

## Analiza energetyczna i ekologiczna zastosowania wybranych systemów ogrzewania domu jednorodzinnego

Ewelina Marzec<sup>1</sup>  
*Instytut Techniki Ciepłej, Politechnika Śląska*

**Słowa kluczowe:** zapotrzebowanie ciepłe budynku, ogrzewanie domu jednorodzinnego, zewnętrzne koszty środowiskowe, emisje zanieczyszczeń

### Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki analizy energetycznej dla domu jednorodzinnego. Zbadano wpływ zmiany lokalizacji na wielkość obciążenia cieplnego poddając analizie wspomniany wcześniej dom, zlokalizowany w różnych rejonach Polski. Łącznie zbadano sześć przypadków, dbając o to, aby wybrane lokalizacje znajdowały się w różnych strefach klimatycznych Polski. Na podstawie wielkości obciążenia cieplnego wybrano dwa skrajne przypadki, dla których dokonano dalszej analizy polegającej na określeniu rocznego zapotrzebowania cieplnego na cele grzewcze i przygotowania ciepłej wody, określeniu rocznego zużycia paliwa w zależności od rozpatrywanej technologii spalania tzn. technologia oparta o węgiel kamienny, olej opałowy lub gaz ziemny oraz kosztów zakupu paliwa. Kolejnym etapem pracy było określenie rocznych udziałów emisji poszczególnych związków szkodliwych m.in. CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i metali ciężkich powstających ze spalania w instalacji indywidualnej paliwa niezbędnego do zaspokojenia zapotrzebowania cieplnego dla omawianego domu. Zbadano również, jaki wpływ na ludzkie zdrowie oraz roślinność ma zaspokojenie potrzeb energetycznych tego budynku z zakładu elektrociepłowni. W celu oszacowania negatywnych efektów emisji zanieczyszczeń gazowych posłużono się programem EcoSense Web. Wartości wyrządzonych szkód przedstawiono w postaci monetarnej, jako koszty pokrycia lub naprawy zaistniałych szkód. Analizę zewnętrznych kosztów środowiskowych wykonano dla wybranych lokalizacji w Polsce, natomiast wyniki przedstawiono w dwóch wariantach tylko dla Polski oraz łącznie dla grupy krajów europejskich.

<sup>1</sup> Rozdział przygotowano podczas pracy nad projektem dyplomowym inżynierskim wykonywanym przez autora w Instytucie Techniki Ciepłej na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej, pod opieką dr inż. Lucyny Czarnowskiej.

## 1 Wprowadzenie

Zanieczyszczenie powietrza jest problemem zarówno środowiskowym jak i społecznym. Wywiera ono wiele negatywnych skutków na ludzkie zdrowie, ekosystemy, środowisko zurbanizowane i klimat. Zasadniczo można wymienić cztery podstawowe rodzaje zanieczyszczeń powietrza: zanieczyszczenia przemysłowe, emisje z kotłowni lokalnych i palenisk indywidualnych, emisje komunikacyjne oraz zanieczyszczenia napływowe z sąsiednich obszarów [1]. Wbrew powszechnemu przekonaniu, udział przemysłu w zanieczyszczeniu powietrza jest niewielki i to nawet wtedy, gdy do emisji z procesów produkcyjnych doliczymy zanieczyszczenia wytwarzane przez energetykę zawodową (produkcję energii elektrycznej i ciepłej w elektrowniach i elektrociepłowniach). Rygorystyczne przepisy, a także nowoczesne metody produkcji i zaawansowane instalacje oczyszczania spalin sprawiają, że udział tych sektorów w toksycznych zanieczyszczeniach powietrza (emisja pyłu) to tylko 2% [2].

Głównym źródłem zanieczyszczeń w Polsce jest sektor komunalno-bytowy, czyli instalacje grzewcze służące do ogrzewania domów jednorodzinnych i starych kamienic [2]. Wynika to przede wszystkim z braku odpowiednich norm emisyjnych dla domowych kotłów węglowych, które w Polsce są najpopularniejsze. Kotły takie, niejednokrotnie charakteryzują się niską sprawnością, a wykorzystywane paliwa gorszą jakością, dodatkowo proces spalania przeprowadzany jest nieefektywnie.

Zwiększenie emisji występuje w dniach, w których następuje obniżenie temperatury i ciśnienia powietrza. Wiąże się to ze zwiększeniem emisji powierzchniowej, tzw. niskiej emisji, wynikającej ze wzrostu zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków. Niska emisja jest zjawiskiem szczególnie szkodliwym, ze względu na wysokość, na jakiej rozprzestrzeniają się szkodliwe substancje (zwykle emisja na wysokości 10-40 m). Wszystko to prowadzi do zwiększenia emisji pyłu, benzo(a)pirenów, dwutlenku węgla, tlenków azotu, siarki oraz metali ciężkich, a co za tym idzie pogorszenia stanu powietrza. Dlatego, też w ostatnich latach dużą uwagę poświęca się kwestii ochrony środowiska naturalnego oraz polepszania jego stanu. Jest to jeden z ważniejszych problemów poruszanych na arenie międzynarodowej.

W ramach walki z problemem wysokich stężeń zanieczyszczeń w powietrzu wprowadza się ograniczenia dotyczące emisji szkodliwych substancji do otoczenia dla urządzeń grzewczych [3]. Należy jednak zdawać sobie sprawę z tego, że nie tylko sprawność urządzenia grzewczego ale także jakość paliwa i sposób przeprowadzania procesu spalania wpływają na wielkość emisji szkodliwych substancji do atmosfery. Emisje powstają w wyniku spalania paliwa potrzebnego do zaspokojenia zapotrzebowania na ciepło (do celów grzewczych i przygotowania ciepłej wody), która w głównej mierze zależy od strat ciepła do otoczenia. Wykonanie analizy energetycznej budynku, czy to istniejącego, czy planowanego dostarcza informacji na temat całkowitego zapotrzebowania cieplnego, jak również umożliwia dobranie najbardziej optymalnych parametrów materiałów budowlanych do modernizacji/budowy budynku.

## 2 Analiza energetyczna

W nowoczesnym budownictwie dominujące stają się kwestie zapewnienia jak najniższego zapotrzebowania budynków na moc cieplną potrzebną do ogrzewania i na cele podgrzania ciepłej wody użytkowej. Aby w przyszłości osiągać jak najniższe zapotrzebowanie ciepłe należy już na etapie wykonywania projektu dokonać szczegółowej analizy energetycznej budynku. Ułatwia to dostrzeżenie słabych punktów technologii budowlanej i pozwala na dokonanie niezbędnych korekt przed przystąpieniem do budowy. Dotyczy to również budynków już istniejących - poddawanych modernizacji. Analiza energetyczna jest podstawowym narzędziem służącym do oceny projektowanego obciążenia cieplnego budynku oraz wpływu poszczególnych elementów bilansu energii na wielkość końcowego obciążenia cieplnego.

### 2.1 Przedmiot analizy i podstawowe założenia

Przedmiotem analizy był dom jednorodzinny zaprojektowany przez firmę architektoniczną HORYZONT [4]. Jest to niewielki parterowy dom, niepodpiwniczony z garażem oraz niezagospodarowanym poddaszem. Powierzchnia użytkowa domu wynosi 93,8 m<sup>2</sup>. W założeniach projektowych jest to nowo powstający budynek, zamieszkały przez rodzinę czteroosobową i budowany w sposób tradycyjny. Współczynniki przenikania ciepła dla okien, drzwi, bramy garażowej przyjęto zgodnie z [5], natomiast zgodnie z wartościami katalogowymi [6,7,8] przyjęto współczynniki przewodzenia ciepła dla materiałów budowlanych. Współczynniki przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych i wewnętrznych określono zgodnie z normą PN-EN ISO 6946 [9] zakładając wcześniej, że ściana zewnętrzna składa się z bloczka betonowego 24 cm, styropianu oraz tynku wewnętrznego i zewnętrznego, a ściana wewnętrzna z bloczka betonowego 12 cm, tynku zewnętrznego i wewnętrznego. W budynku zastosowano najprostszy sposób wentylacji poprzez okresowe wietrzenie pomieszczeń oraz wentylację naturalną polegającą na wymianie powietrza w pomieszczeniach na zasadzie ruchu powietrza spowodowanego różnicą temperatury i ciśnienia między przestrzenią wentylowaną a ujściem kanału wentylacyjnego.

Odpowiednia ilość ciepła pozwala na utrzymanie w pomieszczeniach pożądaných temperatur. Jest to ważne ze względu na komfort cieplny, jaki powinna odczuwać osoba przebywająca w danym pomieszczeniu. Komfortem cieplnym określamy stan, w którym człowiek nie odczuwa ani ciepła ani chłodu. Mając na uwadze to zjawisko określono temperatury wewnątrz poszczególnych pomieszczeń domu według [10]. Wynoszą one: dla pokoi, kuchni, holu 20°C, dla łazienki 25°C, dla garażu 12°C.

Obliczenia zapotrzebowania cieplnego wykonano dla wszystkich stref klimatycznych Polski – strefa I dom zlokalizowany w Koszalinie, strefa II dom zlokalizowany w Kaliszu, strefa III (ze względu na rozległość strefy) dom zlokalizowany w Katowicach i w Warszawie, strefa IV dom zlokalizowany w Siedlcach, strefa V dom zlokalizowany na Suwałkach. Poszczególne strefy różnią się dwoma charakterystycznymi temperaturami oraz czasem trwania sezonu grzewczego, co w późniejszych obliczeniach wpływać będzie nieznacznie na wartości rocznego zapotrzebowania cieplnego. Charakterystyczne temperatury: projektową temperaturę zewnętrzną oraz średnią roczną temperaturę zewnętrzną w zależności od strefy przyjęto zgodnie z [10]. Wartości tych temperatur przedstawiono w tabeli 1. Niezbędne dane

meteorologiczne zawierające roczny rozkład temperaturowy dla stacji w poszczególnych miejscowościach pobrano ze strony internetowej Ministerstwa Infrastruktury i Budownictwa [11].

