



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

INSTYTUT ARCHITEKTURY I PLANOWANIA PRZESTRZENNEGO
WYDZIAŁ ARCHITEKTURY
POLITECHNIKA POZNAŃSKA

Rozprawa doktorska

**Wpływ źródła ciepła i sposobu wentylacji na
architekturę mieszkalną**

Autor:
mgr inż. arch. Aneta Biała

Promotor:
dr hab. inż. arch. Jerzy Suchanek, prof. PP

POZNAŃ 2022

Streszczenie:

Słowa kluczowe: architektura mieszkalna, źródło ciepła, wentylacja, efektywność energetyczna, komfort użytkownika

Tematem rozprawy jest zbadanie wpływu najczęściej stosowanych źródeł ciepła i systemu wentylacji na architekturę mieszkalną. Elementem badań było zebranie informacji na temat dostępnych obecnie źródeł ciepła i wykorzystanie badań jakościowych POE w celu identyfikacji najbardziej korzystnych systemów pod względem komfortu użytkownika w ocenie mieszkańców. Kolejnym etapem była ich selekcja pod względem nowych przepisów dotyczących efektywności energetycznej, w szczególności dotyczącej identyfikacji przyszłościowych rozwiązań w tym zakresie, spełniających obecne i przyszłe wymagania stawiane architekturze. Istotą pracy było sprecyzowanie koniecznych zmian w kształtowaniu architektury mieszkaniowej wynikającej bezpośrednio z zastosowanego w niej źródła ciepła i systemu wentylacji.

Badania w tym temacie pozwoliły na postawienie następującej tezy:

Źródło ciepła jest istotnym parametrem wpływającym na współczesną architekturę mieszkaniową.

Badania wykazały, iż zarówno źródło ciepła, jak i system wentylacji stanowią ważny element kształtujący współczesną architekturę mieszkaniową. Wybór konkretnego systemu wiązać się będzie z projektowaniem budynku o odpowiedniej zwartości, szczelności i izolacyjności przegród budowlanych. Coraz większe znaczenie stanowią odnawialne źródła energii a przyszłościowym paliwem grzewczym spełniającym zarówno warunki efektywności energetycznej, jak i zapewniający odpowiedni komfort użytkowników jest pompa ciepła.

Abstract

Keywords: residential architecture, heat source, ventilation, energy efficiency, user comfort

The subject of the research is to examine the impact of the most commonly used heat sources and ventilation systems on residential architecture. An element of the research was to collect information on currently available heat sources and to use POE qualitative research to identify the most favorable systems in terms of user comfort in the opinion of residents. The next step was to select them in terms of new regulations on energy efficiency, in particular regarding the identification of future solutions in this area, meeting the current and future requirements for architecture. The essence of the work was to specify the changes in the shaping of residential architecture resulting directly from the heat source and ventilation system used in it.

Research on this topic allowed for the following thesis:

The heat source is an important parameter influencing the modern residential architecture.

Research has shown that both the heat source and the ventilation system are an important element shaping modern residential architecture. The selection of a specific system will involve designing a building with appropriate compactness, tightness and insulation properties of building partitions. Renewable energy sources are becoming more and more important, and a heat source of the future, which meets both the conditions of energy efficiency and ensuring adequate comfort for users, is a heat pump.

Spis treści

CZEŚĆ I.....	7
1 WSTĘP	8
1.1. Wprowadzenie.....	8
1.2. Uzasadnienie podjęcia tematu.....	9
1.3. Cele pracy i pytania badawcze	11
1.4. Teza pracy	14
1.5. Metoda i schemat pracy	14
CZEŚĆ II.....	16
2 AKTUALNY STAN WIEDZY	17
2.1 Kształtowanie architektury w zakresie źródeł ciepła.....	17
2.2 Ewolucja wymagań dotyczących efektywności energetycznej budownictwa....	27
2.3 Zmiany w zakresie efektywności energetycznej	29
2.4 Przegląd dostępnych źródeł ciepła w historii budownictwa	36
2.4.1 Konwencjonalne źródła ciepła	37
2.4.2 Niekonwencjonalne źródła ciepła	41
2.5 Wymiana powietrza w budynkach.....	47
2.6 Wpływ wentylacji na zużycie energii i architekturę obiektu.....	50
2.7 Komfort użytkownika budynków mieszkalnych	56
2.8 Metoda badawcza - badania jakościowe w budynkach mieszkaniowych	60
2.9 Słownik pojęć	64
CZEŚĆ III.....	66
3 KOMFORT UŻYTKOWNIKA.....	67
3.1 Schemat i metoda badań	67
3.2 Badania grupowe	67
3.3 Pogłębiony wywiad indywidualny.....	87
3.4 Podsumowanie	90
4 MODEL OCENY BUDYNKÓW I WALIDACJA DOŚWIADCZALNA.....	93
4.1 Wybór metody modelowania.....	93
4.1.1 Model obliczeniowy	95
4.2 Źródło ciepła	102
4.2.1 Wartość wskaźnika EP w zależności od wariantu budynku	106
4.2.2 Wartość wskaźnika EP dla gazu ziemnego.....	111
4.2.3 Wartość wskaźnika EP dla węgla brunatnego	112
4.2.4 Wartość wskaźnika EP dla biomasy	113
4.2.5 Wartość wskaźnika EP dla pompy ciepła	114

4.4.6 Wartość wskaźnika EP dla ogrzewania elektrycznego	115
4.4.7 Wpływ zastosowania paneli fotowoltaicznych na wartość wskaźnika EP	115
4.4.8 Wpływ lokalizacji na wartość wskaźnika EP	119
4.4.9 Wpływ rodzaju pompy ciepła na wartość wskaźnika EP	121
4.3 Wentylacja obiektu	124
4.4 Podsumowanie części instalacyjnej	127
4.5 Izolacja cieplna budynku	131
4.5.1 Wpływ współczynnika przenikania ciepła U na zużycie energii	134
4.6 Architektura obiektu – współczynnik kształtu A/V	147
4.7 Szczelność obiektu.....	162
4.8 Podsumowanie części architektonicznej.....	164
5 UWARUNKOWANIA TECHNICZNE ŹRÓDEŁ CIEPŁA W ARCHITEKTURZE	166
5.1 Wpływ źródeł ciepła na układ funkcjonalny budynku	169
5.1.1 Uwarunkowania techniczne dotyczące kotłowni na biomasę.....	170
5.1.2 Uwarunkowania techniczne dotyczące kotłowni na pompę ciepła	178
5.1.3 Uwarunkowania techniczne dotyczące kotłowni gazowej	188
5.2 Uwarunkowania techniczne dotyczące wentylacji obiektu	198
5.3. Aktualne tendencje kształtowania pomieszczeń technicznych w architekturze mieszkaniowej	202
5.4 Podsumowanie	214
CZĘŚĆ IV.....	215
6 OCENA I PODSUMOWANIE WYNIKÓW BADAŃ.....	216
7 WNIOSKI KOŃCOWE.....	225
8 BIBLIOGRAFIA	230
Spis literatury	230
Źródła internetowe:	236
Spis ilustracji.....	237
Spis wykresów	243
Spis tabel	247
ZAŁĄCZNIKI.....	249
Załącznik nr 1 - Ankieta	250

WYKAZ SKRÓTÓW I OZNACZEŃ

A	Powierzchnia przegród oddzielających budynek od środowiska zewnętrznego i części nieogrzewanej
A/V_e	Współczynnik kształtu liczony po wymiarach zewnętrznych
A_f	Powierzchnia użytkowa ogrzewana budynku lub lokalu
A_g	Powierzchnia zabudowy
A_p	Powierzchnia powierzchni przezroczystych
$A_{w,e}$	Powierzchnia ścian zewnętrznych
c.o	Instalacja centralnego ogrzewania
c.w.u	Instalacja ciepłej wody użytkowej
COP	Współczynnik wydajności pompy ciepła
EK	Wskaźnik na zapotrzebowanie na energię końcową
EP	Wskaźnik na zapotrzebowanie na energię pierwotną
EU	Wskaźnik na zapotrzebowanie na energię użytkową
HVAC	System ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji
L_A	Poziom ciśnienia akustycznego przy odbiorniku
L_{WA}	Poziom mocy akustycznej źródła dźwięku
nZEB	Budynek zero energetyczny
η_{tot}	Sprawność całkowita systemu c.o i c.w.u
OZE	Odnawialne źródła energii
POE	Post Occupancy Evaluation
P_u	Powierzchnia użytkowa
PV	Instalacja fotowoltaiczna
Q	Współczynnik kierunkowości
Q_{hnd}	Zapotrzebowanie na energię końcową
r	Odległość odbiornika od źródła dźwięku
R	Opór cieplny przegród budowlanych
U_{max}	Maksymalny współczynnik przenikania ciepła przegród budowlanych
UE	Unia Europejska
w_i	współczynnik nakładu instalacji na pokrycie strat systemu ogrzewczego
V_e	Kubatura
V_f	Kubatura przestrzeni ogrzewanej
+ZEB	Budynek plus energetyczny
λ	Współczynnik przewodzenia ciepła

Część I

1 WSTĘP

1.1. Wprowadzenie

Wraz z biegiem czasu i rozwojem technologicznym, społeczeństwo staje się coraz bardziej wymagające w różnych aspektach życia. Coraz ważniejsze jest stworzenie miejsca bezpiecznego, zapewniającego godne warunki życia i spełniające wszystkie potrzeby jej użytkowników. Potrzeby ludzkie są bardzo zróżnicowane i zależą od wielu czynników. Poczucie bezpieczeństwa i przynależności miejsca znajdują się na szczycie potrzeb ludzkich niezależnie od wieku jednostki czy grupy społecznej. Architektura mieszkaniowa powstała, aby spełniać te potrzeby, dlatego tak ważna jest w strukturze naszego społeczeństwa.

Obiekty mieszkaniowe stanowią większość zabudowy zarówno w miastach, jak i na wsi¹. Jest to bowiem podstawowy element architektoniczny obszarów zurbanizowanych. Ze względu na kluczową rolę tych obiektów na rozwój społeczny i ekonomiczny krajów należałoby spojrzeć szerzej na problem wyboru źródła ciepła i zużycia energii cieplnej w tym środowisku. Architektura mieszkaniowa jest najprężniej rozwijającym się segmentem budowlanym, a zarazem jednym z większych konsumentów energii, które w okresie eksploatacji zużywają blisko 40% całkowitego rocznego zużycia energii². W 2020 roku w Polsce oddano do użytkowania o 8,2% więcej budynków mieszkalnych niż rok wcześniej, z czego w 96,8% to budynki jednorodzinne³, które stały się przedmiotem poniższych badań. Coraz bardziej restrykcyjne przepisy w temacie energooszczędności napędzają rozwój nowych technologii pozwalających na wznoszenie budynków o coraz niższym zużyciu energii, co czyni je prawie neutralnymi dla środowiska. Odpowiednie projektowanie i wykorzystywanie właściwych narzędzi i materiałów pozwala w znaczący sposób obniżyć zapotrzebowanie na energię, utrzymując komfort cieplny mieszkańców.

Obecnie widać inne podejście w projektowaniu architektury mieszkaniowej. Przełamana została bariera typowego domu mieszkalnego. Powstają nowe obiekty, całkowicie łamiące powszechnie stosowane zasady, a stare budynki coraz częściej są modernizowane. Aby dom mieszkalny stał się dobrze funkcjonującą całością, powinien powstać na bazie ściśle określonych norm i standardów. Z danych statystycznych⁴ wynika, że około 90% zamieszkałych budynków mieszkalnych jednorodzinnych powstało przed 2000 rokiem, z czego 70% cechuje się bardzo niskimi standardami w zakresie jakościowym i energetycznym. Budynki powstające po 2020 roku muszą natomiast cechować się prawie zerowym zużyciem energii, skutkiem czego występuje duża dysproporcja pomiędzy nowoprojektowanymi obiektami a tymi istniejącymi.

¹ Bradecki T., Twardoch A., *Współczesne kierunki kształtowania zabudowy mieszkaniowej*, Monografia, Politechnika śląska, Gliwice 2013

² Francik S., Frączek J., Ślipek Z., *Preferencje wyboru źródła ciepła dla indywidualnych budynków mieszkalnych*, Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe > 2012 > R. 13, nr 10 s. 188

³ Efekty działalności budowlanej w 2020 r., Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Warszawa 2021, s14.

⁴ Efektywność energetyczna w Polsce przegląd 2015, Instytut Ekonomii Środowiska, Kraków 2016 s. 51.

Blisko połowa potrzeb paliwowo energetycznych w sektorze budownictwa zużywana jest w celu zapewnienia komfortowych dla użytkowników parametrów środowiska wewnętrznego. Zapotrzebowanie to ciągle rośnie, poprzez coraz wyższe wymagania w budownictwie, jak i samych użytkowników. Obecnie wysoka efektywność energetyczna jest priorytetem w budownictwie⁵. Pozwala ona nie tylko ograniczyć koszty eksploatacyjne obiektu, ale również ograniczyć niekorzystny wpływ budynku na środowisko. Znacznych nakładów energetycznych w dalszym ciągu wymaga działanie systemów ogrzewania i wentylacji ogólnej, która to pozwala kształtować środowisko wewnętrzne. Ich prawidłowy dobór w budownictwie mieszkaniowym wymaga zarówno od projektanta, jak i użytkowników znajomości zasad ich działania oraz różnych metod ich usprawniania.

Pierwszym etapem podjętych przez autorkę badań jest przegląd literatury dotyczącej dostępnych obecnie na rynku źródeł ciepła na cele grzewcze oraz sposobu wentylacji obiektu, oraz przeprowadzenie badań jakościowych w formie ankiety wśród użytkowników budynków mieszkalnych dotyczących preferowanego przez nich źródła ciepła. Na tej podstawie starano się sprawdzić, z jakich przyczyn wybierają oni konkretne rozwiązania i jakie one mają wpływ na komfort użytkownika budynku. Na tej podstawie wybrano konkretne typy źródeł ciepła do dalszej analizy energetycznej dla obranych wcześniej modeli domów mieszkalnych. Analiza opierać się będzie na sprawdzeniu, które źródła ciepła w połączeniu z wybranym sposobem wentylacji będą w stanie spełnić wymagania stawiane budynkom w ramach certyfikatu charakterystyki energetycznej budynku i określonego w nim maksymalnego wskaźnika energii pierwotnej (EP) obowiązującego od 2021 roku. Kluczowym etapem badań było sprawdzenie bezpośredniego ich wpływu na architekturę obiektu w tym technicznych wymagań usytuowania urządzeń technicznych i związanych z tym ograniczeń.

1.2. Uzasadnienie podjęcia tematu

Przestrzenie miejskie w większości składają się z terenów przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową⁶. Ze względu na ciągły niedosyt ilościowy mieszkań, budownictwo mieszkaniowe jest w ciągłym, intensywnym rozwoju. Nie przekłada się jednak na poprawę jakości środowiska mieszkaniowego w zakresie energetycznym. Istnieje wiele projektów gotowych domów jednorodzinnych, jednakże tworzone są one na ogół bez analizy aktualnych potrzeb użytkownika. W większości liczy się ilość, a nie jakość. Jest to jedyny typ budynku, w którym istnieje aż tak duża dowolność możliwych rozwiązań i brak sprecyzowanych wymagań jakościowych dotyczących środowiska wewnętrznego. Wynika to głównie z indywidualnego podejścia do budynków. Obiekty mieszkaniowe jednorodzinne są w większości przypadków budowane, jak i użytkowane przez indywidualnych inwestorów. Architekci projektując domy jednorodzinne dostosowują je do upodobań i potrzeb danych użytkowników. Istnieje wiele czynników, które mają wpływ na ostateczny kształt projektu. Projekty przede wszystkim dostosowywane są układem funkcjonalnym do potrzeb i wielkość rodziny. Wielkość budynku uwarunkowana jest głównie powierzchnią i lokalizacją działki, natomiast sama architektura wynika z upodobań inwestora i przede wszystkim jego funduszy. O ile architektura jest kwestią indywidualną każdej osoby i możliwość jej tworzenia jest nieograniczona, inaczej to wychodzi w przypadku instalacji wewnętrznych. Każdy

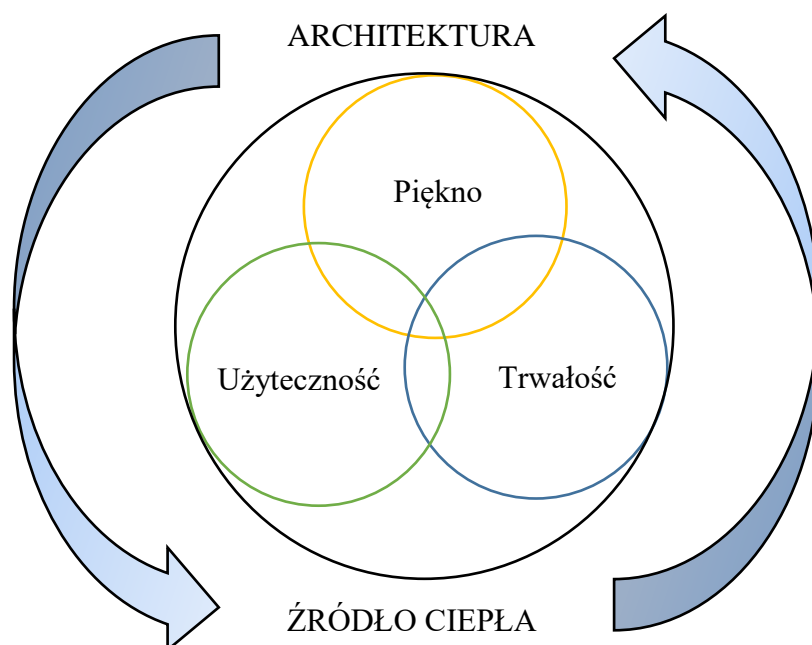
⁵ Gollinger-Tarajko M., *Wzrost efektywności energetycznej w budownictwie jako kryterium poprawy jakości życia i środowiska*, Quarterly Journal – No 2/2016 (17) s.137

⁶ Bradecki T., Twardoch A., *Współczesne kierunki kształtowania zabudowy mieszkaniowej*, Monografia, Politechnika Śląska, Gliwice 2013 s.5

użytkownik obiektu dąży bowiem do uzyskania komfortu cieplnego, za który w głównej mierze odpowiadają instalacje ogrzewania i wentylacji, w których wybór możliwości jest ograniczony.

Projektując swój wymarzony dom, każdy skupia się na każdym, nawet niewielkim szczególe, aby każdy zakątek domu spełniał jego oczekiwania. Inwestor skupia się na podstawowych rzeczach, takich jak ilość i rozkład pomieszczeń. Zadaniem architekta jest zebranie wszystkich danych, przeanalizowanie ich i stworzenie na ich podstawie całości. W tym aspekcie architekt ma pełną dowolność. Oprócz nielicznych wymogów w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury⁷ i wymogów Prawa Budowlanego⁸ każdy budynek mieszkaniowy można projektować w całkowicie dowolny sposób. Wiele godzin spędzonych na projektowaniu i konsultowaniu założeń z inwestorem ostatecznie owocuje teoretycznie idealnym projektem domu. Mniejszą uwagę poświęca się natomiast wyborze źródła ciepła czy sposobie wentylacji obiektu.

Do 2020 roku wybór zarówno metody wentylacji obiektu, jak i źródła ciepła w budynkach mieszkalnych zależał w głównej mierze od indywidualnych preferencji użytkownika. Wybór odpowiedniego systemu wentylacji leży pomiędzy wentylacją naturalną, mechaniczną lub hybrydową i jest on całkowicie dowolny. W zakresie źródła ciepła inwestor do tej pory mógł zdecydować się zarówno na źródła konwencjonalne takie jak, paliwa kopalne, węgiel czy gaz, jak i niekonwencjonalne, czyli odnawialne źródła energii (OZE). W tym przypadku w pierwszej kolejności decydowały możliwości przyłączenia konkretnych źródeł bądź uwarunkowania prawne. W duchu słynnej teorii Witruwiusza dotyczącej architektury, która polega na zachowaniu triady: trwałości (Firmitas), użyteczności (Utilitas) i piękna (Venustas)⁹ należy zwrócić uwagę aby w nowoczesnym projektowaniu obiektów mieszkalnych wybierać takie systemy, które są trwałe i komfortowe w użytkowaniu, a jednocześnie wpływają korzystnie na architekturę obiektu zachowując jej piękno, a celem pracy jest ich identyfikacja.



Ilustracja 1. Słynna triada Witruwiusza dotycząca architektury [opracowanie własne].

⁷ Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 2002, nr 75, poz. 690), z późniejszymi zmianami

⁸ Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane (Dz. U. z 2021 r. poz. 2351 z późn. zm.)

⁹ Witruwiusz P., *O architekturze ksiąg dziesięć*, Pruszyński S-ka, Warszawa, 2004

1.3. Cele pracy i pytania badawcze

W dziedzinie architektury systemy ogrzewania i wentylacji kojarzone są głównie z elementem koniecznym, ale mało istotnym, szczególnie w budownictwie mieszkaniowym. Podczas gdy rodzaj zastosowanego źródła ciepła i wentylacji w sposób istotny wpływa na funkcjonowanie budynku jako całości, zwłaszcza w aspekcie jakości powietrza, komfortu termicznego czy zużycia energii wraz z kosztami utrzymania obiektu co bezpośrednio wpływa na komfort jego użytkowania (Ilustracja 2). Celem pracy jest w pierwszej kolejności zbadanie komfortu użytkowania obiektów mieszkalnych pod względem wybranego źródła ciepła oraz zastosowanego systemu wentylacji ogólnej w porównaniu z efektywnością energetyczną. Otrzymane wyniki staną się podstawą do kluczowej analizy wpływu konkretnych źródeł ciepła na aspekty architektoniczne budownictwa mieszkalnego.



Ilustracja 2. Elementy wpływające na komfort użytkowania [opracowanie własne].

Obecnie jako źródła ekologiczne uznawane są przede wszystkim odnawialne źródła energii, ciepło sieciowe, jak również ogrzewanie gazowe. Według danych statystycznych około 40 % gospodarstw domowych ogrzewanych jest za pomocą ciepła sieciowego, natomiast pozostałe z indywidualnych źródeł energii, z czego marginalny procent stanowią źródła OZE¹⁰. Duża dysproporcja w tym zakresie wynika przede

¹⁰ Efektywność działalności budowlanej w 2020 r., Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Warszawa 2021 s33.

wszystkim z lokalizacji i dostępności surowców. W miastach z bardzo dobrze rozwiniętą siecią grzewczą dominuje ciepło sieciowe i to głównie w budownictwie wielorodzinnym. Budynki jednorodzinne w 45% ogrzewane są w dalszym ciągu węglem. Bezpośredni wpływ ma na to struktura polskiej wsi, w której występują przeważnie budynki jednorodzinne powstałe przed 1995 rokiem, których źródło ciepła nie uległo modernizacji¹¹. Wraz z wprowadzeniem obostrzeń w zużyciu energii, statystyki te powoli ulegają polepszeniu, co widać przede wszystkim w aktualnie wybieranych źródłach ciepła. W 2019 roku w budynkach mieszkalnych niepodłączonych do ciepła sieciowego najpopularniejszym wyborem było ogrzewanie gazowe, na które zdecydowało się prawie 63% inwestorów. W porównaniu z pozostałymi źródłami konwencjonalnymi uznawane jest ono za źródło ekologiczne poprzez zmniejszoną emisję spalin do środowiska i wysoką sprawność. W międzyczasie powstało również wiele programów dofinansowania wymiany starych, nieefektywnych pieców węglowych oraz opalanych drewnem na źródła niskoemisyjne, z czego około 43% stanowiły właśnie kondensacyjne kotły gazowe.

Obecne budownictwo zgodnie z aktualnymi warunkami¹² musi cechować się dobrą izolacyjnością termiczną zarówno przegród budowlanych, jak i stolarki okienneo-drzwiowej. Zabieg ten ogranicza w znaczący sposób straty ciepła przez przenikanie, jednakże wpływa negatywnie na wymianę powietrza w obiekcie¹³. Skuteczna wentylacja jest niezbędnym elementem budynków, ponieważ odpowiada za dostarczenie świeżego powietrza do budynku, zdrowie i komfort użytkowników oraz chroni przed syndromem chorego budynku¹⁴. Aby utrzymać ją na wymaganym poziomie, zapewniając tym samym komfort cieplny użytkownikom, należy stosować odpowiednie systemy usprawniające jej pracę. Większość domów jednorodzinnych wyposażona jest w wentylację grawitacyjną, która opiera się na wykorzystaniu szczelności w stolarence okiennej do zapewniania świeżego powietrza. W nowoczesnych budynkach, są one natomiast ograniczone do minimum, co czyni wentylację grawitacyjną nieskuteczną¹⁵. Koniecznością stało się w tym wypadku stosowanie dodatkowych elementów nawiewnych, niestety często pomijanych podczas budowy nowych obiektu lub tych modernizowanych. W kontekście energetycznym istotną zaletą wentylacji mechanicznej jest możliwość odzysku ciepła z powietrza usuwanego, co w sposób znaczący ogranicza zużycie energii.

Głównym celem pracy jest synteza i systematyka wiedzy na temat zagadnień związanych z architekturą w powiązaniu ze źródłem ciepła i systemem wentylacji – ich funkcją, sposobem postrzegania i odbiorem ze strony użytkowników, wzajemnymi zależnościami między efektywnością energetyczną budynku, a zastosowanym źródłem ciepła i systemem wentylacji oraz zwrócenie uwagi na złożoność tej problematyki. Przedmiotem analizy jest również zbadanie, co wpływa na podjęcie decyzji w kwestii wyboru źródła ciepła i rodzaju wentylacji przez użytkowników i jakie ma to przełożenie

¹¹ Zamieszkane budynki - Narodowy Spis Powszechny Ludności i Mieszkań 2011, Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Warszawa 2013,

¹² Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 2002, nr 75, poz. 690), z późniejszymi zmianami

¹³ Gaczoł T., *Wentylacja naturalna systemy nawiewu – wybrane przykłady*, Czasopismo Techniczne Architektura, z. 10, z. 4-A, 2007.

¹⁴ Syndrom chorego budynku (z ang. sick building syndrome w skrócie SBS) definiowany jest jako zespół dolegliwości zdrowotnych pojawiający się w czasie przebywania w konkretnym miejscu (budynku). Przyczyna związana jest bezpośrednio z klimatem wewnętrznym, a pośrednio z wadami konstrukcyjnymi danego budynku

¹⁵ Firląg S., Miszczuk A., *Efektywność działania wentylacji naturalnej i możliwości jej usprawnienia*, Rynek Instalacyjny 6/2016.

na późniejszą ich użyteczność i zadowolenie z wybranego rozwiązania poprzez zastosowanie metody POE. Znaczenie problematyki badawczej wynika z potrzeby poprawy jakości rozwiązań architektonicznych w obiektach mieszkalnych. Waga problemu związana jest z możliwościami uzyskania korzyści dla obiektów tego typu, poprzez wykorzystanie metody POE we wczesnej strefie fazy planowania architektonicznego.

Autorka pracy zwróciła uwagę na bardzo szeroko rozumianą tematykę pracy i bardzo ograniczony zakres badań skupiający się w większości na tylko jednym wybranym aspekcie. W dużej mierze badacze analizowali efektywność źródeł ciepła dla jednego wariantu budynku jednorodzinny lub wielorodzinny. Często ograniczając się również do wybranych wariantów ogrzewania, niekoniecznie popularnych w badanym przez autorkę budownictwie jednorodzinnym. W nielicznych publikacjach można odnaleźć powiązanie efektywności energetycznej źródeł ciepła z aspektem architektonicznym co uznane zostało za wartą uzupełnienia luką badawczą.

Celem niniejszej pracy jest:

- A. Zbadanie stopnia zadowolenia mieszkańców z zastosowanego źródła ciepła i jego wpływu na komfort użytkownika poprzez zastosowanie metody badań jakościowych POE.
- B. Zbadanie efektywności energetycznej wybranych źródeł ciepła i systemów wentylacji obiektów mieszkaniowych.
- C. Analiza wpływu konkretnego źródła ciepła na kształtowanie architektury mieszkaniowej.

Zakres pracy obejmuje:

- A. Przegląd literatury podstawowej i uzupełniającej dotyczącej dostępnych źródeł ciepła, systemów wentylacji oraz badań jakościowych POE w architekturze mieszkaniowej.
- B. Zbadanie stopnia zadowolenia użytkowników i ich oczekiwań dotyczących źródła ciepła i sposobu wentylacji obiektów mieszkaniowych.
- C. Analizę wpływu aspektów architektonicznych i instalacyjnych na wielkość zużywanej przez budynek energii pierwotnej wykorzystując wskaźnik EP.
- D. Analizę otrzymanych wyników i dalszą analizę wpływu rozwiązań architektonicznych na obniżenie wskaźnika EP i możliwość zastosowania konkretnego źródła.
- E. Opracowanie całościowych wyników uzyskanych badań.

W pracy postawiono następujące pytania badawcze:

- A. Czy źródło ciepła jest istotnym parametrem mającym wpływ na kształtowanie się architektury mieszkaniowej?
- B. Czy zmiana w wymaganej efektywności energetycznej budownictwa mieszkalnego wpłynie na dostępność źródeł ciepła i systemu wentylacji w budownictwie mieszkalnym i jak to wpłynie na decyzje inwestycyjne użytkowników?

1.4. Teza pracy

Według przytoczonych wyżej statystyk wśród użytkowników budynków mieszkalnych widać obecnie tendencję wyboru tańszych w eksploatacji źródeł ciepła. Za takie źródło uznawane jest również konwencjonalne ogrzewanie gazowe, które dominuje w nowoprojektowanych budynkach. W pracy starano się dowieść, że źródło ciepła jest kluczowym elementem kreującym nowoczesną architekturę mieszkaniową, a jego wybór wiązać się będzie z zastosowaniem konkretnych rozwiązań architektoniczno - instalacyjnych.

W pracy postawiono więc następującą tezę:

Źródło ciepła jest istotnym parametrem wpływającym na współczesną architekturę mieszkalną.

W celu potwierdzenia postawionej w pracy tezy skupiono się na udowodnieniu, iż wybór ciepła powinien opierać się na ocenie uwzględniającej zarówno spełnienie aktualnych wymagań efektywności energetycznej bazując na wskaźniku EP, ale również komfort użytkownika. Badania mają wykazać, że wybór źródła ciepła jest aktualnie mocno ograniczony i wymagać będzie zmiany w kształtowaniu architektury mieszkaniowej w różnych jej aspektach. Tym samym rolą architekta jest wykorzystanie badań jakościowych do kształtowania świadomości użytkownika na temat zaproponowanych w obiekcie rozwiązań.

1.5. Metoda i schemat pracy

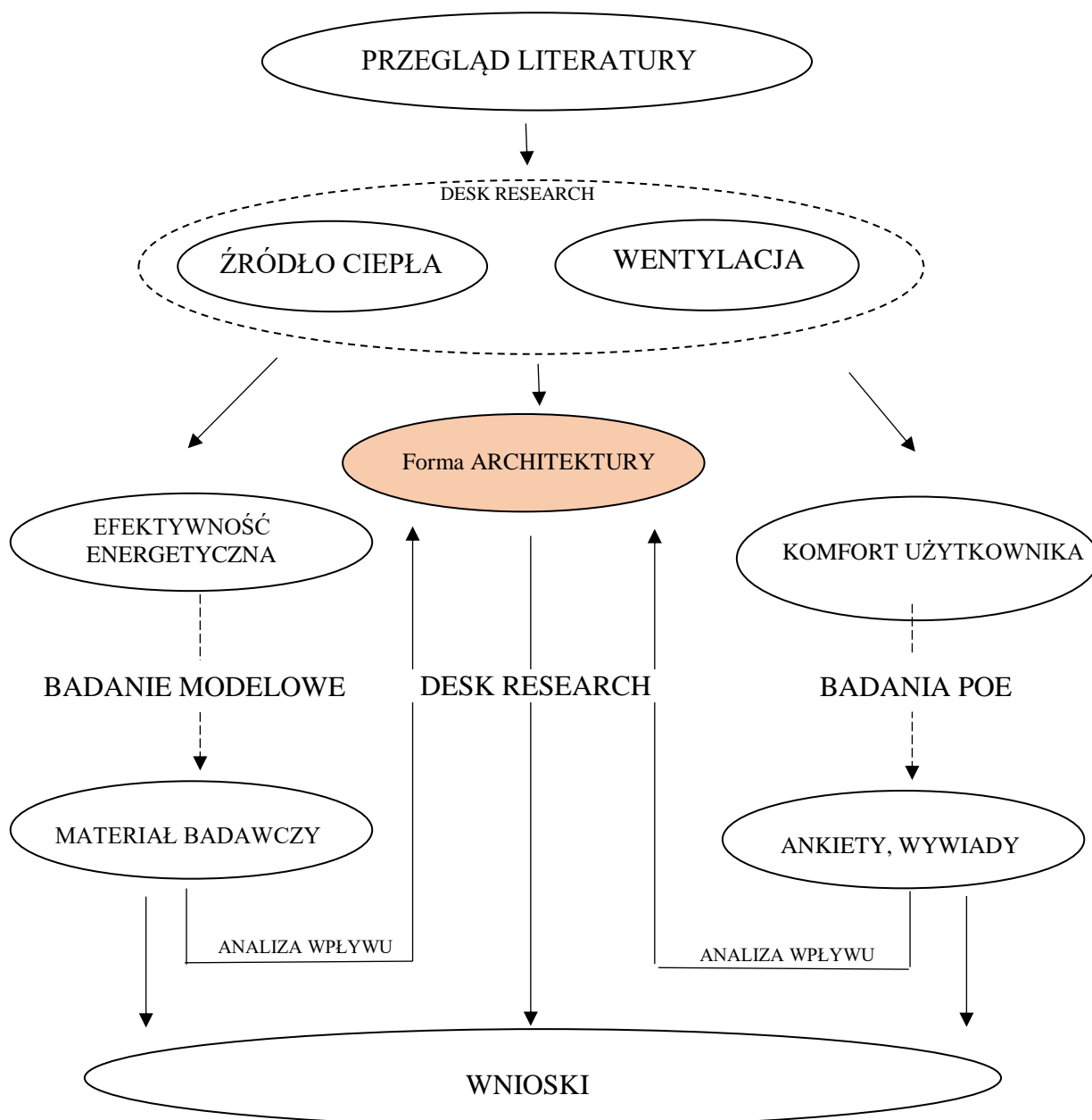
Problem badawczy stanowi odczytanie i definiowanie współczesnej architektury obiektów mieszkaniowych w kwestiach źródła ciepła i wentylacji, która będzie zbierała pozytywne opinie wśród użytkowników pod względem komfortu użytkowania. Do realizacji głównych badań zastosowano metodę *desk research* (badania literaturowe) oraz *walidację doświadczalną* za pomocą specjalistycznego programu do obliczeń zapotrzebowania na energię dla budynków poprzez generowanie projektowanej charakterystyki energetycznej – Arcadia Thermocad.

Praca zawiera 7 kluczowych rozdziałów, z czego pierwszy jest wprowadzeniem do tematyki pracy i przedstawione są w nim główne jej założenia. W rozdziale 2 przedstawiono aktualny stan wiedzy oraz aktualne i historyczne wymagania dotyczące budownictwa mieszkaniowego w zakresie architektury i efektywności energetycznej w powiązaniu z dostępnymi źródłami ciepła i systemami wentylacji. Rozdział 3 przedstawia wyniki badań jakościowych przeprowadzonych na użytkownikach obiektów mieszkalnych i ich ocenę wybranych źródeł ciepła i systemów wentylacji. Skupiono się na zbadaniu motywów wyboru konkretnych aspektów technologicznych, stopienia zadowolenia z tych rozwiązań z perspektywy czasu i ich wpływu na komfort użytkowania. W rozdziale 4 przedstawiono badania i analizy autorki dotyczące wpływu wybranych źródeł ciepła w powiązaniu z systemem wentylacji na wartość wskaźnika EP dla budynków jednorodzinnych. Wyniki badań stały się bazą do zdefiniowania modelu budynku pod względem najkorzystniejszego źródła ciepła i systemu wentylacji o zadanych parametrach spełniających kryteria zużycia energii pierwotnej w obecnym standardzie energooszczędnym. W kolejnym rozdziale na podstawie zebranych danych przeanalizowano za pomocą metody *desk research* uwarunkowania techniczne wybranych źródeł ciepła i ich bezpośredni wpływ na architekturę obiektu. W rozdziale 6 zawarto podsumowanie przeprowadzonych badań obejmujące ogólną ocenę

wielokryterialną analizowanych wariantów w zdefiniowanej przez autorkę własnej skali, co pozwoliło na sformułowanie wniosków końcowych, ujętych w rozdziale 8.

Przyjęto następujące metody badawcze:

1. **Badania literaturowe obejmujące pozycje książkowe i artykuły, dzienniki ustaw, ekspertyzy, opinie, analizy dokumentacji projektowych - *desk research***
2. **Badania modelowe - wykorzystujące programy do obliczenia zużycia energii przez obiekty – *Arcadia Thermocad***
3. **Badania ankietowe i wywiady – badania jakościowe - *Post Occupancy Evaluation***



Ilustracja 3. Schemat i metoda pracy [opracowanie własne].

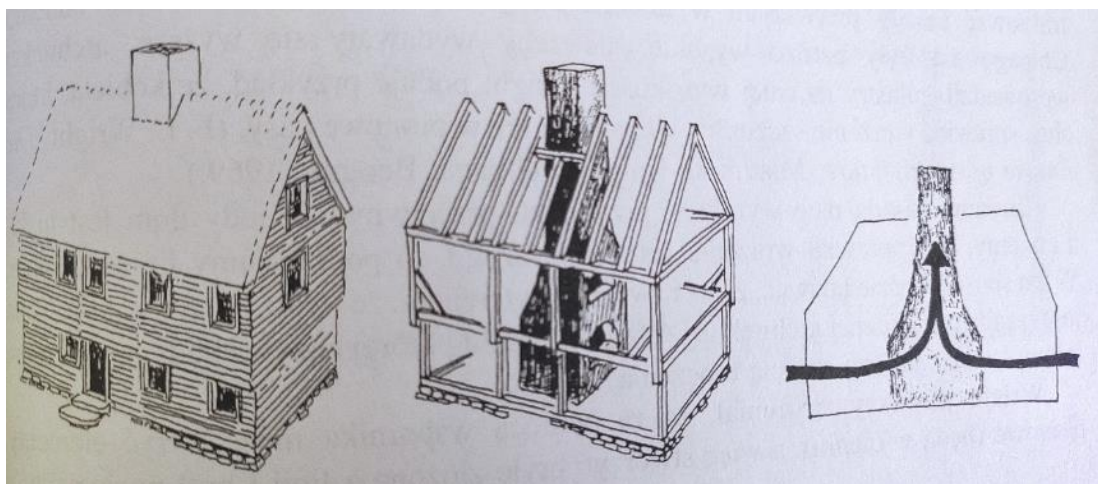
Część II

2 AKTUALNY STAN WIEDZY

2.1 Kształtowanie architektury w zakresie źródeł ciepła

W obecnych czasach kluczem do osiągnięcia zrównoważonego rozwoju w architekturze jest zapewnienie równowagi pomiędzy człowiekiem, budynkiem a środowiskiem naturalnym. Zarówno kształt budynku, wykorzystane materiały, jak i zastosowane systemy grzewcze i wentylacyjne pełnią w tym kluczową rolę. Wraz z pojawieniem się urządzeń mechanicznych kształtujących środowisko wewnętrzne w budynku pojawiła się konieczność zmian w kształtowaniu architektury. Z jednej strony wynikało to z konieczności zapewnienia dodatkowego miejsca na urządzenia i bezpośrednio związane z tym zmiany w układzie konstrukcyjnym budynku a z drugiej większej swobody w kształtowaniu samej architektury.

Ogień dający ciepło od czasów prehistorycznych był podstawą organizacji życia społecznego. Jego opanowanie i wprowadzenie do wnętrza schronienia było kluczowe do dalszego rozwoju społeczeństwa. Z początku konstrukcje domów były bardzo prymitywne bez śladów instalacji ogrzewczych czy wentylacyjnych¹⁶. Główną techniką grzewczą od zarania dziejów był tradycyjny kominek opalany węglem lub drewnem. W celu polepszenia ich działania zaczęto dodawać kominy, jednakże jeszcze w XVI w. znajomość warunków ich działania była ciągle powierzchowna. Coraz większym problemem w budownictwie stawało się skuteczne usunięcie zanieczyszczeń wytworzonych w kominku.



Ilustracja 5. Historyczne budownictwo mieszkalne z centralnym kominkiem [Źródło: Ballenstedt J. *Architektura. Historia i teoria*. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa – Poznań 2000 s. 425]

¹⁶ Ballenstedt J. *Architektura. Historia i teoria*. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa – Poznań 2000 s. 74

Od samego początku nieodzowną częścią systemu grzewczego były kominy. Z elementu koniecznego i starannie ukrywanego na antycznych dachach stały się ważnym detalem architektonicznym kształtującym sylwetkę średniowiecznych dachów. Ich szczególną supremację widać we francuskiej architekturze dworskiej w okresie renesansu. Niestety w niektórych przypadkach fantazyjnie zdobione kominy zaczęły dominować nad elewacją budynku co wywoływało brak spójności i niepokój w jego odbiorze, czego przykładem jest francuski zamek Château Chambord¹⁷.



Ilustracja 6. Francja. Zamek Château Chambord. [Źródło: <http://adventum.com.pl/2018/09/03/chambord-francja-i-jej-najpiekniejszy-zamek-nad-loara/>, dostęp: 30.03.2022r]

W zabudowie mieszkalnej natomiast charakter kominów miał na ogół spokojny charakter. W Polsce przybierały one w większości prostą i skromną formę niewyróżniająca się na tle obiektu. Jednakże jako, że pełnią one ważną rolę w odbiorze całościowym budynku, powinny spójnie komponować się z zastosowanym przez architekta stylem. W tym wypadku warto zwrócić uwagę na projekt Casa Mila czy Casa Batlo Gaudiego, gdzie kominy wentylacyjne spójnie komponowały się z secesyjną architekturą obiektu.

¹⁷ Gaczoł T., *Komin jako detal architektoniczny - wybrane przykłady*, Czasopismo Techniczne. Architektura, 2011, R. 108, z. 2-A/1 s.47-55



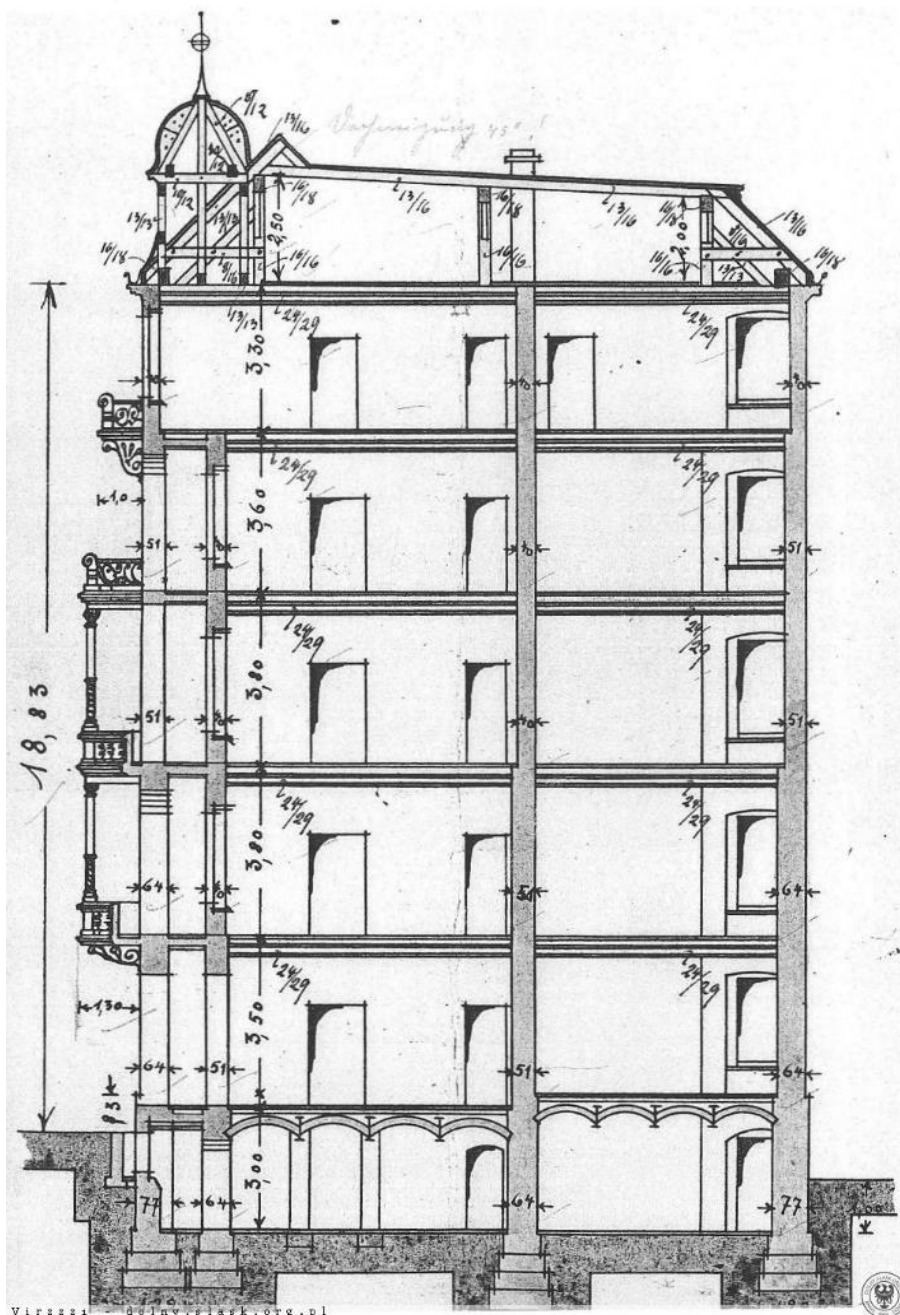
Ilustracja 7. Casa Batlló [źródło: <https://www.travelingwithaga.com/must-see-gaudi-buildings-in-barcelona/>, dostęp 30.03.2022r]

W obecnych czasach z kolei są one na ogół starannie chowane, a ich ilość ograniczona do minimum. Jednakże nie brakuje negatywnych przykładów architektury, gdzie nieprzemysłana lokalizacja kominów staje się niezamierzoną dominantą i burzy tym samym harmonijny odbiór elewacji obiektu.



Ilustracja 8. Przykład architektury mieszkalnej z kominem na elewacji [źródło: <https://pl.pinterest.com>, dostęp: 30.03.2022r]

Z kolei głównym zabiegiem architektonicznym stosowanym w budynkach w celu pozbycia się z niego dymu było projektowanie bardzo wysokich pomieszczeń z oknami w górnej części¹⁸. Ich otwarcie wytwarzało konieczny ciąg powietrza usuwający zanieczyszczenia. Wraz z ulepszeniem techniki kominowej i poprawieniem skuteczności jej działania nadmierna wysokość pomieszczeń stała się zbędna. Niejednokrotnie natomiast ciągle stosowana w domach mieszkalnych w XIX wieku, głównie ze względu na tradycję i ambicję architektów¹⁹.

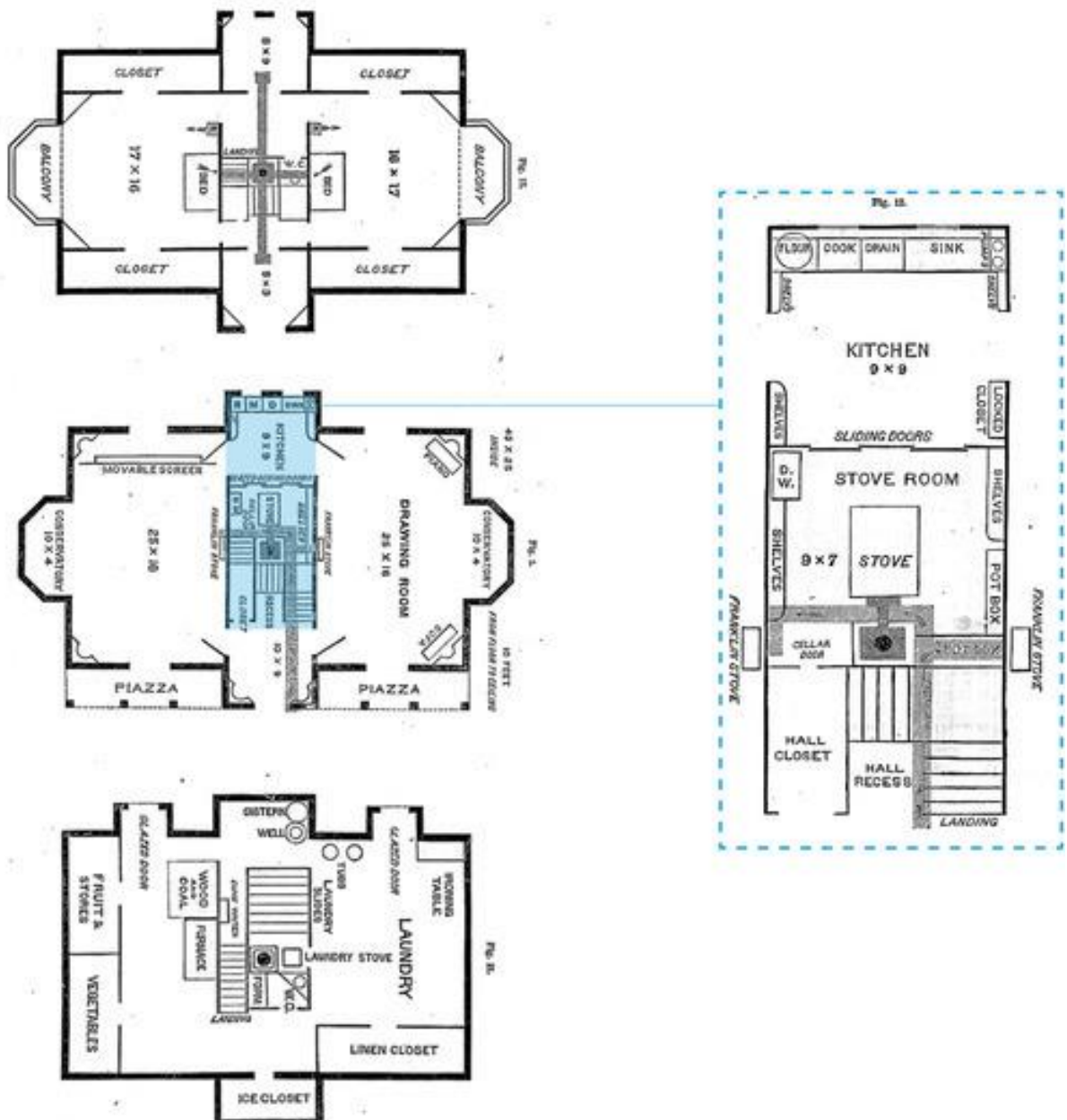


Ilustracja 9. Przekrój poprzeczny kamienicy mieszkalnej z 1904 roku [źródło: <https://polska-org.pl/810421.foto.html>, dostęp 24.02.2022]

¹⁸ Ballenstedt J. *Architektura. Historia i teoria*. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa – Poznań 2000 s. 288

¹⁹ *Ibidem* s. 292

Od XIX wieku architekci coraz większą uwagę skupiali na kształtowaniu architektury tak aby wspomagała ona swoim kształtem środowisko wewnętrzne. Innowacyjne podejście w kwestii ogrzewania i wentylacji zaprezentowane zostało przez Catherine Beecher w amerykańskim kobiecym domu (*American Woman's Home*). Sercem domu jest kuchnia wraz z kotłownią i klatką schodową, która dzieli parter na dwie przestrzenie. Ideą centralnie usytuowanych kominów tworzących instalacyjne drzewo zapewniających wentylację, ogrzewanie i pozostałe instalacje dla całego domu było uwolnienie od tego ścian zewnętrznych²⁰.

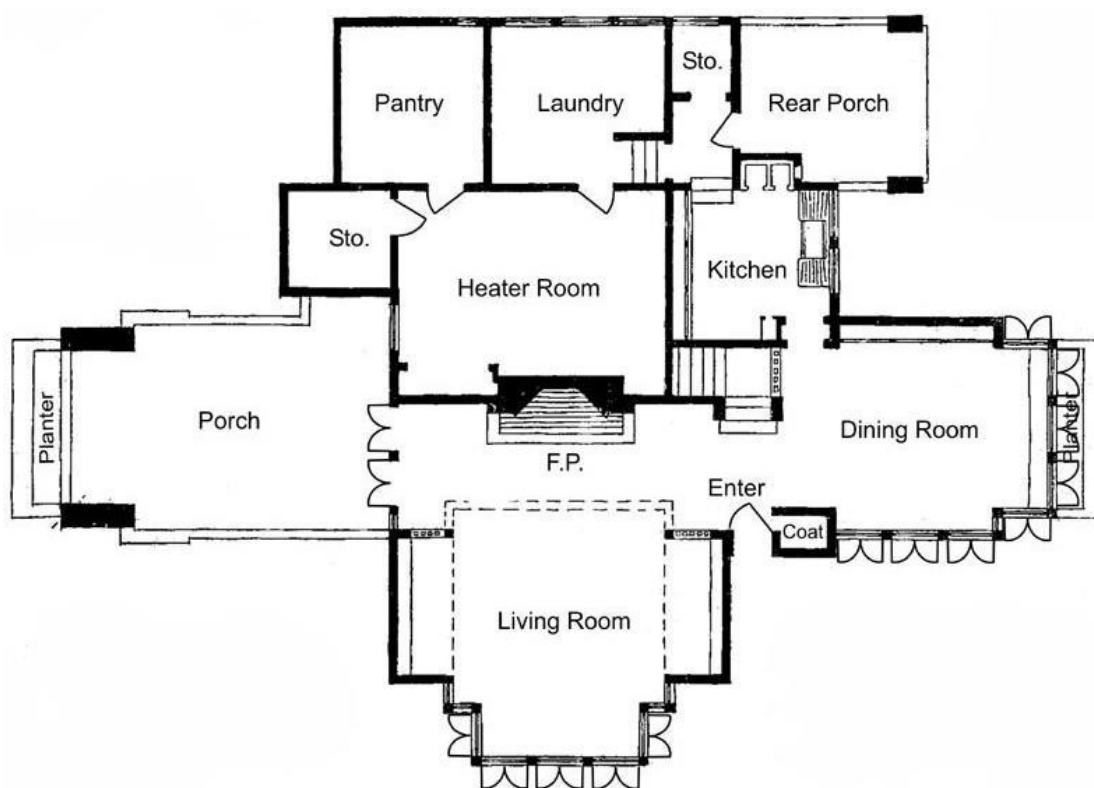


Ilustracja 10. *American Women's Home* [źródło: <https://arc638gizembayhan.tumblr.com/post/49628172255/term-paper/embed>, dostęp 22.02.2022].

²⁰ Banham R. *Architecture of the Well -tempered Environment*. Second, Revised Edition. Princeton: Architectural Press, 1984

Zabieg ten miał znaczenie przede wszystkim w lekkiej konstrukcji drewnianej. W tradycyjnych domach norweskich murowane kominy przeniesiono w granice ścian zewnętrznych pozostawiając je jako niezależną konstrukcję, natomiast w Nowej Anglii z czasem sytuowano je również na zewnątrz obiektu²¹. Z energetycznego punktu widzenia było to nieefektywne rozwiązanie, skutkujące dużą utratą ciepła dlatego powoli powracano do ich centralnego usytuowania zaproponowanego przez Beecher.

Próbie znalezienia balansu pomiędzy architekturą a zmiennymi warunkami zewnętrznymi wpływającymi na nadmierne straty ciepła zimą lub nadmierne nagrzewanie się budynku latem podjął również Frank Lloyd Wright w swoich projektach. Jego odpowiedzią na zastany problem był projekt Baker House. Dom ten potwierdził, iż kluczem odpowiednio działającego budynku jest nie tylko użycie nowoczesnych technologii grzewczych czy wentylacyjnych, ale ich odpowiednia współpraca ze strukturą budynku, tworząca jedną wspólną całość.



Ilustracja 11. Rzut przyziemia Baker House [źródło:

<http://www.steinerag.com/flw/Artifact%20Pages/PhRtS153.htm>, dostęp 24.02.2022]

Zaproponowany układ okien w budynku miał zapewnić odpowiednią wentylację latem. Możliwość całkowitego ich otwarcia zapewniała dostateczną ilość powietrza a wewnętrzny układ salonu i wysokości sufitów, jak i usytuowanie systemu grzewczego w podłodze pod oknami odpowiednie przemieszczanie się mas powietrza w obrębie budynku.

²¹ Banham R. *Architecture of the Well -tempered Environment*. Second, Revised Edition. Princeton: Architectural Press, 1984



Ilustracja 12. Baker House [źródło: <https://www.housebeautiful.com/design-inspiration/real-estate/a28470837/frank-lloyd-wright-baker-house-lake-michigan-for-sale/>, dostęp 22.02.2022r]

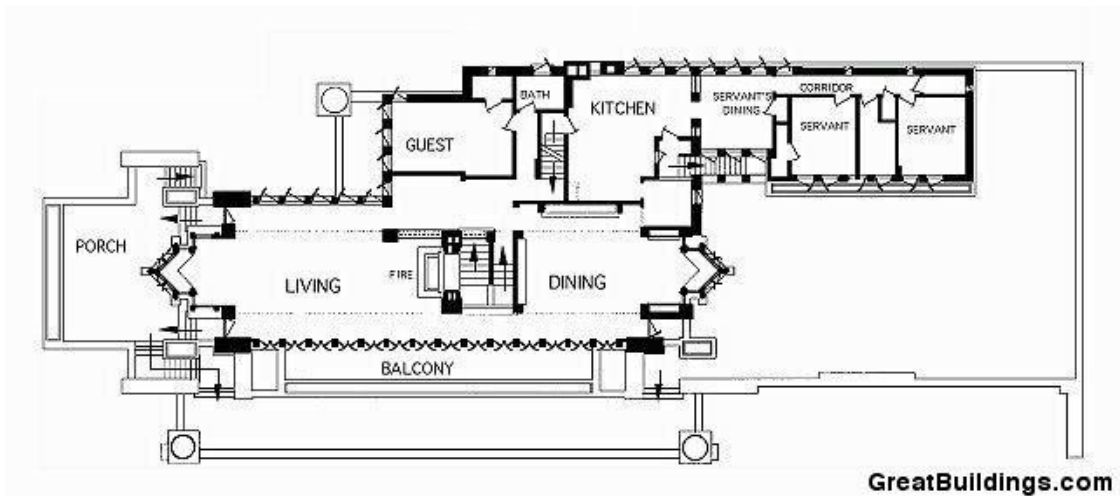
Baker House był pierwszym przykładem architektury mieszkaniowej, w której chęć zastosowania technologii środowiskowej nie ograniczała wolności twórczej architekta lecz współgrała z nią. Kolejnym przykładem jest wybudowany w 1907 roku Robbie House. Oryginalnym rozwiązaniem było zaprojektowanie bezokiennej chłodnej strefy wejściowej do budynku od strony północnej, która łącznie z piwnicą działała jako naturalny zbiornik chłodnego powietrza w okresie letnim. Korzystnie na funkcjonowanie wentylacji działał obszerny salon z jadalnią, który tworzył jedną dużą przestrzeń z centralnie usytuowanym kominkiem i klatką schodową. Z każdej strony znajdował się szereg otwieralnych okien, które zapewniały odpowiednią cyrkulację ciepłego powietrza nawiewanego z grzejników zlokalizowanych pod każdym z nich w formie tradycyjnej lub podłogowej.



Ilustracja 13. Robbie house [źródło: <https://franklloydwright.org/site/robie-house/>, dostęp 22.02.2022r]



Ilustracja 14. Wnętrze Robie house [źródło: <https://www.skouttravel.com/robie-house/frederick-c-robie-house-living-room-photograph-by-james-caulfield-1200x800/>, dostęp 22.02.2022r]



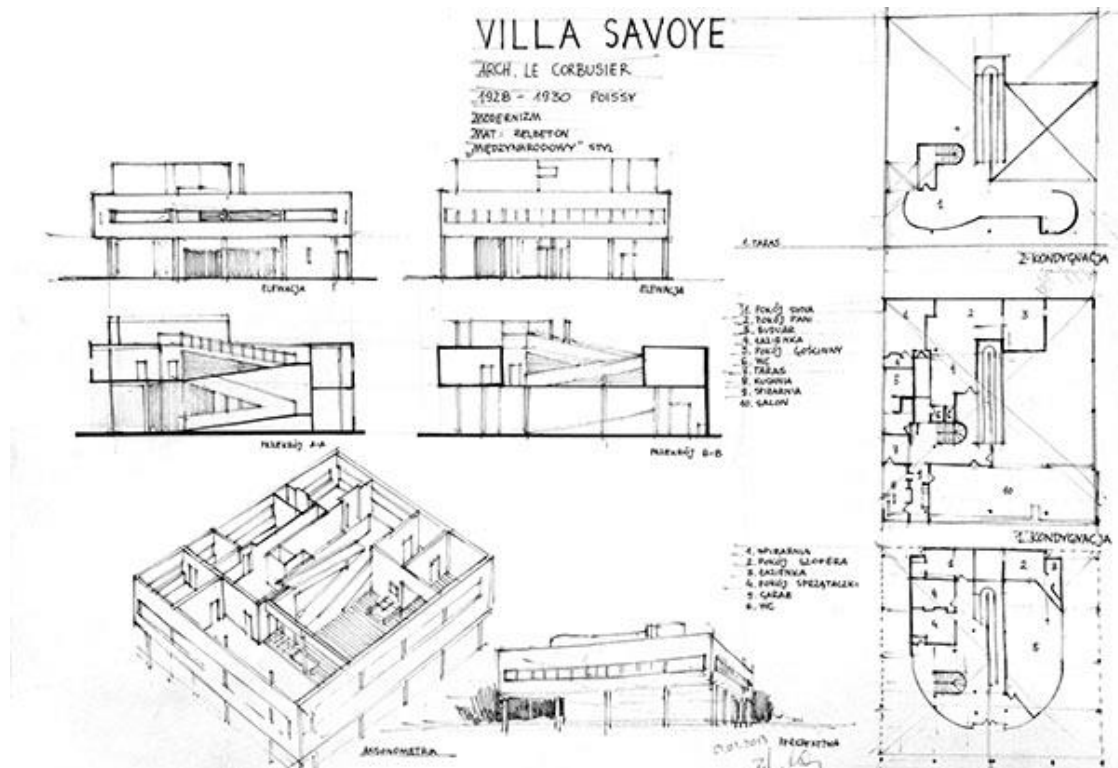
Ilustracja 15. Rzut parteru Robie house [źródło: <https://www.archdaily.com/60246/ad-classics-frederick-c-robie-house-frank-lloyd-wright/5037de3328ba0d599b0000ac-ad-classics-frederick-c-robie-house-frank-lloyd-wright-main-floor-plan>, dostęp: 24.02.2022]

W architekturze mieszkaniowej przełomem w zmianie myślenia odnośnie projektowania był okres modernizmu. Le Corbusier twierdził bowiem, iż dom to „maszyna do mieszkania”, a standaryzacja w tym zakresie dawała możliwość wykorzystania najnowszych technologii. Według jego idei należało odrzucić dotychczasowe dogmaty projektowania i skupić się przede wszystkim na funkcji budynku, którą było zapewnienie najbardziej komfortowych warunków życia. Przykładem domu mieszkalnego ze ściśle zintegrowaną koncepcją wnętrza dającą efekt funkcjonalnej i uporządkowanej całości jest Villa Savoye w Poissy. Pomimo innego podejścia w projektowaniu ostatecznie budynek mimo bardzo dobrego układu

funkcjonalnego okazał się zbyt kosztowny energetycznie a zaprojektowane ogrzewanie nieefektywne przez co szybko przestał być użytkowany²².



Ilustracja 16. Villa Savoye w Poissy we Francji [źródło: <https://www.modlar.com/photos/9978/villa-savoye/>, dostęp 24.02.2022r]



Ilustracja 17. Villa Savoye – rzuty i elewacje [źródło: <https://www.behance.net/gallery/14582537/Architecture-case-study>, dostęp 24.02.2022]

²² <https://archifoto.pl/le-corbusier-modernizm-poczatek-villa-savoye-paryz/>

Dostosowanie architektury w temacie ogrzewania czy wentylacji bezpośrednio wiązało się z warunkami klimatycznymi w danej lokalizacji. Architekt inaczej podchodził do tych kwestii projektując budynek w ciepłym klimacie, gdzie najważniejsza była kwestia ochrony wnętrza przed przegrzaniem i zapewnienie odpowiedniej efektywności wentylacji ze względu na małą różnicę temperatur. Inaczej do projektowania musieli podejść natomiast w klimacie umiarkowanym, gdzie należało wziąć pod uwagę również ochronę budynku przed nadmierną utratą ciepła zimą i efektywną instalację ogrzewczą.

