w warunkach obliczeniowych kształtuje się na poziomie 3 557 kg/sezon grzewczy. Po uwzględnieniu ceny jednostkowej, wynoszącej 0,60 zł koszt paliwa wyniesie 2 134 zł na rok. Koszt ten jest mniejszy w porównaniu z taką samą kotłownią, ale bez pompy ciepła o 2 606 zł. Mniejszy jest także w porównaniu z kotłownią na ekogroszek współpracującą z kolektorami słonecznymi o 1 146 zł.

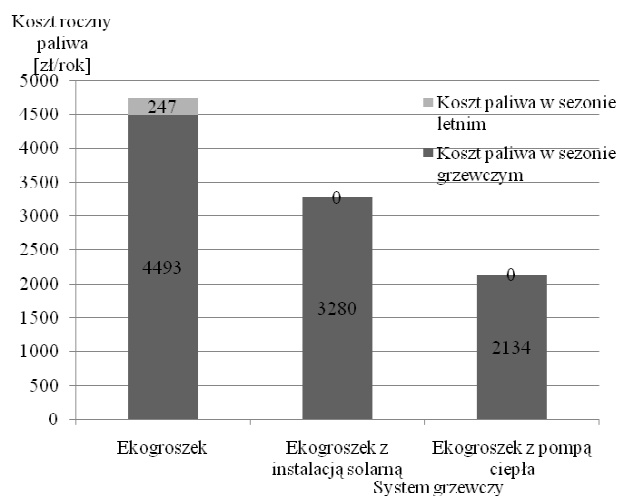
#### 6.4. Zestawienie otrzymanych wyników

W tabeli 3 przedstawiono koszty paliwa, jakie ponosiłby właściciel domu jednorodzinnego w sezonie grzewczym na cele c.o. i c.w.u., przy ogrzewaniu budynku w sposób tradycyjny za pomocą kotłowni na ekogroszek; przy wykorzystaniu kolektorów słonecznych do podgrzewu ciepłej wody użytkowej oraz przy wykorzystaniu pomp ciepła do centralnego ogrzewania w układzie biwalentnym z kotłem na ekogroszek. W tabeli 3 zamieszczone zostały także roczne oszczędności w obu wariantach z wykorzystaniem źródeł niekonwencjonalnych w kotłowni na ekogroszek oraz oszczędność rocznych kosztów w przypadku zamiany kotłowni olejowej na kotłownię spalającą tylko ekogroszek.

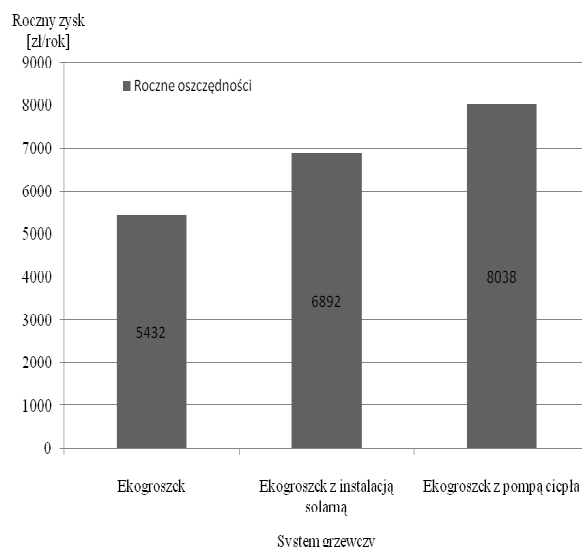
#### 6.5. Porównanie rocznych kosztów zużycia paliwa

Na rysunku 3 przedstawiono porównanie prognozowych rocznych kosztów zużycia paliwa, jakie należałoby ponieść w domu jednorodzinnym na cele grzewcze i podgrzew ciepłej wody użytkowej w 5 osobowej rodzinie, w przypadku kotłowni spalającej ekogroszek współpracującej z kolektorami słonecznymi oraz kotłowni na ekogroszek, ale współpracującej z pompami ciepła. Przedstawiono także koszty, jakie należy ponieść na cele grzewcze i cele c.w.u. w kotłowni opalanej wyłącznie ekogroszkiem.

Na rysunku 4 przedstawiono natomiast roczne oszczędności, jakie może osiągnąć właściciel domu jednorodzinnego rozbudowując kotłownię spalającą wyłącznie ekogroszek, o źródła niekonwencjonalne, w tym przypadku instalację solarną i pompę ciepła.



Rys. 3. Roczny koszt zużycia paliwa na cele c.o. i c.w.u. przy zastosowaniu źródeł niekonwencjonalnych



Rys. 4. Roczna oszczędność kosztów z tytułu ogrzewania i podgrzewu c.w.u. przy rozbudowie kotłowni na ekogroszek, w wariantcie I o instalację solarną, w wariantcie II – o pompę ciepła

## 7. Podsumowanie i wnioski

Po wykonaniu systemu grzewczego według wariantu I właściciel domu każdego roku oszczędzałby około 6 892 zł na paliwie stałym za sprawą zainstalowanego systemu solarnego. Dzięki temu całkowity nakład inwestycyjny nowej kotłowni z instalacją „słoneczną” zwróciłby się już po niecałych pięciu latach.

Inwestor w celu maksymalizacji oszczędności może skorzystać z wariantu II, a mianowicie ze wspomaganie pracy kotła pompą ciepła. W tym przypadku roczny zysk wyniósłby około 8 038 zł. A nakład inwestycyjny tegoż wariantu zwróciłby się po dziewięciu latach i dwóch miesiącach.

Jak widać obie opcje są bardzo kosztowne i wymagają zamrożenia sporych kwot pieniędzy na parę lat. Jednakże z upływem czasu ceny paliw kopalnianych mogą wzrosnąć, i wtedy to nakłady inwestycyjne w szybszym tempie ulegną zwrotowi.

### Literatura

- Balcerowska M. (2009). Instalacje grzewcze poradnik. *Login Media Sp. z o. o.*, Warszawa 2009.  
Drzazga E. (2007). Ciepło ze słońca. *Instalacje*, 1/2007.

Lewandowski W. M. (2001). Proekologiczne odnawialne źródła energii. *Wydawnictwo Naukowo- Techniczne*, Warszawa 2001.

Pluta Z. (2007). Słoneczne instalacje energetyczne. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa 2007.

Katalog firmy Hoval (2009).

### THE REPLACEMENT OF THE OIL-FIRED BOILER ROOM BY THE “ECO SMALL COAL”-FIRED ONE SUPPORTED BY THE UNCONVENTIONAL HEAT SOURCE

**Abstract:** The paper aim is to demonstrate the replacement of the existing oil-fired boiler by the “eco small coal”-fired one supported by the unconventional sources (solar collectors and heat pumps) to reduce the costs of heat generation in the single-family house. Two options of the modernization were taken under consideration. In the variant I the “eco small coal”-fired boiler works with the solar collectors supporting warm water heating, while in variant II the “eco small coal”-fired boiler room cooperates with the heat pump, in the parallel-duplex system, supporting central heating system. The total cost of proposed modernization and annual savings were presented in the paper.

Praca naukowa sfinansowana przez Politechnikę Białostocką w ramach pracy statutowej S/WBiŚ/23/08

## UWARUNKOWANIA TECHNICZNO-EKONOMICZNE W PROJEKTOWANIU INSTALACJI C.O. I C.W.U. W BUDYNKACH MIESZKALNYCH

Dorota KRAWCZYK<sup>a\*</sup>, Paulina JAROMA<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

<sup>b</sup>student, Politechnika Białostocka, Inżynieria Środowiska V rok

**Streszczenie:** W referacie omówiono różne rodzaje wewnętrznych instalacji centralnego ogrzewania, w zależności od czynnika grzewczego, rozprzewadzenia przewodów oraz stosowanych materiałów. Zwrócono uwagę na zalety i wady poszczególnych rozwiązań, zarówno pod względem technicznym, jak też ekonomicznym, czy użytkowym. Na podstawie danych zebranych w kilku biurach projektowych pokazano, który z rodzajów instalacji jest najbardziej popularny w budynkach nowo projektowanych na terenie Białegostoku. Porównano nakłady inwestycyjne na instalacje grzewcze w różnych sposobach wykonania. Zwrócono także uwagę na problem stosowania materiałów niepodlegających recyklingowi oraz rozwiązania pomagające obniżyć zużycie wody w instalacjach c.o. i c.w.u.

*Słowa kluczowe:* instalacja c.o., ciepła woda, oszczędność energii.

### 1. Wprowadzenie

Systemem ogrzewania nazywamy zespół urządzeń i elementów składowych instalacji, które służą do pozyskania oraz rozprzewadzenia ciepła w budynku. Zadaniem wewnętrznych instalacji grzewczych jest dostarczenie ciepła do pomieszczeń w taki sposób, aby zapewnić warunki komfortu cieplnego przebywającym w nich ludziom. Dzięki nowym materiałom i rozwiązaniom technologicznym, system grzewczy w nowobudowanym budynku można wykonać na różne sposoby ([www.kape.gov.pl](http://www.kape.gov.pl)). Nawet jeśli swój wybór ograniczymy do ogrzewania grzejnikowego, wodnego pracującego w systemie pompowym, to dysponujemy różnorodnymi możliwościami jego wykonania. Wybór rozwiązania to spore wyzwanie i zależy przede wszystkim od rodzaju budynku, rozległości instalacji, a także od liczby planowanych grzejników.

### 2. Układy instalacji grzewczych

W budynkach wielorodzinnych najbardziej rozpowszechnione są wodne instalacje centralnego ogrzewania, w których czynnikiem rozprzewadzającym ciepło jest woda. Instalacje te charakteryzują się dużą niezawodnością działania, dużą żywotnością przy prawidłowej eksploatacji, łatwością regulacji przez

sterowanie temperaturą oraz strumieniem wody grzejnej (np. poprzez zastosowanie zaworów termostatycznych), a także niskim ciśnieniem wody. Stosunkowo niskie temperatury powierzchni grzejnych są korzystne pod względem zdrowotnym i nie powodują osadzania (przypiekania) kurzu, a to z kolei zapewnia duży komfort cieplny. Natomiast wśród wad trzeba wymienić: wysokie koszty inwestycyjne oraz niebezpieczeństwo zamarznięcia wody w czasie zimy, a tym samym uszkodzenie instalacji. Ową ostatnią wadę można wyeliminować, stosując dodatki chemiczne ([www.kape.gov.pl](http://www.kape.gov.pl)).

Podstawowy podział systemów grzewczych to instalacje:

- grawitacyjne – gdzie siłę napędową krążenia czynnika stanowi ciśnienie grawitacyjne, będące wynikiem różnicy gęstości wody, która wypełnia część opadową i wznosną każdego z obiegów,
- pompowe (z obiegiem wymuszonym) – gdzie obieg wody wywołują pompy obiegowe.

Instalację wodną grawitacyjną cechuje prosta budowa oraz niskie koszty eksploatacyjne. Jej praca jest niezależna od dostaw energii elektrycznej. Do wad zaliczamy dużą bezwładność cieplną, materiałochłonność (spowodowaną dużymi średnicami przewodów) i ograniczoną swobodę układania przewodów rozprzewadzających (nie może być zasyfonowania) ([www.kape.gov.pl](http://www.kape.gov.pl)). W przypadku instalacji z zabezpieczeniem systemu otwartego ma miejsce stały

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: [d.krawczyk@pb.edu.pl](mailto:d.krawczyk@pb.edu.pl)

dostęp powietrza i tlenu powodujący przyspieszenie korozji, duże ubytki wody spowodowane odparowaniem i związany z tym wymóg jej okresowego uzupełnienia. Instalacje tego typu są stosowane praktycznie jedynie na terenach wiejskich, gdzie występują częste przerwy w dostawie energii elektrycznej. Dziś w większości nowych budynków i praktycznie we wszystkich wielorodzinnych w Polsce stosuje się ogrzewanie dwururowe z obiegiem pompowym. Pompę można zamontować na przewodzie powrotnym, jak i zasilającym. Rozpatrując pierwszą możliwość, pompa pracuje w warunkach bardziej korzystnych (niższa temperatura wody), choć mogą pojawiać się kłopoty eksploatacyjne związane z panującym w części przewodów ciśnieniem niższym od atmosferycznego. Montaż pompy w przewodzie zasilającym daje możliwość uzyskania korzystniejszego rozkładu ciśnienia oraz uniemożliwia zasysanie powietrza do obiegu (Pieńkowski i in., 1999).

Do podstawowych zalet tego sposobu ogrzewania w porównaniu do ogrzewania grawitacyjnego zaliczamy:

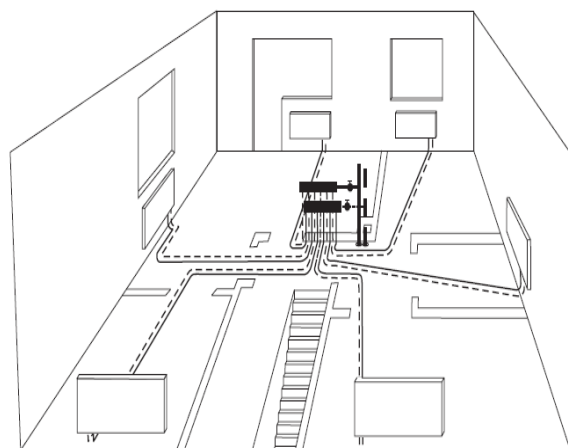
- dużą swobodę oraz łatwość prowadzenia przewodów rozprowadzających niezależnie od wysokości i długości domu,
- swobodę sytuowania grzejników (można je umieszczać poniżej źródła ciepła),
- niską temperaturę grzejników,
- łatwość centralnej regulacji (jakościowej albo ilościowo-jakościowej),
- znacznie większy zasięg instalacji niż w ogrzewaniu grawitacyjnym,
- dużą pewność działania,
- mniejszą bezwładność cieplną,
- mniejszą materiałochłonność,
- możliwość pracy instalacji przy niższych parametrach,
- możliwość zastosowania znacznie mniejszych średnic przewodów, a więc mniejsze koszty wykonania, mniejsza pojemność cieplna i skuteczniejsza regulacja pracy instalacji (Pieńkowski i in., 1999).

Należy jednak podkreślić, że praca instalacji pompowej uzależniona jest od dostaw energii elektrycznej. Poza tym występują tu wyższe koszty eksploatacji z powodu stałego poboru prądu, a także konieczności okresowej konserwacji oraz przeglądów przez wykwalifikowany serwis. Warto zaznaczyć, że koszt energii elektrycznej pobieranej przez pompy uległ w ostatnich latach znacznemu zmniejszeniu, dzięki zastosowaniu urządzeń o nowej konstrukcji i technologii wykonania. Na rynku można znaleźć bardzo nowoczesne energooszczędne oraz niezawodne pompy hermetyczne (które charakteryzują się brakiem przecieków i ubytków wody), z bezstopniową (ciągłą) regulacją obrotów i wydajności. Stosowanie ich przy współpracy z układami automatycznej regulacji pracy instalacji zapewnia wysoką energooszczędność ([www.kape.gov.pl](http://www.kape.gov.pl)).

Pompowe instalacje centralnego ogrzewania dzielimy na: układy pionowe i poziome. Układy pionowe, w których każdy grzejnik lub para grzejników podłączany jest do odrębnego pionu za pomocą gałązki grzejnikowej, spotykamy w wielu budynkach wielorodzinnych, gdyż przez wiele lat nie było dla nich alternatywy. Jednak

w nowo budowanych obiektach dużą popularnością cieszą się instalacje poziome, a układy pionowe odchodzą do przeszłości. W rzeczywistości układy te są układami mieszanymi pionowo – poziomymi, bowiem czynnik grzewczy dostarczany jest do poszczególnych kondygnacji pionem znajdującym się z reguły na klatce schodowej, a od pionu doprowadzany jest do każdego mieszkania przewodami poziomymi, ułożonymi w warstwie posadzkowej. Umożliwia to montaż licznika ciepła oraz rozliczanie ilości zużytego przez poszczególnych odbiorców ciepła. System przewodów rozprowadza się i przytwierdza do płaszczyzny stropu albo pokrywającej go warstwy cienkiej wylewki. Wylewka główna zakrywa układ rur, a ponad wylewką oraz pokrywającą ją warstwę podłogi wystają tylko rury przyłączne do grzejników. Grubość wylewki jest różna, zależy od producenta systemu, z reguły wynosi około 4-5 cm. Przewody mogą być również prowadzone za listwami przypodłogowymi. (Pieńkowski i in. 1999) Poniżej omówiono trzy podstawowe schematy rozprowadzenia przewodów w układzie poziomym, na odcinku od pionu do poszczególnych odbiorników

### 2.1. Układ dwururowy poziomy rozdzielaczowy (rys. 1)



Rys.1. Schemat układu dwururowego poziomego rozdzielaczowego. (Mroczek i Wojtas, 2002)

Czynnik grzewczy dostarczany jest od pionu c.o. do rozdzielaczy mieszkaniowych, a dalej oddzielnymi przewodami (zasilającym i powrotnym) do wszystkich grzejników. Na kolektorze zasilania oraz powrotu montuje się osobne zawory odcinające, a także odpowietrzniki automatyczne i zawory spustowe. Na przewodach zasilania i powrotu mogą również być zamontowane odrębne zawory, ale nie jest to wymagane. Rozdzielacz powinno się sytuować w miejscu mniej więcej równo odległym od zasilanych grzejników. Jeden rozdzielacz ma możliwość obsługi do 10-12 grzejników. Całość umieszcza się w szafce wnękowej, podtynkowej lub natynkowej, do której powinno się zapewnić swobodny dostęp. Odpowietrzniki powinny znajdować się przy każdym grzejniku oraz na rozdzielaczu. W systemie tym stosuje się rury miękkie miedziane lub z tworzywa sztucznego. Należy je zaizolować cieplnie lub prowadzić



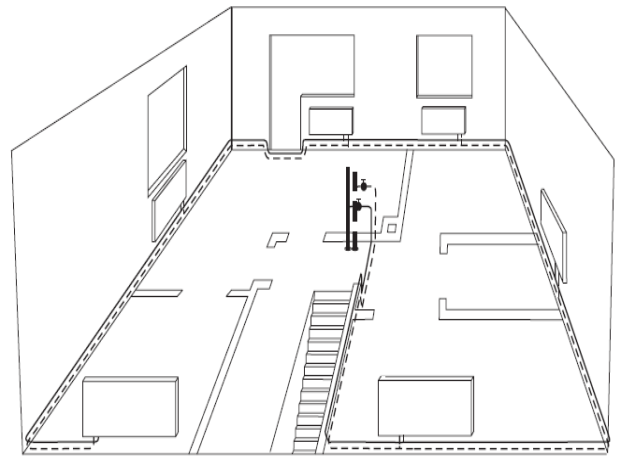
w karbowanej rurze osłonowej i izolacji termicznej (www.instalbud.com).

Układ rozdzielaczowy daje stabilność hydrauliczną systemu, pozwala na wyeliminowanie stosowania kształtek do łączenia rur w posadzkach albo ścianach (przy użyciu przewodów z miękkiego tworzywa). Zastosowanie rozdzielacza daje możliwość prowadzenia prac instalacyjnych etapami, pozwalając na funkcjonowanie wykonanej części instalacji, a także daje szansę wymiany rury przy ewentualnym jej uszkodzeniu mechanicznym (przebiecie albo przewiercenie) - dotyczy to rur z tworzywa miękkiego, pod warunkiem użycia rury osłonowej. System rozdzielaczowy cieszy się popularnością wśród instalatorów, bo niewielka liczba połączeń skraca czas robót instalacyjnych. Dodatkową zaletą jest to, że w przypadku awarii jednego grzejnika i odłączenia go od instalacji pozostałe mogą pracować bez przeszkód. Za wadę omawianego rozwiązania przyjmuje się konieczność stosowania dużej liczby rur, co wpływa na znaczące podniesienie ceny inwestycji. Koszt takiego systemu jest większy, ponieważ kolektory są dość drogie, a łączna długość użytych rur zostaje zwiększona nawet o około 40%. W przypadku stosowania rur miękkich, cena dodatkowej liczby rur kompensowana jest brakiem kształtek oraz większych średnic rur. W związku z tym różnica ceny układu rozdzielaczowego w stosunku do układu trójnikowego jest nieco mniejsza.

### 2.2 Układ dwururowy w pętli poziomej (rys. 2)

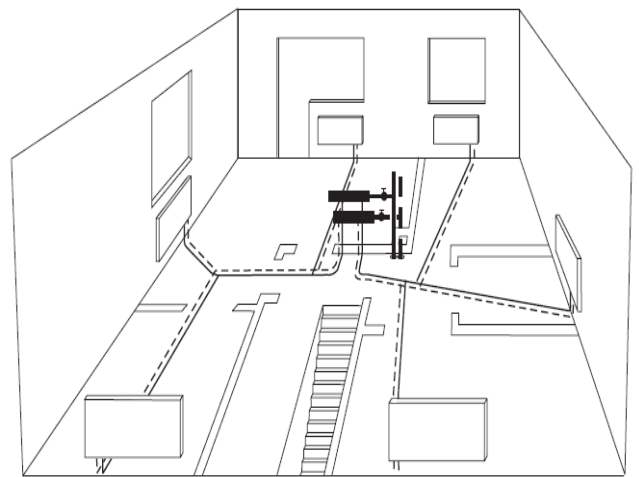
W układzie tym przewody: zasilający i powrotny prowadzone są obwodowo wzdłuż ścian zewnętrznych budynku, a po drodze podłącza się wszystkie grzejniki. Czynnik grzewczy transportowany jest od pionu centralnego ogrzewania do wszystkich grzejników. Przewody prowadzi się w posadzce albo za listwami przypodłogowymi. Listwy takie produkuje się w dwóch odmianach: całe profile z tworzywa sztucznego w kilku kolorach albo pokryte wykładziną podłogową. Przy prowadzeniu przewodów typu PE-Xc, LPE w posadzce należy je układać w rurach osłonowych (tzw. system rura w rurze) oraz izolacji termicznej. Każdy grzejnik, a także pion musi być zaopatrzone w odpowietrznik. Jeśli przewody poziome układa się bez spadku, to w przypadku konieczności ich odwodnienia należy (po uprzednim odłączeniu grzejników) przedmuchać je sprężonym powietrzem (Pieńkowski i in., 1999).

Do wad układu w pętli poziomej należy zaliczyć konieczność wykonywania przekuć montażowych w przegrodach budowlanych (w tym w ścianach nośnych budynku) oraz ich późniejsze zamurowanie. W przypadku dużej ilości grzejników łączonych w tym systemie początkowe średnice przewodów muszą być dość znaczne, a łączna długość rur jest nieco większa niż w systemie trójnikowym.



Rys.2. Schemat układu dwururowego poziomego pętlowego (Mroczek i Wojtas, 2002)

### 2.3. Układ dwururowy trójnikowy (rys. 3)



Rys.3. Schemat układu dwururowego poziomego trójnikowego (Mroczek i Wojtas, 2002)

Polega on na wykonaniu połączenia grzejników najkrótszą drogą przy użyciu połączeń nierozłącznych. Do jednej rury zasilającej (zwanej rozprowadzającą, w której po zamknięciu zaworu grzejnikowego czynnik grzewczy płynie dalej) podłącza się kilka grzejników. Na tym przewodzie rozprowadzającym montuje się trójniki (stąd nazwa systemu), a od nich prowadzi się odcinki przewodów do każdego grzejnika. Owe odcinki to tzw. podejścia, czyli przewody, w których po zamknięciu zaworu grzejnikowego czynnik grzewczy nie może dalej płynąć (www.instalbud.com). W związku z koniecznością umieszczania w posadzce trójników należy stosować złącza zaciskowe z pierścieniem osadzonym przy użyciu praski. Zarówno każdy grzejnik musi posiadać odpowietrznik, jak i odpowietrznik taki musi znajdować się na pionie. Przewody poziome w przypadku konieczności odwodnienia należy, po odłączeniu grzejników, przedmuchać sprężonym powietrzem. (Pieńkowski i in., 1999). Rury grzewcze przechodzą poprzez naturalne otwory w ścianach, co ogranicza w znaczny sposób czas wykonywania instalacji. Omawiany system charakteryzuje się optymalną długością

przewodów. W przypadku krzyżowania się rur konieczne jest przewidzenie grubszej warstwy izolacji albo wylewki betonowej ([www.instalbud.com](http://www.instalbud.com)). W systemie trójnikowym można stosować różne rodzaje materiałów, począwszy od rur miękkich ze zwoju, po rury sztywne. Przewody prowadzi się w posadzce. W sytuacji, gdy połączenie rur z trójnikami ma być przykryte warstwą betonu w podłodze, musi być ono odporne na obciążenia mechaniczne. Przewody muszą być zaizolowane. Do przewodów typu PE-Xc, LPE w posadzce należy zastosować system rura w rurze, a zatem układać przewody w rurach osłonowych.

W ostatnich latach w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych w Białymstoku największą popularnością cieszą się układy poziome z rozprowadzeniem trójnikowym, przy użyciu przewodów z tworzyw sztucznych

### 3. Układy instalacji ciepłej wody użytkowej.

Zadaniem instalacji ciepłej wody użytkowej jest przygotowanie ciepłej wody (podgrzanie) oraz późniejsze jej doprowadzenie do punktów czerpalnych w odpowiedniej ilości, pod odpowiednim ciśnieniem oraz o wymaganej temperaturze. Na skutek rosnącej potrzeby komfortu i dbania o higienę instalacje ogrzewania wody użytkowej powinny spełniać coraz większe wymagania w związku z przygotowaniem ciepłej wody. Powinny charakteryzować się takimi cechami, jak niezawodność działania, łatwość w obsłudze i możliwość regulacji temperatury ciepłej wody użytkowej. Powinny dostarczać ciepłą wodę użytkową w każdej chwili w wystarczającej ilości oraz o żądanej temperaturze w energooszczędny, atrakcyjny cenowo sposób. Ciepła woda użytkowa musi odznaczać się najwyższą jakością pod względem sanitarno-epidemiologicznym. Ze względu na ilość punktów poboru wody wyróżniamy trzy systemy instalacji ciepłej wody użytkowej:

- system jednoczerpalny,
- system wieloczerpalny,
- instalacje centralne c.w.u.

W systemie jednoczerpalnym każdy punkt poboru wody posiada własny podgrzewacz wody. W związku z tym, że praktycznie nie są tu wymagane przewody instalacji c.w.u., nakład kosztów na instalację jest niewielki. Koszty zakupu oraz konserwacji są wysokie wtedy, kiedy istnieje potrzeba wielu pojedynczych punktów poboru wody do poszczególnych urządzeń sanitarnych. Systemem wieloczerpalny występuje wówczas, gdy kilka punktów poboru wody zasilanych jest wspólnie z podgrzewacza ciepłej wody użytkowej, na przykład w mieszkaniu. Taki podgrzewacz należy umieszczać w bliskiej odległości od punktu poboru wody, z którego zazwyczaj pobiera się ciepłą wodę. Na skutek krótkich odcinków przewodów nakład kosztów instalacji jest niewielki. Małe są też straty ciepła przewodów w sytuacji zespołowego zaopatrzenia w c.w.u. Systemy jedno- i wielo-czerpalne zaopatrzenia w ciepłą wodę określa się jako zdecentralizowane (miejscowe) instalacje ciepłej wody użytkowej.

W przypadku, gdy wszystkie punkty poboru wody w budynku zasilane są z centralnego podgrzewacza wody umieszczonego, np. w piwnicy, mamy do czynienia z centralnym zaopatrzeniem w ciepłą wodę użytkową. (Albers i in., 2007). Dwa podstawowe rodzaje instalacji rozprowadzających ciepłą wodę użytkową do punktów czerpalnych to układ bez cyrkulacji oraz układ z cyrkulacją. W instalacji c.w.u. bez cyrkulacji po otworzeniu zaworu czerpalnego początkowo wypływa z niego woda ochłodzona, wypełniająca przewód wody ciepłej, a dopiero później, po jej wyczerpaniu, płynie woda ciepła.

Natomiast w instalacji c.w.u. z cyrkulacją z zaworu czerpalnego w bardzo krótkim czasie wypływa woda ciepła. Spowodowane to jest tym, że woda wypływająca z podgrzewacza (lub wymiennika), w przypadku braku rozbioru, wraca do niego przewodem cyrkulacyjnym, a więc zachodzi tylko nieznaczne ochłodzenie, bo woda nie zalega w przewodach. Stosowanie układu z cyrkulacją przyczynia się do zmniejszenia zużycia ciepłej wody użytkowej oraz wody w ogóle i dlatego układ bez cyrkulacji stosować się powinno tylko w uzasadnionych przypadkach. W budynkach mieszkalnych wielorodzinnych projektuje się instalacje ciepłej wody użytkowej z cyrkulacją, bowiem zgodnie z Warunkami Technicznymi (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie) w przewodach o objętości powyżej 3 dm<sup>3</sup> powinien być zapewniony stały obieg wody. Na przygotowanie ciepłej wody w budynkach mieszkalnych zużywane jest około 13% dostarczanej do nich energii.

### 4. Sposoby ograniczania zużycia wody i energii w instalacji ciepłej wody użytkowej i ogrzewania

Problem oszczędności energii w układach grzewczych i c.w.u. jest niezwykle ważny i wymaga wprowadzania coraz to nowocześniejszych rozwiązań technicznych. Aby ograniczyć straty energii w nowoczesnych systemach c.o. i c.w.u. stosuje się:

- automatykę regulacyjną,
- regulację pracy pomp obiegowych i cyrkulacyjnych,
- szczelną armaturę. ([www.kape.gov.pl](http://www.kape.gov.pl))

Ponadto jednym ze sposobów zmniejszania strat energii zarówno w instalacji c.w.u., jak i c.o. jest izolowanie przewodów. Obowiązuje minimalne grubości otulin podają Warunki Techniczne (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie), przy czym grubości te są regularnie zwiększane w kolejnych latach. Przy doborze rodzaju materiału otuliny należy wziąć pod uwagę przede wszystkim wartość współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda$ . Im jest on mniejszy, tym izolacyjność termiczna materiału jest lepsza. Do izolacji rur najczęściej stosuje się: piankę polietylenową i wełnę mineralną. Prawidłowo dobrana oraz dobrze wykonana izolacja daje gwarancję na bezawaryjną, ekonomiczną oraz bezpieczną eksploatację

układu centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej (www.ogrzewnictwo.pl).

W budynkach mieszkalnych wielorodzinnych istnieje także obowiązek stosowania urządzeń do pomiaru ilości energii cieplnej lub paliwa zużywanego do przygotowania ciepłej wody użytkowej (np. wodomierze mieszkaniowe) i ogrzewania (ciepłomierze lub podzielniki kosztów).

Równie ważna jest oszczędność wody. Stosowanie systemów otwartych w instalacjach centralnego ogrzewania wiąże się z okresowym, częściowym odparowywaniem wody z otwartego naczynia zbiorczego, a zatem lepiej jest projektować systemy zamknięte z naczyniem zbiorczym przeponowym (o ile jest to możliwe ze względu na zastosowane źródło ciepła).

Ubytki wody spowodowane są też :

- wyciekami przez nieszczelne zawory, dlatego instalację centralnego ogrzewania należy co pewien czas sprawdzać pod kątem szczelności i zapobiegać ewentualnym przeciekom,
- odparowywaniem oraz wyciekami na dławicach,
- odpowietrzaniem (zbiornik odpowietrzający),
- opróżnianie instalacji (np. w przypadku awarii).

Również stosowanie cyrkulacji w instalacjach ciepłej wody użytkowej pozwala w wygodny i ekonomiczny sposób oszczędzić wodę, a tym samym zmniejszyć ilość powstających ścieków. Ponadto, w celu jak najlepszej optymalizacji pracy układu oraz zmniejszenia kosztów jego działania można zastosować zawory termostatyczne, służące do regulacji temperatury, a także ilości przepływającej wody na poszczególnych punktach poboru. Zawory te pozwalają również na ustawianie różnych temperatur w poszczególnych obiegach, np. innej temperatury wody w łazience, a innej w kuchni (www.info-ogrzewanie.pl).

## 5. Podsumowanie

Podsumowując, w projektowaniu instalacji centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej w budynkach wielorodzinnych trzeba brać pod uwagę wiele czynników technicznych, ekonomicznych, jak i ekologicznych. Niestety, często rozwiązania optymalne ze względu na walory techniczne i służące ochronie środowiska są kosztowne. Jednym z wielu problemów dzisiejszego świata są odpady, również śmieci przemysłowe, czyli substancje oraz materiały powstające podczas procesu produkcji. Sposobem rozwiązania owego problemu jest przede wszystkim ponowne przetwarzanie surowców – tak zwany recykling. W związku z tym lepsze pod względem

ekologicznym są systemy ogrzewania i przygotowania ciepłej wody, w których rury, urządzenia oraz inne elementy instalacji wykonane są z materiałów, które po wyeksploatowaniu będzie można przetworzyć na surowce do powtórnego wykorzystania. Takimi materiałami są: stal, miedź i aluminium. W tym miejscu trzeba powiedzieć o oszczędności materiału. Mniejsza ilość zastosowanych elementów instalacyjnych, takich jak np. rury (optymalne długości), złączki, trójniki itp. przekłada się na mniejszą ilość odpadów i zanieczyszczeń przy produkcji owych elementów (www.rynekinstalacyjny.pl). Należy więc dążyć do osiągnięcia „złotego środka” pomiędzy względami technicznymi, ekologicznymi, ekonomicznymi i użytkowymi.

## Literatura

- Pieńkowski K., Krawczyk D., Tumel W. (1999). *Ogrzewnictwo. Politechnika Białostocka*, Białystok 1999.
- Mroczek W., Wojas J. (2002). *Instrukcja projektowania i montażu instalacji sanitarnych z rur wielowarstwowych (PE-AL-PE) systemu Kisan*, Warszawa.
- Albers J., Dommel R., Montaldo-Ventsam H., Nedo H., Übelacker E., Wagner J. (2007). *Systemy centralnego ogrzewania i wentylacji. Poradnik dla projektantów i instalatorów*, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

## TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECT IN THE CENTRAL HEATING AND WARM USABLE WATER INSTALLATION DESIGN IN RESIDENTIAL BUILDINGS

**Abstract:** The paper aim is to discuss various types of the domestic central heating installations depending on the agent, distribution pipes and used materials. The advantages and disadvantages of different solutions, their technical and economic aspects, and utility possibilities were described. Investment was compared to the heating installations in various ways of implementation. The problems with the materials not being subject to recycling and solutions which help water use reducing both in central heating systems and warm usable water system were taken into consideration.

Praca finansowana w ramach prac statutowych Politechniki Białostockiej S/WBiIS/23/2008

# WPŁYW TERMOMODERNIZACJI OBIEKTÓW NA WARTOŚĆ WSKAŹNIKÓW EP I EK NA PRZYKŁADZIE BUDYNKU PRZEDSZKOŁA

Dorota KRAWCZYK<sup>a\*</sup>, Anna SOJKO-GIL<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

<sup>b</sup>student, Politechnika Białostocka, Inżynieria Środowiska V rok

**Streszczenie:** Po wieloletnich dyskusjach ekspertów i negocjacjach pomiędzy krajami członkowskimi Parlament Europejski i Rada Europy przyjęły Dyrektywę 2002/91/WE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków. Nakazuje ona państwom członkowskim wprowadzenie prawa wnoszącego obowiązek wykonywania świadectw energetycznych dla budynków nowowznoszonych, poddawanych renowacji i sprzedawanych. Wynikiem przeprowadzanych obliczeń jest przedstawiana graficznie wartość EP budynku rozpatrywanego i identycznego budynku pod względem bryły, spełniającego wymogi stawiane przez Warunki Techniczne jakim powinny odpowiadać budynki. W referacie przedstawiono różnice w wartości EP, EK, U przegród budowlanych pomiędzy obiektem przedszkola położonego w Białymstoku w stanie przed i po termomodernizacji.

*Słowa kluczowe:* termomodernizacja, wskaźnik EP, oszczędność energii.

## 1. Wprowadzenie

W dzisiejszych czasach, z dnia na dzień, kurczą się ilości energetycznych zasobów naturalnych. Z drugiej strony tempo rozwoju gospodarczego poszczególnych krajów, wzrost liczby ludności, ewolucja struktur społecznych, postęp techniczny powodują, że zapotrzebowanie na energię wciąż wzrasta.

Obecny popyt na energię w Unii Europejskiej jest pokrywany w 34 % przez ropę naftową, w 21 % przez gaz ziemny, w 24 % przez węgiel, w 7 % przez paliwa jądrowe oraz w 14 % przez odnawialne źródła energii. Oznacza to, że 79 % zapotrzebowanie na energię jest zaspokajane przy pomocy paliw kopalnych, które stanowią główne źródło emisji dwutlenku węgla. Zwiększona emisja CO<sub>2</sub> do atmosfery, rosnące zanieczyszczenie środowiska są głównymi przyczynami efektu cieplarnianego i niepokojących zmian klimatu, np. topnienia lodowców, podniesienia się poziomu mórz, rekordowych fal upałów, katastrofalnych huraganów czy długotrwałych susz. Powstrzymać można je w jeden sposób, poprzez racjonalne gospodarowanie energią. Oszczędzając ją można ograniczyć emisję gazów cieplarnianych (termodom.pl).

W artykule zwrócono uwagę na wpływ termomodernizacji obiektów na wskaźniki energetyczne

EP i EK, świadczące o zużyciu energii do ogrzewania, wentylacji, ciepłej wody, klimatyzacji i oświetlenia.