Tabela 1. Projektowa temperatura zewnętrzna i średnia roczna temperatura zewnętrzna

Strefa klimatyczna	Projektowa temperatura zewnętrzna, °C	Średnia roczna temperatura zewnętrzna, °C
I	-16	7,7
II	-18	7,9
III	-20	7,6
IV	-22	6,9
V	-24	5,5

Od czerwca 2006 roku do obliczania projektowego obciążenia cieplnego obowiązuje norma PN-EN ISO 12831: 2006. Norma ta zawiera metody obliczania strat ciepła i określa sposób obliczenia zapotrzebowania na moc cieplną dla typowych warunków projektowych. Umożliwia ona określenie obciążenie cieplnego dla poszczególnych pomieszczeń w celu doboru grzejników oraz dla całego budynku lub jego części w celu doboru źródła ciepła [10]. Norma ta została użyta w późniejszych obliczeniach. Oprócz wspomnianej wcześniej normy w Polsce obowiązuje również norma PN-EN ISO 13790: 2009 określająca energetyczne właściwości użytkowe budynków i stanowiąca podstawę sporządzania audytu energetycznego. Norma zawiera metody obliczenia rocznego zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia budynków mieszkalnych i niemieszkalnych, lub ich części [12]. Uwzględnia ona przenoszenie ciepła przez przenikanie i wentylację oraz wewnętrzne zyski ciepła i zyski ciepła od nasłonecznienia w bilansie cieplnym budynku. Jednakże w celu uproszczenia obliczeń, do określenia rocznego zapotrzebowania cieplnego wykorzystano wartość projektowego obciążenia cieplnego, liczonego według [10].

## 2.2 Określenie potrzeb energetycznych budynku

Aby określić całkowite potrzeby cieplne budynku obliczono zapotrzebowanie na moc cieplną potrzebną do ogrzania budynku zgodnie z [10] i zapotrzebowanie na moc cieplną potrzebną do przygotowania ciepłej wody użytkowej zgodnie z [13]. Ze względu na złożoność obliczeń w pracy zaprezentowano jedynie podstawowe zależności, z których korzystano podczas analizy.

Zapotrzebowanie na moc cieplną niezbędną do ogrzania pomieszczeń (1) składa się z sumy strat ciepła przez przenikanie wszystkich przestrzeni ogrzewanych z wyłączeniem ciepła wymienianego wewnątrz budynku, wentylacyjnej straty ciepła wszystkich przestrzeni ogrzewanych z wyłączeniem ciepła wymienianego wewnątrz budynku i sumy nadwyżek mocy cieplnej wszystkich przestrzeni ogrzewanych wymaganych do skompensowania skutków osłabienia ogrzewania:

$$\phi_{HL} = \sum \phi_{T,i} + \sum \phi_{V,i} + \sum \phi_{RH,i} \quad (1)$$

gdzie:  $\phi_{T,i}$  - projektowa strata ciepła przestrzeni ogrzewanej (i) przez przenikanie, W;  $\phi_{V,i}$  - projektowa wentylacyjna strata ciepła przestrzeni ogrzewanej (i), W;  $\phi_{RH,i}$  - nadwyżka mocy cieplnej do skompensowania skutków osłabienia ogrzewania strefy ogrzewanej (i), W;

Projektowa strata ciepła przestrzeni ogrzewanej przez przenikanie, zależy od współczynnika strat ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej do otoczenia przez obudowę budynku, współczynnika strat ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej do otoczenia przez przestrzeń nieogrzewaną, współczynnika strat ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej do gruntu w warunkach ustalonych, współczynnika strat ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej do sąsiedniej przestrzeni ogrzewanej o znacząco różnej temperaturze, projektowej temperatury wewnętrznej przestrzeni ogrzewanej i projektowej temperatury zewnętrznej.

Projektowa wentylacyjna strata ciepła przestrzeni ogrzewanej zależy od współczynnika projektowej wentylacyjnej straty ciepła, projektowej temperatury wewnętrznej przestrzeni ogrzewanej i projektowej temperatury zewnętrznej.

Nadwyżka mocy cieplnej zależy od powierzchni podłogi przestrzeni ogrzewanej oraz współczynnika korekcyjnego zależnego od czasu nagrzewania i założonego obniżania temperatury wewnętrznej podczas osłabienia ogrzewania.

Zapotrzebowanie na moc cieplną potrzebną do przygotowania ciepłej wody użytkowej (2) stanowi iloczyn maksymalnego godzinowego przepływu ciepłej wody, ciepła właściwego wody oraz obliczeniowej różnicy temperatury wody ciepłej i zimnej oraz współczynnika zależnego od rodzaju węzła cieplnego:

$$\phi_{cw} = \frac{l}{3600} \dot{G}_{cw} c_p \Delta t_{cw} \alpha \quad (2)$$

gdzie:  $\dot{G}_{cw}$  – maksymalny godzinowy przepływ ciepłej wody, kg/h;  $c_p$  – ciepło właściwe wody, kJ/kgK;  $\Delta t_{cw}$  – obliczeniowa różnica temperatury wody ciepłej i zimnej, K;  $\alpha$  – współczynnik zależny od rodzaju węzła cieplnego, -;

Zgodnie z powyższym dokonano obliczeń dla każdej rozpatrywanej lokalizacji, wyniki przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie wartości mocy cieplnych dla różnych stref klimatycznych

Moc cieplna, W	Strefa klimatyczna				
	I	II	III	IV	V
Strata ciepła przez przenikania	5 379	5 591	5 802	6 014	6 225
Wentylacyjna strata ciepła	6 895	7 293	7 691	8 089	8 488
Strata ciepła przez mostki cieplne	1 105	1 168	1 231	1 295	1 358
Strata ciepła do gruntu	452	443	457	489	554
Moc cieplna na cele c.w.u.	955	955	955	955	955
Całkowite zapotrzebowanie cieplne (z nadwyżką mocy cieplnej)	15 681	16 345	17 031	17 737	18 474

Wielkości zapotrzebowania na moc cieplną dla każdej strefy klimatycznej mają odmienne wartości. Wynika to z różnej projektowej temperatury zewnętrznej dla każdej lokalizacji. Ze spadkiem tej temperatury następuje wzrost całkowitego zapotrzebowania cieplnego. Na podstawie otrzymanych wyników widoczny jest znaczny wpływ straty wentylacyjnej, straty ciepła przez przenikania i straty ciepła przez mostki cieplne na końcową wartość obciążenia cieplnego. Wartość straty wentylacyjnej zależy od typu zastosowanej instalacji wentylacyjnej.

Wyróżniamy wentylację mechaniczną i naturalną, w przypadku tej drugiej wartości strat są przeważnie wyższe, na co wpływa brak możliwości regulacji wentylacji. Stratę tą można obniżyć poprzez zmniejszenie nie szczelności okien i drzwi (infiltracja), prawidłowe zaizolowanie kanałów wentylacyjnych lub zastosowanie wentylacji mechanicznej. Na wartość straty ciepła przez przenikanie wpływają współczynniki przenikania ciepła poszczególnych materiałów budowlanych, okien, drzwi i innych elementów tworzących przegrody. Należy, więc w sposób optymalny dobierać produkty – unikając w ten sposób zbędnych strat ciepła, jak również pamiętać o możliwości termoizolacji budynku. Ocieplenie budynku zmniejsza jego zapotrzebowanie ciepłe o około 40%.

Mostki termiczne są elementami przegród budowlanych o znacznie wyższym niż sąsiadujące z nim elementy współczynniki przewodzenia ciepła, w miejscu tym następuje wzmożona, niekontrolowana utrata ciepła. Jest ona wprost proporcjonalna do wielkości mostka termicznego. W obszarze mostka termicznego temperatura powierzchni obniża się często do tego stopnia, że przekroczona zostaje temperatura punktu rosy skraplania się pary wodnej. Zjawisko to oprócz zwiększenia zapotrzebowania na ciepło niesie za sobą duże ryzyko zawilgocenia przegrody. Mostki cieplne najczęściej dotyczą takich miejsc w budynku jak kalenica, zabudowa okien, strop, cokół czy fundament. W celu zlikwidowania mostków cieplnych należy zachować ciągłość izolacji, nie dopuszczać do spękań na elewacji budynku, stolarkę okienną i drzwiową montować w warstwie izolacji, tak by nachodziła ona na ramy oraz zadbać o odpowiednią izolację ściennie-podłogową.

Na podstawie danych meteorologicznych ze stacji w rozpatrywanych lokalizacjach oraz zgodnie z [14] obliczono roczne zapotrzebowanie na ciepło dla analizowanego domu jednorodzinnego. Zbiór rocznych wartości temperatur pochodzących z danych klimatycznych został podzielony na przedziały temperaturowe, dla których obliczono czas występowania danego przedziału temperaturowego, dzięki czemu możliwe było określenie czasu trwania sezonu grzewczego w poszczególnych lokalizacjach jak również obliczenie rocznego zapotrzebowania na ciepło.

Roczne zapotrzebowanie na ciepło zostało obliczone, jako iloczyn liczby godzin występowania danej temperatury oraz wartości łącznego, bieżącego zapotrzebowania cieplnego (na cele grzewcze i przygotowania ciepłej wody) występującego dla danej temperatury. Zapotrzebowanie na ciepło do celów ogrzewczych występuje jedynie w sezonie grzewczym z kolei zapotrzebowanie ciepłe na cele przygotowania ciepłej wody występuje całorocznie - przy uwzględnieniu przejścia od wartości zimowego zapotrzebowania ciepła do wartości letniego zapotrzebowania ciepła, które następuje w momencie zakończenia sezonu grzewczego. Za graniczną temperaturę, dla której zostaje włączone lub wyłączone centralne ogrzewanie ustalono temperaturę  $+12^{\circ}\text{C}$ .

Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 3. Na ich podstawie możemy stwierdzić, że roczne zapotrzebowanie na ciepło dla każdej strefy klimatycznej w Polsce waha się w obrębie jednego poziomu. Rozbieżności wynikają głównie z długości sezonu grzewczego i rocznego rozłożenia temperatur w danej strefie klimatycznej. Z najniższym rocznym zapotrzebowaniem na ciepło mamy do czynienia w strefie I w której w przeciwieństwie do pozostałych stref, zimy są łagodne, temperatura powietrza rzadko spada poniżej  $-12^{\circ}\text{C}$ , głównie waha się w okolicy  $1^{\circ}\text{C}$ , tym samym zapotrzebowanie na ciepło jest niższe. Najniższa projektowa

temperatura zewnętrzna oraz najdłuższy sezon grzewczy w strefie V sprawiają, że na Suwałkach występuje najwyższe roczne zapotrzebowanie ciepłe.

Tabela 3. Zestawienie wartości rocznego zapotrzebowania ciepłego

Strefa	Miejscowość	Czas trwania sezonu grzewczego, h	Roczne zapotrzebowanie na ciepło, GJ
I	Koszalin	5 910	161,16
II	Kalisz	5 655	163,97
III	Katowice	5 596	161,46
III	Warszawa	5 831	161,81
IV	Siedlce	5 804	168,35
V	Suwałki	5 922	178,19

Ze względu na nieznaczne rozbieżności w otrzymanych wynikach, dalszej analizy dokonano dla dwóch skrajnych przypadków, tzn. dla domu jednorodzinne zlokalizowanego w Koszalinie (strefa I) oraz domu zlokalizowanego na Suwałkach (strefa V).

### 2.3 Wybrane systemy ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej – określenie rocznej wartości zużycia paliwa i kosztów zakupu

Jako źródła ciepła grzewczego oraz ciepłej wody użytkowej dla analizowanego domu jednorodzinne przyjęto w zależności od badanego przypadku: kocioł na węgiel kamienny KSW Alfa firmy PEREKO, olejowy kocioł kondensacyjny VITOLADENS 300-C oraz kocioł kondensacyjny VITODENS 222-W firmy Viessmann. Analizę przeprowadzono dla trzech rodzajów paliw: węgla kamiennego, oleju opałowego i gazu ziemnego. Wartości opałowe paliw oraz ceny zakupu założono zgodnie z informacjami na stronach dystrybutorów, odpowiednio JSW SA [15], ORLEN [16], PGNiG [17]. Sprawności kotłów odczytano z danych technicznych dostępnych na stronach producentów (Viessmann [18] oraz PEREKO [19]).

Roczne zapotrzebowanie na paliwo (3) w głównej mierze zależy od wielkości wartości opałowej oraz sprawności kotła. Im większe wielkości wartości opałowej paliwa i sprawności kotła tym mniejsze zapotrzebowanie na paliwo. Im niższe roczne zapotrzebowanie ciepłe tym niższe zapotrzebowanie na paliwo w ciągu roku.

$$E_R = \frac{Q_R}{W_d \eta_k} \quad (3)$$

gdzie:  $Q_R$  – roczne zapotrzebowanie ciepłe, MJ;  $W_d$  - wartość opałowa paliwa, MJ/kg lub MJ/m<sup>3</sup>;  $\eta_k$  – sprawność kotła, -;

Koszty zakupu paliwa obliczone zostały na podstawie rocznego zużycia paliwa, jako iloczyn wartości zużycia paliwa w ciągu roku i ceny paliwa założonej zgodnie z wcześniejszymi informacjami.

Wszystkie parametry niezbędne do obliczeń przedstawiono w tabeli 4. Natomiast otrzymane wyniki zawarto w tabeli 5.

Tabela 4. Parametry paliw i kotłów

Rodzaj paliwa	Wartość opałowa, MJ/kg lub MJ/m <sup>3</sup>	Cena paliwa, zł/t lub zł/m <sup>3</sup> lub gr/kWh	Sprawność kotła na dane paliwo, -
Węgiel kamienny	29,0	410,47	0,80
Olej opałowy	42,6	2 770,00	0,98
Gaz ziemny	39,5	10,84	0,98

Tabela 5. Zestawienie wyników obliczeń

Rodzaj paliwa	Zużycie paliwa, kg/rok lub m <sup>3</sup> /rok		Koszt zakupu paliwa, zł/rok	
	Strefa I	Strefa V	Strefa I	Strefa V
Węgiel kamienny	6 947	7 681	2 851	3 153
Olej opałowy	3 860	4 268	12 434	13 748
Gaz ziemny	4 163	4 603	4 967	5 491

Analizując otrzymane wartości można zauważyć, że na wielkość rocznego zapotrzebowania paliwa w znacznym stopniu wpływa położenie budynku, dokładniej strefa, w której zlokalizowany jest dom a tym samym temperatura powietrza zewnętrznego. Im temperatura ta jest niższa tym zapotrzebowanie na ciepło i paliwo staje się większe tak, więc na wielkość nakładów wpływają również starty ciepła przez przegrody. Zużycie paliwa jest także zależne od rodzaju paliwa oraz jego wartości opałowej. Należy wspomnieć o sprawności systemu ogrzewania, która w dużym stopniu związana jest również z jego wiekiem. Sprawność kotła jest kolejnym ważnym czynnikiem wpływającym na efektywność procesu spalania – im sprawniej zostanie przeprowadzony proces, tym mniej strat i zużytego paliwa. Z otrzymanych wyników obliczeń łatwo zauważyć, że strefą najkorzystniejszą pod względem oszczędności wykorzystania paliwa jest strefa I, z kolei paliwem wydajnym aczkolwiek kosztownym jest olej opałowy. Największe zużycie i najniższe koszty pojawiają się w przypadku węgla kamiennego.

### 3 Analiza ekologiczna

Rosnące zanieczyszczenie środowiska, zmusza do zastanowienia się nad zagadnieniem ograniczenia emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Redukcja ta nie może sprowadzać się jedynie do instalacji przemysłowych, gdyż stanowią one tylko jedno źródło zanieczyszczeń. Równie istotnym są zainstalowane w gospodarstwach domowych kotły i urządzenia grzewcze spalające paliwa stałe. Mimo iż moc tych urządzeń nie jest duża, to jednak ze względu na ich liczbę i bardzo często niską, jakość spalanego w nich paliwa wnoszą one istotny wkład w całkowitą emisję zanieczyszczeń do atmosfery [20].

Głównymi zanieczyszczeniami powietrza powstającymi z procesów spalania w domowych urządzeniach grzewczych są tlenek węgla, tlenki azotu, tlenek siarki oraz pyły. W polskich gospodarstwach domowych podstawowym paliwem wykorzystywanym do celów ogrzewania i wytwarzania ciepłej wody jest węgiel kamienny. Jest to paliwo tanie, łatwo dostępne i kojarzone z polską energetyką, jednakże ze względów praktycznych, a przede wszystkim ekologicznych zaczyna być ono zastępowane innymi nośnikami energii np. biomasą, gazem



ziemnym, olejem opałowym czy energią elektryczną. Warto, więc przyjrzeć się, jaki wpływ na obniżenie wielkości emisji szkodliwych substancji do otoczenia ma zastosowanie technologii bazujących na innych paliwach w porównaniu do emisji powstających z wykorzystania technologii bazujących na podstawowym dotychczas paliwie, czyli węglu kamiennym.

### **3.1 Emisja szkodliwych substancji – ich wpływ na otoczenie, szczególnie ludzkie zdrowie**

Problem zanieczyszczenia powietrza jest bardzo istotny ze względu na to, iż wpływa on bezpośrednio na zdrowie ludzi, powodując wiele dolegliwości układu oddechowego i krwionośnego. Największy wpływ zanieczyszczeń powietrza na zdrowie ludzi obserwuje się w rejonach przemysłowych i zurbanizowanych. Do grupy najbardziej narażonej należą: dzieci, osoby starsze oraz ludzie z chorobami dróg oddechowych. Szkodliwe substancje w otoczeniu mają negatywny wpływ na kondycję ekosystemów oraz wpływają na proces niszczenia materiałów poprzez np. korozję metali.

Wśród substancji zanieczyszczających powietrze można wyszczególnić poniższe związki i metale ciężkie [21, 22, 23]:

- Dwutlenek węgla ( $\text{CO}_2$ ) zaliczany jest do tzw. gazów cieplarnianych. Zbyt wysokie stężenie tego związku w atmosferze przyczynia się do powstawania zjawiska globalnego ocieplenia. Jest on niezbędny do prawidłowego funkcjonowania organizmów żywych ponieważ, pobudza odruch oddychania. Po przekroczeniu dawki nieszkodliwej istotny staje się jego negatywny wpływ na ludzkie zdrowie. Zbyt wysokie stężenie  $\text{CO}_2$  we krwi może powodować problemy z koncentracją, zwiększoną częstość akcji serca, problemy z oddychaniem, bóle i zawroty głowy.
- Dwutlenek siarki ( $\text{SO}_2$ ) jest szkodliwy dla ludzi, zwierząt oraz roślin, w szczególności dla porostów i lasów górskich. Nie bez znaczenia jest jego niszczący wpływ na różnego rodzaju materiały i budynki. W rejonach znacznej emisji, związki siarki stanowią jeden z głównych składników kwaśnych deszczów i smogu. Związek ten powoduje między innymi uszkodzenie dróg oddechowych (skurcze oskrzeli, podrażnienie błon śluzowych dróg oddechowych, przewlekłe zapalenie oskrzeli, zmniejszenie odporności płuc na infekcje, zmniejszenie pojemności płuc). Oprócz tego może doprowadzić do pojawienia się poważnych zmian w rogówce oka (podrażanie błon śluzowych spojówek) i zaostrzenia chorób układu krążenia.
- Tlenki azotu ( $\text{NO}_x$ ) w znacznym stopniu przyczyniają się do powstawania w glebie związków rakotwórczych i mutagennych, aczkolwiek ich wpływ na roślinność nie zawsze jest negatywny - optymalna dawka pozwala na prawidłowy wzrost i funkcjonowanie roślin, ponadto pełnią one istotną rolę w programowej śmierci komórki (PCD). Tlenki te są jedną z podstawowych przyczyn powstawania smogu, który zatrzymuje wszystkie szkodliwe substancje na wysokości powietrza wdychanego przez ludzi. U dzieci i osób starszych cierpiących na astmę, związki te atakują układ oddechowy, doprowadzając do osłabienia funkcji obronnych płuc, zaburzenia ich wentylacji, mniejszego nasycenia krwi tlenem i obniżenia zdolności samooczyszczenia dróg oddechowych. Działanie tych związków na człowieka objawia się pobudzeniem, niepokojem, bezsennością, a nawet depresją.