Bezpośrednie powiązanie architektury z klimatem doprowadziło do powstania pasywnej architektury energetycznej (Passive Low Energy Architecture – PLEA) z głównymi założeniami dotyczącymi przede wszystkim zobowiązania do rozwoju i rozpowszechniania zasady projektowania bioklimatycznego i stosowania naturalnych technik ogrzewania, chłodzenia i oświetlenia, jak również podejmowania działań ekologicznych i odpowiedzialności środowiskowej w architekturze i ogólnego promowania takiego projektowania. Szerzej kontekst ten opisywany jest w książce R. Hyde „*Bioclimatic Housing: innovative designs for warm climates*”. Poruszona w niej zostaje kwestia możliwości rozwiązania narastającego w XXI wieku problemu ochrony środowiska za pomocą projektowania bioklimatycznego. Nawiązuje ono do wykorzystywania w pierwszej kolejności naturalnych technik projektowania z użyciem naturalnych źródeł energii i odpowiednim ich zarządzaniem w myśl zrównoważonego rozwoju. Pierwsze sformułowanie bioklimatycznego projektowania zostało zdefiniowane przez Olgyay w latach 50. XX wieku i rozwijane w latach 60-tych²³. Proces ten łączył psychologię człowieka, klimatologię oraz fizykę budowli w celu tworzenia bardziej zrównoważonego budownictwa i regionalizację architektury. Autorzy zwrócili uwagę na kluczową rolę projektowania bioklimatycznego w dążeniu do tworzenia budynków zero energetycznych, w których zminimalizowany jest negatywny efekt środowiskowy i zredukowane do zera zużycie energii z nieodnawialnych źródeł. Ideą jest wykorzystywanie darmowej energii pochodzącej z natury w połączeniu z aktywnymi i pasywnymi technologiami słonecznymi.

Do poszukiwania nowych rozwiązań skłoniła społeczeństwo nie tylko niebezpieczna zależność rynku energii od nieodnawialnych źródeł energii, ale również coraz większe zanieczyszczenie środowiska naturalnego i chęć jego ochrony. Stało się to zatem podstawą zrównoważonego budownictwa i skutkowało zdefiniowaniem dwóch podstawowych kryteriów dotyczących:

- priorytetu wykorzystania odnawialnych źródeł energii,
- efektywności energetycznej i oszczędności energii w budownictwie, eksploatacji i wykorzystaniu zasobów²⁴.

Z biegiem czasu konspekt bioklimatycznego domu rozwinął się pod wieloma względami i zamienił w koncepcję domu zrównoważonego. Jego istotą jest przede wszystkim zredukowanie zużycia energii, które ma największy wpływ na środowisko naturalne. Kluczem do zapewnienia komfortowych warunków wewnętrznych w budynkach jest projektowanie interdyscyplinarne wymagające ścisłej współpracy architekta i inżyniera środowiskowego.

²³ Hyde R., *Bioclimatic housing: innovative designs for warm climates*, Routledge, 2012

²⁴ Edwards, B. (1999) *Sustainable Architecture*, Spon Press, UK

2.2 Ewolucja wymagań dotyczących efektywności energetycznej budownictwa

W latach 70. i 80. XX wieku powolne wyczerpywanie się zasobów energii pierwotnej doprowadziło do kryzysu energetycznego²⁵. Kolejnym problemem okazała się świadomość, że budownictwo odpowiada za blisko 40% bezpośredniego zużycia energii w całej UE, wszystkie Państwa członkowskie zobowiązały się więc do działań mających na celu zwiększenie efektywności energetycznej²⁶. W związku z tym rozpoczęto poszukiwania nowych źródeł energii i technologii zmniejszających zużycie energii. W budownictwie skupia się to przede wszystkim na szukaniu nowych lub usprawnienia starych rozwiązań, gwarantujących redukcję zużycia energii budynku na cele ogrzewania i wentylacji. Celem tych zmian jest zwiększenie efektywności energetycznej, która wpłynie na bezpośrednie zmniejszenie zapotrzebowania na energię, zwiększy bezpieczeństwo energetyczne, i zmniejszy zły wpływ na środowisko.

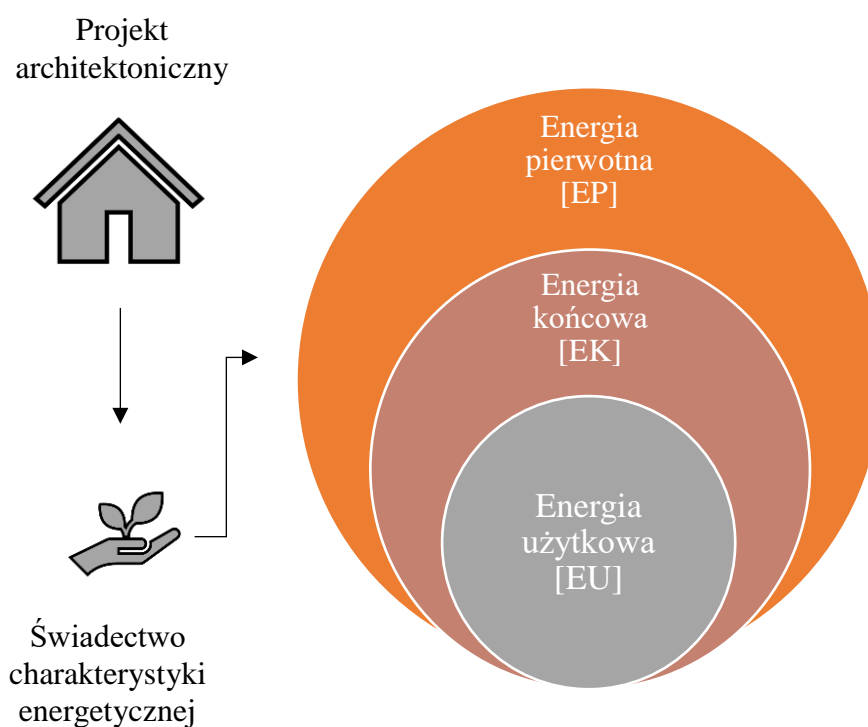
Kolejnym etapem walki z pogłębiającym się kryzysem na terenie Unii Europejskiej było pojawienie się Dyrektywy w sprawie charakterystyki energetycznej budynku (Energy Performance Buildings Directive – 2002/91/EC). Jej głównym zadaniem było wprowadzenie obowiązkowego certyfikowania budynków najpóźniej od dnia 1 stycznia 2009 roku. Jeszcze przed pojawieniem się tej dyrektywy w Polsce istniały już określone przepisy regulujące podobne kwestie. Już w Rozporządzeniu Ministra Budownictwa z dnia 14 grudnia 1994 roku WT'94 – Warunki Techniczne dział X możemy znaleźć wymagania dotyczące oszczędności energii i izolacyjności cieplnej i ich późniejsze uszczegółowienie w nowelizacji rozporządzenia z 1997 roku. Natomiast metodologia obliczenia współczynnika przenikania ciepła U została zawarta w PN-EN ISO 6946: 1999. Nowelizacja WT'04 nałożyła obligatoryjny obowiązek spełnienia obydwu wymagań, zarówno wskaźnika EU jak i minimalnych wymagań dotyczących izolacyjności cieplnej przegród dla budynków mieszkalnych wielorodzinnych oraz zamieszkania zbiorowego. Wprowadzano normy PN-EN 6946:2008 będącą polską wersją normy międzynarodowej EN ISO 6946:1999. Dyrektywa unijna 2002/91/EC zaowocowała w Polsce nowelizacją Warunków Technicznych [WT'08] z dnia 6 listopada 2008r. Wprowadzona została do polskich przepisów definicja wskaźnik EP [kWh/(m²·rok)], który określa roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną na cele HVAC, ciepłej wody użytkowej oraz oświetlenia. Natomiast Rozporządzenie Ministra ds. Budownictwa z dnia 5 lipca 2013r. było implementacją dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010r.]²⁷. Kolejnym etapem było wprowadzenie 3 punktów kontrolnych zużycia energii, wyrażone wskaźnikami EU, EK oraz EP:

²⁵ Grzegorzczak L., *Zmiany obciążeń cieplnych budynków niemal zero – energetycznych i ich wpływ na topologię układów grzewczych*, Politechnika Poznańska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Instytut inżynierii środowiska, Zakład Ogrzewnictwa, Klimatyzacji i Ochrony Powietrza, Praca doktorska 2019.

²⁶ Francik S., Frączek J., Ślipek Z. *Preferencje wyboru źródła ciepła dla indywidualnych budynków mieszkalnych*, Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe > 2012 > R. 13, nr 10 > s. 188

²⁷ Grzegorzczak L., *Zmiany obciążeń cieplnych budynków niemal zero – energetycznych i ich wpływ na topologię układów grzewczych*, Politechnika Poznańska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Instytut inżynierii środowiska, Zakład Ogrzewnictwa, Klimatyzacji i Ochrony Powietrza, Praca doktorska 2019 s. 11

- Energia użytkowa (EU), energia przenoszona z budynku lub części budynku do jego otoczenia przez przenikanie lub z powietrzem wentylacyjnym, pomniejszoną o zyski ciepła.
- Energia końcowa (EK), energia dostarczana do budynku lub części budynku dla systemów technicznych.
- Nieodnawialna i odnawialna energia pierwotna (EP), nieodnawialna energia pierwotna to energia zawarta w kopalnych surowcach energetycznych, która nie została poddana procesowi konwersji lub transformacji. Odnawialna energia pierwotna uzyskana jest z odnawialnego źródła energii²⁸.



Ilustracja 18. Rodzaje energii rozróżnianej w świadectwie energetycznym budynku [opracowanie własne].

Zgodnie z polskim prawem budowlanym każdy nowo budowany, sprzedawany lub wynajmowany budynek, lub lokal musi posiadać świadectwo charakterystyki energetycznej. Jest to dokument przedstawiający podstawowe informacje na temat jakości energetycznej danego budynku lub lokalu. Szczegółową formę takiego świadectwa określa Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 27 lutego 2015 roku w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku, lokalu lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową. W świadectwie charakterystyki energetycznej należy zawrzeć podstawowe wartości określające dany budynek pod względem zużycia przez niego energii. Podstawowym do tego narzędziem jest wartość wskaźnika energii pierwotnej (EP), który został wykorzystany w pracy jako główny wskaźnik badawczy.

²⁸ Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej

2.3 Zmiany w zakresie efektywności energetycznej

Wskaźnik energii pierwotnej (EP) określa roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną na jednostkę powierzchni pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza w budynku, lokalu mieszkalnym lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową i wyrażany jest w kWh/(m²·rok)²⁹. Kluczowym elementem wpływającym na wartość tego współczynnika jest rodzaj użytego paliwa na cele grzewcze. Poszczególne rodzaje dostępnych paliw posiadają odpowiednie współczynniki nakładu, które pokazują, jak bardzo ich pozyskanie jest szkodliwe dla środowiska, co pokazane jest w tabeli 1. Najbardziej niekorzystnym paliwem zgodnie z tymi współczynnikami jest energia elektryczna, której wartość współczynnika nakładu wynosi 3,0. Dla porównania paliwo z biomasy posiada współczynnik w wysokości tylko 0,2. Wynika z tego, iż budynek o takim samym zapotrzebowaniu na energię użytkową, będzie wykazywał inne wielkości wskaźnika EP w zależności od zastosowanego w nim paliwa.

Podstawowe dane współczynników nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej zawarte są w tabeli 2.2 wg Rozporządzenia³⁰.

Tabela 1 Wartości współczynnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii lub energii dla systemów technicznych w_i .

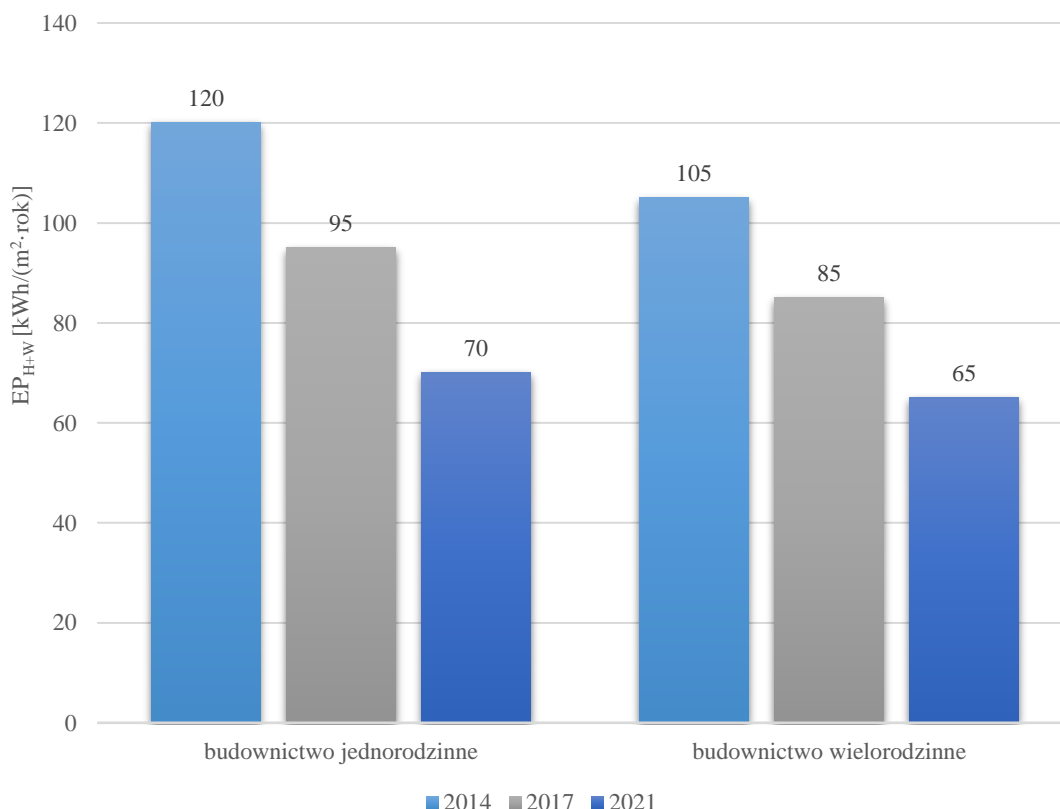
Lp.	Sposób zasilania budynku lub części budynku w energię	Rodzaj nośnika energii lub energii	w_i
1	Miejscowe wytwarzanie energii w budynku	Olej opałowy	1,1
2		Gaz ziemny	
3		Gaz płynny	
4		Węgiel kamienny	
5		Węgiel brunatny	
6		Energia słoneczna, wiatrowa, geotermalna	
		Biomasa	0,2
		Biogaz	0,5
7	Ciepło sieciowe z kogeneracji	Węgiel kamienny lub gaz	0,8
8		Biomasa, biogaz	0,15
9	Ciepło sieciowe z kogeneracji	Węgiel kamienny	1,3
10		Gaz lub olej opałowy	1,2
11	Sieć elektroenergetyczna	Energia eklektyczna	3,0

Nowelizacja WT'08 (na mocy Dyrektywy 2010/21UE) w 2013 wprowadziła nowe wymagania dotyczące budownictwa, które ulegają zaostrzeniu w 2014, 2017 oraz od 2021 roku. Wdrożenie ostatniego etapu restrykcji od 2021 spowoduje projektowanie nowych budynków niemal tylko w standardzie zero-energetycznym - nZEB. Spełnienie wymagań WT oznacza, że należy zastosować materiały izolacyjne o współczynnikach

²⁹ Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 2002, nr 75, poz. 690), z późniejszymi zmianami

³⁰ Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej

zawartych w rozporządzeniu³¹ równolegle ze wskaźnikiem EP. Konieczne również będzie zwrócenie większej uwagi na wybór źródła ciepła na cele grzewcze, jak i sposobu wentylacji obiektu. Wymagania dotyczące wskaźnika EP zostały zdefiniowane dla każdego typu budownictwa, natomiast na wykresie 1 przedstawiono wyłącznie wymogi dotyczące budownictwa mieszkalnego, które jest przedmiotem badań.



Wykres 1. Wykres przedstawiający wartość maksymalną wskaźnika EP_{H+W} [$kWh/(m^2 \cdot rok)$] na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej³².

Odnawialne źródła energii, posiadają bardzo niskie współczynniki nakładu i wykorzystując je jako paliwo, można jeszcze bardziej obniżyć wskaźniki współczynnika EP. Prowadzi to do tworzenia budynków o standardzie niemal zero-energetycznym, zero energetycznym lub nawet plus energetycznym (nZEB, ZEB +ZEB). Pierwsze takie budynki zaczęły się pojawiać od początku XXI wieku. Od tego czasu znacznie poszerzyła się również literatura określająca podstawy projektowania budynków energooszczędnych, pasywnych, jak i zrównoważonych ze środowiskiem.

Przykładem zabudowy mieszkaniowej w standardzie zero energetycznym jest nowopowstałe osiedle słoneczne w Żółdowie pod Bydgoszczą, składające się zarówno z budynków wolnostojących, bliźniaczych, jak i szeregowych. Wszystkie obiekty wyposażone są w wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła, klimatyzację, instalację fotowoltaiczną, a ogrzewane są za pomocą pompy ciepła.

³¹ Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 2002, nr 75, poz. 690), z późniejszymi zmianami

³² ibidem



Ilustracja 19. Osiedle Słoneczne w Żołędowie - domy szeregowe [źródło: <https://www2.osiedlesloneczne.pl/>, dostęp: 10.02.2022r]



Ilustracja 20 Osiedle Słoneczne w Żołędowie- dom wolnostojący [źródło: <https://www2.osiedlesloneczne.pl/>, dostęp: 10.02.2022r]

Pierwszy na świecie heliotrop, czyli obiekt, który wytwarza więcej prądu, niż go zużywa, był budynkiem jednorodzinny i wybudowano go w 1994 roku we Fryburgu według projektu Rolfa Disch'a. Projekt domu zakłada wykorzystanie do maksimum naturalnego światła słonecznego i brak źródeł konwencjonalnych, co skutkuje brakiem emisji szkodliwych związków chemicznych do powietrza³³.

³³ http://www.rolfdisch.de/wp-content/uploads/BROSCHUERE_SolarArchitecture-1.pdf



Ilustracja 21. Budynek jednorodzinny projektu Rolfa Disch'a we Fryburgu [źródło: <https://www.planetcustodian.com/some-of-the-worlds-best-energy-positive-buildings/6521/>, dostęp: 10.01.2022].

Obecnie obiekty tego typu są coraz częściej spotykane. Przykładem są domy szeregowe E+ w Roxbury w Bostonie opracowane przez pracownię architektoniczną Interface Studio Architects. Budynki zaprojektowane zostały w standardzie pasywnej izolacji termicznej w połączeniu z wentylacją mechaniczną z odzyskiem ciepła. Sam układ bryły został opracowany w sposób maksymalnie wykorzystujący pozyskiwanie energii słonecznej poprzez szereg paneli fotowoltaicznych usytuowanych na dachu obiektu.



Ilustracja 22. Domy szeregowe E+ w Roxbury [źródło: https://www.archdaily.com/633320/e-interface-studio-architects?ad_medium=gallery, dostęp 10.01.2022].

W 2015 roku The Welsh School of Architecture zaprojektował i wybudował pierwszy w Wielkiej Brytanii budynek plus energetyczny - The SOLCER House. Obiekt charakteryzuje się wysokim poziomem izolacji termicznej i wysoką szczelnością, wykorzystując cement niskowęglowy, strukturalne panele izolowane i kolektory słoneczne. Na dachu skierowanym na południe zaprojektowano przeszklone panele fotowoltaiczne, które pełnią funkcję doświetlającą przestrzeń dachową. Produkowana w ten sposób energia elektryczna wykorzystywana jest do zasilania systemów ogrzewania i wentylacji, produkcji ciepłej wody użytkowej i urządzeń elektrycznych.



Ilustracja 23. Dom jednorodzinny The Solcer House w Wielkiej Brytanii [źródło: <https://source.thenbs.com/case-study/solcer-house/rNMNaiGbiQAE1z4UFignfb/rNMNaiGbiQAE1z4UFignfb>, <https://www.mirror.co.uk> dostęp 10.01.2022].

Przykładem nowoczesnego budownictwa plus energetycznego wykorzystującego zautomatyzowany system wentylacji grawitacyjnej jest Home for Life projektu AART Architects. Na dachu obiektu zaprojektowano panele fotowoltaiczne, z kolei ogromne okna od strony południowej zapewniają ogrzewanie wnętrza naturalnymi promieniami słonecznymi. W założeniu w okresie zimowym około 50% ciepła na potrzeby ogrzewania pochodzić ma z naturalnego słonecznego ogrzewania zapewnionego przez przeszklenia, a pozostała część uzupełniana jest z pracy pompy ciepła.



Ilustracja 24. Dom jednorodzinny Home for Life projektu AART Architects [źródło: <https://www.archdaily.com>, dostęp 10.01.2022].

Przytoczone powyżej przykłady wskazują, iż nowoczesna architektura mieszkalna dąży do wzrostu jej efektywności energetycznej, poprzez zastosowanie odpowiednich rozwiązań, a nawet poprzez tworzenie budynków przekraczających te standardy. Temat ten stał się podstawą wielu publikacji:

Borowska J., Kulczewska S., Wpływ rodzaju paliwa na wartość wskaźnika energii pierwotnej w budynkach mieszkalnych jednorodzinnych, Technical Issues 4/2016 s. 3-8. W artykule autorki analizują wpływ modernizacji obiektu mieszkalnego na wskaźnik EP. Zwrócono uwagę, iż sama izolacyjność przegród budowlanych w standardzie budynków niskoenergetycznych nie zapewnia spełnienia warunku energii pierwotnej. Istotną rolę pełni również źródło ciepła na cele grzewcze.

Kamiński J., Mirowski T., Szurlej A., Analiza potencjału efektywności energetycznej w sektorze mieszkalnictwa w perspektywie do 2030 roku. Rynek Energii” – nr 6/2013 Autorzy skupili się w publikacji na zbadaniu potencjału efektywności energetycznej sektora budownictwa mieszkalnego w Polsce. Wykorzystano do tego macierz 4 reprezentacyjnych grup obiektów, w tym budynki jednorodzinne, wielorodzinne i bloki mieszkalne. Zaprezentowana ocena dotyczyła lat 2012-2030 przy założeniu utrzymania stałego spadku sezonowego zapotrzebowania na ciepło, a nowoprojektowane obiekty będą w standardzie energooszczędnym. We wnioskach autorzy przedstawili zasadność wprowadzania instrumentów poprawy efektywności energetycznej w badanym sektorze.

Gollinger-Tarajko M., *Wzrost efektywności energetycznej w budownictwie jako kryterium poprawy jakości życia i środowiska, Quarterly Journal – No 2/2016 (17) s137-151.* W publikacji przedstawiono działania legislacyjne, techniczne, jak i organizacyjno-technologiczne mające na celu wzrost efektywności energetycznej w sektorze budownictwa. Zwrócono uwagę na problem „ubóstwa energetycznego” i jego związek z efektywnością energetyczną, jak również jego negatywny wpływ na jakość środowiska i życia mieszkańców oraz zaproponowano możliwe rozwiązania.

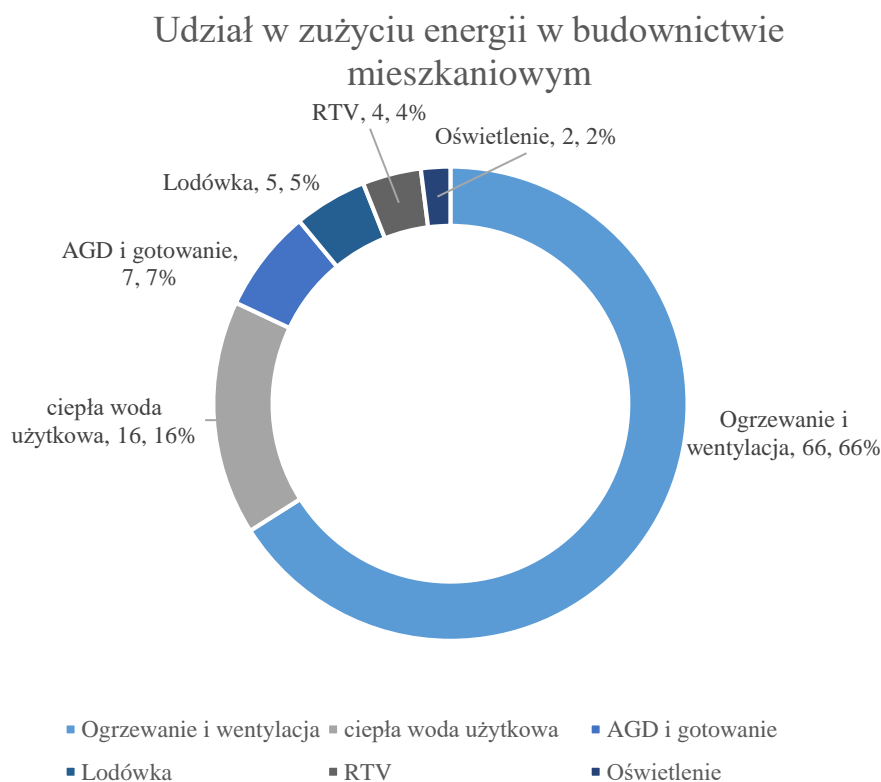
Kasperkiewicz K., *Wybrane zagadnienia oceny i projektowania energooszczędnych budynków mieszkalnych, Prace instytutu techniki budowlanej - kwartalnik nr 2 (134) 2005.* Autor w publikacji skupia się na przedstawieniu sposobu oceny energetycznej obiektów i ich kryteriów. Głównym założeniem badań było przeprowadzenie analizy możliwości zmniejszenia ilości energii do ogrzewania budynków jednorodzinnych w Polsce na przykładzie doświadczeń austriackich. Ważną kwestią jest zwrócenie przez autora uwagi na aktualne podejście architektów w projektowaniu budynków do aspektów energetycznych. Często są one elementem drugorzędym lub w ogóle nie brany pod uwagę, natomiast aktualne tendencje budownictwa sugerują, iż stanie się to kluczowym elementem wpływającym na architekturę obiektu.

Lis P., Piesyk J., *Zużycie energii i efektywność energetyczna budynków – charakterystyka i prognozy, Fizyka budowli w teorii i praktyce TOM VIII, Nr 3 – 2016, s. 21-28.* Autorzy referatu skupiają się na omówieniu dwóch tematów dominujących we współczesnej dyskusji na arenie międzynarodowej. Pierwszym tematem jest rosnące zapotrzebowanie na energię wynikający z rozwoju gospodarczego i intensywnym poszukiwaniem nowych alternatywnych do paliw kopalnych źródeł mogących zaspokoić te potrzeby. Drugim poruszonym tematem są aspekty ekologiczne, związane bezpośrednio z negatywnymi skutkami emisji dwutlenku węgla do atmosfery i jego wpływem na środowisko. W trakcie analiz autorzy wykazali, że zapotrzebowanie na ciepło na cele ogrzewania jest w Polsce około dwukrotnie wyższe niż obowiązujące w Europie standardy i należy dążyć do poprawy efektywności energetycznej w tej dziedzinie. Może to bowiem skutkować zmniejszeniem krajowego zużycia energii o ponad 10% i przynieść podobne korzyści w emisji CO₂.

Ostrowska B., *Energooszczędność jako czynnik kształtowania architektury. tradycja i współczesność, Czasopismo techniczne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej 7-A/2012 zeszyt 29 rok 109 s. 121-138.* W referacie autorka skupiła się na omówieniu wpływu zasady energooszczędności na formę tradycyjnej architektury mieszkaniowej. Przedstawione zostały również możliwości wykorzystania tradycyjnych rozwiązań w procesie kształtowania zrównoważonej architektury uwzględniając trzy etapy: budowy, eksploatacji i likwidacji obiektu. We wnioskach wskazano, iż tradycyjne wzorce mogą być inspiracją w zakresie energooszczędności, natomiast konieczna jest ich krytyczna analiza i odrzucenie rozwiązań sprzecznych do współczesnych wymagań.

2.4 Przegląd dostępnych źródeł ciepła w historii budownictwa

Rosnące zapotrzebowanie na energię związane z nieustannym rozwojem cywilizacyjnym nierozzerwanie połączone jest z wykorzystaniem surowców energetycznych do jej produkcji. Kopalne surowce energetyczne takie jak węgiel czy gaz są podstawą do wytwarzania energii cieplnej na cele ogrzewania i wentylacji³⁴. Wykorzystywanie tradycyjnych źródeł wpływa, jednakże negatywnie na środowisko naturalne między innymi poprzez zwiększoną emisję dwutlenku węgla do atmosfery. Stało się to impulsem do szukania rozwiązań bardziej neutralnych dla środowiska, co poskutkowało zainteresowaniem odnawialnymi źródłami energii (OZE). Ograniczenie zużycia węgla na rzecz odnawialnych źródeł energii stało się priorytetem w polityce państw członkowskich w Unii Europejskiej³⁵. Wraz z zaostrzeniem przepisów w zakresie wskaźnika EP, wybór odpowiedniego źródła ciepła na cele ogrzewania i sposobu wentylacji obiektu nabrał większego znaczenia. Jak wynika z danych zużycie energii na cele ogrzewania i wentylacji stanowi prawie 2/3 całościowego zużycia energii³⁶.



Wykres 2. Struktura zużycia energii w budynkach mieszkalnych³⁷.

³⁴ Kasztelewicz Z., Tajduś A., Słomka T., *Węgiel brunatny to paliwo przyszłości czy przeszłości? Napędy i sterowanie*, nr 7/8 Lipiec-sierpień 2017, s. 88.

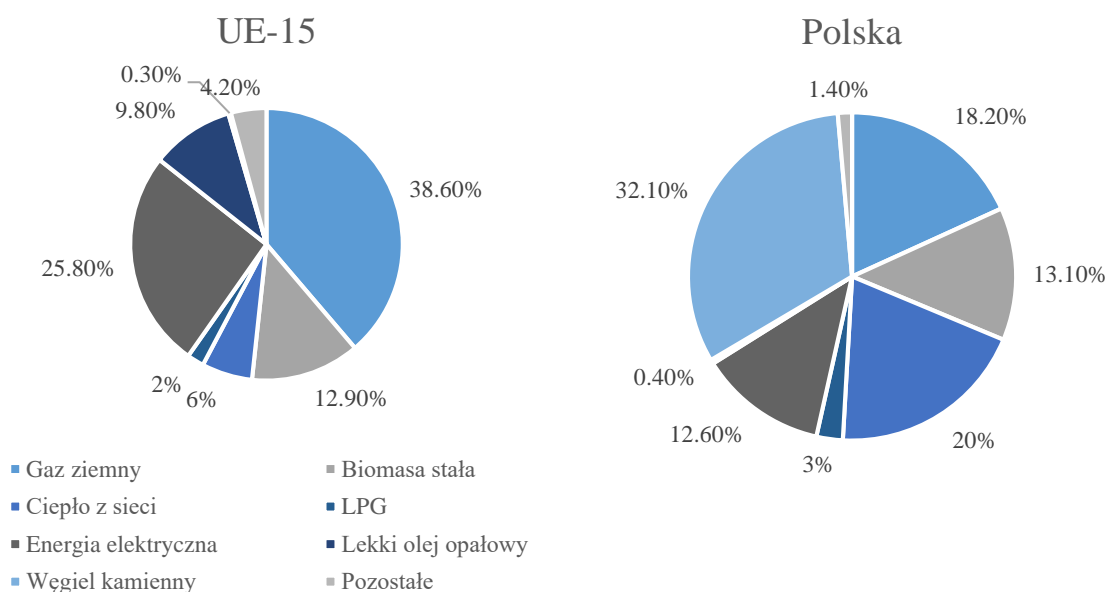
³⁵ Mirowski T., Kamiński J., Szurlej A., *Analiza potencjału efektywności energetycznej w sektorze mieszkalnictwa w perspektywie do 2030 roku*. Rynek Energii – nr 6/2013 s. 57

³⁶ Pater S., Magiera J., *Ocena zapotrzebowania na energię budynku mieszkalnego przy wykorzystaniu dwóch niezależnych programów obliczeniowych*, Czasopismo techniczne 2-Ch /2011 zeszyt 10 rok 108 Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej

³⁷ Efektywność wykorzystania energii w latach 2008-2018, Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Warszawa 2020.

2.4.1 Konwencjonalne źródła ciepła

Głównym elementem struktury dostaw energii cieplnej na terenie Unii Europejskiej, jak i wielu innych krajach na świecie są konwencjonalne źródła energii, czyli paliwa kopalne, które ulegają powolnemu wyczerpaniu. Węgiel kamienny i brunatny jest jednym z najbardziej popularnych źródeł kopalnych stosowanym od rewolucji przemysłowej w XVIII wieku³⁸. Jego powszechność wynika głównie z dużych zasobów, dużej dostępności na rynku i relatywnie niskiej ceny³⁹. Z drugiej strony jest on odpowiedzialny za zdecydowanie największy poziom emisji dwutlenku węgla⁴⁰, co spowodowało jego stopniowe ograniczanie w użyciu. Współczesna polityka energetyczna krajów członkowskich UE dąży do budowy wspólnego ekologicznego rynku energii, poprzez zapewnienie ciągłości dostaw przy jednoczesnej ochronie środowiska. Związane jest to przede wszystkim z ograniczeniem lub wyeliminowaniem zużycia węgla jako surowca energetycznego w krajach członkowskich. W dalszym ciągu stanowi on jednak 68% światowych rezerw surowców energetycznych, natomiast w Polsce 77% produkcji ciepła pochodzi właśnie z węgla, co czyni go aktualnie kluczowym w energetyce Polski⁴¹. W odniesieniu do budownictwa mieszkaniowego widać znaczącą redukcję wykorzystania węgla jako surowca. Niestety w porównaniu z 15 największymi gospodarkami Unii Europejskiej, gdzie zużycie węgla w przeliczeniu na 1 mieszkańca zostało ograniczone do minimum, w Polsce nadal ono dominuje i wynosi 32,1%, co przedstawione zostało na poniższym wykresie 3⁴².



Wykres 3. Struktura wykorzystania nośników energii w krajach UE-15 i Polsce [Źródło: Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2018r, Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Warszawa 2019 s. 84].

38 Gawlik L, Mokrzycki E, *Paliwa kopalne w krajowej energetyce – problemy i wyzwania*, POLITYKA ENERGETYCZNA – ENERGY POLICY JOURNAL 2017, Tom 20, Zeszyt 4, s. 6

39 Lorenz U., Grudziński Z. 2003. *Ceny węgla kamiennego energetycznego w kraju i na rynkach międzynarodowych. Polityka Energetyczna*. Nr 6. s. 285

40 Lorenz U., Grudziński Z. 2007. *Perspektywy dla międzynarodowych rynków węgla energetycznego. Polityka Energetyczna*. Nr 2. s. 498

41 Wasiuta A., *Źródła energii odnawialnej jako czynnik bezpieczeństwa energetycznego Polski*, Społeczeństwo i Polityka Nr 1 (34) /2013

42Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2018r, Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Warszawa 2019 s. 84

Problem wykorzystania węgla dla celów energetycznych i ciepłych w szerszym kontekście jest opisywany w literaturze:

Gawlik L., Mokrzycki E., Paliwa kopalne w krajowej energetyce – problemy i wyzwania, POLITYKA ENERGETYCZNA – ENERGY POLICY JOURNAL 2017, Tom 20, Zeszyt 4, 6–26, Opracowanie opisuje między innymi wielkość zasobów paliw kopalnych na terenie Polski i ich wpływ na bezpieczeństwo energetyczne kraju. Podczas analiz autorzy skupili się na problemach i wyzwaniach sektora energetycznego Polski. Zwracają uwagę na brak polityki energetycznej i strategii dla górnictwa z określeniem wielkości produkcji węgla kamiennego i węgla brunatnego, oraz na fakt, że unijne wymagania dekarbonizacyjne są sprzeczne z krajowymi interesami. Przyjęte przez Unię zobowiązania do 2030 i 2050 roku dotyczące redukcji emisji i udziału OZE są zagrożeniem dla bezpieczeństwa energetycznego kraju ze względu na historyczne uwarunkowania zależności polskiej gospodarki od węgla.

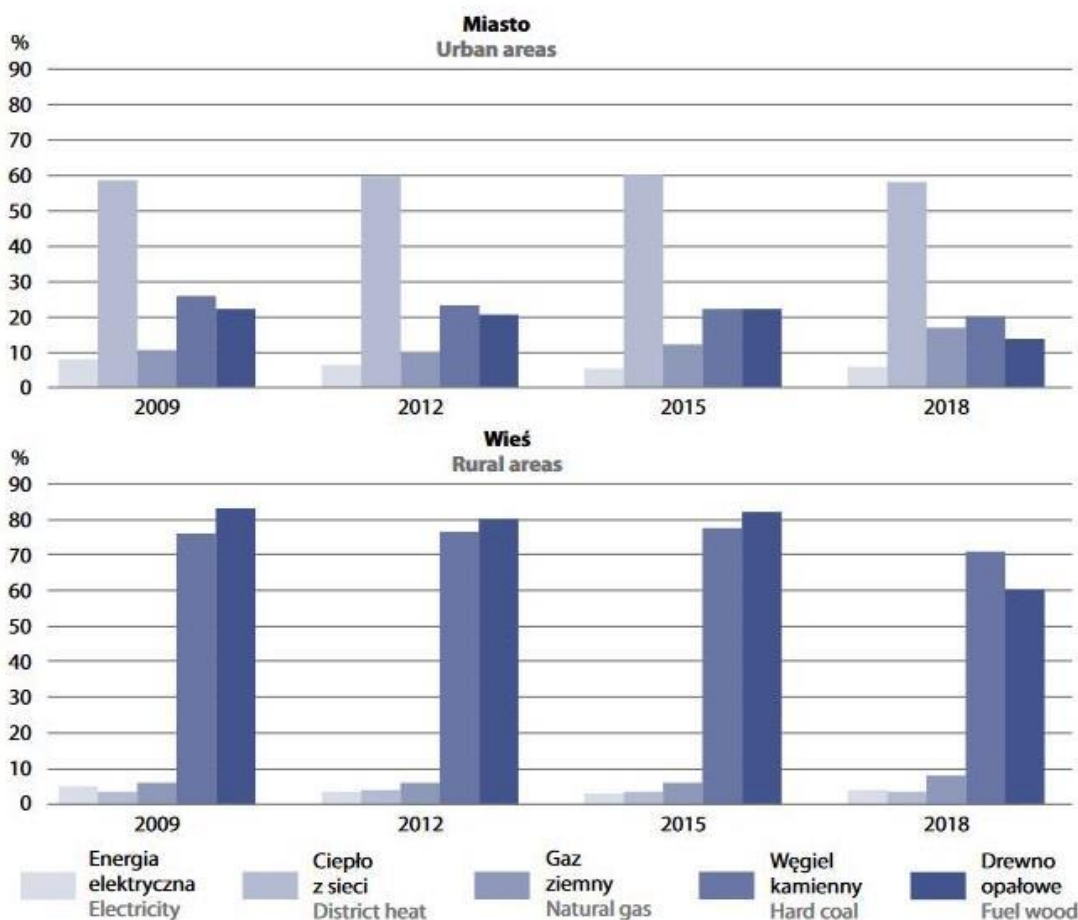
Kasztelewicz Z., Ptak M., Sikora M., Węgiel brunatny optymalnym surowcem energetycznym dla Polski, Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, rok 2018, nr 106, s. 61–84, Autorzy w opracowaniu poruszają problematykę związaną ze stanem i rolą polskiego górnictwa węgla brunatnego. Autorzy podkreślają strategiczną rolę węgla w polskiej energetyce i opisują charakterystykę kopalń i stan ich zasobów na terenie Polski. W dalszej części artykułu analizują program unijny dla sektora górnictwa w kontekście zapotrzebowania na energię do 2050 roku i przytaczają trzy możliwe scenariusze rozwoju górnictwa, pesymistyczny, realny i optymistyczny.

Kasztelewicz Z., Tajduś A., Słomka T., Węgiel brunatny to paliwo przyszłości czy przeszłości? Napędy i sterowanie, nr 7/8 Lipiec-sierpień 2017, s. 88-104. Autorzy w publikacji zwracają uwagę na istotną rolę węgla i kopalń w strukturze polskiej energetyki poprzez środowiskowe uwarunkowania. Poruszona zostaje również kwestia zmiany wizerunku węgla poprzez stosowanie nowoczesnych technologii określanych mianem „Czystych Technologii Węglowych”, które znacząco zmniejszają uciążliwość spalania węgla dla środowiska naturalnego. W podsumowaniu autorzy sugerują, że polski węgiel powinien w dalszym ciągu być rozpatrywany jako źródło energii pod warunkiem zastosowania technologii umożliwiających znaczne ograniczenie jego szkodliwego wpływu na środowisko naturalne.

Na rynku źródeł ciepła na cele ogrzewania i wentylacji dla budynków mieszkalnych występują głównie trzy podstawowe paliwa konwencjonalne: paliwa stałe w tym węgiel, olej opałowy oraz gaz (ziemny lub płynny). Dominacja węgla jako paliwa w gospodarce Polski uwidoczniła się również w budownictwie mieszkalnym. Zaopatrzenie w ciepło realizowane w tym podmiocie jest przez systemy scentralizowane sieci ciepłowniczych, jak i systemy indywidualne. Według statystyk GUS w dalszym ciągu dla około 45 % budynków mieszkalnych jednorodzinnych potrzeby grzewcze zaspokajane są przez kotły węglowe⁴³. Jest to prawdopodobnie spowodowane dużą ilością domów starszej generacji, które nie zostały poddane modernizacji. Istotną kwestią jest również lokalizacja, co przedstawione jest na poniższym wykresie. W latach 2009-2018 w obszarach miejskim przeważa ciepło sieciowe, natomiast w obszarach wiejskich zdecydowaną dominację wykazuje węgiel

⁴³ Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2018 r. Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Warszawa 2019 s.17

kamienny i drewno opałowe. Na przestrzeni tych 10-ciu lat widać natomiast tendencję odchodzenia od paliw stałych na terenach zarówno miejskich, jak i wiejskich na rzecz gazu ziemnego.



Wykres 4. Udział gospodarstw domowych w mieście i na wsi wykorzystujących nośniki energii do ogrzewania pomieszczeń w roku 2009,2012,2015,2018 [Źródło: Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2018r, Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Warszawa 2019 s. 61]

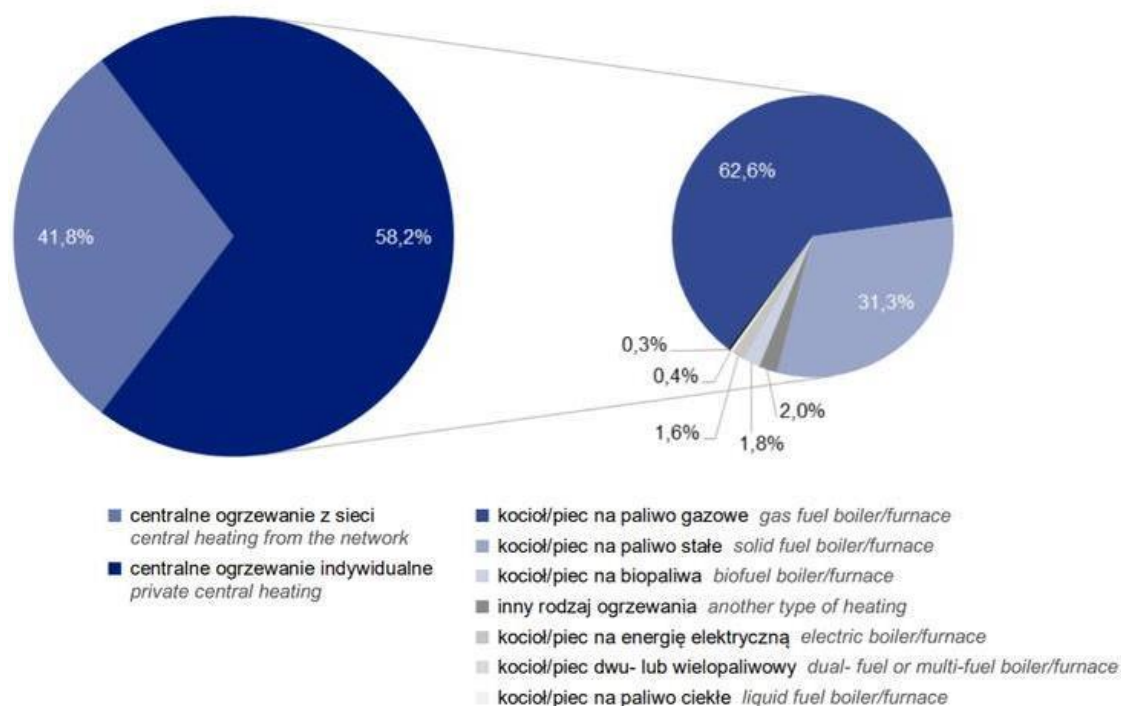
Z roku na rok statystyki te ulegają zmianie również poprzez wprowadzanie dużej ilości programów dofinansowujących wymianę starych, nieefektywnych źródeł ciepła na nowe. W tym celu powstał między innymi w 2018 roku program Czyste Powietrze, który zakładał eliminację smogu w Polsce poprzez wymianę starych kotłów węglowych na źródło ekologiczne. W październiku 2020 roku NFOŚiGW opublikowało dane wskazujące, że ponad 46% użytkowników biorących udział w dotacji wybrało kotły gazowe kondensacyjne jako zastępcze źródło ciepła⁴⁴.

Gaz ziemny jest również najczęstszym spośród trzech ww. paliw, wyborem w nowoprojektowanych obiektach mieszkalnych. W 2019r. niespełna 64,6% budynków mieszkalnych, nie podłączonych do miejskiej sieci ciepłowniczej w projekcie budowlanym wskazało właśnie ogrzewanie gazowe⁴⁵. Należy zwrócić uwagę na fakt, że na podstawie danych GUS widać wyraźną różnicę w wyborze źródła ciepła w

⁴⁴ <https://globenergia.pl/czyste-powietrze-ktore-zrodla-ciepla-najczesciej-wyberaja-polacy/>, dostęp 15.12.2021r.

⁴⁵ <https://strefabiznesu.pl/gus-ogrzewanie-gazowe-najpopularniejsze-w-nowych-domach-ale-wegiel-wciaz-trzyma-sie-mocno/ar/c9-15299175>, dostęp 15.12.2021 r.

zależności od województwa. Największy udział mieszkań wyposażonych w gaz z sieci jest w województwie: zachodniopomorskim (73,0%), podkarpackim (72,3%) i wielkopolskim (72,2%) natomiast paliwo stałe najchętniej wybierane jest w: warmińsko-mazurskim (51,5%), podlaskim (47,0%), lubelskim (46,5%) oraz łódzkim (45,8%). Należy tutaj podkreślić, że podstawą wyboru źródła ciepła dla indywidualnego gospodarstwa domowego jest przede wszystkim jego dostępność w danej lokalizacji oraz aspekty ekonomiczne jak koszty inwestycyjne i eksploatacyjne, w tym okres zwrotu instalacji. W przypadku gazu ziemnego z sieci tylko 50% gospodarstw domowych w Polsce ma możliwość podłączenia się do sieci gazowej, co może mieć istotny wpływ na powyższe statystyki ⁴⁶.



Wykres 5. Struktura wykorzystania nośników energii na cele ogrzewania [źródło: Efekty działalności budowlanej w 2020 r., Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Warszawa 2021, s33.].

Problematyka systemów zaopatrzenia budynków w ciepło szerzej opisana jest w następujących pracach:

R. Sekret, *Environmental effects of the buildings energy supply system*, Monographs No. 237, Czestochowa University of Technology, Czestochowa, 2012). W pracy autor przedstawia ewolucję polskiego budownictwa w kierunku ograniczenia zapotrzebowania i zużycia nieodnawialnej energii pierwotnej. Skupia się na analizie różnych wariantów źródeł ciepła w aspekcie najniższego oddziaływania na środowisko. We wnioskach skłania się do stwierdzenia, że najkorzystniejszym wariantem dla budynków jest sieć ciepłownicza z gazowym, kogeneracyjnym źródłem ciepła. W przypadku budynków z indywidualnym źródłem na uwagę zasługuje rozwiązanie z kondensacyjnym kotłem gazowym oraz sprężarkową pompą ciepła.

⁴⁶ ibidem

2.4.2 Niekonwencjonalne źródła ciepła

Największym z obecnych problemów w dziedzinie budownictwa jest stopniowe wyczerpywanie się zasobów kopalnych. Konieczność zapewnienia ciągłości dostaw przy jednoczesnym zapewnieniu neutralności pod względem emisji dwutlenku węgla spowodowało wzrost zainteresowania odnawialnymi źródłami energii (OZE). Ustawa o odnawialnych źródłach energii z dn. 20 lutego 2015 r. definiuje odnawialne źródła energii jako „odnawialne, niekopalne źródła energii obejmujące energię wiatru, energię promieniowania słonecznego, energię aerotermalną, energię geotermalną, energię hydrotermalną, hydroenergię, energię fal, prądów i pływów morskich, energię otrzymywaną z biomasy, biogazu, biogazu rolniczego oraz z biopłynów”⁴⁷. Pozwalają one zredukować zużycie węgla, oleju i gazu co skutkuje zmniejszeniem się emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Proces ten pozwolił na opracowanie energooszczędnych technologii budowlanych i pojawienia się budynków niskoenergetycznych, których zapotrzebowanie na energię do celów ogrzewania i wentylacji oscyluje w granicach 15-45 kWh/m²·rok oraz budownictwa pasywnego, w których wskaźnik ten wynosi poniżej 15 kWh/m²·rok. Istotną rolę w tym aspekcie zaczął odgrywać odpowiedni wybór nośnika energii pierwotnej.

Europejski Zielony Ład zawiera zestaw strategii osiągnięcia neutralności klimatycznej Europy w 2050 roku przy zastosowaniu technologii ekologicznych. W przypadku budownictwa mieszkalnego mowa przede wszystkim o wykorzystaniu energii ziemi poprzez pompy ciepła oraz energii słońca przy użyciu kolektorów słonecznych lub paneli fotowoltaicznych.



Ilustracja 25. Dom jednorodzinny z panelami fotowoltaicznymi [Źródło: <https://www.muratorplus.pl/technika/fasady/fasadowe-panele-fotowoltaiczne-powermax-skala-w-8-roznych-kolorach-aa-2DJg-Vxmh-sDPz.html>, dostęp: 07.02.2022r]

⁴⁷ Ustawa o odnawialnych źródłach energii z dn. 20 lutego 2015 r.

Kluczową rolę w dekarbonizacji budownictwa mieszkalnego Europy zaczęły odgrywać pompy ciepła. Istotną ich zaletą jest możliwość wykorzystania ich zarówno do ogrzewania, jak i chłodzenia, którego coraz większa potrzeba wynika ze zmian klimatycznych i lepszej izolacyjności obiektów. Skutki wprowadzenia dyrektywy w sprawie charakterystyki energetycznej budynków widać w wielu krajach członkowskich. Od 2020 roku w Austrii w każdym nowoprojektowanym budynku nie można wykorzystać kotłów olejowych jako źródło ciepła, natomiast w Niderlandach i Dani sieci gazowej⁴⁸. Intensywny rozwój technologii pomp ciepła widać również w krajach skandynawskich. W Szwecji są one standardowym systemem grzewczym i ich udział w nowym budownictwie wynosi ponad 50%. W Polsce wykorzystanie OZE do celów grzewczych stanowiło w roku 2020 22,15% wszystkich systemów ogrzewania⁴⁹.



Ilustracja 26. Energy Plant House pracowni Attika Architekten w Szwecji wyposażony w pompę ciepła [źródło:<https://www.designboom.com/architecture/attika-architekten-energy-plant-house-the-netherlands-11-06-2019/>, dostęp 07.02.2022r]

Systemy grzewcze wykorzystujące pompę ciepła opierają się na magazynowanej energii słonecznej w naturalnych kolektorach takich jak woda, grunt czy powietrze. Największe korzyści ze stosowania tego typu ogrzewania jest w połączeniu z niskotemperaturowym ogrzewaniem podłogowym i wykorzystaniem wody gruntowej w temperaturze około 10°C jako dolnego źródła ciepła. W przypadku kosztów ogrzewania istotne znaczenie mają właściwości termiczne budynku, jak i jego bezwładność. Osiągnąć to można poprzez stosowanie materiałów o dużej gęstości i posadowieniu budynku na masywnej, izolowanej termicznie płycie fundamentowej.

⁴⁸ <https://portpc.pl/wieden-bez-kotlow-gazowych-i-olejowych-w-nowych-budynkach-od-2019/>, dostęp:21.01.2022 r.

⁴⁹ Energia ze źródeł odnawialnych w 2020 r., Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Warszawa 2021 s.4



Ilustracja 27. Betonowa bryła domu jednorodzinnego w Abiko, Japonia [źródło: <https://archirama.muratorplus.pl/artykul/galeria/architektura-w-japonii-betonowy-dom-jednorodziny-w-abiko,3465/2008/18257/>, dostęp: 14.02.2022]

Pompy ciepła są jednym z najbardziej ekonomicznych rozwiązań ogrzewania domów jednorodzinnych co było przedmiotem badań w wielu publikacjach:

Kasprzyk G., *Systemy grzewcze w budynkach jednorodzinnych jako instrument energetyki prosumenckiej, Zeszyty naukowe wyższej szkoły technicznej w Katowicach 2016, nr 8 s. 97-106* W opracowaniu przedstawiono możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii w budynkach mieszkalnych. Skupiono się na przeanalizowaniu różnych systemów ogrzewania domów jednorodzinnych i zwrócono uwagę na konieczność dokonania oceny walorów energetycznych działki na etapie projektowania. W dalszej części pracy zaproponowano dodatkowe rozwiązania, w których głównym źródłem ciepła była pompa ciepła.

Kasprzyk G., *Energetyczno-ekologiczne aspekty zastosowania pompy ciepła w budynku jednorodzinym, Zeszyty naukowe wyższej szkoły technicznej w Katowicach 2016, nr 8. S. 75-86.* W pracy przedstawiono zastosowanie odnawialnych źródeł energii w budownictwie skupiając się przede wszystkim na charakterystyce wydajności pomp ciepła. We wnioskach przedstawiono propozycję multiwalentnego systemu ogrzewania pompa ciepła.

Rajchel B., Klimczak R., *Wykorzystanie pompy ciepła w domu jednorodzinym jako systemu przyjaznego środowisku przyrodniczemu, Problemy ochrony środowiska przyrodniczego i kulturowego Pogórza Dynowskiego w aspekcie zrównoważonego rozwoju turystyki, red. Krupa J., Szpara K., Wyd. Politechnika Rzeszowska, s. 233 – 253.* W artykule autorka przybliżyła pompy ciepła jako alternatywne źródło energii cieplnej w domach jednorodzinnych i przedstawia etap przygotowania projektu, wykonanie montażu oraz uruchomienie systemu.

Kurzak L., Maciągowska A., *Wykorzystanie pomp ciepła w budynkach jednorodzinnych, Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym 2(12) 2013, s. 55-60.* Autorzy artykułu przedstawiają charakterystykę pomp ciepła oraz dokonują analizy modernizacji systemu grzewczego opartego na węglu kamiennym w domu jednorodzinym z zastosowaniem pompy ciepła. W pracy znaleźć można również analizę ekonomiczną planowanej inwestycji, obejmująca koszty projektu, montażu i zakupu pompy ciepła. Na podstawie przeprowadzonej analizy autorzy wnioskują, że pompy ciepła są energooszczędnymi i ekologicznymi urządzeniami, natomiast ich największą wadą jest wysoki koszt inwestycyjny i wysoki okres zwrotu, co w dużej mierze zniechęca potencjalnego inwestora.

Rutkowska G., Wichowski P., Srok M., *Analiza możliwości wykorzystania pomp ciepła dla budynku mieszkalnego zlokalizowanego w Euroregionie Beskidy, Europa Regionum Tom XXIII rok 2015 s. 223-230,* W pracy poruszona została istotna kwestia możliwości montażu pomp ciepła w obiektach modernizowanych. Zwrócono uwagę na fakt, że ograniczeniem w stosowaniu pomp ciepła nie jest brak technologii czy ich dostępności, lecz w przypadku gruntowych pomp ciepła uwarunkowania terenowe oraz konieczność ingerencji w istniejący system grzewczy.

Równie ekologicznym systemem wykorzystującym energię solarną są kolektory słoneczne. Urządzenia te redukują zużycie energii na potrzeby ogrzewania ciepłej wody użytkowej pochodzących z nieodnawialnych źródeł energii. Na potrzeby budynków mieszkalnych z powodzeniem można również wykorzystać energię promieniowania słonecznego do wytwarzania energii elektrycznej poprzez panele fotowoltaiczne. Montaż takiej instalacji nie wpływa bezpośrednio na system ogrzewania, jedynie umożliwia obniżenie wysokości rachunków za prąd, jednakże w całościowym ujęciu obliczeń zapotrzebowania na energię pierwotną budynku znacząco redukuje wskaźnik EP. Montaż paneli fotowoltaicznych na budynkach jednorodzinnych jest w Polsce coraz bardziej popularny. Głównym motywem jest chęć oszczędności, ekologia jak również sporo programów dofinansowujących ich montaż.

Popularność tej tematyki widać również w literaturze:

Głów A., Kurz D., Analiza opłacalności inwestowania w przydomowe instalacje fotowoltaiczne na przykładzie paneli i dachówek fotowoltaicznych, Poznań University of technology academic journals no 74 electrical engineering 2013, s 275-282. Tematem badań w artykule było dokonanie porównania pod względem technicznym tradycyjnego panelu fotowoltaicznego oraz dachówki solarnej. Dla wybranego domu jednorodzinnego przeprowadzono analizę kosztów instalacji w dwóch wersjach oraz oszacowano czas zwrotu inwestycji i szacowany poziom uzyskanej energii.

Janczak P., Trzmiel G., Charakterystyka instalacji fotowoltaicznych małej mocy w aspekcie ekonomicznym, Poznań University of Technology academic journals no 81 electrical engineering 2015, s. 161-167. W artykule przedstawione zostały najważniejsze aspekty ekonomiczne dotyczące planowania montażu paneli fotowoltaicznych na budynkach mieszkalnych. We wnioskach końcowych autorzy starali się określić czas zwrotu inwestycji w bieżących uwarunkowaniach prawnych.

Soliński B., Kała J. Efektywność ekonomiczna funkcjonowania mikro instalacji fotowoltaicznych wykorzystywanych przez prosumenta, Problemy Drobnego Gospodarstwa Rolnych, Nr 4, 2017, s.105–116. Autorzy skupili się na analizie efektywności ekonomicznej mikro instalacji prosumenckiej dla wiejskiego domu jednorodzinnego. W pracy zwrócono uwagę na znaczenie wybranych czynników mających decydujący wpływ na poziom opłacalności ekonomicznej tych systemów. Wykorzystano dane zarówno szacunkowe, jak i rzeczywiste ukazując istotne różnice w końcowej ocenie efektywności ekonomicznej

Melgar S.G., Cordero A.S., Rodríguez M.V., Márquez J.M.A., Matching Energy Consumption and Photovoltaic Production in a Retrofitted Dwelling in Subtropical Climate without a Backup System, Energies 2020, 13, 6026. Autorzy pracy wykonali dogłębną analizę zarówno zużycia energii, jak i jej produkcji w budynku socjalnym na podstawie przeprowadzonych badań. Wykazano, że większość produkcji odnawialnej energii nie koreluje z czasem zwiększonego zapotrzebowania na ciepło w budynku. W badaniach zaproponowano zatem strategię zmiany bilansu energetycznego poprzez korektę nawyków mieszkańców w zakresie zużycia ciepłej wody użytkowej i prac domowych.

Alternatywą dla kotłów opalanych węglem są kotły oparte na odnawialnych źródłach energii, czyli biomase. Pod tym pojęciem kryją się paliwa pochodzenia roślinnego takie jak zrębki, pellety, drewno w postaci polan i wiele innych. Podczas spalania biomasy do atmosfery uwalniany jest w dalszym ciągu dwutlenek węgla, natomiast jego ilość jest równa ilości dwutlenku węgla pochłanianej przez roślinę w ciągu wzrostu. Z tego względu paliwo to uznawane jest za neutralne dla środowiska i jest ciekawą opcją wyboru w domach jednorodzinnych o ograniczonym dostępie do mediów. Pod względem energetycznym biomasa również wychodzi bardzo korzystnie co przedstawiane jest w wielu publikacjach:

Redlarski G., Wojdalski J., Kupczyk A., Piechock J., *Efficiency of biomass energy used for heating purposes in a residential building in comparison with other energy sources*, Teka. Commission of motorization and energetics in agriculture – 2012, vol. 12, no. 1, s. 211–218. W pracy autorzy skupili się na porównaniu efektywności energetycznej budynku mieszkalnego w zależności od rodzaju źródła ciepła w tym kotłów na biomasę.

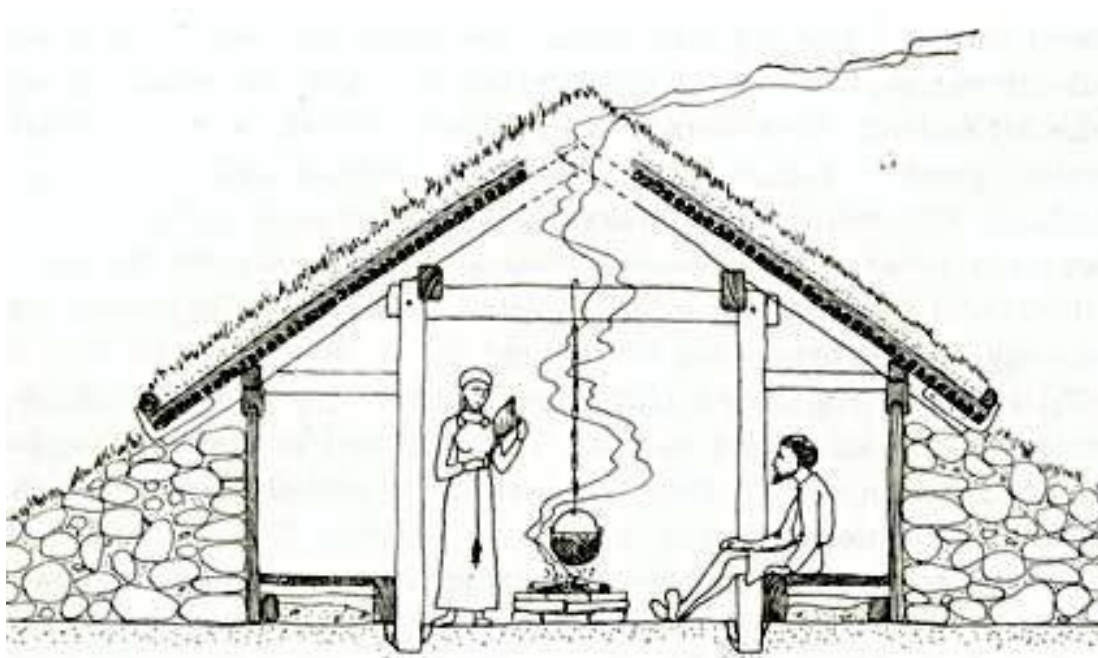
Monforti-Ferrario, F.; Belis, C., *Sustainable use of biomass in the residential sector*, A report prepared in support of the European Union Strategy for the Danube Region (EUSDR) 2018, W raporcie przedstawiono przegląd zagadnień związanych z użyciem biomasy w budownictwie mieszkaniowym. Autorzy analizują motywy użytkowników dotyczących wyboru tego typu paliwa, tego konsekwencje oraz całościowy wpływ na system ogrzewania. Przedstawione są również rozwiązania i strategie oferowane przez Unię Europejską w promowaniu tego typu paliwa.

Redlarski G., Piechocki J., *Analiza konwencjonalnych nośników energii z biomasą do celów grzewczych. Cz. 2. Studium przypadku, inżynieria rolnicza 2013: z. 2(143) t.1 s. 289-301,* Praca stanowi analizę zarówno ekonomiczną jak i ekologiczną biomasy na przykładzie pelletu w odniesieniu do tradycyjnych źródeł ciepła w tym gazu, węgla, energii elektrycznej i oleju opałowego. Autorzy dokonali porównania na przykładzie domu jednorodzinnego w różnych wariantach lokalizacyjnych, aby objąć wszystkie pięć stref klimatycznych w Polsce. Na podstawie otrzymanych wyników ukazali zalety biomasy wykorzystywanej na cele grzewcze w porównaniu z tradycyjnymi źródłami.