## 2. Podstawy prawne wprowadzenia certyfikacji energetycznej budynków

We wszystkich krajach Unii Europejskiej budownictwo odpowiada obecnie za ponad 40 % zużycia energii pierwotnej i charakteryzuje się znaczącym i możliwym do wykorzystania w najłatwiejszy sposób potencjałem i możliwościami w zakresie jego zmniejszenia (Poradnik „Dyrektywa 2002/91/EC o jakości energetycznej budynków”). Ponieważ technologie budowy i zarządzania budynkami posiadają największe możliwości oszczędności energii, dlatego też dąży się do optymalnego zużycia energii w budynkach, zwłaszcza, jeśli chodzi o ogrzewanie czy chłodzenie pomieszczeń, ich oświetlenie oraz przygotowanie ciepłej wody użytkowej. W związku z tym, zdecydowano o podjęciu całego szeregu działań, programów i inicjatyw zmierzających do ograniczenia zapotrzebowania na energię i zmniejszenia jej zużycia, kładąc szczególny nacisk na sektory budownictwa, przemysłu i transportu, które należą do najbardziej energochłonnych. Ponadto intensyfikuje się działania na rzecz zwiększenia udziału energii odnawialnych

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: d.krawczyk@pb.edu.pl

w bilansie energetycznym poszczególnych krajów Unii Europejskiej.

Po wieloletnich dyskusjach ekspertów i negocjacjach pomiędzy krajami członkowskimi Parlament Europejski i Rada Europy przyjęły Dyrektywę 2002/91/WE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków w dniu 16 grudnia 2002 roku (European Parliament Directive 2002/91/EC of the Council of 16 December 2002 on the Energy Performance of Buildings). Dyrektywa została ogłoszona oficjalnie w Dzienniku Urzędowym Wspólnoty Europejskiej (L1, tom 46, strona 65) i weszła w życie z dniem 4 stycznia 2003 r. (Poradnik „Dyrektywa 2002/91/EC o jakości energetycznej budynków”), Dyrektywa 2002/91/WE z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków nakazuje państwom członkowskim wprowadzenie prawa wnoszącego obowiązek wykonywania świadectw energetycznych dla budynków nowowznoszonych, poddawanych renowacji i sprzedawanych. Celem Dyrektywy Europejskiej 2002/91/WE jest promowanie poprawiania charakterystyki energetycznej budynków w krajach Unii Europejskiej, z uwzględnieniem warunków klimatycznych zewnętrznych i warunków lokalnych, oraz mikroklimatu wewnętrznego budynków, i co bardzo istotne, opłacalności przedsięwzięć (Dyrektywa 2002/91/WE z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków). Oczekuje się, że wdrożenie Dyrektywy wpłynie na poprawę bezpieczeństwa energetycznego kraju, zmniejszy uzależnienie od wpływów politycznych dostawców energii. Przyczyni się do zmniejszenia zanieczyszczenia powietrza, gruntów i wód czyli ochrony przyrody, ochrony klimatu, ograniczenia emisji gazów cieplarnianych oraz stworzy mechanizmy rynkowe dla rozwoju budownictwa energooszczędnego (Cena-Soroko, 2008). Pomimo, że wdrożenie Dyrektywy powoduje dla administratorów, zarządców i właścicieli budynków dodatkowe koszty (przeгляdy instalacji i systemów grzewczych, wykonanie certyfikatów energetycznych), ich bilans łącznie z uzyskanymi korzyściami (zmniejszenie zużycia i kosztów energii) powinien być ostatecznie dodatni. Warto również pamiętać o dodatkowych korzystnych, trudniej mierzalnych efektach w postaci wzrostu komfortu użytkownika i eksploatacji obiektów, mniejszej awaryjności urządzeń i instalacji (Poradnik „Dyrektywa 2002/91/EC o jakości energetycznej budynków”).

Podstawą prawną nakazującą poszczególnym krajom Unii Europejskiej konieczność przyjęcia odpowiednich regulacji mających wprowadzić certyfikaty energetyczne jest Dyrektywa nr 2002/91/WE (Materiały Viessmann, 2009). W Polsce natomiast podstawę prawną stanowi nowelizacja ustawy Prawo Budowlane z dnia 19 września 2007 r. (Dz. U. z 2007 r. Nr 191, poz. 1373). Zgodnie z ustawą (art.5, ust. 3) obowiązkowi sporządzenia świadectw charakterystyki energetycznej od 1 stycznia 2009 r. podlega każdy nowy budynek mieszkalny, istniejący już budynek lub lokal, będący przedmiotem sprzedaży bądź najmu, a także budynek, w którym zmieniła się charakterystyka energetyczna

poprzez prace modernizacyjne oraz remontowe (termodom.pl). Szczegółową metodykę sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej dla budynków, części budynków i lokali mieszkalnych, ustala Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki.

### 3. Sposoby poprawy charakterystyki energetycznej budynku

Realizacja przedsięwzięć powodujących zmniejszenie zużycia energii i obniżenie kosztów na nią ponoszonych nazywana jest termomodernizacją (Bogacki i Osicki, 2008). W związku z dążeniem do uzyskania jak najlepszego świadectwa energetycznego wzrasta znaczenie usprawnień termomodernizacyjnych. Są to ulepszenia, w wyniku których następuje zmniejszenie rocznego zapotrzebowania na energię zużywaną na potrzeby ogrzewania oraz podgrzewania wody użytkowej. Jeżeli Inwestor zamierza ubiegać się o kredyt i premię termomodernizacyjną wykonane usprawnienia muszą zmniejszyć zużycie energii:

- w budynkach, w których modernizuje się jedynie system grzewczy – co najmniej o 10 %,
- w budynkach, w których w latach 1985 – 2001 przeprowadzono modernizację systemu grzewczego co najmniej o 15 %,
- w pozostałych budynkach – co najmniej o 25 % (termodom.pl).

Do najczęściej realizowanych ulepszeń należą (www.fpe.org.pl):

- ocieplenie ścian, dachów, stropodachów, stropów nad piwnicami nie ogrzewanymi, podłóg na gruncie,
- remont lub wymiana okien i drzwi zewnętrznych,
- modernizacja lub wymiana urządzeń źródła ciepła oraz zainstalowanie automatyki sterującej urządzeniami,
- modernizacja lub wymiana instalacji grzewczej,
- modernizacja lub wymiana systemu zaopatrzenia w ciepłą wodę użytkową i zainstalowanie urządzeń zmniejszających zużycie wody,
- usprawnienie systemu wentylacji,
- wprowadzenie urządzeń wykorzystujących energię ze źródeł odnawialnych, na przykład kolektorów słonecznych, pomp ciepła, itp.

Zakres możliwych zmian jest ograniczony istniejącą bryłą i konstrukcją budynków.

Planowanie inwestycji termomodernizacyjnej powinno uwzględniać ocenę opłacalności przewidywanego przedsięwzięcia w oparciu o kryterium, że uzyska się nadwyżkę efektów finansowych nad poniesionymi nakładami. Należy przy tym brać pod uwagę czas uzyskania nadwyżki, ryzyko inwestycji (przekroczenia wydatków, nieuzyskania zakładanych efektów, zmianę cen i inflacji) (www.termoportal.pl). Termomodernizacja budynków jest na ogół wysoko opłacalna, ale wymaga na

wstępie poniesienia znacznych kosztów, dlatego wielu właścicieli budynków nie może zrealizować termomodernizacji bez finansowej pomocy.

System pomocy Państwa dla właścicieli budynków został utworzony na podstawie Ustawy o wspieraniu inwestycji termomodernizacyjnych z 18 grudnia 1998 r. (Dz. U. 162/98, poz. 1121) ze zmianami wprowadzonymi w Ustawie o zmianie ustawy o wspieraniu inwestycji termomodernizacyjnych z dnia 21 czerwca 2001 r., (Dz. U. 76 poz. 808). System ma na celu ułatwienie sfinansowania termomodernizacji aby w ten sposób doprowadzić do obniżenia zużycia energii oraz kosztów ogrzewania budynków i przygotowania ciepłej wody użytkowej. Nowa ustawa z 21 listopada 2008r. o wspieraniu termomodernizacji i remontów (Dz. U. 223, poz. 1459) zastąpiła wcześniej obowiązujące ww. przepisy, które przez ostatnie 10 lat były podstawą realizacji termomodernizacji budynków przy korzystaniu z pomocy Państwa. W ustawie wprowadzono nowe zasady udzielania pomocy na cele termomodernizacji, a ponadto wprowadzono system pomocy wspierający pewną grupę przedsięwzięć remontowych.

Ustawa przewiduje, że głównym źródłem finansowania inwestycji termomodernizacyjnej jest kredyt bankowy udzielany na warunkach komercyjnych. Właściciel budynku może kredytem sfinansować do 100% kosztów inwestycji. Udział kredytu w całości kosztów, jak i okres spłaty pozostawia się do negocjacji pomiędzy inwestorem i bankiem kredytującym.

Formą pomocy, którą inwestor, może otrzymać ze strony budżetu Państwa jest premia termomodernizacyjna, która stanowi 20% wykorzystanego kredytu, ale jednocześnie musi spełniać dwa dodatkowe warunki:

- nie może wynosić więcej niż 16% kosztów całkowitych przedsięwzięcia,
- nie może wynosić więcej niż przewidywana wartość 2-letnich oszczędności ustalonych na podstawie audytu energetycznego.

Obowiązuje zasada, że niedopuszczalne jest łączenie kredytu udzielanego w trybie ustawy i wsparcia środkami z budżetu Unii Europejskiej.

Premię termomodernizacyjną, czyli umorzenie udzielanego części kredytu, otrzymuje inwestor, który ukończył inwestycję. A więc inwestor spłaca kwotę uzyskanego kredytu pomniejszoną o wielkość premii. Podstawą włączenia przedsięwzięcia do finansowania na zasadach przewidzianych w ustawie jest audyt energetyczny. Premię termomodernizacyjną przyznaje Bank Gospodarstwa Krajowego (BGK), który stanowi instytucję finansową kierującą realizacją ustawy. Ustawa określa, iż w Banku Gospodarstwa Krajowego tworzone są Fundusze Termomodernizacji i Remontów, którego środki wykorzystywane są na wypłatę premii termomodernizacyjnej. Można ubiegać się o premię termomodernizacyjną pod warunkiem, że w wyniku termomodernizacji osiągnięte zostanie znaczące zmniejszenie rocznego zapotrzebowania na energię ([www.fpe.org.pl](http://www.fpe.org.pl)).

#### 4. Charakterystyka budynku przedszkola przed termomodernizacją

Budynek zlokalizowany jest w Białymstoku, w otoczeniu budynków o zbliżonej wysokości (rys. 1). Budynek dwukondygnacyjny, podpiwniczony i wykonany w technologii tradycyjnej. Pełni funkcję Przedszkola Samorządowego. Ściany zewnętrzne wykonane są z cegły pełnej. Część ścian wewnętrznych wykonana jest z betonu komórkowego, a część z cegły dziurawki. Podłogę i stropodach stanowi strop DMS.



Rys. 1. Widok przedszkola przed termomodernizacją

Instalacja c.o. wykonana została w systemie dwururowym z rozdziałem dolnym z rur stalowych. Przed termomodernizacją pracowała jako grawitacyjna. Przewody w większości prowadzone w bruzdach, częściowo po wierzchu ścian. Stan przewodów i grzejników oraz izolacji na przewodach w piwnicy przed termomodernizacją był w bardzo złym stanie. Źródłem ciepła jest węzeł cieplny w piwnicy budynku. Węzeł powstał w 1976 roku w miejscu dawnej kotłowni. Na potrzeby c.o. pracuje wymiennik JAD X-3-18 (2 szt.), natomiast na c.w.u. JAD X-3-18. Instalacja c.w.u. jest zasilana z węzła cieplnego w piwnicy budynku. Przewody i izolacja przed termomodernizacją były w złym stanie technicznym. Ciepła woda doprowadzona jest do łazienek dzieci i personelu oraz kuchni. W budynku wymiana powietrza odbywa się za pomocą wentylacji grawitacyjnej (Audyt energetyczny PS 30 w Białymstoku).

#### 5. Usprawnienia dokonane w ramach termomodernizacji

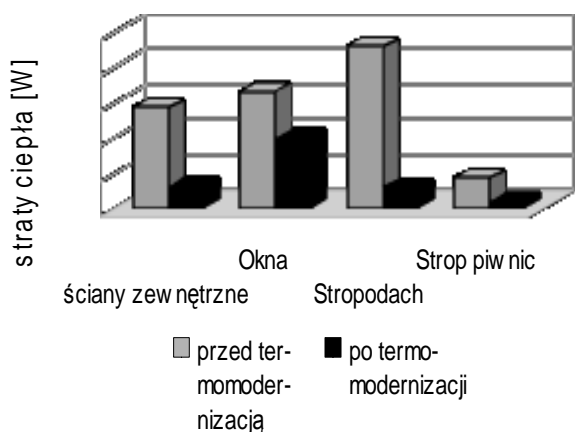
Poniżej zaprezentowano zmiany, które zostały wykonane w omawianym budynku podczas termomodernizacji i osiągnięty efekt energetyczny.

### 5.1. Wykonane usprawnienia dotyczące przegród zewnętrznych i osiągnięty efekt energetyczny

Wykonanie docieplenia ścian zewnętrznych, stropodachu, stropu nad piwnicą oraz wymiana stolarki okiennej i drzwiowej, wraz ze zmniejszeniem powierzchni okien doprowadziło do następujących efektów (rys. 2):

- ograniczenie strat ciepła przez ściany zewnętrzne uzyskano dzięki zwiększeniu grubości warstwy izolacyjnej, co pozwoliło na ich zmniejszenie o 79%,
- ograniczenie strat ciepła przez dach uzyskano dzięki zwiększeniu grubości warstwy izolacyjnej, co pozwoliło na ich zmniejszenie o około 88%,
- zmniejszenie strat ciepła przez okna i drzwi zewnętrzne uzyskano poprzez wymianę stolarki okiennej i zmniejszenie powierzchni przeszklonej, co pozwoliło na ich zmniejszenie o 38%,
- ograniczenie strat ciepła przez strop nad piwnicą, dzięki zastosowaniu warstwy izolacyjnej, co pozwoliło na ich zmniejszenie o 77%.

Wprowadzenie wszystkich wymienionych usprawnień pozwoliło na zmniejszenie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzania budynku o 40%.



Rys. 2. Porównanie strat ciepła przez poszczególne przegrody budowlane przed i po termomodernizacji

Ograniczenie strat ciepła przez ściany zewnętrzne polega na zwiększeniu grubości warstwy izolacji i zastosowaniu materiału o wysokich właściwościach izolacyjnych. Docieplenie ścian oprócz zmniejszenia strat ciepła powoduje także podwyższenie temperatury na wewnętrznej powierzchni ściany, co wpływa na komfort użytkowania oraz eliminuje możliwość skraplania się pary wodnej i powstawania pleśni i zagrzybień (Rudczyk-Malijewska i Pogorzelski, 2007). W omawianym budynku przed termomodernizacją wartość współczynnika przenikania ciepła wynosiła  $U = 1,17 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Ten sam współczynnik po termomodernizacji wyniósł  $U = 0,23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Tak dobre właściwości cieplne ścian zewnętrznych uzyskano dzięki zastosowaniu warstwy izolacji termicznej o grubości 0,14 m. Wykorzystano do tego styropian EPS 70-040 (rys. 3).

Stropy nad piwnicami nieogrzewanymi są elementami budynku, przez które następuje zwykle strata około 5-10% ciepła. Ocieplenie wykonuje się głównie od strony

pomieszczeń piwnic przez zamocowanie płyt izolacyjnych (Bogacki i Osicki, 2008). W omawianym budynku zastosowano płyty styropianowe o grubości 0,08 m, co pozwoliło na zredukowanie strat ciepła o 77 %. Dachy, stropodachy i stropy nad ostatnią kondygnacją są elementami budynku, które zazwyczaj tracą od 8 do 20% ciepła. Najprostszym sposobem zaizolowania stropów nad ostatnią kondygnacją oddzielających pomieszczenia ogrzewane od nie-ogrzewanego poddasza jest ułożenie warstw izolacyjnych wprost na stropie i jeżeli poddasze nie jest użytkowe to w zasadzie nie jest konieczna dalsza obróbka i wykonywanie utwardzenia posadzki. Tego typu ocieplenie jest stosunkowo prostym i tanim sposobem na zaoszczędzenie od kilku do kilkunastu procent ciepła rocznie (Bogacki i Osicki, 2008). Strop w omawianym budynku został ocieplony poprzez zastosowanie mat z wełny mineralnej o grubości 0,18 m. Straty przez ten element budynku zostały zmniejszone o 88%.



Rys. 3. Widok przedszkola po termomodernizacji

Okna i drzwi zewnętrzne są elementami przez które następuje zazwyczaj strata 10-15% a w przypadku okien nieszczelnych nawet 30 % ciepła i więcej (Bogacki i Osicki, 2008). Sposobem na ograniczenie strat ciepła przez te elementy budynku między innymi jest zastosowanie stolarki okiennej i drzwiowej o podwyższonych parametrach termicznych, zmniejszenie wielkości okien i ich odpowiednia orientacja oraz zastosowanie okiennic i żaluzji (Rudczyk-Malijewska i Pogorzelski, 2007). Najbardziej rozpowszechnionym i najskuteczniejszym sposobem zmniejszenia strat ciepła jest wymiana istniejących okien na nowoczesne energooszczędne okna. Straty ciepła dla omawianego budynku przez elementy okna i drzwi zewnętrzne przed termomodernizacją wynosiły 16 579 W. Wymiana okien na okna o lepszych parametrach ( $U = 1,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ) pozwoliła na zmniejszenie tych strat o 38 %. Wymiana powietrza wentylacyjnego powoduje straty dochodzące nawet 40 % łącznego zużycia ciepła. (Bogacki i Osicki, 2008). W omawianym budynku nie wykonano usprawnień w zakresie wentylacji (Audyt energetyczny PS 30 w Białymstoku).



## 5.2. Modernizacja instalacji wewnętrznych i osiągnięty efekt energetyczny

Kluczowym elementem budynku jest maksymalnie wydajny system grzewczy. Ważną przyczyną dużego zużycia paliwa i energii, a tym samym wysokich kosztów ogrzewania jest niska sprawność instalacji grzewczej. Wynika to przede wszystkim z niskiej sprawności samego źródła ciepła, ale także ze złego stanu technicznego instalacji wewnętrznej, która zwykle jest rozregulowana, a rury źle izolowane i podobnie jak grzejniki zarośnięte osadami stałymi. Ponadto często brak jest możliwości łatwej regulacji i dostosowania zapotrzebowania ciepła do zmieniających się warunków pogodowych i potrzeb cieplnych w poszczególnych pomieszczeniach (brak zaworów termostatycznych). Sprawność systemu grzewczego zależy od (Bogacki i Osicki, 2008):

- sprawności źródła ciepła,
- sprawności akumulacji energii,
- sprawności wykorzystania i regulacji ciepła,
- sprawności przesyłania ciepła do odbiorników (grzejników).

Modernizacja instalacji c.o. obejmowała wymianę przewodów, grzejników, montaż zaworów termostatycznych, demontaż pozostawionej sieci odpowietrzającej i zastosowanie w jej miejsce odpowietrzników automatycznych oraz wymianę izolacji. Na podstawie projektu instalacji c.o. przeprowadzono regulację instalacji. Podczas modernizacji węzła cieplnego zamontowany został regulator pogodowy ACL Komfort 300. Zmieniony został system zabezpieczenia z otwartego na zamknięty z naczyniem przeponowym wzbiorczym. Oprócz tego wykonano izolację przewodów zgodnie z Rozporządzeniem Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Audyt energetyczny PS 30 w Białymstoku). Spowodowało to ograniczenie jednostkowych strat przez przewody c.o. o około 88 %.

Znaczące ograniczenie zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku energooszczędne spowodowało, że coraz większe znaczenie w bilansie energetycznym zaczyna odgrywać zapotrzebowanie na ciepło do przygotowania c.w.u.. Dlatego należy dążyć do maksymalnego ograniczenia strat ciepła w instalacji c.w.u., zmniejszenia zużycia ciepłej wody i, o ile jest to opłacalne ekonomicznie, wykorzystania do jej przygotowania odnawialnych źródeł energii. Ograniczenia zużycia energii na c.w.u. jest możliwe przez (Rudczyk-Malijewska i Pogorzelski, 2007):

- poprawę sprawności wytwarzania systemu c.w.u.,
- poprawę sprawności przesyłu i magazynowania systemu c.w.u.,
- wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, na przykład energii słonecznej.

Instalacja c.w.u. musi być starannie zaizolowana, a grubość zastosowanej izolacji powinna spełniać obowiązujące zalecenia normatywne. Przewody rozprowadzające i obiegu cyrkulacyjnego powinny mieć możliwie najmniejsze średnice. Ograniczenie strat ciepła

można osiągnąć również poprzez wprowadzenie automatycznej regulacji temperatury wody oraz pracy pomp obiegowych i cyrkulacyjnych. Zmniejszenie zużycia c.w.u. może nastąpić w wyniku wprowadzenie specjalnej armatury umożliwiającej jej efektywne wykorzystanie np. nowej konstrukcji baterii czerpalnych, perlatorów zamiast zwykłych sitek prysznicowych, urządzeń zamykających przepływ wody w nie zakręconych zaworach czerpalnych itp. (Rudczyk-Malijewska i Pogorzelski, 2007).

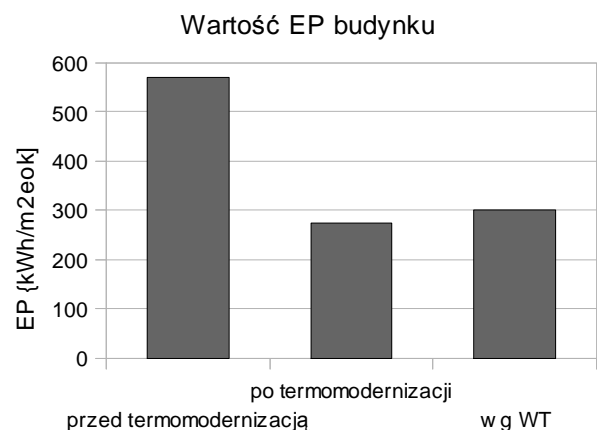
W omawianym budynku w trakcie modernizacji wymieniono pompę cyrkulacyjną na obiegu c.w.u. oraz dokonano zaizolowania przewodów c.w.u. i cyrkulacyjnych w piwnicach. Grubość izolacji odpowiada wymaganiom zawartych w Rozporządzeniu (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie). Dzięki temu jednostkowe straty przez przewody ograniczono o 86%.

## 6. Wskaźnik EP przed i po termomodernizacji

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

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że wykonane przedsięwzięcia termomodernizacyjne spowodowały ograniczenie zapotrzebowania energii pierwotnej o 62 %.

Wartość wskaźnika EP, po uwzględnieniu zapotrzebowania energii pierwotnej do ogrzewania, wentylacji, ciepłej wody i oświetlenia dla budynku przed termomodernizacją wynosiła 571 kWh/m<sup>2</sup>·rok, natomiast dla tego samego budynku po termomodernizacji EP = 275 kWh/m<sup>2</sup>·rok. Z kolei wartości EK wyniosły EK = 397 kWh/m<sup>2</sup>·rok przed i EK = 206 kWh/m<sup>2</sup>·rok po termomodernizacji (rys. 4). Oprócz tego wykonano



Rys.4. Wartość wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną EP



jakościową ocenę energetyczną budynku polegającą na porównaniu wyliczonej wartości EP dla budynku przed i po termomodernizacją z wartością referencyjną EP obliczoną wg Rozporządzenia (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie). Wartość referencyjna wynosi  $EP = 302 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ . Wynika z tego, że budynek przed termomodernizacją nie odpowiadał wymaganiom zawartych w przepisach techniczno – budowlanych, natomiast budynek po termomodernizacji spełnia te wymagania. Wskazuje to na wysoką efektywność termomodernizacji budynku, którego poziom zużywanego energii uległ znacznemu zmniejszeniu, przyczyniając się do ochrony zasobów paliw i środowiska.

## 7. Podsumowanie

W artykule pokazano, że termomodernizacja znacznie wpływa na zmniejszenie zużycia energii oraz obniżenie wskaźnika EP i EK. Rozpatrywany budynek, po przeprowadzeniu usprawnień spełnia wymagania stawiane budynkom termomodernizowanym pod względem energooszczędności.

W obowiązujących przepisach budowlanych podanych w warunkach technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 2002 r. Nr 75 poz. 690, z późniejszymi zmianami) sformułowano następujące podstawowe wymaganie dotyczące oszczędności energii i izolacyjności cieplnej przegród: „Budynek i jego instalacje ogrzewcze, wentylacyjne i klimatyzacyjne powinny być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby ilość energii cieplnej, potrzebnej do jego użytkowania, zgodnie z jego przeznaczeniem, była utrzymana na racjonalnie niskim poziomie” (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie).

## Literatura

Bogacki M., Osicki A. (2008). Termomodernizacja w świetle dyrektywy o charakterystyce energetycznej budynku. *Fundacja na rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii*.

- Cena-Soroko A. (2008). Certyfikacja energetyczna i audyt energetyczny w budownictwie – zasady oceny energetycznej budynków oraz mieszkań – podstawy prawne. *Dolnośląska Agencja Energii i Środowiska*, 2008.
- Rudczyk-Malijewska E., Pogorzelski J.A. (2007). Jak zmieniono domy żeby były energooszczędne – na podstawie „Dobór ekonomicznej grubości izolacji cieplnej w przegrodach zewnętrznych”. *Materiały Budowlane*, 1/2007.
- Dyrektywa 2002/91/WE z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
- Prawo Budowlane z dnia 19 września 2007 r. (Dz. U. z 2007r. Nr 191, poz. 1373).
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno - użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej.
- Poradnik „Dyrektywa 2002/91/EC o jakości energetycznej budynków”. *Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A.*
- Koncepcja efektywnego przedsiębiorstwa skierowana ku przyszłości. *Materiały Viessmann*, 02/2009.
- Audyt energetyczny PS 30 w Białymstoku, *Materiały UM w Białymstoku*. Białystok, 2008.

## THE INFLUENCE OF THE BUILDING THERMOMODERNISATION ON EP AND EK EFFICIENTS ON THE BASIS OF KINDERGARTEN BUILDING

**Abstract:** After many expert discussions and negotiations between countries in the European Union, the European Parliament and the Council of Europe decided to implement Directive 2002/91/EC on the Energy Performance of Buildings. This Directive orders to introduce the law to perform Energy Certificate for: new buildings, buildings which has been renovated and which will be for sale. As a result of the calculations is presented a graph of EP value for the building and the same building which requires the actual technical conditions. The differences between EP, EK and U for the same kinder garden located in Białystok, before and after modernization, are presented in the paper.

Praca finansowana w ramach prac statutowych Politechniki Białostockiej S/WBiŚ/23/2008





# EMISJA ZWIĄZKÓW ORGANICZNYCH PRZY SPALANIU BIOMASY

Andrzej KUCZAJ\*

Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wrocławska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, student V roku

**Streszczenie:** Praca ma charakter przeglądowy. Celem pracy była analiza emisji związków organicznych podczas spalania pelet drzewnych i ich zamienników (pelet słomianych, torfowo-drzewnych, ziaren owsa) w laboratorium oraz podczas spalania pelet drzewnych i kawałków drewna w lokalnych źródłach ciepła (pelety – palniki, piece, kocioł; drewno – kocioł stary, kocioł ekologiczny). Pomiarów dokonano za pomocą chromatografii gazowej i spektrometrii masowej. Zmierzone emisje w laboratorium i w urządzeniach oceniono jako względnie niskie, choć niektóre etapy spalania niecałkowitego różnych paliw są alarmujące. Zamienniki pelet drzewnych, zbadane w laboratorium wywołały emisje na prawie tak niskim poziomie jak pelety drzewne. Zaleca się stosowanie urządzeń do spalania biomasy pod warunkiem wyboru odpowiedniej technologii dla danego paliwa oraz wyboru technologii umożliwiającej możliwie jak najwyższą sprawność spalania. Niniejsze opracowanie oparto w głównej mierze o analizę wyników badań autorów zagranicznych, głównie Olsson'a (2006).

*Słowa kluczowe:* spalanie biomasy, pelety drzewne, emisja, związki organiczne.

## 1. Wprowadzenie

Praca ma charakter przeglądowy. Niniejsze opracowanie oparto w głównej mierze o analizę wyników badań autorów zagranicznych. Ograniczona ilość zasobów paliw kopalnianych na Ziemi oraz zdolność przyjmowania przez środowisko produktów ich spalania, wzrost cen tradycyjnych paliw to podstawowe czynniki wpływające na zwiększone zainteresowanie tzw. źródłami energii odnawialnej w Europie i na Świecie. Głośnym aspektem w dzisiejszej ochronie środowiska jest również ograniczenie emisji dwutlenku węgla, czego odzwierciedleniem jest podpisany m.in. przez Polskę Pakiet klimatyczno-energetyczny Unii Europejskiej znany jako „3 x 20% do 2020r”. Choć żadne badania naukowe nie potwierdziły konieczności redukcji emisji dwutlenku węgla w związku ze wzrostem efektu cieplarnianego, sama inicjatywa związana z sięgnięciem po alternatywne źródła energii wydaje się być pozytywna z ekonomicznego oraz ekologicznego punktu widzenia. Obok energii promieniowania słonecznego, energii wiatru czy wody, ważnym źródłem energii odnawialnej jest biomasa, która posiada przekształconą w procesie fotosyntezy energię promieniowania słonecznego. Światowy potencjał energetyczny biomasy w 2007 roku oceniono na 44.1010 EJ, z czego obecnie wykorzystywana jest szósta część (Jastrzębska, 2007), a według niektórych szacunków potencjał energetyczny

biomasy w Polsce wynosi około 600 PJ/rok ([www.pigeo.org.pl](http://www.pigeo.org.pl)). Inne źródła podają, iż gdyby wykorzystać zdegradowane ziemie uprawne i ziemie odłogowe pod szybko rosnące plantacje energetyczne można by w Polsce pozyskać 424 PJ energii pierwotnej, jednocześnie od 1990r. rosnące nadwyżki w produkcji słomy wyniosły w 2006 roku 11,8 mln ton (195 PJ) (Janowicz, 2006). W 2009 roku w Polsce zużyto na ogrzewanie domów jednorodzinnych 7,4 mln ton biomasy (Stasiak, 2009), choć jest to jeszcze względnie niska wartość. Dla porównania w Szwecji w 2004r. użyto 500 tys. ton samych pelet drzewnych, spalając je w 57000 palnikach i kotłach oraz 10000 piecach (Olsson, 2006). Biomasa jest atrakcyjnym energetycznie substytutem paliw kopalnianych (tab. 1). Przykładowe wartości energetyczne dla gazu ziemnego i węgla kamiennego wynoszą odpowiednio 32 MJ/m<sup>3</sup> i 29 MJ/kg ([www.instalacjebudowlane.pl](http://www.instalacjebudowlane.pl)).

Biomasę wykorzystuje się głównie na cele produkcji spożywczej, a także do produkcji papieru i włókna oraz w ograniczonym zakresie do celów energetycznych. Biomasa rozumiana właśnie jako źródło energii (pozyskanej podczas jej spalania czy zgazowania) stanowią: drewno opałowe, drewno odpadowe (pelety – sprasowane wióry i trzciny), rośliny energetyczne (rośliny uprawne roczne, rośliny drzewiaste szybkiej rotacji, szybko-rosnące trawy wieloletnie, wolnorosnące gatunki

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: k.jedrus@wp.pl

drzewiaste), produkty i odpady rolnicze (m.in. słoma, owies), biogaz, biopaliwa płynne (www.biomasa.org).

Tab. 1. Właściwości biopaliw stałych (www.biomasa.org)

Biopaliwo	Wilgotność	Wartość energetyczna	Gęstość	Zawartość popiołu
	%	MJ/kg	kg/m <sup>3</sup>	% s.m.
zrębki	20 - 60	6 - 16	150 - 400	0,6 - 1,5
pelety drzewne	7 - 12	16,5 - 17,5	650 - 700	0,4 - 1,0
słoma żółta	10 - 20	14,3	90 - 165	4
drewno kawałkowe	20-30	11-22	380 - 640	0,6 - 1,5
kora	55-65	18,5 - 20	250 - 350	1 - 3

Podczas spalania biomasy bilans dwutlenku węgla jest zerowy, ponieważ tyle się go emituje, ile rośliny potrzebują podczas procesu fotosyntezy (www.conbiot.ichpw.zabrze.pl). Jednakże spalanie drewna na skalę lokalną może powodować emisję ponad 100 różnych substancji toksycznych i kancerogennych (Śliwińska i Śliwowski, 2003). Okazuje się więc, iż spalanie biomasy niesie ze sobą ryzyko paradoksalnego zanieczyszczenia środowiska i zagrożenia dla zdrowia człowieka. Dzieje się tak przy niekorzystnych warunkach bądź zastosowaniu technologii spalania nieodpowiedniej dla danego paliwa.

Celem niniejszej pracy była charakterystyka emisji związków organicznych przy spalaniu pelet drzewnych, ziaren owsa, pelet alternatywnych (słomianych, torfowo-drzewnych) w laboratorium oraz w lokalnych źródłach ciepła na podstawie analizy wyników badań prowadzonych przez (Olsson, 2006) w Szwecji oraz zaproponowanie metod, dzięki którym te emisje mogą być niższe.

## 2. Materiał badawczy

Przeprowadzono dwie odrębne serie badawcze. Pierwsza z nich dotyczyła pomiarów emisji w laboratorium, gdzie zbadano spalanie pelet drzewnych, pelet alternatywnych (słomianych, torfowo-drzewnych) oraz ziaren owsa. Druga seria dotyczyła: spalania pelet drzewnych w różnych urządzeniach do tego przystosowanych oraz spalania drewna w 2 różnych kotłach (nowoczesnym - ekologicznym oraz starym). W tabeli 2 przedstawiono pelety użyte do badań (Olsson, 2006).

Tab. 2. Pelety użyte do badań (Olsson, 2006)

	skład
Pelety A	trociny i trochę wiórów, sosna/świerk
Pelety B	trociny, sosna/świerk
Pelety C	wióry, sosna/świerk, 1% skrobi ziemniaczanych

Pelety drzewne produkowane są z trocin i wiór drzewnych w 4 etapach. Najpierw suszy się trociny i wióry oddzielnie, następnie miesza się je i mieli. Czasem dodaje się spoiwa (np. ziemniaczane skrobia). Mieszanek

poddaje się sprasowaniu w specjalnej matrycy gdzie dzięki siłom tarcia wytworzone „sznurki” drzewne osiągają temperaturę powyżej 100°C. Po pocięciu na krótkie walce, pozostawia się tak wyprodukowane pelety do schłodzenia. Właściwości pelet drzewnych zależą od drewna, z którego resztek zostały wyprodukowane. Są homogenicznym paliwem o niskiej zawartości wilgoci, dzięki czemu nie tylko spalają się z lepszą wydajnością, lecz również łatwiej się je przechowuje. Koszt ich produkcji równoważony jest przez mniejszy koszt transportu – w porównaniu do nieprzetworzonych biopaliw. Dzięki stosunkowo dużej gęstości i jednolitości elementów są łatwe w użytkowaniu (możliwość automatyzacji podajnika). W tabeli 3 przedstawiono chemiczny skład poszczególnych paliw. Pelety słomiane to pelety wyprodukowane z pszenicy, a torfowo-drzewne zawierały 35% torfu i 65% drewna (Olsson, 2006).

Tab. 3. Procentowy skład chemiczny poszczególnych paliw (Olsson, 2006)

składnik	drewno	owies	słoma	torf
lignina	28	7	20	6 - 40
celuloza	41	9	24	0 - 20
hemiceluloza	25	12	21	10 - 25
skrobia	śladowe ilości	47	3	-
białka	0,6	12	4	5 - 25
kwasy humusowe	-	-	-	3 - 50
inne	5	13	28	reszta

W tabeli 4 zestawiono urządzenia będące lokalnymi źródłami ciepła użyte w drugiej serii badań.

Tab. 4. Urządzenia użyte podczas drugiej serii badań (Olsson, 2006)

Urządzenie	Producent	Moc nominalna [kW]
Palnik A	Sahlins EcoTec A3	25
Palnik B	Sahlins EcoTec B1	50
Palnik C	PellX P20	20
Palnik D	Janfire Flex-a	23
Piec A	Calimax Sandor	7
Piec B	Austroflam Integr	11
Kocioł A	Baxi Multiheat	25
Kocioł ekologiczny	Baxi Solo Innova	30
Kocioł stary (1981r.)	EB-Pannan	20

## 3. Spalanie biomasy

Spalanie pelet drzewnych i alternatywnych, ziaren owsa czy kawałków drewna – to przykłady spalania ciał stałych. Proces ten jest złożony, homogeniczno-heterogeniczny. Spalanie heterogeniczne oznacza, iż spalaniu ulega ciało stałe składające się z różnych związków; homogeniczne – gazy uwolnione podczas pirolizy spalają się jako

mieszanina jednorodna. Ogólnie można wyróżnić następujące etapy spalania:

- suszenie (odparowanie wilgoci);
- piroliza (termiczny rozkład materii bez dopływu powietrza);
- spalanie gazów uwolnionych podczas procesu pirolizy (efekt świetlny płomienia);
- utlenienie węgla na powierzchni ciała stałego (żarzenie się, tlenie się).

Należy zwrócić uwagę na konieczność stosowania odpowiednich technologii spalania powyższych paliw. W procesie spalania wymagany jest dostęp tlenu pierwotnego (spalanie ciała stałego) oraz tlenu wtórnego (spalanie gazów).

#### 4. Emisja związków organicznych w laboratorium podczas spalania ziaren owsa, pelet drzewnych, słomianych oraz torfowo-drzewnych.