- Pyły (PM10 i PM2,5) są mieszaniną małych cząstek stałych zawieszonych w powietrzu. Mogą to być drobiny kurzu, popiołu, sadzy, piasku, ale także pyłki roślin, stare ogumienie, tarcze i klocki hamulcowe samochodów. Pył PM10 to pył, którego cząsteczki mają średnicę do 10 mikrometrów. PM2,5 to pył, którego cząsteczki mają 2,5 mikrometra lub mniej. Jest on bardziej niebezpieczny dla zdrowia, ponieważ mniejsze cząstki trafiają aż do pęcherzyków płucnych, a stamtąd mogą przenikać do krwi. Pyły powodują kaszel, trudności w oddychaniu, astmę, zaostrzenie objawów alergicznych, pylicę, osłabienie czynności płuc i nowotwory płuc, krtani, gardła. Na powierzchni pyłów często osiadają inne substancje tj. metale ciężkie i węglowodory aromatyczne, które mogą przenikać do organizmu wraz z wdychanym powietrzem, sprawiając, że pyły stają się jeszcze bardziej niebezpieczne dla organizmów żywych. Skutki zdrowotne wdychania pyłów o różnym składzie chemicznym są wielorakie i dotyczą najczęściej osób w podeszłym wieku, chorujących przewlekle (np. na astmę), a przede wszystkim dzieci - których układ oddechowy nie jest w pełni ukształtowany.
- Kadm (Cd) wpływa szkodliwie na układ immunologiczny, nerwowy i krwiotwórczy. Do organizmu człowieka przedostaje się drogą oddechową oraz pokarmową – wraz ze skażonym pożywieniem. Największa akumulacja kadmu zachodzi w ziarnach zbóż, sałacie, tytoniu, burakach, ziemniakach i marchwi. Odkłada się on w nerkach, wątrobie i kościach doprowadzając do poważnych chorób i schorzeń m.in. zmiany nowotworowe, anemia, zwiększenie agresywności i zaburzenia snu.
- Arsen (As) jest silnie toksyczny i kancerogenny. Do organizmu przedostaje się w drogą pokarmową przez picie zanieczyszczonej wody oraz drogą oddechową. Ze względu na to, że jest absorbowany przez krew, w nadmiernej ilości może spowodować bóle głowy, wypadanie włosów zakłócenia rytmu serca i zatrucia.
- Chrom (Cr) pomimo tego, iż jest on niezbędnym do prawidłowego funkcjonowania związkiem jego nadmiar jest szkodliwy i prowadzi do wielu zaburzeń i chorób. Dostaje się do organizmów żywych poprzez układ pokarmowy, może także przenikać przez ludzką skórę, szczególnie, gdy jest ona uszkodzona. Nadmiar prowadzi do powstawania wolnych rodników, problemów układu oddechowego (podrażnienie płuc, nagromadzenie makrofagów, zapalenie i zaburzenie czynności płuc), przewodu pokarmowego, działa szkodliwie na układ immunologiczny (alergie, zaczerwienienia, zapalenia skóry), rozrodczy a hematologiczny, prowadzi do krwawienia z nosa, przewlekłego swędzenia i bólu nosa, zaniku śluzówki.
- Nikiel (Ni) przedostaje się do organizmów wraz z wdychanym powietrzem. Osoby przewlekle narażonych na nikiel w postaci lotnej znajdują się w grupie podwyższonego ryzyka zachorowania na raka płuc i górnych dróg oddechowych, astmę, pylicę płuc oraz utratę powonienia.
- Rtęć (Hg) przedostaje się do organizmu drogą pokarmową przez skażoną żywność, głównie ryby, ale i oddechową. Atakuje ona zwykle układ nerwowy, jego funkcje czuciowe i koordynacyjne. Rtęć gromadzi się w mózgu powodując zmiany fizyczne i psychiczne, prowadzi do osłabienia pamięci, bólów głowy, zaburzenia mowy, jąkania się.
- Ołów (Pb) jest szczególnie toksyczny dla ludzi i zwierząt. Do organizmu ludzi wnika poprzez drogi oddechowe i przewód pokarmowy, skąd jest wchłaniany do krwi i akumulowany w kościach, zębach, nerkach, wątrobie oraz w mózgu. Ołów wpływa

na układ nerwowy, krwionośny i krwiotwórczy. Nadmiar tego związku w organizmie prowadzi m.in. do niedokrwistości, miażdżycy naczyń krwionośnych, uszkodzenia nerek i wątroby. Na szkodliwe działanie ołowiu najbardziej narażone są dzieci i kobiety w ciąży. W przypadku roślin nadmiar ołowiu powoduje zaburzenie fotosyntezy, podziału komórek i metabolizmu azotowego

### 3.2 Emisje wynikające ze spalania paliwa potrzebnego do zaspokojenia rocznego zapotrzebowania na ciepło dla domu jednorodzinnego

Analizie składu spalin poddano trzy paliwa: węgiel kamienny, olej opałowy oraz gaz ziemny. Założono, że emisja powstaje w wyniku spalania paliwa niezbędnego na pokrycie rocznego zapotrzebowania cieplnego na cele grzewcze i przygotowania ciepłej wody dla analizowanego domu jednorodzinnego. Roczną emisję każdej szkodliwej substancji (4) obliczono przy pomocy wskaźników emisji dla paliw [24, 25], energii dostarczanej z paliwa w ciągu roku i wartości opałowej paliwa zgodnie ze wzorem:

$$E_i = (E_R \cdot Wd) \cdot W_i \quad (4)$$

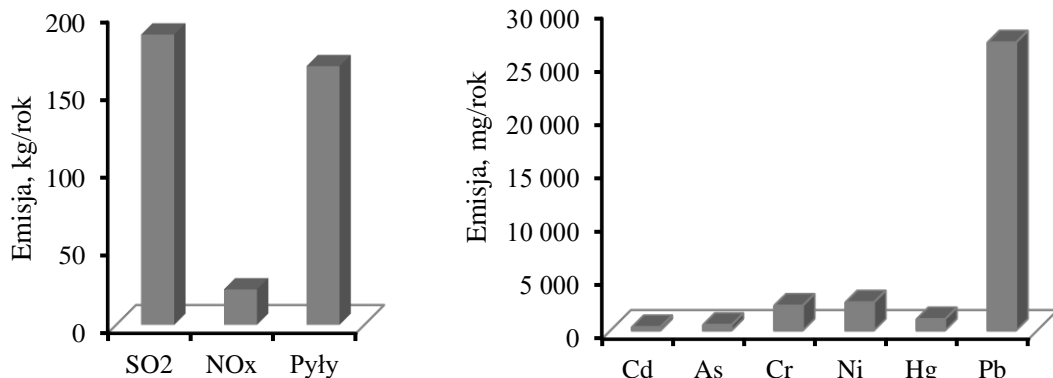
gdzie:  $E_R$  – energia dostarczona z paliwa w ciągu roku, kg/GJ;  $Wd$  – Wartość opałowa paliwa, MJ/kg lub MJ/m<sup>3</sup>;  $W_i$  – Wskaźnik emisji substancji i-tej dla danego paliwa, kg/GJ;

Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 6. Jak można zauważyć największą emisją substancji szkodliwych niezależnie od rodzaju substancji cechuje się węgiel kamienny. Niebezpieczne są, więc próby jego wycofania z obiegu poprzez stopniowe ograniczenie zużycia i zachęcanie do zastępowania go innymi nośnikami energii. Należy pamiętać, że wartości emisji szkodliwych substancji zawarte w tabeli 6 odnoszą się tylko do jednego gospodarstwa domowego zamieszkałego przez rodzinę czteroosobową. W przypadku osiedla domków jednorodzinnego składającego się przykładowo ze 100 gospodarstw domowych, o różnej ilości lokatorów, wartość emisji znacznie wzrośnie.

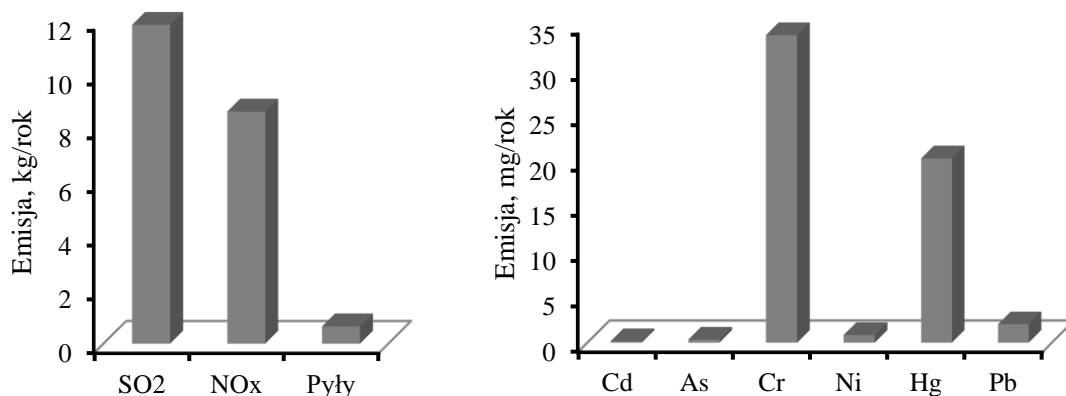
Tabela 6. Zestawienie rocznych substancji szkodliwych

Roczna emisja		Węgiel kamienny	Olej opałowy	Gaz ziemny
CO <sub>2</sub>	kg/rok	19 635,78	13 096,81	9 492,65
SO <sub>2</sub>		186,55	11,84	0,05
NO <sub>x</sub>		22,80	8,63	8,63
Pyły		166,24	0,64	0,41
Cd	mg/rok	310,92	0,17	0,04
As		518,20	0,34	20,31
Cr		2 321,55	33,84	0,13
Ni		2 632,48	0,85	0,09
Hg		1 057,14	20,31	115,06
Pb		26 946,60	2,03	0,25