Proszak D., Barłowska P., *Pelet czy węgiel? ekonomiczne aspekty wyboru paliwa do ogrzania budynku jednorodzinnego*, Czasopismo inżynierii lądowej, środowiska i architektury, jceea, t. XXXIII, z. 63 (2/I/16), kwiecień-czerwiec 2016, s. 267-276. W artykule autorki porównują w różnych aspektach dwa alternatywne źródła ciepła dla budynku jednorodzinnego: węgiel oraz pellet. Zwracają uwagę na zużycie i koszty grzania w obydwóch przypadkach oraz przedstawiają charakterystykę tych dwóch paliw. Na podstawie analizy kosztów wychodzi, że węgiel zdecydowanie przewyższa biomasę pod względem zużycia energii i kosztów eksploatacyjnych natomiast odwrotna sytuacja występuje w aspekcie ekologicznym i szkodliwości dla środowiska.

2.5 Wymiana powietrza w budynkach

Świeże powietrze jest niezbędne do prawidłowego funkcjonowania człowieka, dlatego historia wentylacji budynków sięga czasów prehistorycznych. W czasach średniowiecza powietrze było uznawane jako jeden z czterech podstawowych elementów kreujących świat na równi z ziemią, ogniem i wodą. W tym okresie w budownictwie pojawiały się już pierwsze kominy wentylacyjne. Pierwsze słowo „wentylacja” pojawiło się natomiast w 1660 roku i opisane było jako „wymiana zanieczyszczonego powietrza w zamkniętej przestrzeni na powietrze świeże i czyste.”⁵⁰ Rozwój miast i budownictwa mieszkaniowego począwszy od 1700 roku doprowadził do coraz gorszej jakości powietrza w pomieszczeniach, a w 1770 roku pojawiły się pierwsze naukowe dowody na kluczowy wpływ świeżego powietrza na zdrowie i życie człowieka. Od tego momentu nastąpił intensywny rozwój systemów wentylacyjnych opartych na naturalnym ciągu atmosferycznym w celu zwiększenia intensywności wymiany i jakości powietrza. W 1821 roku w Niemczech powstał z kolei pierwszy system wentylacji wymuszanej temperaturą z użyciem kaloryferów, co było tak naprawdę systemem ogrzewania⁵¹. Jak można zauważyć, od zarania dziejów wentylacja jest nieodzownym elementem systemów ogrzewania i powinna być rozpatrywana łącznie.

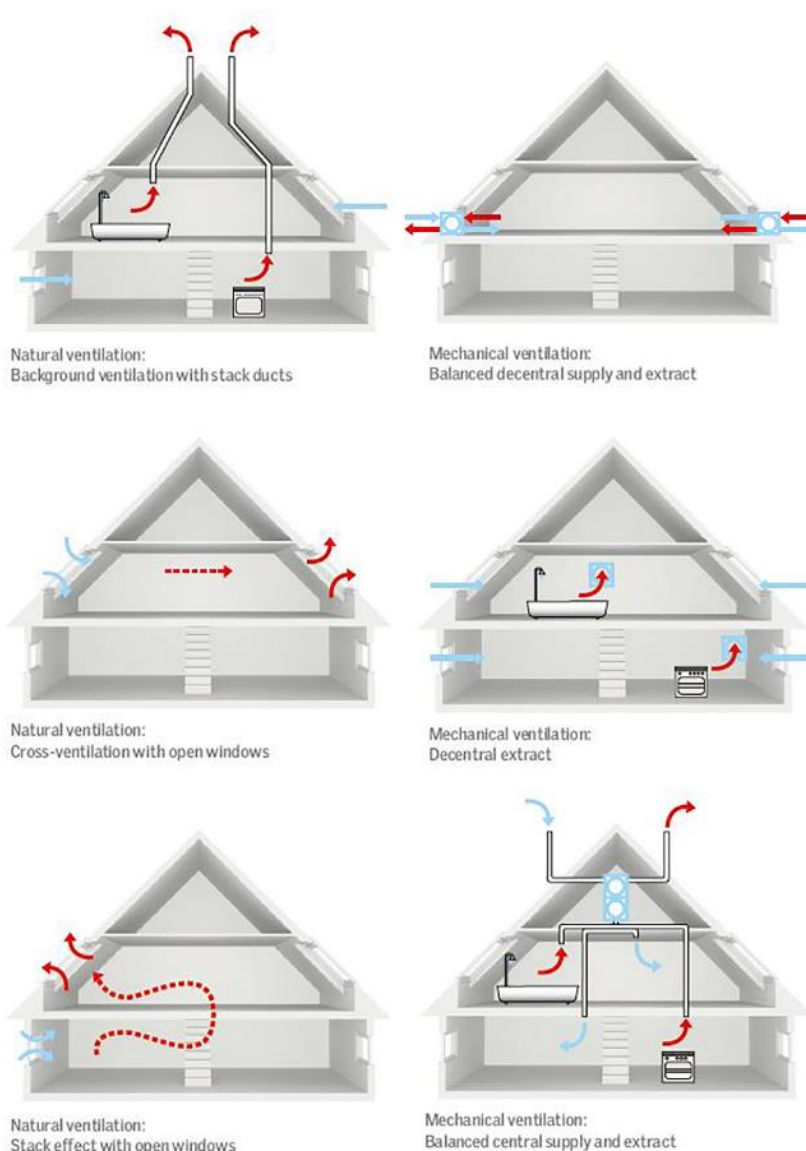


Ilustracja 28. Schemat pierwszych obiektów mieszkalnych z centralnie usytuowanym źródłem ciepła [Źródło: <https://www.pinterest.fr/pin/308707749431993734/>, dostęp: 16.01.2022r].

⁵⁰ Olsson D., *History of ventilation technology - From a Western Perspective*, Swegon Air Academy 2016

⁵¹ ibidem

Jednym z najważniejszych prekursorów w historii wentylacji był David Boswell Reid z Edinburgu, który jako pierwszy opisał wpływ wentylacji na jakość środowiska wewnętrznego i architekturę obiektu. Jego dalsze prace doprowadziły do powstania w 1854 roku pierwszego na świecie systemu wentylacji mechanicznej wywiewnej opartej na użyciu wentylatorów. Aż do roku 1930 wymiana powietrza w budynkach mieszkalnych odbywała się za pomocą wentylacji naturalnej. Era wentylacji mechanicznej rozpoczęła się dopiero po drugiej Wojnie Światowej. Intensywny jej rozwój nastąpił po zaprezentowaniu w latach 50. XX w. przez amerykańskich inżynierów, pierwszego systemu wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła na bazie recyrkulacji⁵². Od 1970 roku zaczęto zwracać coraz większą uwagę na zużycie energii w budynkach, co skutkowało coraz lepszą izolacyjnością ścian i wzmożonym zapotrzebowaniem na wymianę powietrza.



Ilustracja 29. Popularne systemy wentylacji ogólnej w budownictwie mieszkalnym źródło: <https://www.velux.com/what-we-do/research-and-knowledge/deic-basic-book/ventilation/ventilation-and-ventilation-systems>, dostęp 14.01.2022r].

⁵² ibidem

Obecnie w wielu krajach nieleżących w ciepłym klimacie instalacja wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła stała się standardem zarówno dla budynków użyteczności publicznej, jak i mieszkaniowych. W Polsce natomiast w budownictwie mieszkaniowym zdecydowanie dominuje wentylacja naturalna. Opiera się ona na warunkach atmosferycznych, jest bezobsługowa i do tej pory koszt inwestycyjny zawierał jedynie koszt budowy kominów. Wraz z rozwojem budownictwa energooszczędnego, budowy obiektów o coraz lepszej izolacyjności, wentylacja grawitacyjna oparta na starych zasadach stała się nieefektywna, na co zwrócił uwagę Szymon Firląg w wielu swoich publikacjach:

Firląg S., *Działanie wentylacji grawitacyjnej w ocenie mieszkańców, ciepłownictwo ogrzewnictwo wentylacja* 1(8):2017, s. 34-38. W pracy autor analizuje sprawność wentylacji grawitacyjnej na przykładzie budynku wielorodzinnego. Skupia się na znalezieniu przyczyn wadliwości systemu i proponuje usprawnienia systemu. We wnioskach autor stwierdza, że wentylacja naturalna w obecnej postaci jest nieefektywna i należy od niej odchodzić na rzecz wentylacji hybrydowej lub całkowicie mechanicznej.

Firląg S., Miszczuk A., *Szczelność powietrzna budynków energooszczędnych a instalacje*, Rynek Instalacyjny. (4): 2015. S. 56-62.

Oraz inni autorzy:

Mikołajewski J., Prymon M., Hopkowicz M., *Analiza przyczyn powstawania zagrożeń w środowisku wewnętrznym budynków z wentylacją naturalną – studium przypadku*. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja (11): 33 W pracy przeprowadzono analizę ciężkiego zatrucia tlenkiem węgla w łazience w budynku wielorodzinnym. Na etapie analiz stwierdzono, że nadmierna szczelność pomieszczeń jak również niekorzystne usytuowanie kominów wentylacyjnych wpływa niekorzystnie na skuteczność wentylacji grawitacyjnej, co może powodować zagrożenie życia lub zdrowia mieszkańców. W przypadku niekorzystnych warunków pogodowych wentylacja grawitacyjna w pomieszczeniach stwarza realne zagrożenie.

Gaczol T., *Wentylacja naturalna systemy nawiewu – wybrane przykłady*, „Czasopismo Techniczne Architektura”, z. 10, z. 4-A, 2007. Praca przedstawia główne problemy projektowe jak i wykonawcze dotyczące systemu wentylacji grawitacyjnej w budownictwie. W pracy autor zauważył, że jednym z najbardziej istotnych zaniedbań w tej dziedzinie jest niedostatecznie rozwiązany sposób nawiewu powietrza do pomieszczeń lub ich całkowity brak. W dalszej części pracy przedstawia różne rozwiązania projektowe wspomagające układ wentylacji i zwraca uwagę na ważność tego problemu zarówno w nowych jak i modernizowanych obiektach.

Goreczny T., *Problemy jakości powietrza wewnętrznego w kontekście analizy energochłonności budynków*, Transcom 2011, June 2011 s.27-29, W pracy autor zwraca uwagę na problem skuteczności wentylacji grawitacyjnej w modernizowanych obiektach.

W przeciwieństwie do wentylacji grawitacyjnej mechaniczna jest niezależna od warunków pogodowych i zapewnia ciągły dopływ świeżego powietrza do pomieszczeń o zdecydowanie lepszej jakości. Główną przyczyną, przez którą nie jest ona jeszcze standardem w polskim budownictwie, jest większy nakład finansowy jej wykonania i zależność od energii elektrycznej. Wentylacja mechaniczna szczególnie z odzyskiem ciepła jest jednak coraz częściej wybierana ze względu na zdecydowanie mniejsze całościowe zużycie energii przez budynek, a w niektórych państwach stała się już nieodłącznym elementem budynków jednorodzinnych. Porównanie tych dwóch systemów wentylacyjnych jest coraz częstszym przedmiotem literatury w tym również przedmiotem zainteresowań samej autorki:

Biała A., Analiza porównawcza wentylacji naturalnej i mechanicznej na przykładzie domu jednorodzinnego. Architectus 2020 3(63) s. 145-160. W artykule dokonano analizy dwóch popularnych systemów wentylacji ogólnej na przykładzie domu jednorodzinnego. Na podstawie 3 kryteriów: analizy kosztów inwestycyjno-eksploatacyjnych, jakości powietrza oraz zapotrzebowania na energię na cele grzewcze starano się wybrać najkorzystniejszy wariant.

Kostka M., Szulgowska-Zgrzywa M., Change-over natural and mechanical ventilation system energy consumption in single-family buildings, E3S Web of Conferences 22, 00086 (2017). Problemem badawczym w artykule jest racjonalizacja zużycia energii w budynkach mieszkalnych za pomocą wentylacji hybrydowej w trzech lokalizacjach Polski.

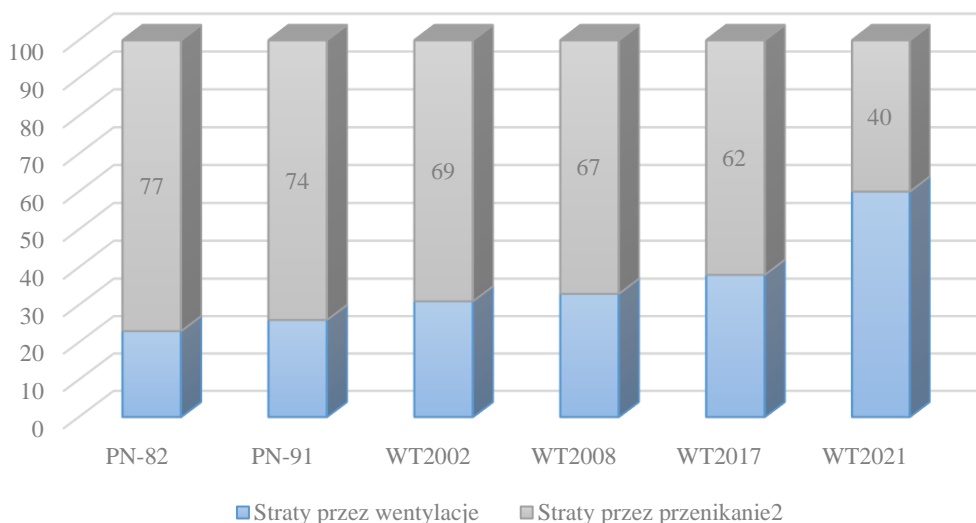
Blecich P., Bonefaćić I., Wolf I., Space heating and cooling energy demand in energy efficient single-family house with mechanical ventilation system, Technical Gazette 24, Suppl. 1(2017), s. 119-126, W pracy zbadano poziom zużycia energii na cele grzewcze i chłodzenia dla domu jednorodzinnego zlokalizowanego w Chorwacji wyposażonego w wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła. Podstawą badań była ocena komfortu termicznego i wielkości zużycia energii dla trzech typów budynków: dom referencyjny, energooszczędny i pasywny.

2.6 Wpływ wentylacji na zużycie energii i architekturę obiektu

System wentylacji jest niezbędny do utrzymania zarówno odpowiedniego komfortu i zdrowia użytkowników, jak i stanu technicznego obiektu. Z kolei z punktu widzenia energetycznego jest to zjawisko pochłaniające znaczą część energii cieplnej. Zmiana przepisów dotyczących szczelności przegród budowlanych sprawia, że obecne nowo projektowane budynki mieszkalne powinny być energooszczędne. Cechą charakterystyczną takiego budownictwa jest przede wszystkim niskie zapotrzebowanie na energię cieplną i wysoki stopień szczelności. Należy jednak zwrócić tutaj uwagę na bezpośredni wpływ tych działań na skuteczność wentylacji obiektu. W przypadku budownictwa tradycyjnego o niskim poziomie szczelności straty ciepła przez wentylację stanowiły około 30-40% całkowitego zapotrzebowania budynku na ciepło. W przypadku domów modernizowanych na aktualnych warunkach widać odwróconą tendencję i wentylacja zaczyna stanowić około 60% strat⁵³. Dane te wskazują, że zarówno w budynkach nowoprojektowanych, jak i modernizowanych na aktualnych

⁵³ Amanowicz Ł., Szczechowiak E., *Zasady projektowania systemów wentylacji budynków energooszczędnych*, „Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja” 48/2, 2017, s. 72–78

przepisach należy zwrócić większą uwagę na systemy wentylacji i sposoby ograniczenia udziału tych strat w całościowym zapotrzebowaniu na energię.



Wykres 6. Udział procentowy strat przez przenikanie i wentylację w zapotrzebowaniu na ciepło do ogrzewania i wentylacji budynków jednorodzinnych w Polsce⁵⁴.

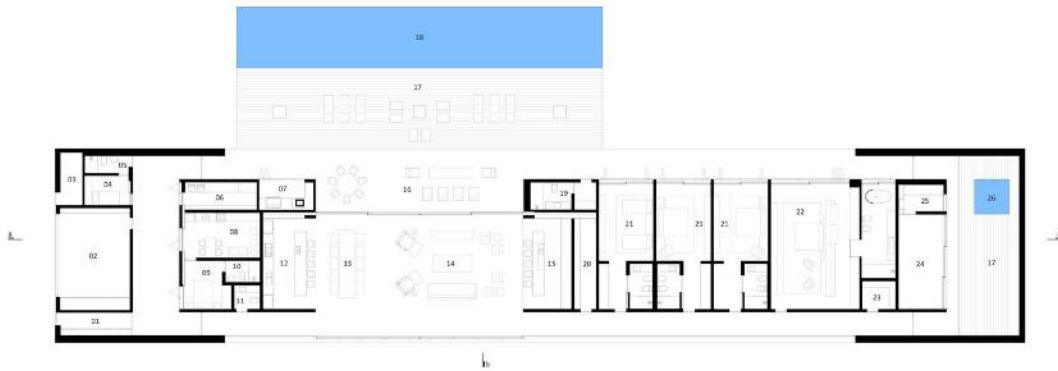
Poniżej przytoczone projekty architektoniczne pokazują, że poprzez odpowiednie kształtowanie architektury mieszkaniowej architekt może poprawić skuteczność wentylacji grawitacyjnej.

Projekt The Lee House z 2012 roku architektów Eduardo Glycerio i Studia MK27 - Marcio Kogan charakteryzuje się wąską i podłużną bryłą. Ze względu na zlokalizowanie obiektu w ciepłym klimacie kluczową kwestią stało się zapewnienie ciągłości wentylacji w okresach o wysokiej temperaturze. Bezpośredni przepływ powietrza zmniejszający tym samym temperaturę wewnątrz pomieszczeń miały zapewnić szeroko rozsuwane okna zlokalizowane po każdej stronie kluczowych pomieszczeń.



Ilustracja 30. Lee House [źródło: <https://www.archdaily.com>, dostęp: 18.01.2022r].

⁵⁴ ibidem



Ilustracja 31. Lee House [źródło: <https://www.archdaily.com>, dostęp: 18.01.2022r].

Kolejny projekt domu jednorodzinnego to Stepping Park House pracowni VTN Architects. Główną koncepcją była bezpośrednia integracja architektury z naturalną roślinnością. Zaprojektowanie ukośnej pustki pomiędzy trzema kondygnacjami obiektu miało zapewnić skuteczną wentylację obiektu poprzez wzmocnienie efektu kominowego⁵⁵. Zastosowanie z kolei zielonej elewacji chroni przestrzeń wewnętrzną przed intensywnym przegrzewaniem się pomieszczeń. Zastosowanie tej techniki stało się coraz popularniejsze w architekturze mieszkalnej w klimatach tropikalnych.



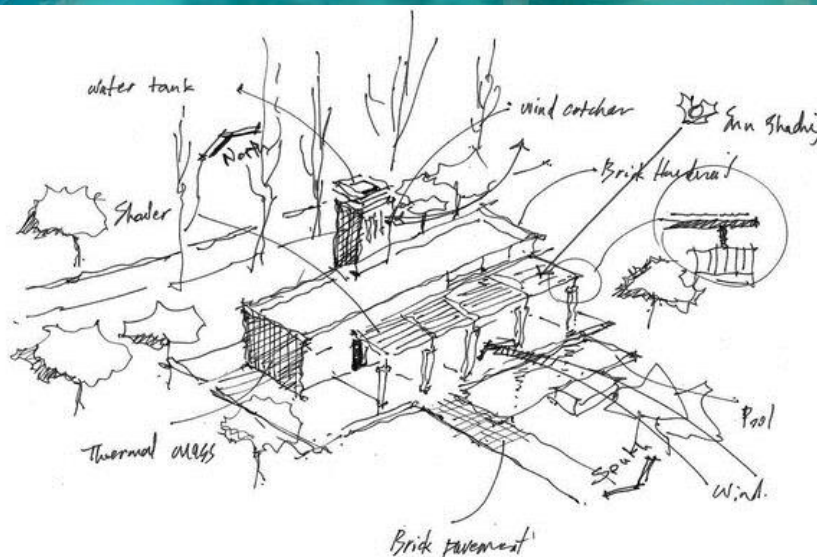
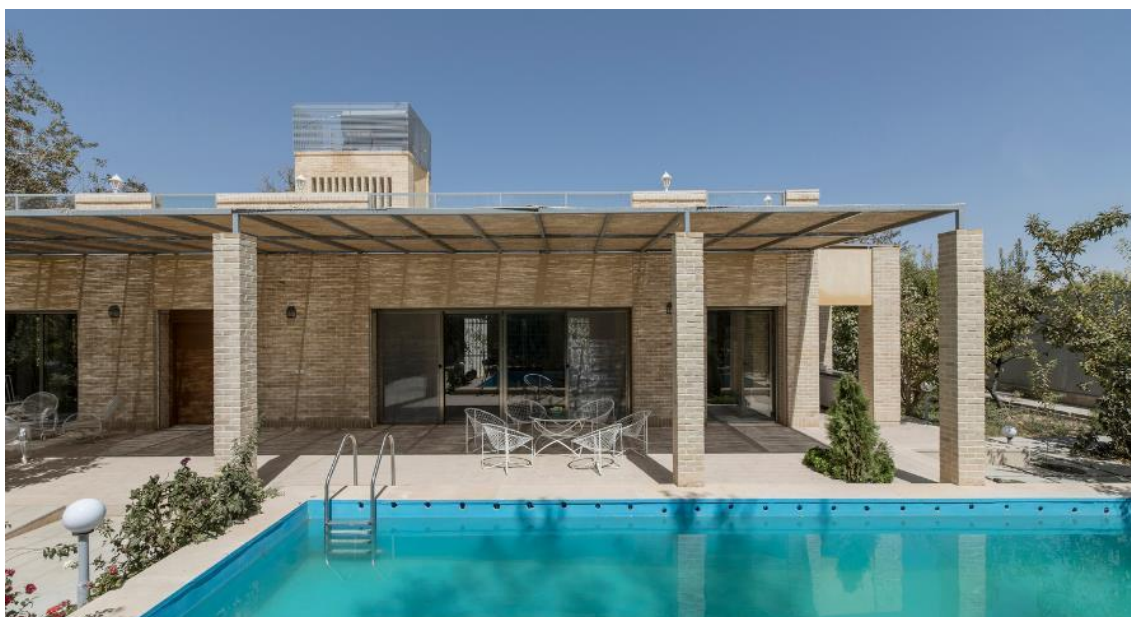
Ilustracja 32. Stepping Park House [źródło: <https://www.archdaily.com>, dostęp 07.01.2022r].

⁵⁵ Moosavi L., Mahyuddin N., Ghafar N. A, Ismail M. A., *Thermal performance of atria: An overview of natural ventilation effective designs*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 34, 2014, s. 654-670,



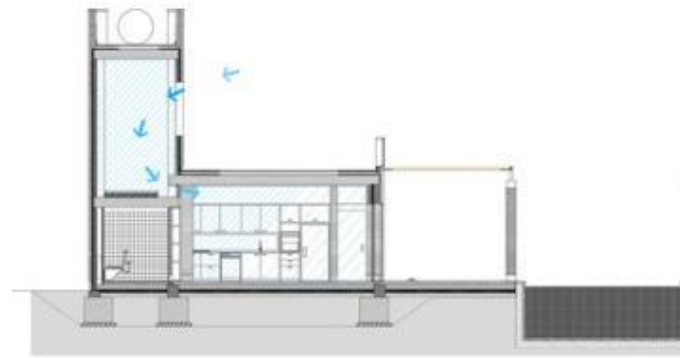
Ilustracja 33. Stepping Park House [źródło: https://www.archdaily.com/908346/stepping-park-house-vtn-architects/5c20fbc08a5e516a3001606-stepping-park-house-vtn-architects-photo?next_project=no, dostęp 07.01.2022r.].

Ciekawym przykładem jest również dom jednorodzinny Jalal-abad Villa architekta Hajm.e.Sabz w Iranie. Projektant starał się ulepszyć lokalne techniki budowlane poprzez zastosowanie pasywnej wentylacji obiektu. Cechą charakterystyczną obiektu jest powrót do tradycyjnej irańskiej architektury i wykorzystanie wieży wiatrowej jako elementu wspomagającego pasywną wentylację obiektu. Jej skuteczność potwierdzono w wielu publikacjach M. Mahmoudi'ego jak „*Analysis on Iranian Wind Catcher and Its Effect on Natural Ventilation as a Solution towards Sustainable Architecture*”, *Analysis on typology and architecture of wind catcher and finding the best type*” czy wielu pracach irańskiego pioniera w tej dziedzinie Bahadori'ego ; *"An Improved Design of Wind Towers for Natural Ventilation and Passive Cooling"*, *"Wind towers: architecture"* i wielu innych⁵⁶.

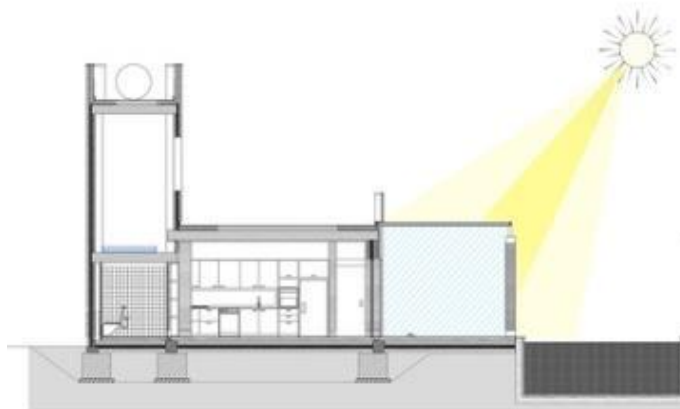


Ilustracja 34. Jalal-abad Villa [Źródło: <https://www.archdaily.com>, dostęp 0.01.2022r.].

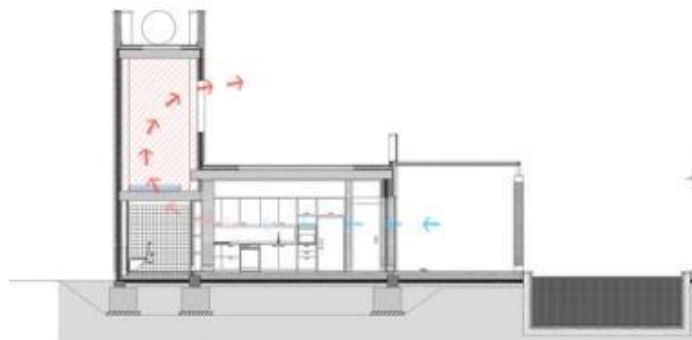
⁵⁶R. Dehghani-sanij, M. Soltani, K. Raahemifar, *A new design of wind tower for passive ventilation in buildings to reduce energy consumption in windy regions*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 42, 2015, s.182-195.



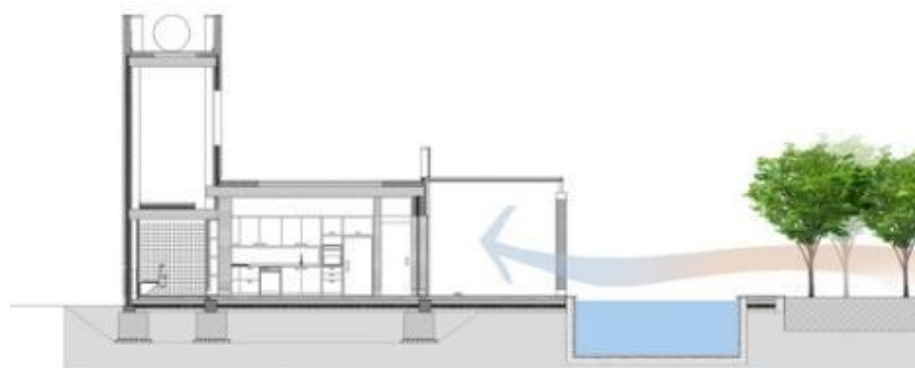
windy days, windcatcher takes fresh air into space



Porch also shading device



non windy days, windcatcher works as solar chimney exhaust hot air



fresh air ventilation by air passing through the trees and water

Ilustracja 35. Schemat działania wentylacji w Jalal-abad Villa [źródło: <https://www.archdaily.com>, dostęp 0.01.2022r.]

Tematykę wentylacji w architekturze można znaleźć w licznej literaturze:

Händel C., *Ventilation with heat recovery is a necessity in “nearly zero” energy buildings*, REHVA Journal – May 2011. W artykule przedstawiono wpływ wentylacji na zużycie energii w budynkach i scharakteryzowano wpływ wentylacji mechanicznej na całociowy bilans energetyczny.

Haslam M., Farrell A., *Natural ventilation strategies in near-zero-energy building*, Architectural Research through to Practice: 48 th International Conference of the Architectural Science Association 2014, The Architectural Science Association & Genova University Press . s619-630. Autorzy przedstawiają wpływ pasywnych rozwiązań wentylacji naturalnej na architekturę budynków zero energetycznych. Zwrócono uwagę na konieczność współgrania wentylacji naturalnej ze strategiami redukcji obciążenia cieplnego.

Liping, Wang, and Wong Nyuk Hien. "Applying natural ventilation for thermal comfort in residential buildings in Singapore." Architectural Science Review 50.3 (2007): 224-233. Artykuł przedstawia wyniki badań dotyczące potencjału wentylacji naturalnej w zapewnieniu komfortu cieplnego w obiektach mieszkalnych w Singapurze. Badania wykazały, iż wentylacja naturalna może potencjalnie zapewnić komfortowe warunki pod warunkiem zoptymalizowanego projektu elewacji budynku. Ostatecznie autorzy przedstawili wytyczne projektowe elewacji opierając się na prędkości powietrza w pomieszczeniach dla uzyskania komfortu cieplnego.

2.7 Komfort użytkowania budynków mieszkalnych

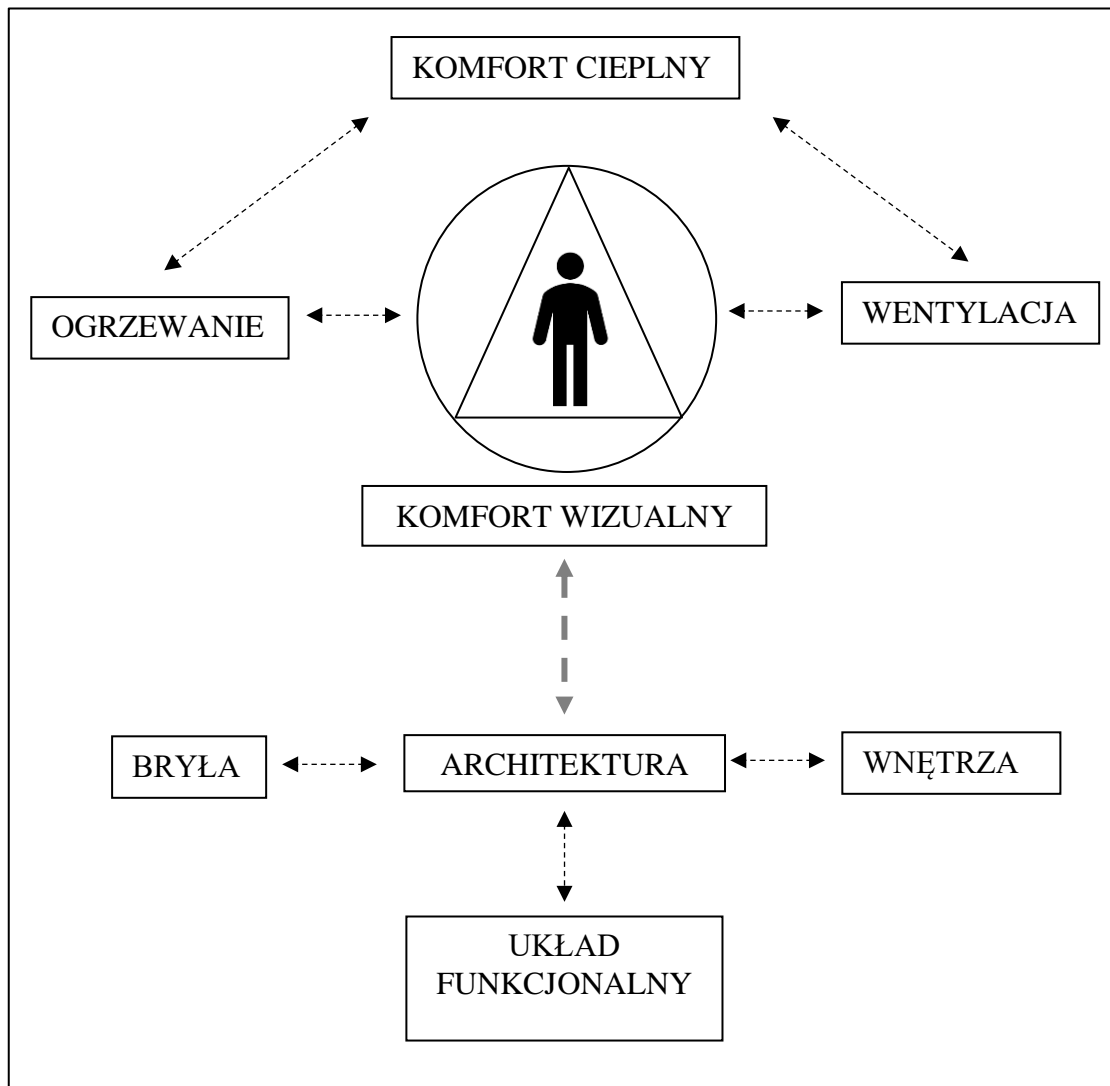
Istotnym parametrem w ocenie budynków mieszkalnych jednorodzinnych jest komfort ich użytkowania. Można wyróżnić dwa aspekty wpływające bezpośrednio na jego odczuwanie. Pierwszym z nich jest aspekt wizualny, który bezpośrednio powiązany jest z architekturą obiektu. Użytkownicy w pierwszej kolejności kierują się odczuciami wzrokowymi. Aby zapewnić zatem odpowiedni poziom komfortu wizualnego konieczna jest odpowiednia harmonia pomiędzy architekturą zewnętrzną obiektu a jego układem funkcjonalnym i architekturą wewnątrz. Określenie uniwersalnych parametrów w tym zakresie jest jednak trudne do wykonania, ponieważ każda osoba posiada własne preferencje i oczekiwania.

Drugim kluczowym aspektem wpływającym na ogólny komfort użytkowania obiektu jest komfort cieplny, który można ogólnie określić jako:

***Stan utrzymania zrównoważonego bilansu cieplnego człowieka z otoczeniem*⁵⁷.**

Za utrzymanie go na odpowiednim poziomie odpowiedzialne są w głównej mierze systemy ogrzewania i wentylacji ogólnej, które pozwalają kontrolować parametry powietrza w budynku a ich zadaniem jest optymalizacja warunków środowiskowych. Mieszkańcy budynków jednorodzinnych sami kształtują określony mikroklimat w pomieszczeniach w celu zapewnienia sobie i rodzinie komfortu cieplnego poprzez odpowiednią regulację urządzeń. Pozwala ona przede wszystkim na poprawę samopoczucia, zdrowia, jak i jakości życia.

⁵⁷ Lis A. *Ocena wskaźników komfortu cieplnego ludzi w pomieszczeniach*, FIZYKA BUDOWLI W TEORII I PRAKTYCE TOM II, 2007, s191-196



Ilustracja 36. Schemat relacji wpływających na komfort użytkownika obiektu [opracowanie własne].

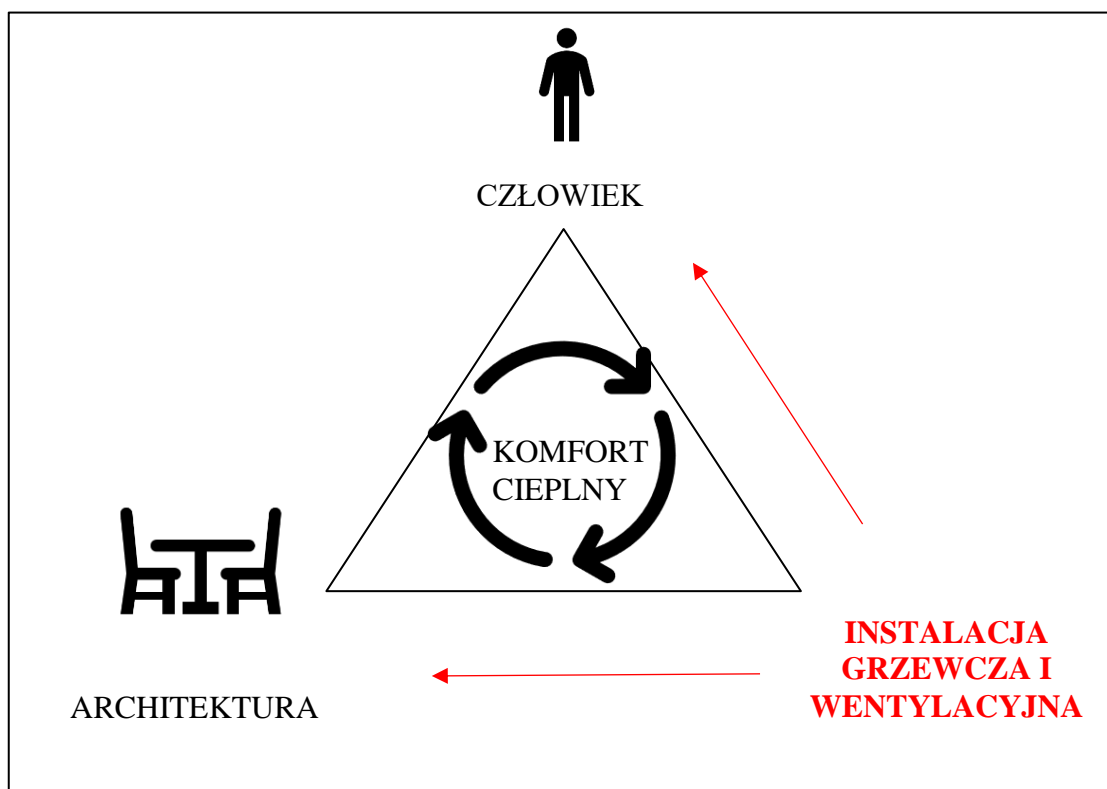
Na odczucie komfortu cieplnego wpływa szereg czynników zarówno środowiskowych, jak i indywidualnych. Do pierwszej kategorii zaliczamy:

- temperaturę powietrza,
- prędkość powietrza
- wilgotność względną powietrza,
- temperaturę promieniowania,
- asymetria rozkładu temperatury,

do drugiej natomiast:

- metabolizm,
- wiek,
- izolacyjność cieplna odzieży.

Czynniki indywidualne mają istotny wpływ zarówno na kształtowanie architektury, jak i dobór odpowiednich systemów wentylacyjnych i grzewczych. Dlatego tak ważne jest zarówno w trakcie tworzenia nowego obiektu, jak i modernizacji już istniejącego, zwrócenie uwagi na zapewnienie odpowiedniego komfortu cieplnego użytkownikom. Można to osiągnąć jedynie poprzez odpowiednią korelację zastosowanych rozwiązań architektonicznych z dobranymi odpowiednio systemami grzewczymi i wentylacyjnymi. Usprawniając jeden element obiektu należy mieć na uwadze bezpośredni tego wpływ na inne systemy. Bardzo często w trakcie modernizacji obiektu poprzez jego termoizolację, nie wykonuje się analizy wpływu tego zabiegu na sprawność wentylacji. Badania⁵⁸ wykazują negatywny wpływ termoizolacji obiektu na działanie wentylacji grawitacyjnej, co skutkuje pogorszeniem się komfortu użytkowników w kwestii jakości powietrza.



Ilustracja 37. Podstawowe parametry wpływające na komfort cieplny budynków [opracowanie własne].

Celem pracy było zbadanie wpływu kierunku zmian w możliwości wyboru źródła ciepła i systemów wentylacji w budownictwie jednorodzinny na komfort użytkownika obiektu w celu utrzymania odpowiedniego dla użytkowników komfortu cieplnego i jakości życia. Ze względu na bezpośrednią możliwość regulacji przez użytkownika parametrów wewnętrznych w budynku uznano, iż komfort cieplny jest w nim zapewniony. Zbadano natomiast komfort obsługi urządzeń grzewczych i wentylacyjnych, które są bezpośrednio odpowiedzialne za jego utrzymanie.

⁵⁸ Goreczny T. *Problemy jakości powietrza wewnętrznego w kontekście analizy energochłonności budynków*, Transcom 2011, 27-29 June 2011,

Podobna tematyka pojawia się w następującej literaturze:

Grzegorz Kowalewski G., Kostecka I., Jezierski W., *Ocena komfortu cieplnego w jednorodzinnych budynkach mieszkalnych po jego termomodernizacji, Budownictwo i inżynieria środowiska 8 (2017) s. 67-73.* Praca zawiera ocenę komfortu cieplnego w pomieszczeniach wybranego jednorodzinnego budynku mieszkalnego po jego termomodernizacji. Budynek usytuowany jest w Białymstoku przy ul. Cyprysowej i powstał w roku 1970. Termomodernizację budynku wykonano z uwzględnieniem wymagań ochrony cieplnej aktualnych dla roku 2012. Przedsięwzięcia termomodernizacyjne obejmowały dodatkowe ocieplenie ścian zewnętrznych, stropodachu, stropu nad piwnicą nieogrzewaną oraz wymianę okien, bez zmiany źródła ciepła. Termomodernizacja istotnie zmieniła warunki komfortu cieplnego w pomieszczeniach wybranego budynku. Na podstawie danych o parametrach mikroklimatu w budynku przeanalizowano warunki komfortu cieplnego. Do analizy zastosowano metodę oceny komfortu Fangera za pomocą wskaźników PMV i PPD. Stwierdzono istotną poprawę warunków komfortowych, co niejednoznacznie wpłynęło na zdrowie mieszkańców.

Rosolski S., *Komfort klimatyczny a jakość życia, zeszyty naukowe Politechniki Poznańskiej nr 2 Architektura, Urbanistyka, Architektura Wnętrz 2020 s* Rosnąca świadomość społeczna dotycząca wpływu standardu otaczającego środowiska na zdrowie człowieka w kontekście zrównoważonego rozwoju stawia coraz wyższe wymagania mające na celu nie tylko zaspokojenie potrzeb teraźniejszych, ale również zadbanie o równowagę przyrody dla przyszłości. Artykuł ma za zadanie zwrócić uwagę na problem dotyczący komfortu klimatycznego jako bezpośredniego czynnika wpływającego na jakość życia w kontekście zmieniającego się środowiska zewnętrznego, środowiska wewnętrznego i jego wpływu na człowieka.

Wiszniewski A., *Kryteria wyboru źródła ciepła do budynków mieszkalnych, Energooszczędność w budownictwie, 1' 2007 nr 413 s76-80.* W pracy przedstawiono zestawienie dostępnych na rynku źródeł ciepła w budownictwie mieszkalnym. Uwzględniono aspekt: ekonomiczny, inwestycyjny, lokalizacyjny i komfort użytkowania.

Nowak K., *Modernizacja budynków a komfort cieplny pomieszczeń, Fizyka Budowli w teorii i praktyce TOM VI, Nr 2 – 2011.* Artykuł przedstawia wyniki przeprowadzonych badań symulacyjnych dla zmodernizowanego obiektu w okresie rocznym. Podjęto próbę oceny wpływu rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych na komfort cieplny w budynku. Ostatecznym wnioskiem autorów było stwierdzenie o konieczności przeprowadzania analiz wpływu modernizacji obiektów na warunki komfortu cieplnego.

Fedorczak-Cisak M., Kowalska A., *Komfort użytkowania oraz klimat środowiska wewnętrznego budynków energooszczędnych, Materiały budowlane, 6 '2014 (nr 502) , s. 97-100.* Autorzy zwracają uwagę na konieczność zmiany w podejściu architektów do projektowania obiektów mieszkalnych. Ze względu na specyfikę budownictwa energooszczędnego coraz istotniejszym faktem w ocenie mieszkańców jest zapewnienie im odpowiedniego komfortu klimatycznego. We wnioskach autorzy przedstawili próbę klasyfikacji kryteriów środowiska wewnętrznego uwzględniających warunki cieplne latem i zimą, jakość powietrza, strumień powietrza wentylacyjnego, oświetlenie i warunki akustyczne.

2.8 Metoda badawcza - badania jakościowe w budynkach mieszkaniowych

W literaturze światowej możemy znaleźć sporo pozycji opisujących w dość szczegółowy sposób badania jakościowe. Jako pierwszą książkę opisującą problem badań jakościowych POE uważa się dzieło z 1988 roku pod tytułem *Post-Occupancy Evaluation* autorów: Wolfganga Preisera, Harvey'a Rabinowitza i Edwarda T. White'a. To właśnie w tej książce, po raz pierwszy została podana definicja badań Post Occupancy Evaluation. Kontynuację tematu możemy znaleźć w kolejnych książkach pierwszego autora: *Enhancing building performance* [2011] oraz jego licznych publikacjach: *Building Evaluation* [1989]; *Assessing building performance* [2005] ze współautorem J.C Vischer'em oraz artykuł *Designing for Designers: Lessons Learned from Schools of Architecture* [2007] napisany razem z J.L Nasarem oraz T. Fisherem. W 2001 roku opublikował on również opracowanie *Learning from our buildings* będące częścią Raportu Federal Facility Council Technical Report No. 145. Opisuje w nim ewolucję POE, która jego zdaniem zmierza do usprawnienia i udoskonalenia techniki projektowej.

W latach 80. wraz z rozwojem metody POE powstały nowe oceny jakości i programowanie oraz „Facility Management”. Do istotnych pozycji literaturowych z podanego okresu należą również: R. Marans i K. Spreckelmeyer [1981] „*Evaluating Built Enviroments: a Behavioral Approach*” oraz S.A.Parshal i W.M Pena [1982] „*Evaluating Facilities: A practical Approach Post –Occupancy Evaluation*”.

Problem badań jakościowych poruszany jest również w wielu publikacjach innych autorów. Poniżej wymieniono wybranych autorów oraz tytuły ich publikacji:

- Zeisel J. [1990]: *Inquiry by design, Tools for environment-behavior research*;
- Kernohan D., Gray J., Daish J., Joiner D. [1992]: *User participation in building design and management. Architecture*;
- Duerk D.P. [1993]: *Architectural programming. Information management for design*;
- Johnson P.A. [1994]: *The Theory of Architecture. Concepts, Themes & Practice*;
- Lang J. [1997]: *Creating architectural Theory. The role of the Behavioral Science in Environmental Design*,
- D., McIndoe G. [1996]: *Building Evaluation techniques*;;
- Groat L., Wang D. [2002]: *Architectural Research Methods*;
- van der Voordt T.J.M., van Wegen H.B.R. [2005]: *Architecture in use. An introduction to the programming, design and evaluation of building*;
- de Jong T.M. i van der Voordt D.J.M. [2005]: *Ways to study and research. Urban, Architectural and Technical Design*.
- Anderzhon J., Fraley I.L., M. Green M. [2007]: *Design for Aging Post-Occupancy Evaluations. Lessons learned from Senior Living Environments featured in the AIA's Design for Aging Review*;
- Baird G., Gray J., Isaacs N., Kernohan Foqué R. [2010]: *Knowledge in architecture*;

Literatura polska niestety nie jest już tak bogata. Badania w tym zakresie prowadzone są głównie na Wydziale Architektury Uniwersytetu Śląskiego. Możemy tutaj wyróżnić przede wszystkim książki oraz artykuły profesor Elżbiety Danuty Niezabitowskiej, Klaudiusza Frossa oraz podopiecznych wyżej wymienionego wydziału. Szczególną uwagę należałoby poświęcić książce:

Niezabitowska E., *Metody i techniki badawcze w architekturze*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej z 2014 roku. Autorka omawia w niej pełen zestaw dostępnych metod i technik badawczych stosowanych w architekturze oraz przedstawia swój dorobek naukowy.

Godne przeczytania są również jej liczne artykuły: *Badania jakościowe a projektowanie [2017]*, *Badania jakościowe w architekturze i urbanistyce [1996]*, *Od POE do BPE [2008]*, w których dość szczegółowo skupia się na historii i rozwoju badań jakościowych.

Do nielicznych przykładów opracowań wpływu badań POE na etapy projektowania w architekturze należy książka:

Klaudiusza Frossa *Badania jakościowe w projektowaniu architektonicznym na wybranych przykładach [2012, 2014 wyd. II e-book, www.fross.pl]*: Autor opisuje w niej metodologię badawczą, mającą pozytywny wpływ na praktykę projektową architekta a co ważniejsze omawia w niej metody własne badań przedprojektowych („w 8 krokach”) oraz w trakcie użytkowania („w 7 krokach”). Cenne są również jego analizy konkretnych przykładów projektów architektonicznych przy zastosowaniu badań jakościowych oparte głównie na doświadczeniu własnym autora. Wskazuje on również korzyści wynikające ze stosowania badań w pozyskiwaniu wiedzy do projektowania.

2.8.1 Początki i rozwój badań jakościowych

W momencie zwrócenia uwagi na pojawiające się problemy w użytkowaniu budynków, mające wpływ na zdrowie i samopoczucie użytkowników zaczęto intensywnie badać przyczyny powstających niedogodności. Pierwsze oceny jakościowe obiektów podjęto w Stanach Zjednoczonych w latach 60 ubiegłego wieku⁵⁹.

Ich głównym założeniem było zbadanie przyczyn oraz zaproponowanie koncepcji naprawy błędów funkcjonalnych, jak również miały zminimalizować popełnianie tych samych błędów w przyszłych inwestycjach. Wspomniane problemy były badane głównie w budynkach biurowych, użyteczności publicznej, edukacji czy szpitalach. W 1970 nastąpił dynamiczny rozwój badań poprzez wzrost w ich użyciu. Zaczęto kłaść nacisk na ankietowanie, wywiady oraz techniki obserwacyjne. Na intensywność w rozwoju badań jakościowych wpływał fakt, że użytkownik był bogatym źródłem wiedzy o obiektach. Badania umożliwiają zarówno doskonalenie procesów projektowania, jak również programowania funkcjonalno-przestrzennego. Użytkownicy są w stanie rozpoznać błędy, które zostały niezauważone bądź po prostu zignorowane przez ekspertów.

Wraz z coraz większym zainteresowaniem użytkownikiem, rozwój badań jakościowych stał się coraz bardziej dynamiczny. Główną ich istotą było rozwiązanie problemów, które nie były przewidziane na etapie projektowania albo pojawiły się już w trakcie użytkowania budynku. Poprzez otrzymanie zwrotnej od użytkowników miały one na bieżąco poprawić funkcjonalność obiektu, oszacować specyficzne aspekty użyteczności budynku, udokumentować zarówno sukcesy, jak i pomyłki w programie funkcjonalnym obiektu oraz sprecyzować projektowe wskazówki w celu ulepszenia nowoprojektowanych lub już istniejących budynków o podobnej funkcji. Pojawiło się,

⁵⁹ Niezabitowska E., *Metody i techniki badawcze w architekturze*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2014

zatem wiele korzyści płynących z przeprowadzania takich badań, a one same znalazły zastosowania między innymi:

- podczas modernizacji budynków,
- w rutynowych kontrolach sprawności,
- w budowie baz danych poszczególnych typów budynków⁶⁰.

W latach 80. zaczęły pojawiać się pierwsze koncepcje teoretyczne i metody badań, jedną z nich była metoda POE (Post Occupancy Evaluation), która znacznie rozwinęła się już w latach 90. i stała się podstawową metodą badawczą i bazą dla innych metod. Pod koniec 1990 i w 2000 roku, nastąpił prawdziwy renesans badań jakościowych, poprzez sformalizowanie ich w Wielkiej Brytanii. Wysoki rozwój ocen jakościowych możemy zauważyć praktycznie we wszystkich wysokorozwiniętych krajach. W Europie prym wiedzie Wielka Brytania, Holandia, Szwecja i Niemcy, natomiast w Kanadzie i Nowej Zelandii metoda ta stała się obligatoryjna w odniesieniu do wskazanych nowopowstających budynków mieszkalnych, biurowych czy szpitalnych⁶¹. W Polsce również badanie te są rozwijane, chociaż nie aż w tak dużym stopniu. W latach 90. powstał zespół badawczy Wydziału Architektury Politechniki Śląskiej w katedrze strategii projektowania i nowych technologii w architekturze pod kierunkiem Elżbiety Niezabitowskiej, który zajmuje się problematyką POE w środowisku zbudowanym.

Badania jakościowe są uznawane za pierwsze studium procesu projektowania, które można uznać za skończone, gdy są użytecznymi wskazówkami dla architektów podejmujących decyzje projektowe. Jest wiele różnych użytecznych informacji dla projektantów, które wpływają na użyteczność badań jakościowych. Głównie zależy to od ilości i jakości poszczególnych informacji, które możemy podzielić na trzy grupy:

- Tradycyjna dokumentacja projektowa w tym rysunki projektowe, projekt budowlany i wykonawczy jak również różne specyfikacje, aprobaty;
- materiały dodatkowe załączone do prezentacji i konkursów projektowych- fotografie gotowych projektów, wizualizacje, komentarze;
- dokumentacja badań jakościowych, w tym metoda POE i inne programy behawioralne.

Dostępność wyżej wymienionych informacji zależy głównie od rodzaju i wielkości przedsięwzięcia. Praktycznie zawsze dostępny jest pierwszy typ informacji, natomiast drugi pojawia się przy większych przedsięwzięciach a trzeci w sporadycznych przypadkach lub prawie w ogóle.

W dobie swobodnego przepływu informacji coraz częściej można spotkać się z różnymi badaniami POE, mimo że ciągle wśród wielu metoda ta nie jest jeszcze znana. Niestety główną wadą takich badań jest dość wąska ich definicja. Koncentrują się one, bowiem na konkretnych budynkach i nie ma standardowej, uniwersalnej metody zbierania informacji, z której mogliby korzystać architekci w trakcie projektowania każdego budynku. Według Fields'a kluczem użyteczności badań jakościowych jest możliwość wprowadzenia zmian w użyteczności budynku oraz późniejsze opublikowanie informacji z badań w celu udoskonalenia późniejszych projektów o podobnej funkcji. Prawdziwy potencjał badań jakościowych można wykorzystać tylko wtedy, gdy znane są podstawy podejmowanych decyzji projektowych, co umożliwia ich przeanalizowanie.

⁶⁰ Fross K., *Badania jakościowe w projektowaniu architektonicznym na wybranych przykładach* [2012, 2014 wyd. II e-book, www.fross.pl]

⁶¹ ibidem

2.8.2 Metoda POE (Post-Occupancy Evaluation)

W badaniach jakościowych skupionych na obiektach architektonicznych czy też zespołach urbanistycznych została dopracowana uniwersalna metoda POE. Pierwsza książka dotycząca tej właśnie metody została opublikowana pod koniec 1970 roku. Natomiast dopiero pod koniec 1988 roku została zdefiniowana jej pierwsza definicja w książce *Post Occupancy Evaluation* napisanej przez Preiser, Rabinowitz i White⁶². Od wielu lat zarówno teoretycy, jak i architekci nie czują się jednak swobodnie z dosłownym jej tłumaczeniem. Sugeruje ono, bowiem, że badanie wykonuje się po ostatecznym opuszczeniu budynku przez jego użytkowników. Kluczem efektywnego badania jest wykonanie go podczas cyklu życia budynku, bowiem koncept POE opiera się na badaniu jakościowym budynków już po ich eksploatacji przez użytkowników w celu zrozumienia wzajemnego procesu interakcji pomiędzy budynkami a potrzebami użytkowników. Jej ocenie podlegają: jakość techniczna, funkcjonalna i behawioralna⁶³. Wpływają one znacząco na tworzenie zmian w użyteczności budynków, poprzez zapewnienie odpowiedzi zarówno architektom jak i całemu środowisku budowlanemu. Stwarzają podstawy do zmiany roli ekspertów w projektowaniu w celu wyeliminowania powtarzających się błędów projektowych. Co równie istotne wzmacniają pozycje użytkownika w projektowaniu poprzez wykorzystanie go jako znacznika w budowie bazy danych w ocenie użyteczności budynku.

Metoda POE zadaje, zatem pytania i udziela odpowiedzi na temat użyteczności budynku zarówno z punktu widzenia użytkownika, jak również z punktu widzenia eksperta, zajmującego się projektowanie obiektów architektonicznych. Można, zatem ocenić i przeanalizować jak bardzo te dwie opinie się od siebie różnią i w jakich aspektach. Są trzy poziomy wykonywania tej metody zdefiniowane przez jej twórców W.F.E Preiser, H.Z. Rabinowitz, E.T Wite⁶⁴:

-Poglądowy (indicative) – Mający zastosowanie w ocenie orientacyjnej. Na celu ma wychwycenie najważniejszych usterek i błędów funkcjonalnych budynku. Pozwala to na ukierunkowanie badań w poszczególnym kierunku.

-Badawczy (investigative) - Na tym etapie zostają zdiagnozowane i przeanalizowane dostrzeżone w ocenie poglądowej błędy obiektu. Skutkuje to wyciągnięciem wniosków w celu modernizacji lub przeprojektowania obiektu. W tej części znajdziemy również profesjonalne ekspertyzy poszczególnych elementów jakościowych (ocenę stanu technicznego budynku i jego urządzeń technicznych, oceny sprawności funkcjonalnej bądź organizacyjnej).

-Diagnostyczny (diagnostic) – Na tym etapie dokonywane są porównania dużej ilości obiektów o tej samej funkcji w celu doskonalenia przyszłych rozwiązań projektowych. Dodatkowym celem jest stworzenie szerszych uogólnień dotyczących problemów architektury.

⁶² Niezabitowska E., *Od POE do BPE*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2008

⁶³ Niezabitowska E., Niezabitowski A., *Badania jakościowe w architekturze i urbanistyce*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Architektura. Z.33, Gliwice 1996

⁶⁴ Niezabitowska E., *Badania jakościowe a projektowanie*, Architektura i design, Builder luty 2017 s.40-43

2.9 Słownik pojęć

Definicje użyte w pracy:

Wskaźnik zużycia energii użytkowej (EU) określa ilość ciepła potrzebnego do utrzymania obliczeniowej temperatury powietrza w pomieszczeniach wewnętrznych (ogrzewanie oraz wentylacja), energię potrzebną do przygotowania ciepłej wody użytkowej, a także energię wykorzystywaną do chłodzenia. Aby określić potrzeby cieplne budynków należy wyznaczyć roczne zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji $Q_{H,nd}$ i na potrzeby przygotowania ciepłej wody użytkowej $Q_{W,nd}$.

Wskaźnik energii końcowej (EK), podobnie jak wskaźnik energii użytkowej (EU), informuje o rocznym zapotrzebowaniu na energię do ogrzania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej, lecz dodatkowo uwzględnia przy tym sprawność instalacji grzewczej oraz możliwe straty ciepła pochodzące z układu. Wyznaczenie energii końcowej na potrzeby centralnego ogrzewania budynku zależy od współczynników rocznego zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji $Q_{H,nd}$ oraz średniej sezonowej sprawności całkowitej i-tego podsystemu w systemie ogrzewania.

Wskaźnik energii pierwotnej (EP) określa ilość energii, która została wykorzystana ze źródeł kopalnianych. W przypadku energii pierwotnej wyróżniamy dwa typy: nieodnawialną i odnawialną. Energia pierwotna nieodnawialna jest to energia zawarta w kopalnych surowcach energetycznych, która nie została poddana procesowi konwersji lub transformacji i to ta jest brana pod uwagę. Natomiast energia pierwotna odnawialna to energia uzyskana z odnawialnego źródła energii.

Wskaźnik EP jest to umowna wielkość, która uwzględnia przebieg całego procesu pozyskania, konwersji i dostarczenia energii – od producenta aż do finalnego użytkownika. Wyznaczanie rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną dla systemów technicznych Q_P w budynku lub części budynku wyposażonych w proste systemy techniczne zależy od współczynników funkcji:

Budynek pasywny – Budynek o bardzo niskim zapotrzebowaniu na energię nie przekraczającej $15\text{kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$, spełniający wymagania stawiane przez Instytut Budownictwa Pasywnego w Darmstadt. Komfort termiczny w takim obiekcie zapewniony jest przez odnawialne źródła energii. Budynek cechuje się wysokim poziomem szczelności oraz wykorzystaniem odzysku ciepła w systemie wentylacji mechanicznej.

Budynek zero energetyczny - z definicji jest to budynek charakteryzujący się zerowym zużyciem energii ze źródeł konwencjonalnych. Zapotrzebowanie na ciepło, energię elektryczną zapewniane jest wyłącznie z odnawialnych źródeł energii.

Budynek plus energetyczny- budynki charakteryzujące się wytwarzaniem większej ilości energii w ciągu roku niż są w stanie wykorzystać na cele użytkowe.

Budynek zrównoważony - Budynek spełniający zasady zrównoważonego rozwoju poprzez przyjazność zarówno środowisku naturalnemu, jak i człowiekowi. Głównym elementem jest oszczędzanie zasobów naturalnych i dbanie o środowisko naturalne, i zwrócenie szczególnej uwagi na zużycie przez niego energii.

Odnawialne źródła energii OZE – „Do odnawialnych źródeł energii (OZE) zalicza się: energię słoneczną, energię wiatru, energię mórz/oceanów (wody), energię geotermalną oraz energię zawartą w biomasie (..), większość z tych źródeł wykorzystywana może być bezpośrednio w budynku za pomocą odpowiednio przystosowanych instalacji”⁶⁵

Energia słoneczna – energia cieplna lub elektryczna, do której wytwarzania wykorzystuje się promieniowanie słoneczne

Energia biomasy - „biomasa jest substancją organiczną, pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, może powstawać w wyniku tzw. metabolizmu społecznego. Występuje ona zwykle w formie drewna, słomy, osadów ściekowych, odpadów komunalnych, roślin energetycznych”⁶⁶

Zrównoważony rozwój – Jest to proces społeczno- gospodarczy, w którym następuje integrowanie działań politycznych, gospodarczych i społecznych, uwzględniając zachowanie równowagi przyrodniczej oraz trwałości podstawowych procesów przyrodniczych. Zrównoważony rozwój ma na celu zagwarantowanie możliwości zaspokajania podstawowych potrzeb poszczególnych społeczności lub obywateli zarówno współczesnego pokolenia, jak i przyszłych pokoleń.⁶⁷

⁶⁵Zielonko-Jung K., Marchwiński J., *Łączenie zaawansowanych i tradycyjnych technologii w architekturze proekologicznej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2012

⁶⁶Tytko R., *Odnawialne źródła energii*. Warszawa 2011 str. 433

⁶⁷Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska: Dz. U. z 2001 r. Nr 62, poz. 627

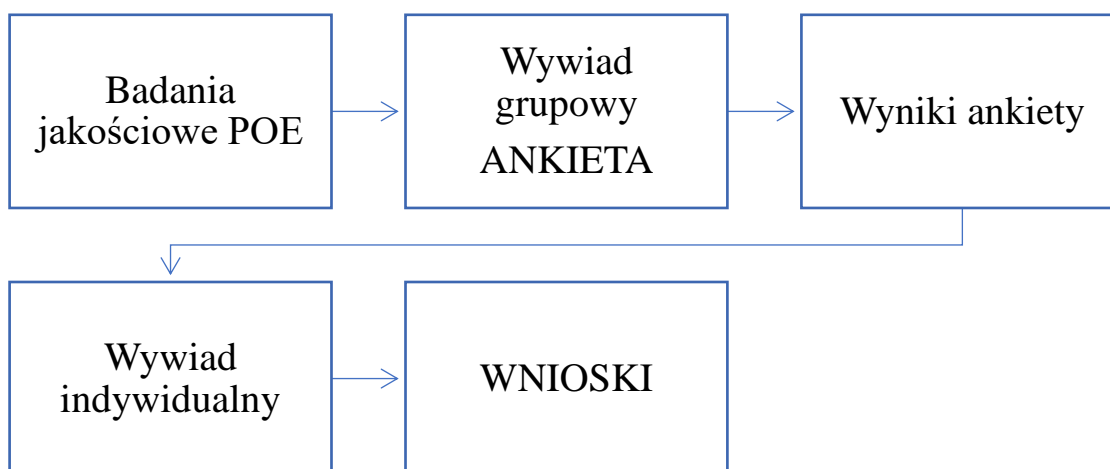
Część III

3 KOMFORT UŻYTKOWNIKA

3.1 Schemat i metoda badań

W pierwszej części badań skupiono się na analizie komfortu użytkownika wybranych źródeł ciepła od strony użytkownika. Do tego celu wykorzystano metodę badań jakościowych POE polegających na zogniskowanym wywiadzie grupowym (*focus group interview, ang.*) oraz uzupełniającym pogłębionym wywiadzie indywidualnym (*individual in depth interview, ang.*).

Autorka pracy uważa, że metoda badań jakościowych pozwoli w tym wypadku na uzyskanie wyników pozwalających na określenie preferencji użytkowników pod względem wyboru źródeł ciepła i systemu wentylacji. W pierwszej kolejności zastosowano badania grupowe, mające na celu poznanie opinii respondentów, ich motywacji w wyborze konkretnego źródła ciepła i wentylacji. Skupiono się przede wszystkim na ocenie komfortu użytkownika źródeł ciepła i wentylacji w trakcie trwania procesu użytkowania obiektu. Zastosowanie pogłębionych wywiadów indywidualnych miało natomiast na celu doprecyzowanie niektórych tematów z badań grupowych⁶⁸.