W laboratorium zbadano poszczególne etapy spalania cząstek biomasy. Pozwala to przewidzieć, jakie związki i w jakiej ilości mogą być emitowane zarówno podczas normalnej pracy urządzeń domowych (spalanie w przybliżeniu całkowite) oraz jaka będzie emisja podczas uruchomienia bądź zakłóceń w pracy (spalanie niecałkowite). Spalanie pelet drzewnych w urządzeniach składało się głównie z etapów płomiennych. Dodatkowo, w porównaniu do spalania w laboratorium, spalaniu w urządzeniach zazwyczaj towarzyszy wyższa temperatura, co tym bardziej pozwala na osiągnięcie spalania o charakterze całkowitym. W celu dokonania pomiarów określonych substancji wykorzystano metody chromatografii gazowej bądź spektrometrii masowej (Olsson, 2006).

##### 4.1. Spalanie pelet drzewnych

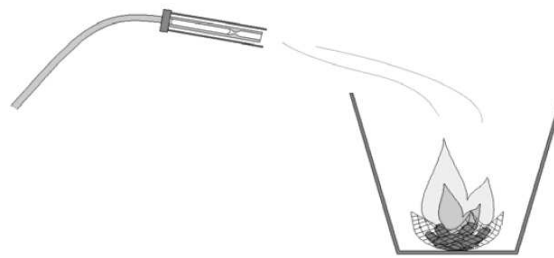
Pelety drzewne charakteryzują się niską emisją związków organicznych podczas spalania. Jest tak nie tylko z powodu niższej zawartości wilgoci i jednolitego kształtu, lecz również dzięki dużej porowatości (jako że pelety to skompresowane wióry i trzciny), dzięki czemu gazy pirolityczne w sposób łatwiejszy uwalniają się i dokonuje się szybsza wymiana ciepła (Olsson, 2006).

##### 4.1.1. Emisja związków organicznych ( $\geq 6C$ )

W celu zbadania emisji związków organicznych ( $\geq 6C$ ), spalono kilka pelet w ceramicznym naczyniu (rys. 1), w temperaturze ok.  $800^{\circ}C$ . Zbadano pelety 3 producentów: A, B i C. Dla wszystkich pelet emisje były bardzo mocno zbliżone. Wyróżniono 2 etapy spalania: „płomiennie spalanie” oraz „żarzenie” (Olsson, 2006).

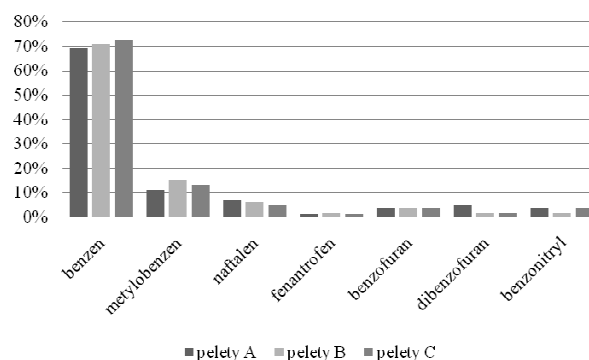
Podczas płomiennego spalania zanotowano m.in. emisję metoksyfenoli pochodzących z ligniny. Ich stężenie wyniosło  $0,1-1,0 \text{ mg/m}^3$  dla badanych pelet. Najbardziej widocznym polisacharydem wyemitowanym podczas „płomiennego spalania” była 1,6-anhydroglukoza. Zanotowano również 2-furaldehyd. Głównymi

wydzielonymi węglowodorami były benzen ( $0,01-0,10 \text{ mg/m}^3$ ) i metylobenzen (Olsson, 2006).



Rys. 1. Schemat spalania pelet i pobierania próbek dymu podczas badania emisji związków organicznych ( $\geq 6C$ ) w laboratorium (Olsson, 2006)

Po płomiennym etapie pelety żarzyły się z temperaturą na powierzchni około  $400^{\circ}C$ . Wiodącym związkiem wydzielonym w tym etapie był benzen dla wszystkich pelet ( $0,01-0,30 \text{ mg/m}^3$ ). Stężenie naftalenu, fenantrenu, i innych węglowodorów pierścieniowych było niskie (Rys. 1), ze względu na niską temperaturę spalania (Olsson, 2006).



Rys. 2. Względna zawartość substancji organicznych ( $\geq 6C$ ) w dymie podczas etapu „żarzenia” dla 3 rodzajów pelet (Olsson, 2006)

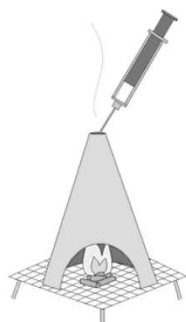
Podczas żarzenia pelet metoksyfenole i 1,6-anhydroglukoza były nieobecne w dymie, co jest dużą różnicą w porównaniu do żaru podczas spalania kawałków drewna – może to być spowodowane szybszą dyfuzją gazów w początkowym etapie spalania pelet dzięki większej porowatości. Należy zwrócić szczególną uwagę na emisję kancerogenego benzenu w tym etapie, pomimo iż ogólne stężenia związków organicznych w etapie płomiennego spalania były wyższe (Olsson, 2006).

##### 4.1.2. Emisja związków organicznych ( $\leq 7C$ )

Zbadano w laboratorium emisję związków organicznych ( $\leq 7C$ ) dla 5 poszczególnych etapów spalania pelet drzewnych A. Wyróżniono 5 kolejnych etapów:

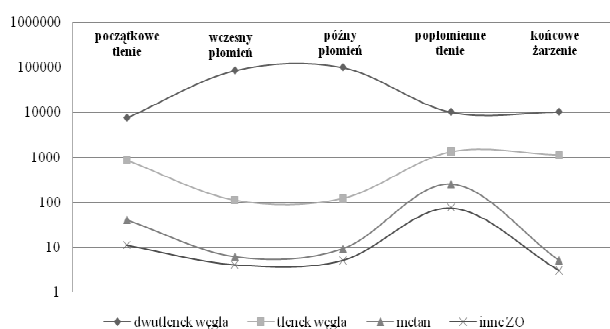
- początkowe tlenie;
- wczesny płomień;
- późny płomień;
- popłomiennie tlenie;
- końcowy żar.

Na rysunku 3 przedstawiono sposób pobierania próbek (Olsson, 2006).



Rys. 3. Sposób pobierania próbek dymu podczas badania emisji związków organicznych ( $\leq 7C$ ) podczas 5 kolejnych etapów spalania (Olsson, 2006)

Na rysunku 4 przedstawiono w skali logarytmicznej dla poszczególnych etapów emisje: dwutlenku węgla, tlenku węgla, metanu, innych związków organicznych (Olsson, 2006).



Rys. 4. Stężenie ( $mg/m^3$ , skala logarytmiczna)  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$  i innych związków organicznych ( $\leq 7C$ ) (inne ZO) podczas 5 kolejnych etapów spalania pelet A (Olsson, 2006)

Podczas początkowego tlenia stężenie związków organicznych było wysokie. Główne wyemitowane związki to: metan, furan, etylen. Zanotowano również emisje związków furanowych, pochodzących z celulozy i innych polisacharydów. Ich obecność podczas dalszych etapów spalania była zaniedbywalnie znikoma (Olsson, 2006).

Spalanie podczas „wczesnego i późnego płomienia” było bardzo wydajne, na poziomie 99% (obliczone jako stosunek dwutlenku węgla do sumy dwutlenku i tlenku węgla). Zmierzono temperaturę w płomieniu  $500^{\circ}C$  i między peletami  $400-500^{\circ}C$ . Około 80% suchej biomasy spaliło się. Główne organiczne związki w tych etapach to: metan, etylen, acetylen (Olsson, 2006).

Największe stężenia związków organicznych zanotowano w etapie „popłomiennego tlenia” i były to m.in.: metan, etan, acetylen, benzen (Olsson, 2006).

Emisja związków organicznych z etapu „końcowego żaru” była nawet niższa niż z etapów „wczesnego i późnego płomienia”, choć w innych proporcjach, głównymi związkami były znowu: metan, acetylen, benzen (Olsson, 2006).

Ogólnie rzecz biorąc, spalanie w etapach „płomienia” było efektywne a emisja związków organicznych ( $\leq 7C$ ) była niska. W etapach „początkowego oraz popłomiennego tlenia” emisja zaś była o wiele wyższa. Należy ten fakt brać pod uwagę, projektując urządzenia

do spalania pelet ze względu na odpowiednią technologią oraz wpływ na ludzkie zdrowie i środowisko. Etapy „tlenia” mogą wystąpić w nieodpowiednio działających domowych urządzeniach, które posiadają regulację mocy. Aby uniknąć wysokich emisji związków organicznych ( $\leq 7C$ ), trzeba utrzymywać w urządzeniach spalanie na etapie „wczesnego i późnego płomienia” (Olsson, 2006).

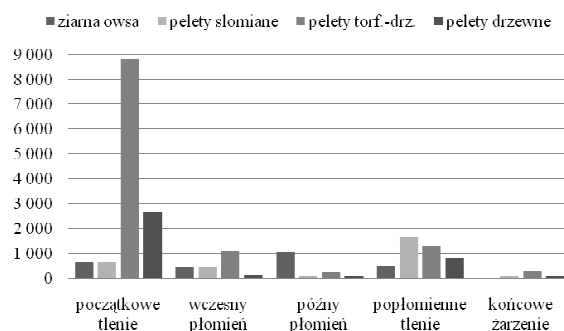
#### 4.2. Spalanie ziaren owsa, pelet drzewnych, słomianych oraz torfowo-drzewnych

Zbadano emisje związków organicznych ( $\leq 7C$  oraz  $\geq 6C$ ) ze spalania ziaren owsa, pelet słomianych, pelet torfowo-drzewnych oraz porównano je z emisjami ze spalania pelet drzewnych – w poszczególnych 5 etapach (pkt 4.1.2). Emisje różniły się w zależności od warunków spalania oraz składu chemicznego paliwa (Olsson, 2006).

Podczas etapu „wczesnego płomienia” temperatura między ziarnami/peletami wyniosła  $400-450^{\circ}C$ , większość oryginalnego paliwa była widoczna, zaś podczas etapu „późnego płomienia” widać było tylko zwęglone powierzchnie. Każdy z etapów „płomienia” trwał 1-2 min. Dla etapu „popłomiennego tlenia” temperatura pelet nie spadła, zaś owsa obniżyła się drastycznie. Ostatni etap – „końcowego żaru” trwał dla owsa bardzo krótko, zaś dla pelet ok. 20 min., temperatura powoli spadła (Olsson, 2006).

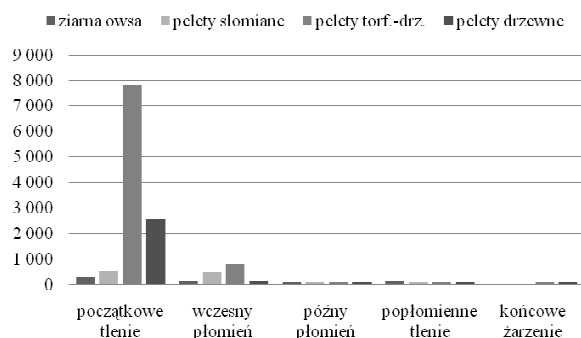
Podczas spalania ziaren owsa tylko 57% suchej masy spaliło się, a dla pelet wartość ta wyniosła ponad 98% (nie biorąc pod uwagę popiołu) (Olsson, 2006).

Wysokie stężenia emitowanych związków organicznych przy niepełnym spalaniu odnotowano w fazie „początkowego tlenia”, w porównaniu do pozostałych faz. Ogólnie rzecz biorąc, spalanie podczas „wczesnego i późnego płomienia” było wysokoefektywne przy niskiej emisji związków organicznych. Odnotowano dla tych etapów emisje niższe dla pelet drzewnych niż dla pozostałych paliw. Rysunek 5 przedstawia sumę wszystkich zmierzonych substancji (Olsson, 2006).

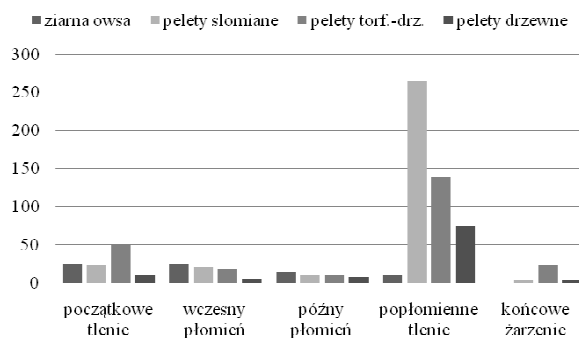


Rys. 5. Stężenie ( $mg/m^3$ ) badanych związków organicznych w dymie z 5 etapów spalania dla poszczególnych paliw (Olsson, 2006)

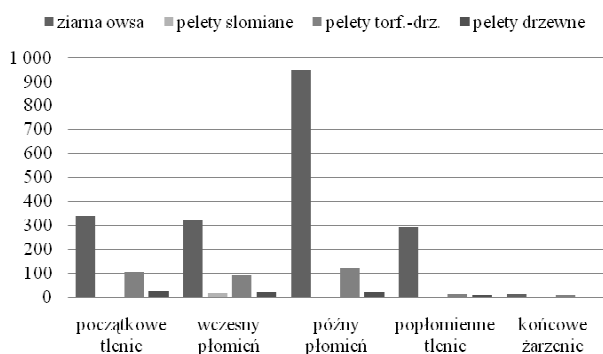
Na rysunkach 6-10 przedstawiono dla poszczególnych etapów spalania odpowiednie ilościowe stężenia następujących związków: metoksyfenole, 1,6-anhydroglukoza, związki furanopochodne, metan, związki niebezpieczne dla zdrowia ludzkiego (Olsson, 2006).



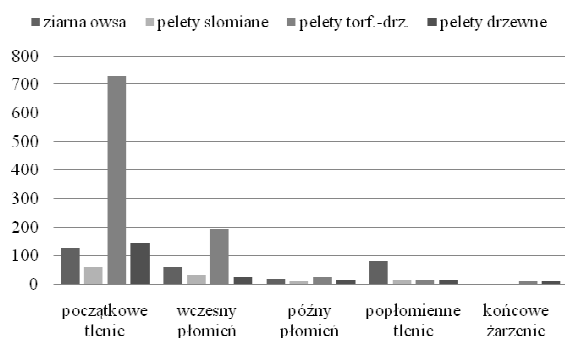
Rys. 6. Stężenie ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) metoksyfenoli w dymie z 5 etapów spalania dla poszczególnych paliw (Olsson, 2006)



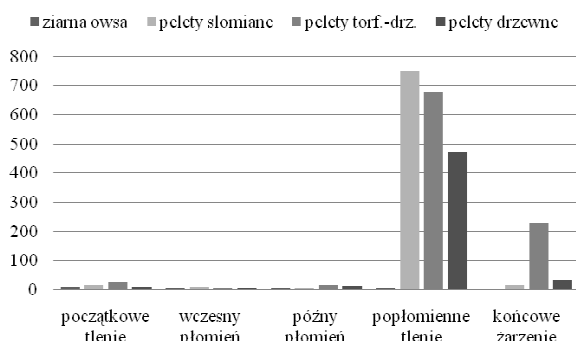
Rys. 10. Stężenie ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) związków niebezpiecznych dla zdrowia w dymie z 5 kolejnych etapów spalania dla poszczególnych paliw (Olsson, 2006)



Rys. 7. Stężenie ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) 1,6-anhydroglukozy w dymie z 5 etapów spalania dla poszczególnych paliw (Olsson, 2006)



Rys. 8. Stężenie ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) związków furanopochodnych w dymie z 5 etapów spalania dla poszczególnych paliw (Olsson, 2006)



Rys. 9. Stężenie ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) metanu w dymie z 5 etapów spalania dla poszczególnych paliw (Olsson, 2006)

Metoksyfenole były głównymi składnikami dymu dla wszystkich paliw. Największe stężenie uzyskała 1,6-anhydroglukoza dla spalonych ziaren owsa, na wszystkich etapach. Stężenie związków furanopochodnych było najwyższe podczas etapu „początkowego tlenia”, w szczególności dla pelet torfowo-drzewnych. Metan był zanotowany w dymie z pelet torfowo-drzewnych, drzewnych oraz słomianych, w szczególności największe stężenie odnotowano dla etapu „popłomiennego tlenia”, które trwało jednak tylko ok. pół minuty – co jest w porównaniu dla każdego z etapów „płomienia” (około 5 min.) bardzo krótkim okresem czasu. W tym przypadku metan nie może być postrzegany jako groźny gaz cieplarniany. Należy jednak zwrócić uwagę, iż w tym samym etapie wydzielona została duża ilość związków niebezpiecznych dla zdrowia ludzkiego i środowiska (znowu dla wszystkich paliw oprócz ziaren owsa). Stężenie węglowodorów pierścieniowych: naftalenu i fenantrenu w dymie podczas „popłomiennego tlenia” słomianych pelet oraz podczas „początkowego tlenia” pelet torfowo-drzewnych było względnie wysokie (Olsson, 2006).

Ogólnie rzecz biorąc ziarna owsa, pelety torfowo-drzewne i słomiane wywołują stosunkowo niskie emisje związków organicznych, prawie tak niskie jak pelety drzewne. Najbardziej niebezpieczna wydaje się być faza „popłomiennego tlenia”, podczas której związki kancerogenne i inne niebezpieczne dla życia ludzkiego i środowiska były wyemitowane we względnie dużych ilościach. Należy więc unikać tego etapu spalania w urządzeniach domowych (Olsson, 2006).

## 5. Emisja związków organicznych w urządzeniach domowych

Ze względu na rosnącą popularność pelet drzewnych i swoje zalety (względnie zerowa emisja dwutlenku węgla do środowiska), zbadano emisję określonych związków organicznych podczas spalania ich w przystosowanych do tego urządzeniach. Wyniki porównano z emisjami wywołanymi spalaniem drewna w kotle ekologicznym oraz starym. Pomiarów dokonano u wylotu komina jako chwilowe emisje, wykorzystano do tego metody chromatografii gazowej bądź spektrometrii masowej (Olsson, 2006).



### 5.1. Spalanie pelet drzewnych w urządzeniach do tego przystosowanych

Wszystkie instalacje zastosowane w badaniach służyły do celów grzewczych o charakterze lokalnym. Należy zwrócić uwagę, iż przedstawione poniżej wyniki pomiarów nie stanowią ścisłych danych, lecz tylko przykłady zanotowane jednorazowo, wskazują więc w przybliżeniu poziom emisji poszczególnych związków. Wpływ na charakter emisji mają nie tylko producent i model urządzenia, ale również cała instalacja współpracująca z konkretnym urządzeniem, zarządzanie nim oraz utrzymanie. W przypadku palnika dużą rolę odgrywa także wybór kotła, w którym został zainstalowany (Olsson, 2006).

#### 5.1.1. Palniki

Zmierzono emisje związków organicznych ( $\geq 6C$ ) ze spalania pelet drzewnych w 4 palnikach: A, B, C i D. Pomiarów dokonano przy pracy o najwyższej wydajności, a dla Palnika C dodatkowo zmierzono emisję przy wydajności 50%. Wszystkie pelety zainstalowane były w kotłach dwu-funkcyjnych. Stężenia dwutlenku węgla, tlenu węgla, metanu, benzenu i fenantrenu dla palników A, C i D zostały przedstawione w tabeli 5 (Olsson, 2006).

Tab. 5. Stężenia ( $mg/m^3$ ) wybranych związków wyemitowanych podczas pracy palników (Olsson, 2006)

	Palnik A		Palnik C		Palnik D
	25kW	20kW	10kW	23kW	
CO <sub>2</sub>	61000	110000	39000	120000	
CO	1300	23	530	70	
metan	19	0,30	3,3	n.o.	
benzen	11	0,010	0,46	0,021	
fenantren	1,4	0,0006	0,068	0,0090	

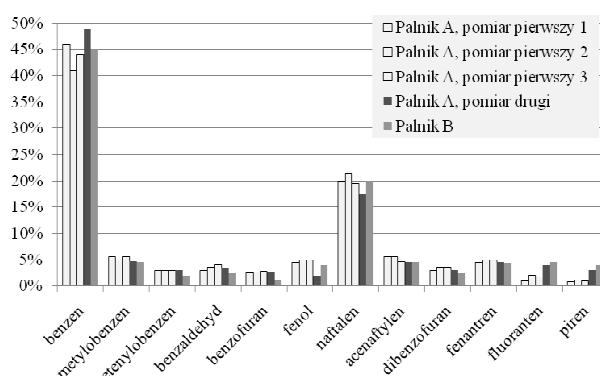
n.o. = nie określono

Emisje były ogólnie niskie ze wszystkich palników, choć najniższe odnotowano dla palników C i D przy maksymalnej wydajności. Dla wydajności 50% emisje były nieco wyższe, należy więc zastanowić się nad celowością zmniejszania mocy pracy palników w dłuższych okresach czasu (Olsson, 2006).

Największe emisje wystąpiły przy pracy palnika A, który jest starym modelem. Przyczyną tego faktu było zbyt szybkie chłodzenie płomienia na ścianach kotła. Stężenie wyemitowanego benzenu było znacząco wyższe niż przy pozostałych palnikach, co podkreśla istotność wyboru „najlepszej technologii”, z uwzględnieniem sposobu działania samego palnika jak i doboru palnika do danego kotła (Olsson, 2006).

Porównano również emisje związków organicznych ( $\geq 6C$ ) z palnika A i B. Głównym aromatycznym węglowodorem w dymie ze spalania pelet w tych palnikach był benzen. Drugim co do wielkości stężenia wyemitowanym związkiem był naftalen. Odnotowano emisje również innych węglowodorów aromatycznych (wielopierścieniowych): acenaftalen, fenantren, fluoranten, piren. Pierwotne produkty pirolizy:

metoksyfenole, 1,6-anhydroglukoza nie były obecne w dymie, prawdopodobnie ze względu na całkowity charakter spalania dzięki wysokiej temperaturze. Poszczególne emisje przedstawiono na rysunku 11 (Olsson, 2006).



Rys. 11. Względne stężenia ( $mg/m^3$ ) głównych związków organicznych ( $\geq 6C$ ) w dymie z palników A i B; białe kolumny to 3 próbki pobrane naraz za pierwszym razem; pomiaru drugiego dla palnika A dokonano kilka tygodni później (Olsson, 2006)

Dodatkowo zbadano emisje związków organicznych ( $\leq 7C$ ) dla palnika C. Główne odnotowane alkeny to etylen i propen. Z alkinów wystąpił acetylen. Wyniki są podobne do etapów „późnego i wczesnego płomienia”, z nieco inną proporcją związków (Olsson, 2006).

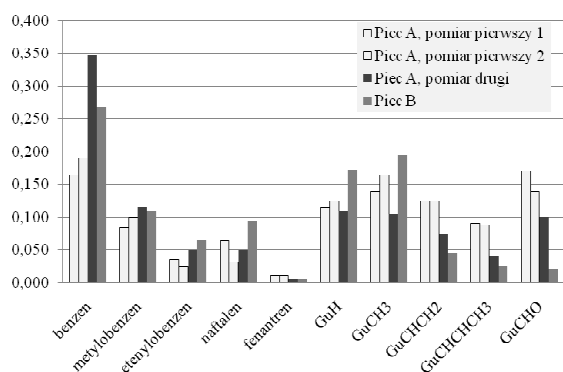
#### 5.1.2. Piec i kocioł

Zmierzono i porównano emisje związków organicznych ( $\geq 6C$ ) ze spalania pelet drzewnych w piecu A i w kotle A, obydwa urządzenia zbadano przy niskiej i wysokiej wydajności. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 6. Emisje z pieca dla obydwu wydajności są podobne do emisji dla niskiej wydajności z kotła A (Olsson, 2006).

Tab. 6. Porównanie stężeń wybranych związków wyemitowanych z pieca i kotła (n.o. = nie określono) (Olsson, 2006)

	Piec A		Kocioł A	
	7kW	4kW	25kW	8kW
CO <sub>2</sub>	51000	39000	110000	32000
CO	610	610	49	430
Metan	5,3	5,2	0,99	n.o.
benzen	0,57	0,60	0,84	0,47
fenantren	0,012	0,034	0,080	0,018
metoksyfenole	0,15	0,40	0,22	0,016

Na rysunku 12 zestawiono również emisje ze spalania pelet drzewnych w piecu A oraz w piecu B. Związki wyemitowane okazały się te same, lecz w innej proporcji (Olsson, 2006).



Rys. 12. Względne stężenia ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) głównych związków organicznych ( $\geq 6\text{C}$ ) w dymie z pieców A i B; białe kolumny to 2 próbki pobrane naraz za pierwszym razem; pomiaru drugiego dla palnika A dokonano kilka tygodni później; Gu = 4-hydrokso-3-metoksyfenyl (Olsson, 2006)

Największą różnicą w porównaniu emisji ze spalania pelet drzewnych w palnikach oraz w piecach i kotłach jest obecność pierwotnych produktów pirolizy, takich jak metoksyfenole czy 1,6-anhydroglukoza. Porównanie pracy powyższych urządzeń pokazuje, iż należy mierzyć nie tylko ogólny organiczny węgiel (OGC) wyemitowany podczas spalania, ale również określone substancje (Olsson, 2006).

## 5.2. Spalanie drewna w ekologicznym kotle na drewno

Nowoczesne ekologiczne kotły drewniane charakteryzują się niską emisją związków organicznych. Zbadano emisję spalania w ciągu 1 pełnego cyklu spalania, który podzielano na 2 etapy: „płomień” i „żar”. Czas trwania pierwszego był w przybliżeniu równy czasowi trwania drugiego (Olsson, 2006).

Etap „płomienia” charakteryzował się wyższą emisją substancji: metan, etylen, benzen, metylobenzen, naftalen, Wyniki pomiarów emisji oraz podział na 2 etapy przedstawiono na rysunku 13 (Olsson, 2006).

Według danych producenta spalanie odbyło się w temperaturze około  $1000^\circ\text{C}$ . Informację tą można potwierdzić odnotowaną niską zawartością węglowodorów aromatycznych w dymie, jak również wysokim poziomem dwutlenku węgla i niskim poziomem

tlenku węgla. W dodatku, emisja metoksyfenoli była praktycznie zerowa, a obecność 1,6-anhydroglukozy oraz 2-furaldehydu prawie niezauważalna (Olsson, 2006).

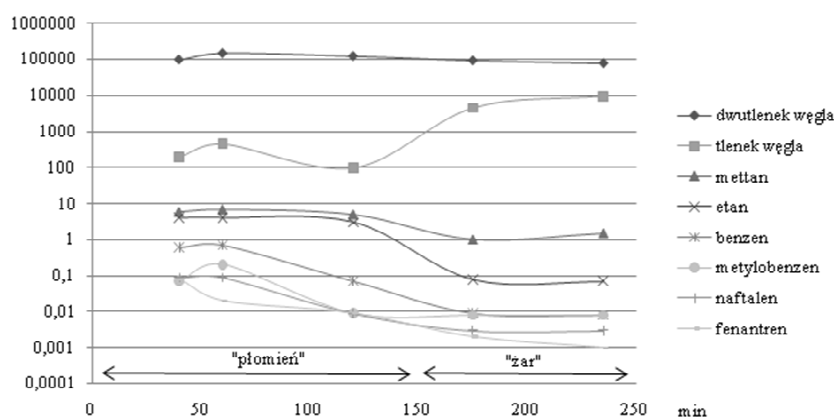
Kocioł ekologiczny okazał się, jak przypuszczano, urządzeniem o wysokiej efektywności spalania oraz o niskiej emisji związków niebezpiecznych dla zdrowia i środowiska. Wydaje się zatem być racjonalnym wyborem jako przyjazne środowisku lokalne źródło ciepła. Zaleca się również podłączenie instalacji kotłowej do zbiornika ciepłej wody użytkowej, by zapewnić optymalne wykorzystanie wytworzonej energii cieplnej (Olsson, 2006).

## 5.3. Porównanie lokalnego spalania pelet drzewnych i drewna

Porównano emisje z 4 urządzeń służących do celów grzewczych, wykorzystujących drewno bądź pelety drzewne: palnik C (pelety), piec A (pelety), ekologiczny kocioł (drewno), stary piec (drewno). Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 7 (Olsson, 2006).

Tab. 7. Stężenie wybranych związków ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) odnotowane u wylotu z kominów od różnych lokalnych źródeł ciepła; sprawność spalania określono jako  $[\text{CO}_2/(\text{CO}_2+\text{CO})]$  (Olsson, 2006)

urządzenie	pelety drzewne		drewno opałowe		
	Palnik C	Piec A	Ekologii czny kocioł drew- niany	Stary piec	
wydajność	20kW	10kW	7kW	30kW	20kW
$\text{CO}_2$	110000	9000	57000	120000	120000
CO	23	530	610	200	4100
metan	0,3	3,3	5,3	3,6	120
benzen	0,01	0,46	0,57	0,5	13
piren	-	0,02	-	0,05	0,35
meto- ksyfenole	-	-	0,5	-	44
sprawność	100	99	99	100	97
benzen (mg/h)	2	100	30	100	n.o.



Rys. 13. Stężenia ( $\text{mg}/\text{m}^3$ , skala logarytmiczna) wybranych związków w dymie z ekologicznego kotła w ciągu całego cyklu spalania (Olsson, 2006)

Stężenia substancji organicznych wyemitowanych z ekologicznego kotła były bardzo niskie, tego samego rzędu co pieca A (pelety), lecz wyższe niż z palnika C (pelety) przy 100% wydajności. Emisje z palnika C (pelety) przy wydajności 50% były zbliżone do tych z ekologicznego kotła (Olsson, 2006).

Emisja kancerogennego benzenu z badanych urządzeń może być niepokojąca jeśli chodzi o ludzkie zdrowie. Jednakże godzinowe ilości wyemitowana przez powyższe urządzenia była zdecydowanie niższe niż godzinowa emisja benzenu z przeciętnego samochodu (200mg/h). W dodatku, emisja na wysokości wylotu spalin z komina zagraża człowiekowi w małym stopniu (Olsson, 2006).

Należy zwrócić uwagę na fakt, iż tylko stary piec na drewno wyemitował spore ilości metoksyfenoli (pierwotny produkt pirolizy), co świadczy o słabej efektywności spalania. Emisja wtórnych produktów spalania, takich jak benzen i piren, rośnie wraz ze spadkiem wydajności (tab. 7). Ogólnie rzecz biorąc emisję z wysokowydajnych urządzeń (palnik C, piec A, ekologiczny kocioł drewniany) można uznać jako niskie (Olsson, 2006).

## 6. Związki organiczne

### 6.1. Metan

Metan był jednym z głównych związków organicznych wyemitowanych przy spalaniu paliw zawierających węgiel. Odnotowane stężenie metanu mieści się w przedziale 0,5-30ppm dla urządzeń spalających pelety drzewne, zaś dla ekologicznego kotła na drewno 2ppm. Metan nie jest szkodliwy dla zdrowia ludzkiego, jednak jako gaz cieplarniany posiadający duży „cieplarniany” potencjał (20-krotnie większy niż dwutlenek węgla) powinien być kontrolowany. Jego emisja wywołana pracą urządzeń omówionych w niniejszej pracy stanowi zaledwie kilka procent emisji przy spalaniu paliw kopalnianych (Olsson, 2006).

### 6.2. Nietanowe związki organiczne ( $\leq 7C$ )

Związki te wydzielają się podczas niepełnego spalania. Alkeny (etylen, propen), dzięki swoim podwójnym wiązaniom, są mutagenne i posiadają zdolności fotooksydacyjne, alkeny mogą również przyczyniać się do fotooksydacji. Jednak emisja alkenów przy pracy badanych urządzeń była niska, co sprawia iż nie stanowią zagrożenia fotooksydacyjnego (Olsson, 2006).

Niektóre z tych związków uważane są za rakotwórcze (benzen), niektóre jako prawdopodobnie rakotwórcze (1,3-butadien), jeszcze inne jako „być może” rakotwórcze (furan). Emisja tych substancji była bardzo niska dla badanych urządzeń (Olsson, 2006).

### 6.3. Benzen

Benzen to główny aromatyczny węglowodór emitowany podczas pracy badanych urządzeń. Zauważono, iż przy

wzroście efektywności spalania, udział w spalinach benzenu rośnie, choć ogólne stężenie związków organicznych maleje. Benzen odnotowano w dużych (względem innych substancji) stężeniach zarówno przy spalaniu pelet w palnikach i drewna w ekologicznym kotle, jak i w laboratorium w etapie „końcowego żaru” dla pelet drzewnych, słomianych oraz torfowo-drzewnych. Był również obecny w dymie przy reszcie badanych przypadków, w mniejszych stężeniach (Olsson, 2006).

Benzen jest związkiem rakotwórczym oraz silną trucizną powodującą uszkodzenie układu krwiotwórczego (Białecka-Florjańczyk i Włostowska, 2005). Zatem emisja benzenu przy pracy badanych urządzeń może wydawać się groźna dla ludzkiego zdrowia, jednak w porównaniu do średnich godzinowych emisji w spalinach przeciętnego samochodu i w zestawieniu z faktem, iż człowiek nie jest narażony bezpośrednio na tą emisję (komin), emisja benzenu z analizowanych urządzeń nie stanowi zagrożenia dla człowieka (Olsson, 2006).

### 6.4. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA)

Emisje tych substancji w przeprowadzonych badaniach były ogólnie niskie. Główne z nich to: naftalen, fenantren, fluoranten i piren (Olsson, 2006).

Wiele tych substancji, zmierzonych w przeprowadzonych badaniach, jest toksycznych i rakotwórczych, co stwierdzono już w XVIII w. (Białecka-Florjańczyk i Włostowska, 2005). Są to związki składające się z kilku skondensowanych pierścieni benzenowych. Ich emisja zależy ściśle od warunków spalania. Tworzą się one głównie w temperaturach 700-900°C, a rozkładają się termicznie w wyższych temperaturach. Ich tworzenie się jest ułatwione dzięki obecności ligniny w paliwach, są wynikiem rozkładu termicznego metoksyfenoli i celulozy (Olsson, 2006).

### 6.5. Metoksyfenole

Metoksyfenole to podstawowe produkty rozkładu termicznego ligniny obecnej we wszystkich badanych paliwach (tab. 2). Największe ilości wydzielają się podczas spalania w temperaturach 400-700°C, a wraz ze wzrostem temperatury ilości te maleją. Metoksyfenole posiadają właściwości antyutleniające, dzięki czemu mogą chronić komórki ludzkie przed wolnymi rodnikami (Olsson, 2006).

Metoksyfenole odnotowano w wysokich proporcjach w laboratorium przy spalaniu pelet drzewnych w etapach „wczesnego i późnego płomienia” oraz przy spalaniu wszystkich rodzajów pelet i ziaren owsa w etapie „wczesnego tlenia”. Niskie emisje pojawiły się w dymie z pieców i kotłów, a przy pracy ekologicznego kotła i palników były praktycznie nieobecne. Mogą być obok dwutlenku i tlenku węgla wskaźnikiem efektywności procesu spalania (Olsson, 2006).

### 6.6. Związki furanopochodne i 1,6-anhydroglukoza

Związki te powstają jako pierwotne produkty pirolizy polisacharydów. 1,6-anhydroglukoza powstaje już w temperaturach 220-250°C i wyższych. Wydzieliła się w wysokich stężeniach przy „płomiennym” spalaniu pelet drzewnych i w etapie „późnego płomienia” ziaren owsa i pelet torfowo-drzewnych. Była także obecna w dymie z Pieca A i Kotła A. Nie jest związkiem niebezpiecznym dla zdrowia (Olsson, 2006).

Emisję związków furanopochodnych odnotowano przy spalaniu pelet drzewnych i torfowo-drzewnych w laboratorium. Furan i benzofuran są „być może” rakotwórcze (Olsson, 2006).

### 7. Ostatnie badania

Emisja różnych związków przy spalania biopaliw w lokalnych źródłach ciepła to temat aktualny, podejmowany przez różnych autorów: (Bignal i in., 2008; Atkins i in., 2010; Zhenzhen i in., 2009). Praca (Bignal i in., 2008) polegała na zmierzeniu emisji WWA, CO, NO i cząstek stałych podczas spalania zrębek drzewnych w lokalnym kotle o mocy 50kW. Badano emisję podczas 2 trybów pracy kotła: tryb „podtrzymanie” oraz tryb „pełnej mocy”. Z badanych 16 związków WWA wszystkie były obecne, zarówno w fazie gazowej, jak również skondensowane na cząstkach stałych. Głównymi WWA były naftalen oraz fenantren. Średnie stężenie WWA podczas trybu „podtrzymanie” wyniosło 494, a dla trybu „pełnej mocy” 265 mikrogramów/m<sup>3</sup>. Okazało się, że rodzaj drewna na emisję powyższych związków ma małe znaczenie, zaś zawartość wilgoci oraz tryb pracy kotła ma znaczący wpływ. Aby uniknąć trybu „podtrzymanie”, można zaopatrzyć się dodatkowo w kocioł małej mocy i korzystać z niego w okresach małego zapotrzebowania na ciepło. W celu zmniejszenia emisji badanych związków zaleca się również stosowanie nowoczesnych technologii do spalania ciał stałych, które charakteryzują się długim czasem przebywania paliwa w komorze (co pozwala uzyskać spalanie w wysokich temperaturach) oraz odpowiedni dostęp tlenu pierwotnego i wtórnego (pełniejsze spalanie). Nie bez znaczenia jest również rola automatyzacji procesu spalania, co pozwala uzyskiwać bezobsługowo najlepsze warunki pracy kotła (Bignal i in., 2008).

Autorzy pracy (Atkins i in., 2010), kontynuując pracę badawczą nad emisjami przy spalaniu biomasy (Bignal i in., 2008), zbadali emisję WWA oraz polichlorowanych dwufenyli podczas spalania 2 rodzajów pelet drzewnych w tym samym kotle (50kW) również w 2 trybach: „podtrzymanie” oraz „pełnej mocy” (Bignal i in., 2008). Pelety A i B posiadały odpowiednio 5,1 oraz 9,3% wilgotności, a emisje WWA z ich spalania wyniosły 41,3 i 52,7 (tryb „pełnej mocy”) oraz 93,4 i 112,6 mikrogramów/m<sup>3</sup> (tryb „podtrzymanie”). Wyniki te potwierdziły tezę (Bignal i in., 2008), iż czynniki wywołujące większą emisję WWA to wyższa zawartość wilgoci i tryb pracy kotła „podtrzymanie”. Autorzy pracy

zalecają korzystanie z jak najbardziej suchych pelet drzewnych oraz użytkowanie kotłów na biomasę w trybie „pełnej mocy” (Atkins i in., 2010).