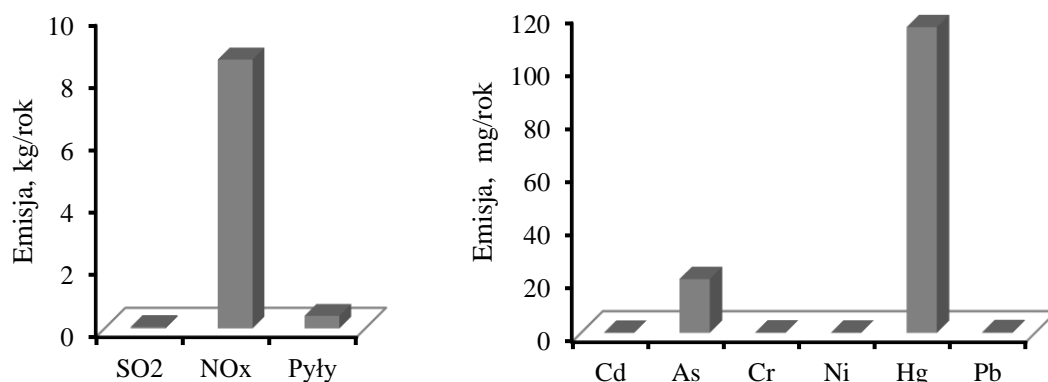
Aby lepiej zobrazować rozkład udziałów poszczególnych szkodliwych substancji w całkowitej emisji zanieczyszczeń, wynikającej ze spalania paliwa potrzebnego do zaspokojenia rocznego zapotrzebowania na ciepło dla domu jednorodzinnego, czteroosobowego wyniki przedstawiono na wykresach (rysunki 1-3).



Rysunek 1: Emisje szkodliwych substancji ze spalania węgla kamiennego



Rysunek 2: Emisje szkodliwych substancji ze spalania oleju opałowego



Rysunek 3: Emisje szkodliwych substancji ze spalania gazu ziemnego

Na podstawie analizy środowiskowej zobrazowanej przy pomocy powyższych wykresów, można stwierdzić, że zamienienie instalacji spalania węgla kamiennego na instalację opartą o gaz ziemny jest najrozsądniejszym rozwiązaniem. Gaz ziemny to paliwo, którego emisje szkodliwych substancji są najniższe (nie dotyczy emisji rtęci), w związku z tym pod względem ekologicznym jest ono najlepsze.

Aspekt ekonomiczny jest równie ważny. Dlatego mając na uwadze wcześniej obliczone roczne koszty zakupu paliwa, należy zwrócić uwagę na wydatki, jakie ponosiłaby osoba zmieniająca instalację grzewczą i przygotowania ciepłej wody w swoim gospodarstwie domowym - gaz ziemny znajdowały się pomiędzy kosztami na zakup węgla kamiennego (najtaniejsze paliwo) i oleju opałowego (najdroższe paliwo).

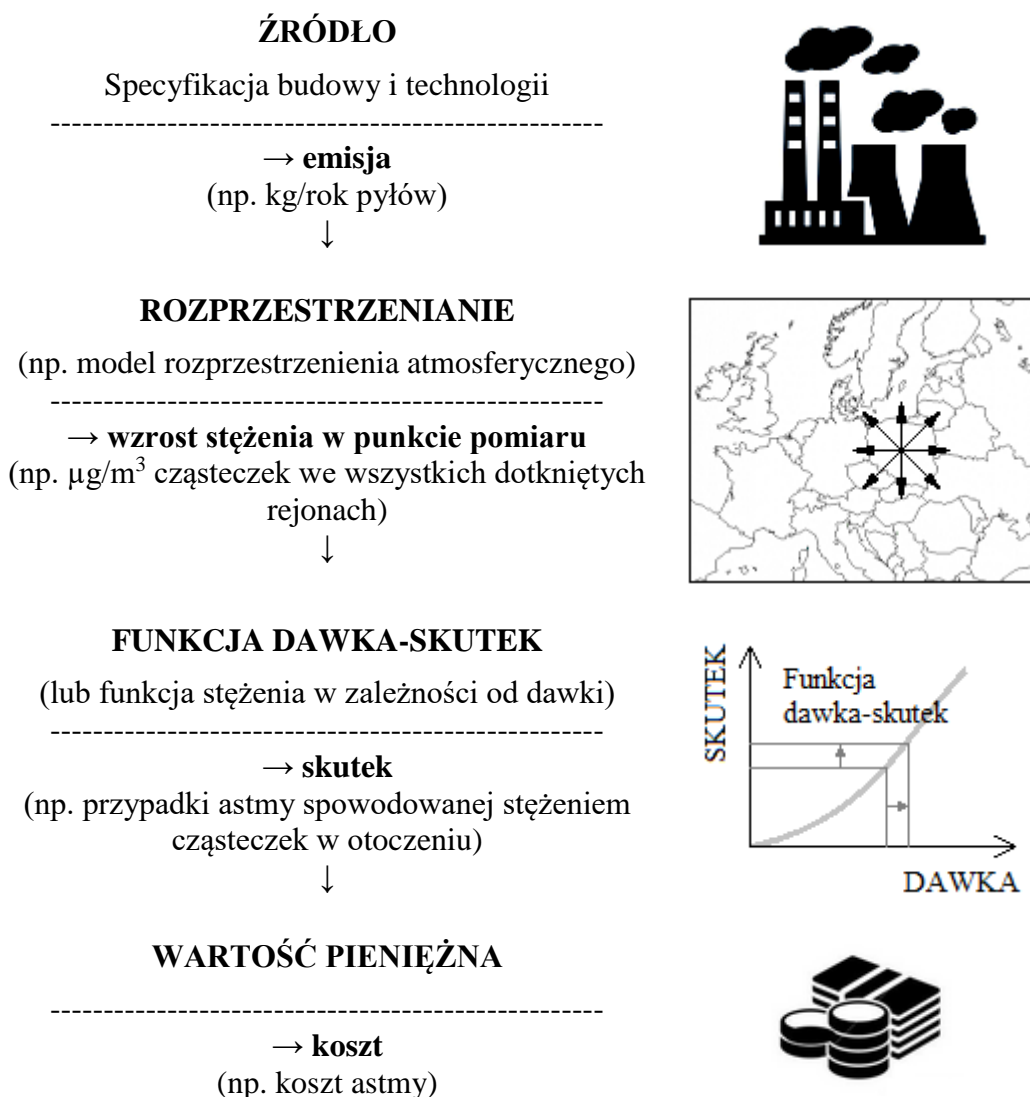
#### **4 Analiza kosztów zewnętrznych za pomocą programu EcoSense Web**

Podczas produkcji energii elektrycznej źródło – elektrownia lub elektrociepłownia - emituje do otoczenia zanieczyszczenia. Wpływają one niekorzystnie na środowisko i prowadzą do wielu skutków ubocznych. Zmniejszenie długości życia ludzkiego, leczenie szpitalne związane z chorobami sercowo-naczyniowymi czy układu oddechowego, korozja metali, niszczenie elewacji budynków, ubytki materiałów, zmniejszenie produktywności pól rolnych, straty leśne, konieczność zwiększania azotowania gleb, zachwianie równowagi biologicznej, zagrożenie życia, powodzie, straty w rolnictwie, turystyce - to tylko niektóre z negatywnych efektów oddziaływania szkodliwych substancji znajdujących się w powietrzu i wynikających z emisji ze źródeł przemysłowych.

Aby zminimalizować skutki szkodliwego oddziaływania zanieczyszczeń powietrznych i zrekomensować straty jakie one wyrządziły, niezbędne są odpowiednie środki finansowe. Powstałe szkody są tzw. efektami zewnętrznymi, które po konwersji na jednostki monetarne stają się kosztami zewnętrznymi. Zewnętrzne koszty środowiskowe technologii energetycznych powiązane są z ogółem negatywnych efektów związanych z wytwarzaniem energii elektrycznej i ciepłej, na wszystkich etapach technicznego procesu. Etapami takiego procesu są: budowa i likwidacja elektrowni, wydobywanie i transport surowców energetycznych jak również emisja zanieczyszczeń - która nie została ujęta w dotychczasowych opłatach – w trakcie produkcji energii elektrycznej. Zwykle koszty te nie są uwzględniane w rachunku ekonomicznym przedsiębiorstwa, dlatego ważne jest, aby wykonywać odpowiednie działania, zmierzające do określenia rzędu wielkości wartości kosztów zewnętrznych [26]. Poznanie ich umożliwia podejmowanie odpowiednich decyzji inwestycyjnych - uwzględniających koszty społeczne - porównując różnego rodzaju projekty z alternatywnymi opcjami inwestycyjnymi (w przypadku nowych projektów obiektów, ale także w przypadku modernizacji obiektów już istniejących) oraz dobierając optymalne rozwiązanie, kierując się przy tym kryterium minimalnych kosztów społecznych.

##### **4.1 EcoSense Web – metodyka**

EcoSenseWeb to zintegrowany system informatyczny opracowany do oceny oddziaływania środowiskowego oraz oceny kosztów zewnętrznych wynikających z produkcji energii elektrycznej i innych działań przemysłowych. Działa on w oparciu o podejście zwane IAP - Impact Pathway Approach, tzw. metoda sposobów oddziaływania (rysunek 4). Metoda ta została opracowana podczas projektu ExternE dotyczącego kosztów zewnętrznych produkcji energii. Metodyka IAP pozwala na oszacowanie kosztów zewnętrznych powodowanych przez punktowe źródła zanieczyszczeń (elektrownie i elektrociepłownie), uwzględnia ona szeroki zestaw negatywnych efektów zewnętrznych powodowanych na etapie wytwarzania, transportu paliw energetycznych oraz podczas ich wykorzystania.