Ilustracja 38. Schemat wykonanych badań jakościowych [opracowanie własne].

3.2 Badania grupowe

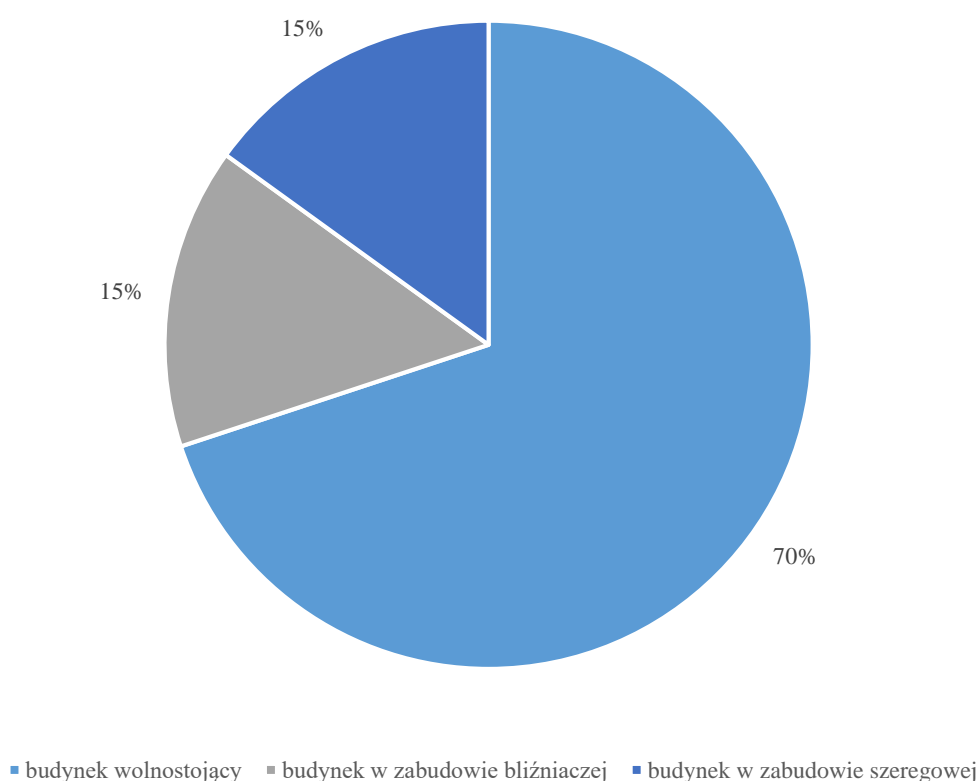
Ankiety przeprowadzono w formie internetowej, w której łącznie wzięło 140 osób. Z wszystkich wypełnionych ankiet 7 z nich zostało odrzuconych przez autorkę ze względu na wypełnienie ich przez osoby mieszkające w budownictwie wielorodzinnym, które nie było przedmiotem badań. Ankieta była dostępna od listopada 2021 i

⁶⁸ Kaplowitz M.D, Hoehn J., *Do focus groups and individual interviews reveal the same information for natural resource valuation?* Ecological Economics, 2001, vol. 36, issue 2, s. 237-247

przeprowadzona na terenie całej Polski. Termin wypełniania ankiet przypadał na sezon grzewczy co mogło mieć istotny wpływ na poprawność odpowiedzi. Pytania zawarte w ankiecie zostały dołączone do pracy jako załącznik nr 1.

Pierwsza część ankiety skupiła się na pozyskaniu ogólnych wiadomości o budownictwie jednorodzinym. Zapytano o typ zabudowy, powierzchnię użytkową, rok budowy oraz lokalizację obiektu. Badania przeprowadzono na osobach mieszkających w budownictwie jednorodzinym. Zdecydowana większość ankietowanych zamieszkiwała domy jednorodzinne wolnostojące, co stanowiło 70% ankietowanych. Dom szeregowy i w zabudowie bliźniaczej zaznaczyło po 15% ankietowanych. Wyniki wskazują zatem dominację wolnostojących budynków w zabudowie mieszkaniowej.

W jakim budynku mieszkasz?

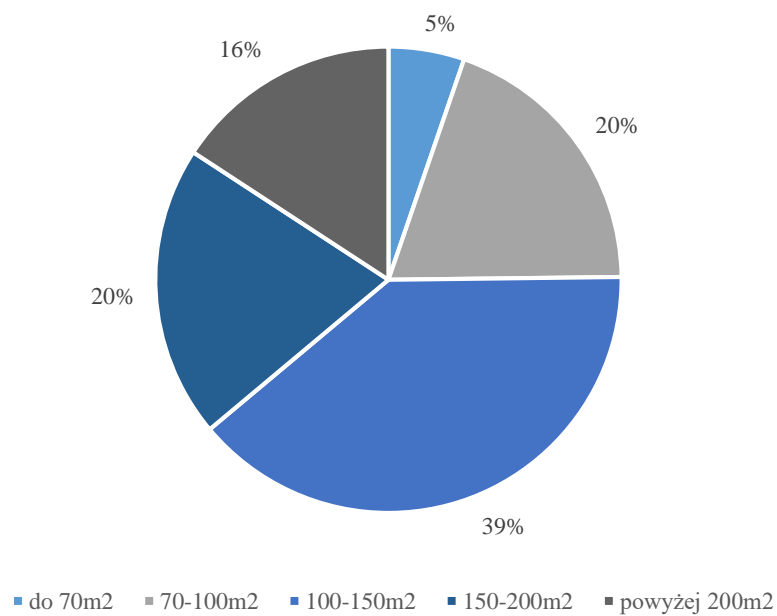


Wykres 7. Typ zabudowy mieszkaniowej [opracowanie własne].

Z pozyskanych ankiecie danych wynika, że dominują domy jednorodzinne o powierzchni użytkowej pomiędzy 100 a 150 m², takiej odpowiedzi udzieliło 39% ankietowanych, w drugiej kolejności po 20% stanowią domy o powierzchni 150-200m² i 70-100m². 16% ankietowanych zamieszkuje domy o powierzchni powyżej 200m² natomiast zdecydowanie najmniej - 5%, domy o powierzchni nieprzekraczającej 70m² (wykres 8).

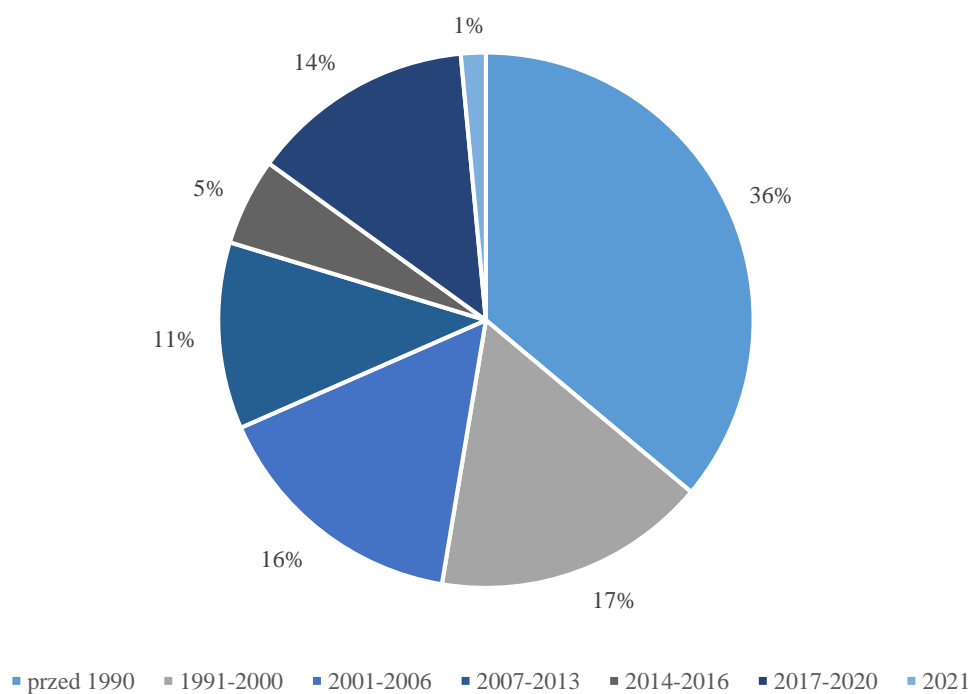
Badania ankietowe pozwoliły przybliżyć również strukturę wiekową polskich domów jednorodzinnych. 53% ankietowanych wskazało, iż domy, w których mieszkają powstały przed 2000 rokiem. Budynki powstałe po 2017 stanowią jedynie 15% odpowiedzi (wykres 9).

Powierzchnia użytkowa budynku mieszkalnego? (orientacyjna)



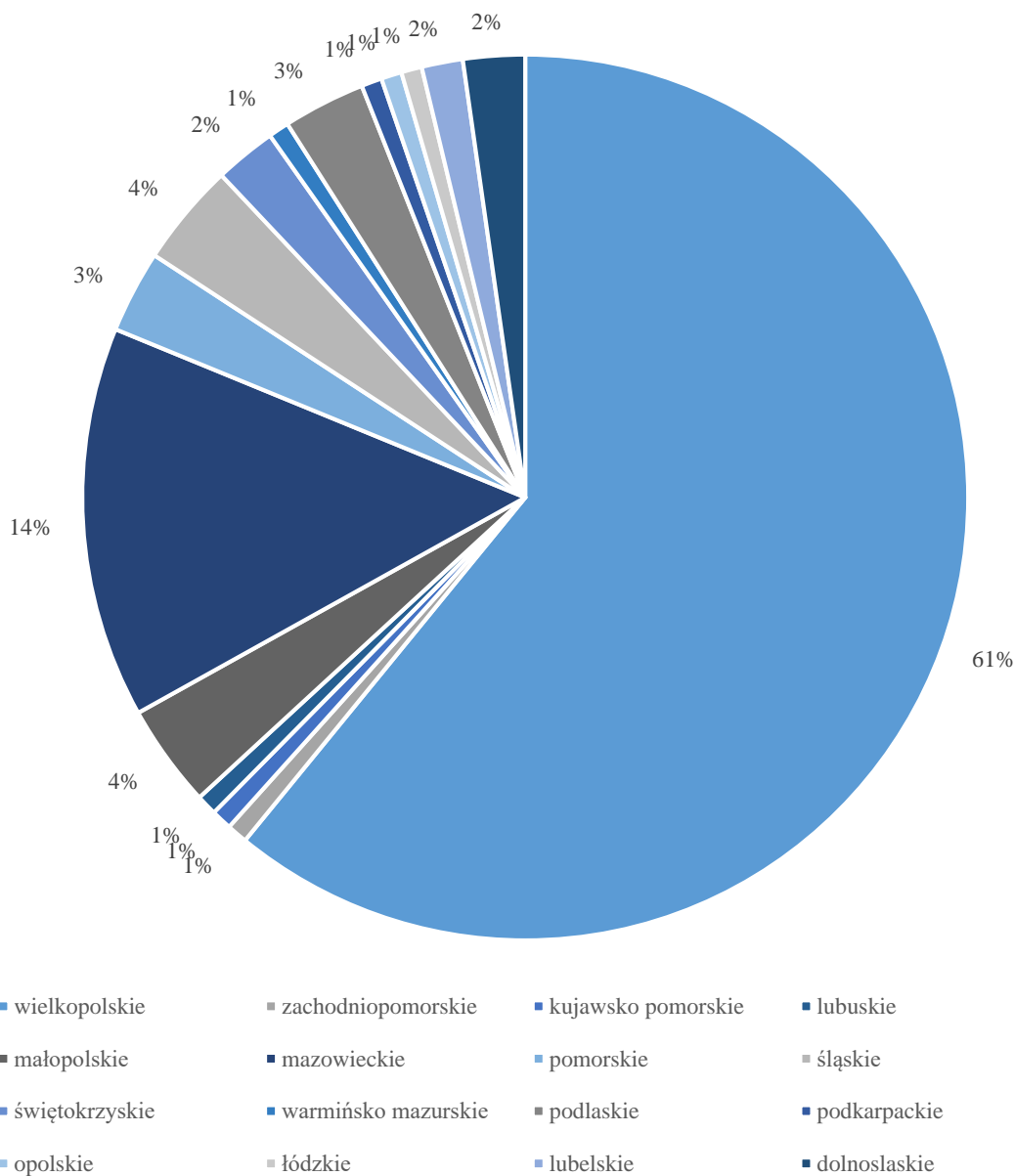
Wykres 8. Powierzchnia użytkowa obiektów [opracowanie własne].

Rok budowy obiektu?



Wykres 9. Rok budowy obiektów [opracowanie własne].

W jakim województwie znajduje się budynek?

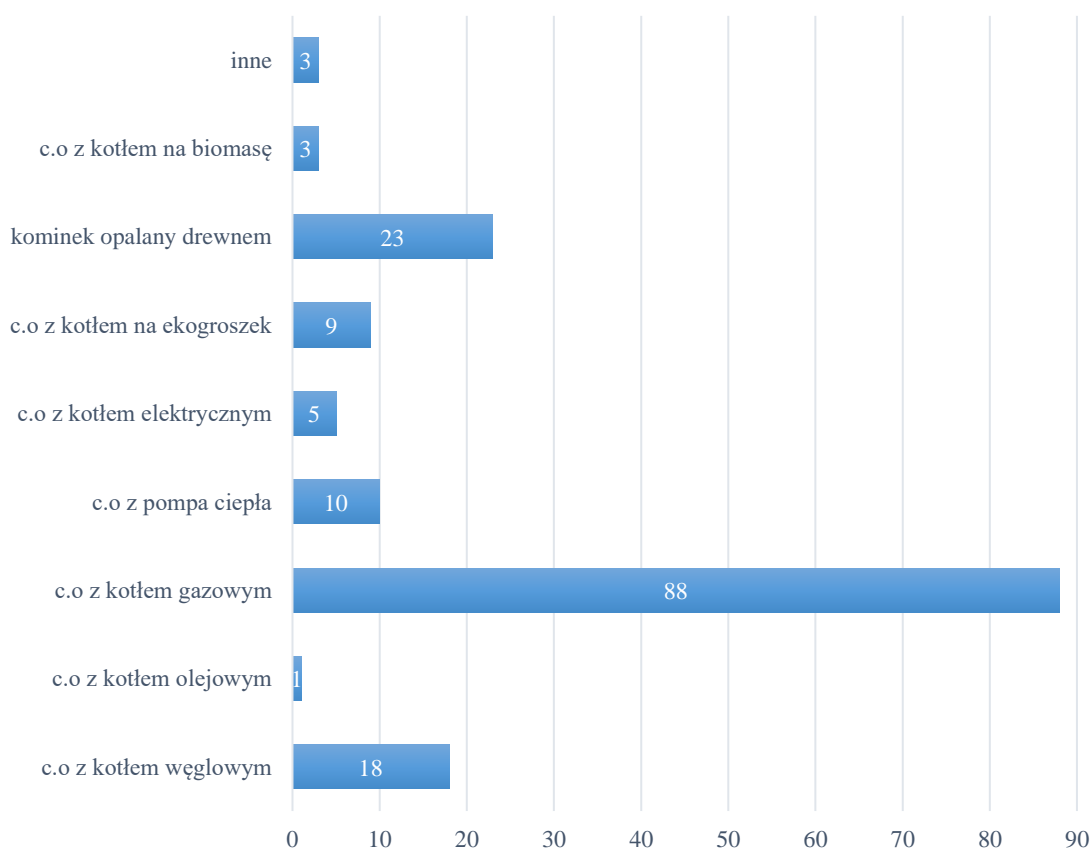


Wykres 10. Lokalizacja obiektu [opracowanie własne].

Badanie ankietowe zostało przeprowadzone na terenie całej Polski, natomiast ze względu na zamieszkanie autorki w Poznaniu ponad połowa wszystkich respondentów pochodzi właśnie z województwa wielkopolskiego, co stanowi 61% odpowiedzi. W drugiej kolejności 14% ankietowanych pochodzi z województwa mazowieckiego, natomiast pozostałe 25% odpowiedzi zostały udzielone przez mieszkańców pozostałych województw co pokazuje wykres 10.

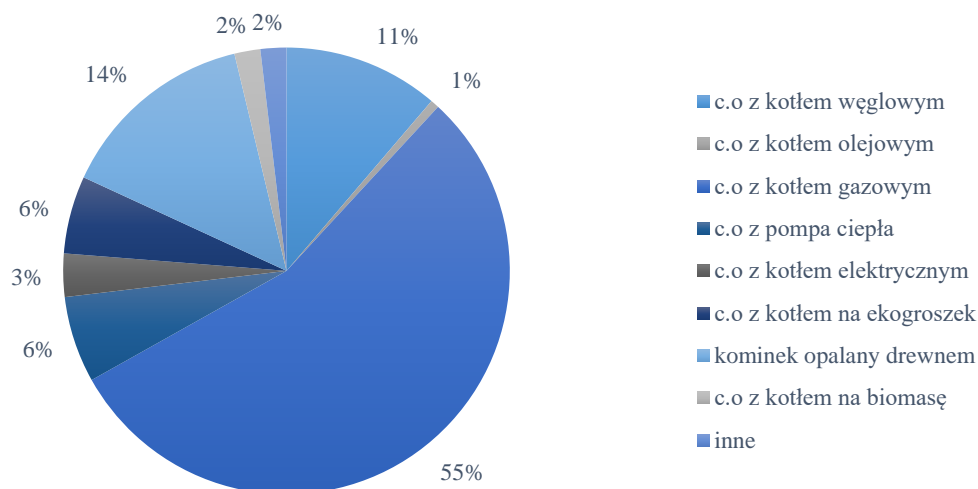
W kolejnej części ankiety sprawdzono w jakie źródło ciepła najczęściej wyposażone są domy mieszkalne w Polsce. Na podstawie otrzymanych danych (wyk. 11 i 12) można stwierdzić, że ponad połowa mieszkańców (55%) wykorzystuje gaz ziemny jako podstawowe źródło ciepła w obiekcie, z czego 20 osób wskazało również dodatkowy system grzewczy oparty na tradycyjnym kominku opalanym drewnem. Drugim najczęściej powtarzającym się systemem grzewczym był kominek natomiast tylko 2 osoby w ankiecie wskazały ten system jako samodzielne źródło ciepła. Z przeprowadzonych badań wynika, że kominek stanowi w większości jedynie uzupełnienie innego głównego źródła ciepła, które w 87% stanowi gaz ziemny. Na trzecim miejscu znajduje się kotłownia węglowa, którą wskazało 18 respondentów, co stanowi 11% ankietowanych, natomiast ekonomiczniejszą wersję na ekogroszek wskazało jedynie 8 osób (6%). Warto zwrócić uwagę, że 55,5% budynków posiadających kotłownię węglową wybudowano przed 1990, a 33,3% w latach 1991-2000, nowsze budynki stanowią jedynie 11,2%. Podobna sytuacja występuje w przypadku kotłowni na ekogroszek, gdzie najnowszy budynek z tym systemem powstał w latach 2014-2016 i stanowiło to tylko 1 odpowiedź. Pompę ciepła wskazało 10 respondentów, z czego 33,3% stanowi nowoczesne budownictwo powstałe po 2017 roku. 5 respondentów wskazało ogrzewanie elektryczne, trzech kotłownię na biomase, a tylko 1 odpowiedź dotyczyła ogrzewania olejowego. 3 respondentów wskazało inne niż wymienione źródła ciepła, z czego 2 odpowiedzi wskazały miejską sieć ciepłowniczą a jedna osoba starą, węglową pieco-kuchnię.

Sposób ogrzewania budynku



Wykres 11. Sposób ogrzewania obiektu [opracowanie własne].

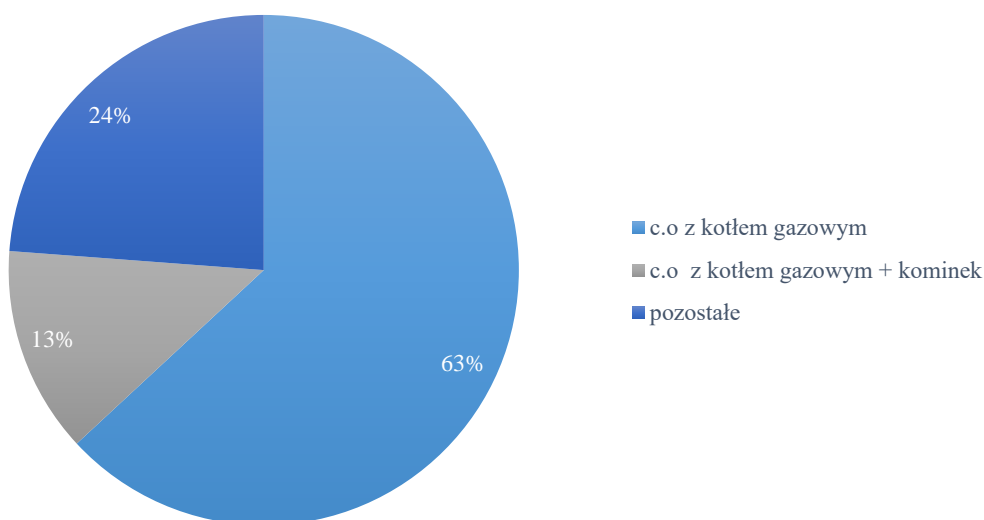
Sposób ogrzewania budynku ?



Wykres 12. Sposób ogrzewania budynków mieszkalnych w Polsce [opracowanie własne].

Ze względu na zdecydowaną przewagę odpowiedzi z Wielkopolski sprawdzono, jak rozkłada się wybór źródła ciepła w tym województwie, co przedstawiono na wykresie 13. W porównaniu z zestawieniem ogólnopolskim w Wielkopolsce zdecydowanie dominuje ogrzewanie wykorzystujące gaz ziemny, które wskazało 63% respondentów natomiast 13% gaz w połączeniu z kominkiem, co stanowi łącznie 76%. Z pozostałych 24%, 10% stanowi pompa ciepła a 5% ekogroszek.

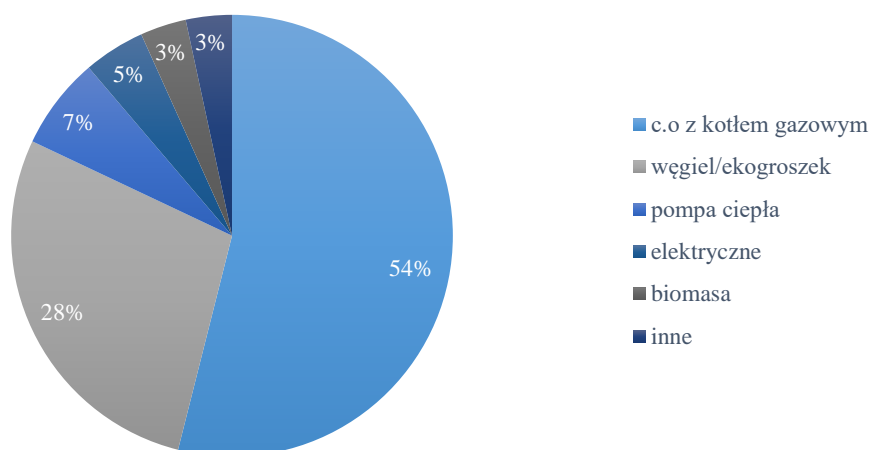
Sposób ogrzewania budynku w Wielkopolsce



Wykres 13. Sposób ogrzewania budynków mieszkalnych w Wielkopolsce [opracowanie własne].

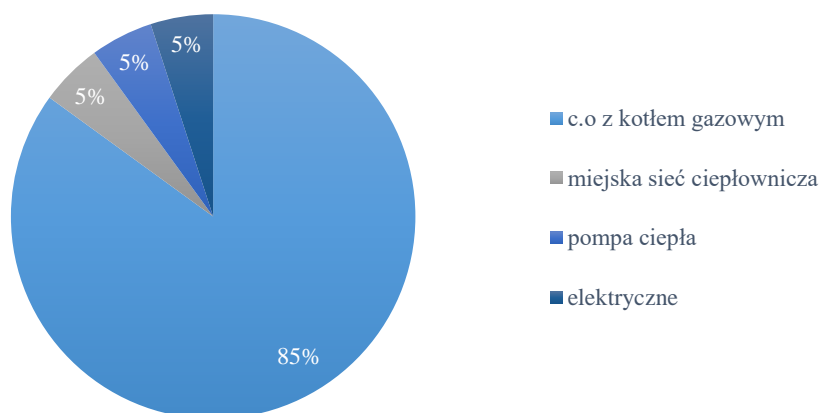
W kolejnej części przeanalizowano wpływ typu zabudowy na wybór źródła ciepła na cele grzewcze. Respondenci mieszkający w zabudowie wolnostojącej wykazywali się większą różnorodnością w wyborze źródła ciepła niż w przypadku zabudowy szeregowej. Ogrzewanie gazowe w zabudowie wolnostojącej stanowi 54 %, natomiast w bliźniaczej i szeregowej wzrasta do 85 %.

Sposób ogrzewania budynku zabudowie wolnostojącej



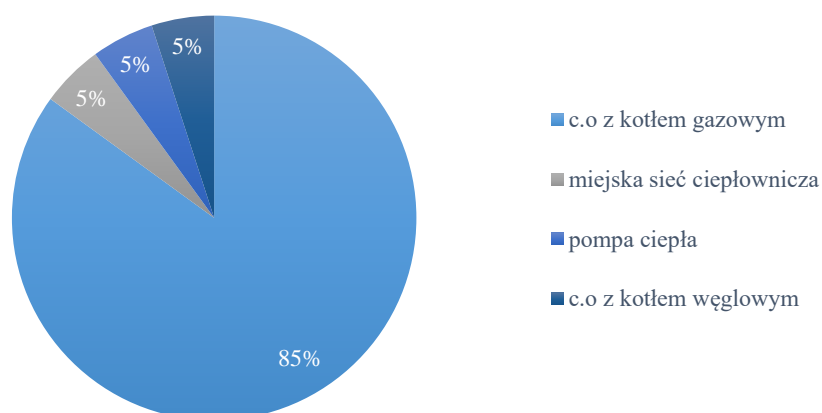
Wykres 14. Sposób ogrzewania budynków mieszkalnych w zabudowie wolnostojącej [opracowanie własne].

Sposób ogrzewania budynku zabudowie bliźniaczej



Wykres 15. Sposób ogrzewania budynków mieszkalnych w zabudowie bliźniaczej [opracowanie własne].

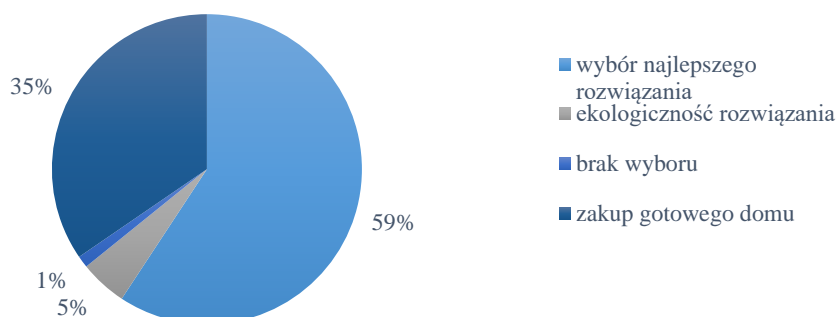
Sposób ogrzewania budynku zabudowie szeregowej



Wykres 16. Sposób ogrzewania budynków mieszkalnych w zabudowie szeregowej [opracowanie własne].

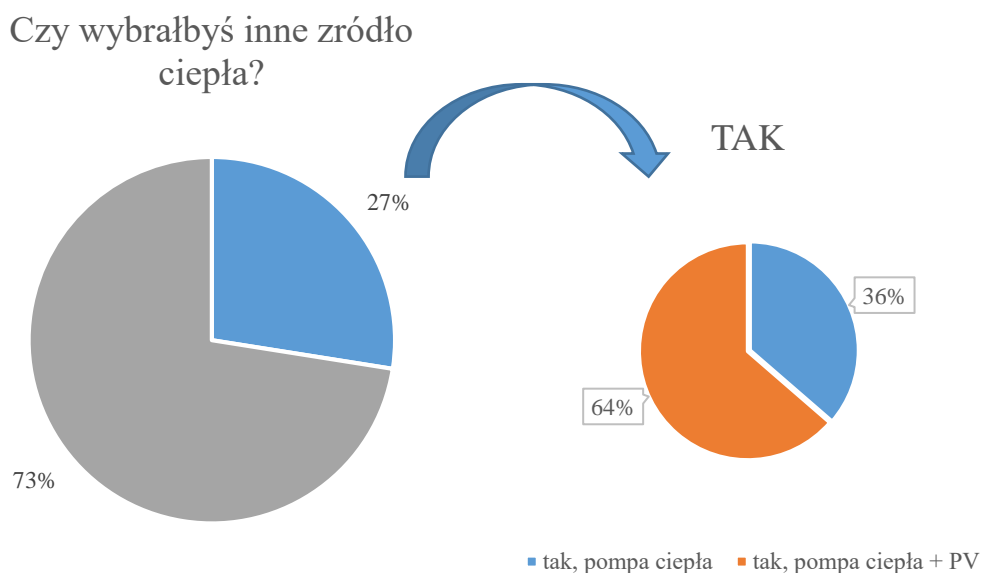
Badania wykazały zdecydowaną dominację ogrzewania gazowego w przypadku zabudowy szeregowej i bliźniaczej. Może być to spowodowane ograniczoną ilością miejsca lub zakupem tego typów domów od deweloperów. W badaniu skupiono się również na uzyskaniu odpowiedzi na pytanie co skłoniło mieszkańców do wyboru konkretnego źródła ciepła. W przypadku gazu ziemnego respondenci uznali w 58% to źródło ciepła jako wybór najlepszego dla nich rozwiązania, 7% uznało, że kierowali się chęcią zainstalowania ekologicznego źródła ciepła, natomiast 33% nie miało na to wpływu, ponieważ zakupiło dom z gotowym systemem grzewczym. Tylko 2% respondentów wybrało gaz ziemny, ponieważ nie miało innego wyboru np. poprzez narzucenie tego typu ogrzewania w miejscowym planie lub innych uwarunkowań prawnych.

Co miało wpływ na wybór źródła ciepła (GAZ ZIEMNY)



Wykres 17. Wpływ na wybór gazowego źródła ciepła [opracowanie własne].

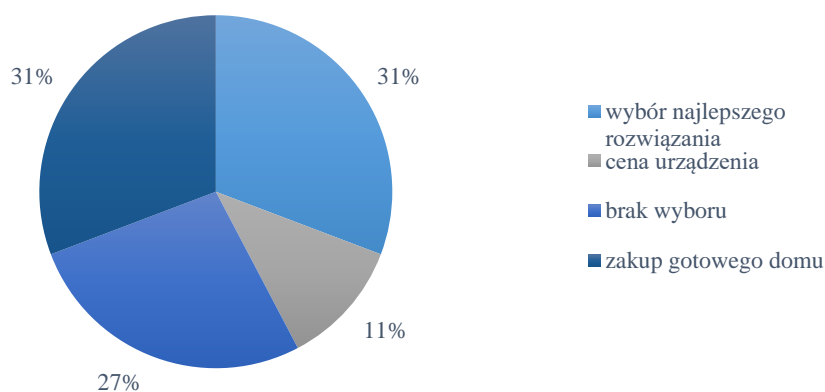
Zapytano się również ilu respondentów na dzień dzisiejszy zmieniliby swoją decyzję w kwestii wyboru źródła ciepła i na jakie ewentualnie źródło ciepła by wymienili ogrzewanie gazowe. 72% respondentów nie zmieniałoby ogrzewania gazowego na inne, natomiast 28% wybrałoby w zamian pompę ciepła, z czego 64% z nich tylko w połączeniu z instalacją paneli fotowoltaicznych.



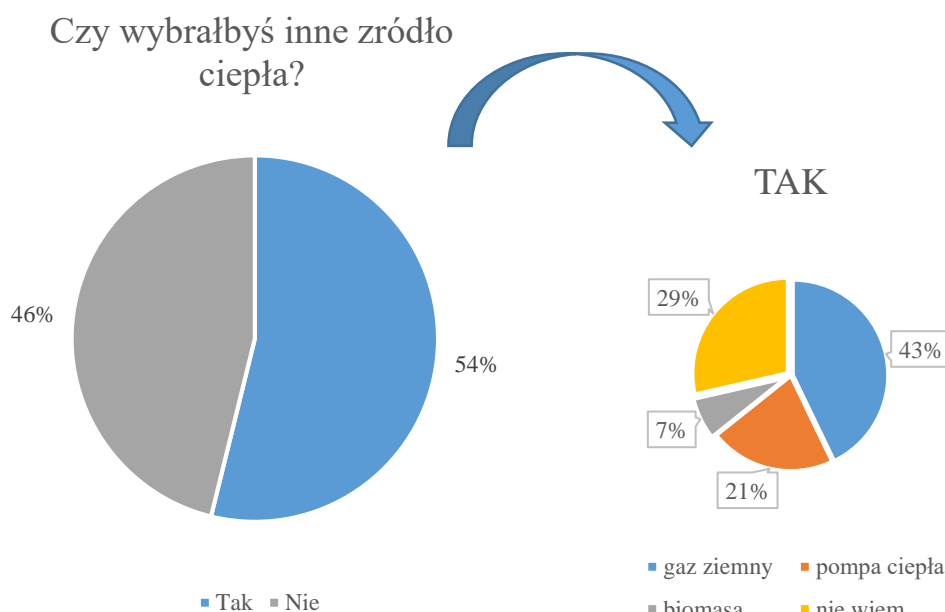
Wykres 18. Preferowana zmiana gazowego źródła ciepła na inne [opracowanie własne].

W przypadku respondentów z kotłownią węglową. Tylko 31% z nich uznało to za najlepsze rozwiązanie a 11% wybrało to urządzenie ze względów finansowych. Zdecydowana większość respondentów nie miała jednak wpływu na zainstalowany system grzewczy, 31% zakupiło bowiem gotowy dom z już istniejącym kotłem węglowym, natomiast 27% wskazało na brak innej możliwości. Warto zwrócić uwagę na fakt, że 54% respondentów, gdyby miała możliwość wybrałaby inne źródło ciepła w tym 43% wskazało gaz ziemny, 23% pompę ciepła, 7% biomasę natomiast 29% nie wskazała konkretnego źródła.

Wpływ na wybór źródła ciepła (WĘGIEL)



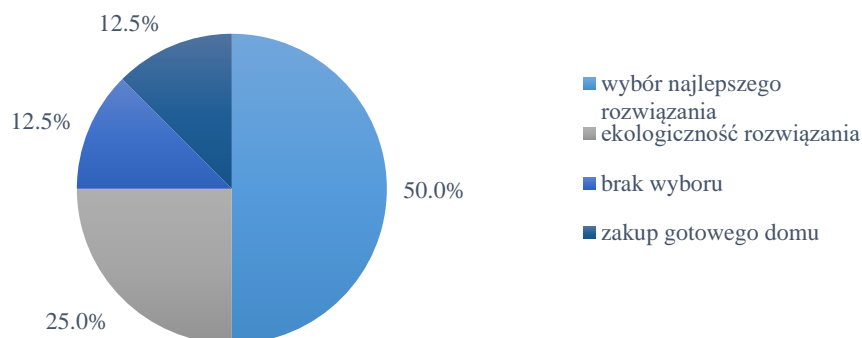
Wykres 19. Wpływ na wybór węglowego źródła ciepła [opracowanie własne].



Wykres 20. Preferowana zmiana węglowego źródła ciepła na inne [opracowanie własne].

W przypadku pompy ciepła 50% ankietowanych uznało ją za najlepsze rozwiązanie, 25% kierowała się ekologicznością, natomiast 12,5% wskazało zakup domu już z istniejącą instalacją oraz tyle samo nie miało na to wpływu.

Wpływ na wybór źródła ciepła (POMPA CIEPŁA)



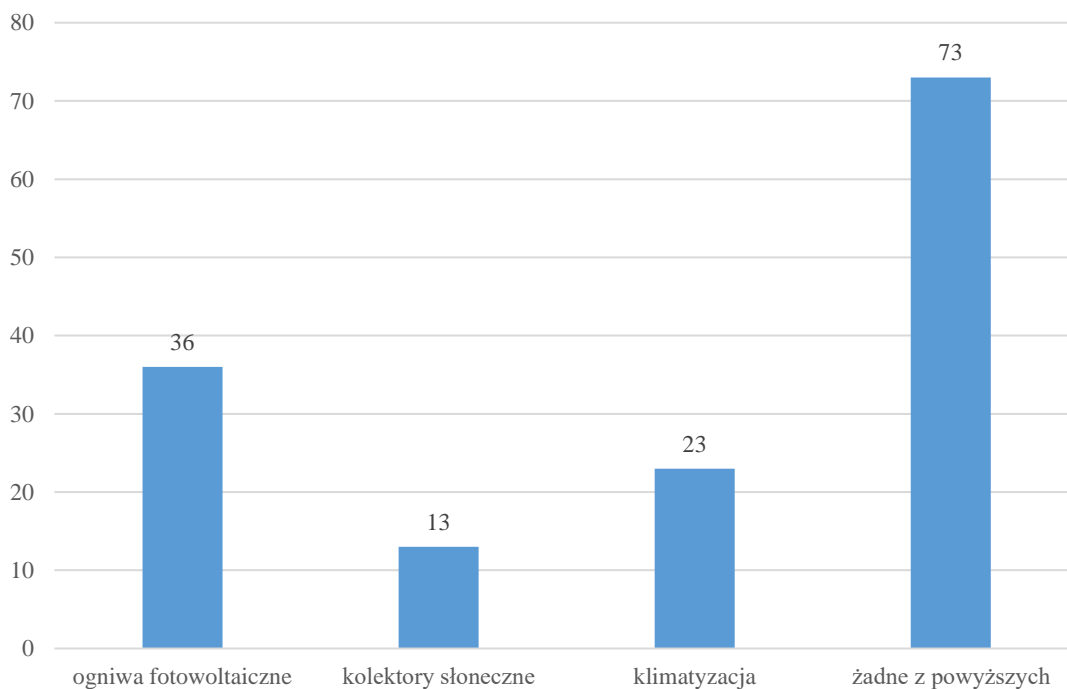
Wykres 21. Wpływ na wybór pompy ciepła jako źródła ciepła [opracowanie własne].

Z spośród 133 ankietowanych jedynie 3 respondentów wskazało biomasę jako źródło ciepła z czego każdy z nich wybrał to rozwiązanie w wyniku braku innej możliwości w tym przyłącza gazu w ulicy.

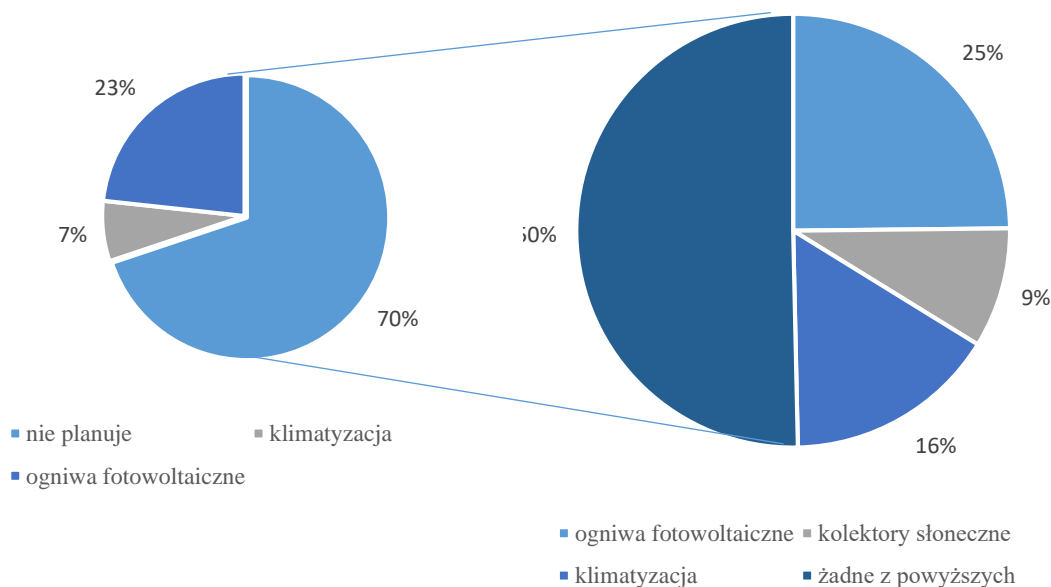
Ważnym elementem badań było wykazanie aktualnych tendencji montażu dodatkowych instalacji wśród użytkowników. Jak pokazują wykresy 22 i 23 ponad połowa ankietowanych nie ma zainstalowanej żadnej dodatkowej instalacji wymienionej w ankiecie. Z kolei 27% respondentów wskazała istniejącą instalację

paneli fotowoltaicznych, 17% klimatyzację a 10% posiada kolektory słoneczne. Największym zainteresowaniem cieszy się instalacja fotowoltaiczna, głównie ze względu na rosnące ceny prądu i chęć oszczędności. Coraz więcej osób decyduje się również na montaż klimatyzacji w celu poprawienia komfortu termicznego latem ze względu na coraz wyższe temperatury zewnętrzne.

Wyposażenie budynku w dodatkowe instalacje



Wykres 22. Dodatkowe instalacje montowane przez mieszkańców [opracowanie własne].

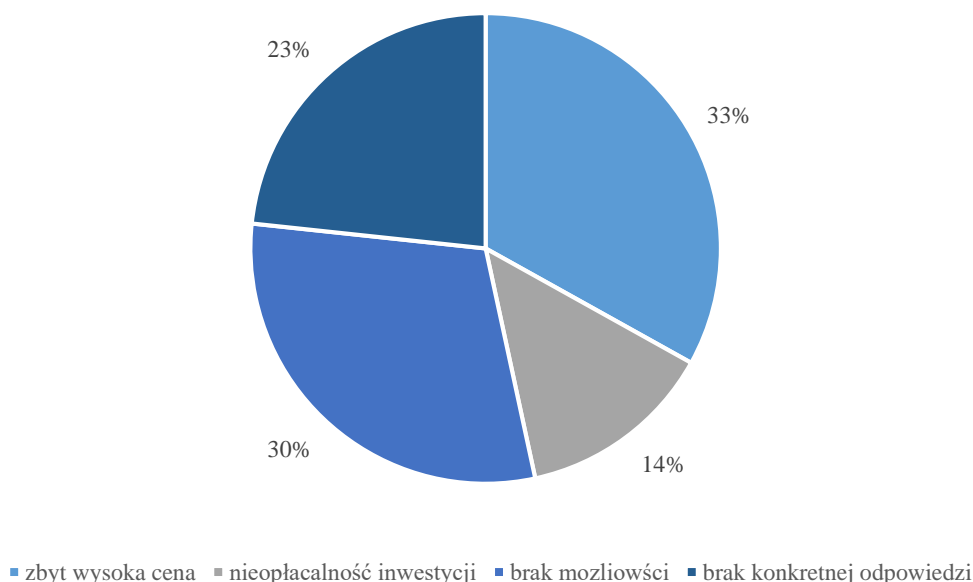


Wykres 23. Plany mieszkańców dotyczące montażu wybranych instalacji [opracowanie własne].

Z pośród ankietowanych, którzy nie posiadają żadnych dodatkowych instalacji 23% respondentów planuje montaż paneli fotowoltaicznych, natomiast 7% klimatyzacji, pozostała część wskazała brak funduszy lub nieopłacalność inwestycji.

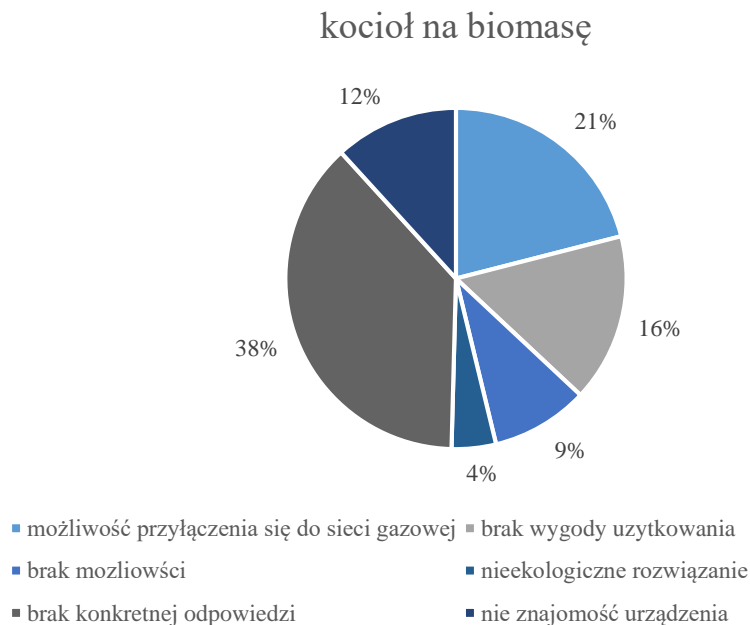
Ze względu na charakter pracy starano się uzyskać informację jaką opinie mają respondenci o pompie ciepła i dlaczego w trakcie budowy się na nią nie zdecydowali. Wśród odpowiedzi przeważały opinie o zbyt wysokich kosztach tego urządzenia, co stanowiło 33% odpowiedzi. 14% respondentów uważa inwestycję w pompę ciepłą za nieopłacalną i zbyt długi czas zwrotu, który dla nich jest nieakceptowalny. 30% respondentów nie miało wpływu na tego typu decyzję poprzez zakup gotowego domu lub budowę w czasach, kiedy technologia ta była bardzo mało znana. 23% respondentów nie udzieliła konkretnej odpowiedzi. Tylko jedna osoba, która nie miała zainstalowanej pompy ciepła odpowiedziała, że rozważy jej montaż przy remoncie. Natomiast główną motywacją respondentów, u których pompa ciepła stanowi główne źródło ciepła była wiara w niższe koszty eksploatacji budynku w sezonie grzewczym.

Pompa ciepła



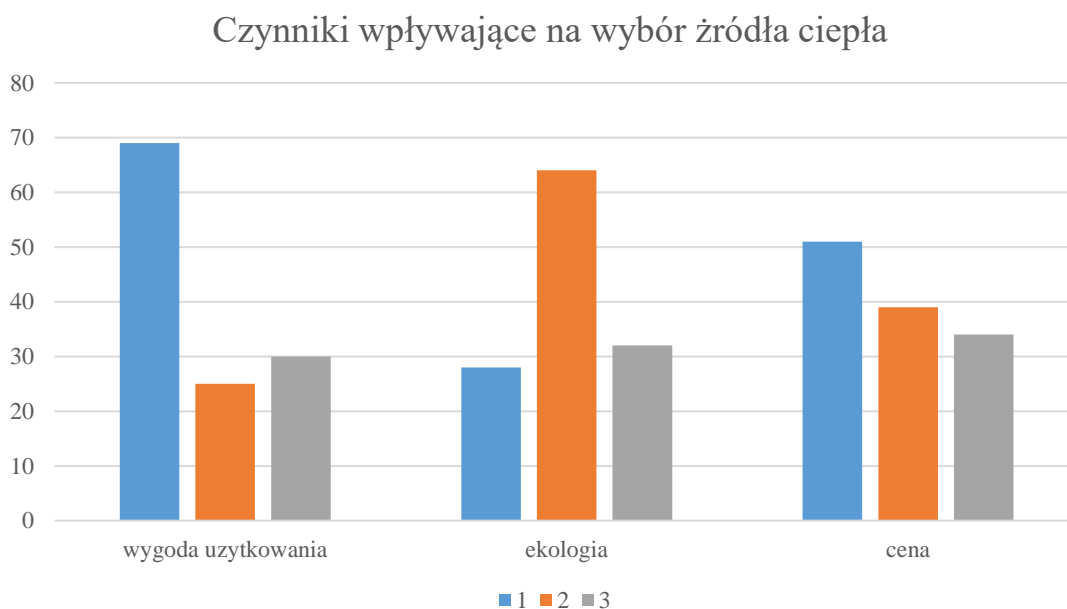
Wykres 24. Rozkład odpowiedzi respondentów dotyczący decyzji o niewybraniu pompy ciepła jako głównego źródła ciepła [opracowanie własne].

W przypadku kotła na biomasę zdecydowana większość respondentów (38%) nie udzieliła konkretnej odpowiedzi na to pytanie. 21% respondentów nie rozważała tego typu instalacji ze względu na możliwość podłączenia do sieci gazowej, 16% wskazała na brak wygody użytkowania takiego kotła. Z kolei 12% respondentów wykazała brak jego znajomości a 4% uznała je za mało ekologiczne. 9% respondentów nie miało wpływu na zainstalowane źródło ciepła. Należy również zwrócić uwagę, że tylko 3 spośród wszystkich respondentów posiada kotłownię na biomasę i każdy z nich nie miał możliwości podłączenia się do sieci gazowej.



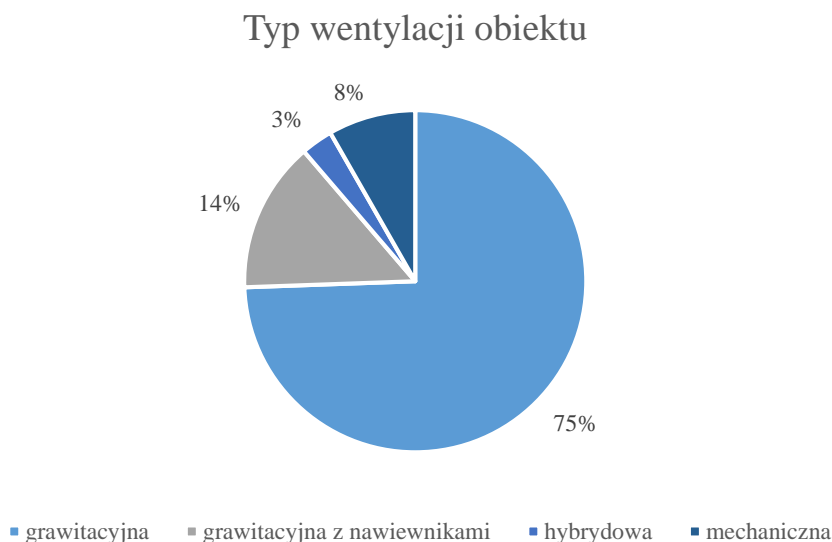
Wykres 25. Rozkład odpowiedzi respondentów dotyczącej decyzji o niewybraniu kotła na biomasę jako głównego źródła ciepła [opracowanie własne].

W kolejnej części badań starano się uzyskać informację jakie aspekty mają największe znaczenie przy wyborze źródła ciepła dla mieszkańców domów mieszkalnych. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że najważniejszym czynnikiem dla mieszkańców przy wyborze jest wygoda jego użytkowania, w drugiej kolejności cena instalacji a na końcu jego ekologiczność.



Wykres 26. Czynniki wpływające na wybór źródła ciepła [opracowanie własne].

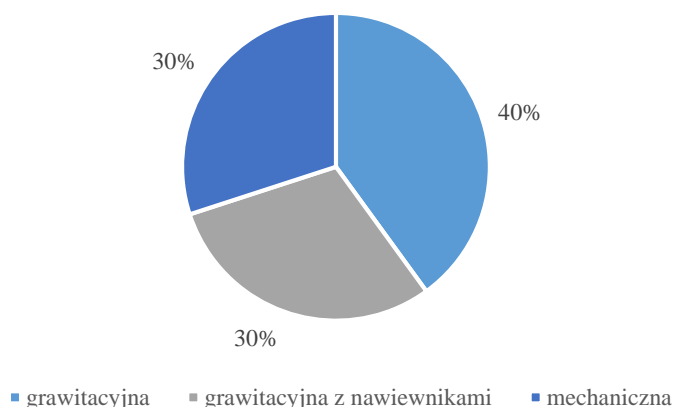
Drugą część badań poświęcono sprawdzeniu jaki typ wentylacji posiadają mieszkańcy domów mieszkalnych. Według otrzymanych wyników widać zdecydowaną dominację tradycyjnego systemu wentylacji grawitacyjnej, którą posiada 75% ankietowanych. Z kolei 14% ankietowanych zaznaczyła system wentylacji grawitacyjnej wraz z nawiewnikami okiennymi, 3% wentylację hybrydową a tylko 8% wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła.



Wykres 27. Typ wentylacji w zabudowie mieszkalnej [opracowanie własne].

Badania wykazały, iż 40% budynków powstałych po 2017 roku wyposażona jest w standardową wentylację grawitacyjną, która według aktualnych przepisów i wymaganej szczelności nowego budownictwa powinna być obowiązkowo wyposażona w nawiewniki okienne. Tylko 30% respondentów wskazało właśnie taki typ wentylacji, natomiast 30% posiada w domu wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła. Badania w tym zakresie wykazały zarówno brak wiedzy mieszkańców w tym temacie, jak i nienależytą staranność wykonywania projektów budowlanych przez architektów.

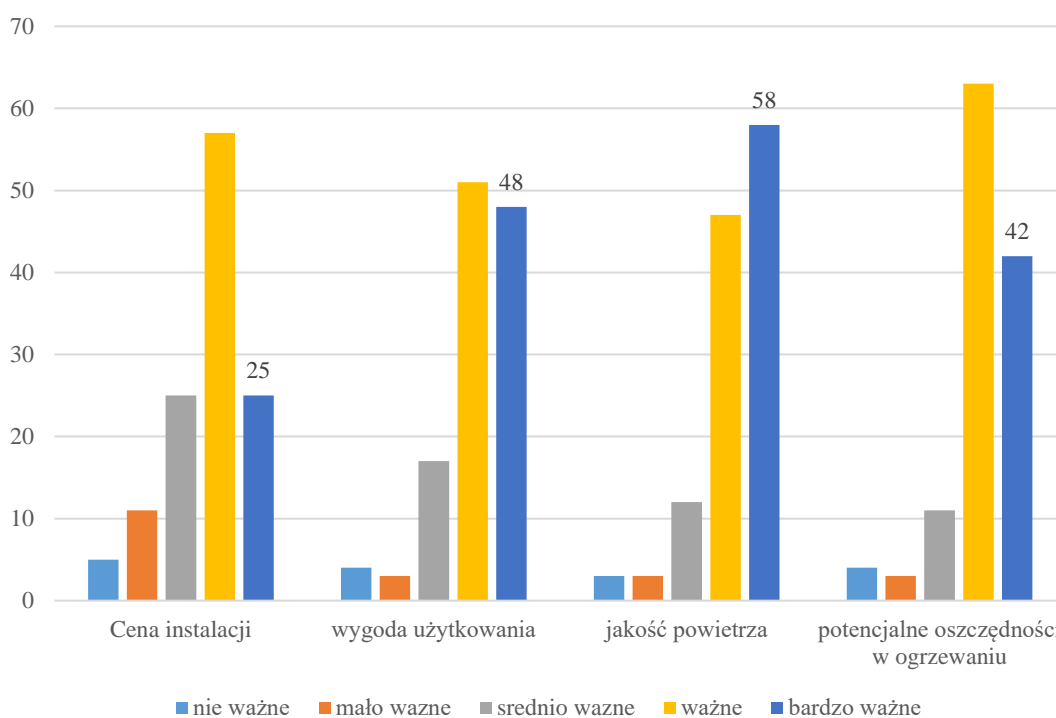
Typ wentylacji obiektu w budynkach powstałych po 2017r.



Wykres 28. Typ wentylacji w zabudowie mieszkalnej powstałej po 2017 roku [opracowanie własne].

Za „bardzo ważny” czynnik przy wyborze sposobu wentylacji 47% ankietowanych uznało jakość powietrza, w drugiej kolejności 39% wygodę użytkowania, 34% potencjalne oszczędności w ogrzewaniu a nieco ponad 20% cenę instalacji. Ocenę „ważny” 51% respondentów przyznało potencjalnym oszczędnościom w ogrzewaniu, 46% cenie instalacji, 41% wygodzie użytkowania oraz 38% jakości powietrza. „Średnio ważna” okazała się dla 20% ankietowanych cena instalacji, niecałych 14% wygodą użytkowania, 10% jakość powietrza, a dla 9% potencjalne oszczędności w ogrzewaniu. Nieliczne osoby przyznały oceny „mało ważne” i „nie ważne”. Podsumowując, wyniki wykazały, iż mieszkańcom zależy przede wszystkim na dobrej jakości powietrza w budynku w powiązaniu z potencjalnymi oszczędnościami w ogrzewaniu. Na drugim miejscu stawiają wygodę użytkowania a cena instalacji jest najmniej istotnym parametrem z pośród czterech wskazanych.

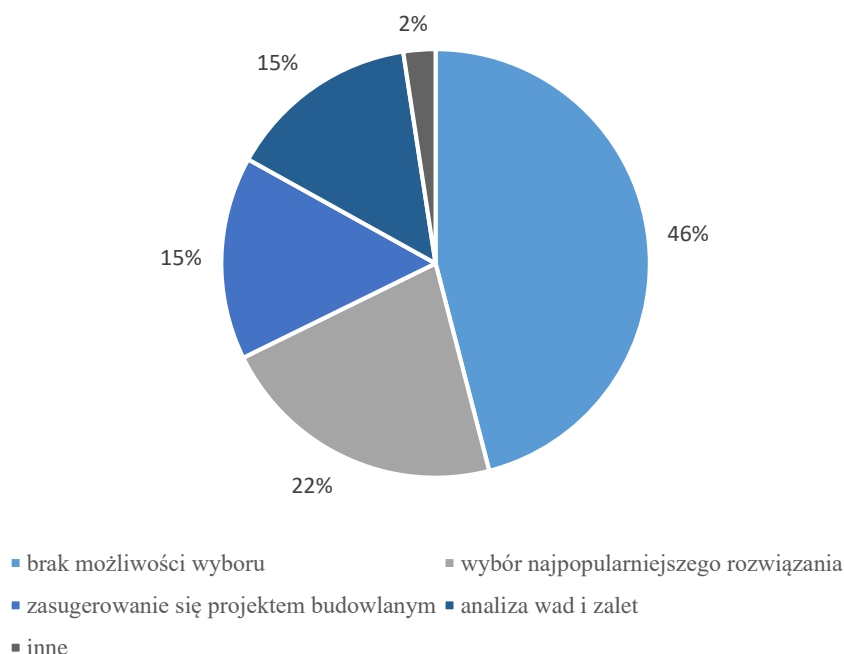
Ważność czynników wpływających na wybór sposobu wentylacji obiektu



Wykres 29. Ważność czynników wpływających na wybór wentylacji obiektu [opracowanie własne].

Sprawdzono zatem co skłoniło mieszkańców do wyboru konkretnego systemu wentylacji ogólnej obiektu. Prawie połowa ankietowanych nie miała wpływu na zastosowany system, głównie ze względu na zakup gotowego domu lub wiek budynku. 22% respondentów wybrało natomiast najpopularniejsze rozwiązanie bez większej jego analizy, a 16% przyjęło rozwiązanie z projektu budowlanego zaproponowanego przez architekta. Tylko 14% respondentów przed podjęciem decyzji przeanalizowało wady i zalety każdego typu i na tej podstawie podjęło decyzję.

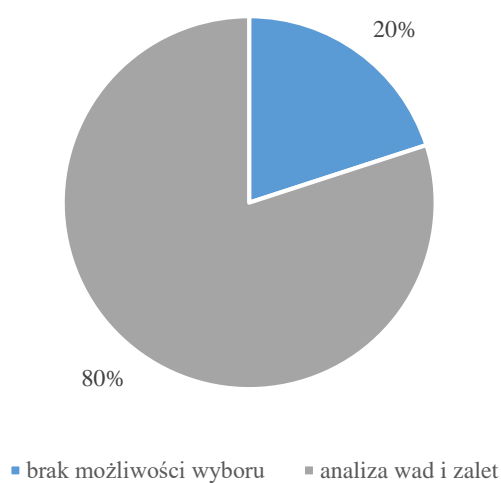
Wybór metody wentylacji obiektu oparty był o:



Wykres 30. Motywy wyboru metody wentylacji obiektu [opracowanie własne].

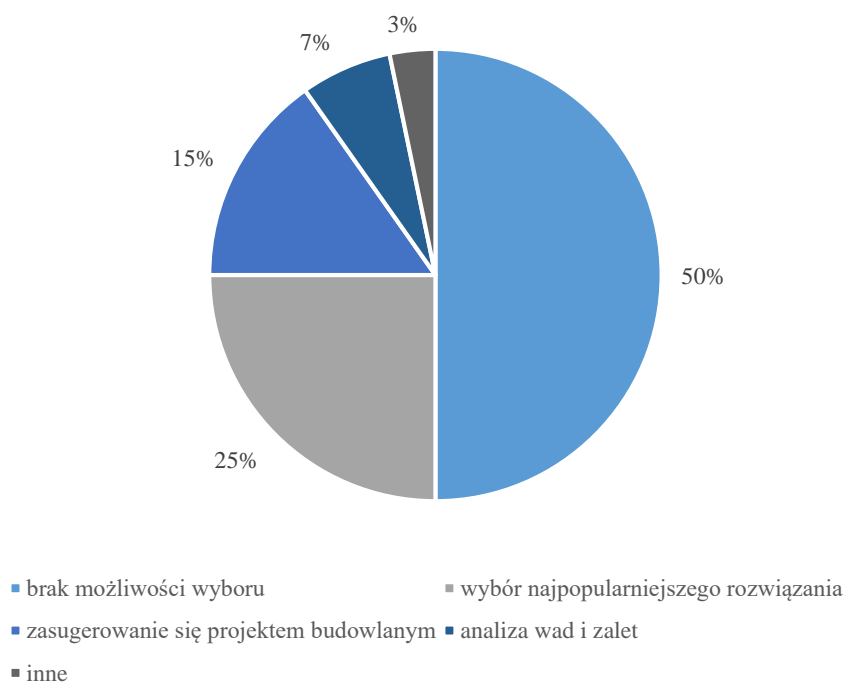
W przypadku budynków opartych na systemie wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła 80% respondentów wskazało świadomy wybór tej metody poprzedzony analizami, natomiast 20% nie miało wpływu na to bezpośredniego wpływu. Jakość powietrza w sezonie grzewczym w powyższych budynkach została oceniona jako co najmniej „dobra”- 88,8% i „bardzo dobra” 11,2%.

Wybór mechanicznej wentylacji obiektu oparty był o:



Wykres 31. Motywy wyboru metody mechanicznej wentylacji obiektu [opracowanie własne].

Wybór grawitacyjnej wentylacji obiektu oparty był o:



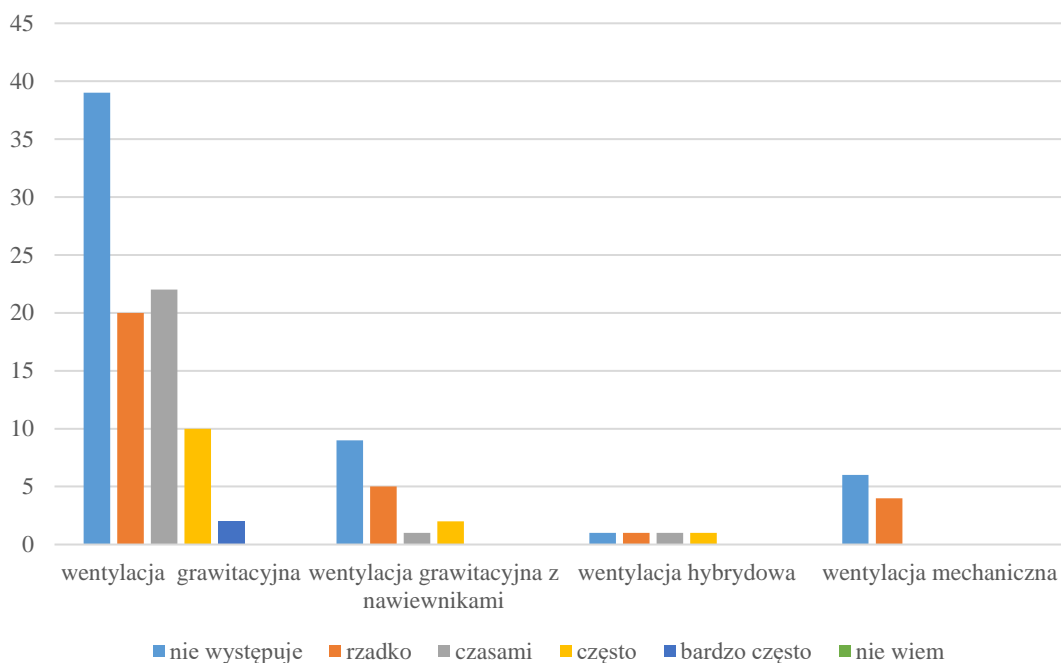
Wykres 32. Motywy wyboru metody grawitacyjnej wentylacji obiektu [opracowanie własne].