W pracy (Zhenzhen i in., 2009) zmierzono emisję związków organicznych ze spalania 6 szerokolistnych drzew i krzewów rosnących w Chinach, spalając próbki każdego z nich w laboratorium. Emisje były różne dla różnych gatunków drzew/krzewów, lecz można wymienić wydzielone związki w kolejności malejącej: metoksyfenole (pochodzące z ligniny) oraz cukry (pochodzące z celulozy), alkohole, estry woskowe, WWA, alkany. Furanoza i piranoza zostały po raz pierwszy odnotowane w dymie ze spalania biomasy. Stężenia różnych związków zależały od temperatury spalania, dostępu tlenu do płomienia i zawartości wilgoci (Zhenzhen i in., 2009).

### 8. Podsumowanie i wnioski

Biopaliwa są coraz bardziej popularnym zamiennikiem dla paliw kopalnianych. Stanowią tańsze źródło energii cieplej dla odbiorców komunalnych, potencjalnie dostarczają podczas spalania mniej niebezpiecznych związków do środowiska, choć z drugiej strony wymagają wysokich inwestycji oraz wydzielają więcej pyłów (większa zawartość popiołu). Jednocześnie zamienniki dla drewna jako substratu do produkcji pelet cieszą się również coraz większym zainteresowaniem (słoma, torf) (Olsson, 2006).

Emisje podczas niepełnego spalania pelet drzewnych i zamienników różniły się między sobą w badaniach laboratoryjnych. Emisje różnych związków ze spalania zamienników były prawie tak niskie, jak dla pelet drzewnych. Przy spalaniu pelet w piecach i kotłach wydzielają się metoksyfenole i węglowodory aromatyczne. Spalanie pelet w palnikach jest bardziej wydajne niż w piecach i kotłach (Olsson, 2006).

Duże różnice pomiędzy emisjami z różnych urządzeń wskazują na istotność wyboru konkretnego urządzenia i konkretnego paliwa. Wyniki badań (Olsson, 2006) pokazują, iż emisje ze spalania zarówno na skalę laboratoryjną, jak również w urządzeniach lokalnych nie stanowią zagrożenia dla ludzkiego życia czy środowiska, jednak w niektórych etapach spalania emisje były alarmujące. Należy mieć zatem na względzie konieczność wyboru „najlepszej technologii” spalania pod względem wyboru odpowiedniego paliwa do odpowiedniego urządzenia, jak również pod względem efektywności spalania. Wyniki badań (Bignal i in., 2008; Atkins i in., 2010) potwierdzają konieczność spalania biomasy w odpowiednich warunkach, tak by minimalizować emisje groźnych dla środowiska i człowieka substancji.

Na podstawie analizy wyników badań zagranicznych (Olsson, 2006; Bignal i in., 2008; Atkins i in., 2010; Zhenzhen i in., 2009) można zaproponować następujące sposoby zmniejszające emisję związków m.in. organicznych przy spalaniu biopaliw stałych:

- używać biopaliw o jak najniższej zawartości wilgoci w paliwie;

- zwiększać czas przebywania paliwa w komorze spalania;
- zwiększać temperaturę spalania;
- unikać etapów „tlenia”, „żarzenia” (trybów pracy urządzeń „podtrzymanie”);
- kontrolować dopływ tlenu pierwotnego i wtórnego;
- automatyzować proces spalania, adekwatnie do danego urządzenia i dobranej do niego paliwa – może to przyczynić się do uzyskania najkorzystniejszych warunków spalania i ułatwić użytkowanie danego urządzenia (podawanie paliwa, opróżnianie popiołu).

Proponuje się, aby jednostki naukowo-badawcze w Polsce podjęły badania nad spalaniem biomasy na cele komunalne w warunkach polskich. Odpowiednie instytucje państwowe powinny podjąć akcje promujące biomasę do celów ogrzewania komunalnego na skale lokalną. Można również stworzyć program dotujący zakup specjalnych nowoczesnych urządzeń do wspomnianych celów z zastrzeżeniem monitorowania emisji. W ten sposób gospodarka energetyczna państwa mogłaby się uniezależnić od dostaw paliw kopalnianych, a ceny źródeł energii (konkurencyjność dla tradycyjnych paliw) mogłyby spaść. Choć proponowane rozwiązania są kapitałochłonne, mogą się opłacić w dłuższej perspektywie czasowej. Polska posiada duży potencjał biomasy. Jej spalanie na skalę lokalną za pomocą „nowoczesnych technologii” może przyczynić się do rozwoju gospodarki, przy jednoczesnym bardzo znikomym negatywnym oddziaływaniu na środowisko i ludzkie zdrowie.

### Literatura

- Atkins A., Bignal K. L., Zhou J. L., Cazier F. (2010). Profiles of polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls from the combustion of biomass pellets. *Chemosphere*, Vol. 78, 2010.
- Białecka-Florjańczyk E., Włostowska J. (2005). *Chemia organiczna*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.

- Bignal K. L., Langridge S., Zhou J. L. (2008). Release of polycyclic aromatic hydrocarbons, carbon monoxide and particulate matter from biomass combustion in a wood-fired boiler under varying boiler conditions. *Atmospheric Environment*, Vol. 42, 2008.
- Janowicz L. (2006). Biomasa w Polsce. *Energetyka i Ekologia*, 8/2006.
- Jastrzębska G. (2007). *Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007.
- Olsson M. (2006). Residential biomass combustion – emissions of organic compounds to air from wood pellets and other new alternatives. Thesis for degree of doctor of philosophy, *Chalmers University of Technology*, Göteborg, Sweden 2006.
- Stasiak M. (2009). Należ wykorzystać wszystkie źródła energii odnawialnej. *Wiś Jutra*, 8-9/2009.
- Śliwińska E., Śliwowski L. (2003). *Kominki romantyczne i toksyczne*. *Ekomilitaris WaT*, Warszawa 2003.
- Zhenzhen Wang, Xinhui Bi, Guoying Sheng, Jiamo Fu (2009). Characterization of organic compounds and molecular tracers from biomass burning smoke in South China I: Broad-leaf trees and shrubs. *Atmospheric Environment*, Vol. 43, 2009.

### EMISSION OF ORGANIC COMPOUNDS DURING BIOMASS COMBUSTION

**Abstract:** The aim of this paper was to analyse the emission of organic compounds during softwood pellets and their replacements (wheat straw pellet, peat/wood pellet, oats grains) combustion in the laboratory and during softwood pellets and softwood combustion in residential appliances (for pellets – burners, stoves, a boiler; for softwood – an old stove, an ecolabelled boiler). Literature measurements were done using gas chromatographic and mass spectrometric techniques. Measured emissions in the laboratory and in the appliances are assessed to be low, although during some stages of incomplete combustion some emissions were alarming. Replacements for softwood pellets gave rise almost to as low emissions as softwood pellets. It is proposed to use biomass combustion appliances on condition that the appropriate technology for specific biofuel and the technology of high-efficiency combustion are chosen. This paper is based on the results of research of foreign authors, mainly Olsson's paper (2006).

## ANALIZA OGRZEWANIA PODŁOGOWEGO W DOMACH PASYWNYM I TRADYCYJNYM

Paweł ŁUKJANIUK<sup>a</sup>, Katarzyna GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup>student, Politechnika Białostocka, Inżynieria Środowiska V rok

<sup>b</sup>Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

**Streszczenie:** Artykuł dotyczy analizy ogrzewania podłogowego domku pasywnego znajdującego się w miejscowości Dzikie gm. Choroszcz, oraz domku wykonanego w technologii tradycyjnej znajdującego się w miejscowości Dzikie gm. Choroszcz. W celu dokonania analizy dokonano obliczeń rocznego zapotrzebowania na ciepło dla obu budynków przy pomocy programu Purmo OZC, co z kolei pozwoliło na wykonanie obliczeń ogrzewania podłogowego za pomocą programu OVplan. W artykule przedstawiono uzyskane rezultaty oraz wnioski.

*Słowa kluczowe:* bilans energetyczny, ogrzewanie podłogowe, budownictwo pasywne.

### 1. Wprowadzenie

#### 1.1. Co to jest budynek pasywny?

Budynek pasywny jest często mylony z budynkiem energooszczędnym, który ma zużywać stosunkowo mało energii na cele grzewcze, czyli budynkiem dobrze ocieplonym. Takie budynki, poprawnie wykonane, potrafią zużywać tylko 30 kWh/m<sup>2</sup>rok. Natomiast budynek pasywny, w naszym klimacie, ma inne wymagania. Rekordzista - może zużywać tylko 1,5 litra oleju opałowego na rok/m<sup>2</sup> powierzchni. Pojęcie „dom pasywny” pochodzi z Niemiec, gdzie po raz pierwszy zajęto się problemem opracowania domu, który z założenia będzie zużywał bardzo mało energii. Przyjęto, że tą graniczną wartością będzie 15 kWh/m<sup>2</sup> rok (Fiest, 2006).

#### 1.2. Podstawowe cechy domu pasywnego

##### 1.2.1. Przegrody zewnętrzne

Aby ograniczyć straty ciepła przez przegrody, dom pasywny musi mieć szczelne, warstwowe ściany z izolacją pozwalającą osiągnąć współczynnik przenikania ciepła  $U$  na poziomie 0,15 W/m<sup>2</sup>K. Można to uzyskać stosując różne technologie, zawsze jednak jest to ściana warstwowa o grubości warstwy izolacyjnej (styropian, wełna mineralna, włókna celulozowe) na poziomie około 40 cm. Odpowiednio grubą warstwę materiału

izolacyjnego stosuje się też do ocieplenia stropodachu i podłogi na gruncie. Konstrukcja zewnętrzna domu musi być bardzo szczelna i pozbawiona mostków termicznych.

##### 1.2.2. Okna

Bardzo ważnym elementem są szczelne, potrójnie szklone okna, wypełnione gazem szlachetnym (na ogół argonem), zamocowane w wielokomorowych ramach, charakteryzujące się łącznym współczynnikiem przenikania ciepła  $U$  o wartości poniżej 0,8 W/m<sup>2</sup>K. Ważna jest też wielkość okien i ich współczynnik przepuszczania promieniowania słonecznego. Zyski ciepła od promieniowania słonecznego wpadającego przez okna od strony południowej mają wynosić do 40%.

##### 1.2.3. Wentylacja mechaniczna

Wentylacja powinna być nawiewno-wywiewna z rekuperacją oraz gruntowym wymiennikiem ciepła. Wymiennik podgrzewa w gruncie wlotowe powietrze wentylacyjne zimą (dzięki temu mniejsze jest zużycie energii na podniesienie jego temperatury do temperatury pokojowej) i chłodzi je latem (dla komfortu mieszkańców). Zależnie od rodzaju rekuperatora możliwy jest odzysk ciepła z odprowadzanego powietrza wentylacyjnego na poziomie 80% (Piotrowski 2009).

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: k.gladyszewska@pb.edu.pl

### 1.2.4. Ogrzewanie

System ogrzewania w domu pasywnym zredukowany jest do minimum. O ile w domach tradycyjnych większa część energii zużywana jest na ogrzewanie pomieszczeń, a przygotowanie ciepłej wody użytkowej stanowi tylko jego nieznaczny procent, o tyle w domu pasywnym proporcje są odwrotne. Zapotrzebowanie na konwencjonalne ogrzewanie wynosi 15 kWh/m<sup>2</sup>/rok. Wystarczy zatem nieznaczne dogrzanie powietrza wlotowego, aby móc ogrzać cały dom.

### 1.2.5. Szczelna powłoka

Szczelność budynku sprawdza się specjalnym urządzeniem przeprowadzając tzw. Blower-Door-Test. Test ma wykazać, że szczelność przegród gwarantuje wymianę powietrza przez nie poniżej 0,6 l/h przy różnicy ciśnień 50 Pa. Przy takiej szczelności konieczne jest wyposażenie w system wentylacji mechanicznej.

### 1.3. Zalety domu pasywnego

Zalety domu pasywnego są następujące:

- Opłaty za ciepło potrzebne do ogrzania są 10 razy mniejsze.
- Jest zdecydowanie wyższy codzienny komfort życia i bardzo czyste powietrze w domu poprzez wymuszoną wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła.
- Mniejsza zależność od cen nośników energii.
- Dom o większej wartości rynkowej, który także za 20 lat będzie domem innowacyjnym i nowoczesnym..

### 1.4. Jakie warunki musi spełniać dom pasywny?

Warunki jakie powinien spełniać dom, aby był uznany za pasywny (Piotrkowski i Dominiak, 2006):

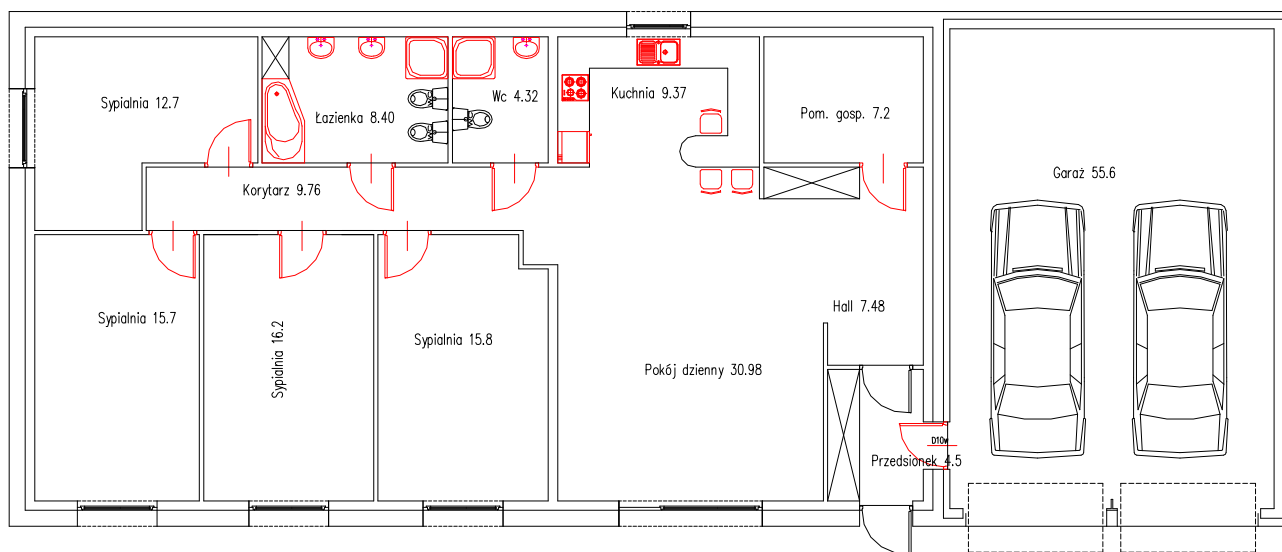
- Ma być otwarty na południe, „operacja słońca”, ma być maksymalnie długi, dostęp słońca nie może być „zablokowany” poprzez wysoki dom, drzewa, górę,
- Powinien być doskonale ocieplony – min. 30 cm ocieplenia płyty fundamentowej, ściany i dachu, współczynnik przenikania dla przegród zewnętrznych powinien wynosić  $\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,
- Maksymalnie zredukowane mostki termiczne,  $\Psi$  zewnątrz  $\leq 0,01 \text{ W/mK}$  dla wszystkich detali połączeniowych,
- Powinien być doskonale szczelny,
- Musi mieć zwartą, kompaktową budowę,
- Musi mieć ciepłe, trzy szybowe okna i ocieplone ramy okna o dwukrotnie większej grubości, współczynnik  $U$  dla ramy i szyby maksymalnie  $0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,
- Ma mieć wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła (rekuperator) 80-90%,
- Ściany nie mogą mieć niższej temperatury niż  $17 \text{ }^\circ\text{C}$ , przy założeniu: temperatury  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$  na zewnątrz i  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$  wewnątrz,
- Roczny wskaźnik zapotrzebowania na ciepło nie może wynosić więcej niż  $15 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$ ,
- Łączne zapotrzebowanie na tzw. energię pierwotną wraz z zapotrzebowaniem na energię elektryczną nie może być większe niż  $120 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$ .

Projektant domu pasywnego powinien zwiększać zyski ciepłe i zarazem redukować straty ciepłe..

## 2. Analizowane budynki

Rzuty analizowanych domów przedstawia rysunek 1.

Oba budynki posiadają taką samą konstrukcję, wielkość i kubaturę. Zmianie uległy jedynie rodzaje zastosowanych materiałów przy projektowaniu poszczególnych przegród, aby można było dostosować konstrukcje do wymagań stawianych domom pasywnym i uzyskać odpowiednie współczynniki przenikania ciepła zarówno dla domku pasywnego jak i tradycyjnego.



Rys. 3. Dom pasywny i tradycyjny – rzut parteru

Charakterystyczne parametry techniczne domu:

- kubatura – 1201,67m<sup>3</sup>,
- powierzchnia mieszkalna – 142,41 m<sup>2</sup>,
- powierzchnia użytkowa – 198,01 m<sup>2</sup>,
- wysokość – 6,22 m,
- długość – 24,13 m,
- szerokość – 9,78 m,
- zestawienie powierzchni:

Parter:

- pokój dzienny – 30,98m<sup>2</sup>,
- sypialnia – 15,8m<sup>2</sup>,
- sypialnia – 16,2m<sup>2</sup>,
- sypialnia – 15,7m<sup>2</sup>,
- sypialnia – 12,7 m<sup>2</sup>,
- łazienka – 8,4 m<sup>2</sup>,
- wc – 4,32m<sup>2</sup>,
- kuchnia – 9,37m<sup>2</sup>,
- kotłownia – 7,2 m<sup>2</sup>,
- hall – 7,48m<sup>2</sup>,
- korytarz – 9,76 m<sup>2</sup>,
- przedsionek – 4,5 m<sup>2</sup>,
- garaż – 55,6 m<sup>2</sup>.

### 3. Zapotrzebowanie na ciepło dla budynków

W budynku tradycyjnym możemy zauważyć znaczne straty ciepła, które są następstwem licznie występujących mostków termicznych, niedokładności wykonania lub złej jakości materiałów. Największe straty ciepła następują poprzez wentylację oraz okna i drzwi zewnętrzne. Poznanie słabych punktów, przez które ucieka energia cieplna, chroni przed dodatkowymi wydatkami i pozwala zaplanować na późniejszych kosztami.

Zmniejszenie lub ograniczenie strat ciepła znacząco wpłynie na koszty ogrzewania naszego budynku. Aby wyeliminować straty ciepła w domu, warto brać pod uwagę projekty niedużych domów, o zwartej bryle, najlepiej dwukondygnacyjnych i niepodpiwniczonych.

Przegrody stanowią ściany zewnętrzne, podłoga na gruncie, dach, stropy. Im więcej załamań ma budynek - czyli wykuszy, balkonów, lukarn - tym więcej jest miejsc, przez które ucieka ciepło (Piotrkowski, 2009).

Dach generuje do 25 % strat ciepła, dlatego należy zwrócić uwagę na jego kształt i przede wszystkim powierzchnię. W przypadku dachu dwuspadowego z poddaszem użytkowym, straty będą mniejsze niż w przypadku poddasza o podobnej powierzchni.

Kolejnym istotnym składnikiem jest dobór okien. Powinny one zapewniać odpowiednie (podwyższone w stosunku do standardowych) parametry termiczne. Uwagę należy zwrócić na wielkość otworów okiennych i drzwiowych. Można zastosować rolety zewnętrzne zamykane na noc: mogą one zmniejszyć straty ciepła przez okna nawet o 20%, warto więc zamontować je na wszystkich oknach, pod warunkiem, że będą rzeczywiście co wieczór zamykane. Aby tak było, niezbędne jest sterowanie elektroniczne ich zamykaniem i otwieraniem, a to podnosi koszty inwestycyjne co najmniej o 500 zł w na każde okno.

Podczas zakupu stolarki okiennie – drzwiowej warto zawsze poznać ich współczynniki przenikania ciepła, które powinny być możliwie najniższe. Oczywiście cieplejsze okna, drzwi i bramy są droższe, w przypadku bram nawet dwukrotnie. Jednak za tę jednorazowo wydatkowaną kwotę osiągamy komfort cieplny od razu i możemy się nim cieszyć przez długie lata. Taka inwestycja zwraca się zresztą szybko w postaci niższych rachunków za ogrzewanie.

Największe straty ciepła generuje wymiana powietrza. Wraz z powietrzem usuwanym z pomieszczeń usuwamy także ciepło. Na wentylację może przypadać nawet od 30% do 40% wszystkich strat ciepła.

W starych domach, w których znaczna część ciepła była tracona przez zimne przegrody, straty wentylacyjne stanowiły mniejszy udział w całości. Im ściany, dach i okna są cieplejsze, tym rola strat wentylacyjnych w całym bilansie energetycznym rośnie.

Straty związane z wentylacją często są powodem nadmiernego uszczelniania budynku, co ma doprowadzić do zmniejszenia intensywności wentylowania obiektu.

W efekcie znacznie pogarsza się jakość powietrza w pomieszczeniach, a przede wszystkim nadmiernie wzrasta wilgotność powietrza, która sprzyja rozwojowi grzybów i pleśni. Należy więc znaleźć kompromis pomiędzy oszczędzaniem energii, a właściwą wentylacją pomieszczeń. O taki kompromis trudno, gdy dom jest wentylowany w sposób naturalny. Wówczas możliwości są ograniczone.

Pewnym rozwiązaniem jest zastosowanie systemu wentylacji nawiewno-wywiewnej z centralą wentylacyjną (rekuperatorem) odzyskującą ciepło.

Wentylacja z odzyskiem ciepła zapewnia kontrolowany wypływ i napływ powietrza wentylacyjnego i – co najważniejsze, umożliwia odebranie części ciepła z ogrzanego powietrza wewnętrznego, zanim zostanie ono usunięte na zewnątrz. Ciepło to jest następnie przekazywane powietrzu wpływającemu do wnętrza domu, dzięki czemu odzyskuje się część ciepła, które w wentylacji naturalnej jest bezpowrotnie tracone.

Dzięki temu zmniejsza się zapotrzebowanie na energię do ogrzewania domu, a to oznacza konkretne oszczędności. Roczne zapotrzebowanie na ciepło domu z odzyskiem ciepła może zmniejszyć się 25% do nawet 85%, co w domu o powierzchni 150 m<sup>2</sup> oznacza rocznie minimum 1000 zł oszczędności na kosztach ogrzewania.

W oszczędzaniu energii wspomóc nas również optymalne usytuowanie domu na działce. Pomieszczenia niewymagające dużo ciepła, w których może być ciemniej, powinny znaleźć się po stronie północnej lub wschodniej (np. spiżarnia, łazienka, kuchnia), natomiast te wymagające dobrego doświetlenia (salon czy sypialnie) mogą być zaplanowane na zachodzie lub południu. Im mniej okien po stronie mało nasłonecznionej, tym lepiej. Przeszklenia zaś na południu lub zachodzie pomogą obniżyć zapotrzebowanie energetyczne w sezonie grzewczym.

Aby zapobiec dużym stratom ciepła przez przegrody, muszą być one dobrze zaizolowane. Oznacza to, że w domu energooszczędnym zwiększa się grubość warstw



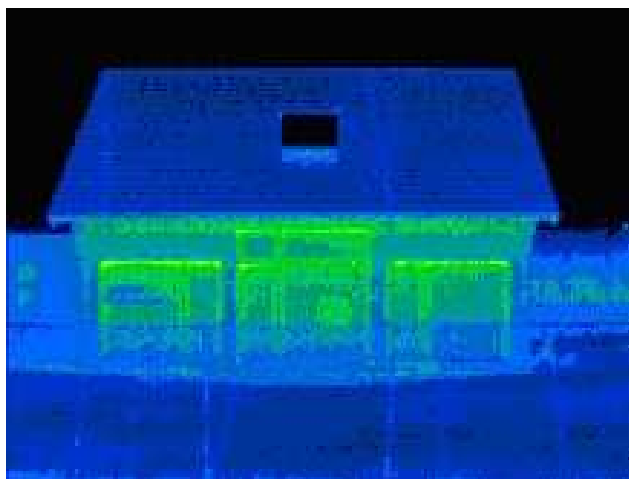
izolacyjnych: ścian zewnętrznych (jeśli są to ściany warstwowe), dachu i posadzek. Grubość warstwy izolacji cieplnej ma zasadnicze znaczenie w osiągnięciu założonych w projekcie parametrów przenikalności cieplnej dla danej przegrody.

Jeżeli chcemy poznać słabe punkty naszego budynku najlepszym rozwiązaniem jest wykonanie zdjęcia kamerą termowizyjną. Otrzymamy wtedy pełny obraz tego w jakich miejscach straty ciepła są największe (rys. 2).



Rys. 2. Zdjęcie domu tradycyjnego wykonane kamerą termowizyjną – najczęstsze straty ciepła poprzez wentylację okna i niedocieplone przegrody

Dla porównania zdjęcie z domu pasywnego (rys. 3). Straty energii są praktycznie zerowe, dzięki czemu koszty ogrzewania są znikome.



Rys. 3. Zdjęcie domu pasywnego wykonane kamerą termowizyjną

W tabelach 1 i 2 zostały zamieszczone podstawowe wyniki obliczeń dla budynków wykonane w programie Purmo OZC.

Tab. 1. Podstawowe wyniki obliczeń budynku dla domu pasywnego

Powierzchnia ogrzewana budynku $A_h$ :	190,5	$m^2$
Kubatura ogrzewana budynku $V_h$ :	514,4	$m^3$
Projektowa strata ciepła przez przenikanie $\Phi_T$ :	2603	W
Projektowa wentylacyjna strata ciepła $\Phi_V$ :	3511	W
Całkowita projektowa strata ciepła $\Phi$ :	6113	W
Nadwyżka mocy cieplnej $\Phi_{RH}$ :	0	W
Projektowe obciążenie cieplne budynku $\Phi_{HL}$ :	6113	W

Tab. 2. Podstawowe wyniki obliczeń budynku dla domu tradycyjnego

Powierzchnia ogrzewana budynku $A_h$ :	190,5	$m^2$
Kubatura ogrzewana budynku $V_h$ :	514,4	$m^3$
Projektowa strata ciepła przez przenikanie $\Phi_T$ :	8237	W
Projektowa wentylacyjna strata ciepła $\Phi_V$ :	3511	W
Całkowita projektowa strata ciepła $\Phi$ :	11748	W
Nadwyżka mocy cieplnej $\Phi_{RH}$ :	0	W
Projektowe obciążenie cieplne budynku $\Phi_{HL}$ :	11748	W

#### 4. Ogrzewanie podłogowe

Ogrzewanie podłogowe jest optymalnym sposobem ogrzewania zarówno dla domów jednorodzinnych jak i budynków użyteczności publicznej, takich jak kościoły, hale sportowe i wystawowe, zakłady produkcyjne czy warsztaty usługowe. U naszych europejskich, zachodnich sąsiadów ten typ ogrzewania instaluje się w ponad połowie nowo oddawanych budynkach. W Polsce proporcje te są mniej korzystne.

Główną zaletą ogrzewania podłogowego jest możliwość uzyskania w pomieszczeniach optymalnego rozkładu temperatur. Człowiek czuje się najlepiej, gdy ma ciepłe nogi i chłodne powietrze do oddychania. Przy temperaturze podłogi  $24^\circ\text{C}$  temperatura na wysokości głowy wynosi około  $19^\circ\text{C}$ , zaś pod sufitem nie przekracza  $16^\circ\text{C}$  (Pieńkowski et al., 1999).

Ogrzewanie podłogowe jest niezastąpioną metodą ogrzewania pomieszczeń o znacznej (powyżej 3 metrów) wysokości. W takich pomieszczeniach grzejniki nie spełniają swojego zadania. Grzejnik „zasysa” zimne powietrze z nad powierzchni podłogi, ogrzewa je i „tłoczy” w górę pomieszczenia, co powoduje przegrzewanie górnych części pomieszczeń przy jednoczesnym niedograniu dolnych. Przy takim rozwiązaniu najchłodniej jest przy samej podłodze, po której chodzimy. Również na wysokości naszej głowy temperatura bywa wysoce nie komfortowa. Jednocześnie tak wymuszona cyrkulacja powietrza powoduje, iż drobiny kurzu zalegające na podłodze są porywane przez ogrzane powietrze i wdmuchiwane do

pomieszczenia, co sprzyja rozwojowi wszelkich dolegliwości alergicznych.

W przypadku ogrzewania podłogowego podłoga jest tylko o kilka stopni cieplejsza od powietrza dzięki czemu nie występuje zjawisko unoszenia kurzu. Ciepło jest wytwarzane i emitowane do otoczenia z najbardziej naturalnego miejsca, jakim jest podłoga. Ciepło utrzymuje się w strefie przebywania użytkowników, a wyżej jest zimniej, ale to już jest mało znaczące. Powolna konwekcja ciepła powoduje, iż system jest niezwykle przyjazny dla osób cierpiących na alergię i astmę (system ten nie powoduje zawirowań drobin kurzu). Poprzez precyzyjną regulację ilości wytwarzanego ciepła uzyskujemy energooszczędny sposób ogrzewania pomieszczeń, niezwykle efektywny dla każdego rodzaju pokrycia podłogowego: terakota, dywan a nawet drewno.

Przy dobrze wykonanej instalacji ogrzewania podłogowego, przy dotknięciu ręką ogrzewanej posadzki nie mamy prawa poczuć ciepła, ale też nie może być ona zimna. Temperatura posadzki powinna wynosić 24 - 26°C i dla ręki jest ona zimna. Prawidłowo wykonane ogrzewanie podłogowe nie tylko zapewnia odpowiednią temperaturę, ale powoduje też zmniejszenie kosztów ogrzewania o około 30%. Wielkości grzejnika podłogowego po jego zainstalowaniu nie można zmienić. Dlatego przed przystąpieniem do montażu wodnego ogrzewania podłogowego trzeba starannie wykonać projekt (Pieńkowski et al., 1999).

Najważniejszym argumentem przemawiającym za ogrzewaniem podłogowym jest komfort. Ogrzewanie podłogowe ma opinię luksusowego, niemniej aktualne koszty instalacji szybko się zwracają dzięki możliwości

ekonomicznej eksploatacji. Oszczędność energii w budynkach mieszkalnych wynosi około 30%.

Wilgotne podłogi szybciej schną, nie ma niedostępnych zakamarków, gdzie umiejscawia się brud i mogą rozwijać się mikroorganizmy. Zastosowaniem wodnego ogrzewania podłogowego są baseny, gdzie dla bosych stóp szczególnie ważna jest ciepła podłoga.

Na rysunkach 4 i 5 zamieszczono wydruki obliczeń ogrzewania podłogowego domu, odpowiednio tradycyjnego i domu pasywnego, wykonane w programie OVplan.

### 5. Wnioski

Sama idea zastosowania ogrzewania podłogowego zarówno w domku pasywnym jak i tradycyjnym dostarcza ogromnego komfortu cieplnego.

Realizacja domu pasywnego pozwoliła na przeprowadzenie opłacalności wykorzystania ogrzewania podłogowego porównując je z domkiem zbudowanym w technologii tradycyjnej. Aby ogrzewanie spełniało swoją funkcję musi być zasilane poprzez odpowiednie źródło ciepła. O ile w domku tradycyjnym omawianym źródłem jest kocioł, o tyle w przypadku domku pasywnego mamy do czynienia zazwyczaj z połączeniem pompa ciepła-wymiennik gruntowy. Takie połączenie pozwala na prace naszego ogrzewania podłogowego przy stosunkowo niskich kosztach eksploatacyjnych, czego w przypadku domku tradycyjnego nie możemy powiedzieć. Biorąc pod uwagę temperaturę zasilania takiego ogrzewania, która maksymalnie nie powinna przekraczać 55°C (temperatura wody w rurce), pompa



Tradycja podłogowka 2010-02-25

Obliczenia																						
A		Całkowita powierzchnia pomieszczenia			H		Ogrzew. (SPst.pob., SBst.brzeg., OPogrz.podł.)			t <sub>i</sub>		Temperatura pomieszczenia										
A <sub>strefa</sub>		Poczw. grzejna			n <sub>kr</sub>		Liczbę pętli			t <sub>FB</sub>		Średnia temperatura powierzchni										
A <sub>v</sub>		Powierzchnia bez rur i izolacji			Q		Moc sugerowana z m2			t <sub>v</sub>		Temperatura zasilania										
A <sub>oH</sub>		Powierzchnia z izolacją, bez rur			Q <sub>bar</sub>		Moc ogrzewania dla pomieszczenia			t <sub>R</sub>		Temperatura powrotu										
dp		Spadek ciśnienia			RR		Rozstaw rur (Raster)			v		Przepływ w pętli										
NW		Naastawa na rozdzielaczu			Rura		Długość rury w pętli			L/dol		Długość rury dołotowej do pętli										
Ogrzewanie podłogowe: "Cofloor" - płyta z wypustkami (Noppenplatte)																						
Pom. Nr	Opis Grupa	t <sub>i</sub> °C	Q <sub>bar</sub> W	A /m2	Q W/m2	H	t <sub>v</sub> °C	t <sub>R</sub> °C	Pokrycie	Q <sub>bar</sub> W	A <sub>strefa</sub> m2	A <sub>v</sub> m2	A <sub>oH</sub> m2	t <sub>FB</sub> °C	RR mm	n <sub>kr</sub>	Rura m	L/dol m	v l/min	dp mbar	NW l/min	
1	Przedsiónek	15	409	4.5	90.9	SP	55	37	Parkiet 10mm	409	4.5			23	200	1	22		0.38	2.3	1.0	
2	Pobkój	20	1735	31.0	56.0	SP	55	28	Parkiet 10mm	1735	31.0			25	200	1	155		1.16	55.7	1.2	
3	Sypialnia	20	903	15.8	57.2	SP	55	29	Parkiet 10mm	903	15.8			25	200	1	79		0.61	15.0	1.0	
4	Sypialnia	20	916	16.2	56.5	SP	55	28	Parkiet 10mm	916	16.2			25	200	1	81		0.62	15.5	1.0	
5	Sypialnia	20	1268	15.7	80.8	SP	55	31	Parkiet 10mm	1005	15.7			26	200	1	78		0.75	15.3	1.0	
6	Sypialnia	20	1064	12.7	83.8	Deficyt mocy263Wat			SP	55	28	Parkiet 10mm	813	12.7	26	150	1	85		0.54	14.1	1.0
7	Łazienka	24	868	8.4	103.3	Deficyt mocy251Wat			SP	55	24	Parkiet 10mm	161	8.4	26	150	1	56		0.12	2.0	1.0
8	WłC	20	204	4.3	47.4	Deficyt mocy707Wat			SP	55	20	Ceramika	204	4.3	25	150	1	29		0.10	1.0	1.0
9	Kuchnia	20	724	9.4	77.0	SP	55	28	Ceramika+dyw.	724	9.4			27	150	1	63		0.47	9.1	1.0	
Podłącz do rozdzielacza nr 1, liczba pętli: 9															60.0							
Parter		8091	118.0	68.6	OP						6870	118.0	9		648	4.7						
Podsumowanie		8091	118.0	68.6	OP						6870	118.0	9		648	4.7						
"Cofloor" - płyta z wypustkami (Noppenplatte)		Raster [mm]		50	100	150	200	250	300													
		Powierzchnia		34.8	83.2																	
		Suma		118.0																		

Rys. 4. Wyniki obliczeń dla domu tradycyjnego

### Obliczenia

A	Całkowita powierzchnia pomieszczenia	H	Ogrzew. (SPst.pob., SBst.brzeg., OPogrz.podł.)	$t_i$	Temperatura pomieszczenia
$A_{strefa}$	Pow. grzejna	$n_{gr}$	Liczba pętli	$t_{FB}$	Srednia temperatura powierzchni
$A_{rv}$	Powierzchnia bez rur i izolacji	Q	Moc sugerowana z m2	$t_v$	Temperatura zasilania
$A_{oh}$	Powierzchnia z izolacją, bez rur	$Q_{gr}$	Moc ogrzewania dla pomieszczenia	$t_R$	Temperatura powrotu
dp	Spadek ciśnienia	RR	Rozstaw rur (Raster)	v	Przepływ w pętli
NW	Nastawa na rozdzielaczu	Rura	Długość rury w pętli	L/dol	Długość rury dolotowej do pętli

Ogrzewanie podłogowe: "Cofloor" - płyta z wypustkami (Noppenplatte)																						
Pom. Nr	Opis (Grupa)	$t_i$ °C	$Q_{gr}$ W	A m <sup>2</sup>	Q W/m <sup>2</sup>	H	$t_v$ °C	$t_R$ °C	Pokrycie	$Q_{gr}$ W	$A_{strefa}$ m <sup>2</sup>	$A_{rv}$ m <sup>2</sup>	$A_{oh}$ m <sup>2</sup>	$t_{FB}$ °C	RR mm	$n_{gr}$	Rura m	L/dol m	v l/min	dp mbar	NW l/min	
1	Przedsiónek	15	190	4.5	42.2	SP	55	18	Parkiet 10mm	190	4.5			19	200	1	22		0.09	0.8	1.0	
2	Pokój	20	1004	31.0	32.4	SP	55	22	Parkiet 10mm	1004	31.0			23	200	1	155		0.58	27.2	1.0	
3	Sypialnia	20	500	15.8	31.6	SP	55	21	Parkiet 10mm	500	15.8			23	200	1	79		0.29	6.9	1.0	
4	Sypialnia	20	510	16.2	31.5	SP	55	21	Parkiet 10mm	510	16.2			23	200	1	81		0.30	7.2	1.0	
5	Sypialnia	20	587	15.7	37.4	SP	55	22	Parkiet 10mm	587	15.7			24	200	1	78		0.34	8.1	1.0	
6	Sypialnia	20	462	12.7	36.4	SP	55	22	Parkiet 10mm	462	12.7			24	200	1	63		0.27	5.1	1.0	
7	Łazienka	24	443	8.4	52.7	SP	55	28	Ceramika+dyw.	443	8.4			29	150	1	56		0.30	5.0	1.0	
8	WłC	20	96	4.3	22.3	SP	55	20	Ceramika	96	4.3			22	150	1	29		0.06	0.5	1.0	
9	Kuchnia	20	347	9.4	36.9	SP	55	20	Ceramika+dyw.	347	9.4			24	150	1	63		0.19	3.9	1.0	
Podłącz do rozdzielacza nr 1, liczba pętli: 9																						
Parter			4139	118.0	35.1	OP				4139	118.0					9	626				2.4	30.0
Podsumowanie			4139	118.0	35.1	OP				4139	118.0					9	626				2.4	
"Cofloor" - płyta z wypustkami (Noppenplatte)		Raster [mm]		50	100	150	200	250	300													
		Powierzchnia				22.1	95.9															
				Suma										118.0								

Rys. 5. Wyniki obliczeń dla domu pasywnego

ciepła bez problemu powinna dostarczyć wodę o takich właśnie parametrach. Jest to rozwiązanie o wiele bardziej korzystne ekonomicznie, niż w przypadku zastosowania kotła konwencjonalnego w przypadku domu tradycyjnego, co każdy użytkownik zauważy w trakcie użytkowania. W omawianym przypadku zostało zastosowane ogrzewanie podłogowe wodne. Różnicę pomiędzy domkiem pasywnym a tradycyjnym widać szczególnie na przykładzie mocy ogrzewania dla poszczególnych pomieszczeń. Różnica ta w przypadku domu pasywnego wynosi aż połowę względem domu tradycyjnego, czyli około 51%, co oznacza, iż w domu pasywnym zużywamy o 49% mniej ciepła. Ponadto w trakcie obliczeń w przypadku domu tradycyjnego w 3 pomieszczeniach nastąpił deficyt mocy, co oznacza iż straty ciepła w stosunku do powierzchni pomieszczeń są zbyt duże aby dobrany grzejnik podłogowy pokrył zapotrzebowanie na ciepło dla tych pomieszczeń. Oznacza to, iż na wskazany deficyt jesteśmy zmuszeni dobrać dodatkowo grzejnik konwencjonalny co automatycznie podwyższa koszt inwestycji.