Rysunek 4: Metodyka szacowania kosztów zewnętrznych wynikających z emisji zanieczyszczeń gazowych ze źródeł punktowych

Standardowa procedura wykorzystana w badaniach kosztów zewnętrznych, w tym także metodyka ExternE, obejmuje następujące etapy [26]:

- Oszacowanie wielkości emisji zanieczyszczeń emitowanych przez dane źródło, uwzględniając rodzaj zastosowanej technologii energetycznej i typu paliwa,
- Określenie kierunków rozprzestrzeniania się emisji za pomocą funkcji emisji i dzięki temu np. zbadanie wzrostu koncentracji emisji w pewnym obszarze,
- Określenie różnego rodzaju skutków ubocznych (np. liczba przypadków astmy u dzieci) wywołanych zmianą jakości powietrza za pomocą tzw. funkcji dawka-skutek na różnego rodzaju oddziaływania,
- Oszacowanie kosztów zewnętrznych (np. koszt leczenia astmy), przekształcając liczbę skutków ubocznych na monetarną wartość.

EcoSense Web zapewnia odpowiednie dane i modele niezbędne do zintegrowanej oceny wpływu związanego z zanieczyszczeniami powietrza obejmującymi tzw. klasyczne zanieczyszczenia powietrza, metale ciężkie, gazy cieplarniane i radionuklidy.

Program EcoSense Web posiada kilka kategorii, dla których dokonywana jest ocena oddziaływania: ludzkie zdrowie, roślinność (straty w uprawach), materiały budowlane (niszczenie materiałów budowlanych), różnorodność biologiczną (jej utrata) oraz klimat (zmiany klimatyczne).

Jednym z głównych celów rozwojowych EcoSense było opracowanie najbardziej przyjaznego dla użytkownika systemu pozwalającego na ocenę wpływu przy minimalnej ilości wymaganych danych wejściowych. Wymagane są tylko dane techniczne obiektu poddawanego analizie, pozostałe dane dostarczane są przez system, co stanowi swojego rodzaju zaletę (ułatwienie obsługi, oszczędność czasu), ale również i wadę – ograniczenie elastyczności systemu.

## 4.2 EcoSense Web – podstawowe założenia, analiza przypadku i wyników

Wykonanie analizy w EcoSense miało na celu zbadanie, jaki wpływ na ludzkie zdrowie i środowisko naturalne wywiera emisja podstawowych zanieczyszczeń powstająca w wyniku rocznego zaopatrzenia domu rodzinnego, zamieszkałego przez czteroosobową rodzinę, w elektryczność oraz ciepło z elektrociepłowni. Założono, że elektrociepłownia znajduje się w pobliżu analizowanego budynku. Wyniki analizy odnoszą się tylko do tej części energii elektrycznej i ciepła które są niezbędne dla analizowanego domu jednorodzinnego. Analizę wykonano dla dwóch skrajnych przypadków w Polsce - dom zlokalizowany w Koszalinie i na Suwałkach - następnie otrzymane wyniki uśredniono.

Niekorzystny wpływ emisji szkodliwych substancji z elektrociepłowni zależy od jej położenia geograficznego, wysokości komina oraz koncentracji zanieczyszczeń w środowisku. Dla określenia ekonomicznych skutków rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń konieczne są techniczne, emisyjne i geograficzne dane charakteryzujące badany obiekt energetyczny. Niezbędne dla analizowanego przypadku dane zebrano w tabeli 7.

Tabela 7. Zestawienie danych wejściowych do EcoSense Web

Dana wejściowa	Jednostka	Lokalizacja		Źródło
		Koszalin	Suwałki	
Produkcja energii elektrycznej brutto	MWh	2,1	2,1	[27]
Czas pracy EC z pełnym obciążeniem	h	5910	5922	-
Wskaźniki emisji SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	400	400	[28]
Wskaźniki emisji NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	300	300	[28]
Wskaźniki emisji PM10	mg/Nm <sup>3</sup>	30	30	[28]
Wysokość komina	m	150	150	[29]
Średnica komina	m	4,4	4,4	[29]
Natężenie wypływu gazów spalinowych	Nm <sup>3</sup> /h	5,9	5,9	[30]
Temperatura gazów spalinowych	K	413	413	[29]
Położenie EC: szerokość geograficzna	°N	54,2°N	54,13°N	[11]
Położenie EC: długość geograficzna	°E	16,15°E	22,95°E	[11]

Obliczenia zostały wykonane dla dwóch scenariuszy czasowych, które w tabeli 8 i 9 zapisane są jako koszty aktualne i prognozowane. W przypadku scenariusza zwracającego koszty aktualne dokonano oszacowania kosztów korzystając ze średnich standardowych lat meteorologicznych oraz występujących wtedy najniekorzystniejszych warunków emisyjnych. Z kolei dla oszacowania kosztów prognozowanych skorzystano ze średnich emisji związków szkodliwych - jest to scenariusz przyszły.

Funkcja „dawka-skutek” używana do szacowania skutków zdrowotnych przedstawia się następująco [27, 31]:

$$\Delta I = \sum_i S_i \cdot \Delta c_i \quad (5)$$

gdzie:  $\Delta c$  – przyrost koncentracji zanieczyszczenia,  $S$  – nachylenie funkcji dawka-skutek,  $i$  – rodzaj zanieczyszczenia;

Przyrost efektów  $\Delta I$  jest określony, jako przypadki zdarzeń w roku na osobę. Przyrost koncentracji zanieczyszczenia jest obliczany dla każdego obszaru objętego zakresem rozprzestrzeniania, zamieszkałego przez określoną populację. Łączny wpływ emisji szkodliwych substancji dla danego kraju jest sumą skutków powodowanych w poszczególnych regionach. Zależności zdefiniowane są dla szkód tj.: utrata lat życia w zdrowiu, używanie inhalatora, hospitalizacja związana z chorobami układu krążenia, przypadki śmierci niemowląt, chroniczne zapalenie oskrzeli, kaszel, objawy choroby dolnych dróg oddechowych, przewlekły kaszel, hospitalizacja związana z chorobami układu oddechowego, dni niezdolności do pracy.

Funkcja „dawka-skutek” określająca straty w uprawach rolnych na podstawie koncentracji  $SO_2$  dzieli się na dwa przypadki. Funkcja ta, zakłada, że plony będą wzrastać w zakresie koncentracji tego związku od 0 do 6,8 ppb, a maleć powyżej tego progu. Zależności zdefiniowane są dla pszenicy, ryżu, ziemniaków, buraków cukrowych, jęczmienia i owsa. Osobna funkcja określa niezbędną wielkość nawozów koniecznych dla zneutralizowania zakwaszenia w glebie. Pozytywny efekt, pozwalający na oszczędność kosztów to depozycja tlenków azotu w glebie. Wynika to z faktu, że azot jest pierwiastkiem niezbędnym do prawidłowego wzrostu roślin. Tak, więc odpowiednia zależność przedstawia zredukowaną ilość nawozów azotowych w funkcji zatrzymanych w glebie azotanów [27, 31].

Koszty zdrowotne można podzielić na: koszty ponoszone przez służbę medyczną, towarzystwo ubezpieczeniowe oraz osobę chorą, koszty społeczne związane z ograniczeniem czasu wolnego, dyskomfortem psychicznym, niepokojem o przyszłość oraz koszty uwzględniające utratę produktywności w czasie choroby. Składniki te wyliczane są na podstawie cen rynkowych, a także szacowane za pomocą techniki WTP/WTA (skłonność do zapłaty lub gotowość do przyjęcia rekompensaty za szkodę) [27]. Każdy skutek zdrowotny został w modelu EcoSenseWeb wyceniony, np. koszt pobytu w szpitalu wynosi 2000€/przyjęcie. Na podstawie kosztów oraz liczby efektów ( $\Delta I$ ) określone są późniejsze koszty wynikowe. W przypadku oszacowania kosztów utraty plonów wykorzystuje się ceny rynkowe najważniejszych zbóż i upraw.

Analizie poddane zostały jedynie trzy główne zanieczyszczenia – nie uwzględniono metali ciężkich, WWA, NMLZO,  $NH_3$ . Są to, więc najłagodniejsze z możliwych prognoz, ponieważ pominięte związki w znaczący sposób oddziałują na budynki, zdrowie ludzkie oraz faunę i florę.



Tabela 8. Koszty dla wszystkich krajów (wraz z Polską) – jedno gospodarstwo domowe

Kategoria kosztów	Koszty, zł/rok					
	aktualne			prognozowane		
	NO <sub>x</sub>	PM10	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM10	SO <sub>2</sub>
Strata w ludzkim zdrowiu	293,28	2,72	467,06	337,05	2,50	479,25
Strata wynikająca z utraconych lat życia	186,89	-	312,59	207,69	-	323,73
Dni niezdolności do pracy	42,02	-	65,54	51,63	-	66,38
Choroby układu oddechowego	53,67	2,62	71,33	66,05	2,41	70,81
Strata/korzyść w zbiorach na skutek azotowania	-1,07	-	0,78	-0,98	-	0,04
Strata/korzyść w zbiorach na skutek zwiększonej koncentracji ozonu	9,90	-	-0,77	16,66	-	-2,74

Tabela 9. Zestawienie kosztów dla Polski – jedno gospodarstwo domowe

Kategoria kosztów	Koszty, zł/rok					
	aktualne			prognozowane		
	NO <sub>x</sub>	PM10	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM10	SO <sub>2</sub>
Strata w ludzkim zdrowiu	83,80	1,59	109,58	92,42	1,56	128,80
Strata wynikająca z utraconych lat życia	53,84	-	73,18	56,07	-	86,49
Dni niezdolności do pracy	12,15	-	15,49	14,62	-	18,13
Choroby układu oddechowego	14,75	4,53	16,80	18,61	1,50	19,32
Strata/korzyść w zbiorach na skutek azotowania	-0,52	-	0,74	-0,50	-	0,04
Strata/korzyść w zbiorach na skutek zwiększonej koncentracji ozonu	4,09	-	0,01	7,08	-	-0,27

Tabela 10. Oszacowanie kosztów aktualnych dla Polski - gospodarstwa domowe ogółem

Kategoria kosztów	Koszty aktualne, tys. zł/rok		
	NO <sub>x</sub>	PM10	SO <sub>2</sub>
Strata w ludzkim zdrowiu	496 673	9 401	649 463
Strata wynikająca z utraconych lat życia	319 101	-	433 764
Dni niezdolności do pracy	71 989	-	91 789
Choroby układu oddechowego	87 444	9 065	99 568
Strata/korzyść w zbiorach na skutek azotowania	-3 086	-	4 374
Strata/korzyść w zbiorach na skutek zwiększonej koncentracji ozonu	24 220	-	52

Tabele 8 i 9 zawierają zestawienie kosztów, ponoszonych w wyniku zaspokojenia potrzeb energetycznych tylko jednego gospodarstwa domowego. Mimo, iż wydają się one niewielkie, odniesione do faktycznego stanu liczby gospodarstw domowych istniejących w Polsce gwałtownie wzrosną. Według spisu w roku 2002 i 2011 liczba budynków mieszkalnych jednorodzinnych w roku 2002 wynosiła 4 795 tys., a w 2011 już 5 522 tys. [32]. Widoczny jest około 15% przyrost liczby budynków w przeciągu 9 lat. Zakładając, że sektor komunalno-bytowy w Polsce rozwija się stale z takim samym przyrostem (przyrost 81 budynków/rok) w roku 2016 liczba domów jednorodzinnych wynosiła by przypuszczalnie 5927 tysięcy. Koszty zewnętrzne odniesione do tej liczby budynków zestawiono w Tabeli 10.