W przypadku wentylacji grawitacyjnej 50% respondentów nie miało wpływu na zastosowany rodzaj wentylacji, 25% wybrało najpopularniejsze rozwiązanie, 15% zasugerowało się projektem budowlanym a tylko 7% dokonało świadomego wyboru. Respondenci, którzy nie posiadali wentylacji mechanicznej w 56% uznali jakość powietrza w budynku na poziomie dobrym, 15% na poziomie bardzo dobrym, 23% jako średnią, a 6% jako złą/ bardzo złą.

Ostatnim elementem badań była faktyczna ocena jakości powietrza w obiektach ze wskazanymi systemami wentylacji ogólnej. Ankietowanym zadano 7 pytań odnośnie częstotliwości występowania konkretnych zjawisk związanych z poprawną wentylacją obiektów. Jak pokazały otrzymane wyniki największe problemy z poprawnie działającą wentylacją wykazuje wentylacja grawitacyjna. Jej użytkownicy najczęściej skarżyli się na parowanie szyb w oknach, długo utrzymującą się wilgoć w pomieszczeniach, jak i wyziębienie pomieszczeń. Nawet zastosowanie nawiewników okiennych nie eliminuje do końca występowania negatywnych zjawisk związanych z brakiem poprawnego przepływu powietrza. Nieliczni użytkownicy wentylacji mechanicznej z kolei skarżyli się jedynie na sporadyczne występowanie hałasu z urządzeń wentylacyjnych, odczuwania zapachów z zewnątrz, jak i długo utrzymującej się wilgoci w łazienkach. Jak można zauważyć z ankiety, hałas z urządzeń wentylacyjnych nie występuje jedynie w przypadku wentylacji mechanicznej, ale również w przypadku standardowej wentylacji grawitacyjnej.

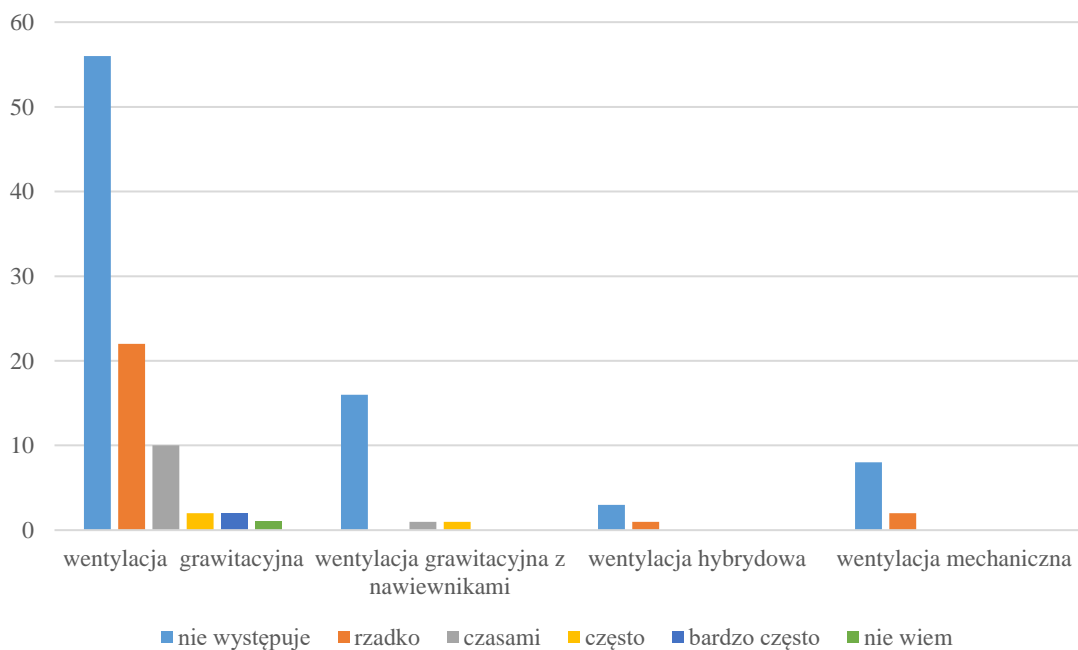
Jak wykazała ankieta nie zawsze obiektywna ocena użytkowników dotycząca jakości powietrza w obiekcie ma powiązanie z rzeczywistą oceną jakości powietrza i poprawnością działania wentylacji ogólnej. Użytkownicy wentylacji mechanicznej zdaniem autorki pracy wykazali się większą świadomością i znajomością tematu.

PAROWANIE SZYB W OKNACH



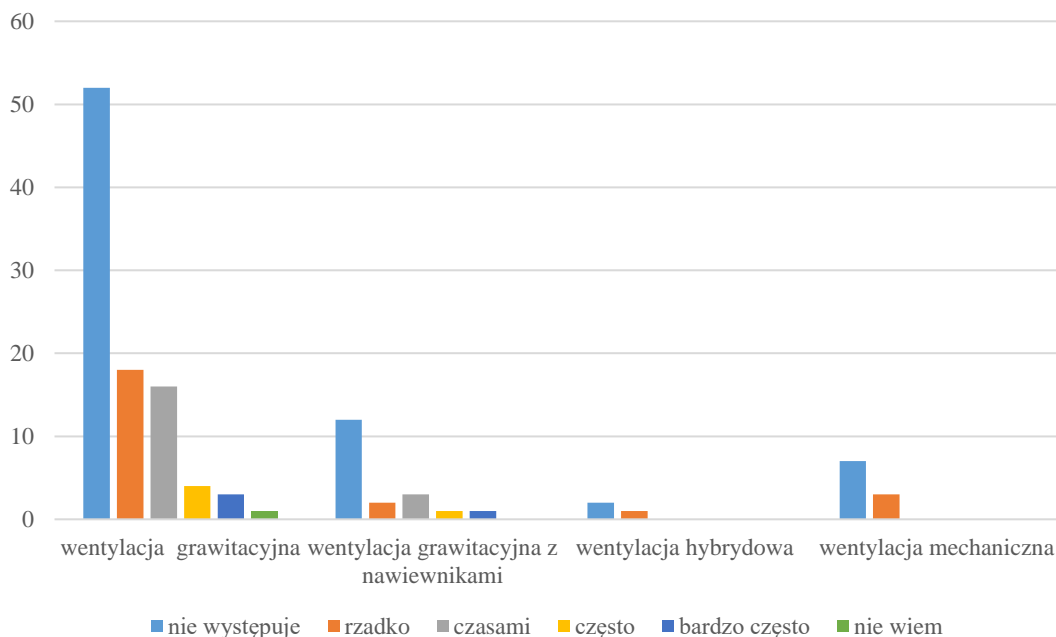
Wykres 33. Częstotliwość występowania parowania szyb w oknach w zależności od zastosowanej wentylacji obiektu według ankietowanych [opracowanie własne].

PLEŚŃ/GRZYB NA MEBLACH/ŚCIANACH



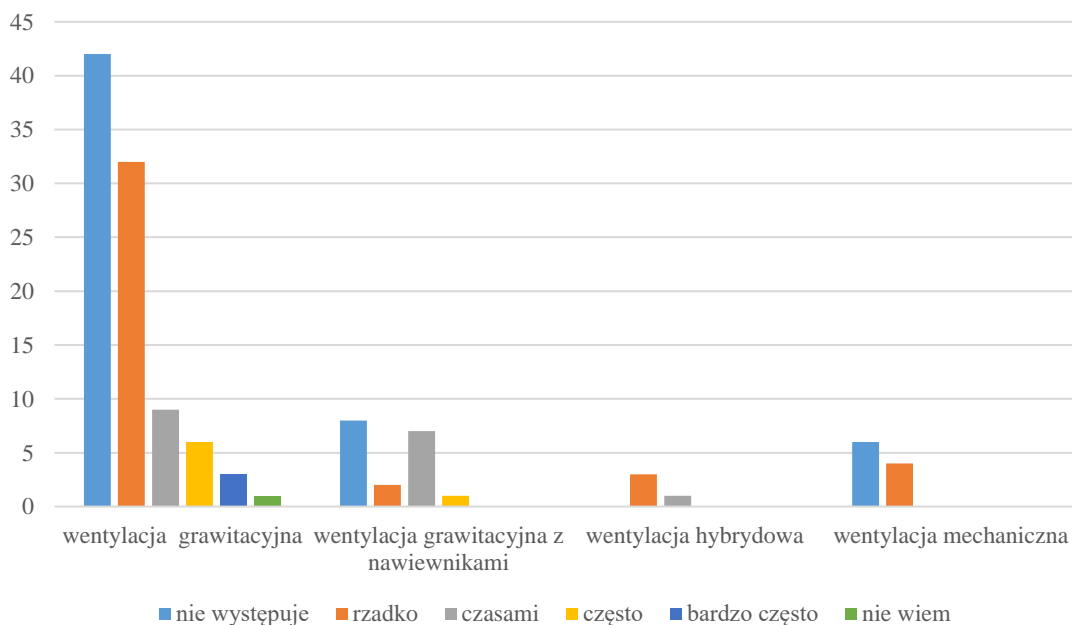
Wykres 34. Częstotliwość występowania pleśni/grzybów na meblach/ścianach w zależności od zastosowanej wentylacji obiektu według ankietowanych [opracowanie własne].

WYZIĘBIENIE POMIESZCZEŃ

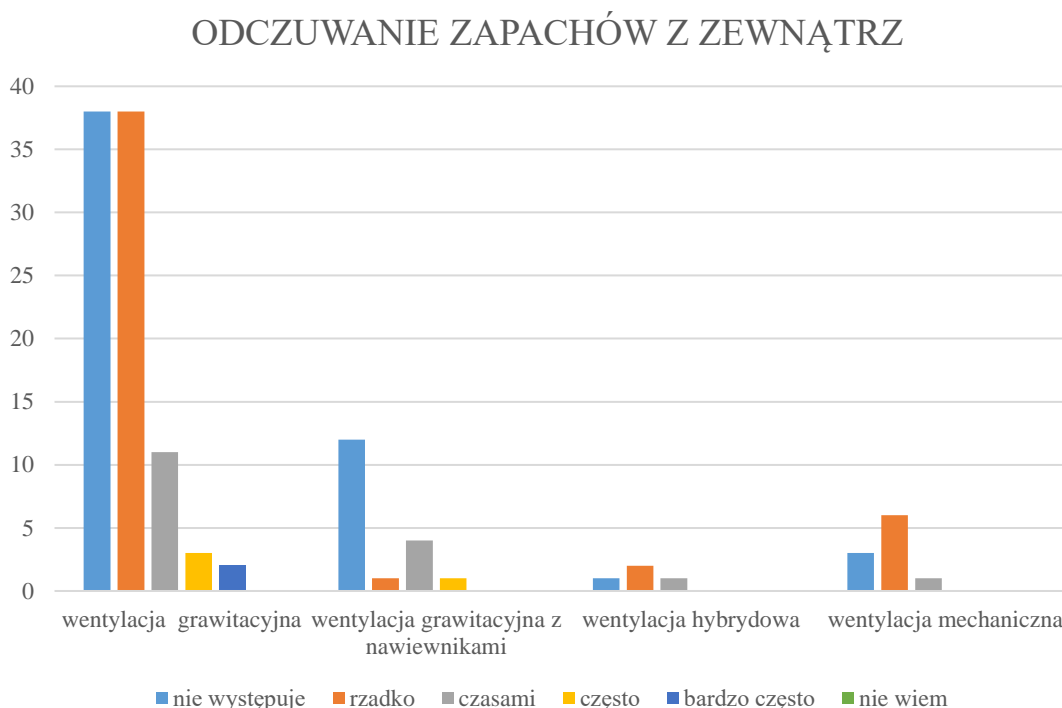


Wykres 35. Częstotliwość wyziębienia pomieszczeń w zależności od zastosowanej wentylacji obiektu według ankietowanych [opracowanie własne].

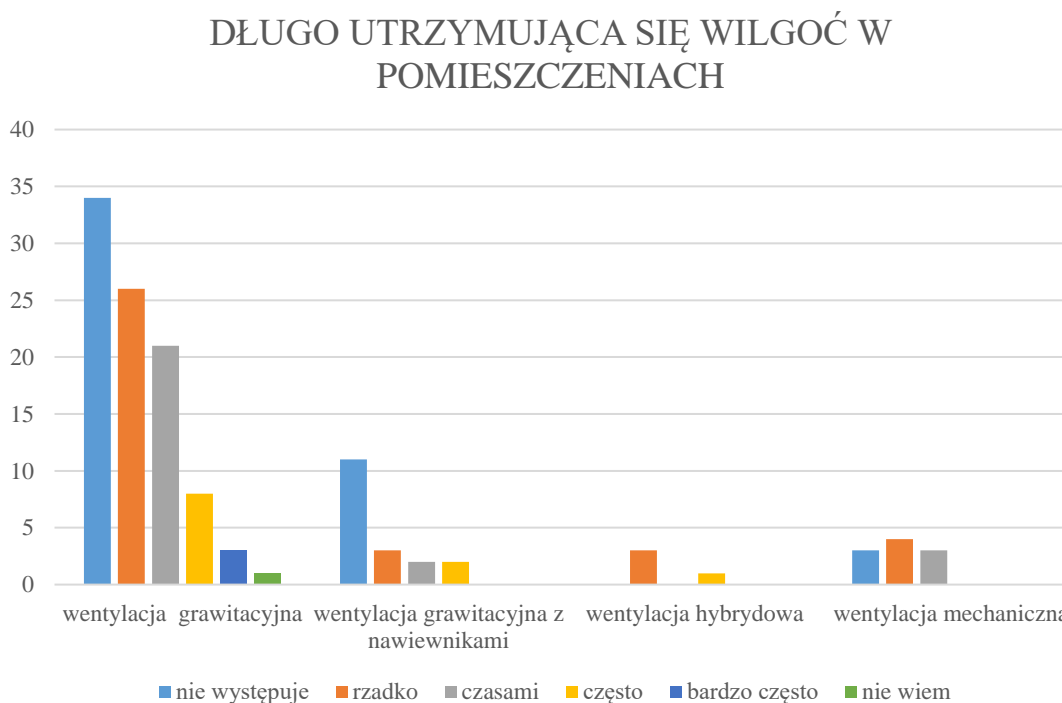
SPADEK JAKOŚCI POWIETRZA



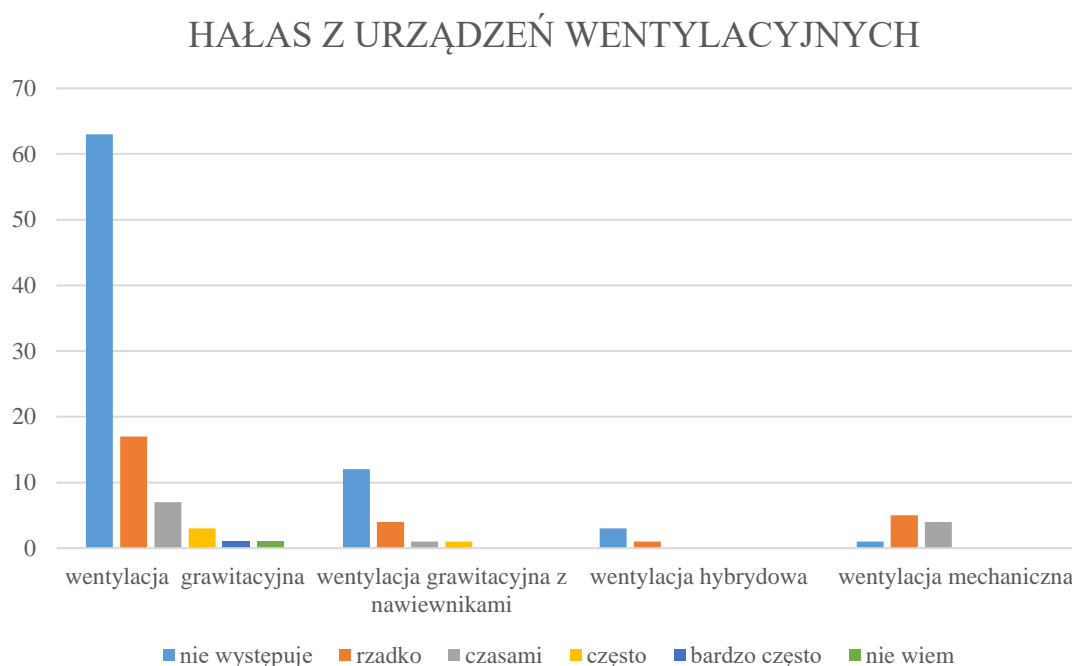
Wykres 36. Częstotliwość spadku jakości powietrza w zależności od zastosowanej wentylacji obiektu według ankietowanych [opracowanie własne].



Wykres 37. Częstotliwość odczuwania zapachów z zewnątrz w zależności od zastosowanej wentylacji obiektu według ankietowanych [opracowanie własne].



Wykres 38. Częstotliwość utrzymywania się wilgoci w pomieszczeniach w zależności od zastosowanej wentylacji obiektu według ankietowanych [opracowanie własne].



Wykres 39. Częstotliwość występowania hałasu z urządzeń wentylacyjnych w zależności od zastosowanej wentylacji obiektu według ankietowanych [opracowanie własne].

3.3 Pogłębiony wywiad indywidualny

W celu poznania tematu w szerszej perspektywie przeprowadzono wywiady z użytkownikami poszczególnych źródeł ciepła. Ze względu na bardzo dużą ilość odpowiedzi w ankiecie osób wykorzystujących gaz ziemny do celów grzewczych i jego powszechność uznano, że ten typ nie wymaga dodatkowych informacji uzupełniających. Skupiono się zatem na użytkownikach odnawialnych źródeł energii – biomasy i pomp ciepła.

Wywiad nr 1.

Pierwszy wywiad przeprowadzono z mieszkańcem budynku jednorodzinnego wolnostojącego wybudowanego w 2012 roku z kotłownią na biomasę. Pierwotny projekt budowlany zakładał ogrzewanie gazowe z sieci ulicznej. Niestety w trakcie budowy samego obiektu przyłączenie do istniejącej sieci gazowej ostatecznie okazało się niemożliwe, ze względu na brak technicznych możliwości przyłączenia, wynikające ze zbyt dużego obciążenia istniejącej sieci gazowej. Ze względu na brak innej możliwości mieszkaniac zdecydował się na montaż kotła na paliwo stałe typu pellet. W między czasie rozważał montaż pompy ciepła, niestety ówczesne jej ceny znacząco przekraczały budżet użytkowników. W trakcie naszej rozmowy mieszkaniac zwrócił uwagę na długi czas spędzony przez niego w celu rozeznania się na rynku takich kotłów, aby wybrać najlepsze urządzenie. Ostatecznie zdecydował się na kocioł włoskiej marki, ze względu na jakość wykonania i stosunkowo wysoką bezawaryjność. Pierwotny projekt zakładał kocioł gazowy, który nie potrzebuje dużo miejsca, dlatego zmiana na kocioł na biomasę wymagała znalezienia odpowiedniego miejsca na jego ustawienie. Jedynym rozwiązaniem w tej sytuacji było przeznaczenie istniejącego garażu na kotłownię oraz magazyn paliwa. Wybrany sposób ogrzewania wymagał od użytkownika składowania około 6 ton paliwa na sezon grzewczy, co skutecznie

uniemożliwiło wykorzystanie garażu do jego pierwotnego przeznaczenia. Samo użytkowanie kotła sprawiło w rzeczywistości mniej problemów niż pierwotnie zakładał użytkownik. 1 worek paliwa musiał być uzupełniany do automatycznego podajnika co 3 dni. Największym problemem w tym wypadku okazywała się dłuższa nieobecność użytkowników, która powodowała znaczące wyzębienie się pomieszczeń w budynku. W celu uniknięcia takiej sytuacji konieczne było angażowanie osób postronnych do uzupełnienia paliwa. W trakcie rozmowy użytkownik zwrócił również uwagę na jakość uzupełnianego paliwa typu pellet. Z jego doświadczenia wynika, że zdarza się, że producenci zamiast dobrej jakości drewna wykorzystują przemielone lakierowane meble z rozbiórek do produkcji pelletu. Ma to oczywiście bezpośredni wpływ na jakość spalin i zwiększoną emisję szkodliwych substancji do środowiska. Jego zdaniem jest to dość poważny problem tego źródła ciepła, ze względu na brak ciągłości dostaw paliwa z jednego źródła gwarantującego określoną jakość paliwa jak to jest w przypadku większych spółek gazowych i energetycznych. Chęć zaoszczędzenia pieniędzy może ostatecznie powodować kupowanie paliwa z nieznanego źródła, które nie pozostaje w kontroli jakości. Ostatecznie użytkownik zdecydował się po 6 latach na zmianę źródła ciepła na kocioł gazowy z paliwem dostarczanym za pomocą wymiennych butli gazowych. Jego zdaniem na podjęcie takiej decyzji miało przede wszystkim to, że kocioł na pellet zajmuje zbyt dużą powierzchnię w obiekcie i nie jest wygodny w użytkowaniu w porównaniu z innymi dostępnymi źródłami.

Wywiad nr 2.

Drugi wywiad przeprowadzono z mieszkańcem Poznania, który na etapie budowy domu zdecydował się na kotłownię na paliwo stałe w tym biomasę - pellet. Wybór ten podyktowany był wyłącznie brakiem możliwości przyłączenia innego źródła ciepła. Inwestor nie zdecydował się na montaż pompy ciepła głównie ze względu na koszt inwestycyjny i brak wiary w opłacalność inwestycji. Jego zdaniem pompy ciepła na dzień dzisiejszy są zbyt drogim rozwiązaniem i zdecydowanie przekraczałyby to jego budżet zaplanowany na instalację grzewczą. W trakcie budowy obiektu, rozbudowana została sieć gazowa w najbliższej okolicy, dlatego inwestor zdecydował się na natychmiastowe podłączenie się do sieci gazowej i rezygnację z założonego w projekcie paliwa na biomasę. Mimo, iż zmiana źródła ciepła wiązała się z koniecznością dostosowania wykonanej już instalacji grzewczej do nowego źródła inwestor się na to zdecydował. Jego decyzja podyktowana była przede wszystkim wygodą użytkowania, którego biomasa nie gwarantuje.

W kwestii wentylacji obiektu inwestor zdecydował się na tradycyjną wentylację grawitacyjną ze względu na brak dodatkowych kosztów inwestycyjnych w trakcie budowy.

Wywiad nr 3

Kolejny wywiad przeprowadzono z rodziną, która wybudowała obiekt w 2019 roku i zdecydowała się na powietrzną pompę ciepła, mimo dostępu do sieci gazowej. Wybór ten podyktowany był w głównej mierze chęcią wykorzystania ekologicznego źródła ciepła w połączeniu z oszczędnościami w rachunkach za ogrzewanie. Zdecydowali się na bardzo wydajną pompę ciepła o współczynniku COP w granicach 5.0 co faktycznie przekłada im się na duże oszczędności. Z perspektywy czasu i użytkowania tego urządzenia już drugi sezon grzewczy mieszkańcy są bardzo zadowoleni z dokonanego wyboru. Należy jednak zaznaczyć, że urządzenie udało im

się kupić po bardzo okazyjnej cenie. Docelowo w planie mają również montaż paneli fotowoltaicznych, aby jeszcze bardziej zmniejszyć koszty utrzymania obiektu. W kwestii obsługi uznają pompę ciepła za bardzo wygodne rozwiązanie, ponieważ na ten moment nie wymaga ona żadnych dodatkowych zabiegów serwisowych. Wynikać to może oczywiście z faktu, że jest to nowe urządzenie objęte jeszcze gwarancją producenta. Ze względu na wybranie powietrznej pompy ciepła konieczne było usytuowanie jednostki zewnętrznej na terenie działki. Ostatecznie zdecydowali się na powieszenie jej na ślepej ścianie budynku oddalonej o około 3 m od granicy działki w bezpośrednim sąsiedztwie zewnętrznego miejsca parkingowego. Jako wadę urządzenia wskazali dość głośną pracę jednostki zewnętrznej szczególnie w okresie nocnym, a montaż jednostki na ścianie nośnej dodatkowo wzmacnia ten efekt przez przenoszenie drgań przez konstrukcję budynku.

Budynek wyposażony jest w wentylację grawitacyjną z nawiewnikami wyłącznie w oknach dachowych. Rodzina początkowo rozważała wybór wentylacji mechanicznej, jednak ostatecznie z niej zrezygnowała ze względu na brak funduszy oraz dobrą jakość powietrza w okolicy. Ze względu na mieszkanie na wsi uznała, że inwestycja w wentylację mechaniczną nie jest konieczna. Podczas wyboru okien wybrali standardową stolarkę okienną bez dodatkowej funkcji wentylacyjnej. Jak wynikało z rozmowy wybór okien dachowych z nawiewnikami był przypadkowy i nie byli świadomi, że okna je zawierają. Ich zdaniem nawiewniki wychładzają pomieszczenia i nie są z nich zadowoleni i ponownie nie wybrali by takich okien. Należy jednak zaznaczyć, że użytkownicy systematycznie wietrzą pomieszczenia poprzez otwieranie na pełną szerokość okien tworząc tzw.: „przeciąg” na parę minut w ciągu dnia.

Wywiad 4.

W celu poznania bliżej tematu pompy ciepła kolejny wywiad przeprowadzono z mieszkańcami domu wyposażonego w gruntową pompę ciepła. Kupili oni w 2020 roku 20 letni dom, który od początku ogrzewany był z tego właśnie źródła. Jako dolne źródło ciepła wykorzystano 5 pionowych odwiertów gruntowych. Budynek dodatkowo wyposażony jest w standardowy kominek opalany drewnem usytuowany w pokoju dziennym. Całościowo użytkownicy obiektu są zadowoleni z zainstalowanego sposobu ogrzewania budynku, natomiast coraz bardziej uciążliwy staje się serwis urządzenia. Ze względu na to, że jednostka wewnętrzna została zakupiona ponad 20 lat temu, coraz częściej wymaga ona naprawy poszczególnych jej podzespołów. Na pytanie, czy gdyby użytkownicy budowali dom od podstaw wybrali również pompę ciepła uznali, że tak, ale koniecznie w połączeniu z kominkiem. Uzasadnili swój wybór wygodą użytkowania pompy, jej niskimi kosztami eksploatacyjnymi, natomiast ze względu na niską wydajność pompy przy niskich temperaturach konieczne jest dogrzewanie obiektu innym źródłem ciepła. Obiekt wyposażony jest również w kolektory słoneczne do grzania ciepłej wody użytkowej i według użytkowników rozwiązanie to nie do końca się sprawdza w okresie letnim. W przypadku mało słonecznych dni pompa pracująca w trybie awaryjnym nie dogrzewa ciepłej wody użytkowej, co skutkuje rzeczywistym jej brakiem. Jest to, jednakże prawdopodobnie wina źle dobranej instalacji i jej nieprawidłowego zaprogramowania.

Ze względu na wiek budynku obecny system wentylacji opiera się na naturalnym ciągu. Mieszkańcy negatywnie oceniają jakość powietrza w budynku, natomiast może to wynikać bezpośrednio z lokalizacji w dość gęstej zabudowie miejskiej. Stolarka okienna nie jest wyposażona w nawiewniki okienne, jednakże jej wiek może sugerować

niski poziom szczelności. Użytkownicy głównie skarżą się na częsty spadek jakości powietrza w pomieszczeniach sypialnych, co może wskazywać na niedostateczny przepływ powietrza. Na dzień dzisiejszy rozmówcy nie mają w planach usprawnienia działania systemu wentylacji, natomiast rozważają przy generalnym remoncie obejmującym wymianę stolarki okiennej montaż wentylacji mechanicznej.

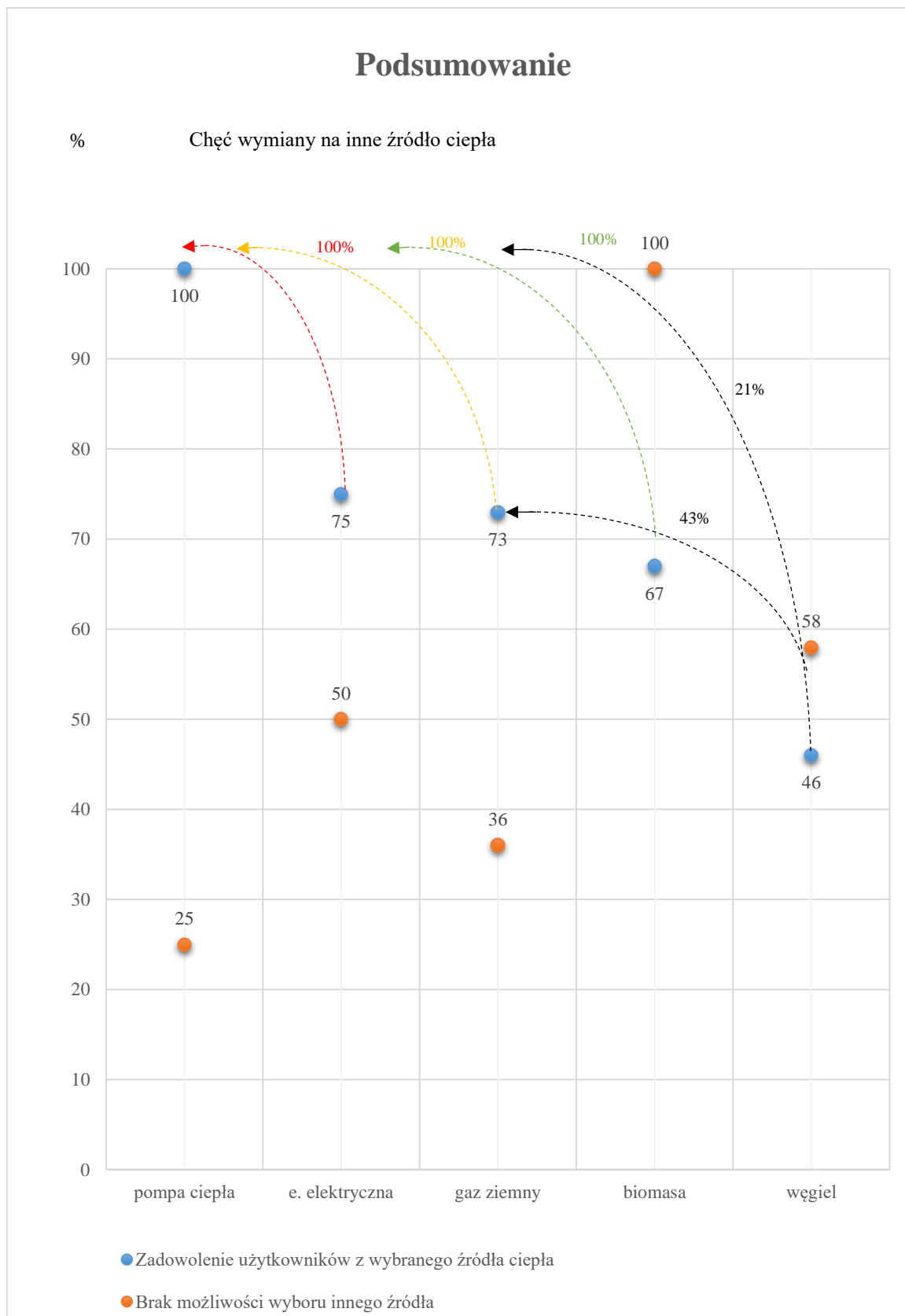
3.4 Podsumowanie

Przeprowadzone przez autorkę badania jakościowe z zastosowaniem metody POE pozwoliły zdefiniować oczekiwania użytkowników w zakresie preferowanych źródeł ciepła i systemów wentylacji w obiektach mieszkalnych. Na tej bazie będzie można kształtować nowoczesne obiekty o wysokiej jakości i standardzie użytkowania. Na ilustracji 38 i wykresie 40 przedstawiono całościowe podsumowanie wybranych źródeł ciepła w ocenie użytkowników. Badania jakościowe pozwoliły określić powolną tendencję odchodzenia mieszkańców od źródeł kopalnych na rzecz pompy ciepła, która zaliczana jest do odnawialnych źródeł energii. Wszyscy użytkownicy gazu ziemnego, energii elektrycznej czy biomasy, którzy wyrazili niezadowolenie z obecnego źródła ciepła wskazali pompę ciepła jako preferowane źródło. Na moment przeprowadzenia badań jest to jedyne źródło ciepła, które charakteryzuje się 100% zadowoleniem użytkowników.

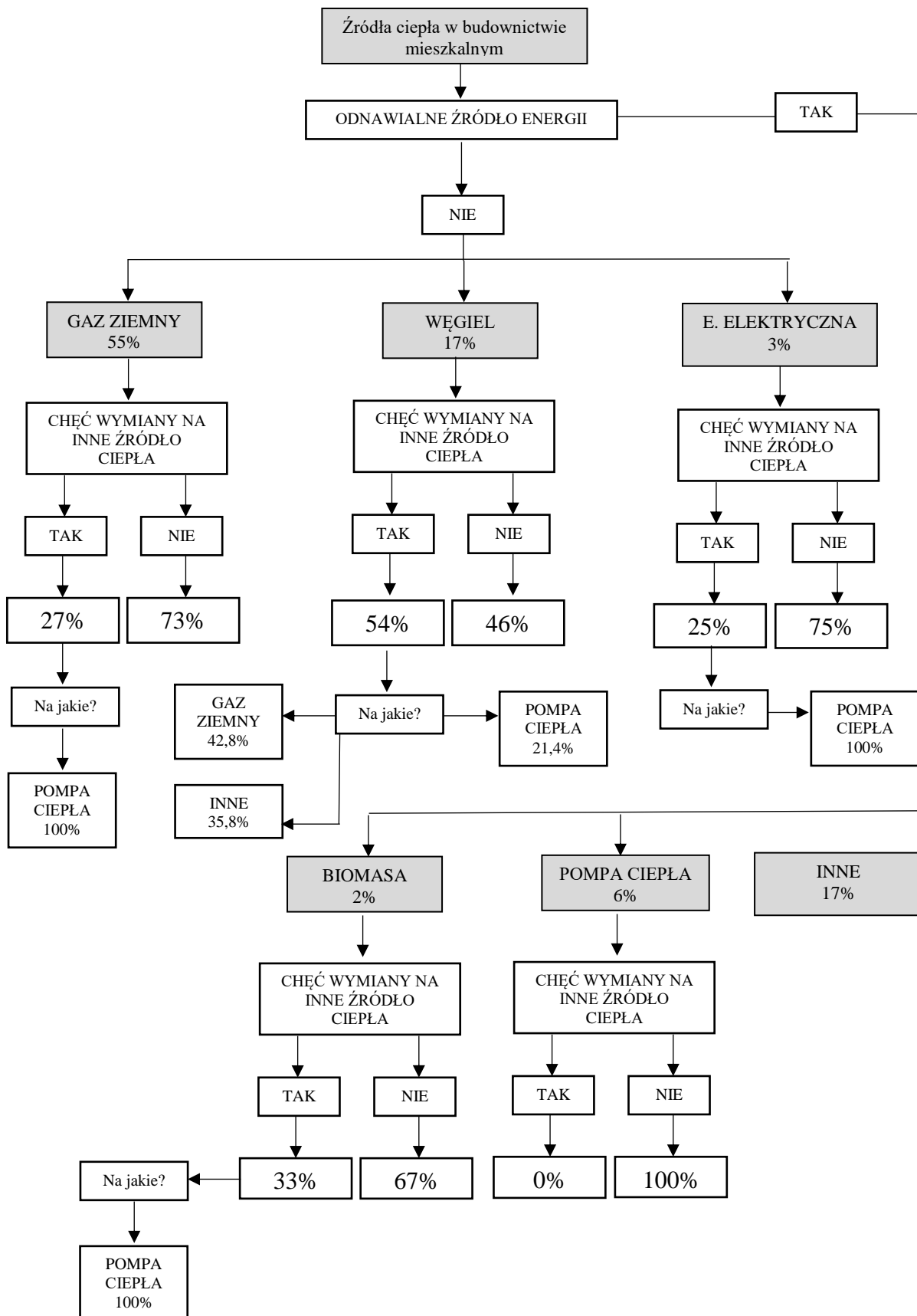
Z przeprowadzonych badań jakościowych wysunięto następujące wnioski :

- 1. Mieszkańcy budynków mieszkalnych wybierają ekologiczne i efektywne energetycznie źródła ciepła jedynie w przypadku zapewnienia przez nie komfortowego użytkowania. Najwyżej oceniane jest w tym aspekcie ogrzewanie gazowe oraz pompa ciepła.**
- 2. Wykazano powolną tendencję wymiany źródeł ciepła na pompy ciepła, która w ocenie mieszkańców zapewnia komfort użytkowania i znaczne korzyści ekonomiczne w trakcie eksploatacji.**
- 3. Mieszkańcy wykazują się dość dużą nieświadomością dotyczącą kwestii wentylacji co ma bezpośredni wpływ na podejmowane przez nich decyzje w trakcie budowy.**
- 4. W budownictwie jednorodzinym dominuje wentylacja grawitacyjna, jednakże zmniejsza się jej przewaga w nowoprojektowanych obiektach na rzecz wentylacji mechanicznej, która mimo dodatkowych nakładów finansowych zapewnia korzystniejszy komfort użytkowania.**

Przeprowadzone badania ankietowe pozwoliły nakreślić najpopularniejsze rodzaje źródeł ciepła stosowane w zabudowie jednorodzinnej, które stały się podstawą do dalszej analizy.



Wykres 40. Podsumowanie wyników z przeprowadzonej ankiety

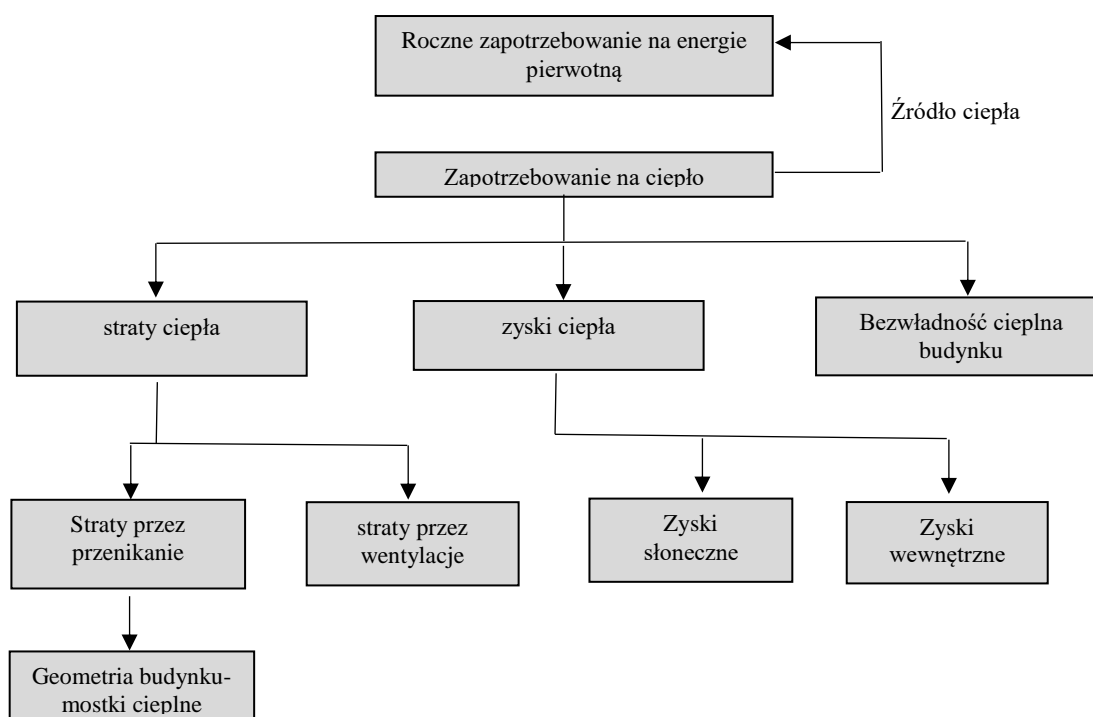


Ilustracja 39. Diagram zestawiający źródła ciepła pod względem komfortu użytkowania [opracowanie własne].

4 MODEL OCENY BUDYNKÓW I WALIDACJA DOŚWIADCZALNA

4.1 Wybór metody modelowania

Przeprowadzając badania wpływu efektywności energetycznej konkretnych źródeł ciepła na architekturę budynku autorka zastosowała badania modelowe i symulacyjne. Wykorzystano do tego program Arcadia Termocad Pro, który przeznaczony jest do wyznaczania projektowanej charakterystyki energetycznej budynków. Na potrzeby pracy skorzystano z metody obliczeniowej, zgodnie z metodologią zawartą w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. 2015 poz. 376). Przedmiotem badań są budynki mieszkalne jednorodzinne, dlatego autorka zakłada niewielki błąd obliczeń. Ze względu na specyfikę pracy w obliczeniach pominięto zapotrzebowanie na energię na cele chłodzenia, bazując na danych literaturowych, które wskazują, że ich udział w danej tematyce jest niewielki⁶⁹. W obliczeniach przyjęto składowe przedstawione na ilustracji 39.



Ilustracja 40. Model przyjętych składowych do obliczenia rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną dla budynku [opracowanie własne].

⁶⁹ Firląg S., *Standardy efektywności energetycznej budynków jednorodzinnych*, Oficyna wydawnicza Politechniki warszawskiej, Warszawa 2021, s. 38.

Przeprowadzone analizy i badania zostały opracowane na podstawie konkretnych parametrów oraz metodyki obliczeniowej i należy przyjmować je z pewnymi ograniczeniami.

Podobną tematykę badań przeprowadziły Joanna Borowska i Sylwia Kulczewska w artykule z 2016 roku „*Wpływ rodzaju paliwa na wartość wskaźnika energii pierwotnej w budynkach mieszkalnych jednorodzinnych*”⁷⁰. Badania zostały wykonane tylko dla jednego wariantu domu jednorodzinnego i obejmowały wyłącznie 3 rodzaje paliwa: gaz ziemny, węgiel i biomasę. Głównym celem autorek w publikacji było udowodnienie, iż wskaźnik EP nie jest dobrym narzędziem w ocenie efektywności energetycznej budownictwa.

Porównanie konkretnych źródeł ciepła jest szerzej badane w pracy Roberta Sekreta „*Ocena oddziaływania na środowisko wybranych systemów zaopatrzenia budynków w ciepło na potrzeby zarządzania energią*”⁷¹. W artykule zaprezentowano ocenę LCA dla 11 wariantów systemów grzewczych skupiając się głównie na systemie ciepłowniczym w porównaniu z indywidualnym źródłem ciepła jak kocioł gazowy, węglowy czy pompa ciepła. Badania wykonano tylko dla jednego modelu budynku.

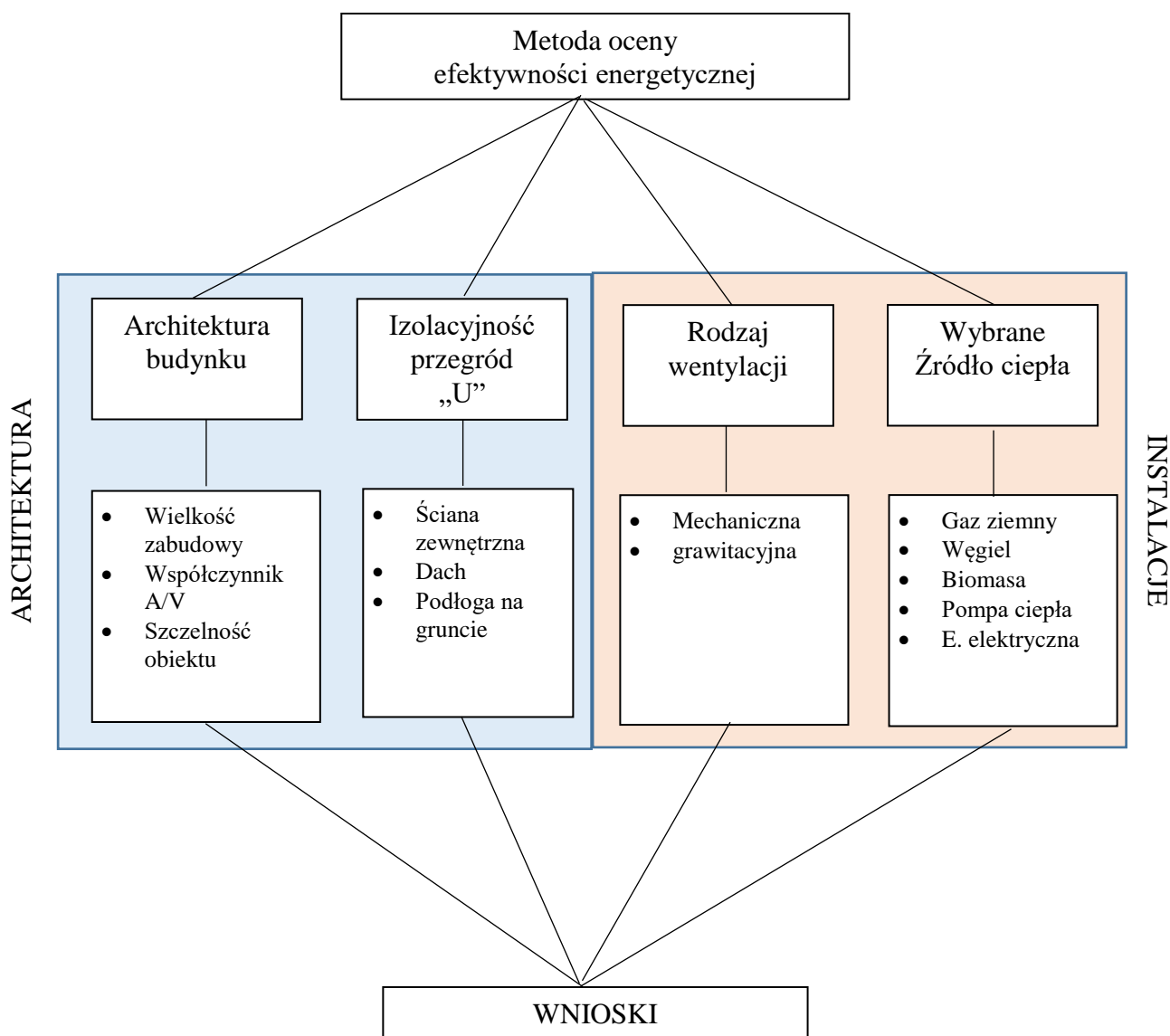
Istnieje wiele publikacji badających wpływ źródła ciepła na wskaźnik zużycia energii pierwotnej jak:

- Szul T., *Wpływ zastosowanego źródła ciepła na wartość wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialna energię pierwotną EP*”, Technika Rolnicza Leśna 5/2009, s.
- Koczyk H., Antoniewicz B., *Wpływ sposobu zapotrzebowania w ciepło budynku energooszczędnego na etykietę energetyczną*, Czasopismo Techniczne 1-B/2009 zeszyt 5 rok 106 s. 105-112
- Hopkowicz M., Maludziński B., *Możliwość poprawienia charakterystyki energetycznej budynku o niskim zapotrzebowaniu na energię* Czasopismo Techniczne 2-B/2012 zeszyt 3 rok 109 s. 177-183

Autorka na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury uznała, że wykonane przez innych badaczy analizy nie rozwiązują w pełni rozważanego przez autorkę problemu i są niewystarczające do oparcia na nich dalszej analizy. Postanowiła zatem wykonać obliczenia efektywności energetycznej w oparciu o 4 kryteria: architekturę obiektu, izolacyjności przegród, rodzaju wentylacji i źródła ciepła oraz zbadaniu ich wzajemnej relacji co przedstawiono na ilustracji 40. Otrzymane wyniki stały się podstawą do dalszej analizy, jak i wyciągniętych na końcu pracy wniosków.

⁷⁰ Borowska J., Kulczewska S., *Wpływ rodzaju paliwa na wartość wskaźnika energii pierwotnej w budynkach mieszkalnych jednorodzinnych*, Technical Issues 4/2016 pp. 3-8

⁷¹ Sekret R., *Ocena oddziaływania na środowisko wybranych systemów zaopatrzenia budynków w ciepło na potrzeby zarządzania energią*, Rynek Energii” – 1/2019



Ilustracja 41. Schemat przeprowadzonej oceny efektywności energetycznej

4.1.1 Model obliczeniowy

Podczas projektowania budynku jednym z najważniejszych aspektów estetycznych i funkcjonalnych jest forma architektoniczna obiektu. To ona określa jego zewnętrzny trójwymiarowy kształt posiadający określone cechy charakterystyczne. Natomiast samo kształtowanie formy architektonicznej zależy od wielu czynników takich jak: lokalizacja, aspekt przestrzenny, krajobrazowy, konstrukcyjny, funkcjonalny czy wizualny. W obecnym budownictwie pojawił się jeszcze jeden czynnik jak technologie proekologiczne, czyli te, które zmniejszają zużycie energii przez budynek. Z drugiej strony na formę architektoniczną wpływają również przepisy i regulacje prawne, które narzucają projektantowi nie samą formę architektoniczną obiektu, ale konieczność stosowania rozwiązań, które bezpośrednio na tę formę wpływają.

Wszystkie wyżej wymienione czynniki powinny być brane pod uwagę w trakcie tworzenia koncepcji budynku. Charakter działki, jak i konspekt urbanistyczno-

przyrodniczy ma bezpośredni wpływ na bryłę budynku i na podstawowe założenia funkcjonalne i konstrukcyjno-materiałowe. We współczesnej architekturze coraz częściej możemy znaleźć standardy określone metodami oceny, które bezpośrednio wpływają na:

- bryłę budynku poprzez stosowanie dużych przeszkleń od strony dobrze nasłonecznionej i dodatkowo stosowanie rozwiązań minimalizujących straty energii bądź ich pozyskiwanie,
- układ funkcjonalny wnętrza,
- jakość przegród budowlanych poprzez konieczność stosowania materiałów o wysokim stopniu izolacyjności,
- efektywność energetyczną i użycie materiałów i surowców,
- proekologiczną innowacyjność,
- komfort użytkowania.

Do określenia zużycia energii na cele grzewczo-wentylacyjne posłużono się modelem budynku jednorodzinnego stworzonym na potrzeby pracy. Ze względu na dużą indywidualność rozwiązań przestrzennych w budownictwie mieszkaniowym charakterystyczne parametry starano się oprzeć na najbardziej powszechnych lub zalecanych rozwiązaniach. Założono, że w każdej wersji jest to budynek wolnostojący zlokalizowany w II strefie klimatycznej Polski. Przyjęto konstrukcję tradycyjną murowaną, a sam budynek ma zwarty kształt prostokąta. Na potrzeby obliczeń założono, że budynek w całości jest ogrzewany. Ze względu na duży wpływ jakie na bryłę i usytuowanie obiektu względem stron świata ma charakter działki, na potrzeby obliczeń kierowano się w tym aspekcie zalecaniami dotyczącymi budownictwa energooszczędnego. Główne wejście do obiektu założono od strony północnej, natomiast część dzienną z największą ilością przeszkleń od strony południowej.

Podstawowe dane analizowanych obiektów, które są niezmiennie dla każdego wariantu przedstawiono w tabeli. 2.

Tabela 2. Przyjęte założenia wspólne do obliczenia zapotrzebowania na energię pierwotną na potrzeby ogrzewania i wentylacji.

Założenia	wartość	jednostka
Projektowana temperatura powietrza zewnętrznego	-18	°C
Średnioroczna temperatura powietrza zewnętrznego	7,8	°C
Projektowana temperatura powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach	20	°C
Projektowana temperatura ciepłej wody użytkowej	55	°C
Projektowane zużycie ciepłej wody użytkowej	180	l/ dzień

Celem analizy było określenie minimalnych wymagań w zakresie izolacyjności przegród w powiązaniu ze źródłem ciepła i systemem wentylacji, które pozwolą spełnić wymagania dotyczące wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną do ogrzewania i wentylacji na poziomie $EP \leq 70 \text{ kWh}(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$.

W obliczeniach założono zmienne parametry w aspektach:

- architektury obiektu – bazując na współczynniku kształtu A/V ,
- współczynnika izolacyjności cieplnej U przegród budowlanych,
- źródła ciepła,
- systemu wentylacji ogólnej.

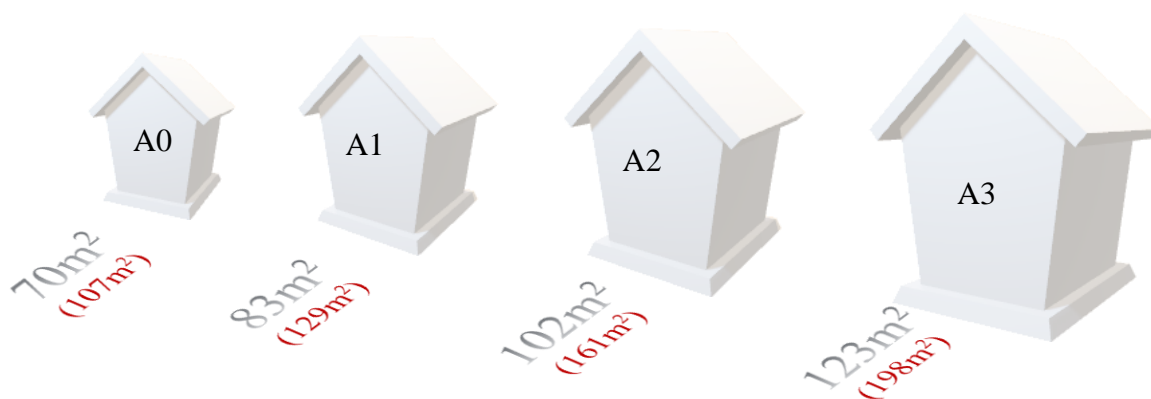
Ze względu na charakter badań analizowane obiekty mieszkalne miały charakter podglądowy. Główną uwagę skupiono na podstawowych założeniach architektonicznych i popularności rozwiązań, które w sposób uproszczony ukazano na modelach budynku aniżeli na samej architekturze obiektu. W modelach nie rozważano zastosowania konkretnych materiałów na elewacji budynku ze względu na przyjęcie do obliczeń końcowego współczynnika przenikania ciepła U na konkretnym poziomie.

W celu zbadania wartości wskaźnika EP dla wybranych źródeł ciepła operowano natomiast na konkretnych modelach obiektów mieszkalnych. W tym celu stworzono 4 modele wielkościowe obiektów domów jednorodzinnych parterowych z użytkowym poddaszem, które są najczęściej projektowane i budowane. Podstawowe parametry modeli przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Charakterystyczne parametry przyjętych modeli budynków.

Symbol	Powierzchnia ogrzewana [m ²]	Kubatura budynku, [m ³]	Powierzchnia zabudowy [m ²]	Powierzchnia okien [%]	Współczynnik kształtu [-]
A0	107,20	366,6	69,84	16,25	0,70
A1	128,60	448,4	82,80	15,65	0,68
A2	161,38	542,2	101,36	17	0,66
A3	197,52	893	123,05	25	0,51

W obliczeniach starano się, aby każdy wariant budynku pod względem funkcjonalnym był do siebie podobny, a główna różnica wynikałaby z wielkości i ilości pomieszczeń. Poniżej przedstawiono charakterystykę obliczeniowych wariantów obiektów.

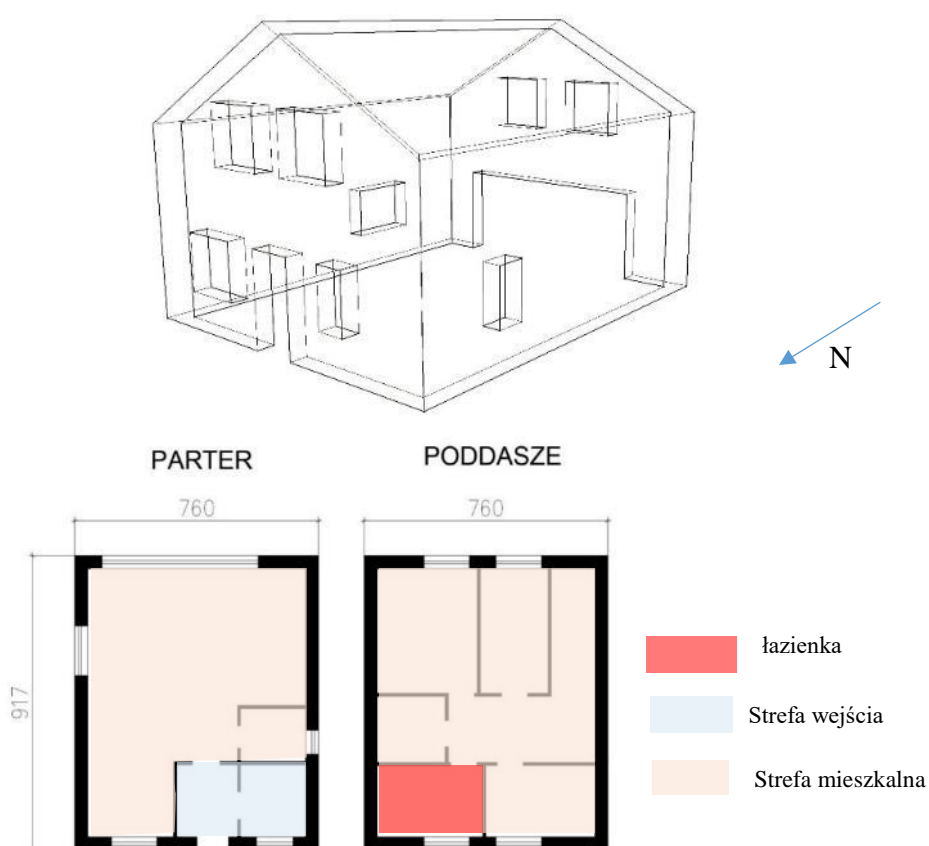


Powierzchnia zaudowy
(powierzchnia ogrzewana)

Ilustracja 42. Modelowe przedstawienie analizowanych wariantów wielkościowych [opracowanie własne]

Model budynku - Wariant A0

Na poniższych ilustracjach pokazano schematyczne rzuty parteru i poddasza użytkowego obiektu oraz widoki perspektywiczne na bryłę budynku.

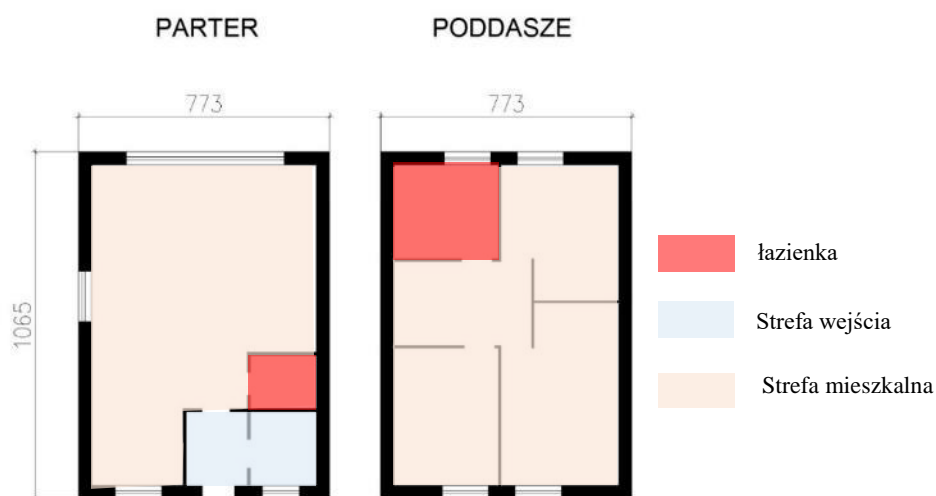
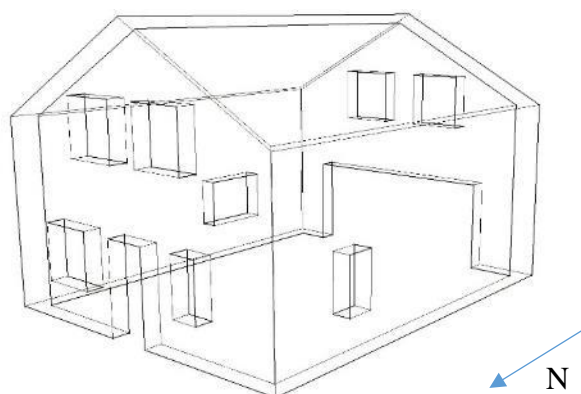


Ilustracja 43. Widok perspektywiczny i schematyczne rzuty wariantu A0 [opracowanie własne].

Tabela 4. Charakterystyczne parametry modelu budynku w wariantcie A0.

Symbol	Nazwa	Wartość
A_g	Powierzchnia zabudowy	69,84m ²
A_f	Powierzchnia ogrzewana	107,2 m ²
V_e	Kubatura	366,6m ³
V_f	Kubatura przestrzeni ogrzewanej	253,8 m ³
	Wymiary zewnętrzne	9,17x7,60 m
$A_{w,e}$	Powierzchnia ścian zewnętrznych	116 m ²
A_p	Powierzchnia powierzchni przezroczystych	22,50m ² (16,25%)
A	Powierzchnia przegród oddzielających budynek od środowiska zewnętrznego i części nieogrzewanej	258,2
A/V_e	Współczynnik kształtu	0,70

Model budynku - Wariant A1

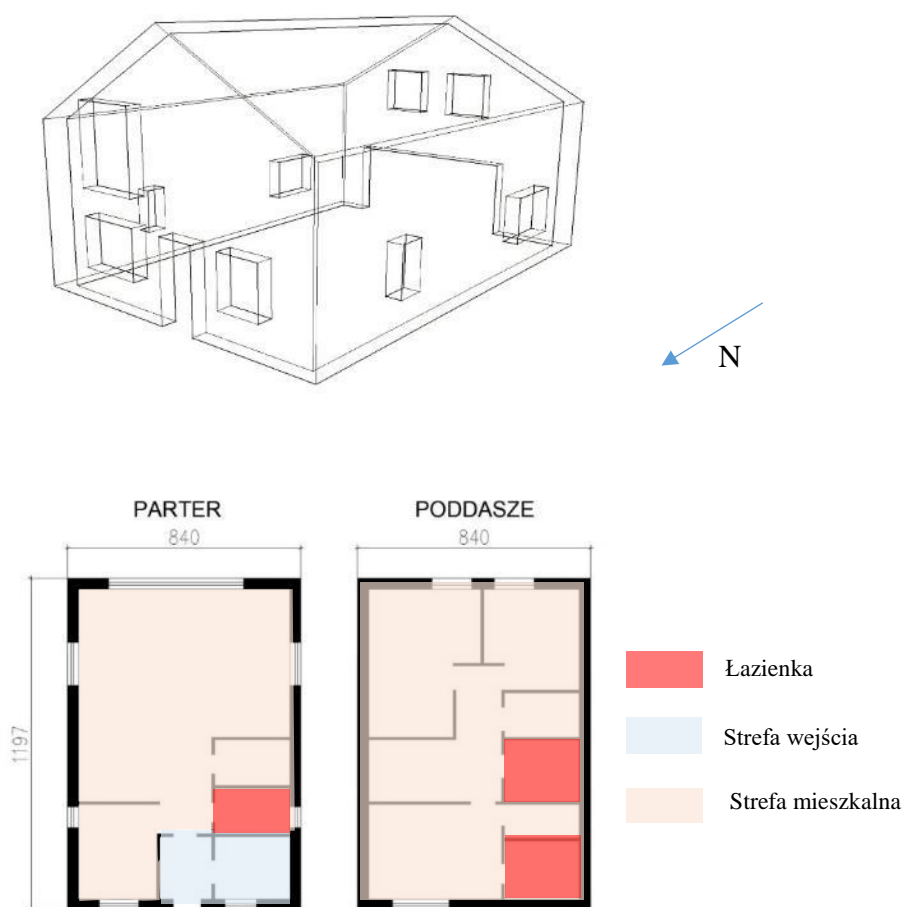


Ilustracja 44. Widok perspektywiczny i schematyczne rzuty wariantu A1 [opracowanie własne].

Tabela 5. Charakterystyczne parametry modelu budynku w wariantcie A1.