### Literatura

- Feist W. (2006). Podstawy budownictwa pasywnego. *Polski Instytut Budownictwa Pasywnego*, Gdańsk.
- Pieńkowski K., Krawczyk D., Tumul W. (1999). Ogrzewnictwo. T.1 i T.2. *Wydawnictwo Politechniki Białostockiej*, Białystok.
- Piotrowski R., (2009). Domy pasywne: najlepsze obiekty oraz technologie niskoenergetyczne i pasywne w Polsce. *Green Leaf*, Warszawa.
- Piotrowski R., Dominiak P. (2006). Budowa domu pasywnego: krok po kroku. *Wydawnictwo Przewodnik Budowlany*, Warszawa.

### ANALYSIS OF FLOOR HEATING IN PASSIVE AND TRADITIONAL HOUSES

**Abstract:** The aim of the paper is to present the analysis of floor heating in passive and traditional houses. In order to analyze the heating system in those two buildings it was necessary to make the calculations of annual heat demand. The calculations were made by means of the program Purmo OZC which allows us to make another important calculations for floor heating system using the program OVplan. The results and conclusions concerning the above analysis were presented in the paper.

Praca naukowa sfinansowana przez Politechnikę Białostocką w ramach pracy statutowej S/WBiŚ/23/08.

## OPLACALNOŚĆ POZYSKIWANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ PRZEZ WYKORZYSTANIE ENERGII WIATRU

Sylwia MIRONKO<sup>a\*</sup>, Joanna PIOTROWSKA-WORONIAK<sup>b</sup>

<sup>a</sup>student, Politechnika Białostocka, Inżynieria Środowiska V rok

<sup>b</sup>Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

**Streszczenie:** Elektrownie wiatrowe należą do kategorii energii odnawialnej, a więc przyjaznej dla środowiska. Turbiny wiatrowe wytwarzają energię bez żadnych zanieczyszczeń. Ponieważ turbiny wiatrowe są wolne od szkodliwych emisji do środowiska, dlatego też rząd zachęca do ciągłego wzrostu udziału konsumpcji energii pochodzącej z wiatraków prądowców. Ma to na celu doprowadzenie do powstania farm wiatrakowych na terenie kraju, a tym samym ochrony środowiska. Dzięki korzystaniu z tego typu energii mamy możliwość nie tylko dbania o środowisko, ale także oszczędzania pieniędzy, gdyż koszt wiatraka prądowczego jest praktycznie jednorazowy. Pozytywne opinie odbiorców „zielonej energii” zachęcają coraz większą liczbę inwestorów do zakupu przyszłościowego rozwiązania.

*Słowa kluczowe:* Eko energia, energia odnawialna, elektrownie wiatrowe, farmy wiatrowe, odnawialne źródła energii, koszty, opłacalność, oszczędności.

### 1. Wstęp

Eko energia ostatnio bardzo modne słowo, czy jest ona naszą przyszłością? Powstała w 1998 roku, główne profile działalności to branża budowlana i energetyczna. Od 2002 roku główny kierunek rozwoju to branża energii odnawialnej i wdrażanie na rynek polski duńskich technologii energetyki wiatrowej, w oparciu o doświadczenia i współpracę wiodących duńskich firm energetyki wiatrowej ([www.eko-energia.com](http://www.eko-energia.com)).

Odnawialne źródła energii w 2009 roku stanowiły na świecie 61 procent ogółu zainstalowanych mocy generowania energii elektrycznej. Najważniejszym źródłem energii odnawialnej była energia wiatrowa (39 proc. ogółu nowego potencjału wobec 35 proc. w 2008 r.) – ogłosiło Europejskie Stowarzyszenie Energii Wiatrowej (EWEA).

Ostatnie lata przyniosły szybki wzrost wykorzystania odnawialnych źródeł energii (OZE), a w szczególności energii wiatru. Redukcja emisji zanieczyszczeń w skali globalnej stała się ważnym elementem w planowaniu rozwoju przemysłu, w tym sektora energetycznego ([www.eko-energia.com](http://www.eko-energia.com)).

### 2. Elektrownie wiatrowe

Elektrownia wiatrowa jest to zespół urządzeń produkujących energię elektryczną, wykorzystujących do tego turbiny wiatrowe. Energia elektryczna uzyskana z wiatru jest uznawana za ekologicznie czystą, gdyż pomijając nakłady energetyczne związane z wybudowaniem takiej elektrowni, wytworzenie energii nie pociąga za sobą spalania żadnego paliwa.

Światowym potentatem w produkcji energii wiatrowej są Niemcy (około 40% produkcji w skali całego globu). Aby uzyskać 1 MW (megawat) mocy, wirnik turbiny wiatrowej powinien mieć średnicę około 50 metrów. Ponieważ duża konwencjonalna elektrownia ma moc sięgającą 1 GW (gigawata), to jest 1000 MW, to jej zastąpienie wymagałoby teoretycznie użycia około 1000 takich generatorów wiatrowych. W rzeczywistości elektrownie wiatrowe pracują około 1500 - 2000 godzin rocznie, to jest trzykrotnie krócej niż siłownie konwencjonalne i atomowe. Zatem, aby wyprodukować tyle samo energii elektrycznej co jedna duża siłownia klasyczna potrzeba około 3000 elektrowni wiatrowych o mocy 1 MW.

W niektórych krajach budowane są elektrownie wiatrowe składające się z wielu ustawionych blisko siebie turbin – tzw. farmy wiatrowe. Na polskim wybrzeżu Bałtyku oddano do użytku w 2006 roku taką farmę

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: [asia@pb.edu.pl](mailto:asia@pb.edu.pl)



w miejscowości Tymień (25 wiatraków o sumarycznej mocy 50 MW, każdy z nich o mocy 2 MW).

Opinia publiczna bywa niekiedy nieprzychylna takim inwestycjom, gdyż szpecą one krajobraz, generują uciążliwy hałas oraz stanowią zagrożenie dla ptaków (urazy mechaniczne oraz zakłócenia w ptasiej nawigacji). Dlatego też przyszłość elektrowni takiego typu jest niepewna. Jednak niewielkie pojedyncze turbiny mogą być dobrym źródłem energii w miejscach oddalonych od centrów cywilizacyjnych, gdzie brak jest połączenia z krajową siecią energetyczną.

### 2.1. Ocena mocy wiatru

Ocena mocy wiatru dokonywana jest globalnie na podstawie pomiarów i wyników modeli numerycznych. W Polsce tylko w niewielu miejscach sezonowo prędkość wiatru przekracza 4 m/s, co uznawane jest za minimum, aby mogły pracować urządzenia prądowocze wiatraków energetycznych. Średnia prędkość wiatrów wynosi 2,8 m/s w porze letniej i 3,8 m/s w zimie. Konsekwencją niskiej wietrzności jest to, że elektrownia wiatrowa wybudowana w Danii dostarczy 100 kW podczas, gdy taka sama elektrownia wybudowana w rejonie Szczecina dostarczy tylko 17,3 kW ([www.energie-odnawialne.net](http://www.energie-odnawialne.net)).

### 2.2. Zasoby energii wiatru na terenie Polski

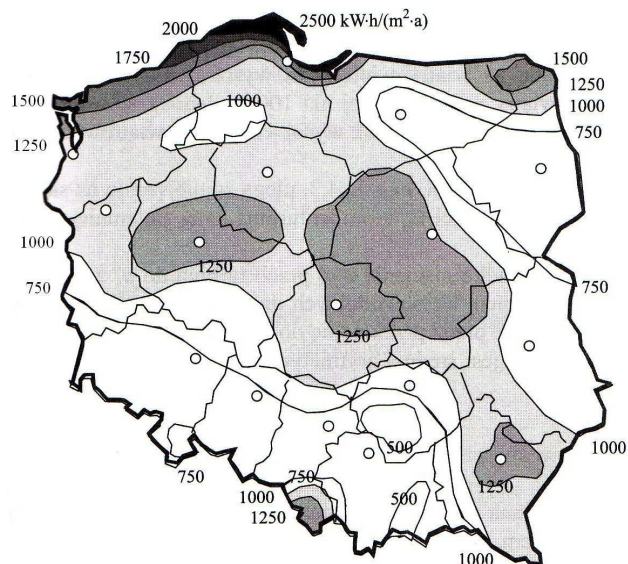
Na terenie Polski przeważają strefy ciszy wiatrowej. Najlepsze warunki wiatrowe w Polsce panują nad Bałtykiem, na Suwalszczyźnie oraz na Podkarpaciu. Polskimi „zagłębiami wiatrowymi” są przybrzeżne pasy w okolicach Darłowa i Pucka. Obecnie rola energii wiatrowej w bilansie energetycznym Polski jest niewielka, jednak sytuacja ta stopniowo ulega zmianie. Na rysunku 1 przedstawiono, przeprowadzone przez IMGiW w latach 1971 – 2000, zasoby energii wiatru na terenie kraju (Lewandowski, 2006).

Najkorzystniejsze obszary w Polsce to:

- Wybrzeże Kaszubskie- od Koszalina po Hel (5-6m/s),
- Wyspa Uznam (5 m/s),
- Suwalszczyzna (4,5-5 m/s),
- Środkowa część Wielkopolski i Mazowsza (4-5 m/s).

Wartości podane oznaczają średnia roczna prędkość wiatru na wysokości 30 m nad poziomem gruntu według danych IMGW.

Poza wymienionymi powyżej obszarami istnieją miejsca, w których ze względu na specyficzne ukształtowanie terenu istnieją korzystne warunki do lokalizacji siłowni wiatrowych. Przykładowo można tu wymienić rejony Beskidu Śląskiego i Żywieckiego oraz Bieszczady i Pogórze Dynowskie.



Rys. 1. Energia wiatru w kWh/m<sup>2</sup> na wysokości 30 m nad poziomem gruntu, opracowana przez IMiGW (Lewandowski, 2006)

Rozkład prędkości wiatru mocno zależy od lokalnych warunków topograficznych. Znane są liczne inne mikro-rejony kraju o korzystnych i doskonałych warunkach wiatrowych. Godne uwagi są również partie wysokich gór, gdzie średnie roczne prędkości wiatru miejscami przekraczają 10 m/s.

## 3. Energetyka wiatrowa

### 3.1. Na świecie

W chwili obecnej 6% zapotrzebowania na energię państw Unii Europejskiej pokrywane jest z odnawialnych źródeł energii (OZE). Założenie oraz strategia inwestowania i rozwoju wykorzystania OZE zawarte zostały w Białej Księdze przyjętej przez Parlament Europejski w 1997 roku. Przewiduje ona, że do roku 2010 udział OZE w bilansie UE wynosić będzie 12%. Wszystko wskazuje na to, że energia wiatrowa będzie miała decydujący udział w osiągnięciu tego celu. Spośród wszystkich dostępnych odnawialnych źródeł energii technologie wykorzystania energii wiatru rozwijają się w ostatniej dekadzie najszybciej, a w sprzyjających warunkach wiatrowych oferują energię po konkurencyjnej cenie. Najlepiej rozwiniętą w Europie energetykę wiatrową mają sąsiadujące z Polską Niemcy. Wszystkie elektrownie wiatrowe zainstalowane w tym kraju mają łączną moc około 4 444 MW. Warto tu zaznaczyć że poważne inwestycje w energetykę wiatrową mają także miejsce na obszarach o warunkach wiatrowych porównywalnych do tych, jakie mamy w Polsce centralnej ([www.windpol.pl](http://www.windpol.pl)).

Problem ciszy wiatrowej dotknął również i Niemcy. W 2003 roku upalne lato nad większością obszaru Europy spowodowało ciszę wiatrową o rozmiarach klęski: stanęły wiatraki, i gdyby nie konwencjonalne źródła energii, na wielu terenach zabrakłoby prądu. Problem ciszy wiatrowej wydaje się być niedocenianą do tej pory

przeszkodą w planach wykorzystania energii wiatru – w Niemczech istnieje około 16 tysięcy turbin wiatrowych, mogących zaspokajać do 15% zapotrzebowania na energię elektryczną, jednak problemy ze zjawiskiem ciszy wiatrowej powodują, że produkują tę energię zaledwie 3% ([www.wikipedia.pl](http://www.wikipedia.pl)).

### 3.2. Energia wiatrowa w Polsce

W Polsce wykorzystanie odnawialnych źródeł energii jest znikome i wynosi około 1% całkowitego zapotrzebowania.

W Polsce energetyka wiatrowa rozwija się od kilkunastu lat. Pierwszy wiatrak w Polsce postawiono w 1991 przy wcześniej już istniejącej Elektrowni Wodnej w Żarnowcu. Obecnie w miejscu tym znajduje się farma wiatrowa Lisewo. Pierwszą przemysłową farmą wiatrową w Polsce była farma wiatrowa Barzowice leżąca w województwie zachodniopomorskim, która została uruchomiona w 2001 roku. Składała się ona z sześciu siłowni o łącznej mocy 5 MW, co dla Polski uznaje się za wartość minimalną dla wiatrowych farm o przemysłowej skali.

W ostatnich latach zaobserwować można dynamiczny rozwój energetyki wiatrowej w Polsce. W samym 2007 roku otwarto kilka farm wiatrowych o łącznej mocy ponad 130 MW. W ciągu pierwszych dziewięciu miesięcy 2008 powstało kolejne 57,6 MW mocy zainstalowanej w energetyce wiatrowej w Polsce. W tab.1 zestawiono miejscowości w Polsce, gdzie powstały farmy wiatrowe oraz podano ich moc i rok uruchomienia ([www.windpol.pl](http://www.windpol.pl)).

### 4. Zyski dla rolników

Na terenach, gdzie wieją silne wiatry od 2 lat spotkać można przedstawicieli firm, którzy chcą budować siłownie, i którzy nakłaniają rolników do wydzierżawienia gruntów. Firmy obiecują ogromne zyski i zachęcają do podpisania umów dzierżawnych. Często są to tak zwani zaklepywacze gruntów, czyli pośrednicy, którzy po zawarciu z rolnikiem umowy odstępują ją firmom inwestującym.

Wielu rolników wydzierżawiło swoje grunty. Okazało się później, że realna zapłata za dzierżawę jest bardzo niska, że stawki są niejasno określone, że umowy nie zapewniają równych korzyści dla obu stron i nie można ich zerwać, a kary są horrendalnie wysokie i można nawet stracić majątek. Rolnik przestaje dysponować swoimi gruntami. Są problemy z przekazaniem gospodarstwa, uzyskaniem renty strukturalnej i unijnych dopłat. Rolnik ma ograniczone pole manewru, jeśli chodzi o inwestycje w gospodarstwie. Zdarza się nawet, że firmy żądają kaucji hipotecznej. Chociaż korzyści dla rolników mogą być spore: od kilku do nawet kilkudziesięciu tysięcy złotych rocznie, to prawnicy namawiają do dokładnego czytania umów. Drugim problemem dla rolników mogą być kary za zerwanie umowy przedwstępnej.

Te wszystkie problemy nie odstraszą jednak ani firm ani rolników. Wszyscy liczą na zyski, choć one pojawiają się często dopiero po kilku latach ([www.rolnicy.com](http://www.rolnicy.com)).

### 5. Czy każdy może pozwolić sobie na „wiatrak”?

Moda na wiatraki wybuchła nagle. Obecnie na rynku istnieją wiatraki dostępne, także dla indywidualnych odbiorców. Koszt za energię elektryczną jest praktycznie jednorazowy, jest to koszt zakupu wiatraka. Elektrownie wiatrowe istniejące w Polsce według [www.pigeo.org.pl](http://www.pigeo.org.pl) przedstawia tabela 1.

Pierwszym krokiem inwestycji jest zgłoszenie faktu chęci posiadania wiatraka do urzędu gminy, w celu uzyskania planu zagospodarowania przestrzennego, obejmującego działkę, na której będzie usytuowany wiatrak.

Tab. 1. Elektrownie wiatrowe w Polsce ([www.pigeo.org.pl](http://www.pigeo.org.pl))

Miejscowość	Moc zainstalowana	Rok uruchomienia
Barzowice	5 MW	2001
Cisowo	18 MW	2002
Zagórze	30 MW	2002
Lisewo	10,8 MW	2005
Tymień	50 MW	2006
Gniezdzewo k. Pucka	22 MW	2006
Kisielice	40,5 MW	2007
Jagniątkowo (jez. Ostrowo)	30,6 MW	2007
Kamięnsk	30 MW	2007
Łebcz I	8 MW	2007
Łebcz II	10 MW	2008
Łosino k. Słupska	48 MW	2008
Karścino-Mołtowo	69 MW	2008
Malbork (Sztum)	18 MW	2008
Hnatkowice-Orzechowce k. Przemysła	12 MW	2009
Tychowo	50 MW	2009
Suwałki	42 MW	2009
Słupsk – Ustka	48 MW	2009
Kisielice	40,5 MW	2009
Śniatowo	30 MW	2009
Warblewo	34 MW	w realizacji
Kończewo	90 MW	2009
Cieplowody	40 MW	2009
Taciewo	30 MW	2009
Piecki	42 MW	2009
Margonin	120 MW	2009

### 5.1. Koszt zakupu i zainstalowania wiatraka

Koszt wiatraka jest zależny od zapotrzebowania na prąd, jak również od firmy produkującej. Wiele firm proponuje gotowe rozwiązania. Projektują wiatraki tak, by moc wytworzona przez wiatrak była możliwie, jak najbardziej precyzyjnie dostosowana do zapotrzebowań indywidualnego odbiorcy. Tego typu wiatraki są dużo droższe, lecz producenci gwarantują bezawaryjność instalacji, a także kilkuletnią gwarancję wraz z bezpłatnym serwisem.

Szacuje się, że średnie zużycie prądu wynosi 2 - 3 kW dla przeciętnego domu na dzień (Wach, 2006). W tabeli 2 przedstawiono przykładowy średni koszt zakupu i zainstalowania wiatraków o małej mocy do 3 kW ([www.ceprin.wroc.pl](http://www.ceprin.wroc.pl)).

Tab. 2. Koszt zakupu i zainstalowania wiatraka w zależności od mocy (w zł brutto)

Wyszczególnienie	Moc wiatraka		
	1 kW	1,5 kW	3 kW
Wiatrak z regulatorem i przetwornikiem DC-AC	8 540	19 520	32 940
Maszt, fundament, montaż	1 220	1 220	6 100
Razem brutto zł	9 760	20 740	39 040

### 5.2. Zastosowanie wiatraka

Wiatraki o mocy do 3 kW są w stanie wyprodukować energię wystarczającą do zasilania:

- mieszkania,
- niewielkiego obiektu gospodarczego,
- domu jednorodzinnego,
- zakładu produkcyjno – usługowego,
- niewielkiego zakładu produkcyjnego, czy innego obiektu o niewielkim poborze energii.

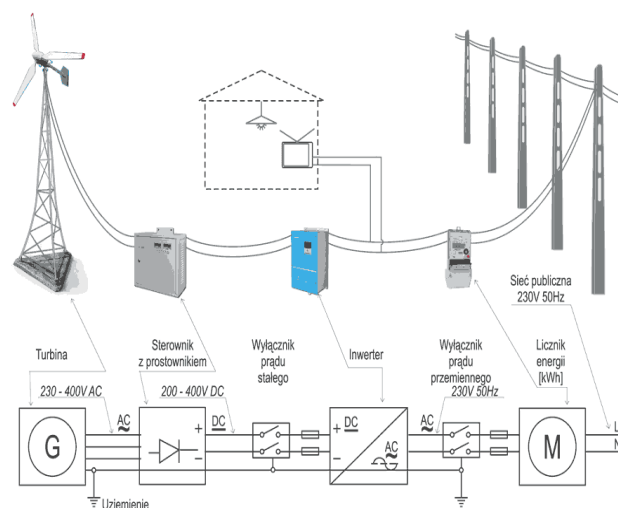
### 5.3. Schemat i zasada działania instalacji wiatrowej

Elektrownia wiatrowa, działa na zasadzie zamiany energii kinetycznej wiatru na energię elektryczną o parametrach sieci, do której jest podłączona. Na rysunku 2 przedstawiono schemat instalacji elektrowni wiatrowej, w której następuje wytwarzanie prądu na potrzeby własne i sieć dystrybucyjną. Wiatrak wytwarza prąd stały, który w przetworniku DC-AC przetwarzany jest na prąd 230 V; 50 Hz i dostarczany do domowej instalacji wewnętrznej. W przypadku większego poboru niż w danym momencie może dostarczyć wiatrak, część prądu uzupełniana jest z sieci zewnętrznej, natomiast gdy aktualna produkcja przez wiatrak jest większa niż chwilowe zużycie, prąd oddawany jest do sieci dystrybucyjnej. Licznik energii elektrycznej nie rejestruje energii nie pobranej, a równocześnie odlicza energię wprowadzoną do sieci (Wach, 2006).

Instalacja wiatrowa składa się z następujących podstawowych elementów: turbiny wiatrowej, generatora

AC, prostownika, regulatora napięcia, baterii akumulatorów i falownika dla uzyskania odpowiednich parametrów napięcia zmiennego.

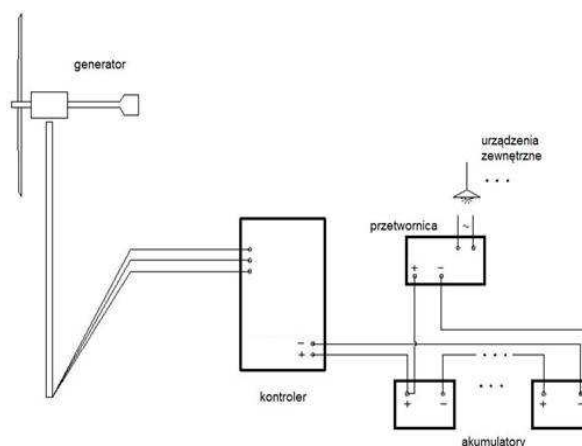
Wiatr napędza generator za pomocą łopat wirnika, w generatorze energia mechaniczna jest przetwarzana na energię elektryczną. Wbudowany elektroniczny kontroler oraz inwerter odpowiedzialne są za odpowiednie parametry energii wyjściowej. Inwerter dostosowuje oddawaną energię, tak żeby miała ona takie same parametry, jak energia w sieci. Jeżeli inwerter wykryje, że w sieci nie ma energii o odpowiednich parametrach – wyłączy się w ciągu sekundy.



Rys. 2. Schemat małej elektrowni wiatrowej z wejściem na sieć wewnętrzną i zewnętrzną ([www.ekologika.pl](http://www.ekologika.pl))

Funkcja ta ma szczególne znaczenie dla bezpieczeństwa. Nie dopuszcza ona do sytuacji, że sieć zostanie chwilowo wyłączona (na przykład w celach serwisowych), a mimo to płynie w niej prąd produkowany przez turbinę wiatrową ([www.sunnylife.pl](http://www.sunnylife.pl)).

Na rysunku 3 przedstawiono schemat małej elektrowni wiatrowej wytwarzającej prąd tylko na potrzeby własne dostarczany do domowej instalacji wewnętrznej.



Rys. 3. Schemat ideowy małej instalacji wiatrowej, składającej się z: generatora, kontrolera, baterii akumulatorów i przetwornicy ([www.generator-y-wiatrowe.pl](http://www.generator-y-wiatrowe.pl))

#### 5.4. Wytyczne do doboru urządzeń niezbędnych w pracy elektrowni wiatrowych

Ważnym i drogim elementem wyposażenia instalacji wiatrakowej jest bateria akumulatorów o różnej wielkości, w zależności od wiatraka. Akumulatory powinny mieć zdolność głębokiego wyładowania swojej pojemności bez wpływu na żywotność lub powinny być zabezpieczone przed takim wyładowaniem. Wtedy ich liczba powinna być większa, gdyż dysponują mniejszą pojemnością możliwą do wyładowania. Proponuje się przyjąć następujące wielkości baterii: 100 W – 100-200 Ah, 12 V; 300 W – 200-300 Ah, 12 V; 1000 W – 600-1000 Ah, 24 V, a dla 1500 W – 1000-1500 Ah, 24 V. Wielkość akumulatorów dobiera się w zależności od wielkości wiatraka i wielkości odbioru prądu przez dom (Wach, 2006).

Zgodnie z przyjętym sposobem kalkulacji, jeśli średnie zapotrzebowanie mocy na dom wynosi 350 W, to w ciągu doby zużycie wynosi  $24 \times 0,35 = 8,4$  kWh, a w ciągu roku 3 066 kWh.

Zużycie takie może pokryć wiatrak o mocy nominalnej 1,5 kW. Przy zastosowaniu akumulatorów 24 V prąd ładowania przy średniej mocy wiatraka 350 W wynosi  $350 \text{ W} / 24 \text{ V} = 14,6 \text{ A}$ .

Ładowanie takim prądem przez 24 h daje naładowanie  $24 \text{ h} \times 14,6 \text{ A} = 350 \text{ Ah}$ , które odpowiada energii  $0,35 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = 8,4 \text{ kWh}$ . Biorąc pod uwagę sprawność akumulowania i zdolności do głębokiego rozładowania oraz to, że wiatry często są silniejsze niż średnie, baterie akumulatorów powinny mieć pojemności od dwóch do trzech razy większe niż to wynika z obliczeń na średnich parametrach ([www.ceprin.wroc.pl](http://www.ceprin.wroc.pl)).

Wielkość przetwornika DC-AC dobiera się w zależności od spodziewanych chwilowych obciążeń mocy maksymalnych, co jest uzależnione od rodzaju odbiorników. Należy pamiętać, że prądy rozruchowe silników (pralka, lodówka, odkurzacz) są do trzech razy większe niż prąd znamionowy. Dlatego potrzebny przetwornik powinien dysponować mocą od 300 W (tylko oświetlenie i zasilanie urządzeń elektronicznych – telewizor, radio, komputer) lub 4,5 kW w przypadku urządzeń z silnikami.

#### 5.5. Kalkulacja opłacalności instalacji wiatrowej

Do analizy przyjęto turbinę wiatrową Skystream 3.7 firmy Sunnlyfe ([www.sunnlyfe.pl](http://www.sunnlyfe.pl)). Przy średnim wietrze o prędkości 5,5 m/s Skystream 3.7 wyprodukuje miesięcznie około 400 kWh energii elektrycznej. Ponadto Skystream 3.7 jest jedną z najcichszych turbin w swojej klasie. Produkcja energii elektrycznej odbywa się bez uciążliwego hałasu, turbina nie emituje żadnych zanieczyszczeń i dostarcza całkowicie czystą energię elektryczną.

Turbina posiada wbudowany inwerter, który umożliwia podłączenie jej do sieci niskiego napięcia 230 V / 50 Hz. Dzięki temu energia elektryczna bezpośrednio trafia do odbiorników. Pozwala to uniknąć strat związanych z magazynowaniem energii

w akumulatorach, gdzie trafiają jedynie jej nadwyżki. Turbina ma 8 akumulatorów żelowych VRLA – 200 o pojemności 200 Ah każdy z nich daje możliwość pobrania około 13,4 kWh energii. Ilość ta wystarcza do zasilania domu jednorodzinnego przez około dobę. Jeżeli akumulatory bliskie są wyczerpania, a turbina wiatrowa będzie produkować mniej energii niż aktualne zapotrzebowanie, energia może zostać pobrana z publicznej sieci elektroenergetycznej. Sieć traktowana jest jako źródło awaryjne. Zawsze w pierwszej kolejności wykorzystywana jest energia z turbiny wiatrowej i akumulatorów.

Kalkulacja opłacalności inwestycji:

- Koszt katalogowy Skystream 3.7 (moc 1,8 kW): 28 000 zł,
- Cena za prąd 1kWh/0,2495zł – według cennika z 2010 roku Zakładu Energetycznego Białostok,
- Koszt stały miesięczny za abonament i przesył energii - około 45zł w zależności od taryfy.

Prognozowa opłata miesięczna za zużycie prądu:

$$400 \text{ kWh/m-c} \times 0,2495 \text{ zł/1 kWh} = 99,8 \text{ zł/m-c}$$

Roczny koszt stały za abonament i przesył energii:

$$45 \text{ zł/m-c} \times 12 \text{ m-cy} = 540 \text{ zł/rok}$$

Roczny koszt, jaki ponosiłby właściciel budynku przy zużyciu miesięcznym prądu ok. 400 kWh:

$$12 \times 99,8 \text{ zł} = 1 198 \text{ zł}$$

Roczny koszt całkowity za energię elektryczną w domku jednorodzinnym, przy założeniu zużycia miesięcznego w ilości 400 kWh:

$$540 \text{ zł} + 1 198 \text{ zł} = 1 738 \text{ zł}$$

Stąd prosty okres zwrotu inwestycji SPBT wynosi:

$$\text{SPBT} = 16 \text{ lat}$$

Inwestycja zwróci się po około 16 latach.

Znając koszty zakupu instalacji z wiatrakiem, można zadać sobie pytanie, czy to się opłaca? Czy energia uzyskana z małych elektrowni wiatrowych jest energią cenowo konkurencyjną w stosunku do energii z sieci dystrybucyjnej? Otóż i tak, i nie.

Przy tym porównaniu nie wzięto bowiem pod uwagę, że są to dwie różne energie. Energia z wiatru to „zielona energia”, a energia z sieci to „energia czarna”. Biorąc to pod uwagę i uwzględniając przychody za zielone certyfikaty, wyniki ekonomiczne zdecydowanie się poprawią i inwestycja w przydomowy wiatrak będzie bardziej opłacalna, a przez to szybciej się zwróci.

## 6. Rozwój farm wiatrowych w przyszłości

Budowę i eksploatację elektrowni wiatrowych zakłada podpisany w Warszawie list intencyjny między Kopalnią Węgla Brunatnego „Adamów” i Grupą ENERGA. Farmy wiatrowe miałyby powstać na terenach poeksploatacyjnych kopalni. Kopalnia „Adamów” dysponuje gruntami, które może przeznaczyć pod budowę elektrowni wiatrowych, natomiast Grupa ENERGA, jako największy w kraju producent energii ze źródeł



odnawialnych, posiada odpowiednią wiedzę oraz zaplecze organizacyjne i techniczne. Farmy wiatrowe miałyby być zlokalizowane na terenach poeksploatacyjnych trzech odkrywek.

Kopalnia „Adamów” dysponuje obecnie terenami o powierzchni około 600 ha takich gruntów, docelowo jednak może być to nawet trzykrotnie więcej, gdyż co roku kopalni przybywa około 100 ha po urobku. Inwestycja ta stwarza szansę wykorzystania terenów poeksploatacyjnych, przeznaczonych do rekultywacji, do produkcji energii z ekologicznych źródeł. Planowana moc elektrowni może osiągnąć poziom około 80 MW. Jej uruchomienie byłoby możliwe w 2012 roku ([www.rolnicy.com](http://www.rolnicy.com)).

## 7. Bariery w wykorzystaniu wiatru

Pomimo ciągłych zmian mających na celu ułatwienie korzystania z alternatywnych źródeł energii, ciągle pozostają bariery utrudniające, a niekiedy uniemożliwiające korzystanie z tego typu energii. Zdaniem Polskiej Izby Gospodarczej Energii Odnawialnej najważniejsze bariery w wykorzystaniu poszczególnych OZE są następujące:

- 1) Przyłączenie do sieci
  - słaba infrastruktura sieci przesyłowej na terenach o dużej wietrzności (północna Polska). Niezbędna jest budowa sieci 400 kV Dunowo-Plewiska oraz przynajmniej 2 GPZ 400/220 kV na linii Szczecin-Gdańsk.
  - nieadekwatne procedury wydawania warunków przyłączenia do sieci. Zachodzi konieczność weryfikacji warunków wydawanych w ostatnich 2 latach i zmiana zasad, tak aby warunki przyłączenia do sieci miały charakter bardziej techniczny, a mniej rezerwujący moce przesyłowe;
  - należy uprościć ekspertyzy przyłączeniowe. Konieczna jest weryfikacja wiarygodności inwestora, poprzez wysoką opłatę wstępną, uiszczaną w formie zaliczki na poczet opłaty przyłączeniowej oraz weryfikacji gotowości projektu do realizacji. W tych sprawach Izba wystąpi do Prezesa URE i Ministra Gospodarki oraz nawiąże współpracę z OSD i OSP.
- 2) Lokalizacje w obszarach cennych przyrodniczo.
  - Niezbędne jest wypracowanie obiektywnych, transparentnych i kompromisowych zasad sporządzania i oceniania raportów oddziaływania na środowisko farm wiatrowych. Należy maksymalnie ułatwić inwestorom unikanie potencjalnych konfliktów środowiskowych, a jednocześnie utrudnić blokowanie inwestycji spełniających podstawowe kryteria bezpieczeństwa ekologicznego. PIGEO podjęła rozmowy z przedstawicielami organizacji ornitologicznych i ekologicznych, mające na celu wypracowanie „dobrych zasad” lokalizowania farm wiatrowych na terenach cennych przyrodniczo.
- 3) Bilansowanie
  - Preferencyjne zasady bilansowania energii z wiatraków będą obowiązywać wyłącznie 3 lata

(2008-2010). Są one ponadto obciążone nieprecyzyjnymi zapisami, co spowoduje liczne konflikty. Termin obowiązywania preferencyjnych zasad, zwalniających wytwórców z kosztów bilansowania, powinien być związany z ogólną mocą zainstalowaną w energetyce wiatrowej w Polsce, na przykład do osiągnięcia 2000 MW. Należy wypracować mechanizm odmiennych zasad, które pozwolą na unikanie przez wytwórców kosztów bilansowania nie wynikających z niewłaściwego prognozowania produkcji i bilansowania poza grupą bilansującą. PIGEO będzie zabiegać o uszczegółowienie zapisów prawa energetycznego w tym zakresie oraz rozporządzenia taryfowego i sieciowego.

### 4) Podatek od nieruchomości

- Pomimo korzystnych zmian w prawie budowlanym i korzystnych interpretacji przepisów podatkowych Ministerstwa Finansów, niektóre gminy nadal próbują naliczać podatek od nieruchomości od całej wartości elektrowni wiatrowej, a nie tylko od fundamentów i wież. Istnieje także poważne zagrożenie, że sądy będą podzielać zdanie gmin. Taka sytuacja spowoduje zahamowanie inwestycji wiatrowych. W tej sprawie PIGEO będzie prowadziła akcje informacyjne dla inwestorów oraz pomagać im w razie powstania konfliktów z gminami (Michałowska-Knap i Wiśniewski, 2008).

Przy obecnie funkcjonującym systemie wsparcia prawnego wytwarzania energii elektrycznej oraz w przypadku likwidacji wyżej wymienionych barier, jest szansa na pełne wykorzystanie krajowego potencjału OZE.

Postęp technologiczny urządzeń energetycznych oraz proces wzrostu energooszczędności gospodarki powinien natomiast sprawić, że potencjał przekroczy próg 20% udziału zielonej energii w bilansie energii pierwotnej produkowanej w roku 2020.

Nasz kraj korzysta z wytycznych Unii Europejskiej, które mają na celu propagowanie wykorzystania tego rodzaju energii. Ceny instalacji niezbędnych do korzystania z niej także powoli spadają, jednakże pomimo ich wysokiej ceny powinniśmy docenić to, co otrzymujemy od natury, czyli bezpłatne źródło energii.