Należy wspomnieć, że szkody wyrządzone są nie tylko w obrębie danego rejonu, lecz rozprzestrzeniają się na obszary wokół źródła emisji. Pod pojęciem „wszystkie kraje” kryje się 65 różnych państw należących do Europy. Grupa państw poddanych analizie składa się z: Albanii, Algierii, Andory, Armenii, Austrii, Azerbejdżanu, Białorusi, Belgii, Bośni i Hercegowiny, Bułgarii, Chorwacji, Cypru, Czech, Danii, Egiptu, Estonii, Wysp Owczych, Finlandii, Francji, Gruzji, Niemiec, Grecji, Węgrów, Islandii, Iranu, Iraku, Irlandii, Izraela, Włoch, Jordanii, Kazachstanu, Łotwy, Libanu, Libii, Lichtensteinu, Litwy, Luksemburgu, Malty, Monako, Maroko, Holandii, Norwegii, Polski, Portugalii, Mołdawii, Rumunii, Rosji, San Marino, Arabii Saudyjskiej, Jugosławii, Słowacji, Słowenii, Hiszpanii, Svalbardu, Szwecji, Szwajcarii, Syrii, Macedonii, Tokelau, Tunezji, Turcji, Turkmenii, Ukrainy i Wielkiej Brytanii.

Jak widać na podstawie otrzymanych wyników koszty dotyczące zdrowia ludzkiego są znaczące. Największy wpływ na zdrowie ludzkie i na koszty potrzebne do jego odzyskania ma emisja SO<sub>2</sub>. Koszty powodowane przez pył są, w porównaniu do pozostałych, niewielkie - ze względu na małą emisję tego związku do otoczenia, co jest spowodowane rygorystycznymi przepisami dotyczącymi stosowania filtrów w zakładach przemysłowych. W przypadku roślin szkody wyrządzone przez emisje zanieczyszczeń nie są tak bardzo odczuwalne, w przypadku NO<sub>x</sub> mamy nawet do czynienia z oszczędnością, gdyż nie musimy dokonywać zakupu pewnej części nawozów sztucznych.

## 5 Podsumowanie

Przedmiotem analizy w niniejszej pracy był jednorodzinny dom o powierzchni użytkowej równiej 93,8 m<sup>2</sup>, zamieszkały przez rodzinę czteroosobową i budowany w sposób tradycyjny. Jako źródło ciepła i ciepłej wody użytkowej, rozważono trzy warianty kotłów: kocioł na węgiel kamienny, olejowy kocioł kondensacyjny oraz gazowy kocioł kondensacyjny. W zależności od rodzaju wykonywanej analizy dokonano oceny dla lokalizacji budynku we wszystkich strefach klimatycznych Polski lub tylko dla dwóch skrajnych stref. W pracy można wyróżnić trzy podstawowe części: analizę energetyczną, analizę ekologiczną oraz analizę kosztów zewnętrznych środowiskowych.

Analiza energetyczna stanowiła podstawowe narzędzie pozwalające ocenić całkowite zapotrzebowanie cieplne - zapotrzebowanie to stanowiło podstawę dalszych obliczeń tzn. rocznego zapotrzebowania cieplnego - dla analizowanego domu jednorodzinnego. Wykonanie obliczeń umożliwiło wskazanie czynników wpływających najmocniej na końcową wartość zapotrzebowania cieplnego, dzięki czemu możliwe było zaproponowanie odpowiednich

działań, obniżających wartości poszczególnych strat, a tym samym całkowitego zapotrzebowania. Na podstawie otrzymanych wyników można zauważyć, że wentylacyjna strata ciepła w znacznym stopniu wpływa na zapotrzebowanie cieplne. Aby zmniejszyć wartość tej straty należy pomyśleć o zastosowaniu wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła, nawiewników higrosterowanych, stabilizatora wentylacji, ale również sprawdzić stan szczelności budynku. Kolejną stratą wymagającą obniżenia jest strata ciepła przez przenikanie, z którą można poradzić sobie ocieplając, uszczelniając i izolując (nie tylko ściany, ale i dach) budynek, jak również wymieniając okna i drzwi na inne, o niższym współczynniku przenikalności cieplnej. Wyeliminowanie mostków termicznych, przez które dochodzi do niekontrolowanej utraty ciepła także pozwoli na obniżenie całkowitego zapotrzebowania cieplnego. Aby określić miejsce występowania mostków cieplnych, wykonuje się badanie budynku kamerą termowizyjną. Mostkom termicznym powinno się zapobiegać już na etapie projektowania, jednak w przypadku, kiedy nie ma takiej możliwości, można starać się je wyeliminować wykonując izolację okien, ocieplenie cokołów, ścian fundamentowych budynku, specjalistycznej obróbki płyt balkonowych, wzmocnienie ocieplenia zamocowań balustrad, zadaszeń, markiz i innych.

Wykonanie obliczeń dla tego samego przypadku znajdującego się w różnych strefach pozwala stwierdzić, że lokalizacja budynku w nieznacznym sposób wpływa na roczne zapotrzebowanie cieplne, szczególnie gdy dom wykonany jest zgodnie z obowiązującymi normami. Wszystko zależy od rozkładu temperatury występującej na danym obszarze, od czasu trwania sezonu grzewczego, ale także ukształtowania terenu (dolina, wyżyna). W związku z różnym rocznym zapotrzebowaniem cieplnym, w zależności od strefy, nie powinno się ujednoczać sposobu wykonywania projektów budynków i sposoby modernizacji istniejących budynków. Oznacza to na przykład, że współczynnik przenikalności cieplnej styropianu zastosowanego do ocieplenia domu w jednej strefie, może różnić się wartością od współczynnika przenikalności cieplnej styropianu zastosowanego w innej strefie, poprawiając tym samym warunki komfortu cieplnego.

Wartość rocznego zużycia paliwa powiązana jest z roczną wartością zapotrzebowania cieplnego. Zużycie paliwa można, więc obniżyć zmniejszając wartość zapotrzebowania cieplnego. Należy uwzględnić także rodzaj zastosowanego paliwa, gdyż różnią się one wartością opałową, która wpływa na wielkość jego zużycia. Paliwo używane w instalacji wpływa bezpośrednio na rodzaj kotła, co również oddziałuje na wartość zużycia, ze względu na różne wartości sprawności dla różnych rodzajów kotłów. Ponadto, ważną sprawą jest wymiana instalacji wyeksploatowanych na nowe, by kocioł charakteryzował się stale jak najwyższą sprawnością. Oczywiście staje się, że im niższe zużycie paliwa, tym niższe koszty ponoszone na jego zakup. Koszty zależą także od rodzaju paliwa, jego jakości i zastosowanej technologii jak również jej stanu (ewentualne dodatkowe koszty ponoszone w wyniku konieczności wymiany przestarzałej instalacji).

W analizie ekologicznej skupiono się na badaniu wpływu emisji szkodliwych substancji na otoczenie. W pracy skoncentrowano się na oddziaływaniu zanieczyszczeń pochodzących ze spalania paliwa w domowej instalacji grzewczej na ludzkie zdrowie oraz środowisko naturalne. Opisano, na co wpływają poszczególne substancje w momencie, kiedy przekroczona zostaje dawka nieszkodliwa w atmosferze. Obliczone zostały roczne emisje powstające ze spalania różnych rodzajów paliw, w celu określenia udziałów poszczególnych

emisji oraz wskazania, które z analizowanych paliw jest najmniej szkodliwe. Na podstawie analizy wyników gaz ziemny zyskał miano „paliwa ekologicznego”.

Ograniczenie emisji zanieczyszczeń pochodzących ze spalania np. węgla w gospodarstwach domowych skutkować będzie poprawą zdrowia publicznego, poprawą, jakości życia lokalnego społeczeństwa, zwiększeniem atrakcyjności inwestycyjnej danego obszaru, poprawą walorów turystycznych i klimatycznych miejscowości, ograniczeniem kosztów leczenia, renowacji budynków i zabytków, a przede wszystkim czystym środowiskiem naturalnym.

Analiza kosztów zewnętrznych środowiskowych pozwoliła na oszacowanie środków pieniężnych potrzebnych na pokrycie strat wywołanych niszczącym działaniem emisji podstawowych substancji szkodliwych, ale również oszczędności na skutek obniżenia poziomu wymaganych dodatkowych nawozów w przypadku upraw roślin. Głównym celem tej analizy było wskazanie, w jaki sposób energetyka komunalno-bytowa wpływa na stan środowiska naturalnego, ze szczególnym uwzględnieniem zdrowia ludzkiego.