Symbol	Nazwa	Wartość
A_g	Powierzchnia zabudowy	82,8m ²
A_f	Powierzchnia ogrzewana	128,6m ²
V_e	Kubatura	448,4 m ³
V_f	Kubatura przestrzeni ogrzewanej	307,1m ³
	Wymiary zewnętrzne	10,65x7,73 m
$A_{w,e}$	Powierzchnia ścian zewnętrznych	128,2m ²
A_p	Powierzchnia powierzchni przezroczystych	3,8m ² (15,65%)
A	Powierzchnia przegród oddzielających budynek od środowiska zewnętrznego i części nieogrzewanej	306,2
A/V_e	Współczynnik kształtu	0,68

Model budynku - Wariant A2

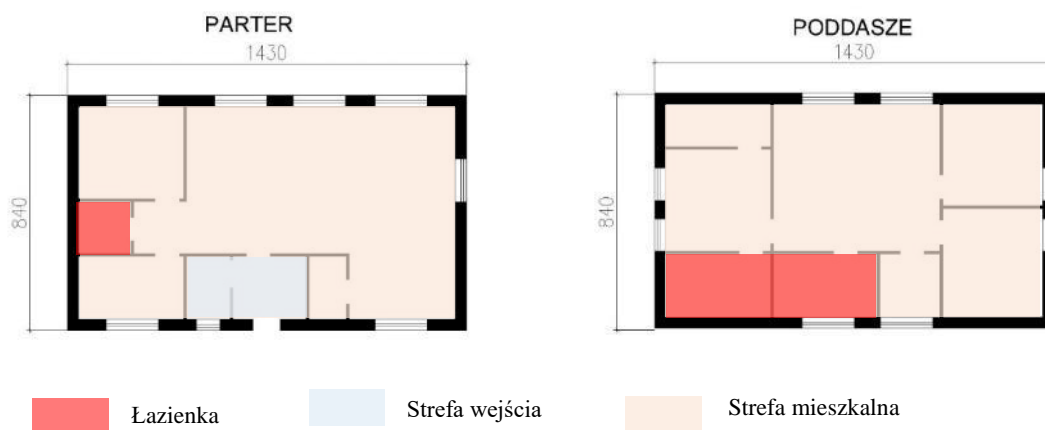
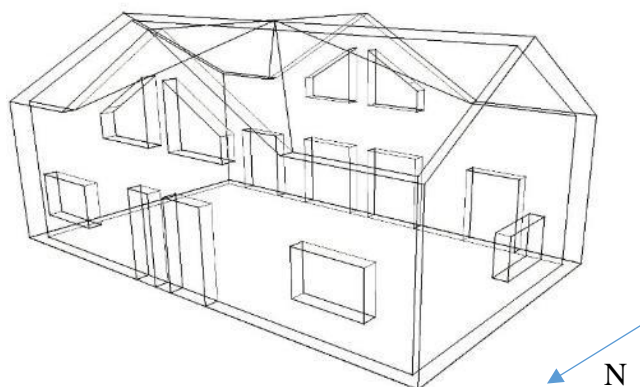


Ilustracja 45. Widok perspektywiczny i schematyczne rzuty wariantu A2 [opracowanie własne].

Tabela 6. Charakterystyczne parametry modelu budynku w wariantcie A2.

Symbol	Nazwa	Wartość
A_g	Powierzchnia zabudowy	101,36m ²
A_f	Powierzchnia ogrzewana	161,38 m ²
V_e	Kubatura	542,2m ³
V_f	Kubatura przestrzeni ogrzewanej	373,10 m ³
	Wymiary zewnętrzne	12,05 x 8,4m
$A_{w,e}$	Powierzchnia ścian zewnętrznych	136 m ²
A_p	Powierzchnia powierzchni przezroczystych	31,54 m ² (17%)
A	Powierzchnia przegród oddzielających budynek od środowiska zewnętrznego i części nieogrzewanej	359m ²
A/V_e	Współczynnik kształtu	0,66

Model budynku - Wariant A3



Ilustracja 46. Widok perspektywiczny i schematyczne rzuty wariantu A3 [opracowanie własne].

Tabela 7. Charakterystyczne parametry modelu budynku w wariantcie A3.

Symbol	Nazwa	Wartość
A_g	Powierzchnia zabudowy	123,05m ²
A_f	Powierzchnia ogrzewana	197,52 m ²
V_e	Kubatura	893 m ³
V_f	Kubatura przestrzeni ogrzewanej	706,9 m ³
	Wymiary zewnętrzne	14,3 x 8,6m
$A_{w,e}$	Powierzchnia ścian zewnętrznych	153,8 m ²
A_p	Powierzchnia powierzchni przezroczystych	49,56 m ² (25%)
A	Powierzchnia przegród oddzielających budynek od środowiska zewnętrznego i części nieogrzewanej	456,1
A/V_e	Współczynnik kształtu	0,51

4.2 Źródło ciepła

Jednym z czynników mających znaczący wpływ na wskaźnik EP jest roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji ($Q_{H,nd}$). Obniżenie strat ciepła w tym zakresie zależy głównie od wyboru źródła ciepła, jak i rodzaju wentylacji obiektu. Wymaga zatem korekty obecny sposób zaopatrzenia w ciepło budynku w celu osiągnięcia racjonalnej gospodarki energetycznej, jak i ekologicznej. Od 2021 roku zgodnie ze zmianami WT2021 wszystkie nowo projektowane budynki jednorodzinne powinny być projektowane jako energooszczędne. Technika instalacyjna w takich obiektach składa się przede wszystkim ze stosowania źródeł ciepła o wysokiej sprawności, jak kotły kondensacyjne, urządzenia akumulacyjne oraz wykorzystanie technologii odzysku ciepła. Ważnym czynnikiem są straty ciepła pochodzące w szczególności od instalacji centralnego ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej. Obecnie na rynku mamy duży wybór źródeł ciepła, natomiast tylko nieliczne charakteryzują się niskim zużyciem energii końcowej, niezawodnością i bezpieczeństwem pracy i dostaw, jak również korzystnym aspektem ekonomicznym. Aby działania poprawiające efektywność energetyczną były skuteczne kluczowe jest nie tylko odpowiednio dobrane źródło ciepła, ale również świadomość energetyczna użytkowników. Częstym problemem są nieodpowiednio regulowane czy dobrane grzejniki lub ich nieodpowiednie użytkowniki, jak zasłanianie meblami czy zasłonami, co w bezpośredni sposób wpływa na efektywność energetyczną budynku.

Obecnie dla budynków jednorodzinnych tradycyjnym źródłem dostarczającym energię na potrzeby centralnego ogrzewania oraz ciepłej wody użytkowej są przede wszystkim kotły gazowe, kotły na paliwo stałe, w tym węgiel i biomasa, pompy ciepła a rzadziej kotły olejowe czy elektryczne. Głównym celem badań w tym zakresie było porównanie zużycia energii pierwotnej paliw kopalnych do odnawialnych źródeł energii. Dla każdego wariantu budynku A0, A1, A2, A3 przyjęto 5 różnych źródeł ciepła (Tabela 8). Jako paliwa konwencjonalne wybrano kondensacyjne kotły gazowe (Z1), kotły opalane węglem brunatnym (Z2), które w dalszym ciągu są wykorzystywane w starszym budownictwie oraz dla porównania kotły elektryczne (Z5). Jako źródła niekonwencjonalne dobrano kotły na biomasę, w tym drewno i pellet (Z3) oraz coraz

popularniejsze pompy ciepła (Z4). W drugiej części obliczeń jako alternatywę sprawdzono źródła ciepła bazujące na energii elektrycznej, do której produkcji wykorzystano panele fotowoltaiczne (Z4+PV, Z5+PV).

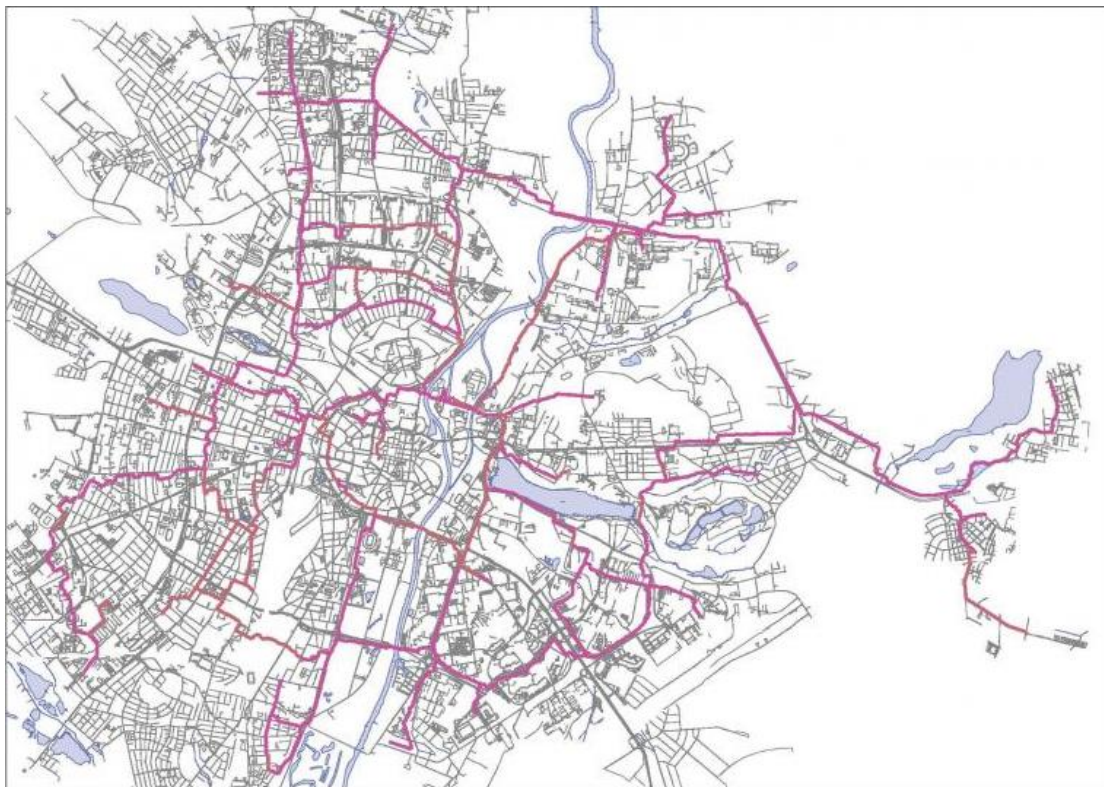
Tabela 8. Spis analizowanych wariantów źródeł ciepła [opracowanie własne].

Wariant	Źródło ciepła
Z1	Kocioł gazowy
Z2	Kocioł opalany węglem
Z3	Kocioł na biomasę (drewno, pellet)
Z4	Pompa ciepła (glikol/woda)
Z5	Kocioł elektryczny
Z4 + PV	Pompa ciepła +PV
Z5 + PV	Kocioł elektryczny +PV

Zgodnie z nowelizacją ustawy Prawo Ochrony Środowiska zmianie uległy również zapisy prawa budowlanego, które obecnie nakładają obowiązek podłączenia się nowych obiektów budowlanych do sieci ciepłowniczej, o ile istnieją techniczne i ekonomiczne warunki takiego przyłączenia. Przepisy te dotyczą każdego obiektu budowlanego w tym również analizowanych w pracy budynków jednorodzinnych. Zgodnie jednak z artykułem 7b *obowiązku zapewnienia efektywnego energetycznie wykorzystania lokalnych zasobów paliw i energii* ustawy z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne (Dz. U. z 2021 r. poz. 716, 868, 1093, 1505, 1642 i 1873) obowiązek tego nie stosuje się, gdy „planowane jest dostarczanie ciepła z indywidualnego źródła ciepła w obiekcie, które charakteryzuje się współczynnikiem nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej nie wyższym niż 0,8 lub pompy ciepła lub ogrzewania elektrycznego.”⁷².

Na przykładzie miasta Poznania można zauważyć, iż sieć ciepłownicza prowadzona jest w większości głównymi ulicami miasta, w sąsiedztwie których unika się raczej lokalizacji zabudowy jednorodzinnej. Na terenach wiejskich z kolei sieć ciepłownicza praktycznie nie występuje. Z tego względu można wnioskować, iż w większości przypadków nie ma technicznych możliwości podłączenia budynków jednorodzinnych do sieci ciepłowniczej. Na tej podstawie w pracy nie analizowano tego źródła jako alternatywnego wyboru. Jak wykazały badania z rozdziału 3 miejska sieć ciepłownicza stanowi marginalny procent źródeł ciepła w budownictwie mieszkalnym.

⁷² Prawo energetyczne (Dz. U. z 2021 r. poz. 716, 868, 1093, 1505, 1642 i 1873)



Ilustracja 47. Mapa sieci ciepłowniczej na terenie Poznania [źródło: <https://energiadlapoznania.pl/wazne-informacje/edukacja/jak-powstaje-cieplo/system-cieplowniczy/>, dostęp: 26.01.2022].

Dla każdego modelu budynku A0-A3 niezależnie od analizowanego źródła ciepła zastosowano stałe parametry instalacyjne dla systemu ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej, przedstawione w tabeli 9 i 10. Przyjęto centralny system ogrzewania oparty na grzejnikach płytowych działający na parametrach 70/55 z zasobnikiem ciepłej wody.

Tabela 9. Spis parametrów systemów grzewczych [opracowanie własne].

Nazwa	Parametr
Rodzaj instalacji:	Ogrzewanie wodne z grzejnikami członowymi lub płytowymi z zaworem termostaticznym o działaniu proporcjonalnym
Rodzaj instalacji grzewczej:	C.o wodne z lokalnego źródła ciepła usytuowanego w ogrzewanym budynku z zaizolowanymi przewodami, armaturą i urządzeniami, które są zainstalowane w przestrzeni ogrzewanej
Parametry zasobnika	Zasobnik ciepła w systemie ogrzewania o parametrach 70/55 w przestrzeni ogrzewanej
Urządzenia pomocnicze:	Napęd pomocniczy i regulacja kotła do ogrzewania budynku o powierzchni A_f do 250m ²

Tabela 10 Spis parametrów systemów ciepłej wody użytkowej [opracowanie własne]

Nazwa	Parametr
Typ instalacji ciepłej wody	Centralne podgrzewanie wody – systemy bez obiegów cyrkulacyjnych
Rodzaj instalacji ciepłej wody	Systemy przygotowania ciepłej wody użytkowej w budynkach jednorodzinnych
Parametry zasobnika	Zasobnik ciepłej wody użytkowej wyprodukowany po 2005
Urządzenia pomocnicze:	Pompa ładująca zasobnik ciepła w systemie ogrzewania w budynku o powierzchni A_f do $250m^2$

W zależności od analizowanego paliwa wybrano następujące rodzaj źródła ciepła:

Tabela 11. Spis dobranych źródeł ciepła [opracowanie własne].

Paliwo	Źródło ciepła
Gaz ziemny	Kocioł kondensacyjny o mocy do 50kW
Węgiel brunatny	Kocioł stałotemperaturowy dwufunkcyjny (wyprodukowane po 2000 r.)
Biomasa	Kocioł stałotemperaturowy dwufunkcyjny (na biomase-drewno, pellet, zrębki, automatyczny o mocy do 100kW)
Pompa ciepła	Pompa ciepła typu glikol/woda, sprężarkowa, napędzana elektrycznie
Energia elektryczna	Elektryczny podgrzewacz akumulacyjny

Maksymalne roczne zapotrzebowanie budynku mieszkalnego na nieodnawialną energię pierwotną na cele ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej określone jest poprzez wskaźnik EP. Skutkiem wprowadzonych z końcem 2020 roku wytycznych z warunków technicznych oprócz bardziej restrykcyjnych przepisów dotyczących dopuszczalnych wartości współczynnika przenikania ciepła U dla poszczególnych przegród budowlanych, jest również istotne ograniczenie w wyborze systemu grzewczego, jak i sposobu wentylacji obiektu. W przypadku analizowanych w pracy budynków mieszkalnych jednorodzinnych wskaźnik EP od 2021 roku zostanie ograniczony z obecnie maksymalnej wartości 95 do 70 kWh/(m²·rok). Zadaniem autorki było określenie wskaźnika zużycia energii pierwotnej EP dla przyjętych modeli budynków w zależności od analizowanych źródeł ciepła i porównanie wyników z powyższymi wymaganiami. Na potrzeby analizy skupiono się na 2 wariantach wartości współczynników przenikania ciepła dla przegród budowlanych: wariant U1 - charakteryzujący się maksymalnymi dopuszczalnymi wartościami współczynników U oraz korzystniejszy wariant U8 - bazujący na wartościach dla budownictwa pasywnego.

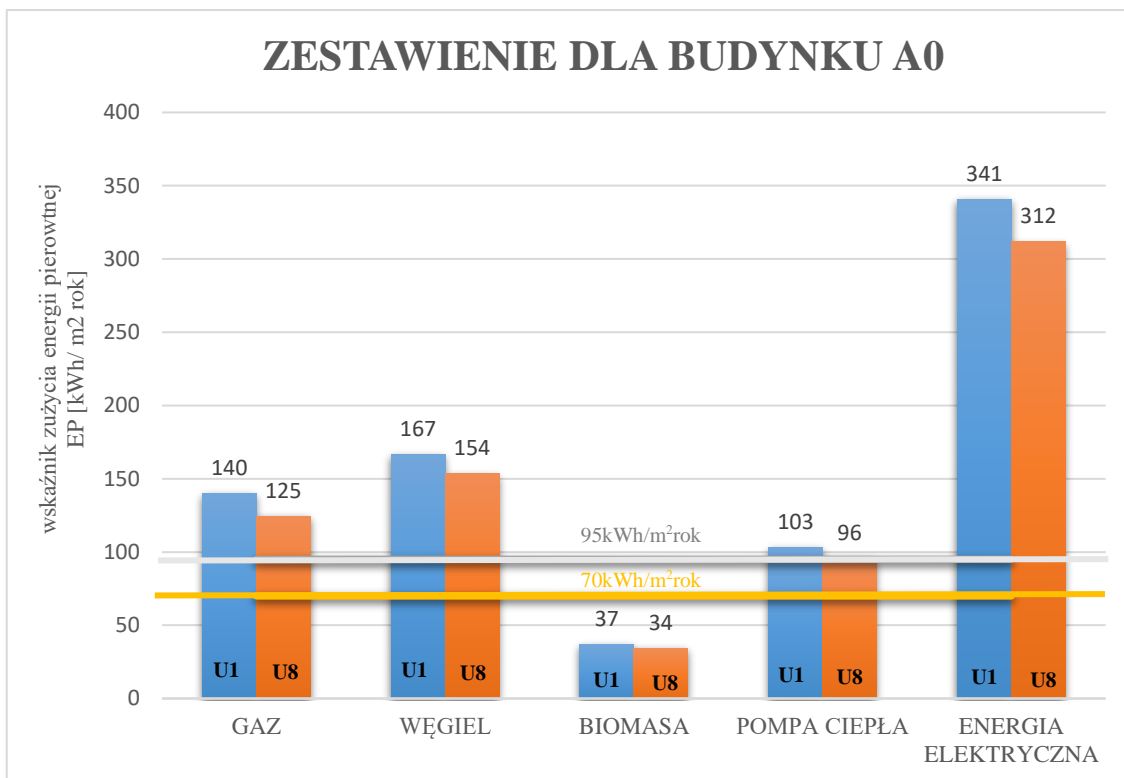
Tabela 12. Spis dobranych parametrów dla analizowanych wariantów współczynnika U [opracowanie własne]

Wariant	Współczynnik przenikania ciepła przegród zewnętrznych U [W/m ² K]		
	Ściana zewnętrzna	Podłoga na gruncie	Dach
U1	0,20	0,30	0,15
U8	0,12	0,12	0,12

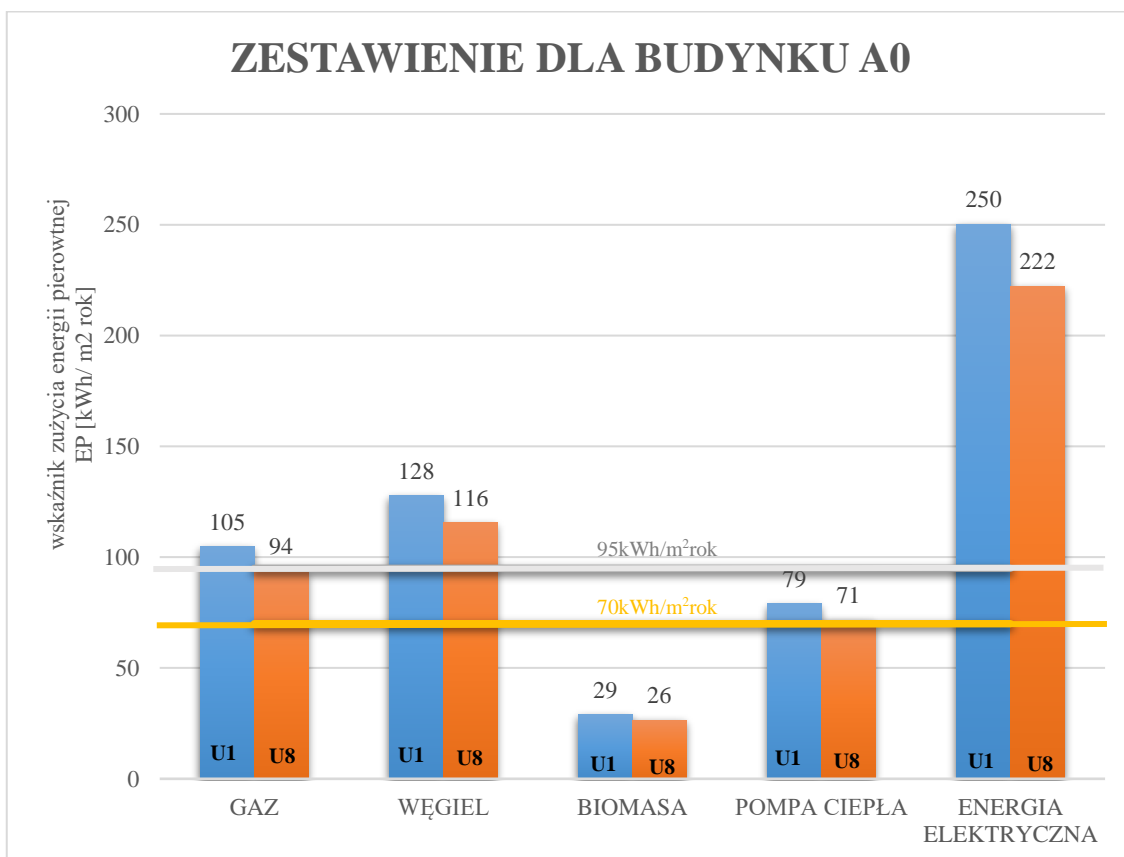
4.2.1 Wartość wskaźnika EP w zależności od wariantu budynku

Nowoprojektowane budynki mieszkalne muszą się cechować zarówno dobrą izolacją termiczną, jak i źródłem ciepła neutralnym dla środowiska naturalnego. Uzyskane wielkości wskaźnika EP jednoznacznie wskazują, że wybór źródła ciepła jest kluczowym elementem wpływającym na wartość zużycia energii pierwotnej. Na podstawie poniższych wykresów można zauważyć, że w przypadku budynku z wentylacją grawitacyjną, konwencjonalne źródła ciepła niezależnie od wielkości budynku i parametrów U znacznie przekraczają dopuszczalne wartości wskaźnika EP, a jego obniżenie wymagać będzie zastosowania urządzeń korzystających z energii odnawialnej. Analizując strukturę zużycia energii pierwotnej dla wybranych modeli budynku, można zauważyć powtarzający się schemat wielkości wskaźnika EP w zależności od źródła ciepła. Z analiz wynika, że istnieje duża dysproporcja pomiędzy odnawialnymi źródłami ciepła a paliwami kopalnymi w przypadku wskaźnika EP.

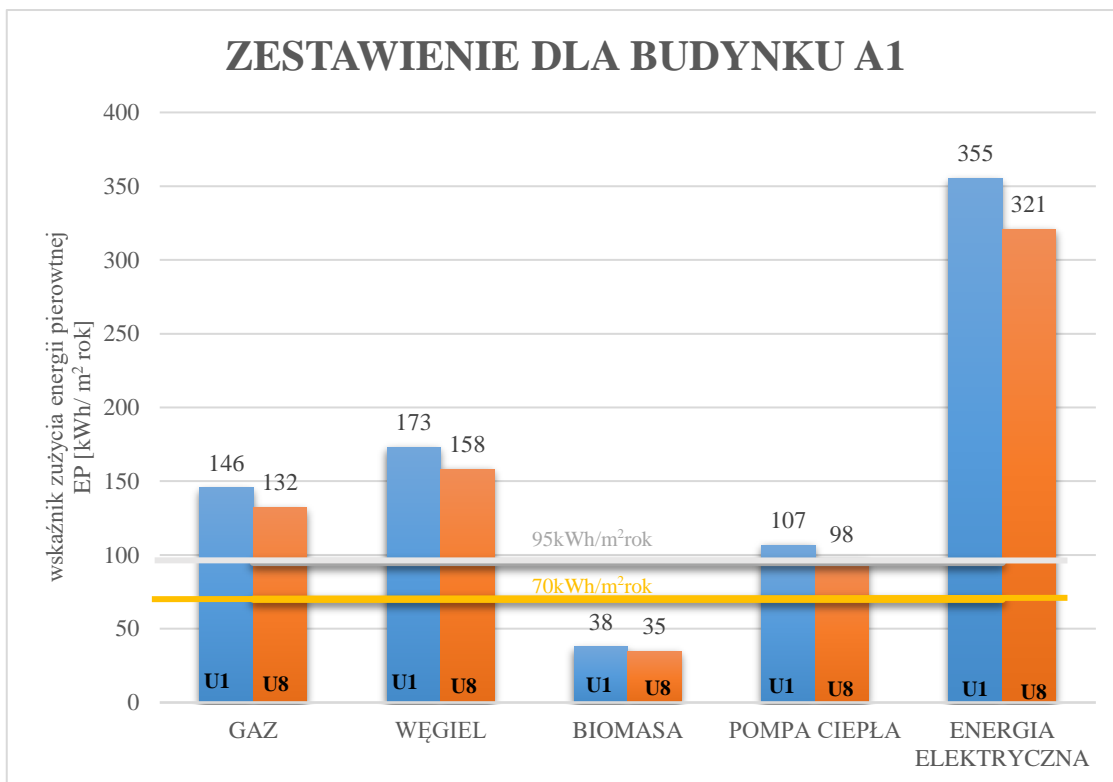
Niezależnie od architektury obiektu wskaźniki EP dla wybranych źródeł ciepła utrzymują się na bardzo podobnym poziomie, natomiast istotnym aspektem w tym wypadku jest system wentylacji. W każdym przypadku budynku najbardziej efektywnym źródłem ciepła okazała się biomasa z wartościami wskaźnika EP na poziomie 31,4 – 37,74 kWh/(m²·rok) dla wentylacji grawitacyjnej oraz 22,11- 28,94 kWh/(m²·rok) dla wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła. Pompa ciepła pomimo zaliczania do odnawialnych źródeł energii charakteryzuje się dość wysokimi współczynnikami na poziomie 91,71 - 106,69 kWh/(m²·rok) dla wentylacji grawitacyjnej i 63,85 - 78,96 kWh/(m²·rok) dla wentylacji mechanicznej. Z 3 analizowanych paliw kopalnych gaz ziemny cechuje się niższymi współczynnikami na poziomie 122,6 - 145,6 kWh/(m²·rok) i 83,3 - 104,77 kWh/(m²·rok) dla wentylacji mechanicznej w porównaniu do węgla, dla których wartości te wynoszą kolejno 147,82 -173,12 kWh/(m²·rok) i 104,2 - 127,73 kWh/(m²·rok). Konwencjonalnym źródłem ciepła charakteryzującym się zdecydowanie najwyższymi wskaźnikami EP odbiegającymi ponad 2 krotnie od pozostałych jest energia elektryczna. Wartość wskaźnika EP w tym wypadku dla wentylacji grawitacyjnej wychodzi na poziomie 304,89 - 355,15 kWh/(m²·rok) natomiast zastosowanie wentylacji mechanicznej redukuje wskaźnik do wartości 201,14 - 250,12 kWh/(m²·rok).



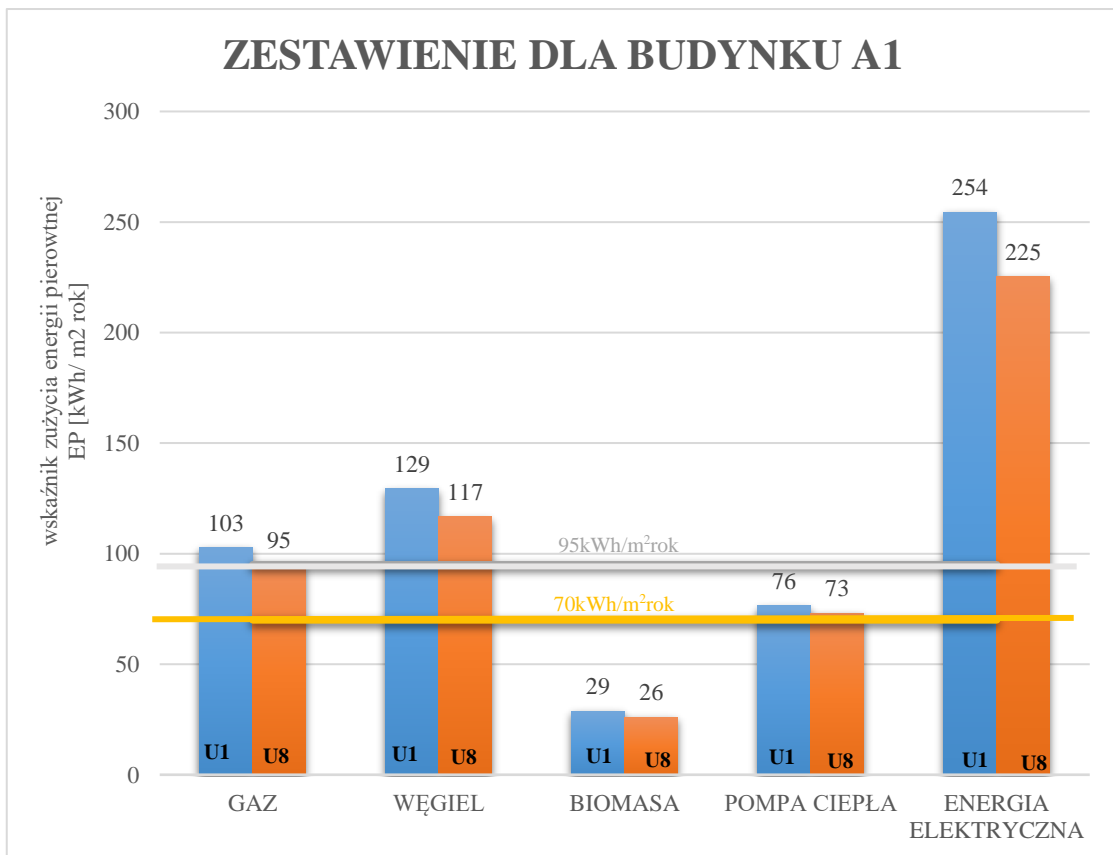
Wykres 41. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A0 z wentylacją grawitacyjną.



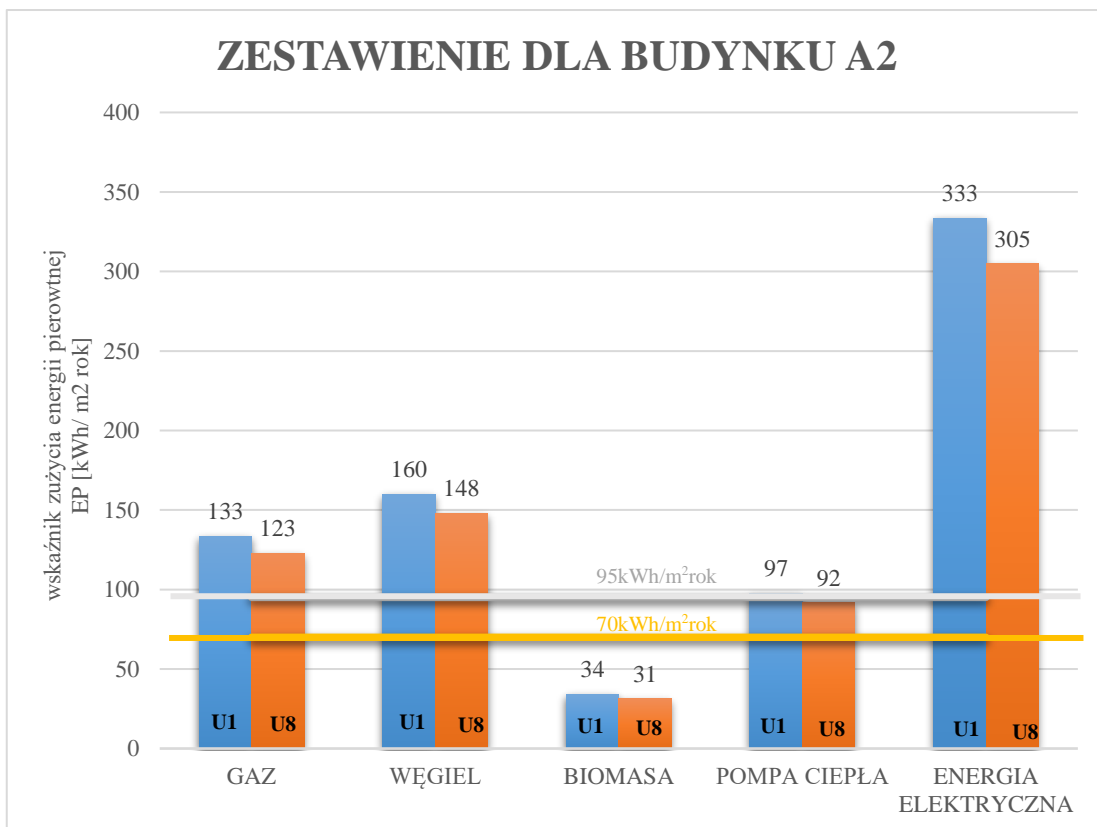
Wykres 42. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A0 z wentylacją mechaniczną.



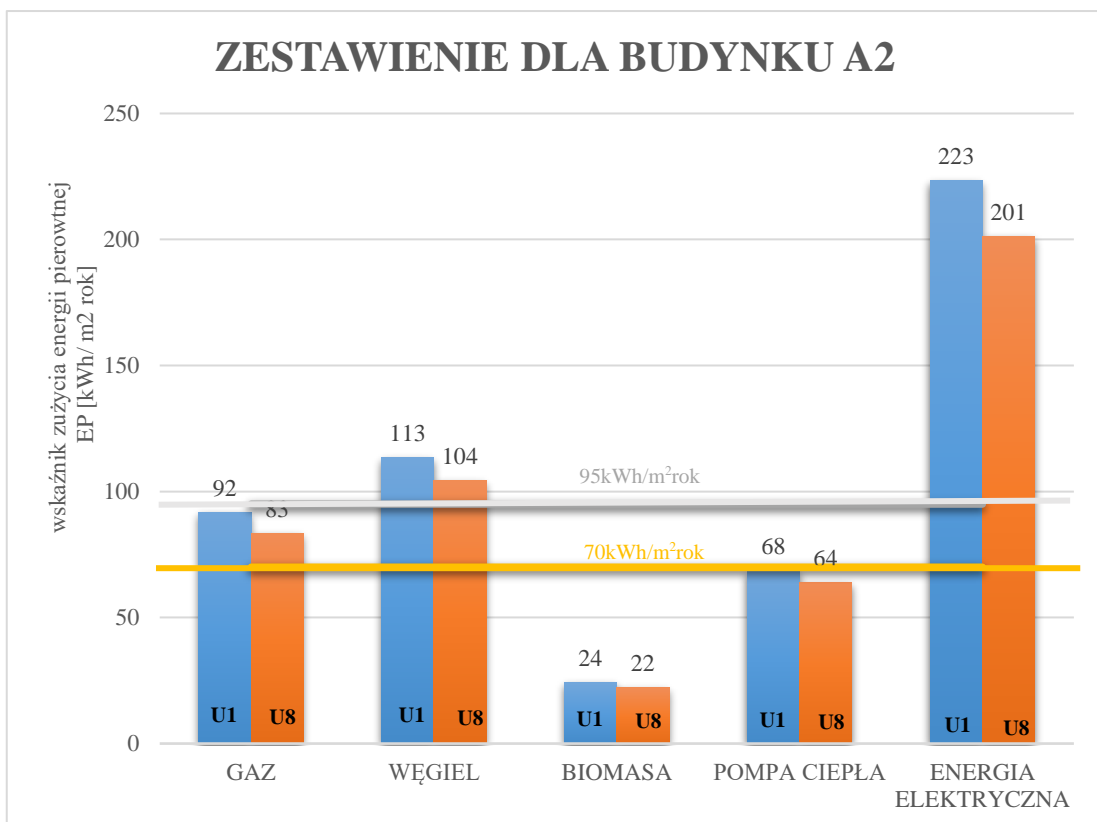
Wykres 43. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A1 z wentylacją grawitacyjną [opracowanie własne].



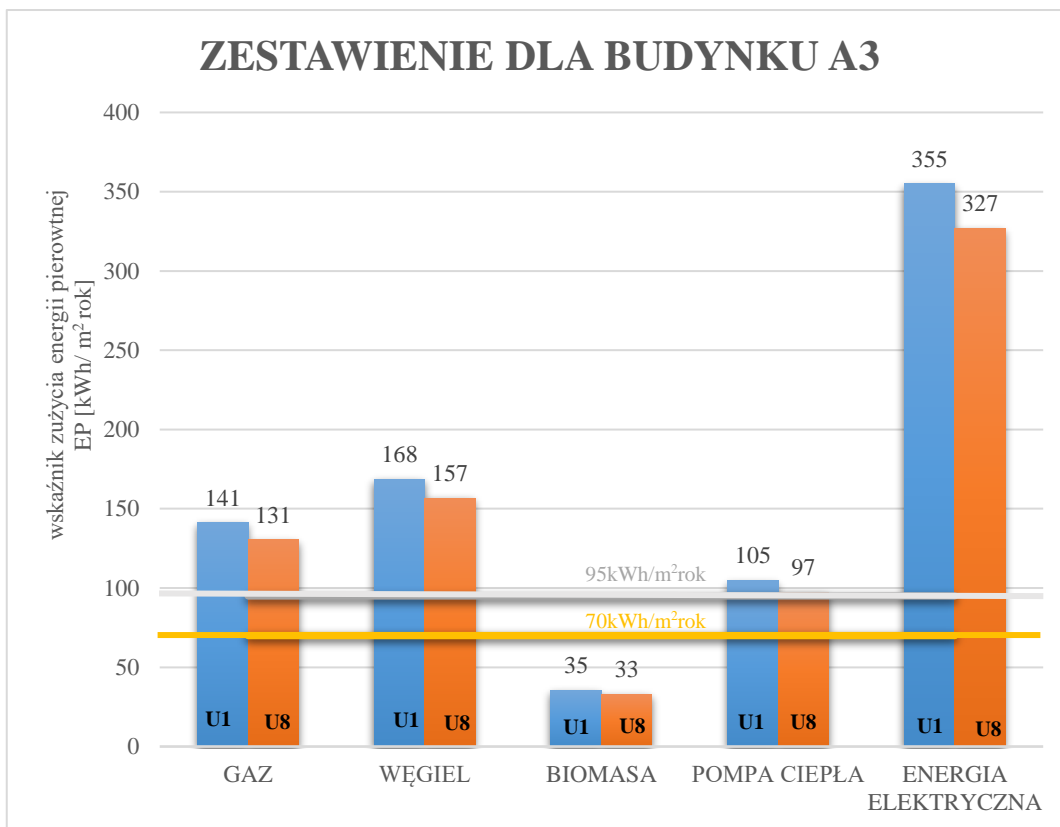
Wykres 44. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A1 z wentylacją mechaniczną [opracowanie własne].



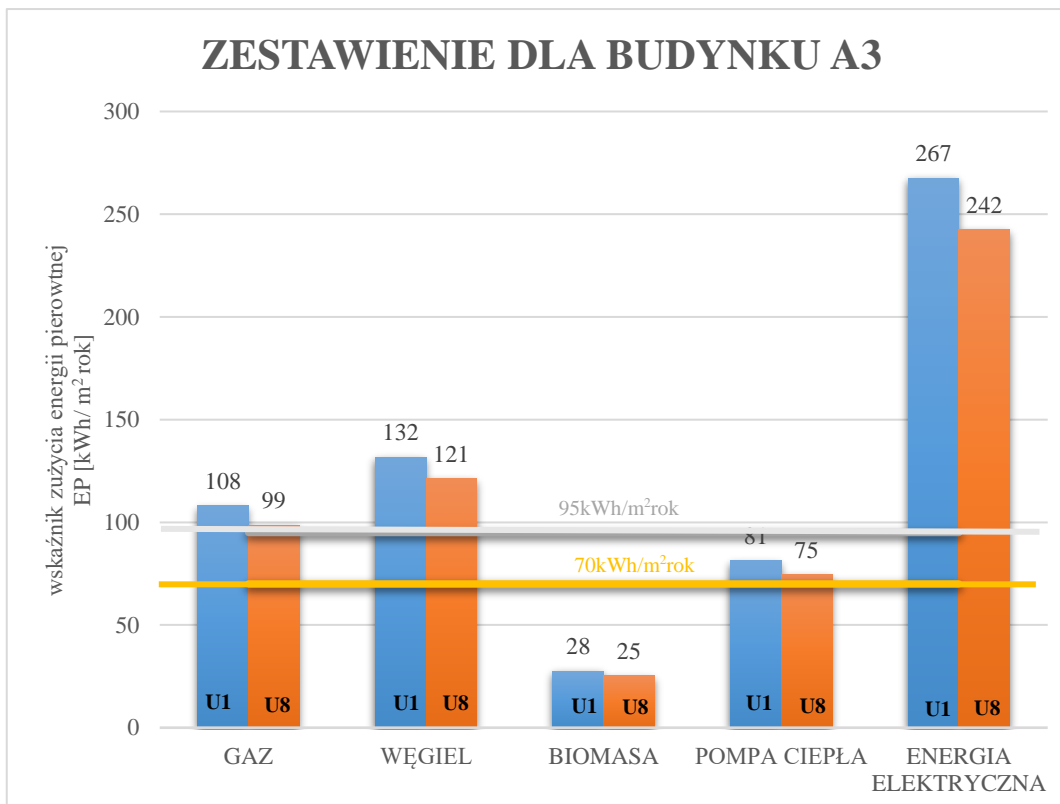
Wykres 45. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A2 z wentylacją grawitacyjną [opracowanie własne].



Wykres 46. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A2 z wentylacją mechaniczną [opracowanie własne].



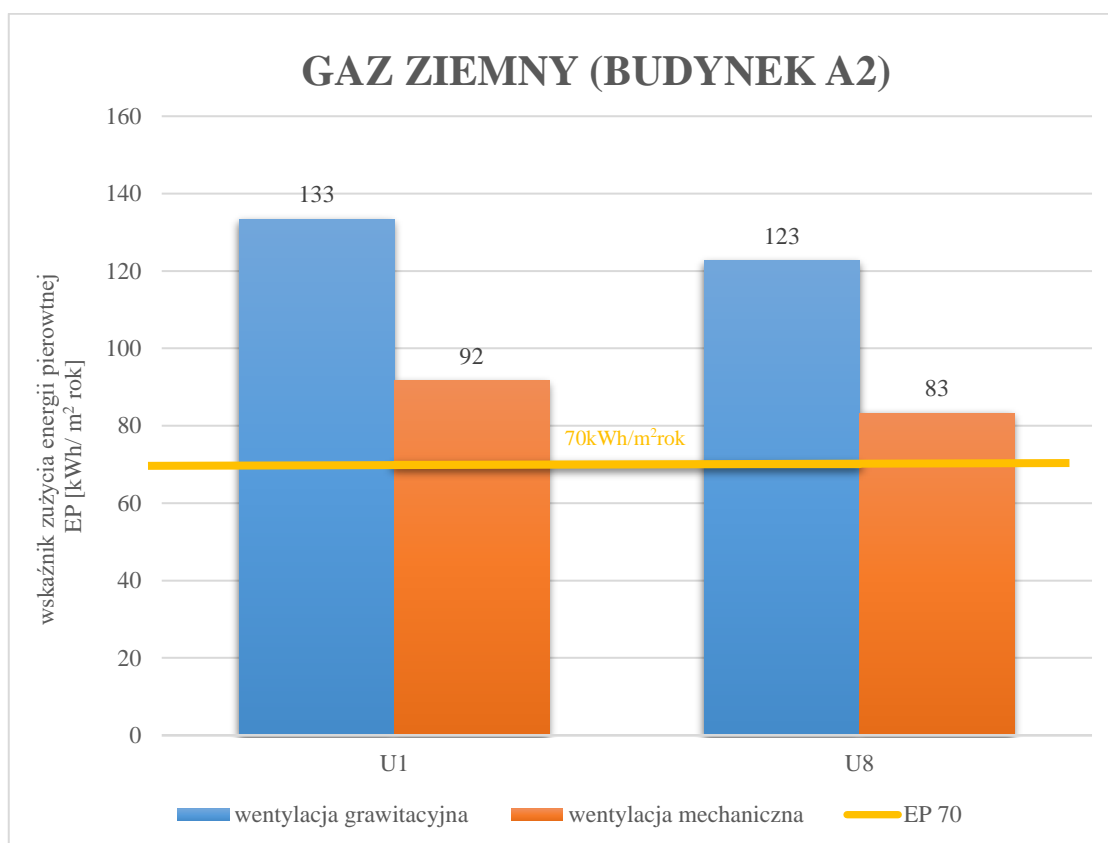
Wykres 47. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A3 z wentylacją grawitacyjną [opracowanie własne].



Wykres 48. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A3 z wentylacją mechaniczną [opracowanie własne].

4.2.2 Wartość wskaźnika EP dla gazu ziemnego

Z przeprowadzonych badań wynika, że zastosowanie gazowego kotła kondensacyjnego o wysokiej sprawności jest obecnie niewystarczające do spełnienia nowych wymagań. Charakterystycznym parametrem w wyznaczeniu wskaźnika EP jest współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej, który dla gazu ziemnego wynosi $w_i=1,1$, co ma bezpośredni wpływ na wysoki końcowy wynik wskaźnika EP. Ogrzewanie gazowe w połączeniu z wentylacją grawitacyjną dla wybranych modeli budynków A0-A3 charakteryzuje się wskaźnikiem EP na poziomie 133,39 – 145,6 kWh/(m²·rok) dla wariantu U1. Zastosowanie wariantu U8 natomiast ogranicza zużycie energii pierwotnej do poziomu 122,6-132,19 kWh/(m²·rok). Niezależnie od izolacyjności przegród wskaźnik EP jest przekroczony prawie dwukrotnie dla obecnych wytycznych, jak również 1,5 krotnie dla tych obowiązujących od 2017 do 2020 roku (wykres 49). Zastosowanie odzysku ciepła w systemie wentylacji spowodowało obniżenie wskaźnika EP dla analizowanych modeli budynków do 91,67-108,07 kWh/(m²·rok) w wariantcie U1 i 83,3-98,57 kWh/(m²·rok) w wariantcie U8.



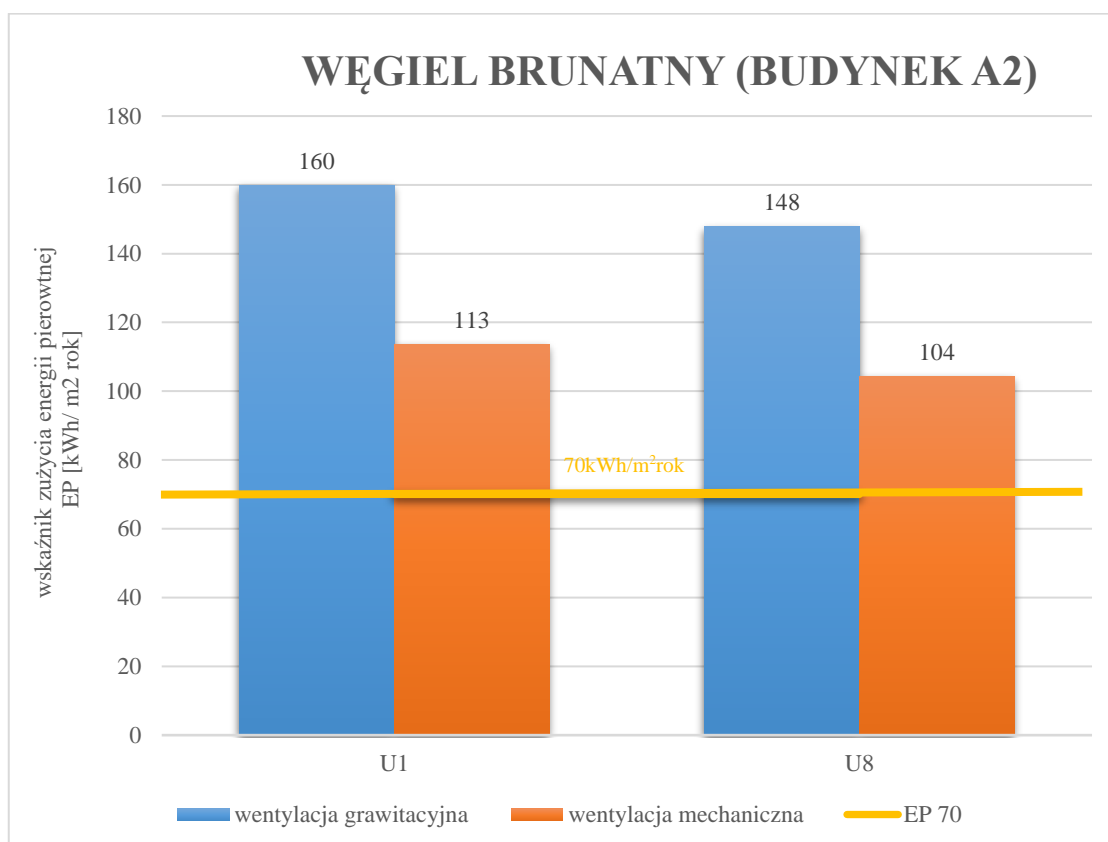
Wykres 49. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A2 z wentylacją mechaniczną i ogrzewaniem gazowym [opracowanie własne].

Porównując wszystkie dane można zauważyć, że ogrzewanie gazowe wyłącznie z zastosowaniem wentylacji mechanicznej było efektywnym źródłem, które mogło spełnić kryteria wskaźnika EP obowiązującego do końca 2020 roku. W zależności od zastosowania odpowiednich materiałów na przegrodach o współczynnikach przenikania ciepła zbliżonych do budownictwa pasywnego, wskaźnik EP oscylował w granicy maksymalnej 95 kWh/(m²·rok). Zastosowanie natomiast odpowiednich zabiegów architektonicznych, co widać w porównaniu budynku A0 do A2 mogło obniżyć tę wartość z 93,86 do 83,3 kWh/(m²·rok) czyli o około 10%. Na przykładzie

najkorzystniejszego wariantu architektonicznego (budynek A2) wykazano, że pomimo zastosowania wentylacji mechanicznej w połączeniu ze znaczącą redukcją współczynników U dla przegród budowlanych, gaz ziemny w dalszym ciągu przewyższa obecny maksymalny wskaźnik EP = 70 kWh/(m²·rok) o około 19% (wyk. 49).

4.2.3 Wartość wskaźnika EP dla węgla brunatnego

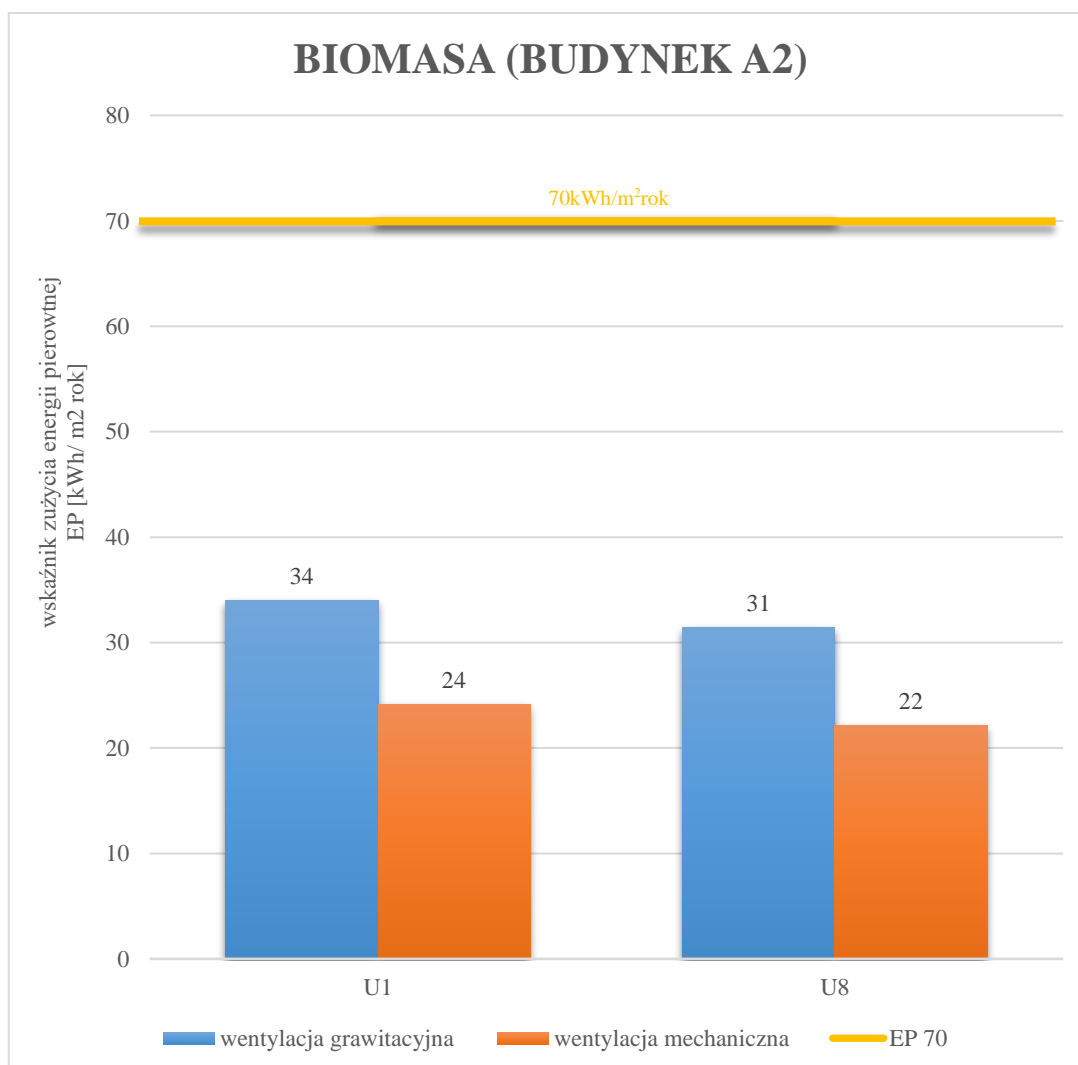
Węgiel brunatny uznawany jest za mało efektywne źródło ciepła o negatywnym wpływie na środowisko, co sprawiło, że praktycznie nie występuje w nowo projektowanych obiektach mieszkalnych. Przeprowadzone badania potwierdziły wysoki wskaźnik zużycia energii pierwotnej niezależnie od pozostałych kryteriów. Na przykładzie najkorzystniejszego w parametrach architektonicznych budynku A2 przedstawiono możliwości obniżenia wskaźnika EP (wyk. 50). Przykładowo obiekt zasilany węglem brunatnym/kamiennym, nawet poddany modernizacji przegród budowlanych do obowiązujących obecnie przepisów charakteryzuje się wysokim wskaźnikiem EP na poziomie 159,8 kWh/m²·rok. Wymiana systemu wentylacji na mechaniczną z odzyskiem ciepła obniży wskaźnik EP jedynie do wartości 113,49 kWh/m²·rok. Najkorzystniejszy analizowany wariant U8 przekraczał maksymalny wskaźnik EP obowiązujący do końca 2020 roku o około 10% a obecny o niecałe 50%. Na podstawie wyników można stwierdzić, że nawet gruntowna modernizacja obiektów zasilanych węglem nie czyni ich efektywnymi energetycznie i należy dążyć do wymiany źródła ciepła w takich obiektach i tym samym eliminacji węgla z systemów grzewczych.



Wykres 50. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A2 z wentylacją mechaniczną i ogrzewaniem na węgiel [opracowanie własne].

4.2.4 Wartość wskaźnika EP dla biomasy

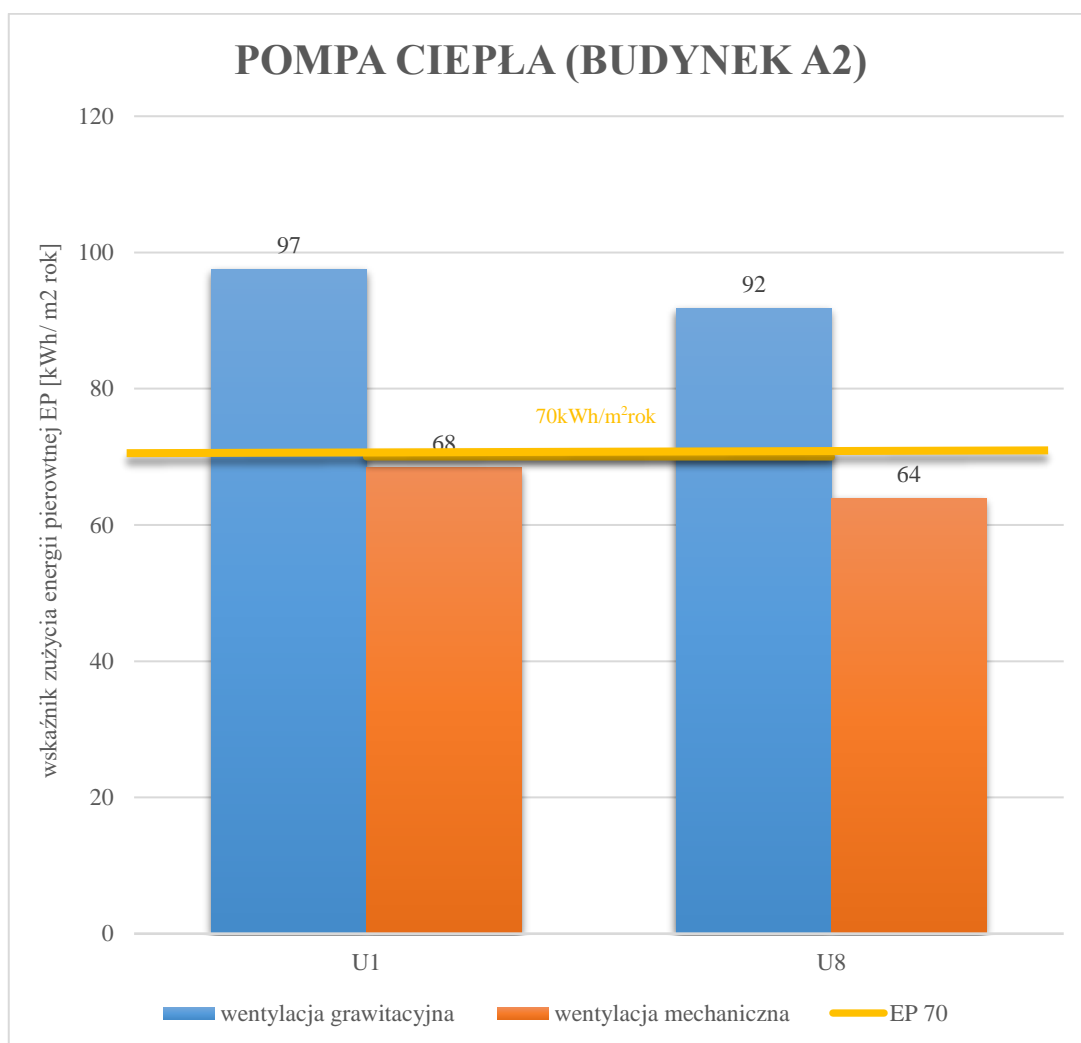
Ekologiczną alternatywą dla węgla jest kocioł opalany biomasą. Metoda działania w tych dwóch przypadkach jest bardzo podobna, jednakże opalanie materiałami pochodzenia roślinnego jak zrębkami, pelletem czy słomą wykazuje zdecydowanie mniejszą uciążliwość dla środowiska naturalnego. Ze względu na bardzo niski w porównaniu z pozostałymi paliwami współczynnik nakładu równy 0,2 widać znaczący spadek w wartościach wskaźnika EP. Dla modelowego budynku w najbardziej niekorzystnym wariantcie wskaźnik EP wynosi 33,95 kWh/(m²·rok), czyli o ponad 50% mniej niż wymagany. Zastosowanie lepszej izolacji termicznej przegród czy wentylacji mechanicznej w tym wypadku nie przynosi kluczowych korzyści i redukuje wskaźnik EP do 22,11 kWh/(m²·rok). Zastosowanie kotła na biomasę jest jedynym analizowanym źródłem ciepła, które dla każdego budynku i w każdym wariantcie spełnia zarówno wymagania obowiązujące przed, jak i po 2021 roku.



Wykres 51. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A2 z wentylacją mechaniczną i ogrzewaniem na biomasę [opracowanie własne].

4.2.5 Wartość wskaźnika EP dla pompy ciepła

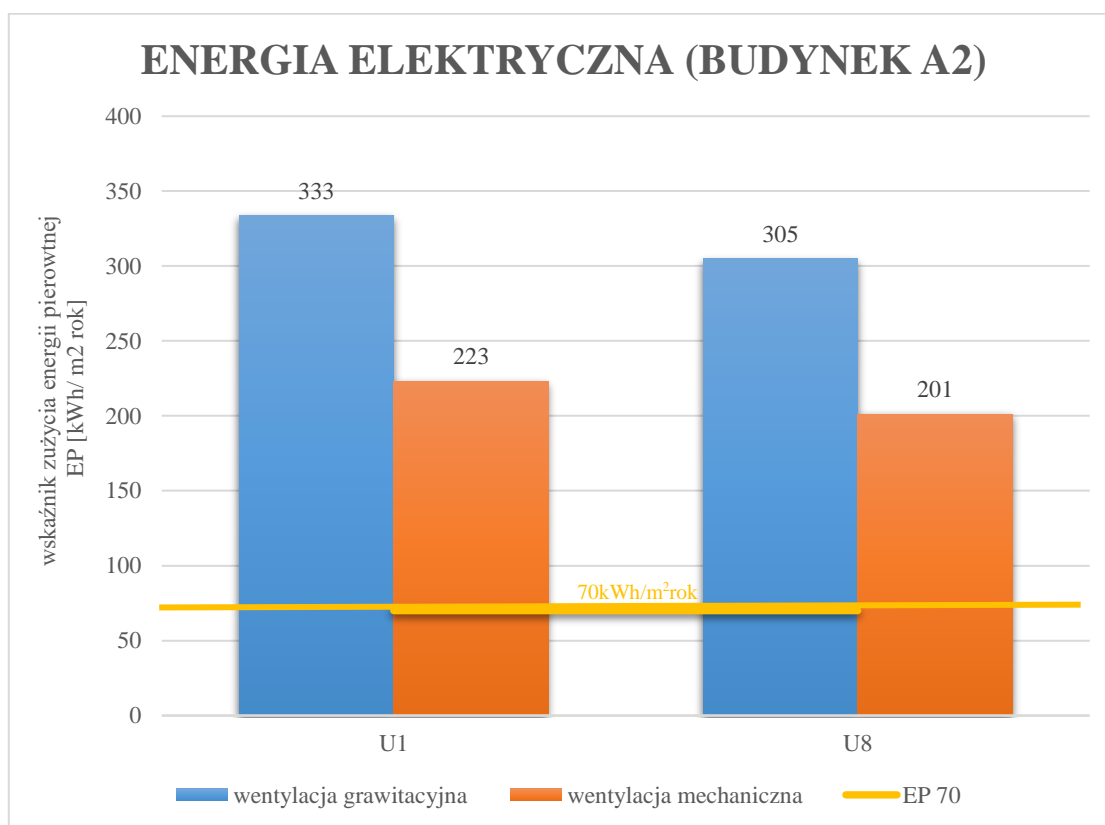
Drugim analizowanym niekonwencjonalnym źródłem ciepła jest pompa ciepła. Uznawana jest ona za urządzenie przyjazne dla środowiska i charakteryzuje się wysoką efektywnością działania. Badania wykazały, że zastosowanie pompy ciepła w celach grzewczych pomimo wysokiego udziału energii odnawialnej w bilansie budynku nie gwarantuje uzyskania niskiego współczynnika EP. Wynika to z faktu, że urządzenie to do działania wykorzystuje energię elektryczną pochodzącą z sieci, dla której wartość współczynnika nakładu w Polsce wynosi 3,0. W momencie obowiązywania maksymalnego wskaźnika EP na poziomie 95 kWh/(m²·rok) zastosowanie pompy ciepła i wentylacji grawitacyjnej oscylowało w jego granicach 91,71-97,45 kWh/(m²·rok) i odpowiednie wartości współczynników U gwarantowały jego spełnienie. Obniżenie maksymalnej wartości wskaźnika EP do 70 kWh/(m²·rok) skutkuje koniecznością stosowania z pompą ciepła wentylacji mechanicznej, bo tylko taki układ zapewnia wskaźnik EP na poziomie 63,85-68,38 kWh/(m²·rok).



Wykres 52. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A2 z wentylacją mechaniczną i ogrzewaniem pompą ciepła [opracowanie własne].