W czasie, gdy paliwa kopalne ze względu na coraz mniejsze zasoby drożeją, a urządzenia do pozyskiwania energii ze źródeł alternatywnych tanieją, energia ekologiczna staje się coraz bardziej popularna.

Także prawo stoi po stronie energii ze źródeł odnawialnych i wiele aktów prawnych propaguje ich zastosowanie ([www.energie-odnawialne.net](http://www.energie-odnawialne.net)).

## 8. Podsumowanie

- Eko energia jest zdecydowanie energią przyszłości, ekologiczną, czystą, odnawialną i może być tania.
- Koszty urządzeń skutecznie jeszcze blokują pełny rozwój eko energii. Obecne ceny małych wiatraków są

bardzo wysokie, związane jest to z ich jeszcze małą produkcją. Uruchomienie produkcji wielkoseryjnej mógłby spowodować nawet kilkukrotny spadek cen.

- Należy, jak najszybciej utworzyć system pomocy ułatwiający i zachęcający potencjalnych inwestorów do montowania elektrowni wiatrowych, zapewnić im pomoc prawną i techniczną, a także poparcie ze strony instytucji zainteresowanych wdrażaniem instalacji wykorzystujących odnawialne zasoby energii.
- Dzięki dopłatom za zielone certyfikaty wytwórcom za produkcję zielonej energii, mimo obecnych wysokich cen wiatraków, produkcja energii na potrzeby własne staje się opłacalna.
- Uzyskanie przychodów z tytułu zielonych certyfikatów na prąd zużyty również na potrzeby własne jest zgodne z ideą ograniczenia produkcji ze źródeł nieodnawialnych i tym samym ograniczenia emisji gazów szkodliwych i gazu cieplarnianego, jakim jest CO<sub>2</sub>. Wychodzi to naprzeciw zwiększeniu produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych (Wach, 2006).
- Możliwość instalowania wiatraków na pokrycie potrzeb własnych odciążą sieci przesyłowe i zmniejszy straty. Ograniczyć może również budowę elektrowni opartych na spalaniu paliw konwencjonalnych.

## Literatura

- Lewandowski W. M. (2006). Proekologiczne odnawialne źródła energii, *Wydawnictwo Naukowo-Techniczne*, Warszawa 2006.
- Michałowska-Knap K., Wiśniewski G. (2008). Stan obecny i potencjał energetyki odnawialnej w Polsce. [www.pigeo.org.pl](http://www.pigeo.org.pl)
- Wach E. (2006). Czy małe wiatraki mogą wspomagać system elektroenergetyczny? *Czysta energia*, 12/ 2006.

## THE PROFITABILITY OF ELECTRIC POWER PRODUCTION FROM WIND ENERGY

**Abstract:** Wind power belongs to category of renewable, and thus, environmentally friendly energy. Wind turbines produce energy without any kind of pollution.

Since wind turbines are free from any harmful discharge or emission into the environment, the government of Poland made a decision to continually increase consumption share from wind power. This will result in the erection of still more wind farms in Poland and thus protect the environment.

Through the use of this type of energy we have the opportunity to care for the environment and also save money, because the cost of wind turbine generator is practically disposable. The positive feedback from the customers of "green power" encourage investors to purchase of future solutions.

Praca naukowa sfinansowana przez Politechnikę Białostocką w ramach pracy statutowej S/WBiŚ/23/08

## ANALIZA STRAT CIEPŁA DOMU JEDNORODZINNEGO WYKONANEGO W DWÓCH TECHNOLOGIACH

Wanda MOJKOWSKA<sup>a</sup>, Katarzyna GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup>student, Politechnika Białostocka, Inżynieria Środowiska V rok

<sup>b</sup>Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

**Streszczenie:** Tematem artykułu jest analiza całkowitych strat ciepła domu jednorodzinnego wykonanego w dwóch technologiach: domu tradycyjnego i domu pasywnego. Na wstępie przybliżono teorię dotyczącą domów pasywnych. Następnie wyznaczono i porównano współczynniki przenikania ciepła przegród budowlanych, obliczono całkowite straty ciepła generowane przez te budynki. Obliczenia strat zostały wykonane metodą pełną według normy PN-EN 12831 „Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego”. Domy pasywne są szansą minimalizacji zużycia energii.

*Słowa kluczowe:* budynek pasywny, bilans energetyczny.

### 1. Wprowadzenie

Rozwój zrównoważony jest to rozwój społeczno-gospodarczy, w którym następuje integrowanie działań politycznych, społecznych i gospodarczych, z zachowaniem równowagi przyrodniczej oraz trwałości podstawowych procesów przyrodniczych w celu zagwarantowania możliwości zaspokojenia podstawowych potrzeb poszczególnych społeczności lub obywateli zarówno współczesnego pokolenia jak i przyszłych pokoleń (Firląg, 2009a).

Odnosząc pojęcie rozwoju zrównoważonego do sektora budownictwa można stwierdzić, iż wymagania tego rozwoju, jak również stale rosnące ceny energii, stawiają przed współczesnymi inżynierami nowe zadania.

### 2. Budynek pasywny

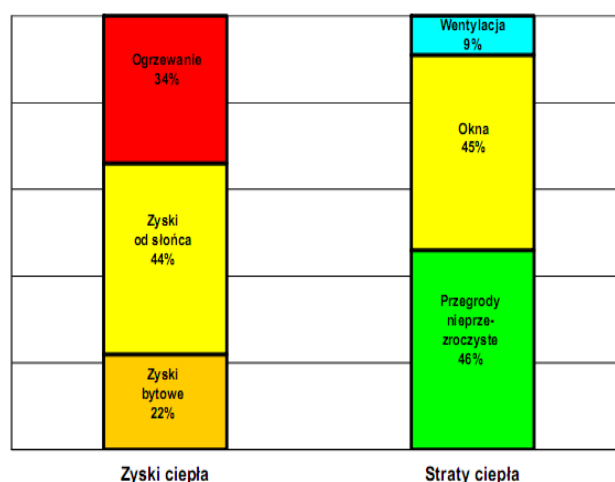
Nie jest to nowatorska, odmienna koncepcja budowlana. Podstawy budownictwa pasywnego opierają się na znanych technologiach budowlanych. Kładą nacisk na poprawienie i zwiększenie izolacyjności przegród zewnętrznych oraz minimalizację strat energii (Firląg, 2009b).

Dom pasywny jest to obiekt o niskim zapotrzebowaniu na energię ciepłą przy zagwarantowaniu bardzo wysokiego komfortu cieplnego. W obiekcie tym aktywne źródła energii zostają zastąpione pasywnymi: czyli

energiami ciepłą wytwarzaną przez pracujące urządzenia, ludzi, ciepło słoneczne i odzysk z wentylacji. Budynek ogrzewa się i ochładza sam - w sposób bierny.

Dzięki maksymalnej redukcji zapotrzebowania na ciepło dom pasywny zużywa około 15 % energii jakiej należy dostarczyć do ogrzania tradycyjnego domu o tej samej kubaturze (Energooszczędne ..., 2008).

W budynkach pasywnych zyski ciepła od słońca stanowią bardzo ważną rolę w bilansie energetycznym. Rysunek 1, sporządzony został przez Idczaka w Instytucie Budynków Pasywnych w Warszawie dla jednorodzinnego



Rys. 1. Bilans energetyczny budynku pasywnego (Idczak, www.ipb.com.pl)

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: k.gladyszewska @pb.edu.pl

domu pasywnego, w Smolcu koło Wrocławia – 44% sezonowego zapotrzebowania na ciepło zostaje pokryte przez zyski ciepła od promieniowania słonecznego. Aby budynek mógł spełniać stawiane mu wymagania energetyczne, projekt architektoniczny musi gwarantować pozyskiwanie energii z promieniowania słonecznego i jej efektywne wykorzystanie.

Wytyczne dotyczące konstrukcji budynków pasywnych przedstawia tabela 1 (Idczak, www.ipb.com.pl).

Tab.1 Wytyczne dotyczące konstrukcji budynków pasywnych (Idczak, www.ipb.com.pl)

Projekt architektoniczny	Otwarta strona południowa ma na celu pozyskanie zysków ciepła od słońca. Zamknięta strona północna i zwarta konstrukcja ograniczają straty ciepła.
Doskonała izolacyjność przegród	Wartość współczynnika przenikania ciepła przegród zewnętrznych budynku musi być mniejsza od 0,15 W/m <sup>2</sup> K. Eliminacja mostków termicznych.
Odpowiednie okna	Wartość współczynnika przenikania ciepła dla okien (szyba plus ramy) ma być <0,8 W/m <sup>2</sup> K, a współczynnik g szyby wynosi nie mniej niż 0,5.
Szczelność budynku	Niekontrolowana infiltracja powietrza zewnętrznego przez nieszczelności dla różnicy ciśnienia 50 Pa musi wynosić <0,6 kubatury budynku na godzinę.
Wentylacja nawiewno – wywiewna z odzyskiem ciepła	Centrala wentylacyjna powinna mieć sprawność odzysku ciepła powyżej 80 % i niskie zużycie energii elektrycznej (<0,45 W/m <sup>3</sup> )
Gruntowy wymiennik ciepła	Powietrze zewnętrzne doprowadzone do budynku poprzez wymiennik gruntowy, w którym może się ono ogrzać do temperatury powyżej 0°C
C.w.u. z odnawialnych źródeł energii	Wykorzystanie kolektorów słonecznych lub pompy ciepła do podgrzewu c.w.u.
Zastosowanie energooszczędnych urządzeń	Wysokoefektywne i energooszczędne wyposażenie AGD oraz oświetlenie to elementy budynku pasywnego.

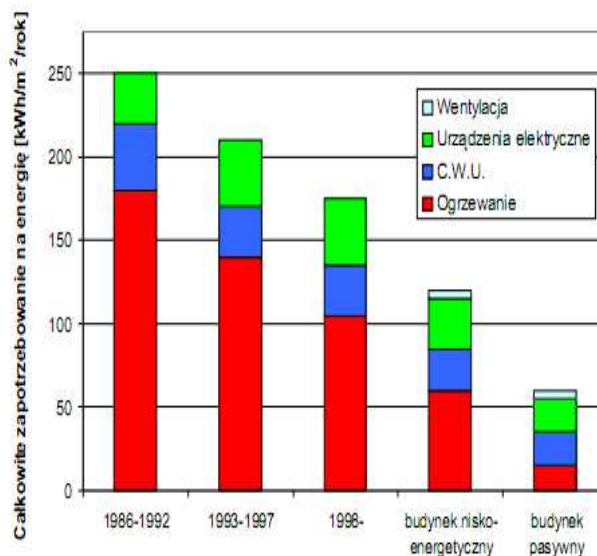
### 2.1. Bilans energetyczny budynku pasywnego

Bilans energetyczny budynku pasywnego różni się w znacznym stopniu od bilansu współczesnych budynków. Podstawowymi różnicami są (Kucypera i Nowak, 2009):

- Bardzo niskie zapotrzebowanie na ciepło do celów grzewczych. Domy pasywne mają zapotrzebowanie nie przekraczające 15 kWh/m<sup>2</sup>rok, co stanowi siedmiokrotnie mniejsze zapotrzebowanie niż w budynkach nowopowstałych.
- Niewielkie zapotrzebowanie na ciepło do celów grzewczych sprawiło, że główną rolę w bilansie cieplnym budynku stanowi zapotrzebowanie na ciepło do celów c.w.u. Średnia wartość tego zapotrzebowania wynosi od 18 do 35 kWh/m<sup>2</sup>rok.
- Bardzo małe zapotrzebowanie na moc grzewczą. Może ona osiągać maksymalnie 10 W/m<sup>2</sup>. Jest to

jedno z ważniejszych kryteriów, jakie musi spełniać budynek, aby był budynkiem pasywnym. Pozwala to na rezygnację ze standardowego systemu grzewczego, który może być zastąpiony instalacją wentylacyjną.

Porównanie zapotrzebowania na energię przedstawiono na rysunku 2 (Firląg, www.ipb.com.pl).



Rys. 2. Porównanie całkowitego zapotrzebowania na energię dla budynków mieszkalnych (Firląg, www.ipb.com.pl)

### 2.2. Kształt budynku pasywnego

Straty ciepła budynku są wprost proporcjonalne do powierzchni jego przegród zewnętrznych. Aby budynek osiągał jak najmniejsze straty ciepła należy pamiętać, by współczynnik kształtu A/V (stosunek powierzchni przegród zewnętrznych do jego kubatury) był jak najmniejszy. Należy unikać skomplikowanych kształtów ścian i dachu.

### 2.3. Przegrody zewnętrzne, okna i drzwi

Konstrukcja ścian zewnętrznych budynku powinna być wykonana tak, aby ograniczała straty ciepła. W przypadku domów pasywnych współczynnik przenikania ciepła ścian zewnętrznych, stropów, podłogi i dachu nie może przekraczać  $U \leq 0,15$  W/m<sup>2</sup>K. Sprowadza się to do stosowania materiałów budowlanych o bardzo niskich wskaźnikach przewodzenia ciepła ( $\lambda$ ) oraz do używania materiałów termoizolacyjnych o dużej grubości 30 ÷ 35 cm.

Okna mają duże znaczenie w bilansie energetycznym. Rola okien jest następująca (Idczak i Firląg, 2006):

- ograniczanie strat ciepła przez przenikanie,
- bierne pozyskiwanie zysków ciepła od promieniowania słonecznego,
- dostarczenie odpowiedniej ilości światła dziennego,
- zapewnienie odpowiedniej temperatury okna po stronie wewnętrznej w celu zapewnienia komfortu cieplnego mieszkańcom,
- unikanie kondensacji wilgoci,

- zapewnienie szczelności w celu uniknięcia niekontrolowanej infiltracji.

Wymagania jakie powinny spełniać okna (Czyżewicz i Braumberger, 2009):

- całkowity współczynnik przenikania ciepła dla okna standardowego nie wyższy niż  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,
- całkowity współczynnik przenikania ciepła dla okna zabudowanego nie wyższy niż  $0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,
- współczynnik przepuszczalności promieniowania słonecznego ( $g$ ) powyżej 50 %.

Aby było możliwe osiągnięcie współczynnika przenikania ciepła na poziomie  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ , współczynnik przenikania ciepła dla szklenia powinien wynosić  $0,6 \div 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ , dla ramy  $0,7 \div 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ , dla mostka termicznego na styku szyba-rama  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Wymagania te są znacznie wyższe niż wymagania dla budynków tradycyjnych (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008).

Drzwi zewnętrzne mają mniejsze znaczenie w bilansie energetycznym. Powinny mieć niski współczynnik przenikania ciepła (na rynku są drzwi o współczynniku  $U = 0,8 \div 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Ważny jest również ich prawidłowy montaż. Drzwi wmontowane w ścianę stanowią dodatkowe miejsce mostków termicznych.

### 3. ANALIZA STRAT CIEPŁA

#### 3.1. Założenia projektowe

Obliczenia wykonano metodą pełną według PN-EN 12831:2006 Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego. Całkowite straty ciepła obliczono dla tego samego domu zaprojektowanego w dwóch technologiach: tradycyjnego i pasywnego. Badanym budynkiem był dom jednorodzinny, parterowy z użytkowym poddaszem w Białymstoku (rys. 3 i 4) przy danych założeniach:

- IV strefa klimatyczna,
- temperatura zewnętrzna –  $22^\circ\text{C}$ ,
- średnia roczna temperatura zewnętrzna  $6,9^\circ\text{C}$ ,

Charakterystyka domu (tabela 2):

- powierzchnia: użytkowa  $125,1 \text{ m}^2$ , netto  $172,5 \text{ m}^2$ , zabudowy  $124,6 \text{ m}^2$ ,
- kubatura  $734 \text{ m}^3$ ,
- wysokość 7,6 m, szerokość 14,2 m, długość 9,4 m,
- kąt nachylenia dachu  $45^\circ$ ,
- wysokość parteru 2,6 m,
- wysokość poddasza 2,7 m.

#### 3.2. Całkowite straty ciepła $Q_c$ [kW]

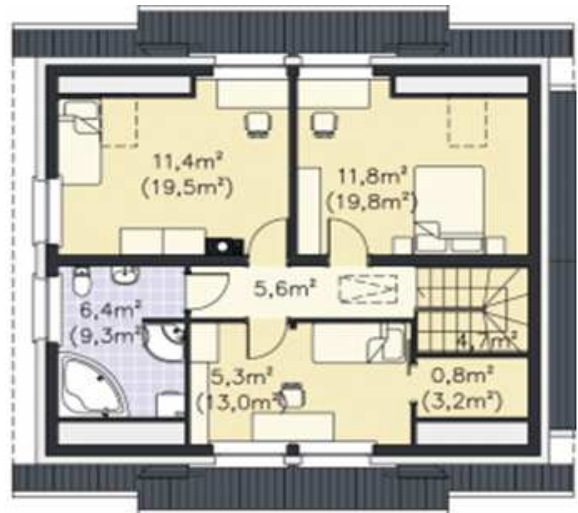
Całkowite straty ciepła określamy z zależności:

$$Q_c = (H_{ve} + H_{T,ig} + H_{T,ie} + H_{T,ij} + H_{T,iue}) \cdot (\theta_{int,i} + \theta_c) \quad (1)$$

gdzie  $H_{ve}$  jest to współczynnik wentylacyjnej straty ciepła



Rys. 3. Rzut parteru (na podstawie [www.2500.pl/domy/energooszczedne](http://www.2500.pl/domy/energooszczedne))



Rys. 4. Rzut poddasza (na podstawie [www.2500.pl/domy/energooszczedne](http://www.2500.pl/domy/energooszczedne))

Tab.2. Powierzchnia pomieszczeń

Nr	Nazwa	Powierzchnia pomieszczenia [m <sup>2</sup> ]
Parter		
1	P. Pokój	6,6
2	Kuchnia	14,3
3	Salon	28,2
4	Pokój	11,7
5	Łazienka	4,1
6	Schody	8,5
7	Kotłownia	5,7
Poddasze		
8	Pokój	11,8
9	Pokój	11,4
10	Łazienka	6,4
11	Pokój	5,3
12	Garderoba	0,8

Tab.3. Zestawienie całkowitych strat ciepła budynku tradycyjnego

Nr	Pomieszczenie	$H_{ve}$	$H_{T,g}$	$H_{T,ie}$	$H_{T,ij}$	$H_{T,iue}$	$\Sigma H$ [W/K]	Qc [W]
		[W/K]	[W/K]	[W/K]	[W/K]	[W/K]		
1	P. Pokój	4,23	0,692	8,88	-1,059	4,266	17,009	714,379
2	Kuchnia	21,66	1,184	17,746	-1,841	0	38,749	1627,448
3	Salon	15,86	2,601	56,72	-1,052	0	74,129	3113,4
4	Pokój	7,22	1,184	77,227	0	0	85,631	3596,521
5	Łazienka	7,19	0,393	0	4,133	0	11,715	538,905
6	Schody	12,84	0,96	91,118	0	13,48	118,398	4972,706
7	Kotłownia	10,79	0,684	10,683	-22,579	0	-0,422	-12,647
8	Pokój	13,36	0	186,153	0	0	199,513	8379,535
9	Pokój	13,36	0	186,153	-1,229	0	198,284	8327,934
10	Łazienka	14	0	53,861	0,41	0	68,271	2867,378
11	Pokój	6,07	0	32,049	-1,24	0	36,878	1548,885
12	Garderoba	3,35	0	75,509	-2,481	0,894	77,272	3245,429

Suma całkowitych strat ciepła  $Q_c = 38,92$  [ kW ]

Tab.4. Zestawienie całkowitych strat ciepła budynku pasywnego

Nr	Pomieszczenie	$H_{ve}$	$H_{T,g}$	$H_{T,ie}$	$H_{T,ij}$	$H_{T,iue}$	$\Sigma H$ [W/K]	Qc [W]
		[W/K]	[W/K]	[W/K]	[W/K]	[W/K]		
1	P. Pokój	4,23	0,692	6,782	-1,059	4,266	14,912	626,286
2	Kuchnia	21,66	1,184	8,101	-1,702	0	29,243	1228,21
3	Salon	15,86	2,601	25,047	-1,052	0	42,456	1783,145
4	Pokój	7,22	1,184	34,079	0	0	42,484	1784,319
5	Łazienka	7,19	0,393	0	4,09	0	11,673	536,962
6	Schody	12,84	0,96	32,349	0	13,48	59,628	2504,385
7	Kotłownia	10,79	0,684	4,826	-22,579	0	-6,279	-188,356
8	Pokój	13,36	0	66,06	0	0	79,42	3335,624
9	Pokój	13,36	0	66,06	-1,229	0	78,191	3284,023
10	Łazienka	14	0	19,841	0,41	0	34,251	1438,554
11	Pokój	6,07	0	11,618	-1,24	0	16,448	690,809
12	Garderoba	3,35	0	27,407	-2,481	0,894	29,17	1225,147

Suma całkowitych strat ciepła  $Q_c = 18,25$  [ kW ]

ogrzewanej przestrzeni w W,  $H_{T,ig}$  jest to współczynnik strat ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej ( $i$ ) do gruntu ( $g$ ) w warunkach ustalonych wyrażony w W/K,  $H_{T,ie}$  jest to współczynnik strat ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej ( $i$ ) do otoczenia ( $e$ ) przez obudowę budynku w W/K,  $H_{T,ij}$  jest to współczynnik strat ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej ( $i$ ) do sąsiedniej przestrzeni ( $j$ ) ogrzewanej do znacząco różnej temperatury w W/K,  $H_{T,iue}$  jest to współczynnik strat ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej ( $i$ ) do otoczenia ( $e$ ) przez przestrzeń nieogrzewaną ( $u$ ) w W/K,  $\theta_{int,i}$  jest to projektowana temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej ( $i$ ) w °C,  $\theta_c$  jest to projektowana temperatura zewnętrzna w °C.

Straty ciepła w kotłowni w obu przypadkach są ujemne, ponieważ kotłownia ze względu na niższą temperaturę niż pomieszczenia ją otaczające nie traci ciepła tylko zyskuje na drodze przenikania ciepła z pomieszczeń o wyższej temperaturze do pomieszczeń o niższej temperaturze. Zestawienie całkowitych strat ciepła przedstawiono w tabeli 3 i 4.

#### 4. PODSUMOWANIE

Oba domy tradycyjny i pasywny charakteryzują się różnymi współczynnikami przenikania ciepła. W przypadku budynków pasywnych współczynniki te są bardzo rygorystyczne, ich uzyskanie jest możliwe tylko stosując materiały termoizolacyjne, charakteryzujące się niskim wskaźnikiem przewodzenia ciepła ( $\lambda$ ). W przeprowadzonych obliczeniach analizowano ten sam budynek, mający tą samą konstrukcję, ten sam współczynnik kształtu, tę samą wielkość i kubaturę. Konstrukcja przegród budynku w obu przypadkach była zaprojektowana w tym samym stylu. Zmianie uległ rodzaj użytego pustaka ceramicznego, w obu przypadkach była to jednak ceramika tej samej firmy oraz rodzaj zastosowanego materiału termoizolacyjnego i jego grubości, w przypadku domu pasywnego musiał to być materiał o bardzo niskim wskaźniku  $\lambda$ . Bardzo znacząca była również grubość warstwy izolacji w domu tradycyjnym 14 cm ( $U = 0,21$  W/m<sup>2</sup>K), w pasywnym 30 cm ( $U = 0,09$  W/m<sup>2</sup>K).

Jeżeli stratę ciepła domu tradycyjnego potraktujemy jako wartość wyjściową 100 %, to straty ciepła budynku pasywnego wynoszą 47%. W przypadku budynku wykonanego w dwóch technologiach, w rozwiązaniu

pasywnym tracimy 53% mniej ciepła niż w budynku tradycyjnym. Mniejsze straty ciepła powodują mniejsze straty energii. Jak widzimy idea domów pasywnych jest doskonałym przykładem minimalizacji zużycia energii. To właśnie budynki pasywne mogą być w przyszłości jednym z podstawowych sposobów oszczędności energii oraz sposobem spełniającym wymagania rozwoju zrównoważonego.

### Literatura

- Czyżewicz J., Braumberger M. (2009). Szkło w budownictwie energooszczędnym i pasywnym. *Energia i Budynek*, 10/09. Energooszczędne i komfortowe budownictwo pasywne. *Instalacje*, 1/2008.
- Firląg Sz. Wprowadzenie do budownictwa pasywnego. [www.ipb.com.pl](http://www.ipb.com.pl)
- Firląg Sz. (2009a). Budynki niskoenergetyczne i pasywne w Polsce i krajach Unii Europejskiej. *Energia i Budynek*, 4/09.
- Firląg Sz. (2009b). Technologie pozwalające na uzyskanie poziomu domu pasywnego. *Energia i Budynek*, 02/09.
- Idczak M. „Ogólna koncepcja budynków pasywnych” [www.ipb.com.pl](http://www.ipb.com.pl)
- Idczak M., Firląg Sz. (2006). Okna u budynkach pasywnych – funkcje, wymagania, bilans energetyczny, komfort cieplny. *Świat szkła*, 7-8/2006.

Kucypera M., Nowak H. (2009). Modelowanie energetycznego bilansu domu jednorodzinnego z pasywnym systemem słonecznych zysków bezpośrednich. *Energia i Budynek*, 07-08/2009.

Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. dotyczące warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

### ANALYSIS OF THE HEAT LOSSES FOR ONE-FAMILY HOUSE EXECUTED IN TWO TECHNOLOGIES

**Abstract:** The paper subject is an analysis of heat losses for house executed in two technologies: traditional and passive house. At first theory about passive houses because of their innovative technology was described. Next heat infiltration coefficients for barrier in buildings were appointed and compared, so total heat losses calculation for these houses was possible. The calculations were carried out according to Polish standard PN-EN 12831. Passive houses are a chance for reducing energy consumption.

Pracę wykonano w ramach realizacji zadania statutowego S/WBiIS/23/08 realizowanego w Politechnice Białostockiej



## DYWERSYFIKACJA W SEKTORZE PALIW GAZOWYCH

Jolanta NIEDZIELKO<sup>a\*</sup>, Adrian TYSZKIEWICZ<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

<sup>b</sup>student, Politechnika Białostocka, Inżynieria Środowiska V rok

**Streszczenie:** Na rynku paliwowym nastąpiły diametralne zmiany. Niepewność cen oraz względy ekologiczne zmuszają do zastanowienia się nad wyborem najbardziej racjonalnego rodzaju paliwa. Gaz jest paliwem przyjaznym dla środowiska a dzięki wprowadzaniu coraz to nowych technologii, łatwości obsługi z punktu widzenia użytkownika oraz jego ogólnej dostępności może trafić do każdego odbiorcy. Paliwo to znajduje swoje zastosowanie zarówno w gospodarstwie domowym, przemyśle, a także w motoryzacji. Należy poznać różne odmiany gazu oraz ich właściwości, aby prawidłowo je wykorzystać. Ciągłe odkrywane są nowe źródła pozyskiwania tego surowca – także na terenie Polski. Opracowywane są technologie ułatwiające, a w niektórych przypadkach umożliwiające, jego wydobycie.

*Słowa kluczowe:* gaz, gaz płynny, gaz ziemny, gazyfikacja, złoża gazu.

### 1. Wstęp

Gwałtowny rozwój ekologii, który nastąpił w XX wieku, przyczynił się do powstania w 1968 roku „Klubu Rzymskiego”. Inicjatorem tego przedsięwzięcia był najprawdopodobniej włoski ekonomista Aurelio Peccei. „Rzymski Klub” był organizacją apolityczną, skupiającą 100 naukowców i działaczy gospodarczych z ponad 50 krajów. Pełnił rolę inicjatora i mecenasa badań nad problematyką globalną. Jednym z przewidywanych przez Klub zagrożeń była ogromna ilość odpadów przemysłowych i śmieci, które w krótkim czasie ograniczą przestrzeń życiową człowieka.

W chwili obecnej również względy ekonomiczne wymuszają rozwój technologii przyjaznej środowisku. Ludzkość szuka nowych, ekologicznych paliw. Jednym z nich jest gaz oraz różne jego odmiany.

Celem pracy jest wskazanie kierunków rozwoju oraz pozycji rynku paliw gazowych. W niniejszym opracowaniu porównano właściwości i zastosowanie gazu cięższego i lżejszego od powietrza oraz ich odmian. Wskazano też na zalety tego źródła energii oraz szerokie spektrum zastosowania. Przedstawiono również potencjał polskich niekonwencjonalnych złóż gazu.

#### 1.1. Wiadomości ogólne

Gaz płynny jest mieszaniną węglowodorów gazowych, głównie propanu i butanu, w postaci skroplonej pod ciśnieniem par własnych. Otrzymuje się go podczas

wydobywania ropy naftowej, oraz gazu ziemnego lub jako uboczny produkt rafinacji ropy naftowej. Masa 1 dm<sup>3</sup> skroplonego propanu wynosi 0,511 kg a objętość 1 kg tego gazu to 1,96 dm<sup>3</sup>. Natomiast masa 1 dm<sup>3</sup> butanu kształtuje się na poziomie 0,580 kg a objętość 1kg to 1,72 dm<sup>3</sup>. Na wolnym powietrzu, w temperaturze pokojowej z 1 kg płynnej mieszaniny propanu i butanu otrzymuje się około 420 dm<sup>3</sup> par gazu. Pary te mają gęstość prawie dwukrotnie większą od powietrza. Skraplanie ich wymaga niewielkiego ciśnienia, stąd mogą być przechowywane w cienkościennych butlach lub zbiornikach stalowych (Bąkowski i in., 1983).

Z kolei gaz ziemny jest paliwem gazowym pochodzenia naturalnego. Jest mieszaniną gazów i par wydobywających się z ziemi. Gaz ziemny, podobnie jak ropa naftowa, powstały na skutek przeobrażeń obumarłych organizmów morskich w warunkach beztlenowych. Gaz ziemny zazwyczaj składa się z 89,7-83,2% metanu, zawiera również do 2,8% etanu, do 2,8% propanu i butanu, do 5,5% azotu, do 2,4% dwutlenku węgla itp. Może też zawierać gazy szlachetne (Molenda, 1993; Bąkowski i in., 1983).

Gaz ziemny w stanie naturalnym jest bezbarwny, bezwonny i lżejszy od powietrza. Aby mógł być wyczuwalny przez człowieka jest poddawany procesowi nawaniania, który nadaje mu – poprzez zastosowanie odpowiedniego nawianiacza (Tetrahydrotiofenu - THT) (ZN-G-5001:2001) – specyficzną woń. W połączeniu z powietrzem, w określonych stężeniach (5%-15%) tworzy mieszaninę wybuchową (zainicjowanie wybuchu

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: j.niedzielko@op.pl



może być spowodowane jakąkolwiek iskrą). Gaz ziemny jest paliwem ekologicznym. Jest też bezpiecznym, oczywiście o ile użytkowanie przebiega zgodnie z przepisami (Molenda, 1993). Największe złoża gazu ziemnego występują w Rosji i USA, a także pod dnem Morza Północnego. W Polsce gaz ten wydobywa się głównie na Podkarpaciu (Przemyśl, Husów, Sanok) i Zapadlisku Przedkarpackim (wysokometanowy) w wyniku odmetanowywania kopalni węgla kamiennego w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym, a także w Wielkopolsce oraz Lubuskiem – rejon Drezdenka oraz Międzychodu (Bąkowski, 1996).

### 1.2. Zastosowanie

Gaz płynny jest powszechnie stosowany przy gazyfikacji terenów oddalonych od sieci gazowych, a także przy gazyfikacji budynków położonych na peryferiach zgazyfikowanych miast. W przemyśle i rolnictwie jest stosowany do zasilania różnego rodzaju urządzeń grzewczych, topienia metali kolorowych, obróbki szkła, odmrażania zwrotnic kolejowych, ogrzewania cieplarni, napędu silników spalinowych, jako gaz nośny do kosmetyków w aerozolu, niekiedy stosuje się go do podgrzewania agregatów w urządzeniach chłodniczych (Zajda i Gebhatr, 1995; Bąkowski i in., 1983).

Natomiast gaz ziemny jest bardzo komfortowym paliwem dla wszelkich stacjonarnych urządzeń energetycznych takich jak np.: kotły (zarówno małej mocy, jak i o wysokiej wydajności), turbiny, suszarnie, przemysłowe piece grzewcze, kuchnie domowe. Niektóre względy technologiczne lub techniczne sprawiają, że innego paliwa niż gazowe po prostu nie da się zastosować. Tak jest np. przy produkcji żarówek lub w przypadku turbin gazowych (Molenda, 1993).

### 1.3. Składowanie i transport

Gaz płynny z zakładów petrochemicznych jest dostarczany cysternami kolejowymi do rozlewni. Następnie zostaje przepompowywany do autocystern oraz butli. Jedna rozlewnia zaopatruje obszar w promieniu około 30 km, za pomocą punktów dystrybucyjnych. Z kolei każdy z takich punktów może zaopatrywać mniej więcej 1 000 odbiorców (Bąkowski i in., 1983; ZN-G-4120:2004).

Transport gazu płynnego nie wymaga budowy rozległych sieci rurociągów. Warto również pamiętać, że z jednego litra LPG (propanu – butanu) w fazie ciekłej powstaje po odparowaniu 250 litrów gazu. A zatem wydajność z 11 kg butli to 5 500 litrów (5,5 m<sup>3</sup>) fazy lotnej LPG (Bąkowski, 1996).

Do magazynowania gazu płynnego w gospodarstwach domowych służą zazwyczaj butle gazowe. Niestety ich pojemność jest niewystarczająca aby zasilić przy ich pomocy np. kocioł gazowy. Do tego celu stosuje się zbiorniki o przykładowej pojemności 2 700, 4 850 i 6 700 litrów. Jeszcze większe zbiorniki są montowane w pensjonatach, hotelach, czy też zakładach przemysłowych. Miejsce na zbiornik należy wybierać

z zachowaniem obowiązujących przepisów. Oprócz zachowania odpowiednich odległości od budynków przewodów, studzienek kanalizacyjnych, należy również pamiętać, aby nie umieszczać zbiornika (naziemnego) w zagłębieniach terenu, oraz w pobliżu rowów. Wynika to z faktu, że gaz płynny (LPG) jest cięższy od powietrza i ma tendencję do gromadzenia się w zagłębieniach terenu, co stwarza potencjalne niebezpieczeństwo. Do zasilania instalacji można również użyć zbiornika podziemnego. Przy tym wariancie przepisy są łagodniejsze, jednak dzierżawa takiego zbiornika zdecydowanie droższa w porównaniu ze zbiornikami naziemnymi. Zbiornik można również zakupić na własność, jednak jest to spory wydatek na samym początku inwestycji (PN-EN 12818, PN-EN 12819:2003).

Gaz ziemny do odbiorcy transportowany jest za pomocą gazociągów przesyłowych wysokiego ciśnienia, następnie za pośrednictwem stacji redukcyjno-pomiarowych jest dystrybuowany sieciami średniego i niskiego ciśnienia. Dzięki temu jest on wygodny w stosowaniu, ponieważ po podłączeniu się do sieci gazowej nie jest potrzebny zbiornik. Gwarantuje to ciągłość w dostawie, a opłatę za gaz uiszcza się dopiero po jego zużyciu. Nie bez znaczenia jest też cena gazu ziemnego, który na ogół jest niemal o połowę tańszy w porównaniu z gazem płynnym.

W przypadkach, kiedy nie ma możliwości podłączenia się do sieci gazowej, lub gazociąg ma dopiero powstać, można skorzystać z innych rozwiązań. Chociażby z LPG (skrót od angielskiego wyrażenia Liquefied Petroleum Gas), czyli gazu płynnego, głównie mieszaniny propanu i butanu, który jest powszechnie używany do ogrzewania domów, jako paliwo do samochodów, jak również w przemyśle. Innym rozwiązaniem jest CNG (ang. Compressed Natural Gas), co oznacza sprężony gaz ziemny oczyszczony z wody, przechowywany w stalowych lub wzmacnianych włóknem węglowym zbiornikach przeważnie przy ciśnieniu 200-250 atmosfer.

Można też wykorzystać LNG (ang. Liquefied Natural Gas), czyli gaz ziemny w postaci ciekłej o temperaturze od -163 do -180 °C. Dzięki skropleniu objętość gazu redukuje się 630 krotnie (1m<sup>3</sup> gazu w fazie ciekłej odpowiada 630 m<sup>3</sup> w fazie gazowej), a „gęstość energii” skroplonego gazu ziemnego wzrasta. Jednak ze względu na niską temperaturę przechowywanie LNG wymaga zbiorników kriogenicznych.

Innym rozwiązaniem jest NGH (ang. Natural Gas Hydrates). W ten sposób określa się klatraty<sup>1</sup> metanu, które są trwałe do temperatury -20°C. Jednak ilość gazu transportowanego w ten sposób jest znikoma. Prace nad ułatwieniem produkcji klatratów są w toku.

Kolejnym rozwiązaniem może być ANG (ang. Adsorbed Natural Gas). W tym przypadku gaz ziemny magazynuje się w materiałach porowatych. Wykorzystywane jest tu zjawisko adsorpcji gazu na adsorbentach stałych. Stanowi ono alternatywę dla

<sup>1</sup> Klatrat - struktura nadcząsteczkowa, w której występuje regularna sieć krystaliczna jednego związku chemicznego, wewnątrz której również regularnie są uwięzione cząsteczki innego związku chemicznego

sprężania gazu ziemnego (CNG) (Piskowska-Wasiak, 2007).

## 2. Aspekt finansowy zastosowania gazu

Technika wykorzystania gazu jest stosunkowo prosta, łatwa w obsłudze a zarazem wydajna i ekologiczna. Może też być wykorzystywana w praktycznie każdej dziedzinie przemysłu. Od modernizacji wielkich elektrociepłowni, przez ogrzewanie hal, po wykorzystanie w gospodarstwie domowym, czy transporcie lądowym oraz morskim.