Wyniki tej analizy pozwoliły ustalić, w jakim stopniu poszczególne związki wpływają na daną stratę, oraz jak wielkie koszty należy ponieść w związku z efektem tego oddziaływania. Mimo, iż roczne koszty dla pojedynczego gospodarstwa wydają się bardzo małe, po uwzględnieniu pozostałych istniejących gospodarstw domowych i oszacowaniu kosztów oddziaływania dla ogółu wartości kosztów - wzrastają drastycznie. Należy mieć na uwadze fakt, że z pozoru mało istotna rzecz po dogłębnej analizie może stać się głównym źródłem problemu.

Zestawienie kosztów dla wszystkich analizowanych krajów w jasny sposób pokazuje wpływ rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń na ogólny stan zdrowia populacji i na stan upraw. Zanieczyszczenia z polskich instalacji wytwarzających energię (w przeważającej części źródła na węgiel) rozprzestrzeniają się na duże odległości. Często przekraczają granice administracyjne państwa, oddziałując na wszystkich Europejczyków, w tym mieszkańców krajów, w których np. węgiel nie jest wykorzystywany, jako źródło energii lub dzieje się to na małą skalę. Emisja szkodliwych substancji nie jest, więc problemem lokalnym, ale globalnym.

## Literatura

- [1] A. Graboś, S. Żymankowska-Kumon, J. Sadlok, E. Sadlok, Przeciwdziałanie niskiej emisji na terenach zabudowy mieszkalnej, R. Sadlok (red), Bochnia: Stowarzyszenie na rzecz efektywności energetycznej i rozwoju odnawialnych źródeł energii „HELIOS”, 2014, s.7-8
- [2] Zanieczyszczenie powietrza w Polsce, strona internetowa projektu „*Tworzymy atmosferę*”, <http://www.tworzymyatmosfere.pl/uploads/files/dla-mediow/Skala%20zanieczyszczenia%20powietrza%20w%20Polsce.pdf>, dostęp 10 listopada 2016 r.
- [3] Projekt rozporządzenia Ministra Rozwoju z dnia 23 sierpnia 2016 r. w sprawie wymagań dla kotłów na paliwo stałe o mocy nie większej niż 50 kW, strona internetowa *Ministerstwa Rozwoju*, <http://www.konsultacje.gov.pl/node/4331>, dostęp 22 listopada 2016r.

- [4] D. Łukowski, Projekt architektoniczno-budowlany domu jednorodzinnego Nina II C paliwo stałe, strona internetowa *firmy HORYZONT Sp. z o.o.*, <https://www.horyzont.com/projekty/417-nina-2-wersja-c-paliwo-stale.html>, dostęp 15 czerwca 2016 r.
- [5] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz. U. z 2010 r. Nr 243, poz. 1623
- [6] Katalog produktów Ytong, Silka, Multipor: katalog, Xella Polska sp. z o.o., Warszawa, 2016
- [7] Karta techniczna płyty styropianowej Yetico Gamma Fasada, strona internetowa *firmy Yetico S.A.*, [http://yetico.com/img/uploads/files/PL\\_KARTY\\_TECH/karta\\_tech\\_gamma\\_fasada\(1\).pdf](http://yetico.com/img/uploads/files/PL_KARTY_TECH/karta_tech_gamma_fasada(1).pdf), dostęp 20 czerwca 2016 r.
- [8] Karta techniczna tynku cementowo-wapiennego, strona internetowa *firmy BAUMIT*, [http://www.baumit.pl/pimdarn/PL/pdb/PDBL\\_MPI\\_25.pdf](http://www.baumit.pl/pimdarn/PL/pdb/PDBL_MPI_25.pdf), dostęp 20 czerwca 2016 r.
- [9] PN-EN ISO 6946:2008. Komponenty budowlane i elementy budynku – Opór cieplny i współczynniki przenikania ciepła – Metoda obliczania.
- [10] PN-EN 12831:2003. Instalacje ogrzewcze w budynkach – Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.
- [11] Wskaźniki emisji i wartości opałowe oraz typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne do obliczeń energetycznych budynków, strona internetowa Ministerstwa Infrastruktury i Budownictwa, [http://mib.gov.pl/2-Wskazniki\\_emisji\\_wartosci\\_opalowe\\_paliwa.htm](http://mib.gov.pl/2-Wskazniki_emisji_wartosci_opalowe_paliwa.htm), dostęp 30 czerwca 2016 r.
- [12] PN-EN ISO 13790:2009. Energetyczne właściwości użytkowe budynków - Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia.
- [13] A. Szkarowski, L. Łatowski, Ciepłownictwo, Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne., 2006, s.58-59,
- [14] A. Szkarowski, L. Łatowski, Ciepłownictwo, Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne., 2006, s.70-77
- [15] Cennik węgla, strona internetowa *JSW S.A.*, [https://www.jsw.pl/dla-kontrahentow/cennik-wegla/?no\\_cache=1](https://www.jsw.pl/dla-kontrahentow/cennik-wegla/?no_cache=1), dostęp 16 sierpnia 2016 r.
- [16] Cena olej opałowy Ekoterm, strona internetowa *Ekoterm Plus*, <http://www.ekoterm.pl/PL/OlejGrzewczy/ceny.aspx>, dostęp 16 sierpnia 2016 r.
- [17] Taryfa PGNiG Obrót Detaliczny sp. z o.o. w zakresie obrotu paliwami gazowymi, strona internetowa *PGNiG*, <http://www.pgnig.pl/documents/19067/980563/Taryfa+PGNiG+Obr%C3%B3t+Detaliczny+sp.+z+o.o.+w+zakresie+obrotu+paliwami+gazowymi+Nr+2/67bfc8de-8610-4c77-8519-8aa60109b1a2>, dostęp 16 sierpnia 2016 r.
- [18] Przyszłościowe rozwiązania systemowe do budynków mieszkalnych, strona internetowa *firmy Viessmann*, <http://www.viessmann.pl/pl/budynki-mieszkalne.html>, dostęp 16 sierpnia 2016 r.
- [19] KSW Alfa, strona internetowa *firmy PEREKO*, <http://www.pereko.pl/seria-ksw-alfa.php>, dostęp 16 sierpnia 2016 r.

- [20] M. Rataj, Wymagania w analizie zawartości pyłów w spalinach z kominków i wkładów kominkowych, „NAFTA-GAZ”, 2014, nr.6, s.374
- [21] T. Kozłowska-Szczęsna, B. Krawczyk, M. Kuchcik, Wpływ środowiska atmosferycznego na zdrowie i samopoczucie człowieka, Warszawa: Polska Akademia Nauk – Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, 2004, s. 29-48
- [22] P. Bierwirth, Carbon dioxide toxicity and climate change: a serious unapprehended risk for human health, Australian National University, 2014
- [23] R. Śpiewak, J. Piętkowska, Nikiel - alergen wyjątkowy. Od struktury atomu do regulacji prawnych, <http://www.radoslawspiewak.net/2006-3p.htm>, dostęp 10 listopada 2016
- [24] Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO<sub>2</sub> (WE) w roku 2013 do raportowania w ramach Wspólnotowego Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2016, IOŚ-PIB, Warszawa, grudzień 2015
- [25] Small combustion 2016, strona internetowa *European Environment Agency*, <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-4-small-combustion-2016/view>, dostęp 30 września 2016 r.
- [26] M. Kudelko, Koszty zewnętrzne produkcji energii elektrycznej z projektowanych elektrowni dla kompleksów złożowych węgla brunatnego Legnica i Gubin oraz sektora energetycznego w Polsce, Kraków, październik 2012
- [27] Kalkulator zużycia energii. Statystyki i porównania, strona internetowa *TAURON Polska Energia S.A.*, <http://kalkulator.tauron.pl/h5/>, dostęp 16 października 2016 r.
- [28] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 listopada 2014 r. w sprawie standardów emisyjnych dla niektórych rodzajów instalacji, źródeł spalania paliw oraz urządzeń spalania lub współspalania odpadów, Dz. U. z 2013 r. poz. 1232
- [29] Zaprojektowanie, wybudowanie, uruchomienie i przekazanie do użytkowania ( w formie „pod klucz”) instalacji odsiarczania i odazotowania spalin w Elektrociepłowni „Będzin” S.A., specyfikacja istotnych warunków zamówienia, część III
- [30] D.Graham, H. Harnevie, R. Beek, F.Blank, Validated methods for fuel gaz flow rate calculation with reference to EN 12952-15, Arnhem: VGB Powertech, 2012
- [31] EcoSense Web V1.2 - user’s Manual & “Description of Updated and Extended Draft Tools for the Detailed Site-dependent Assessment of External Costs”
- [32] Wyniki Narodowego Spisu Powszechnego Ludności i Mieszkań 2011 – Podstawowe informacje o sytuacji demograficzno-społecznej ludności Polski oraz zasobach mieszkaniowych, opracowanie przygotowane na Kongres Demograficzny w dniach 22-23 marca 2012 r., GUS: Warszawa, marzec 2012 r.

# Energy and environmental analysis of selected heating systems applied in detached house

Ewelina Marzec

**Key words:** heat demand, heating detached house, external environmental costs, harmful emissions

## Abstract

In this article, the results of the energy analysis for a detached house are presented. Also, the impact of changing localization on a size of the heat demand was examined. The aforementioned house was analyzed in various parts of the Poland - altogether six cases were examined. All of the localizations were located in five different climate zones which we can meet in Poland. Based on the size of the thermal load, two extreme cases were selected. For this two cases, further analysis was made. The primary task of this analysis was to determine the annual heat demand for heating and domestic hot water needs. Annual fuel consumption has been calculated depending on the technology, such as boilers based on coal, heating gas oil or natural gas. Moreover, the assessment of fuel costs was performed. The next stage of the study consists of the determination of the annual emission of each harmful compounds. The harmful compounds including CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and heavy metals, results from fuel combustion necessary to cover the heat demand for the house in the single installation of combustion. The impact on human health and crops was also examined. Influence on this factors was caused by producing energy requirement to cover analyzed building needs. The required energy is generated by CHP plant. EcoSense Web software were used to estimate the negative effects of the emission of pollutants. The value of damages is expressed by monetary costs as the cost of coverage or repair the damage. The analysis of external environmental costs was made for Poland with the distinction of the losses in Polish vicinity and the damage caused by all other analyzed areas.