4.4.6 Wartość wskaźnika EP dla ogrzewania elektrycznego

Jako ostatecznie analizowane źródło ciepła przyjęto energię elektryczną. Otrzymane wyniki jednoznacznie wskazują, iż energia elektryczna jest najmniej korzystnym źródłem ciepła a otrzymane wskaźniki EP na poziomie 201,14—333,39 kWh/(m²·rok) przekraczają obecne maksymalne kryterium ponad 4 krotnie w przypadku wentylacji grawitacyjnej i 3 krotnie w przypadku wentylacji mechanicznej. Należy zwrócić jednak uwagę, iż wyniki te są zależne od sposobu pozyskania energii elektrycznej w danym kraju. W Polsce energia elektryczna pozyskiwana jest w głównej mierze z węgla co przekłada się na wysoki współczynnik nakładu energii pierwotnej $w_i=3,0$.



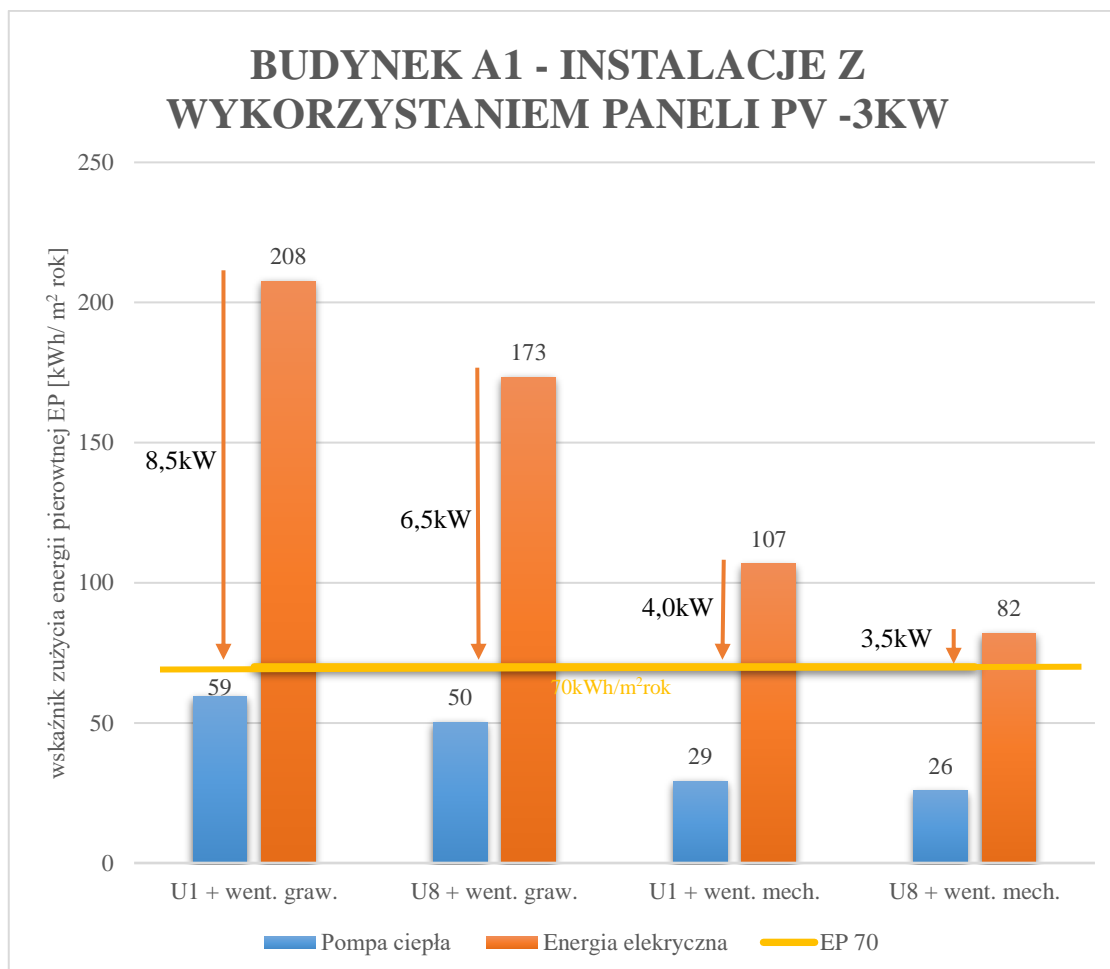
Wykres 53. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A2 z wentylacją mechaniczną i ogrzewaniem elektrycznym [opracowanie własne].

4.4.7 Wpływ zastosowania paneli fotowoltaicznych na wartość wskaźnika EP

Produkcja energii elektrycznej z promieniowania słonecznego posiada zerowy współczynnik nakładu co gwarantuje drastyczny spadek wskaźnika EP dla budynku, co można uzyskać stosując panele fotowoltaiczne.

Zastosowanie ogniw fotowoltaicznych w bilansie budynku możliwe jest tylko w przypadku urządzenia grzewczego wykorzystującego energię elektryczną do jego działania. Z tego względu w dalszych obliczeniach sprawdzono jak instalacja fotowoltaiczna wpływa na obniżenie wskaźnika EP dla budynków grzanych pompą ciepła i podgrzewaczem elektrycznym. W obydwóch przypadkach urządzenia wykorzystują energię elektryczną z sieci a ich różny efekt końcowy wynika głównie z różnicy w efektywności energetycznej samego urządzenia.

Biorąc pod uwagę całkowity bilans energetyczny analizowanych wariantów zbadano jakiej mocy instalacja paneli fotowoltaicznych musiałaby być zainstalowana w obiekcie, aby dostatecznie obniżyć wskaźnik EP. Założono, że najmniejszą opłacalną do wykonania instalacją jest montaż paneli o łącznej mocy nie niższej niż 3 kW, z czego założono, że taka instalacja produkuje rocznie 3000 kWh⁷³.

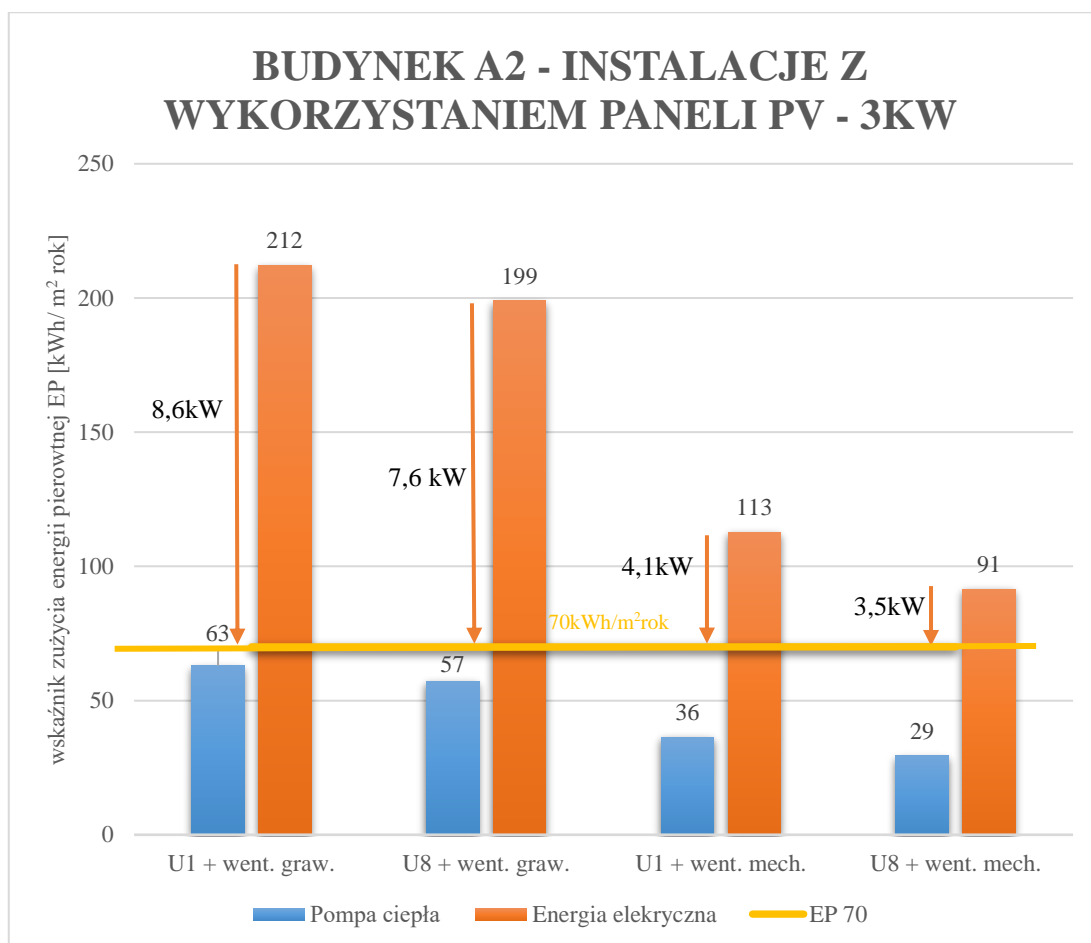


Wykres 54. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A1 w połączeniu z instalacją fotowoltaiczną dla wybranych źródeł ciepła [opracowanie własne].

Dla budynku A1 zgodnie z przyjętymi założeniami w przypadku pompy ciepła i wykorzystania energii elektrycznej wyprodukowanej za pomocą ogniw o mocy 3kW współczynnik zapotrzebowania na energię pierwotną obniżył się w przypadku wentylacji grawitacyjnej do poziomu 50,28 (U8) - 59,46 (U1) kWh/(m²·rok). Otrzymane wyniki wypadają bardzo korzystnie w porównaniu z ogrzewaniem elektrycznym, ponieważ przy tych samych parametrach wskaźnik EP wynosi w dalszym ciągu 173,38 (U8) - 207,55 (U1) kWh/(m²·rok), a jego redukcja do 70 kWh/m² rok wymagałaby instalacji paneli fotowoltaicznych o łącznej mocy co najmniej 6,5 – 8,5kW. W przypadku budynku A1 wyposażonego w wentylację mechaniczną wskaźnik EP dla pompy ciepła wychodzi w podobnych granicach jak w przypadku biomasy a mianowicie 25,76 (U8) - 29,15 (U1) kWh/(m²·rok). Inaczej sytuacja wygląda natomiast w przypadku energii elektrycznej. Dla budynku o bardzo dobrych parametrach

⁷³ <https://globenergia.pl/ile-energii-produkuje-fotowoltaika-nasz-rok-z-instalacja-pv/>, dostęp: 28.01.2022

izolacyjnych wykorzystanie paneli o mocy 3 kW znacząco obniżyło wskaźnik EP do wartości 82,06 kWh/(m²·rok), dalsze obliczenia wykazały, że do spełnienia warunku EP=70 kWh/(m²·rok) wystarczyłaby instalacja o mocy 3,5 kW.

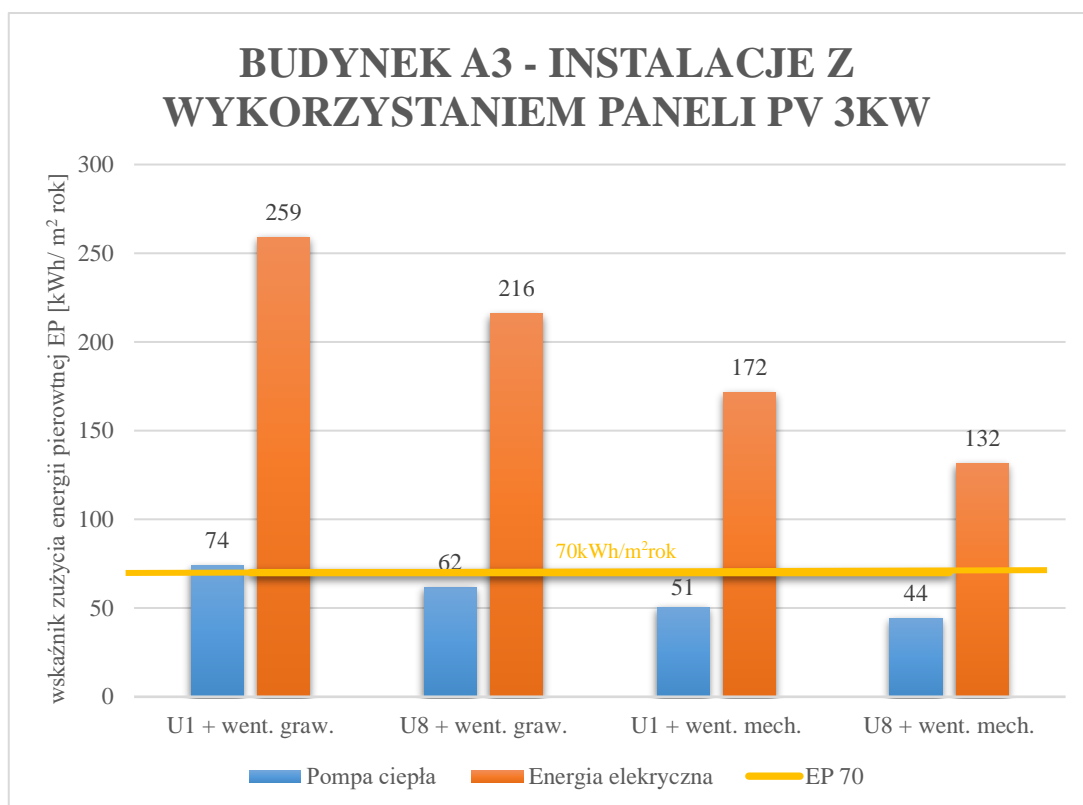


Wykres 55. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A2 w połączeniu z instalacją fotowoltaiczną dla wybranych źródeł ciepła [opracowanie własne].

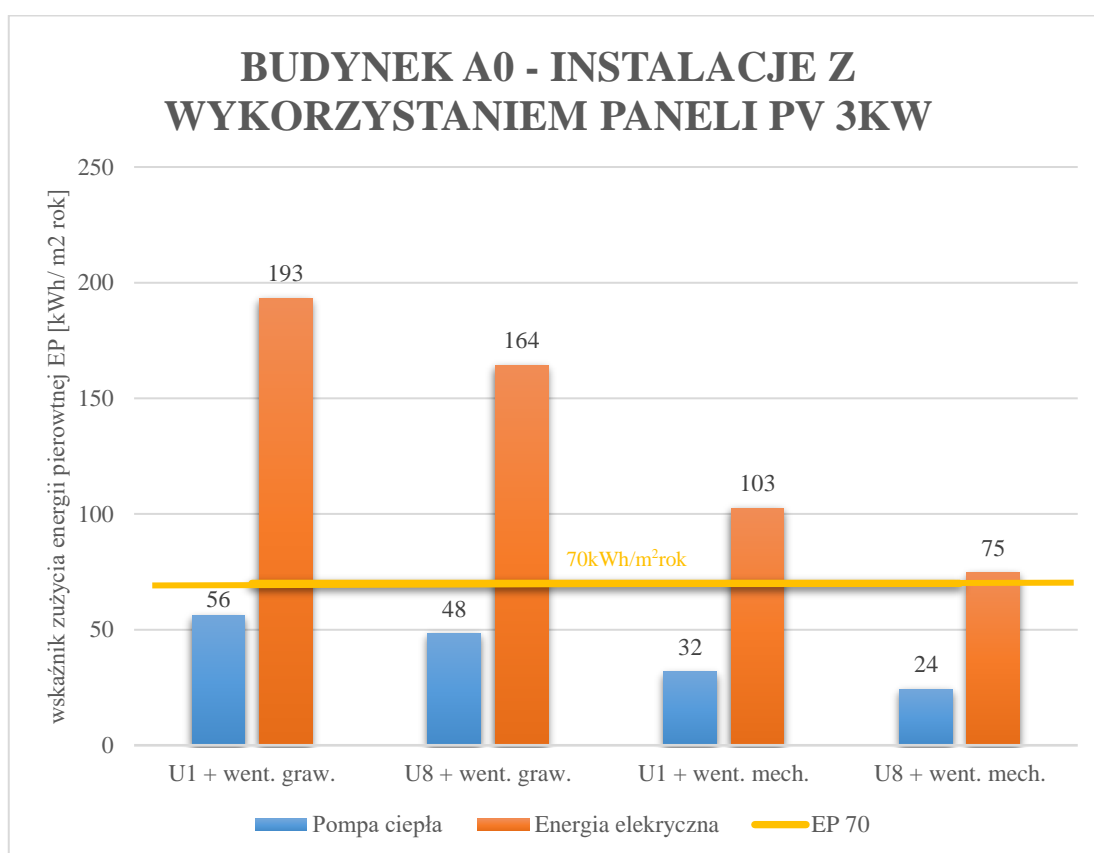
Obliczenia dla budynku A2 wykazały podobną sytuację jak w przypadku budynku A1. Zastosowanie paneli o łącznej mocy 3kW w zupełności wystarcza do obniżenia wskaźnika EP poniżej 70 kWh/(m²·rok) dla pompy ciepła, zarówno w przypadku wentylacji grawitacyjnej, jak i mechanicznej. Dla dobrze zaizolowanego budynku (U8) wykorzystanie energii elektrycznej jako źródła ciepła w połączeniu z wentylacją grawitacyjną wymagałoby wykonania instalacji fotowoltaicznej o mocy co najmniej 7,6kW, natomiast przy wentylacji mechanicznej wystarczyłaby instalacja o mocy 3,5kW.

Powtarzający się schemat uzyskano również dla budynków A0 i A3 co przedstawiają wykresy 56, 57.

Powyższa analiza wykazała, że zastosowanie instalacji fotowoltaicznej o mocy 3 kW jest wystarczająca dla budynku grzanego pompą ciepła do spełniania kryteriów wskaźnika EP niezależnie od zastosowanej wentylacji obiektu. Natomiast w przypadku ogrzewania elektrycznego i wentylacji grawitacyjnej konieczne jest wykonanie ponad dwukrotnie większej instalacji paneli fotowoltaicznych, co wpływa bezpośrednio na ilość zajmowanego przez nią miejsca.



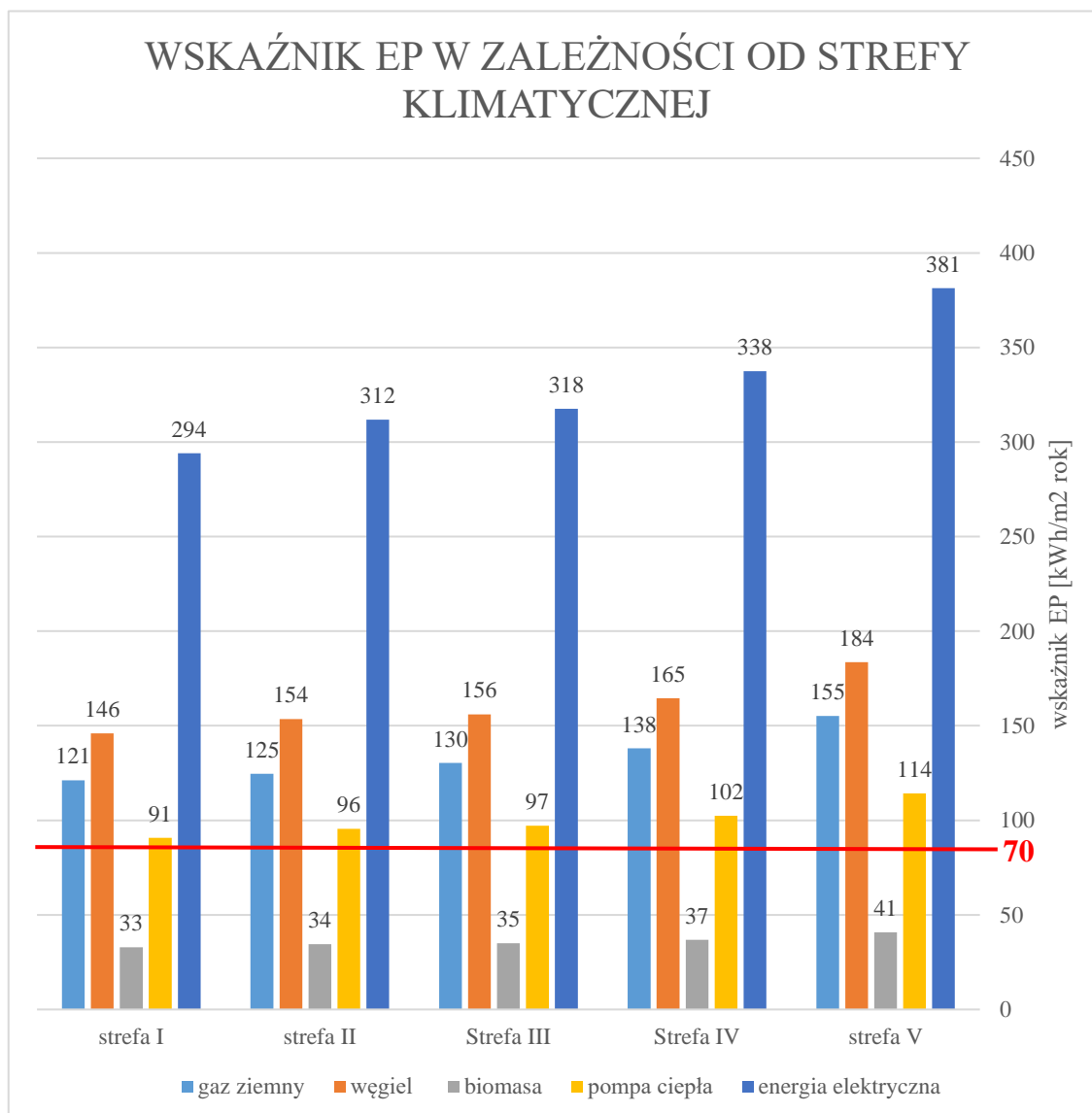
Wykres 56. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A3 w połączeniu z instalacją fotowoltaiczną dla wybranych źródeł ciepła [opracowanie własne].



Wykres 57. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A0 w połączeniu z instalacją fotowoltaiczną dla wybranych źródeł ciepła [opracowanie własne].

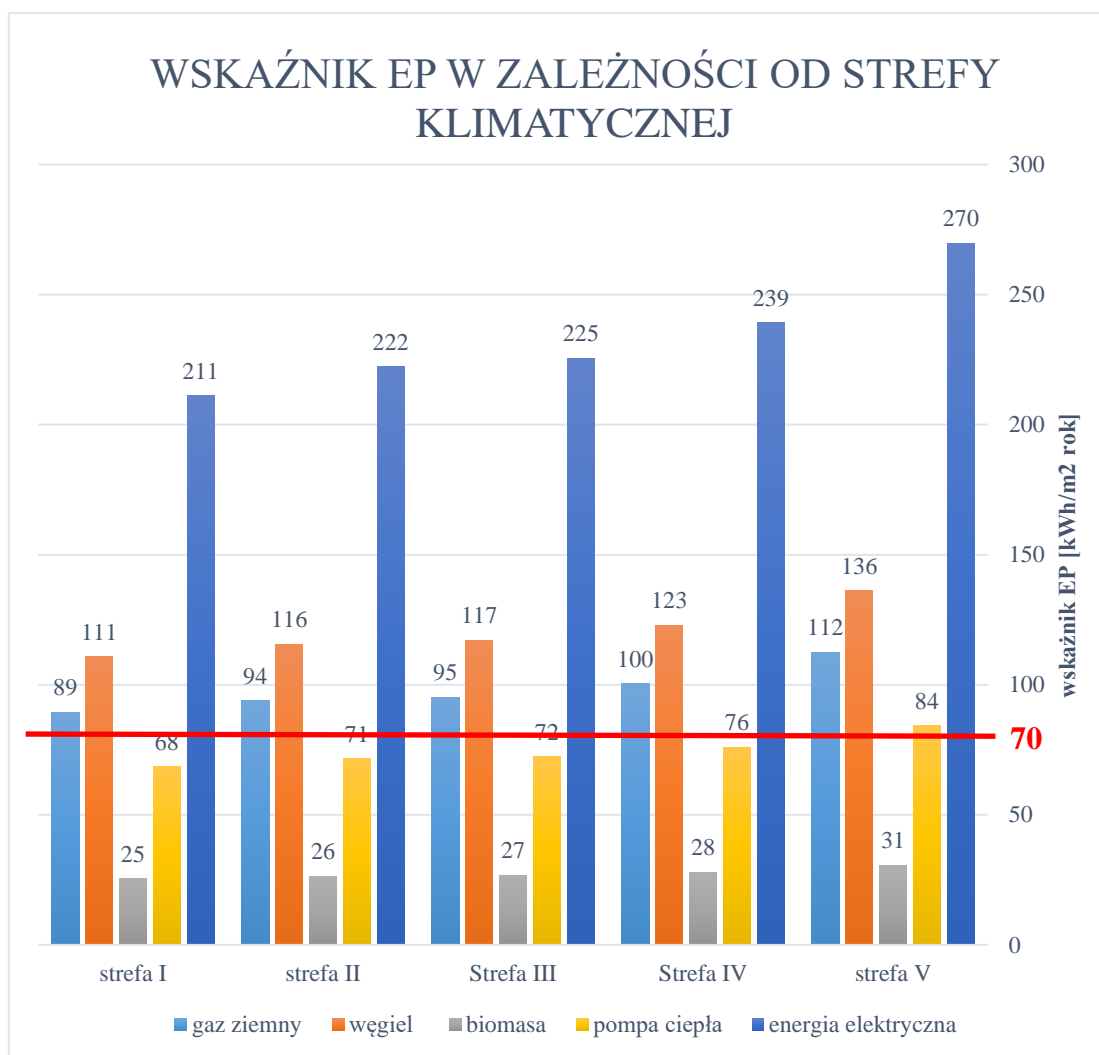
4.4.8 Wpływ lokalizacji na wartość wskaźnika EP

Ze względu na charakter pracy zbadano również wpływ lokalizacji na terenie Polski na wskaźnik EP w zależności od źródła ciepła. Obliczenia wykonano dla budynku A0. Na podstawie wykresu 58 można zauważyć, że wskaźnik EP nieznacznie różni się w strefach klimatycznych I-III natomiast znaczącą różnicę widać w V strefie. Można zatem stwierdzić, że najkorzystniejsze warunki pod względem energetycznym pasują w I strefie klimatycznej, natomiast zdecydowanie więcej nakładu w ograniczenie zużycia energii pierwotnej o około 30% należy ponieść w V strefie klimatycznej.



Wykres 58. Wartości wskaźnika EP w wariantcie U8 dla budynku A0 z wentylacją grawitacyjną w zależności od strefy klimatycznej [opracowanie własne].

Z wykresu 59 wynika, że zastosowanie wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła w połączeniu z wariantem U8 byłoby wystarczające w strefach I-III do zastosowania ogrzewania gazowego przy jednoczesnym spełnieniu warunków $EP_{max} = 95 \text{ kWh/m}^2 \text{ rok}$, natomiast rozwiązanie to nie spełnia już aktualnych wytycznych.



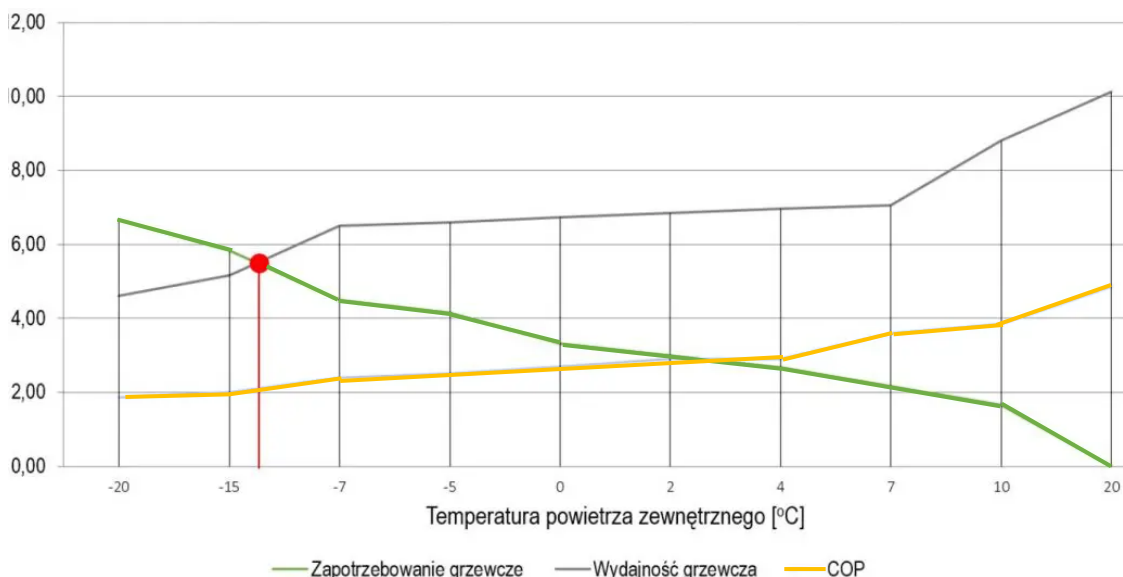
Wykres 59. Wartości wskaźnika EP w wariantcie U8 dla budynku A0 z wentylacją mechaniczną w zależności od strefy klimatycznej [opracowanie własne].

Na podstawie przeprowadzonych badań można wnioskować, iż zastosowanie konkretnego źródła ciepła w dużej mierze zależy będzie od lokalizacji inwestycji na terenie Polski. Na parametry energetyczne budynku ma również wpływ nie tylko sama strefa klimatyczna, lecz również dokładna lokalizacja obiektu, co wykazane zostało w badaniach Adama Ujmy⁷⁴. Związane jest to głównie z niejednorodnością w nasłonecznieniu różnych regionów Polski co ma bezpośredni wpływ na wartość zysków słonecznych. Warto zwrócić uwagę na popularność projektów gotowych domów jednorodzinnych, na które decyduje się duża część inwestorów indywidualnych. Wyniki sugerują, iż tylko w wypadku domu z kotłem na biomasę możemy mówić o pełnej uniwersalności projektu budowlanego. W innym wypadku może się okazać, że przedstawiane przez projektantów wskaźniki EP dla danego źródła nie są prawdziwe dla wybranej lokalizacji.

⁷⁴ Ujma A., *Wpływ lokalizacji budynku mieszkalnego na jego parametry energetyczne*, Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym 2(10) 2012, s. 104-110.

4.4.9 Wpływ rodzaju pompy ciepła na wartość wskaźnika EP

Pompa ciepła jest jedynym z spośród analizowanych urządzeniem grzewczym, które charakteryzuje się dużą dysproporcją w wydajności urządzenia, w zależności od zastosowanego w nim dolnego źródła ciepła. Kluczowym parametrem w ocenie pompy ciepła jest współczynnik jej wydajności tzw. COP (ang. coefficient of performance). Określa on stosunek dostarczonego do budynku ciepła przez urządzenie do ilości energii elektrycznej potrzebnej do jego działania⁷⁵. W przypadku większości tych urządzeń współczynnik COP wynosi co najmniej 3 a nawet dochodzi do 5. COP=3,0 oznacza, że zużycie 1kW energii elektrycznej produkuje ponad 3 kWh (lub więcej) energii cieplnej. Warto wspomnieć, że współczynnik COP urządzenia nie jest wartością stałą a zależy od różnicy temperatur pomiędzy dolnym źródłem ciepła a instalacją grzewczą. Z tego względu pompy gruntowe charakteryzują się znacznie wyższymi współczynnikami COP, gdyż zimą temperatura gruntu utrzymuje się w miarę na stałym poziomie. Duże wahania temperatur powietrza zewnętrznego wpływają istotnie na wydajność powietrznej pompy ciepła, jednakże ze względu na ogólną dostępność są najczęściej stosowane w budynkach mieszkalnych.



Ilustracja 48. Przykładowy wykres zależności wydajności pompy ciepła od temperatury zewnętrznej [źródło: <https://ecieplo.pl/pompy-ciepła/tryby-pracy-pompy-ciepła-abc/>, dostęp: 28.01.2022].

Badania wykazały, że zastosowanie pompy ciepła nie gwarantuje spełnienia warunków EP =70kWh/(m² rok) dla budynków z wentylacją grawitacyjną, natomiast w połączeniu z wentylacją mechaniczną z odzyskiem ciepła, wyniki oscylowały na pograniczu normy albo nieznacznie ją przekraczały. Dla wariantu budynku najmniej korzystnego pod względem zużycia energii pierwotnej – A3 sprawdzono różnice we wskaźnikach EP w zależności od zastosowanej konkretnej pompy ciepła.

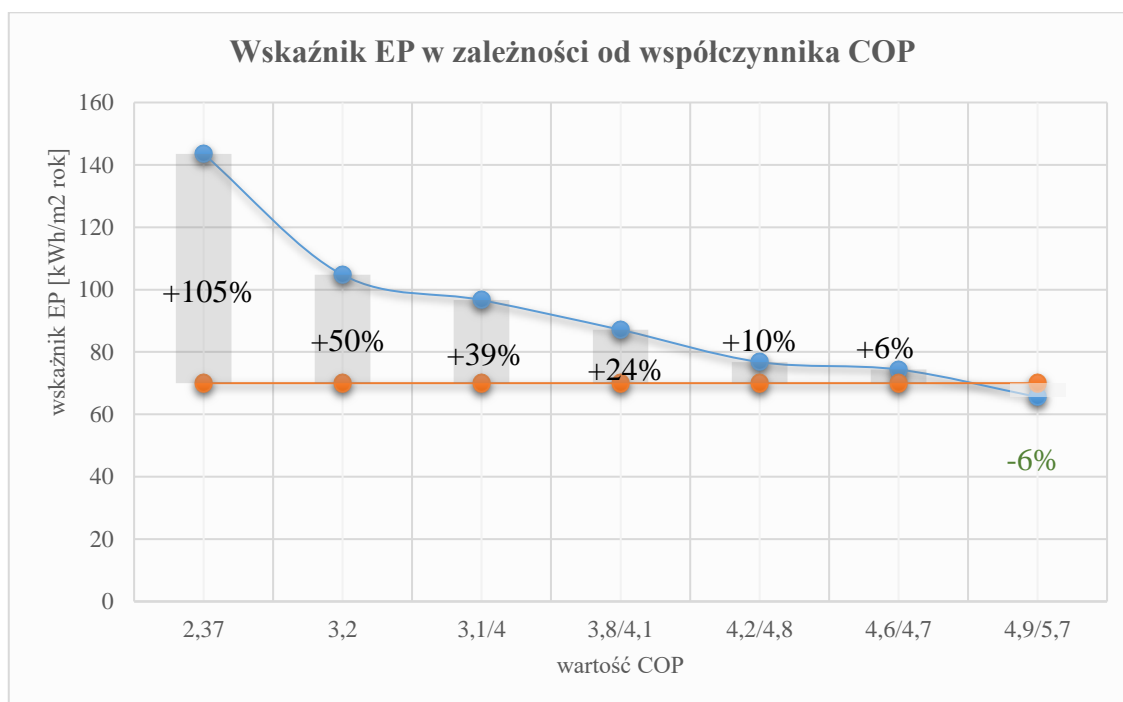
Wariantem bazowym w obliczeniach była domyślna w programie pompa ciepła typu glikol/woda bez konkretnego wskazania modelu czy producenta. Sprawność instalacji grzewczej wynosiła dla tego wariantu 2,75 a wskaźnik EP w przypadku wentylacji grawitacyjnej znacząco przekraczał normę i wynosił 104,73 kWh/(m² rok). W tabeli 13 przedstawiono wyniki obliczeń wskaźnika EP w zależności od konkretnie

⁷⁵ <https://kotly.pl/cop-scop-spf-pompy-ciepła/>, dostęp 28.01.2022

dobrych modeli pomp ciepła o różnych współczynnikach COP. Wybrano modele pomp powietrznych, jak i gruntowych. Wyniki jednoznacznie pokazały, że zastosowanie pompy ciepła o innych parametrach COP ma znaczący wpływ na wartość wskaźnika EP. Pompa ciepła z współczynnikiem COP na poziomie 4,9/5,7 obniża wskaźnik EP do 65,56 (kWh/m² rok) co stanowi redukcję o około 37,5 % w stosunku do wariantu bazowego. Zastosowanie pompy ciepła o COP na poziomie 2,4 zwiększa EP o 37% czyli do wartości 143,51 (kWh/m² rok).

Tabela 13. Wartości wskaźnika EP w zależności od zastosowanej pompy ciepła o zadanej sprawności przy założeniu budynku z wentylacją grawitacyjną [opracowanie własne].

Typ pompy ciepła	COP min/max	Sprawność całkowita instalacji	Wskaźnik EP [kWh/m ² rok]
Pompa ciepła typu glikol/woda sprężarkowe	3,20	2,75	104,73
Powietrze / woda o mocy grzewczej 9,0 kW typu Vitocal 300-A AW-O silent	2,37	1,86	143,51
Woda/woda o mocy grzewczej 8,0-21,6kW typu Vitocal 300-G WWC	4,9/5,7	4,16	65,56
Solanka/woda o mocy grzewczej 5,9-10,3 kW typu Vitocal 333-G	4,6/4,7	3,65	74,37
Powietrze woda o mocy grzewczej 3,5 – 12 kW NIBE TM SPLIT	3,8/4,1	3,1	87,11
Gruntowa pompa ciepła z wymiennikiem I i II stopnia o mocy 21kW	3,1/4	2,79	96,64
Gruntowa pompa ciepła o mocy 11kW	4,2/4,8	3,54	76,77

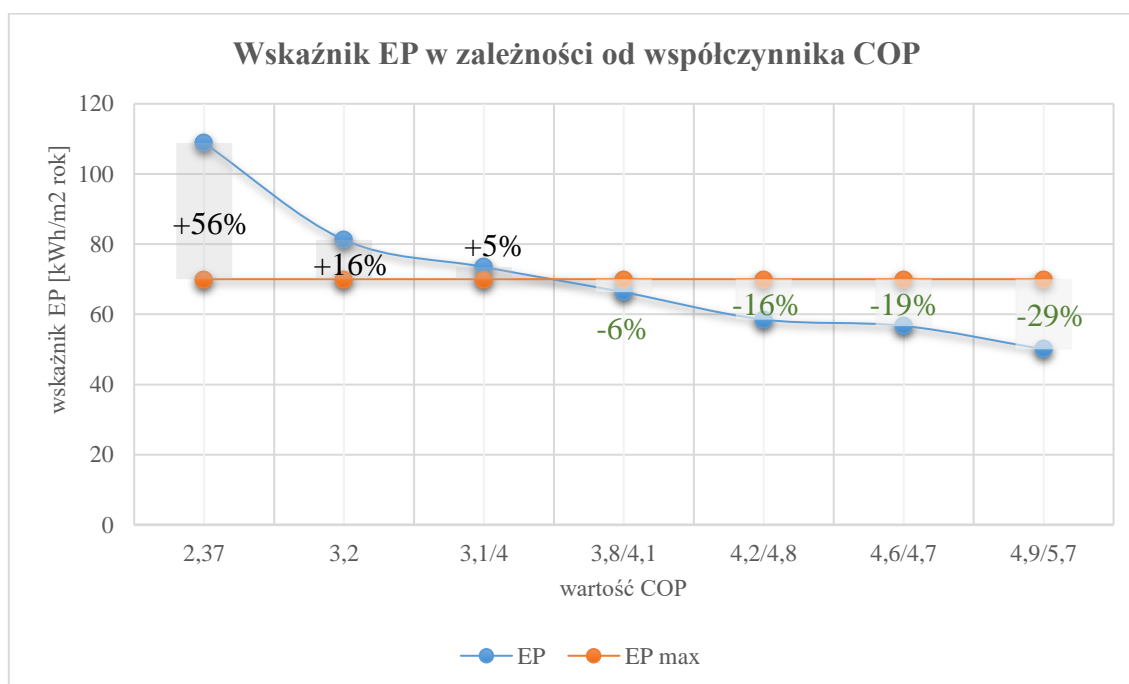


Wykres 60 Wskaźnik EP w zależności od współczynnika COP pompy ciepła z wentylacją grawitacyjną [opracowanie własne]

Te same badania przeprowadzono dla budynku A3 wyposażonego w wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła. Dla tych samych modeli pomp ciepła uzyskano podobne rezultaty pokazane w tabeli 14. Z bazowego wariantu o wskaźniku EP= 81,24 kWh/(m²·rok), przy zastosowaniu pompy o COP na poziomie 5 można uzyskać wynik o około 38 % niższy, czyli 50,04 kWh/(m²·rok). COP=2,37 zwiększa natomiast wyniki o 34%.

Tabela 14. Wartości wskaźnika EP w zależności od zastosowanej pompy ciepła o zadanej sprawności przy założeniu budynku z wentylacją mechaniczną [opracowanie własne].

Typ pompy ciepła	COP min/max	Sprawność całkowita instalacji	Wskaźnik EP [kWh/m ² rok]
Pompa ciepła typu glikol/woda sprężarkowe	3,20	2,75	81,24
Powietrze / woda o mocy grzewczej 9,0 kW typu Vitocal 300-A AW-O silent	2,37	1,86	108,83
Woda/woda o mocy grzewczej 8,0-21,6kW typu Vitocal 300-G WWC	4,9/5,7	4,16	50,04
Solanka/woda o mocy grzewczej 5,9-10,3 kW typu Vitocal 333-G	4,6/4,7	3,65	56,69
Powietrze woda o mocy grzewczej 3,5 – 12 kW NIBE TM SPLIT	3,8/4,1	3,1	66,29
Gruntowa pompa ciepła z wymiennikiem I i II stopnia o mocy 21kW	3,1/4	2,79	73,48
Gruntowa pompa ciepła o mocy 11kW	4,2/4,8	3,54	58,50

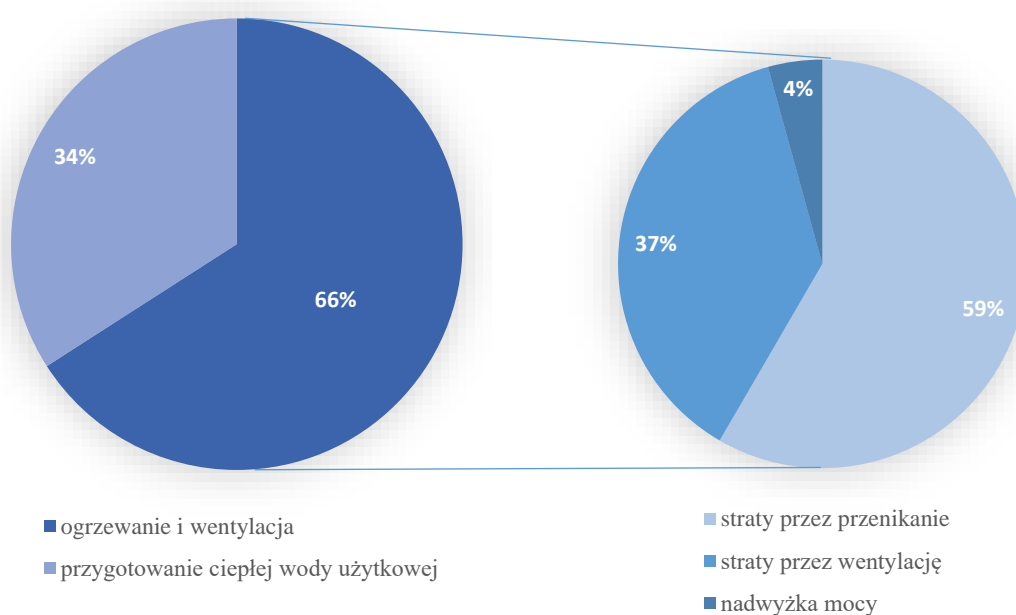


Wykres 61 Wskaźnik EP w zależności od współczynnika COP pompy ciepła z wentylacją mechaniczną [opracowanie własne]

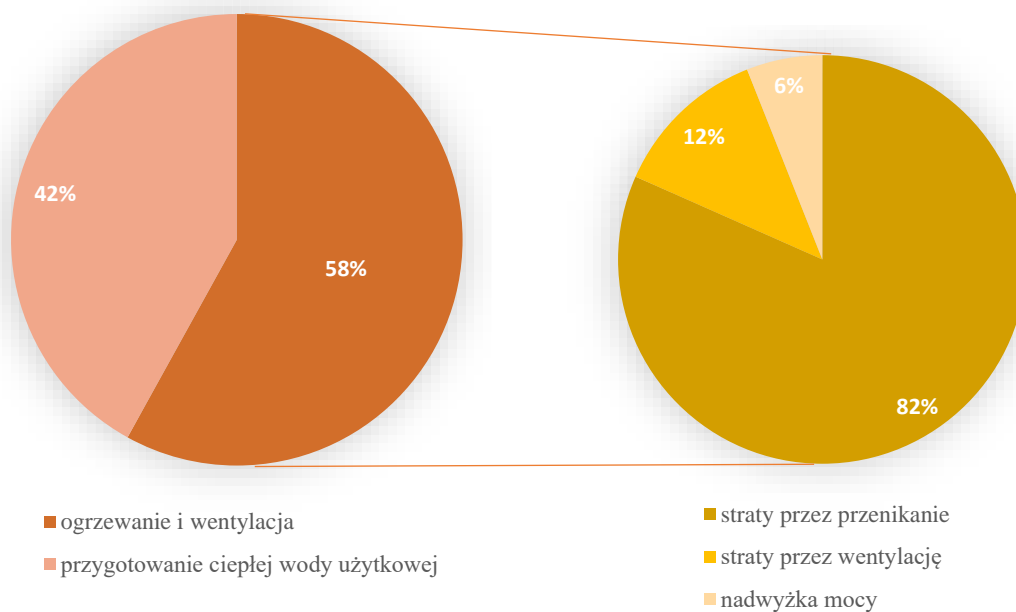
Wyniki pokazują iż w przypadku założenia pompy ciepła jako źródła ciepła, niewystarczające jest bazowanie na wartościach uśrednionych. Pompa ciepła jako jedyna z analizowanych źródeł wykazuje się dużą dysproporcją wskaźników EP, w zależności od wydajności konkretnego urządzenia. W tym wypadku już na etapie projektowym należałoby określić typ zastosowanej pompy ciepła z odpowiadającym jej współczynnikiem COP.

4.3 Wentylacja obiektu

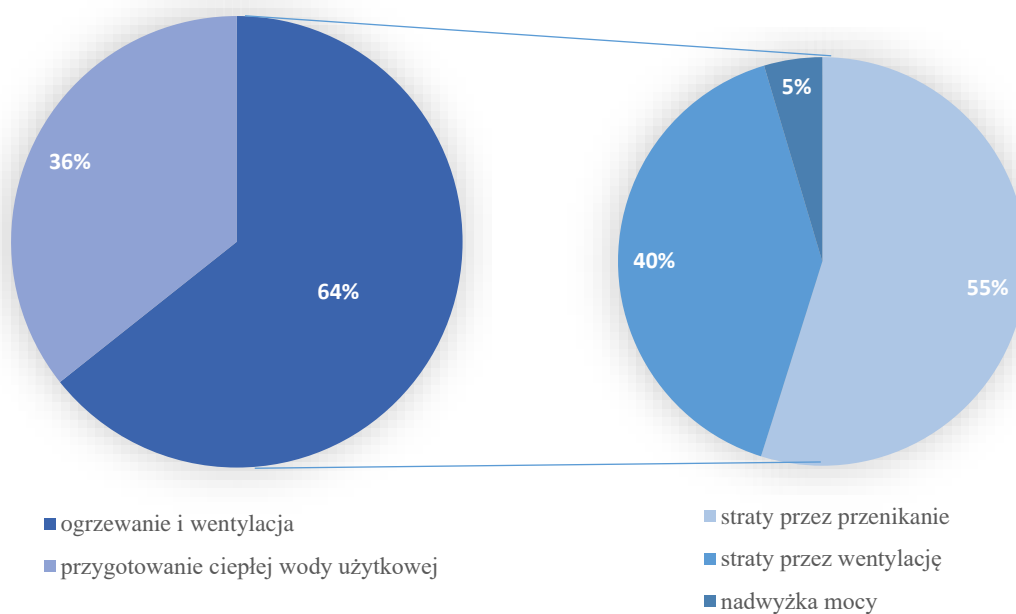
Na temat wentylacji w budynkach mieszkalnych jednorodzinnych powstało już wiele opracowań. Problematyka od strony naukowej wydaje się być rozpoznana, niemniej jednak w dalszym ciągu dochodzi do nieprawidłowości, które mają niebagatelny wpływ na bezpieczeństwo mieszkańców, eksploatację budynków, jak i efektywność energetyczną. W przeprowadzonej analizie zbadano wpływ rodzaju wentylacji na całościowe zużycie energii w budynku i bezpośredni wpływ na wskaźnik EP. Na przykładzie budynku A2 wykazano, że sposób wentylacji obiektu ma duży wpływ na całościowy bilans energetyczny obiektu. Przy wentylacji grawitacyjnej, energia potrzebna na przygotowanie ciepłej wody użytkowej stanowi około 34% natomiast resztę energii pochłaniają systemy ogrzewania i wentylacji. W szczegółowym bilansie straty przez wentylację stanowią 37%, 59% stanowią straty przez przenikanie a około 4% nadwyżka mocy cieplnej. Wykorzystanie wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła znacząco wpływa na całościowy bilans cieplny i redukuje energię na ogrzewanie i wentylację do 58%, zwiększając tym samym udział energii potrzebnej na przygotowanie ciepłej wody użytkowej do 42%. W przypadku budynku charakteryzującego się parametrami izolacyjnymi dla budownictwa pasywnego (U8) zapotrzebowanie na cele grzewcze i wentylacyjne spada o 12,5%. Wentylacja grawitacyjna stanowi 40% udziału w stratach energii w porównaniu do wentylacji mechanicznej, której udział wynosi niecałe 14%.



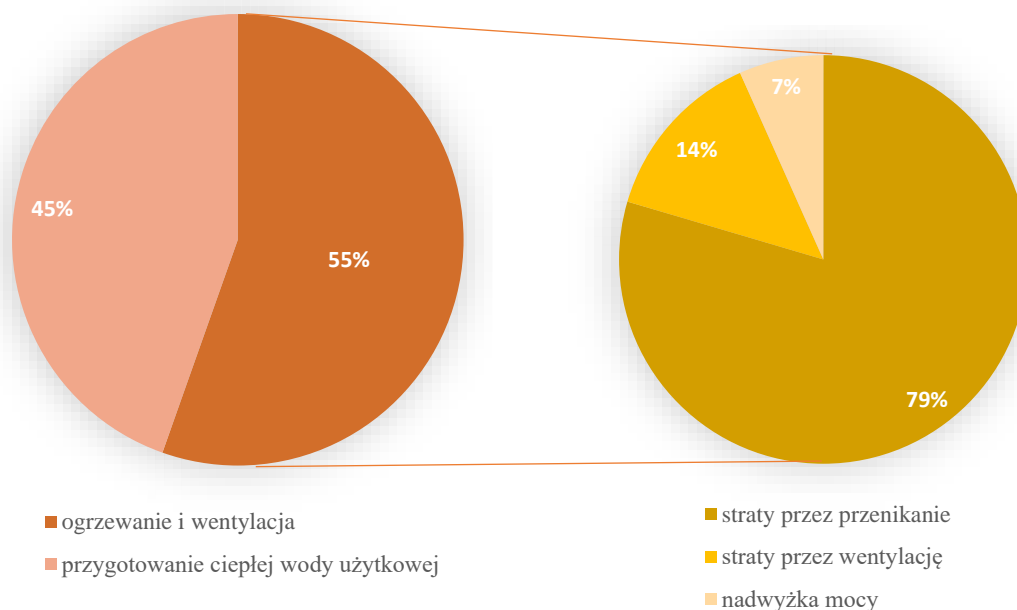
Wykres 62. Zużycie energii dla budynku A2 z wentylacją grawitacyjną w wariantcie UI [opracowanie własne].



Wykres 63. Zużycie energii dla budynku A2 z wentylacją mechaniczną w wariantcie U1 [opracowanie własne].

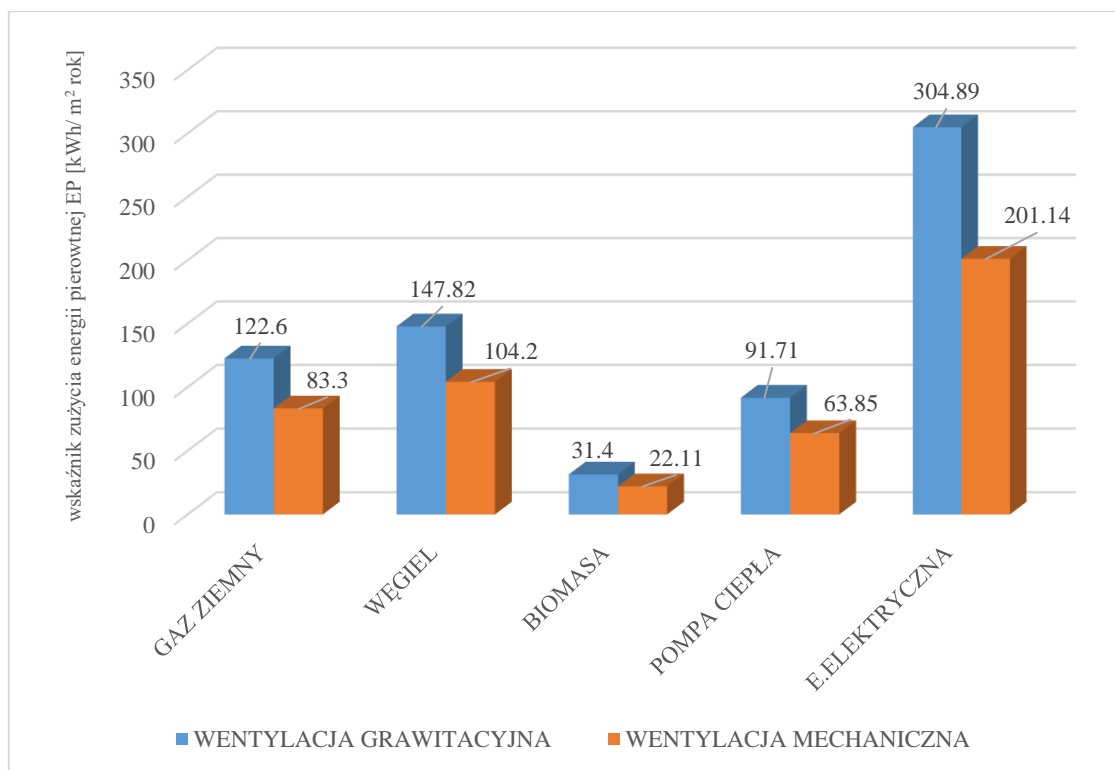


Wykres 64. Zużycie energii dla budynku A2 z wentylacją grawitacyjną w wariantcie U8 [opracowanie własne].



Wykres 65. Zużycie energii dla budynku A2 z wentylacją mechaniczną w wariantach U8 [opracowanie własne]

Metoda wentylacji ma również zauważalny wpływ na wskaźnik EP, co widać na wykresie 66. W przypadku gazu ziemnego zastosowanie wentylacji mechanicznej redukuje wskaźnik EP o 32%, w przypadku węgla, biomasy i pompy ciepła o około 30%. Największą redukcję widać w przypadku energii elektrycznej, bo o aż 34%. Czasami wybór metody wentylacji jest kluczowy w spełnieniu aktualnych wymagań, jak w przypadku pompy ciepła.



Wykres 66. Porównanie wartości wskaźnika EP w zależności od rodzaju wentylacji i źródła ciepła [opracowanie własne].

4.4 Podsumowanie części instalacyjnej

Niezależnie od architektury obiektu im większy udział energii z odnawialnych źródeł energii (OZE) w bilansie energetycznym obiektu tym mniejsza wartość wskaźnika EP. Bilans zużycia energii pierwotnej można obniżyć stosując przede wszystkim:

- kotły na biomasę,
- pompy ciepła o współczynniku COP równym 4 i większym,
- wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła.

Oraz alternatywne instalacje, takie jak:

- panele fotowoltaiczne,
- kolektory słoneczne.

Każdy z przedstawionych wyżej rozwiązań inaczej wpływa na wartość wskaźnika EP. Jak wykazały badania (wykres 67) zdecydowanie najbardziej efektywnym energetycznie źródłem ciepła okazała się biomasa, która niezależnie od zastosowanej w budynku wentylacji, wykazuje się współczynnikiem EP niższym niż wymagany o 56-69%. Drugim źródłem ciepła spełniającym nowe wymogi wskaźnika EP jest pompa ciepła, jednakże w większości tylko w połączeniu z zastosowaniem wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła co daje wartości niższe o około 9% od wymaganych. Tylko pompa ciepła o bardzo wysokiej wydajności, o współczynniku COP powyżej 5 lub montaż instalacji fotowoltaicznej pozwala na zastosowanie wentylacji grawitacyjnej przy jednoczesnym spełnieniu warunku $EP_{max} \leq 70 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$. Najpopularniejsze z kolei wśród mieszkańców ogrzewanie gazowe cechuje się wyższymi wartościami wskaźnika EP od maksymalnych o około 19%. Warto zwrócić uwagę, iż zastosowanie dwóch różnych źródeł ciepła w tym konwencjonalnego do celów grzewczych i zapewnienia przygotowania ciepłej wody użytkowej ze źródeł odnawialnych może przyczynić się do spełnienia warunku EP. Jednakże mnogość źródeł ciepła nie jest ekonomicznym rozwiązaniem ze względów finansowych, jak i montażowych.

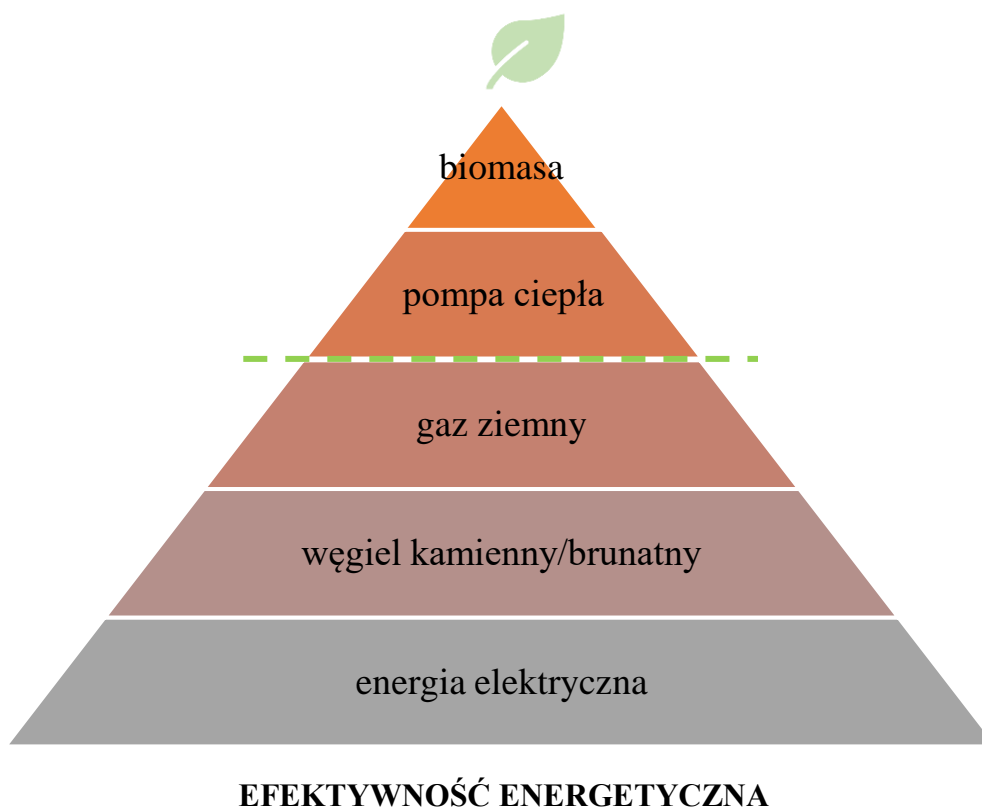
Na podstawie przeprowadzonych badań można zauważyć, iż najlepiej oceniane przez użytkowników źródła ciepła (gaz ziemny i pompa ciepła) charakteryzują się granicznymi wartościami wskaźnika EP. W obu wypadkach kluczowe jest również zastosowanie wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła. Z tego względu w dalszej części analizy wpływu źródeł ciepła na architekturę obiektu skupiono się głównie na tych dwóch typach ogrzewania. Nie wzięto pod uwagę w obliczeniach biomasy, ponieważ uznano, iż jej korzystne parametry energetyczne pozwalają w dowolny sposób kształtować architekturę obiektu. Pominięto również źródła z zastosowaniem wspomagających instalacji ekologicznych uznając to za opcję dodatkową, stanowiącą duży koszt inwestycyjny. Tego rodzaju instalacje wymagają również odpowiedniej powierzchni montażowej, co może być problemem w przypadku małych obiektów mieszkalnych o niekorzystnie uformowanym kształcie i powierzchni dachu.



Wykres 67. Podsumowanie efektywności energetycznej wybranych źródeł ciepła.

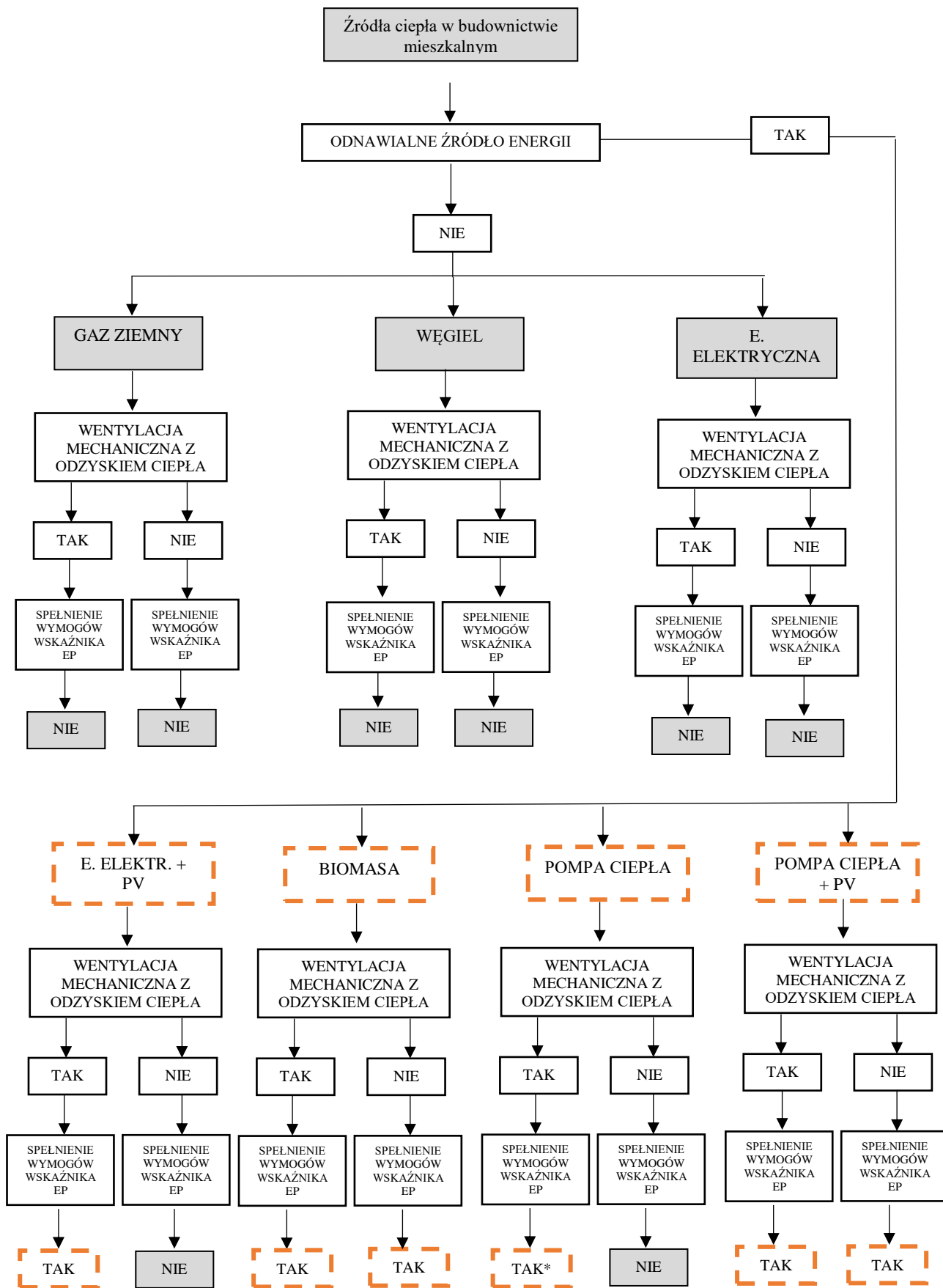
Ten etap przeprowadzonych badań pozwala wysunąć następujące wnioski:

1. Źródło ciepła jest parametrem determinującym poziom zużycia energii pierwotnej i ma decydujący wpływ na spełnienie wymogów maksymalnego wskaźnika EP ≤ 70 kWh/(m² rok).
2. Bez względu na pozostałe parametry budynku najefektywniejszym źródłem ciepła jest biomasa, w dalszej kolejności wysokowydajna pompa ciepła, natomiast konwencjonalne źródła ciepła nie są efektywne energetycznie.