W przyszłości miasta mają być budowane w układzie liniowym, składającym się z szeregu pasów, w których znajdują się zespoły przemysłowe, komunikacyjne, osiedla mieszkaniowe i zespoły rekreacyjne. Przy takim układzie osadniczym sieci ciepłownicze będą nadmiernie wydłużone, a koszty ich budowy będą kształtować się poniżej granicy opłacalności. Natomiast, w stosunku do całego osiedla, koszty budowy indywidualnych, zautomatyzowanych kotłowni dachowych zasilanych gazem z sieci rozdzielczych średniego ciśnienia będą z pewnością niższe od kosztów budowy układu ciepłowniczego (Kwiatkowski i Cholewa, 1980; Bąkowski, 1996).

### 2.1. Domki jednorodzinne a opłacalność ogrzewania gazem ziemnym w Polsce

Jednym z największych kosztów związanych z eksploatacją budynku jednorodzinnego jest jego ogrzewanie oraz przygotowanie ciepłej wody użytkowej.

Gas ziemny w Polsce dostarczany jest, między innymi, za pomocą sieci gazociągów bezpośrednio do odbiorcy. Jego cena jest konkurencyjna (czasami zbliżona w związku z wahaniami cen) w stosunku do oleju opałowego oraz paliw stałych. Odbiorca uzależniony jest od kryteriów jakimi są: zużycie gazu, rodzaje gazu, opłaty stałej, zmiennej i przesyłowej. Im większe jest zużycie gazu, tym jego cena jest niższa (tab. 1). W Polsce standardem jest gaz wysokometanowy z grupy E<sup>2</sup>.

Tab. 1. Taryfy dla odbiorców gazu ziemnego wysokometanowego grupy E (Taryfa nr 2/2009 PGNiG SA)

Wysoko-metanowy GZ-50 [E]	Ceny za paliwo gazowe [zł/l]
W-1 ilość paliwa mniejsza niż 300 m <sup>3</sup> /rok,	0,9480
W-2 ilość paliwa większa niż 300 m <sup>3</sup> /rok i mniejsza niż 1 200 m <sup>3</sup> /rok	0,9350
W-3 ilość paliwa większa niż 1200 m <sup>3</sup> /rok i mniejsza niż 8 000 m <sup>3</sup> /rok	0,9210
W-4 ilość paliwa większa niż 8 000 m <sup>3</sup> /rok	0,9180

<sup>2</sup> Grupa E jest dawną nazwą dla gazu wysokometanowego GZ50 (gdzie liczba 50 oznacza liczbę Wobbego).

Paradoksalnie może się wydawać, że przy stosowaniu gazu z sieci nieopłacalne jest inwestowanie w termomodernizację budynku w celu zmniejszenia rachunku za gaz. Wynika to stąd, że po przekroczeniu pewnej granicznej wartości zużycia „wkraczamy” w inną taryfę (tab. 1), co powoduje niższą opłatę. Jednak w konsekwencji mniejsze zużycie gazu powoduje obniżenie kosztów związanych z jego użytkowaniem.

Nie można też zapominać o aspekcie związanym z wygodą stosowania gazu. Jego dystrybucja jest ciągła przez cały rok, nie ma więc potrzeby stosowania zbiorników, w które należy zainwestować, oraz poddawać przeglądowi.

Orientacyjnie taryfy skierowane są do następujących odbiorców:

- W-1 – Odbiorca używający gazu do zasilania kuchenki gazowej,
- W-2 – Odbiorca używający, oprócz kuchenki gazowej, podgrzewacza wody,
- W-3 – Odbiorca posiadający, oprócz kuchenki gazowej oraz podgrzewacza wody, kocioł na gaz ziemny,
- W-4 – Odbiorcy przemysłowy.

Opłacalność używania gazu ziemnego, w stosunku do LPG, można w łatwy sposób obliczyć. Biorąc pod uwagę, że 1m<sup>3</sup> gazu z grupy E nie może mieć ciepła spalania mniejszego niż 38,0 MJ, czyli posiada wartość opałową 32,26 MJ (mniejszą od ciepła spalania o ilość ciepła potrzebną do odparowania tej ilości wody, jaka zawarta jest w produktach spalania). Natomiast gaz propan-butan sprzedawany w 11 kilogramowych butlach posiada wartość opałową 46 MJ/kg. Butla taka na terenie Podlasia kosztuje aktualnie (luty 2010 r.) 42,30 zł/szt.

Z porównania (tab. 2) wynika, że gaz ziemny wysokometanowy jest prawie trzykrotnie tańszy od propanu-butanu technicznego.

Tab. 2. Porównanie cen gazu ziemnego grupy E oraz gazu płynnego w 11kg butlach (propan-butan techniczny) w stosunku do ich wartości opałowych dla odbiorców zaliczających się do taryfy W-1

Butla 11kg propan- butan	Gas ziemny GZ-50 [E]
11kg <sub>p-but</sub> = 42,30 PLN	1m <sup>3</sup> <sub>{E}</sub> = 32,26MJ
1kg <sub>p-but</sub> = 3,94 PLN	1m <sup>3</sup> <sub>{E}</sub> = 0,948 PLN
1kg <sub>p-but</sub> = 46,0 MJ	1 PLN = 34,03 MJ
3,94 PLN = 46,0 MJ	
1 PLN = 11,7 MJ	
$\frac{1 \text{ PLN}_{\{E\}}}{1 \text{ PLN}_{p-but}} = \frac{34,03 \text{ [MJ]}}{11,7 \text{ [MJ]}} = 2,91[-]$	

Z porównania (tab. 3) wynika, że gaz ziemny wysokometanowy w taryfie W-3 jest prawie trzykrotnie tańszy od propanu stosowanego do ogrzewania.

Tab. 3. Porównanie cen gazu ziemnego GZ-50 [E] oraz propanu stosowanego do ogrzewania w stosunku do ich wartości opałowych dla odbiorców zaliczających się do taryfy W – 3

Propan do ogrzewania	Gaz ziemny GZ-50 [E]
$1l = 23,6MJ$	$1m^3_{[E]} = 32,26MJ$
$1l = 2,78PLN$	$1m^3_{[E]} = 0,921PLN$
$2,78PLN = 23,6MJ$	$1PLN = 35,03MJ$
$1PLN = 8,49MJ$	
$\frac{1PLN_{[E]}}{1PLN_{p-but}} = \frac{35,03 [MJ]}{8,49 [MJ]} = 4,13[-]$	

Cena gazu przy porównaniu taryfy W-1 i W-3 wynosi 0,027 w PLN, a przy takich rozbieżnościach w poborze uwzględnianie tej różnicy jest bezpodstawne.

## 2.2. Zalety stosowania gazu płynnego

Gaz płynny posiada wysoką wartość opałową (tab. 4 i 5). Jest również jedną z najbardziej ekologicznych form energii, gdyż w trakcie jego spalania niemal nie powstają związki trujące (tab. 6). Ważny też jest aspekt praktyczny – kotłownia na gaz płynny (oraz ziemny) jest praktycznie bezobsługowa. Z tych względów jest on nowoczesną formą energii o pewnej przyszłości.

Decyzja o korzystaniu z gazu płynnego podejmowana jest także z powodu wygody w korzystaniu. Ponadto - w przeciwieństwie do oleju opałowego - gaz ten nie wydziela nieprzyjemnego zapachu, co ma znaczenie dla osób z wrażliwym powonieniem.

Z tabeli 5, która odnosi wartości opałowe oraz wartości spalania (w kWh) różnych paliw do jednej kilowatogodziny energii elektrycznej gaz płynny klasyfikuje się na najwyższych miejscach.

Stosuje się go również w większych obiektach niż ogrzewanie domów jednorodzinnych. Nie wydziela pyłu, dzięki czemu stosowany jest do ogrzewania hal na przykład przemysłowych. Poza tym intensywnie rozwijający się rynek LNG pozwoli, w niedalekiej przyszłości, korzystać powszechnie ze skroplonej wersji gazu ziemnego.

Tab. 4. Wartość opałowa wybranych nośników energii

Rodzaj paliwa	Jednostka sprzedaży	Wartość opałowa	Jednostka wartości opałowej
energia elektryczna	1 kWh	3,6	MJ/kWh
węgiel kamienny	1 kg	24,5-33,8	MJ/kg
Koks	1 kg	30,5	MJ/kg
olej opałowy	1kg	43,2	MJ/kg
ECOTERM	1l	38,8	MJ/l
Benzyna	1kg	43,5	MJ/kg
	1l	39,2	MJ/l
propan-butan (1:1) faza ciekła	1kg	46,0	MJ/kg
propan-butan (1:1) faza ciekła	1l	25,1	MJ/l
propan-butan (1:1) faza gazowa	1m <sup>3</sup>	106,9	MJ/m <sup>3</sup>
propan faza ciekła	1kg	46,3	MJ/kg
propan faza ciekła	1l	23,6	MJ/l
propan faza gazowa	1m <sup>3</sup>	91,3	MJ/m <sup>3</sup>
butan faza ciekła	1kg	45,6	MJ/kg
butan faza ciekła	1l	26,4	MJ/l
butan faza gazowa	1m <sup>3</sup>	122,6	MJ/m <sup>3</sup>
gaz ziemny GZ-50	1m <sup>3</sup>	32,26	MJ/m <sup>3</sup>

Tab. 5. Zestawienie wartości opałowych oraz spalania w stosunku do 1kWh energii elektrycznej

Nośnik energii	Wartość opałowa		Wartość spalania
	jedn.	kWh	kWh
Propan	kg	12,88	13,99
Butan	kg	12,69	13,74
Gaz ziemny (mokry)	Nm <sup>3</sup>	8,80	9,75
Gaz ziemny (suchy)	Nm <sup>3</sup>	10,36	11,48
Olej opałowy (lekki)	litr	10,00	10,68
Olej opałowy (ciężki)	kg	11,34	12,03
Węgiel kamienny	kg	8,14	8,84
Energia elektryczna	kWh	1	1

Wartość spalania odnosi się do ciepła całkowitego, które uwalnia się przy całkowitym spalaniu metra sześciennego gazu. Przedstawione wartości bazują na stałej normie (0°C; 1013,25 mbar)

Tab. 6. Porównanie wielkości emisji zanieczyszczeń (SCORE, 1999)

Rodzaj paliwa	Skład chemiczny % wagowy s. m.						Wilgotność %	Wartość opałowa MJ/kg	Emisja kg/GJ			
	C	H	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	S	popiół			CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	Pyły
Węgiel	>68	4,5	11	1	0,5-1,2	<15	2-10	25,0	100	0,3-0,4	0,5-1	0,05
Olej	86	12	1	-	0,3-0,1	-	-	41,0	77	0,055-0,15	0,15-0,5	-
Gaz ziemny	69,5	23,5	-	<7	-	-	-	48,7	52	0,05-0,15	-	-
Słoma	46	5	45	0,2	0,1	3,7	10-20	17,0	-	0,16	0,07	0,02
drewno	50	6	43	0,1	-	0,9	10-20	19,0	-	0,16	-	0,02

### 2.3. Gaz a przemysł

Przemysł zarówno przetwórczy, jak i energetyczno-ciepłowniczy jest jednym z głównych źródeł zanieczyszczeń do atmosfery, w tym gazów cieplarnianych. Natomiast niska emisyjność gazu, oraz jego powszechna dostępność, w połączeniu z innymi niskoemisyjnymi paliwami, oraz systemami oczyszczania spalin, skłaniają do jego wykorzystania w celu redukcji emisji zanieczyszczeń, w tym i dwutlenku węgla. Co za tym idzie przedsiębiorstwa ograniczające emisje gazów cieplarnianych zyskują możliwość odsprzedaży emisji, których nie wykorzystują. Kapitał pozyskany w ten sposób niweluje wyższą cenę paliw w stosunku do paliw których nie wykorzystują. Kapitał pozyskany w ten sposób niweluje wyższą cenę paliw w stosunku do paliw i technologii wysokoemisyjnych, a nawet pozwala na osiągnięcie wyższych przychodów (Ministerstwo Środowiska, 2003).

Gaz stosuje się również w innych dziedzinach gospodarki, a w niektórych jest niezastąpiony. Jako przykład można podać termokatalityczne przetwarzanie odpadów z tworzyw sztucznych, w których LPG zasila linie technologiczne, gdzie wysortowane z odpadów komunalnych tworzywa sztuczne poddawane są obróbce termicznej w hermetycznie zamkniętym zbiorniku i bez dostępu tlenu, dzięki czemu nie występuje proces spalania. Wykorzystywane odpady z tworzyw sztucznych to w szczególności opakowania produktów rafineryjnych, przemysłu spożywczego, chemii gospodarczej, przemysłowej i kosmetycznej, strzykawki lekarskie, pudła po zużytych akumulatorach, zabawki, detale elektryczne, czy odpady poprodukcyjne pochodzące z procesu formowania. Produktem finalnym jest substytut ropy naftowej wykorzystywany m.in. w petrochemii do produkcji paliw, w chemii gospodarczej oraz jako surowiec do produkcji innych wyrobów chemicznych na przykład: parafin, past i smarów, czy płynów rozdzielających. Jest to technologia oparta na polskim patencie.

Gaz może być stosowany w przemyśle metalowym, w którym obróbka cieplna metali przy użyciu wysokiej jakości propanu eliminuje utlenianie. Również znajduje wykorzystanie w przemyśle stoczniowym oraz wytwarzającym konstrukcje stalowe. Gaz płynny wykorzystuje się do podgrzewania blach i konstrukcji przeznaczonych do profilowania, oczyszczania oraz aplikacji powłok ochronnych. Co za tym idzie wykorzystywany jest też w przemyśle spawalniczym, hutnictwie, przemyśle motoryzacyjnym, w budownictwie – oprócz ciepłownictwa – stosowany do produkcji prefabrykatów. W budownictwie drogowym gaz płynny stanowi źródło energii do podgrzewania i mieszania asfaltu, w przemyśle papierniczym dzięki grzejnikom radiacyjnym usuwa wilgoć powstałą w procesie produkcji. Jest też szeroko stosowany, z uwagi na swą czystość, w przemyśle spożywczym. Natomiast, ze względu na precyzyjną możliwość regulacji temperatury oraz wysoką kaloryczność, wykorzystuje się go w przemyśle szklanym oraz ceramicznym. Stosuje się go w przemyśle

tekstylnym, głównie ze względu na niską zawartość siarki. Jest też użyteczny w przemyśle rolniczym oraz turystyce, jak również w wielu innych dziedzinach przemysłu (Bąkowski, 1996; Bąkowski i in., 1983).

Często spotykamy się z opiniami o braku sensu budowania portów gazowych, magazynów gazu, szukania złóż w naszym kraju oraz podpisywania nowych kontraktów na dostawy. Jednak łatwo stwierdzić, że opinie te nie są uzasadnione ze względu na szerokie spektrum zastosowania gazu oraz coraz to nowsze technologie pozwalające na eksploatację złóż, które do tej pory były niedostępne.

### 3. Aktualne przemiany w przemyśle gazowniczym

#### 3.1. Z ostatniej chwili - gaz „Gorączką złota XXI wieku”

„Jak poinformował na konferencji poświęconej niekonwencjonalnym złóżom gazu ziemnego główny geolog kraju, wiceminister środowiska dr Henryk Jacek Jezierski, złoża niekonwencjonalne na świecie mogą być nawet dziesięciokrotnie większe niż udokumentowane złoża konwencjonalne. Poszukiwanie ich nazwał gorączką złota XXI w.” (Źródło: Polska Agencja Prasowa, styczeń 2010 r.). Z doniesień tych możemy dowiedzieć się również, że Polska może posiadać niekonwencjonalne złoża zapewniające niezależność energetyczną nawet na 100 - 200 lat. Aktualnie zostały rozpoczęte poszukiwania (odwierty) na terenie Polski. W ciągu dwóch, trzech lat powinniśmy już dosyć dokładnie wiedzieć, ile gazu łupkowego mamy w Polsce i jaka jego część jest możliwa do wydobycia. Według szacunków polskie złoża gazu wynoszą od 1,5 do 3 bilionów metrów sześciennych.

Chodzi tu o złoża gazu w skałach ilastych, oraz kompleksy piaskowcowe zawierające gaz zamknięty. Temat ten został szeroko rozwinięty w artykule (Poprawa i Kiersnowski, 2008). O istnieniu takich utworów geologicznych wiedzano od dawna, odtworzono nawet mechanizmy zamykania gazu – geochemiczny i fizyczny, ale nie potrafiło sobie poradzić z opłacalnym uwalnianiem uwiecznionego metanu (Poprawa i Kiersnowski, 2008).

Nowoczesne szczelinowanie hydrauliczne jest to w pełni kontrolowany proces, przetestowany w laboratoriach, obudowany patentami i, niestety, dosyć drogi - może pochłonąć nawet 25 procent kosztów wykonania odwiertu. W podstawowej wersji do otworu tłoczy się wodę pod ciśnieniem sięgającym 600 atmosfer. Gdy w strefie poddanej obróbce otworzy się wystarczająco dużo szczelin, do wody dodaje się drobnoziarnisty piasek, który wciska się w pęknięcia i uniemożliwia ich zamknięcie. Istnieje ogromna liczba wariantów podstawowej operacji. Zamiast wody włącza się płyny o regulowanej lepkości, zawierające borany, rozpuszczalniki organiczne, antyoksydanty, enzymy i polimery. Zamiast piasku stosuje się materiały ceramiczne, metalowe i plastikowe kulki oraz płyny organiczne, które przekształcają się w siatkę splątanych włókien. Otwieranie szczelin kontroluje się za pomocą

sond mikrosejsmicznych i światłowodów. Przed wszystkim jednak przed podjęciem kosztownych prac bada się próbki skał, aby określić ich własności geomechaniczne i naprężenia w górotworze. Pod tym kątem dobiera się płyny, ciśnienie i czas trwania poszczególnych etapów operacji, a cały zabieg przedtem symuluje cyfrowo. Etap laboratoryjny jest żmudny i kosztowny, ale przynosi efekty – w łupkach bitumicznych uzyskuje się precyzyjne, koncentryczne strefy spękań o promieniu nawet 900 m (w piaskowcach do 200 m) (Rutkowski, 2009).

Odnalezienie wyżej wymienionych złóż w Polsce, oraz późniejsze eksploatawanie może znacznie wpłynąć na obniżenie cen gazu, o ile wydobywanie będzie opłacalne. W konsekwencji może wystąpić bardzo szybki rozwój infrastruktury, technologii, a także wysoki popyt na to paliwo.

#### 4. Podsumowanie

Aktualnie najbardziej opłacalną formą dystrybucyjną gazu z perspektywy odbiorcy jest gaz ziemny grupy E. Jest on tani oraz wygodny w odbiorze i użytkowaniu, aczkolwiek nie jest wszędzie dostępny. Zamiennikiem jest gaz płynny LPG, niestety jego cena nie jest konkurencyjna. Aktualnie trwają prace nad technologią oraz taryfami LNG dla takich odbiorców. Przyszłość tego sektora energetycznego wiąże się również z gazem łupkowym, którego odkrycie w Polsce spowodowało w ostatnim czasie szereg dyskusji.

Gaz jako paliwo występuje w wielu odmianach. Może zaspokoić potrzeby praktycznie każdej dziedziny przemysłu oraz odbiorców indywidualnych. Dodatkowym, bardzo ważnym aspektem, w czasach walki z globalnym ociepleniem, jest jego niska emisyjność gazów cieplarnianych. Jest paliwem ekologicznym. Światowe złoża gazu są rozległe, a odpowiednie nimi gospodarowanie może zapewnić bezpieczeństwo energetyczne na wiele lat.

Szybkie zmiany zachodzące w gazownictwie przy równocześnie rosnących cenach węglowodorów skłaniają do oceny, na ile trwała będzie pozycja gazu ziemnego na rynku energetycznym w XXI wieku. I tu warto się odnieść do materiałów 24 Światowego Kongresu Gazowniczego, który odbył się w Buenos Aires w 2008 roku. Poruszono na nim wiele tematów związanych między innymi z logistyką, bezpieczeństwem dostaw, tematem gazu do pojazdów spalinowych oraz szerokim tematem jakim jest GTL (ang. Gas to Liquids) - niekonwencjonalnym sposobem pozyskiwania gazowych paliw płynnych, oraz przesyłem LNG rurociągami (Rychlicki i Stopa, 2009). Szybko rozwijający się rynek oraz zainteresowanie inwestorów rokuje trwałą pozycję gazu na rynku paliw.

#### Literatura

- Bąkowski K. (1996) Gazyfikacja. *Wydawnictwa Naukowo-Techniczne*. Warszawa, 1996.
- Bąkowski K. i in. (1983) Projektowanie instalacji gazowych. *Arkady*. Warszawa, 1983.
- Holendersko-polski program współpracy poszanowania energii SCORE (1999) – Poradnik dla użytkowników energii. Wskaźniki techniczno – ekonomiczne i środowiskowe. Gdańsk.
- Kwiatkowski J., Cholewa L. (1980). Centralne ogrzewanie. Pomoce projektanta. *Arkady*. Warszawa, 1980.
- Ministerstwo Środowiska (2003) Polityka klimatyczna Polski, Strategie redukcji emisji gazów cieplarnianych w Polsce do roku 2020. Warszawa.
- Molenda J. (1993). Gaz ziemny - paliwo i surowiec. *Wydawnictwa Naukowo-Techniczne*. Warszawa, 1993.
- Piskowska-Wasiak J. (2007). Zastosowanie technologii adsorpcyjnego magazynowania gazu ziemnego (ANG) w sektorze motoryzacyjnym i w systemie gazowniczym PN-EN 12818 Kontrola i badanie okresowe podziemnych zbiorników do skroplonego gazu węglowodorowego (LPG) o pojemności do 13 m3 łącznie.
- PN-EN 12819:2003 Kontrola i badania okresowe naziemnych zbiorników do skroplonych gazów węglowodorowych LPG o pojemności większej niż 13 m3.
- Poprawa P., Kiersnowski H. (2008). Perspektywy poszukiwań złóż gazu ziemnego w skałach ilastych (shale gas) oraz gazu ziemnego zamkniętego (tight gas) w Polsce. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*.
- Rutkowski M. (2009). Wyciskanie gazu, [www.polityka.pl/nauka/technika/](http://www.polityka.pl/nauka/technika/).
- Rychlicki S., Stopa J. (2009). Gaz, woda i technika sanitarna. W: 24. Światowy Kongres Gazowniczy w Buenos Aires.
- Taryfa w zakresie dostarczania paliwa gazowego nr 2/2009 wyciąg z taryfy dla paliw gazowych PGNiG S.A.
- Zajda R., Gebhatr Z. (1995). Instalacje gazowe oraz lokalne sieci gazów płynnych. *Wyd. Cobo-Profil*, Warszawa.
- ZN-G-4120:2004 System dostawy gazu - Stacje gazowe - Wymagania ogólne.
- ZN-G-5001:2001 Gazownictwo – Nawanianie paliw gazowych – Wymagania ogólne dotyczące nawaniania gazu ziemnego.
- Ustawa Prawo Energetyczne z dnia 10 kw. 1997 r. (Dz. U. z dn. 4 czerwca 1997 roku).

#### DIVERSIFICATION IN THE FUEL GAS SECTOR

**Abstract:** The fuel market has been changed. The hesitancy of prices and environmental considerations force us to think about the most efficient type of fuel. Gas is an environmental friendly fuel. Because of the newest technologies it is generally approachable and used in the householders, industry and motorization. It is necessary to know the different kinds of gas and their properties in order to use them properly. The new gas poles are discovered – also in Poland. New technologies help or even let us extract gas from new places.

Praca naukowa sfinansowana przez Politechnikę Białostocką w ramach pracy statutowej S/WBiIŚ/23/08

# CHARAKTERYSTYKA AKTYWNYCH I PASYWNYCH SYSTEMÓW CHŁODZENIA ZA POMOCĄ POMPY CIEPŁA

Urszula PISZCZATOWSKA<sup>a\*</sup>, Mirosław ŻUKOWSKI<sup>b</sup>

<sup>a</sup>student, Politechnika Białostocka, Inżynieria Środowiska V rok

<sup>b</sup>Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

**Streszczenie:** Geotermalne pompy ciepła są to urządzenia, które w okresie grzewczym wykorzystują ciepło gruntu jako tzw. źródło dolne do celów centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej. W artykule skupiono się jednak na temacie wykorzystania tego urządzenia do chłodzenia pomieszczeń w okresie letnim. Realizacja tego zamierzenia może odbywać się w trybie pasywnym bądź aktywnym. W pierwszym przypadku chłodzenie odbywa się przy bezpośrednim wykorzystaniu chłodu wody lub gruntu. Nie zużywa się przy tym energii na pracę sprężarki. Druga opisana w artykule możliwość to realizacja chłodzenia przy użyciu klimakonwektorów bądź ogrzewania płaszczyznowego. Scharakteryzowano również zintegrowany układ grzewczo-chłodniczy zainstalowany w budynku biurowym, w skład którego wchodzi wymienniki ciepła, pompa ciepła oraz moduł klimatyzacyjny HPAC.

*Słowa kluczowe:* rewersyjna pompa ciepła, chłodzenie aktywne, chłodzenie pasywne, moduł klimatyzacyjny.

## 1. Wprowadzenie

Pomimo dosyć krótkiego okresu w roku z wysoką temperaturą powietrza zewnętrznego w Polsce można zauważyć ciągły wzrost liczby instalowanych systemów klimatyzacyjnych, które poprawiają poziom komfortu termicznego w czasie lata. Wiąże się to ze znaczącym zwiększeniem zużycia energii w tym okresie. Redukcję zapotrzebowania na moc chłodniczą do celów klimatyzacji pomieszczeń można osiągnąć poprzez (Oszczak, 2009):

- wprowadzenie do pomieszczeń chłodniejszego powietrza z zewnątrz,
- ochładzanie powietrza wentylacyjnego lub bezpośrednio pomieszczeń za pomocą wymienników ciepła (chłodnice, klimakonwektory) zasilanych z energooszczędnych źródeł,
- bezpośrednie chłodzenie przegród budowlanych (ściany, podłogi, sufity) zasilanych wodą lodową o wyższych temperaturach niż w innych układach.

Celem pracy jest porównanie różnych systemów chłodzenia z wykorzystaniem pompy ciepła. Bardzo ważną zaletą tych urządzeń jest to, że mają jedną instalację. Można ją wykorzystać zarówno do celów grzewczych (centralne ogrzewanie, podgrzew wody użytkowej) jak i chłodniczych (klimatyzacja pomieszczeń).

Zasada działania pomp ciepła pracujących w okresie zimowym na cele centralnego ogrzewania jest powszechnie znana. Zatem skoncentrowano się na funkcji klimatyzacyjnej jaką mogą one realizować w okresie letnim. Poniżej omówiono dwa sposoby chłodzenia pompą ciepła, tj. chłodzenie aktywne i pasywne.

## 2. Techniczne rozwiązania sposobów chłodzenia

### 2.1. Chłodzenie aktywne

Konstrukcje systemów wykorzystujących chłodzenie aktywne pomieszczeń za pomocą pompy ciepła stanowią stosunkowo nowe rozwiązanie, ponieważ stosowane są dopiero od kilku lat. Odwracając proces zachodzący w pompie ciepła uzyskujemy typową chłodziarkę. Zatem zmiana kierunku przepływu czynnika chłodniczego a co za tym idzie kierunku obiegu termodynamicznego, umożliwia odbiór ciepła ze źródła górnego. Istnieje kilka sposobów realizacji odwracalnej pompy ciepła (Viessmann, 2009b).

W pompie ciepła sprężarka może być podłączona przez zawór czterodrogowy. Pozwala to na odwrócenie kierunku jej działania. Poprzez przełączenie tego zaworu skraplacz i parownik zamieniają się funkcjami. W parowniku zachodzi identyczny proces jak w trybie

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: urszula.piszczatowska@wp.pl

ogrzewania. Z tą różnicą, że ciepło odbierane jest z systemu grzewczego, schładzając w ten sposób czynnik grzewczy (np. wodę w instalacji podłogowej). Ciepło to oddawane jest przez skraplacz do układu dolnego źródła ciepła. Należy również zastosować drugi dodatkowy zawór rozprężny, skierowany w przeciwną stronę do zaworu pierwszego. Jeden z dwóch zaworów rozprężających włączany jest w obwód dzięki zamontowanemu zaworowi trójdrogowemu. Negatywnym aspektem tego rozwiązania jest to, że energia elektryczna pobierana przez sprężarkę zamienia się w ciepło. W trybie ogrzewania dodaje się ono do ciepła pobieranego z dolnego źródła. Natomiast w trybie chłodzenia ta dodatkowa energia cieplna obniża moc chłodniczą urządzenia (Viessmann, 2009b).

Innym rozwiązaniem odwrócenia obiegu pracy pompy ciepła jest zastosowanie układu zaworów trójdrogowych, które przełączają pracę dolnego i górnego źródła ciepła ze skraplaczem i parownikiem pompy ciepła. Przy zastosowaniu takiego układu pompa pracując w trybie chłodzenia aktywnego, wytwarza wodę lodową do klimatyzowania pomieszczeń, a jednocześnie zużywa pobierane ciepło do ogrzewania c.w.u. Teoretycznie funkcja klimatyzacji jest realizowana za darmo przy okazji podgrzewania wody użytkowej. Gdy temperatura c.w.u. osiągnie pewną graniczną wartość, następuje przełączenie układu i ciepło pobierane z wody lodowej jest oddawane do dolnego źródła (np. do solanki w kolektorze gruntowym) ([www.budujemydom.pl](http://www.budujemydom.pl)).

Proces chłodzenia aktywnego wykorzystujący pompy ciepła solanka/woda i sondy gruntowe dopuszczalny jest do temperatury solanki 21°C (średnia w ciągu tygodnia) lub wartości szczytowej 27°C ([www.dimplex.de](http://www.dimplex.de)).

Energia zakumulowana w powietrzu zewnętrznym jest wykorzystywana przez rewersyjne pompy ciepła typu powietrze/woda w celach grzewczych i chłodniczych. Zbędne jest natomiast obliczanie całkowitego zapotrzebowania na chłodzenie w sezonie chłodniczym. W obiegu chłodniczym pompy ciepła można uzyskać temperaturę dopływu (zasilania instalacji klimatyzacyjnej) między 7 i 20°C przy temperaturze zewnętrznej ponad 15°C ([www.dimplex.de](http://www.dimplex.de)).

## 2.2. Chłodzenie pasywne

Podczas pasywnego chłodzenia, sprężarka pompy ciepła nie jest używana, pozostaje „pasywna”. W trybie tego chłodzenia wykorzystuje się możliwość naturalnego schładzania (Viessmann, 2009a). Latem temperatura wody gruntowej i gruntu na większych głębokościach jest niższa niż temperatura pomieszczeń oraz ich otoczenia. Aby zastosowanie tego typu chłodzenia było możliwe wymagane są niewielkie zmiany konstrukcyjne – to jest dodatkowy wymiennik ciepła z układem odpowiednio sterowanych zaworów trójdrogowych i pomp obiegowych. Zamiast dodatkowego wymiennika ciepła wypełnia się instalację grzewczą roztworem solanki tak jak w dolnym źródle ciepła ([www.budujemydom.pl](http://www.budujemydom.pl)).

Chłodzenie pasywne ma niewątpliwe zalety. Pierwszą jest duża efektywność energetyczna związana z bardzo

niskimi kosztami eksploatacyjnymi, wynikającymi wyłącznie z niewielkiego poboru mocy w pracujących pompach obiegowych. Drugą zaletą jest korzystny wpływ pracy w trybie chłodzenia na regenerację termiczną dolnego źródła, wyzębionego po zimowym sezonie grzewczym. W trybie chłodzenia pasywnego dolne źródło jest podgrzewane ciepłem pobieranym z pomieszczeń.

W większości regionów Niemiec, zgodnie z normą VDI 4640, pożądane jest ochłodzenie wody gruntowej na przykład przez używanie grzewczej pompy ciepła. Natomiast podniesienie jej temperatury przez używanie urządzenia chłodniczego jest tolerowane tylko w ściśle określonych granicach. Podczas przekazywania ciepła do wody gruntowej w żadnym wypadku nie powinna być przekroczona temperatura 20°C. Poza tym zmiana temperatury wody gruntowej kierowanej z powrotem do studni chłonnej nie powinna przekroczyć 6 K (Viessmann, 2009b).

W przypadku pasywnego chłodzenia za pomocą pompy ciepła, czerpiącej energię z wód gruntowych, wymiennik ciepła i wielkość przepływu należy tak zaprojektować, żeby kierowana z powrotem do studni chłonnej woda była ogrzana nie więcej niż o 6 K. Dodatkowo należy uwzględnić znacznie różniące się, wymagania regionalnych urzędów. Wpływ tłoczony wody na wymiennik ciepła należy sprawdzić przy pomocy analizy chemicznej (Viessmann, 2009b).

Poziome kolektory gruntowe nie nadają się z reguły jako pewne źródła chłodu do pasywnego chłodzenia. Często w płytkich warstwach pod powierzchnią ziemi temperatura jest zbyt wysoka dla sprawnego chłodzenia. Na przykład w sierpniu temperatura kolektora wynosi około 15°C. Doprowadzenie ciepła odpadowego spowoduje jeszcze większy wzrost temperatury kolektora, który znacznie spełnia funkcję zasobnika energii. Może to naruszyć warunki życia flory i fauny na powierzchni. Używanie kolektora gruntowego do chłodzenia może doprowadzić do wyschnięcia gruntu wokół niego. Wiąże się z tym kurczenie się ziemi, co w konsekwencji może doprowadzić do utraty kontaktu pomiędzy gruntem i kolektorem oraz do pogorszenia się sprawności grzania zimą (Viessmann, 2009b).

Jako źródło zimna do procesów chłodzenia często stosowane są sondy gruntowe. Wykorzystywany jest w tym procesie stały poziom temperatury (około 10°C) głębszych warstw gruntu. Dzięki zamkniętemu obiegowi nie ma żadnych prawnych obowiązków związanych z gospodarką wodną. W przypadku gdy zapewnione muszą być określone moce chłodzące lub gdy roczne zapotrzebowanie na chłodzenie jest większe niż roczne zapotrzebowanie na grzanie, należy sondę geotermiczną zaprojektować oddzielnie dla trybu grzania i trybu chłodzenia (Viessmann, 2009b).

## 3. Współpraca modułu klimatyzacyjnego z pompą ciepła

Moduły klimatyzacyjne są urządzeniami, które współpracując z pompą ciepła pozwalają zapewnić

komfort cieplny przez cały rok. To dodatkowe wyposażenie pompy jest ekonomiczne i przyjazne dla środowiska. W dalszej części pracy opisano moduł klimatyzacyjny HPAC, który został specjalnie zaprojektowany do współpracy z gruntowymi pompami ciepła. Konstrukcja urządzenia opiera się o zespół przełączających się zaworów trójdrogowych. Ich praca sterowana jest przez automatykę pompy ciepła. Moduł HPAC może pracować w trzech następujących trybach:

- ogrzewanie,
- chłodzenie pasywne,
- chłodzenie aktywne.

HPAC jest oddzielną jednostką a pompy ciepła współpracujące z tym modułem nie są pompami rewersyjnymi. Grzanie i chłodzenie możliwe jest dzięki odpowiednim zmianom przepływu czynnika. Taka konstrukcja pozwala zarówno na chłodzenie pasywne i aktywne pomieszczeń (www.biawar.com.pl).

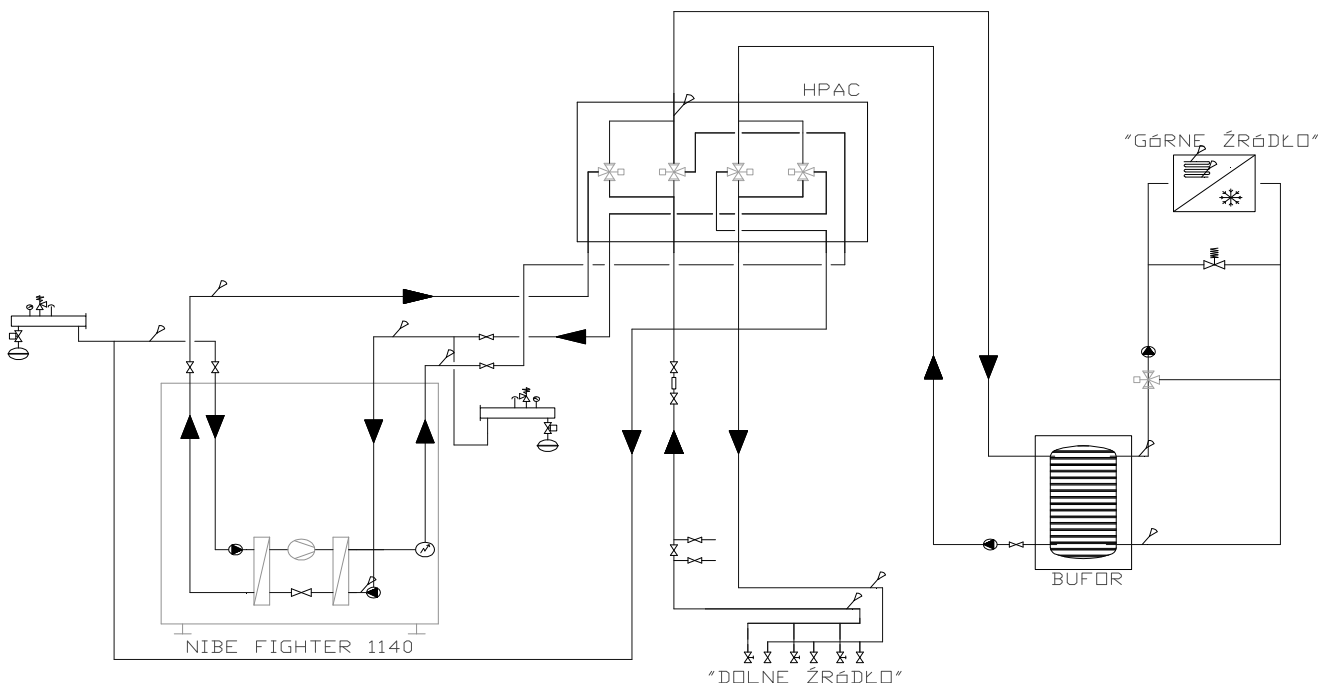
W zimie, gdy w budynku zapotrzebowanie na ogrzewanie wzrasta, pompa ciepła produkuje ciepło, czerpiąc do tego energię z kolektorów pionowych lub wód gruntowych (Systemy..., 2007). Przekazuje je następnie do pomieszczeń. W trybie ogrzewania moduł HPAC oddziela obiegi górnego źródła ciepła od dolnego.

Na początku sezonu letniego, gdy pompa ciepła przestanie pracować dla potrzeb systemu grzewczego, a zapotrzebowanie na chłód jest jeszcze stosunkowo niewielkie, automatyka pompy ciepła przełącza zawory w module w taki sposób, że obiegi dolnego i górnego źródła są połączone. Chłodzenie odbywa się bez udziału sprężarki. Obieg czynnika wymusza pompa obiegowa

w pompie ciepła. Czynnik z gruntu przepływa przez moduł HPAC i pompę ciepła do instalacji górnego źródła. Z tego względu zarówno kolektor gruntowy jak i system ogrzewania/chłodzenia muszą zostać napełnione tym samym niezamarzającym czynnikiem. Po odebraniu ciepła z pomieszczeń, czynnik ten wraca z powrotem do gruntu, co powoduje jego regenerację. Dodatkowo w sytuacji przełączenia pomp ciepła w funkcje ciepłej wody użytkowej urządzenie wykorzystuje wyższą temperaturę źródła. Jednocześnie praca na cele c.w.u. powoduje schłodzenie dolnego źródła, czyli poprawienie efektywności energetycznej chłodzenia. Wszystkie pompy ciepła zachowują priorytet c.w.u.

W momencie, gdy zapotrzebowanie na chłodzenie pomieszczeń przekracza wydajność chłodzenia pasywnego, moduł HPAC przejdzie w tryb chłodzenia aktywnego. Uruchamia się pompa ciepła. Włączona zostaje sprężarka. Moduł rozdziela system źródła górnego od kolektora gruntowego, w taki sposób, że czynnik obiegu górnego będzie w parowniku pompy ciepła schładzany, a wyprodukowane ciepło będzie oddawać do gruntu. Dzięki takiemu trybowi pracy pompy ciepła otrzymujemy efektywne chłodzenie domu z jednoczesnym szybkim i bezpłatnym ładowaniem kolektora gruntowego. Skutkuje to większą ilością energii w zimie. Oznacza również większą efektywność energetyczną i mniejsze koszty eksploatacyjne (www.biawar.com.pl).

Przykładowy system grzewczo-chłodniczy z wbudowanym zasobnikiem c.w.u. i modułem klimatyzacyjnym pracujący w budynku biurowym przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat technologiczny instalacji centralnego ogrzewania/chłodzenia miejscem zamontowania czujników temperatury

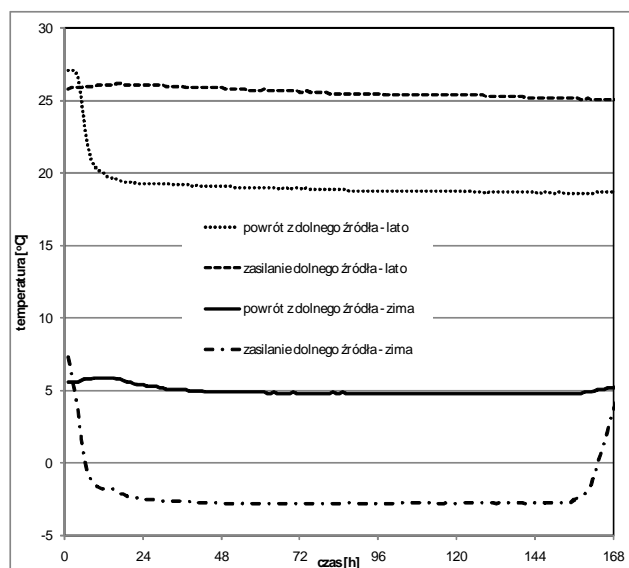


Fotografię źródła ciepła z modułem HPAC zamieszczono na rysunku 2.



Rys. 2. Pompa ciepła FIGHTER 1140 z modułem klimatyzacyjnym HPAC, zasobnikiem ciepła oraz przeponowym naczyniem wzbiorczym (archiwum firmy HANDAN)

Omawiany układ został wyposażony w czujniki temperatury umieszczone w najważniejszych punktach instalacji oraz system akwizycji danych. Na poniższym wykresie (rys. 3) przedstawiono przebieg temperatury czynnika krążącego w obiegu źródła dolnego dla reprezentatywnego jednego tygodnia. Dwa górne wykresy dotyczą okresu letniego, w którym pompa ciepła pracuje w trybie chłodzenia. Do gruntu wpływa czynnik o temperaturze około  $26^{\circ}\text{C}$  i po oddaniu ciepła dopływa do budynku ochłodzony do około  $19^{\circ}\text{C}$ . Dwa dolne wykresy prezentują typowy układ pracy pompy w okresie zimowym. Średnia temperatura czynnika obiegowego wpływającego do wymiennika gruntowego wynosi  $-2,5^{\circ}\text{C}$ . W wyniku wymiany ciepła z gruntem jego temperatura wzrasta do około  $5^{\circ}\text{C}$ .



Rys. 3. Temperatury czynnika w obiegu źródła dolnego

#### 4. Podsumowanie

Pompy ciepła - to coraz częściej urządzenia typu „trzy w jednym”. Zasilają instalację, która zimą ogrzewa budynek, latem chłodzi, a przez cały rok zapewnia dostawę ciepłej wody użytkowej. Omówiono dwa główne sposoby pracy tego typu systemów, czyli bardziej zaawansowane technologicznie chłodzenie aktywne i chłodzenie pasywne charakteryzujące mniejszymi kosztami eksploatacyjnymi.

Omówiono układ składający się z pompy ciepła i modułu klimatyzacyjnego, który może pracować zarówno w trybie aktywnym jak i pasywnym. Dzięki temu otrzymujemy energooszczędny system, który zapewni komfort termiczny w czasie całego roku.

#### Literatura

- Oszczak W. (2009). Ogrzewanie domów z zastosowaniem pomp ciepła. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ, Warszawa.
- Systemy centralnego ogrzewania i wentylacji (2007). Poradnik dla projektantów i instalatorów. Praca zbiorowa. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Viessmann (2009a). Katalog: Ogrzewanie ciepłem z natury.
- Viessmann (2009b). Zeszyty fachowe: Pompy ciepła.

W pracy wykorzystano również informacje zamieszczone w katalogach firmy NIBE.

#### CHARACTERISTICS OF PASSIVE AND ACTIVE COOLING SYSTEMS BY MEANS OF HEAT PUMP

**Abstract:** Geothermal heat pumps are devices which use energy from the ground as an upper heat source for central heating and domestic hot water systems during the heating period. The first part of the paper focuses on applying these devices for the cooling of rooms in summertime. Implementation of this technology can be done in two cooling modes: passive or active. In the first case cooling is carried out by the direct use of cold water or soil. In this particular case there is no power consumption by compressor. The second possibility of implementation of cooling can be obtained by fan coil units or underfloor heating systems. The second part of the paper characterizes the integrated heating-cooling system, which is installed in the office building near Białystok. This system consists of heat exchangers, heat pump and air conditioning unit HPAC. System under consideration can operate both in the heating mode and as the passive and active cooling unit. This solution guarantees thermal comfort throughout all the year.

Pracę wykonano w ramach pracy własnej W/WBiŚ/15/09. Autorzy dziękują Panu dr. inż. Sławomirowi Sidorukowi z firmy HANDAN za udostępnienie wyników pomiarów i zdjęć.

## MODELOWANIE PRZEPIYU CIEPŁA W PRZEGRODACH Z INSTALACJAMI CENTRALNEGO OGRZEWANIA METODĄ BRZEGOWYCH RÓWNAŃ CAŁKOWYCH

Tomasz Janusz TELESZEWSKI\*, Sławomir Adam SORKO

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

**Streszczenie:** W artykule zaprezentowano algorytm obliczeń i wyniki obliczeń pól temperatury i przepływu ciepła w przegrodach budowlanych z instalacjami przewodów centralnego ogrzewania metodą brzegowych równań całkowych. Dla zobrazowania dokładności obliczeń zagadnień przepływu ciepła przy użyciu metody elementów brzegowych przedstawiono przykładowe wyniki obliczeń przenikania ciepła w ścianie zewnętrznej jednowarstwowej, porównując je z rezultatem rozwiązania analitycznego. W opracowaniu przedstawiono graficzne wyniki obliczeń pól temperatury, izoterm i adiabat oraz strumienia ciepła w przegrodach, w których znajdują się instalacje c.o. Dokonano porównania grafów cieplnych charakterystyk analizowanych elementów budowlanych z termogramami wykonanymi kamerą termowizyjną.

*Słowa kluczowe:* izolacje termiczne, metoda elementów brzegowych.

### 1. Wprowadzenie

Symulacje przepływu ciepła oraz rozkłady temperatury w przegrodach budowlanych pozwalają optymalnie zaprojektować izolacje cieplne oraz prawidłowo wyznaczyć charakterystykę cieplną budynku. Obecnie coraz częściej stosowane są metody numeryczne w projektowaniu, które pojawiają się w normach oraz wytycznych do projektowania. Istotny wpływ na charakterystykę energetyczną budynku mają instalacje centralnego ogrzewania, które są prowadzone w przegrodach budowlanych. Znajomość rozkładów temperatury w przegrodach, w których znajdują się instalacje centralnego ogrzewania, umożliwia właściwą ocenę izolacyjności przewodów przechodzących przez ściany i stropy oraz określenie i minimalizację strat ciepła.

Metody analityczne nie pozwalają na wyznaczenie pól temperatur dla skomplikowanych brzegów, natomiast metody siatkowe MRS, MES (Zienkiewicz i Taylor, 2000; Mitchell i Griffiths, 1980) wymagają przy złożonych kształtach analizowanych obiektów, dyskretyzacji obszarów, co istotnie komplikuje bardziej powszechne zastosowanie tych metod do analizy i optymalizacji zagadnień przepływu ciepła w instalacjach i urządzeniach ogrzewczych i klimatyzacyjnych w powiązaniu z właściwościami geometrycznymi i konstrukcyjnymi struktur budowlanych.

Metoda brzegowych równań całkowych (elementów brzegowych) jest pozbawiona wad metod siatkowych, bowiem nie wymaga dyskretyzacji obszaru rozwiązania, a jedynie jego brzegu, co zmniejsza o rząd wymiar zagadnienia obliczeniowego oraz pozwala na formułowanie złożonych warunków brzegowych i modelowanie obiektów o skomplikowanej geometrii.

### 2. Brzegowe równanie całkowe opisujące ustalone pole temperatury w obszarze płaskim

W wielu przypadkach przewodzenia ciepła, zagadnienia przestrzenne można uprościć do przepływów płaskich. Ustalone, bezźródłowe pole temperatury  $T = T(V)$  w substancji jednorodnej jest opisane równaniem Laplace'a:

$$\nabla^2 T = 0 \quad (1)$$

- z warunkiem brzegowym Dirichleta w postaci zadanej na brzegu obszaru wartości temperatury:

$$T(V)|_{V \equiv P} = T_L(P); \quad (P) \in L_q \quad (1.1)$$

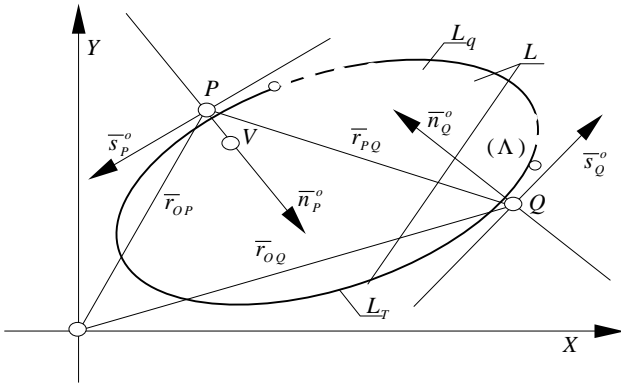
- z warunkiem brzegowym Neumanna z zadaną wartością normalnej do brzegu pochodnej temperatury, czyli

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: tjt@pb.edu.pl

wartością strumienia ciepłego:

$$-\lambda \frac{\partial T(V)}{\partial \bar{n}} \Big|_{V \equiv P} = q_L(P); \quad (V) \in L_q \quad (1.2)$$

gdzie  $\lambda$  jest współczynnikiem przewodzenia ciepła.



Rys. 1. Szkic do analizy zagadnień brzegowych w obszarze płaskim

Zakładając (rys. 1), że w obszarze płaskim ( $A$ ) ograniczonym zamkniętym brzegiem ( $L$ ) jest dane ustalone pole temperatury opisane równaniem różniczkowym (1) z warunkami brzegowymi (1.1, 1.2) przy założeniu, że na części ( $L_T$ ) linii brzegowej ( $L$ ) jest zadana funkcja  $T(P); (P) \in (L_T)$ , a na części ( $L_q$ ) linii brzegowej ( $L$ ) jest zadana funkcja  $q(P) = -\lambda \frac{\partial T(P)}{\partial n} \Big|_P$  ( $P) \in (L_T)$  to przy zastosowaniu

kryterium odchyłek ważonych (Majchrzak, 2001; Brebbia i in., 1984), dla tak sformułowanego zagadnienia brzegowego dla równania Laplace'a w obszarze płaskim, otrzymuje się równanie całkowite:

$$-\chi(P)T(P) + \int_{(L_q)} q(Q)K(P,Q)dL_q - \int_{(L_T)} q(Q)E(P,Q)dL_T \quad (2)$$

gdzie

$$K(P,Q) = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \left( \frac{1}{r_{PQ}} \right); \quad r_{PQ} = |P-Q| \quad (2.1)$$

$(P) \in (L), (Q) \in (L)$

$$E(P,Q) = \frac{\partial (K(P,Q))}{\partial n_P} = \frac{1}{2\pi} \frac{\cos(\bar{n}_P; r_{PQ})}{r_{PQ}} = \frac{1}{2\pi} \frac{(x_Q - x_P)n_x + (y_Q - y_P)n_y}{r_{PQ}} \quad (2.2)$$

$(P) \in (L), (Q) \in (L)$

Współczynnik  $\chi(P)$  jest zależny od krzywizny krzywej

( $L$ ) w punkcie ( $P$ ) i dla gładkiego fragmentu brzegu jest on równy  $\chi(P) = 1/2$ .

Po wyznaczeniu niewiadomych wartości temperatury  $T(P)$  i gęstości strumienia ciepła  $q(P)$  odpowiednio na częściach linii brzegowej ( $L_T$ ) i ( $L_q$ ) po rozwiązaniu równania całkowitego (2) temperaturę  $T(V)$  w dowolnym punkcie  $V \equiv \{x_V, y_V\}$   $V \in (A)$ , obszaru płaskiego ( $A$ ) wyznacza się ze związku:

$$T(V) = \int_{(L_T)} T(Q)E(V,Q)dL_T + \int_{(L_q)} q(Q)K(V,Q)dL_Q \quad (3)$$

$(Q) \in (L), (V) \in (A)$

Strumień ciepły jest równy:

$$\mathbf{q} = -\lambda \nabla T \quad (4)$$

Składowe strumienia ciepłego  $q_x(V); q_y(V)$  we wnętrzu rozpatrywanego obszaru można wyznaczyć ze związków:

$$\left. \begin{aligned} q_x(V) &= \int_{(L_T)} T(Q) \frac{\partial E(V,Q)}{\partial x} dL_T + \int_{(L_q)} q(Q) \frac{\partial K(V,Q)}{\partial x} dL_Q \\ q_y(V) &= \int_{(L_T)} T(Q) \frac{\partial E(V,Q)}{\partial y} dL_T + \int_{(L_q)} q(Q) \frac{\partial K(V,Q)}{\partial y} dL_Q \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

gdzie:

$$\frac{\partial K(V,Q)}{\partial x} = \frac{1}{2\pi\lambda} \frac{x_Q - x_V}{r_{VQ}}; \quad r_{VQ} = |V-Q| \quad (5.1a)$$

$$\frac{\partial K(V,Q)}{\partial y} = \frac{1}{2\pi\lambda} \frac{y_Q - y_V}{r_{VQ}} \quad (5.1b)$$

$$\frac{\partial E(V,Q)}{\partial x_V} = \frac{1}{2\pi\lambda^2} \left[ \left[ (y_Q - y_V)^2 - (x_Q - x_V)^2 \right] n_y + 2(x_Q - x_V)(y_Q - y_V)n_x \right] \quad (5.2a)$$

$$\frac{\partial E(V,Q)}{\partial y_V} = \frac{1}{2\pi\lambda^2} \left[ \left[ (y_Q - y_V)^2 - (x_Q - x_V)^2 \right] n_x + 2(x_Q - x_V)(y_Q - y_V)n_y \right] \quad (5.2b)$$

gdzie  $n_x, n_y$  są wersorami normalnej  $\mathbf{n}_Q$ .

Moduł gęstości strumienia ciepłego jest równy:

$$q(V) = \sqrt{(q_x(V))^2 + (q_y(V))^2} \quad (6)$$

Wprowadzając równanie linii prądowych przepływu ciepła-adiabat:

$$d\Xi = q_x(V)dy - q_y(V)dx \quad (7)$$

z warunku ortogonalności układów adiabat i izoterm pola temperatury:

$$\frac{\partial T(V)}{\partial x} = \frac{\partial \Xi(V)}{\partial y} ; \quad \frac{\partial T(V)}{\partial y} = -\frac{\partial \Xi(V)}{\partial x} \quad (8)$$

otrzymuje się równanie adiabat:

$$\Xi(V) = \int_{(L_T)} T(Q)W(V, Q)dL_T + \int_{(L_Q)} q(Q)S(V, Q)dL_Q \quad (9)$$

gdzie:

$$S(V, Q) = \frac{1}{2\pi\lambda} \arctan\left(\frac{x_Q - x_V}{y_Q - y_V}\right) \quad (9.1)$$

$$W(V, Q) = \frac{1}{2\pi r_{VQ}^2} \left[ (x_Q - x_V)n_y + (y_Q - y_V)n_x \right] \quad (9.2)$$

$$r_{VQ} = |V - Q| ; (V) \in (\Lambda), (Q) \in (L)$$

### 3. Ocena dokładności metody elementów brzegowych

W celu oceny dokładności metody brzegowych równań całkowych wykonano porównania rezultatów rozwiązania zagadnienia jednowymiarowego przenikania ciepła w ścianie zewnętrznej jednowarstwowej z betonu komórkowego o grubości  $d = 40$  cm i współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda = 0,075$  W/mK metodą brzegowych równań całkowych z wynikami obliczeń teoretycznych.

Na powierzchni zewnętrznej ściany przyjęto temperaturę  $T_e = -22^\circ\text{C}$ , a na powierzchni wewnętrznej  $T_i = 20^\circ\text{C}$ .

Rozkład temperatury w ścianie jest opisany zależnością liniową (Staniszewski, 1962):

$$T_{TH}(x) = T_e + (T_i - T_e) \frac{x}{d} \quad (10)$$

W przypadku metody brzegowych równań całkowych wykonano podział na 40 i 80 elementów brzegowych.

Błąd rozwiązania MEB dla wybranych punktów zestawiono w tabeli 1.

Względne błędy obliczeń poszczególnych temperatur do przedstawionych niżej zestawień graficznych i tabelarycznych wyznaczono z zależności:

$$\Delta T_{MEB} = \left| \frac{T_{TH} - T_{MEB}}{T_{TEO}} \right| * 100\% \quad (11)$$

Tab. 1. Jednowymiarowe przenikanie ciepła w ścianie zewnętrznej jednowarstwowej - błąd rozwiązania BEM

Współrzędne węzłów		Rozwiązanie teoretyczne	Rozwiązanie num. MEB	Błąd metody MEB
		40 el.		40 el.
X	Y	$T_{TH}$	$T_{MEB}$	$\Delta T_{MEB}$
[cm]	[cm]	[°C]	[°C]	[%]
0,00E+00	0,00E+00	-2,2000000E+01	-2,1986000E+01	6,3636364E-02
0,00E+00	1,00E+01	-1,1500000E+01	-1,1526000E+01	2,2608696E-01
0,00E+00	2,00E+01	-1,0000000E+00	-9,9920000E-01	8,0000000E-02
0,00E+00	3,00E+01	9,5000000E+00	9,5251000E+00	2,6421053E-01
0,00E+00	4,00E+01	2,0000000E+01	1,9986000E+01	7,0000000E-02
Współrzędne węzłów		Rozwiązanie teoretyczne	Rozwiązanie num. MEB	Błąd metody MEB
		80 el.		40 el.
X	Y	$T_{TH}$	$T_{MEB}$	$\Delta T_{MEB}$
[cm]	[cm]	[°C]	[°C]	[%]
0,00E+00	0,00E+00	-2,2000000E+01	-2,2004000E+01	1,8181818E-02
0,00E+00	1,00E+01	-1,1500000E+01	-1,1502000E+01	1,7391304E-02
0,00E+00	2,00E+01	-1,0000000E+00	-9,9999000E-01	1,0000000E-03
0,00E+00	3,00E+01	9,5000000E+00	9,5017000E+00	1,7894737E-02
0,00E+00	4,00E+01	2,0000000E+01	2,0004000E+01	2,0000000E-02

Błąd metody MEB w przypadku brzegu składającego się z 40 elementów nie przekracza 2,64210E-01 %, natomiast w przypadku brzegu złożonego z 80 elementów nie przekracza 2,00000E-02 %. Wraz ze wzrostem liczby elementów brzegowych zwiększa się dokładność metody.

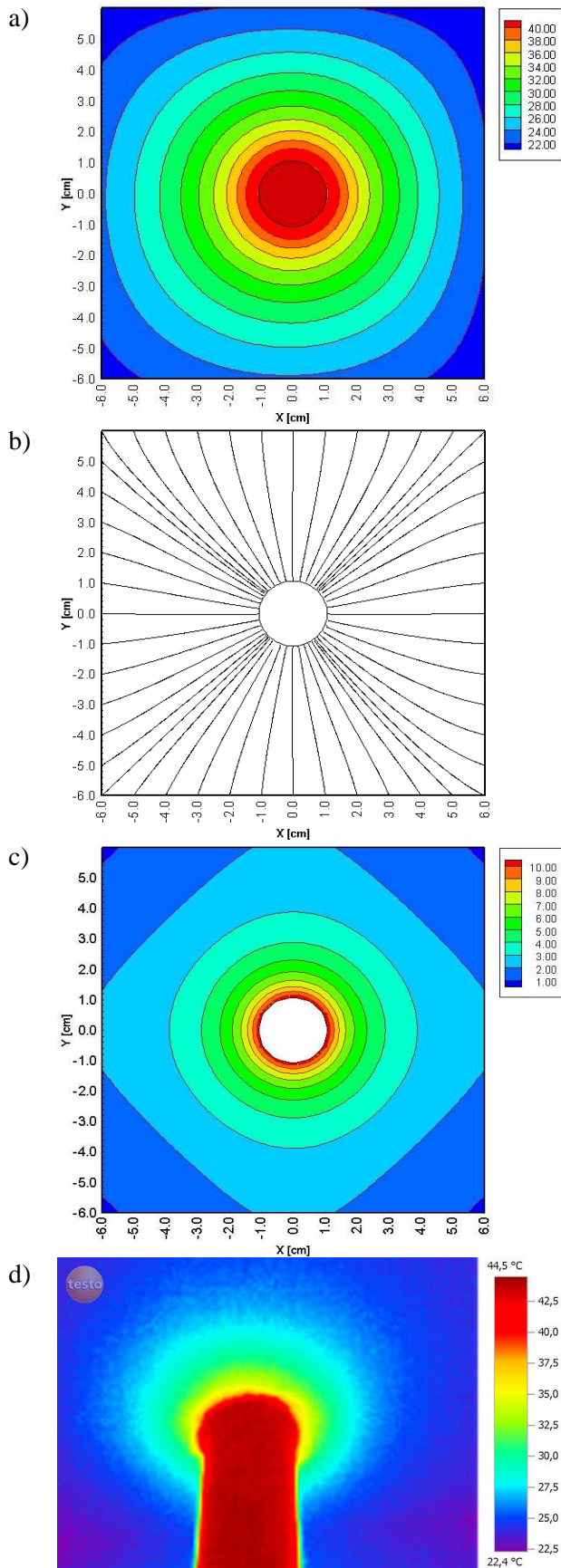
Niewielkie różnice pomiędzy rozwiązaniem analitycznym i MEB w odniesieniu do wyznaczanego rozkładu temperatury wskazują, że proponowane algorytmy obliczeniowe metody brzegowych równań całkowych charakteryzują się dużą dokładnością obliczeń.

### 4. Obliczenia pól temperatury i przepływu ciepła w przegrodach budowlanych z instalacjami c.o. metodą elementów brzegowych

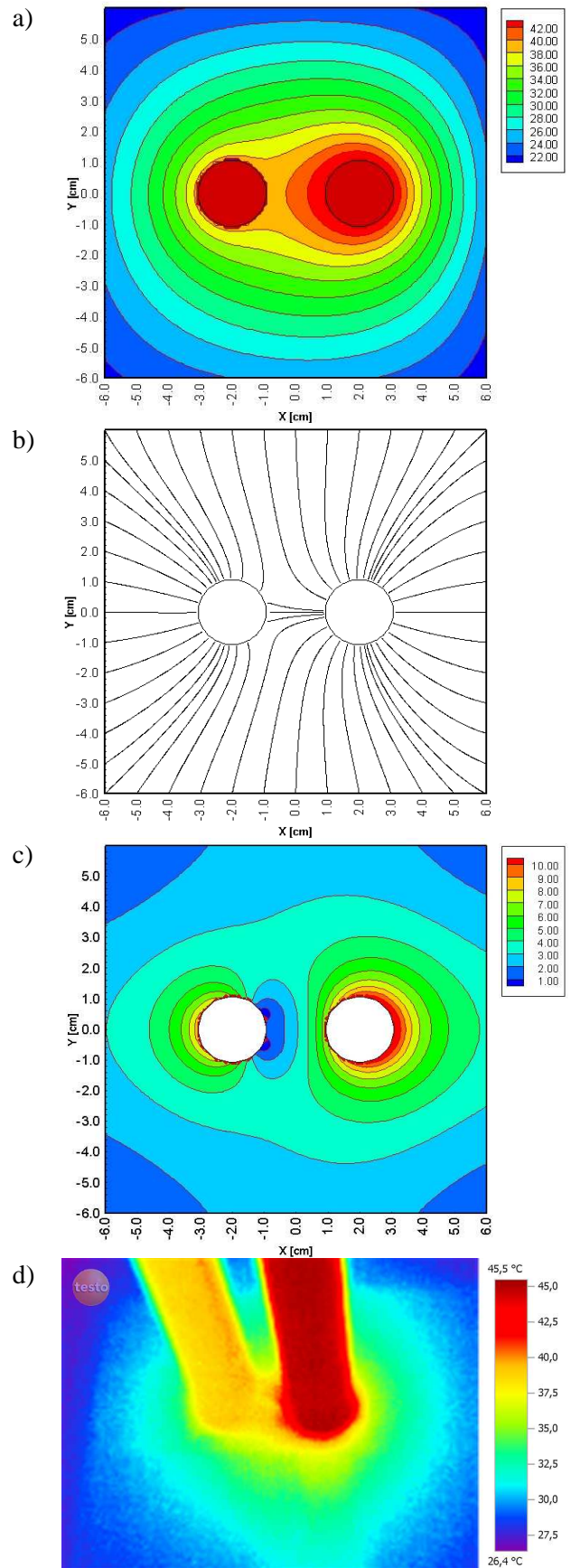
Niżej przedstawiono rezultaty obliczeń pól temperatury i linii przepływu ciepła w przegrodach, w których znajdują instalacje centralnego ogrzewania oraz ciepłej wody użytkowej. Obliczenia zostały przeprowadzone dla temperatury wewnątrz pomieszczeń równej  $19^\circ\text{C}$ .

Pierwszy przypadek dotyczy rozkładu temperatury w stropie żelbetowym o współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda = 1,70$  W/mK przez który przechodzi stalowy pionowy przewód centralnego ogrzewania wodnego jednorurowego bez izolacji termicznej o średnicy zewnętrznej 21,3 mm. przy temperaturze na ścianie zewnętrznej przewodu  $44^\circ\text{C}$ .

Rysunek 2a przedstawia izotermy wyznaczone metodą elementów brzegowych, na rysunku 2b wykreślono adiabatę, natomiast na rysunku 2c wyznaczono moduł gęstości strumienia ciepła. W celu sprawdzenia trendów izoterm, wykonano zdjęcie termowizyjne stropu w miejscu gdzie pion przechodzi w przez strop (rys. 2d).

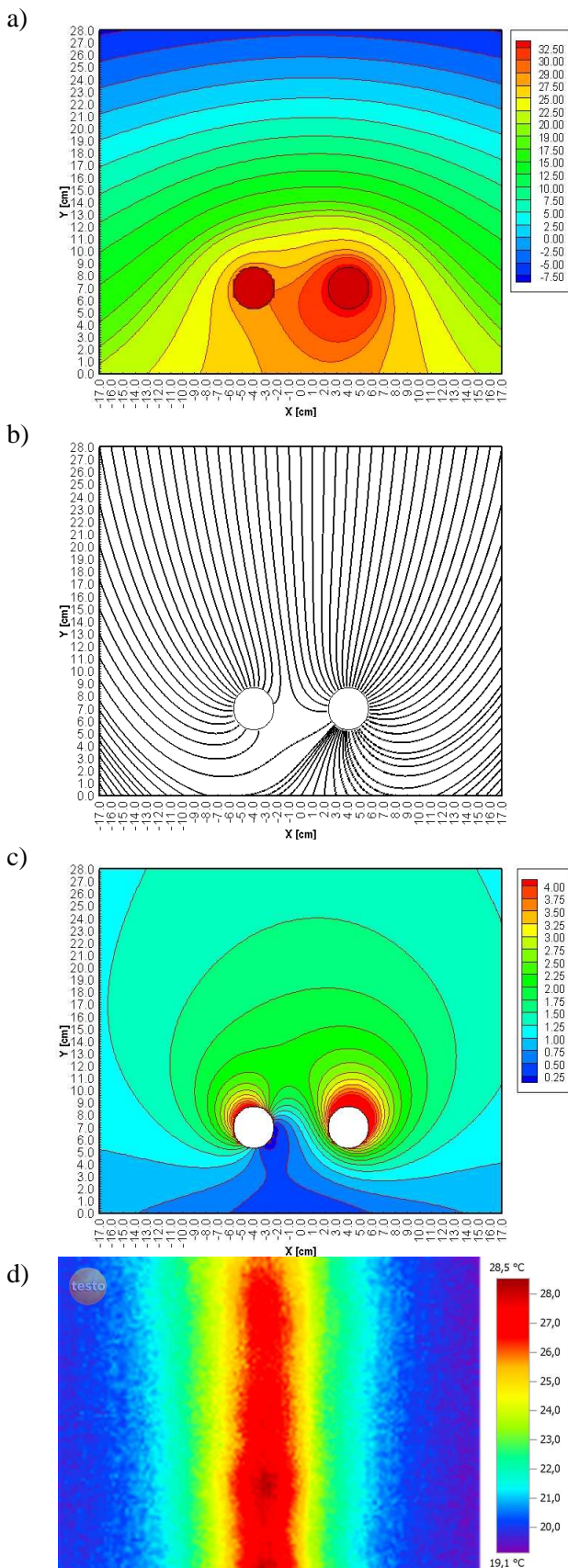


Rys. 2. Przenikanie ciepła przez strop – pion instalacji centralnego ogrzewania wodnego jednorurowego przechodzący przez strop: a) izotermy, b) adiabaty, c) moduł gęstości strumienia ciepła, d) termogram powierzchni stropu



Rys. 3. Przenikanie ciepła przez strop – pion instalacji centralnego ogrzewania wodnego dwururowego przechodzący przez strop: a) izotermy, b) adiabaty, c) moduł gęstości strumienia ciepła, d) termogram powierzchni stropu





Rys. 4. Przenikanie ciepła przez ścianę – pion centralnego ogrzewania dwururowego prowadzony w bruździe: a) izotermy, b) adiabaty, c) moduł gęstości strumienia ciepła, d) termogram powierzchni wewnętrznej ściany zewnętrznej w miejscu położenia instalacji c.o. w bruździe.

W drugim przypadku wyznaczono rozkład temperatury w stropie żelbetowym z pionem ogrzewania wodnego dwururowego wykonanego z przewodów stalowych o średnicach wewnętrznych 21,3 mm, w którym temperatura powierzchni przewodu zasilającego wynosi 45°C, natomiast temperatura powierzchni przewodu powrotnego wynosi 39°C. Na rysunkach 3a-c wykreślono graficzne rezultaty obliczeń izoterm, adiabat oraz modułu gęstości strumienia ciepła metodą brzegowych równań całkowitych. Rysunek 3d przedstawia termogram rozkładu temperatury na powierzchni stropu. Adiabaty na rysunku 3b wskazują na wymianę ciepła między przewodem zasilającym i przewodem powrotnym instalacji centralnego ogrzewania.

Niżej przedstawiono rozwiązanie pola temperatury w przekroju poprzecznym ściany zewnętrznej murowanej z gazobetonu ( $\lambda = 0.35 \text{ W/mK}$ ) o grubości 24 cm obustronnie otynkowanej tynkiem cementowo-wapiennym ( $d = 0.02 \text{ m}$ ,  $\lambda = 0.35 \text{ W/mK}$ ), w której znajduje się pion centralnego ogrzewania dwururowego prowadzony w bruździe. Przewody c.o. o średnicach zewnętrznych 21,3 mm, mają izolację z pianki polietylenowej o grubości 6 mm laminowanej z zewnątrz folią polietylenową. Zmierzona temperatura na powierzchni izolacji wynosi 34°C dla przewodu zasilającego oraz 29°C dla powrotu, natomiast temperatura zewnętrzna wyniosła -11°C.

Rysunki 4a-c zawierają graficzne rezultaty obliczeń metodą brzegowych równań całkowitych izoterm, adiabat oraz modułu gęstości strumienia ciepła. Rysunek 4d przedstawia termogram ściany wewnątrz budynku w miejscu, gdzie prowadzony jest pion w bruździe. Trendy izoterm przepływu ciepła otrzymane kamerą termowizyjną (rys. 4d) są zbliżone z wynikami otrzymanymi metodą brzegowych równań całkowitych.

## 5. Podsumowanie

Przedstawione w pracy przykłady obliczeniowe wskazują na znaczny wpływ temperatury instalacji centralnego ogrzewania na temperaturę wewnątrz przegrody oraz pokazują, jak ważne jest prawidłowe wykonanie izolacji termicznej przewodów c.o. przechodzących przez przegrody budowlane. W przypadku instalacji dwururowych również następuje wymiana ciepła między przewodem zasilającym i przewodem powrotnym. Znajomość pól temperatur, strumieni ciepła w warunkach pracy instalacji centralnego ogrzewania pozwala na określenie wpływu tych instalacji na bilans cieplny budynku.

Zaprojektowany algorytm pozwala rozwiązywać zagadnienie przewodnictwa cieplnego o bardzo złożonej geometrii. Zaletą MEB jest możliwość rozwiązywania zagadnień dla obszarów półskończonych i nieskończonych. Metoda elementów brzegowych stanowi alternatywę, wobec najczęściej stosowanych metod siatkowych, tj. metody elementów skończonych oraz metody różnic skończonych w zagadnieniach inżynierskich. Główną zaletą metody brzegowych równań całkowitych jest pominięcie budowania pracobłonných

siatek numerycznych, które są stosowane w metodach obszarowych. Duża dokładność MEB świadczy o tym, że jest to metoda bardzo atrakcyjna i trwają prace nad jej doskonaleniem.

### Literatura

- Brebbia C.A., Telles J.F.C., Wrobel L.C. (1984). Boundary Element Techniques. Theory and Applications in Engineering. *Springer-Verlag*, NY.
- Majchrzak E. (2001). Metoda elementów brzegowych w przepływie ciepła. *Wyd. Pol. Częstochowskiej*.
- Mitchell A.R., Griffiths D.F. (1980). The finite difference method in partial differential equations. *Wiley-Interscience*, Chichester, Sussex, England and New York, Wiley-Interscience.
- Staniszewski B. (1962). Termodynamika. *PWN*.
- Zienkiewicz O.C., Taylor R.L (2000). The Finite Element Method. Daniel D.E. (Ed.). *Butterworth-Heinemann*, NY.

### MODELLING OF TRANSIENT HEAT CONDUCTION IN WALLS WITH HEATING INSTALLATIONS BY MEANS OF THE BOUNDARY INTEGRAL EQUATIONS METHOD

**Abstract:** The paper aim was to present a solution concerning heat conduction problem using boundary element method in walls with central heating. The boundary integral equation method is a numerical method for solving partial differential equations encountered in mathematical physics and engineering. Only the boundary distributions of the unknown functions or one of its derivatives were solved in this method. The boundary integral equation method is the reduction of the dimension of the solution space with respect to physical space by one unit. The boundary element method is an alternative to the finite difference method and the finite element method. Numerical solutions were compared with the results of the theoretical solutions. Examples of heat calculations were presented.

Pracę wykonano w ramach pracy statutowej S/WBiŚ/23/08  
Praca współfinansowana ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego  
nr umowy WIEM/POKL/MD/II/2010/6