Ilustracja 49. Diagram efektywności energetycznej źródeł ciepła [opracowanie własne].

3. Sprężarkowe pompy ciepła ze względu na ich dużą rozbieżność w wydajności nie gwarantują spełnienia wymagań EP. Na etapie projektowym należałoby określić wymagany do spełnienia wymagań, poziom współczynnika COP.
4. Przy aktualnych uwarunkowaniach prawnych wykorzystanie instalacji fotowoltaicznej (PV) wspomagającej produkcję energii elektrycznej o odpowiedniej mocy pozwala wystarczająco obniżyć wskaźnik EP.
5. Zastosowanie wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła zmniejsza wskaźnik EP o około 34%.



Ilustracja 50. Schemat możliwości spełnienia wskaźnika EP w zależności od zastosowanego źródła ciepła i systemu wentylacji [opracowanie własne].

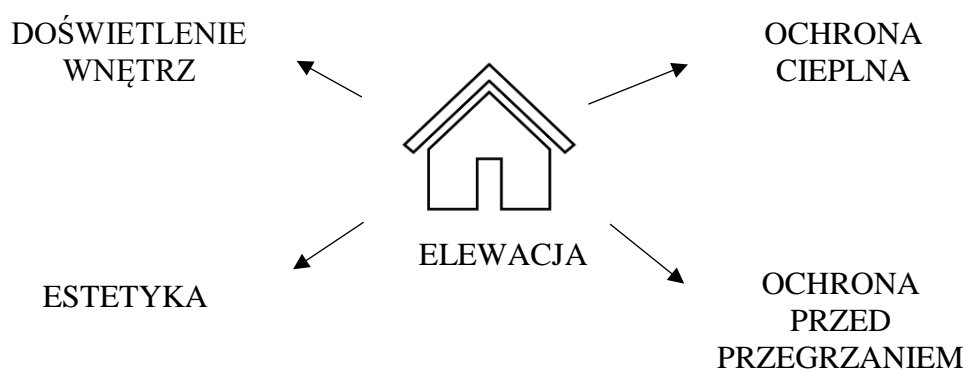
*Dla pomp ciepła z COP ≥ 4

4.5 Izolacja cieplna budynku

Podstawową funkcją elewacji budynku jest zabezpieczenie wnętrza budynku przed szkodliwym wpływem czynników atmosferycznych oraz utratą ciepła. Z drugiej strony powinna ona przepuszczać odpowiednią ilość powietrza wpływającego pozytywnie na jakość klimatu we wnętrzu. Przy doborze materiałów należy pamiętać, że mają one wpływ na końcowy bilans energetyczny budynku. Z tego względu są one niezbędnym elementem oceny projektu architektonicznego. W obecnych czasach kładzie się szczególny nacisk na to, aby projektować przegrody zewnętrzne, tak żeby w sposób kontrolowany reagowały na zmienne warunki atmosferyczne poprzez np. akumulację energii.

Rozważając funkcję elewacji należy wziąć pod uwagę przede wszystkim:

- zabezpieczenie termiczne budynku i akumulację ciepła,
- naturalne doświetlenie wnętrz,
- ochronę przed przegrzaniem.



Ilustracja 51. Schemat funkcji elewacji budynku [opracowanie własne].

Ważnym aspektem w bilansie energetycznym budynku jest izolacyjność cieplna przegród zewnętrznych, którą charakteryzuje współczynnik przenikania ciepła U . Z tego względu współczynnik ten jest jednym z ważniejszych parametrów przy projektowaniu i budowie domu. Współczynnik przenikania ciepła U określony jest jako ilość energii, jaka przenika przez przegrodę (okna i drzwi, ściany, dachy, stropodachy itp.), w odniesieniu do jej powierzchni i różnicy temperatur z obu jej stron. Jednostką współczynnika przenikania ciepła jest $W/(m^2 \cdot K)$ ⁷⁶.

Wartość tego współczynnika zależy przede wszystkim od materiału użytego w przegrodzie, jak również od jego grubości. Przegrody w zależności od typu muszą spełniać minimalne parametry izolacyjności cieplnej. Określone są one poprzez maksymalną wartość współczynnika przenikania ciepła U , która zawarta jest w Rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych obowiązującym od 1 stycznia 2014 roku. W poniższej tabeli możemy zobaczyć, jak zmieniały się wartości tego współczynnika dla ścian zewnętrznych, stropodachu oraz powierzchni szklanych (przy założeniu, że temperatura w pomieszczeniu jest wyższa niż 16 stopni).

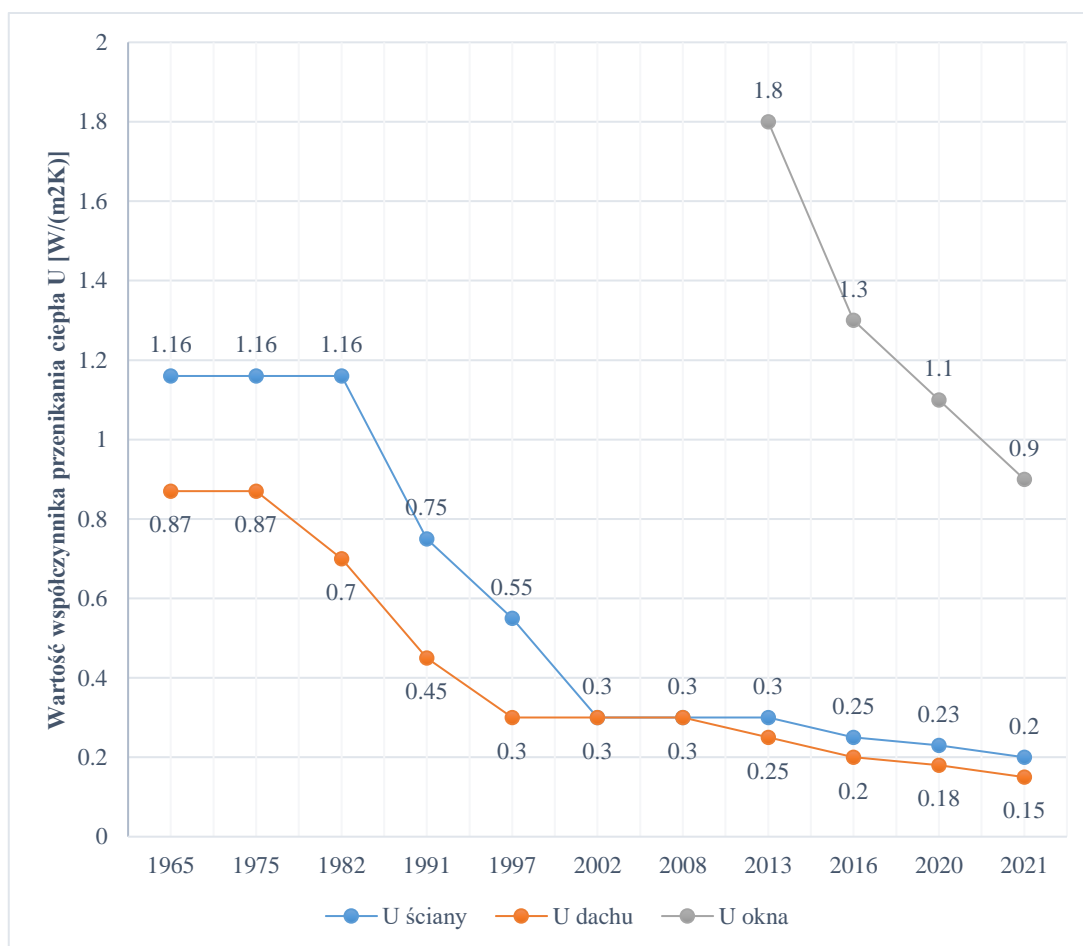
⁷⁶ <https://www.muratorplus.pl/technika/izolacje/wspolczynnik-przenikania-ciepła-od-czego-zależy-wspolczynnik-u-przegrod-budowlanych-aa-iTn4-bLg6-hCpS.html>, dostęp 14.01.2022r.

Tabela 15. Wymagania dotyczące izolacyjności cieplnej ścian, stropodachów i powierzchni szklanych w Polsce [opracowanie własne].

Rok	Regulacje prawne	U_{\max} [W/(m ² K)] ściana zewn.	U_{\max} [W/(m ² K)] dach/ stropodach	U_{\max} [W/(m ² K)] powierzchnie szklane/ okna
Do 1954	Brak	Brak	brak	
1955 – 1965	PN/B-02405:53 PN/B-02405:57	$U \leq 1,16$ oraz $U \leq 1,41$ [kcal/m ² h°C]	$U \leq 0,87$ [kcal/m ² h°C]	
1966 – 1975	PN-64/B-03404	$U \leq 1,16$ [kcal/m ² h°C]	$U \leq 0,87$ [kcal/m ² h°C]	
1976 – 1982	PN-74/B-03404	$U \leq 1,16$ [kcal/m ² h°C]	$U \leq 0,70$ [kcal/m ² h°C]	
1983 - 1991	PN-82/B-02020	$U \leq 0,75$ [W/m ² K]	$U \leq 0,45$ [W/m ² K]	
1992 – 1997	PN-91/B-02020	$U \leq 0,55$ [W/m ² K]	$U \leq 0,30$ [W/m ² K]	
1997 – 2002	Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 30 września 1997r. [69]	$U_{k(\max)} \leq 0,30$ materiału o izolacyjności $\lambda \leq 0,05$ W/(mK) oraz $U_{k(\max)} \leq 0,50$	$U_{k(\max)} \leq 0,30$	
2002 – 2008	Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002r. [65]	$U_{k(\max)} \leq 0,30$ materiału o izolacyjności $\lambda \leq 0,05$ W/(mK) oraz $U_{k(\max)} \leq 0,50$	$U_{k(\max)} \leq 0,30$	
2008 – 2013	Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008r. [68]	$U(\max) \leq 0,30$	$U(\max) \leq 0,25$	$U(\max) \leq 1,7-$ 1,8
2013 – 2016	Rozporządzenie Ministra ds. Budownictwa z dnia 5 lipca 2013r. [73]	$UC(\max) \leq 0,25$	$UC(\max) \leq 0,20$	$U(\max) \leq 1,3$
2017 - 2020	Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015r. [56]	$UC(\max) \leq 0,23$	$UC(\max) \leq 0,18$	$U(\max) \leq 1,1$
2021	Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015r. [56]	$UC(\max) \leq 0,20$	$UC(\max) \leq 0,15$	$U(\max) \leq 0,9$

Jak możemy zauważyć, analizując dane zawarte w powyższej tabeli, wartość współczynnika U dla ścian zaczęła być regulowana dopiero od 1954 r. Do roku 1997 wartość ta zmalała prawie czterokrotnie. Następnie przez okres 16 lat wartość ta była na stałym poziomie równym 0,30 W/(m²·K). Dopiero od roku 2008 Rozporządzenie

Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008r stopniowo zaczęło zmniejszać maksymalny współczynnik U do wartości $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, które obowiązuje od stycznia 2021 r. Należałoby tutaj porównać wartości te z wartościami wymaganymi dla domów pasywnych, jak i energooszczędnych. W przypadku domów pasywnych średni **współczynnik przenikania ciepła U** dla przegród zewnętrznych nie powinien przekraczać $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$; natomiast dla **domu energooszczędnego średni współczynnik U** dla przegród zewnętrznych nie powinien przekroczyć $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Biorąc pod uwagę powyższe dane, można wnioskować, że wszystkie budynki nowo projektowane po roku 2021 powinny spełniać standardy izolacyjności dla domów energooszczędnych. Duży spadek wartości współczynnika U możemy również zauważyć dla powierzchni dachu, który przez 50 lat zmniejszył się prawie 6-krotnie, wynosząc obecnie maksymalnie $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Coraz bardziej rygorystyczne wymagania dotyczące izolacyjności spowodowane są nie tylko postępowaniem technologicznym i dostępnością lepszych materiałów, lecz przede wszystkim koniecznością zminimalizowania coraz większego zapotrzebowania na energię.



Wykres 68. Wartości współczynnika przenikania ciepła U [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$] dla ścian zewnętrznych i dachów na przestrzeni lat 1965-2021. [Opracowanie własne na podstawie tabeli 15].

Dopiero od roku 2014 r. Warunki Techniczne zaczęły określać maksymalny współczynnik przewodzenia ciepła U dla stolarki okiennej i drzwiowej. Dla okien, drzwi balkonowych i powierzchni przezroczystych nieotwieranych współczynnik U zmniejszył się z obowiązującego od 2014 roku - $1,7-1,8 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ do $0,9 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$, który obowiązuje od 2021 r.

4.5.1 Wpływ współczynnika przenikania ciepła U na zużycie energii

W dalszej części przedstawiono wpływ współczynnika U przegród budowlanych na zużycie energii pierwotnej przez budynek. W obliczeniach przyjęto różne warianty wartości współczynnika U dla przegród budowlanych w tym:

- ściany zewnętrznej,
- dachu,
- oraz podłogi na gruncie.

Wartości pozostałych współczynników zostały przedstawione w tabeli 16. W przypadku stolarki zewnętrznej oparto je na maksymalnych dopuszczalnych wartościach.

Tabela 16. Zestawienie przyjętych parametrów współczynnika U dla wybranych przegród i stolarki.

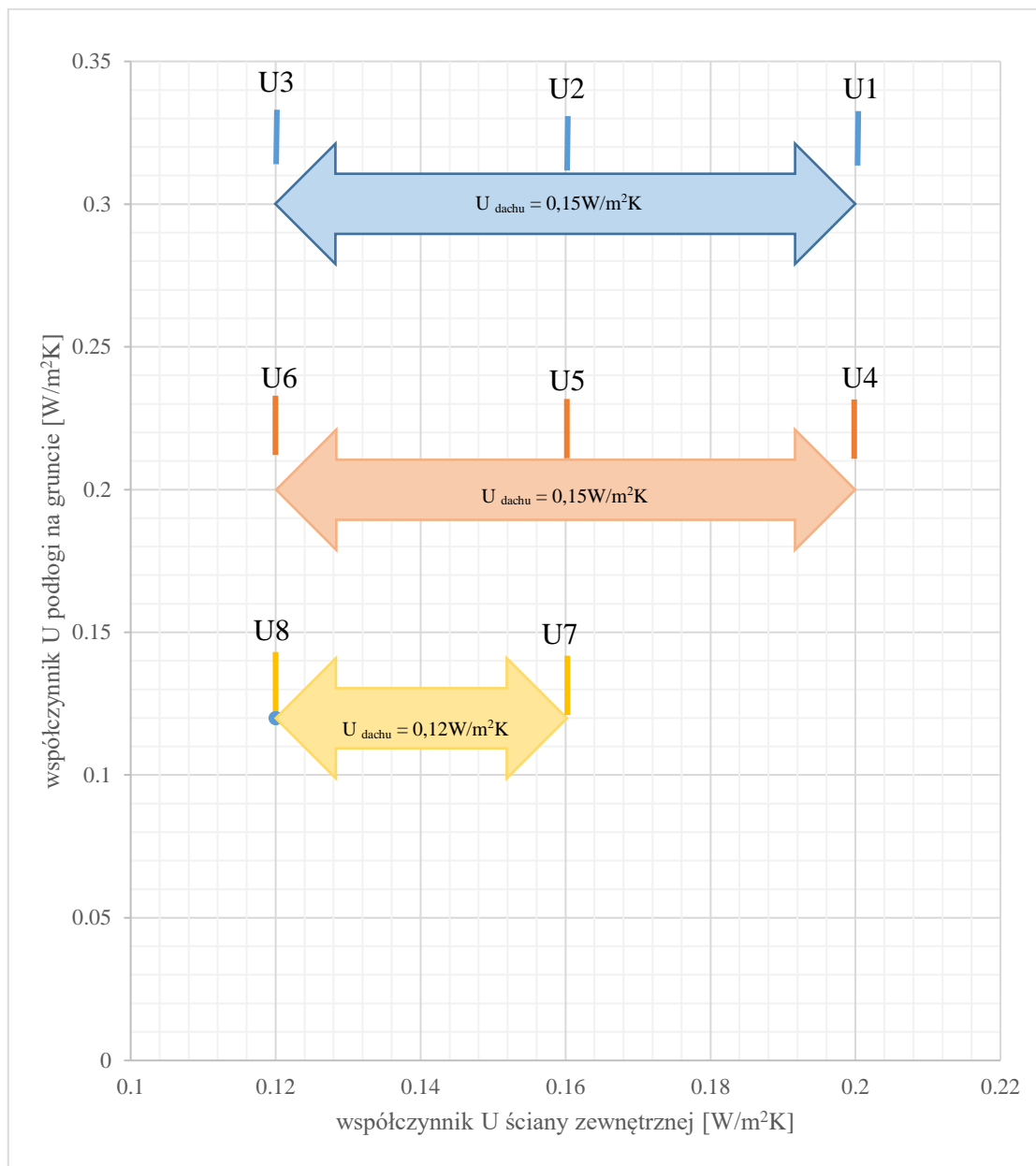
Nazwa przegrody	Wartość współczynnika U	jednostka
Ściany wewnętrzne	2,40	W/(m ² · K)
Strop wewnętrzny	1,30	W/(m ² · K)
Okno zewnętrzne	0,9	W/(m ² · K)
Współczynnik g	0,7	W/(m ² · K)
Okno połaciowe	1,1	W/(m ² · K)
Drzwi zewnętrzne	1,3	W/(m ² · K)

Według danych⁷⁷ w 2013 roku 72% budynków mieszkalnych w Polsce charakteryzowało się niskimi lub bardzo niskimi standardami efektywności energetycznej. Z tego względu pierwszy wariant bazowy zawiera maksymalne dopuszczalne od 2021 roku wartości współczynnika U, które w przypadku budynków modernizowanych byłyby najbardziej racjonalnym, pod względem ekonomiczności, rozwiązaniem. Parametrem ulegającym zmianie w wariantach obliczeniowych U1-U3 jest w pierwszej kolejności współczynnik U dla ścian zewnętrznych. Przyjęto redukcję współczynnika o wartość 0,04 W/(m²·K) co daje nam kolejno parametry: 0,20; 0,16; 0,12. W drugiej kolejności zbadano wpływ obniżenia współczynnika U dla podłogi na gruncie z wartości 0,30 do 0,20 W/(m²·K), a następnie do 0,12 W/(m²·K). Duża redukcja współczynników dla tych dwóch przegród wynika z technicznych możliwości regulowania w dowolny sposób grubość warstwy izolacyjnej. Ostatnie dwa warianty U7-U8 zakładają obniżenie wartości współczynnika U dla przegrody dachu z 0,15 do 0,12 W/(m²·K). Wynika to zdaniem autorki z ograniczeń techniczno- konstrukcyjnych dla izolacji w przypadku zaprojektowania dachu skośnego. Wariant U8 został oparty na parametrach wymaganych dla budownictwa pasywnego. Założone warianty przedstawiono w poniższej tabeli 17.

⁷⁷ Efektywność energetyczna w Polsce - przegląd 2013, Instytut Ekonomii środowiska, Kraków 2014, dostęp: www.iee.org.pl

Tabela 17. Zestawienie wariantów obliczeniowych uwzględniających różne wartości parametrów U.

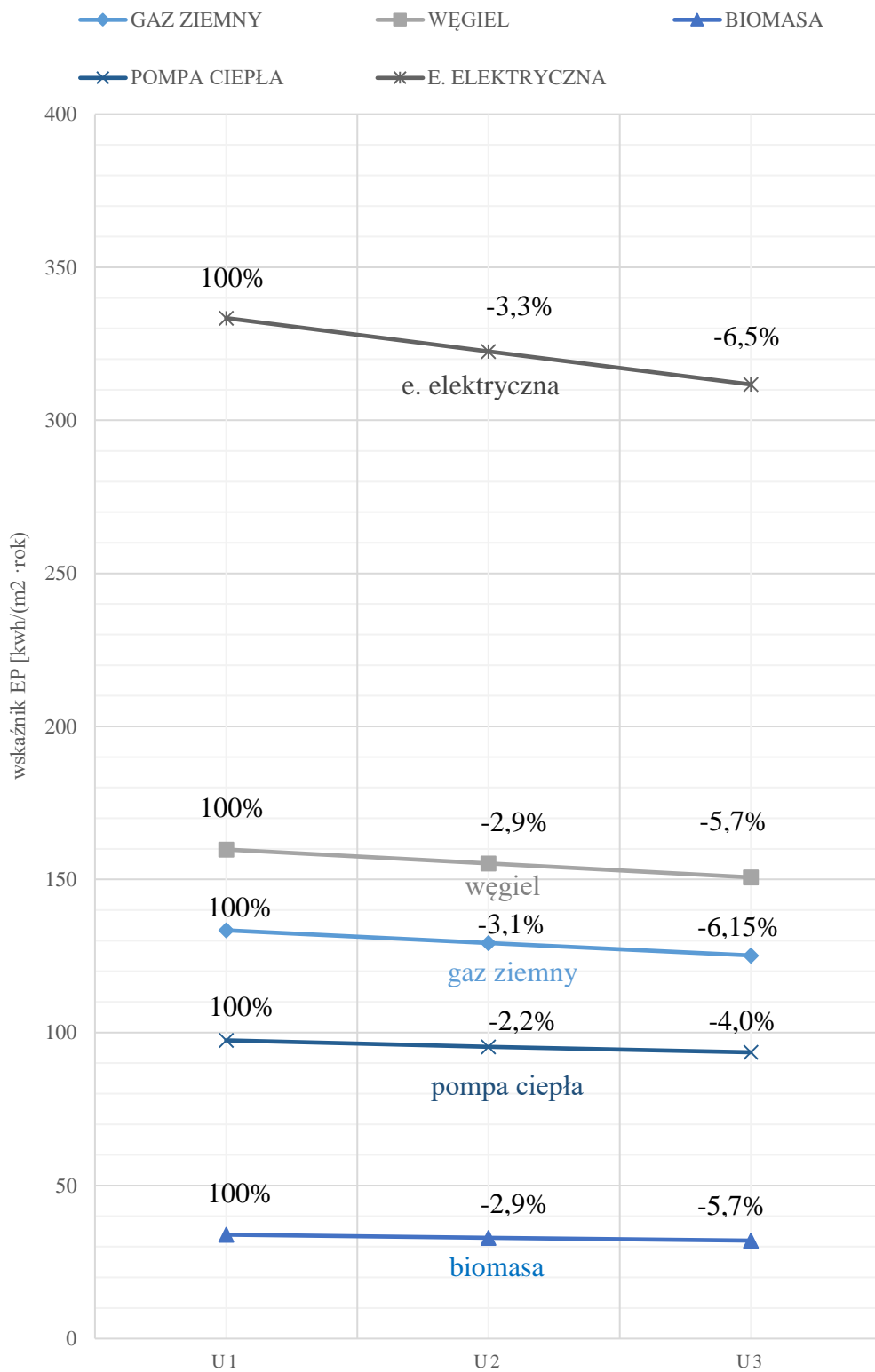
Wariant U1		
Przegroda	Wartość współczynnika U	jednostka
Ściana zewnętrzna	0,20	W/(m ² · K)
Dach	0,15	W/(m ² · K)
Podłoga na gruncie	0,30	W/(m ² · K)
Wariant U2		
Przegroda	Wartość współczynnika U	jednostka
Ściana zewnętrzna	0,16	W/(m ² · K)
Dach	0,15	W/(m ² · K)
Podłoga na gruncie	0,30	W/(m ² · K)
Wariant U3		
Przegroda	Wartość współczynnika U	jednostka
Ściana zewnętrzna	0,12	W/(m ² · K)
Dach	0,15	W/(m ² · K)
Podłoga na gruncie	0,30	W/(m ² · K)
Wariant U4		
Przegroda	Wartość współczynnika U	jednostka
Ściana zewnętrzna	0,20	W/(m ² · K)
Dach	0,15	W/(m ² · K)
Podłoga na gruncie	0,20	W/(m ² · K)
Wariant U5		
Przegroda	Wartość współczynnika U	jednostka
Ściana zewnętrzna	0,16	W/(m ² · K)
Dach	0,15	W/(m ² · K)
Podłoga na gruncie	0,20	W/(m ² · K)
Wariant U6		
Przegroda	Wartość współczynnika U	jednostka
Ściana zewnętrzna	0,12	W/(m ² · K)
Dach	0,15	W/(m ² · K)
Podłoga na gruncie	0,20	W/(m ² · K)
Wariant U7		
Przegroda	Wartość współczynnika U	jednostka
Ściana zewnętrzna	0,16	W/(m ² · K)
Dach	0,12	W/(m ² · K)
Podłoga na gruncie	0,12	W/(m ² · K)
Wariant U8		
Przegroda	Wartość współczynnika U	jednostka
Ściana zewnętrzna	0,12	W/(m ² · K)
Dach	0,12	W/(m ² · K)
Podłoga na gruncie	0,12	W/(m ² · K)



Wykres 69. Graficzne zestawienie wariantów obliczeniowych uwzględniających różne wartości paramentów U.

Do dalszych obliczeń jako wariant bazowy wzięto pod uwagę najkorzystniejszy pod względem energetycznym model budynku – wariant A2. Sprawdzono w jakim stopniu redukcja współczynnika U wpływa na całkowite zużycie energii pierwotnej budynku i czy zastosowane źródło ciepła ma wpływ na te wielkości.

WPŁYW WSPÓŁCZYNNIKA U ŚCIANY ZEWNĘTRZNEJ NA WSKAŹNIK EP



Wykres 70. Wartość wskaźnika EP w zależności od wariantu współczynnika U [opracowanie własne].

Tabela 18. Wpływ redukcji współczynnika U przegród budowlanych na wskaźnik energii pierwotnej EP budynku A2 z wentylacją grawitacyjną w zależności od źródła ciepła [opracowanie własne].

Gaz ziemny – Z1			
Wersja Współczynnika U [W/m ² K]	Wartość wskaźnika EP [kWh/m ² rok]	Udział [%]	Spadek w [%]
U1	133,39	100%	-
U2	129,26	96,9%	- 3,1%
U3	125,18	93,85%	- 6,15 (3,05%_)

Węgiel brunatny – Z2			
Wersja Współczynnika U [W/m ² K]	Wartość wskaźnika EP [kWh/m ² rok]	Udział [%]	Spadek w [%]
U1	159,8	100%	-
U2	155,21	97,1%	- 2,9%
U3	150,68	94,30%	- 5,70 (2,80%)

Biomasa – Z3			
Wersja Współczynnika U [W/m ² K]	Wartość wskaźnika EP [kWh/m ² rok]	Udział [%]	Spadek w [%]
U1	33,95	100%	-
U2	32,97	97,1%	- 2,9%
U3	32,01	94,30%	- 5,7 (2,80%)

Pompa ciepła- Z4			
Wersja Współczynnika U [W/m ² K]	Wartość wskaźnika EP [kWh/m ² rok]	Udział [%]	Spadek w [%]
U1	97,45	100%	-
U2	95,32	97,8%	- 2,20%
U3	93,54	96,0%	- 4,0 (1,8%)

Energia elektryczna – Z5			
Wersja Współczynnika U [W/m ² K]	Wartość wskaźnika EP [kWh/m ² rok]	Udział [%]	Spadek w [%]
U1	333,39	100%	-
U2	322,48	96,7%	- 3,3%
U3	311,71	93,50%	- 6,5 (3,2%)

Badania wykazały, że największy wpływ zastosowanych materiałów na przegrodach zewnętrznych występuje w przypadku energii elektrycznej. Różnica pomiędzy wariantem U1 a U3 w tym wypadku wynosi 6,5%. Najmniejszy wpływ natomiast wykazano w przypadku pompy ciepła, ponieważ redukcja wynosi jedynie 4%.

Korzystniejsze wyniki otrzymano dla budynku wyposażonego w wentylację mechaniczną, co pokazane zostało w tabeli 19. Różnica w zależności od źródła ciepła wynosi dodatkowo od 0,3 - 1,1 punktu procentowego większego spadku. Z wyjątkiem pompy ciepła, w przypadku której redukcja współczynnika U ścian zewnętrznych w połączeniu z wentylacją mechaniczną zmniejszyła się o 2,7 punktu procentowego i wynosi jedynie 1,3% . Podobnie jak w poprzednich obliczeniach najkorzystniejszy spadek widać dla energii elektrycznej -7,6% natomiast najmniej korzystny dla pompy ciepła – 1,3%.

Tabela 19. Wpływ redukcji współczynnika U przegród budowlanych na wskaźnik energii pierwotnej EP budynku A2 z wentylacją mechaniczną w zależności od źródła ciepła [opracowanie własne].

Gaz ziemny – Z1			
Wersja Współczynnika U [W/m ² K]	Wartość wskaźnika EP [kWh/m ² rok]	Udział [%]	Spadek w [%]
U1	91,67	100%	-
U2	88,4	96,4%	- 3,6%
U3	85,25	93,00%	- 7,0 (-3,4%_)

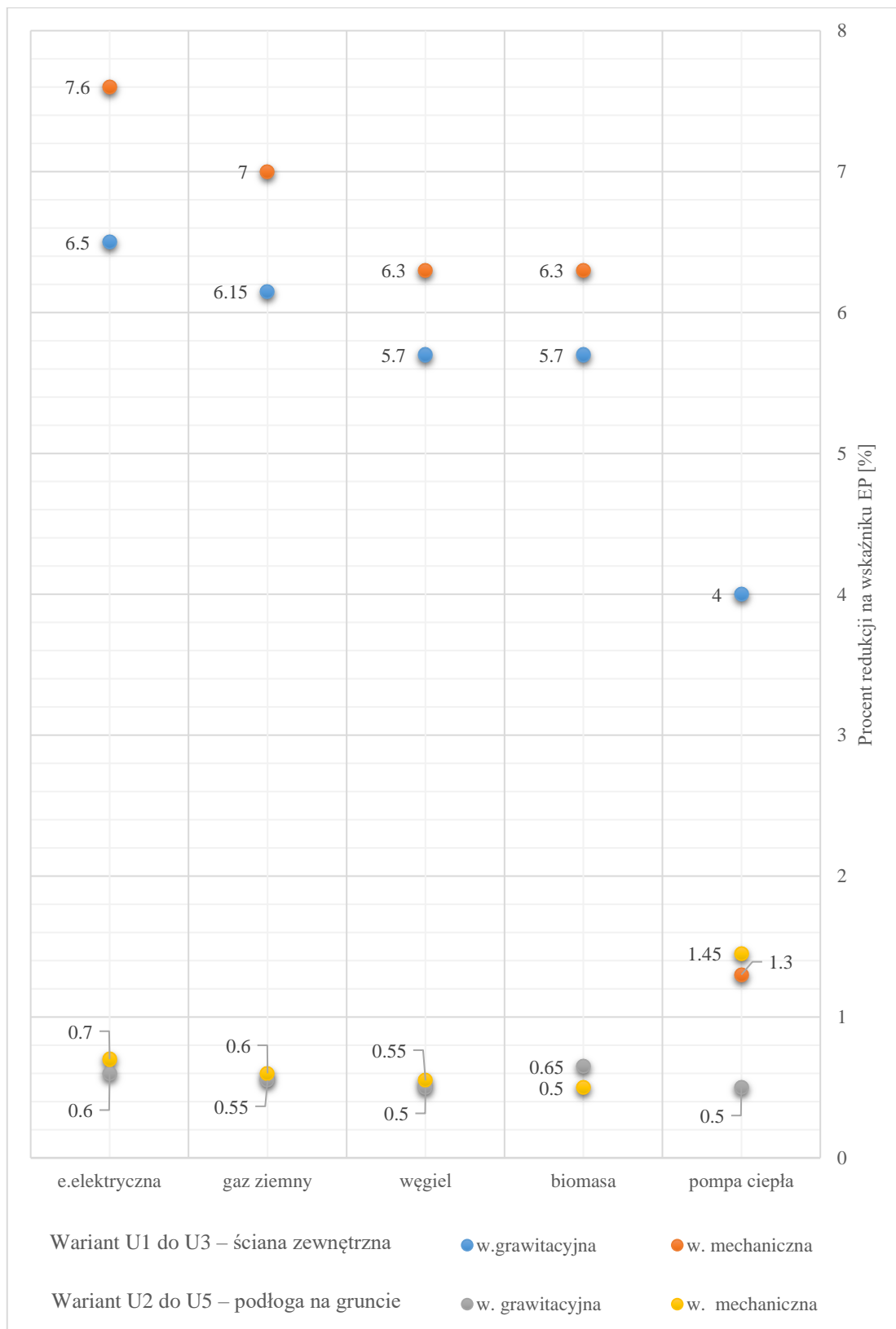
Węgiel brunatny – Z2			
Wersja Współczynnika U [W/m ² K]	Wartość wskaźnika EP [kWh/m ² rok]	Udział [%]	Spadek w [%]
U1	113,49	100%	-
U2	109,86	96,8%	- 3,2%
U3	106,37	93,7%	- 6,30 (3,10%)

Biomasa – Z3			
Wersja Współczynnika U [W/m ² K]	Wartość wskaźnika EP [kWh/m ² rok]	Udział [%]	Spadek w [%]
U1	24,09	100%	-
U2	23,31	96,8%	-3,2 %
U3	22,57	93,7%	- 6,3 (3,10%)

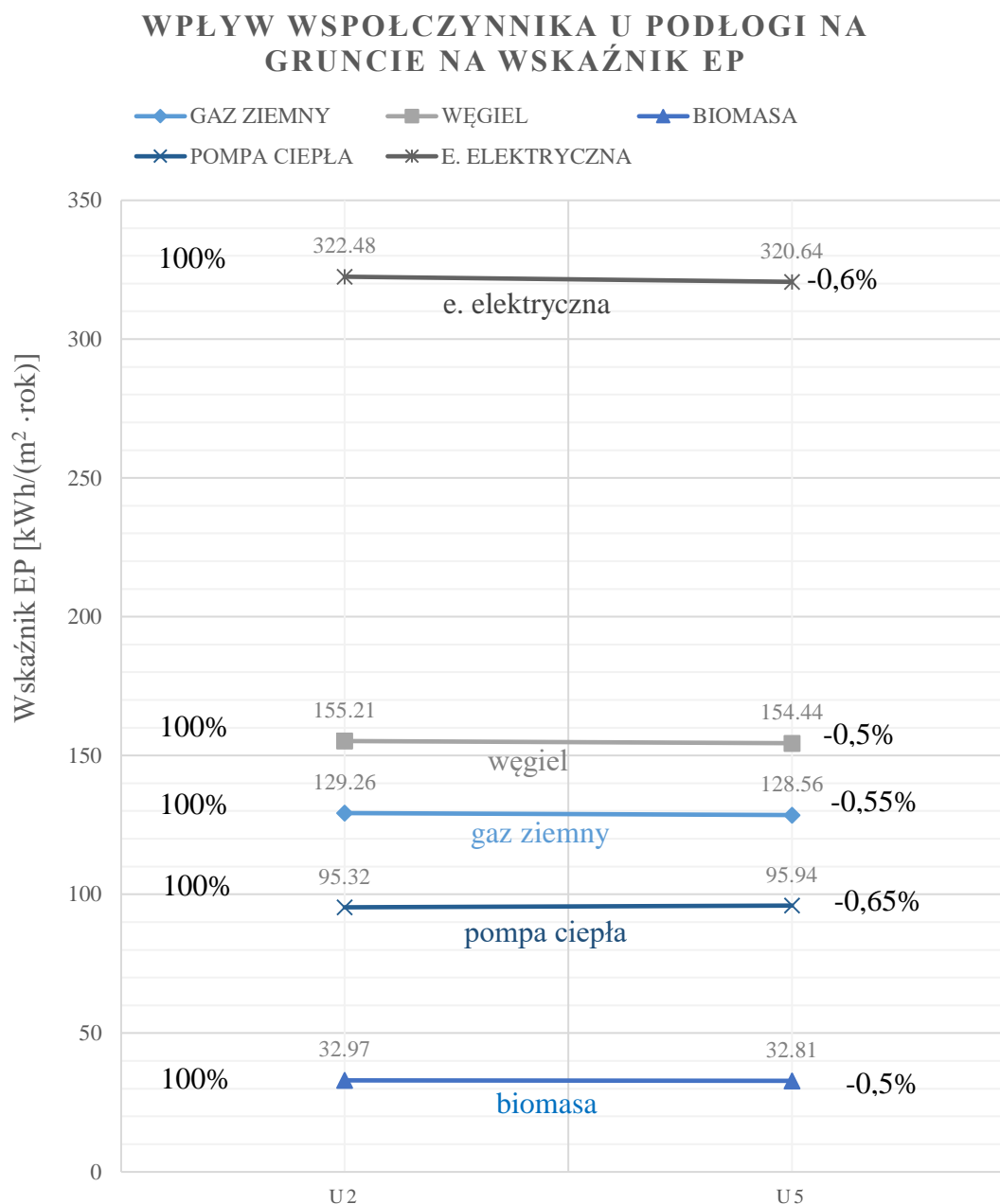
Pompa ciepła- Z4			
Wersja Współczynnika U [W/m ² K]	Wartość wskaźnika EP [kWh/m ² rok]	Udział [%]	Spadek w [%]
U1	68,38	100%	-
U2	68,06	99,5%	- 0,50%
U3	67,46	98,7%	- 1,30 (0,8%)

Energia elektryczna – Z5			
Wersja Współczynnika U [W/m ² K]	Wartość wskaźnika EP [kWh/m ² rok]	Udział [%]	Spadek w [%]
U1	223,23	100%	-
U2	214,6	95,70%	- 4,3%
U3	206,28	92,40%	- 7,6 (3,3%)

Zdecydowanie mniejszy wpływ na wskaźnik EP w porównaniu ze ścianą zewnętrzną ma redukcja współczynnika U dla podłogi na gruncie. Obniżenie jego wartości z poziomu 0,30 do 0,20 W/(m² ·K) redukuje wskaźnik EP o niecałe 0,5%.

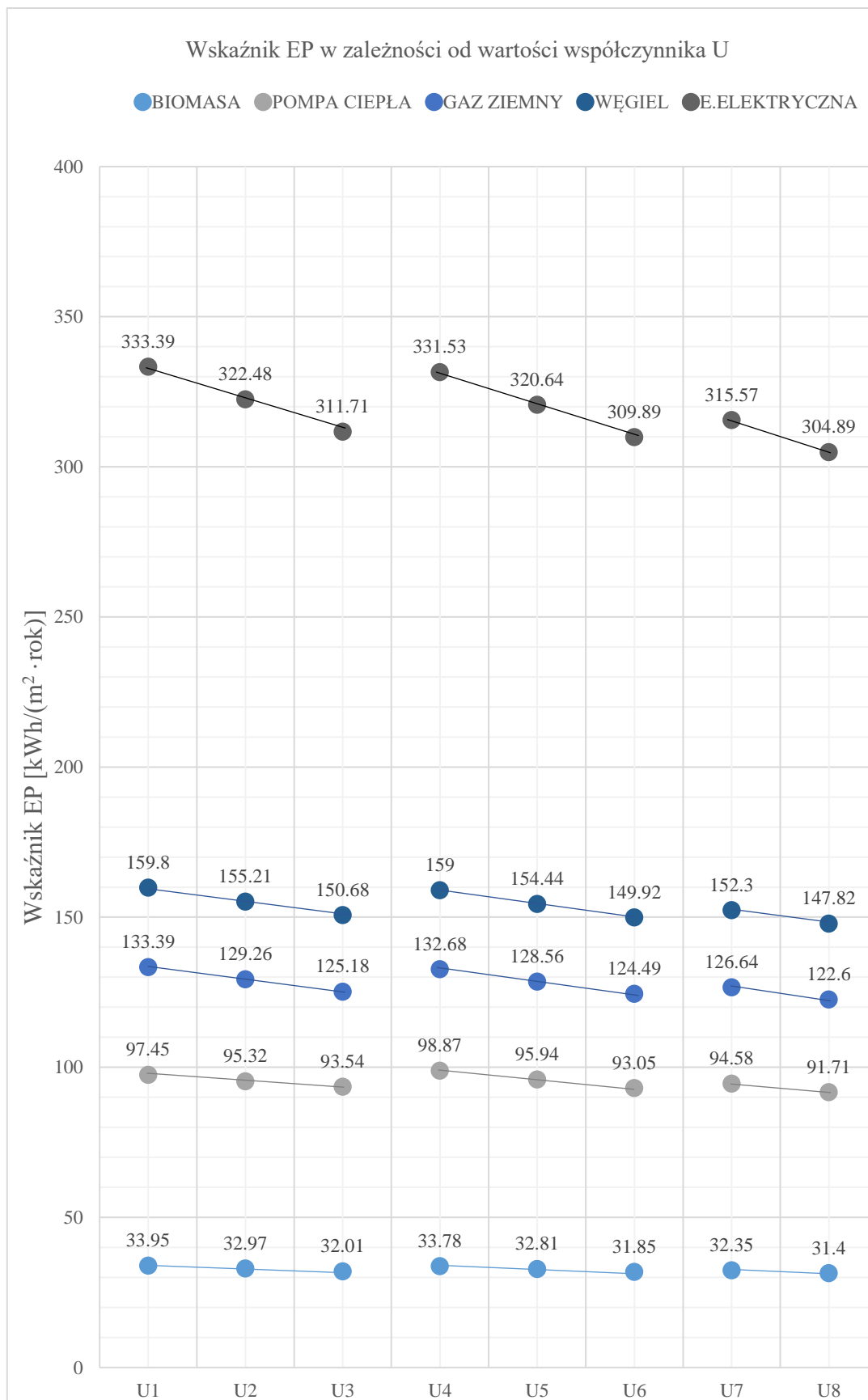


Wykres 71. Zestawienie ogólne wpływu izolacyjności poszczególnych przegród budowlanych na stopień redukcji wskaźnika EP [opracowanie własne]

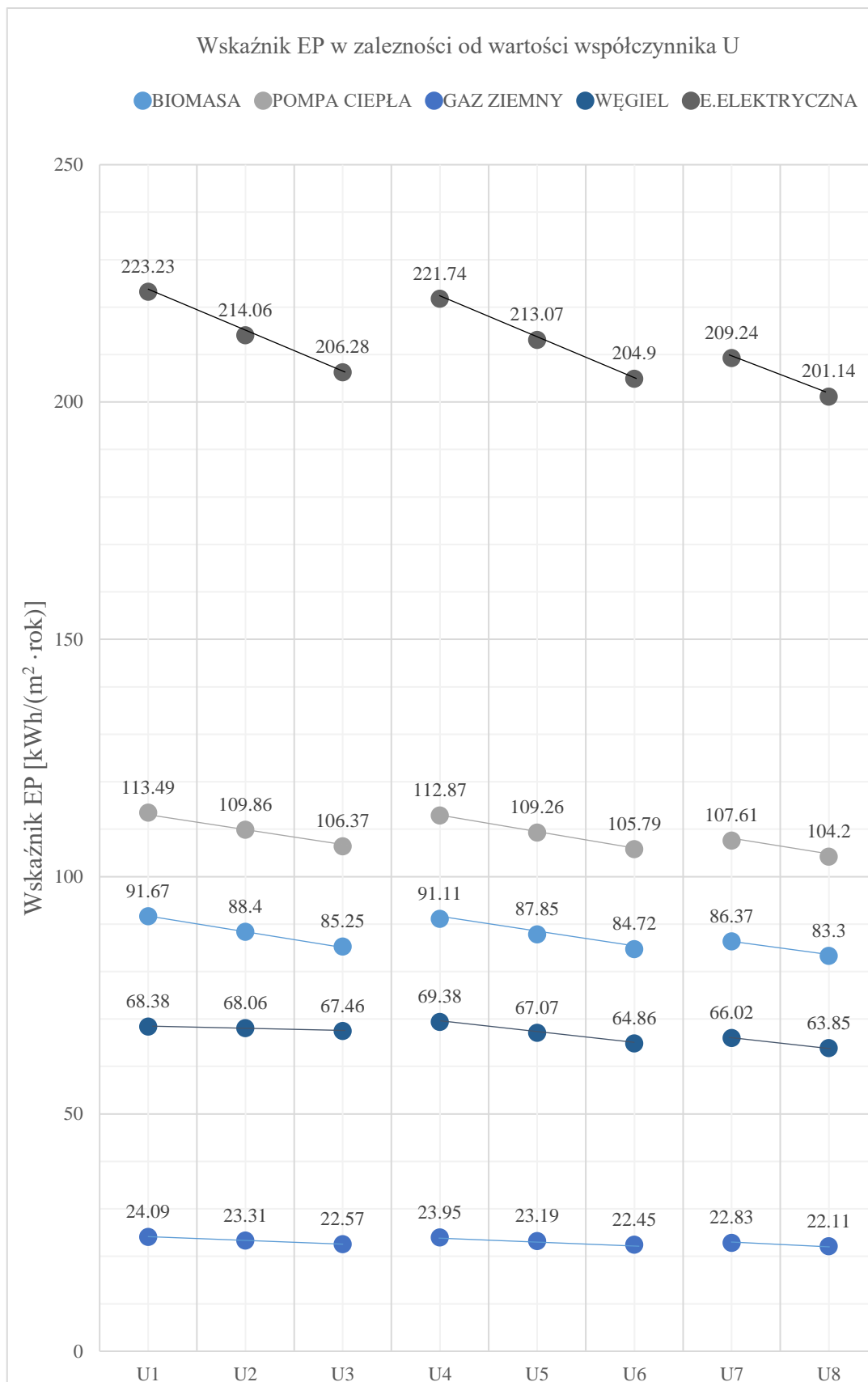


Wykres 72. Wartość wskaźnika EP w zależności od wariantu współczynnika U dla budynku wyposażonego w wentylację mechaniczną [opracowanie własne].

Na poniższym wykresie 73 i 74 przedstawiono całościowe zestawienie wpływu współczynnika U na wskaźnik EP dla budynku mieszkalnego. Na podstawie wyników, zauważono, że największe rezultaty daje obniżenie współczynnika U dla ścian zewnętrznych. Obniżenie jego wartości o $0,04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ daje lepsze rezultaty niż obniżenie współczynnika U podłogi na gruncie o $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Wykazano, że współczynnik U ściany zewnętrznej na poziomie $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, dachu - $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ i podłogi na gruncie - $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ daje lepsze rezultaty niż w przypadku wariantu U7 charakteryzującym się niskimi współczynnikami podłogi na gruncie i dachu na poziomie $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ale ścian zewnętrznych na poziomie $0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Korzystniej do wariantu U7 prezentuje się również wariant U3.



Wykres 73. Całościowe zestawienie wartości wskaźnika EP w zależności od wariantu współczynnika U dla budynku A2 wyposażonego w wentylację grawitacyjną [opracowanie własne].



Wykres 74. Całościowe zestawienie wartości wskaźnika EP w zależności od wariantu współczynnika U dla budynku A2 wyposażonego w wentylację mechaniczną [opracowanie własne].

Najkorzystniejszy z kolei wariant U8, redukuje wskaźnik EP w porównaniu z wariantem najmniej korzystnym U1 w przypadku wentylacji grawitacyjnej w granicach 5,9-8,55% a z wentylacją mechaniczną w granicach 5,6-9,9%.

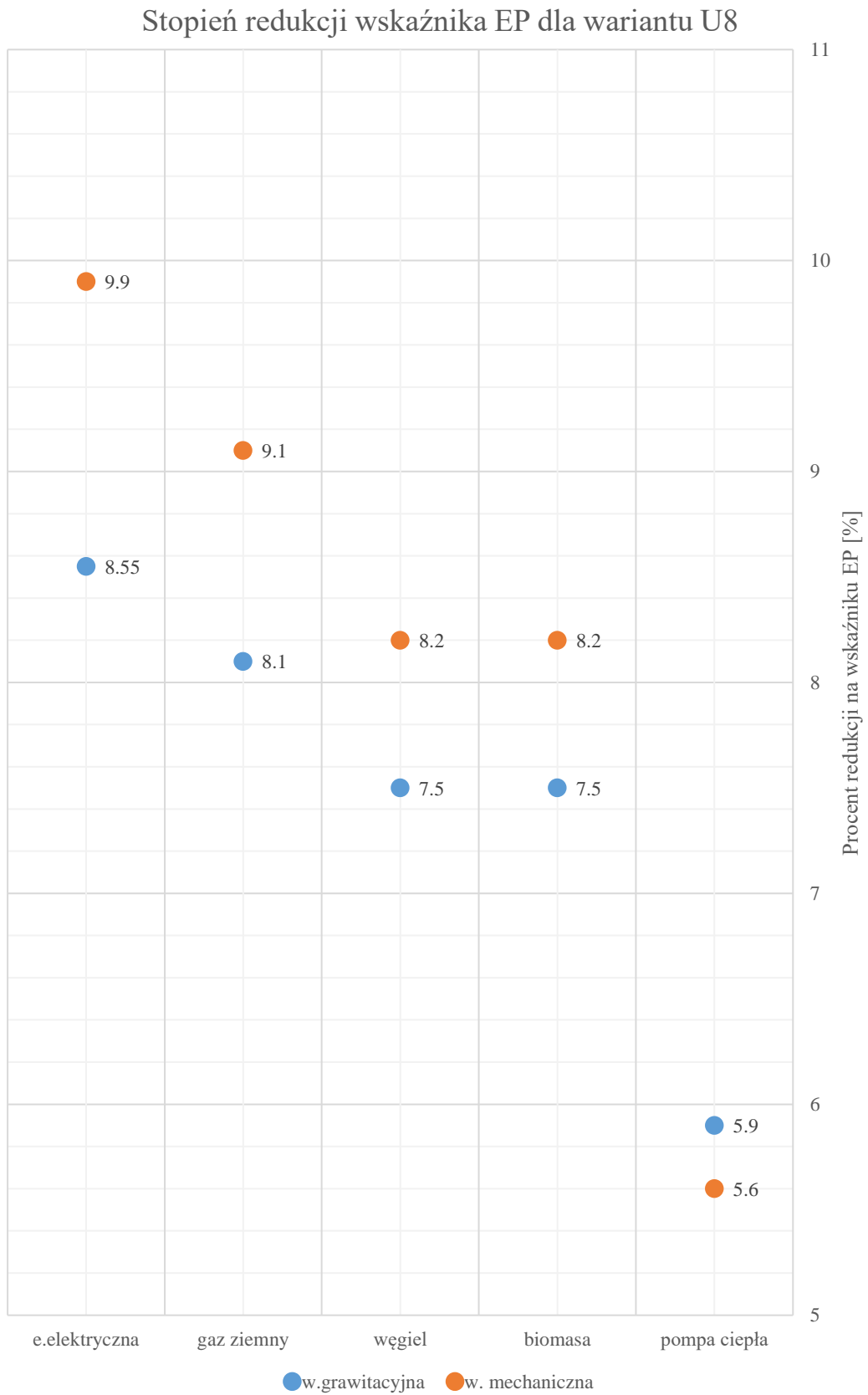
Tabela 20. Wpływ redukcji współczynnika U przegród budowlanych na wskaźnik energii pierwotnej EP budynku A2 z wentylacją grawitacyjną w zależności od źródła ciepła [opracowanie własne].

Gaz ziemny – Z1			
Wersja Współczynnika U [W/m²K]	Wartość wskaźnika EP [kWh/m² rok]	Udział [%]	Spadek w [%]
U1	133,39	100%	-
U8	122,60	91,9%	- 8,1%
Węgiel brunatny – Z2			
Wersja Współczynnika U [W/m²K]	Wartość wskaźnika EP [kWh/m² rok]	Udział [%]	Spadek w [%]
U1	159,8	100%	-
U8	147,82	92,5%	- 7,5%
Biomasa – Z3			
Wersja Współczynnika U [W/m²K]	Wartość wskaźnika EP [kWh/m² rok]	Udział [%]	Spadek w [%]
U1	33,95	100%	-
U8	31,4	92,5%	- 7,5%
Pompa ciepła- Z4			
Wersja Współczynnika U [W/m²K]	Wartość wskaźnika EP [kWh/m² rok]	Udział [%]	Spadek w [%]
U1	97,45	100%	-
U8	91,71	94,1%	- 5,90%
Energia elektryczna – Z5			
Wersja Współczynnika U [W/m²K]	Wartość wskaźnika EP [kWh/m² rok]	Udział [%]	Spadek w [%]
U1	333,39	100%	-
U8	304,89	91,45%	- 8,55%

Tabela 21. Wpływ redukcji współczynnika U przegród budowlanych na wskaźnik energii pierwotnej EP budynku A2 z wentylacją mechaniczną w zależności od źródła ciepła [opracowanie własne].

Gaz ziemny – Z1			
Wersja Współczynnika U [W/m²K]	Wartość wskaźnika EP [kWh/m² rok]	Udział [%]	Spadek w [%]
U1	91,67	100%	-
U8	83,3	90,9%	- 9,1%
Węgiel brunatny – Z2			
Wersja Współczynnika U [W/m²K]	Wartość wskaźnika EP [kWh/m² rok]	Udział [%]	Spadek w [%]
U1	113,49	100%	-
U8	104,2	91,8%	- 8,2%
Biomasa – Z3			
Wersja Współczynnika U [W/m²K]	Wartość wskaźnika EP [kWh/m² rok]	Udział [%]	Spadek w [%]
U1	24,09	100%	-
U8	22,11	91,8%	-8,2 %
Pompa ciepła- Z4			
Wersja Współczynnika U [W/m²K]	Wartość wskaźnika EP [kWh/m² rok]	Udział [%]	Spadek w [%]
U1	68,38	100%	-
U8	63,85	94,4%	- 5,60%
Energia elektryczna – Z5			
Wersja Współczynnika U [W/m²K]	Wartość wskaźnika EP [kWh/m² rok]	Udział [%]	Spadek w [%]
U1	223,23	100%	-
U8	201,14	90,10%	- 9,9%

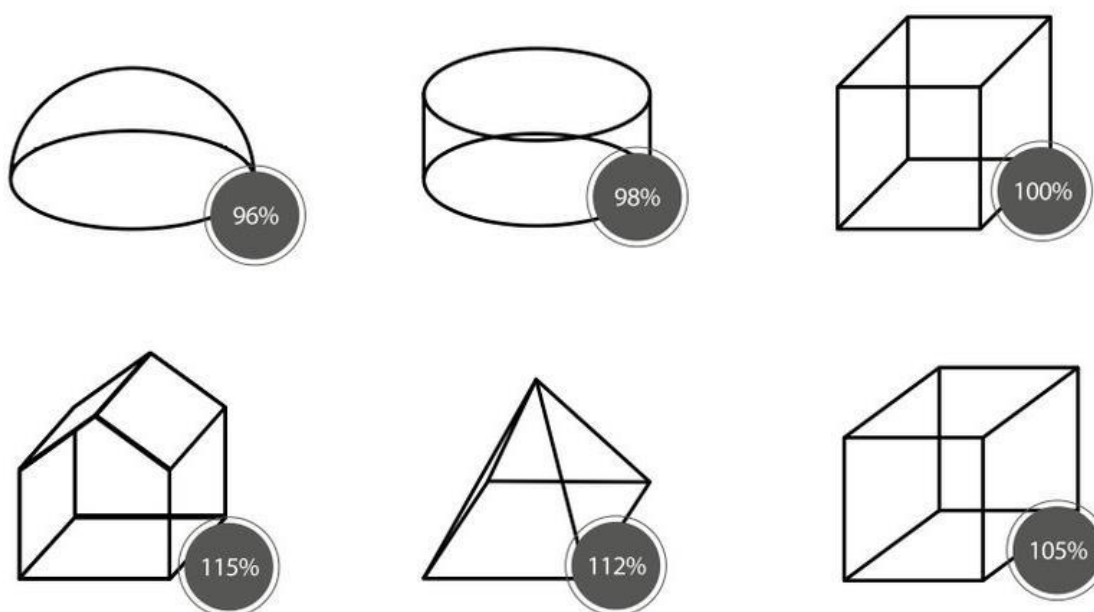
Z przeprowadzonych badań wynika, że procent zmniejszenia wskaźnika EP w różnych wariantach izolacyjności cieplnej przegród zależy również od zastosowanego w obiekcie źródła ciepła i systemu wentylacji. Zastosowane materiały mają największe znaczenie w przypadku ogrzewania elektrycznego a najmniejsze w przypadku pompy ciepła. Wentylacja mechaniczna w 4 z 5 analizowanych źródeł (oprócz pompy ciepła) przynosi większe korzyści niż wentylacja grawitacyjna.



Wykres 75. Stopień możliwej redukcji wskaźnika EP [opracowanie własne]

4.6 Architektura obiektu – współczynnik kształtu A/V

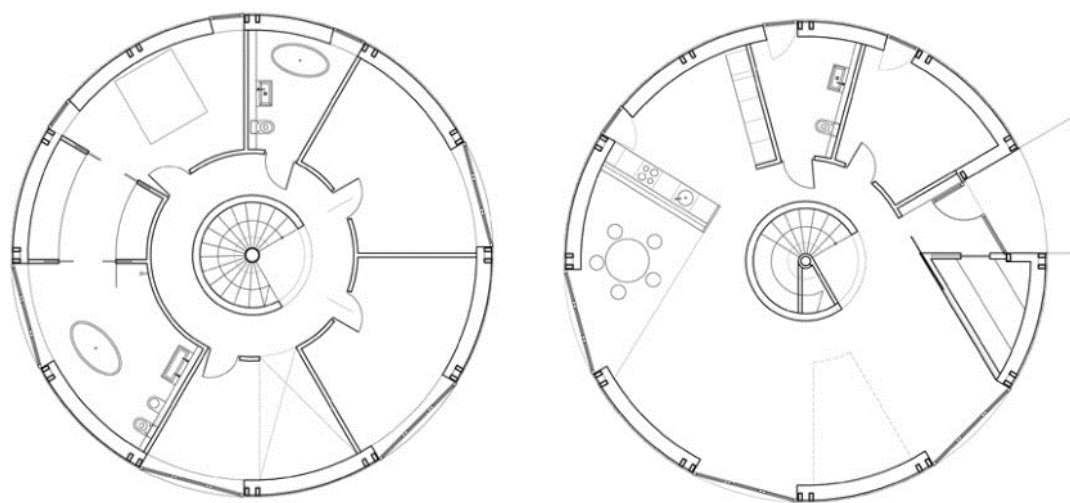
Obecne budynki powinny być projektowane jako energooszczędne a sprzyja temu bryła zwarta o jak najmniejszej powierzchni wymiany ciepła przez przegrody zewnętrzne z otoczeniem. Architekci na etapie projektowym mogą kształtować budynki w dowolny sposób stosując wiele różnych rozwiązań architektonicznych. Obiekty te mogą różnić się bryłą, kształtem i kątem dachu czy ilością kondygnacji. Każdy z tych czynników ma wpływ na końcową energooszczędność budynku. Aby określić energochłonność obiektów pomocny jest współczynnik kształtu A/V, który opisuje stosunek powierzchni przegród zewnętrznych do kubatury budynku co potwierdzają badania⁷⁸.



Ilustracja 52. Wpływ kształtu obiektu na zużycie energii [źródło: <https://www.archipelag.pl/abc-budowy-1/buduj-energooszczednie-1/architektura?Article=%40bryla-domu-energooszczednego.html>, dostęp 01.05.2022]

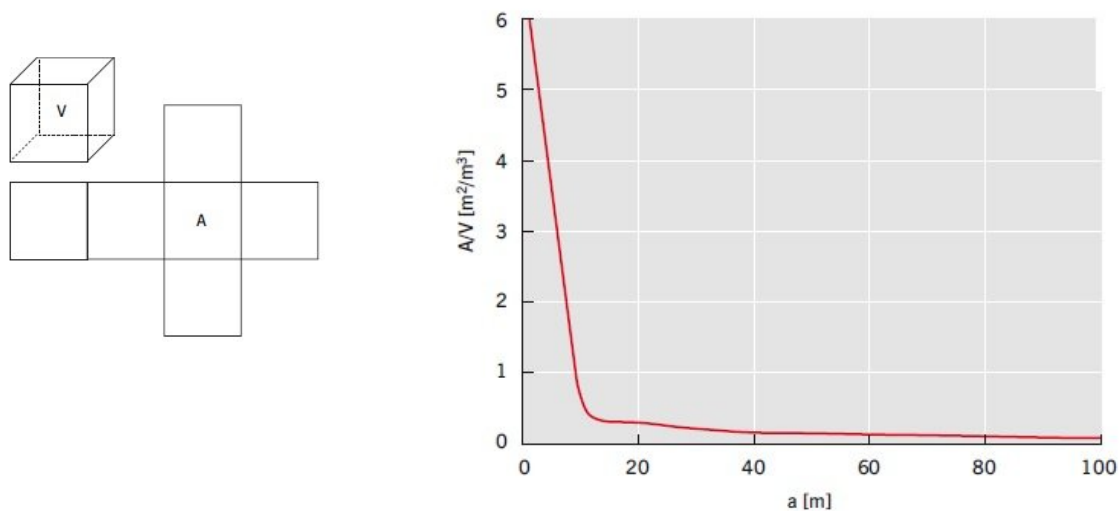
Najkorzystniejszą formą obiektu pod względem energetycznym jest kula bądź walec, jednak ze względów technologicznych rzadko spotykana w budownictwie. Jako jeden z nielicznych architektów propozycję okrągłego domu przedstawił Robert Konieczny w projekcie domu typowego. Okrągła forma obiektu wynikała z chęci stworzenia domu uniwersalnego pasującego do każdego rodzaju działki a tym samym charakteryzującego się bardzo dobrymi właściwościami termicznymi i minimalizacją mostków termicznych.

⁷⁸ Kaczmarzyk M., Wpływ współczynnika kształtu a/v na wielkość strat ciepła w budynku w świetle rosnących wymogów dotyczących izolacyjności termicznej przegród budowlanych, Czasopismo inżynierii lądowej, środowiska i architektury, JCEEA, t. XXXIV, z. 64 (2/II/17), kwiecień-czerwiec 2017, s. 45-54



Ilustracja 53. Dom Typowy Roberta Koniecznego [źródło: <https://archinea.pl/dom-typowy-robert-konieczny-kwk-promes/> dostęp: 18.05.2022r]

Domy na planie koła należą jednak do rzadkości a najczęściej wybierane są plany w formie zbliżonym do prostokąta bądź kwadratu z różnie rozbudowaną formą architektoniczną. Z pośród nich najmniejszym współczynnikiem kształtu charakteryzują się większe budynki o kształcie zbliżonym do sześcianu. Jak przedstawia ilustracja 53 współczynnik A/V maleje wraz ze wzrostem wymiarów budynku.



Ilustracja 54. Wpływ szerokości boku sześcianu na współczynnik kształtu A/V [źródło: <https://www.izolacje.com.pl/artukul/prawo-ekonomia-rynek/166651,projektowanie-budynkow-niskoenergetycznych#image-4>, dostęp 02.05.2022r]

Przykładem budynku jednorodzinnego o zwartej formie zbliżonej do sześcianu jest Dom Rozcięty projektu pracowni PL.architekci zlokalizowany w Poznaniu. Minimalistyczna i prosta bryła obiektu została doceniona, a sam budynek otrzymał Nagrodę Roku SARP 2021 w kategorii „Dom jednorodzinny”.



Ilustracja 55. Dom Rozcięty projektu pracowni PL.architekci [źródło: https://architektura.muratorplus.pl/galeria/poz_4-dom-rozciety-w-poznaniu-projektu-plarchitekci,11481/5687/64162/, dostęp: 18.05.2022r]

Przykładem domu jednorodzinnego o zwartej bryle ale bardziej rozbudowanej formie dachu jest projekt mikrokamienicy biura BXB studio Bogusław Barnaś. Mimo prostej formy obiekt cechuje się oryginalnością poprzez zastosowanie nietypowego ułożenia cegieł na przestrzennej elewacji budując tym samym światłocień.



Ilustracja 56. Mikrokamienica biura BXB studio Bogusław Barnaś [źródło: <https://muratorodom.pl/przedbudowa/prezentacje-domow/top-10-1-najciekawsze-domy-zbudowane-w-2021-roku-aa-7Qm4-LkHk-Q2Uh.html>, dostęp: 18.05.2022r]

Energooszczędność w dużej mierze zależy od kształtu budynku i łatwiej ją uzyskać w budynkach piętrowych o prostej konstrukcji dachu a niżeli w domach parterowych czy o skomplikowanej połaci dachowej. Jednakże utrzymanie prostoty formy często kojarzone jest z nudą, przez co architekci poszukują bardziej rozbudowanych form obiektów. Przykładem są projekty domów pracowni REFORM Architekt Group jak Perfect house nagrodzony główną nagrodą European Property Awards 2021-2022 w kategorii najlepszy dom w Polsce czy Lakeside house nagrodzony tą samą nagrodą rok wcześniej. Cechują się one minimalizmem w połączeniu ze zwiększoną złożonością formy. Delikatne rozrzeźbianie zwartych form architektonicznych przedstawiają również architekci z pracowni Z3Z ARCHITEKCI w projektach takich jak „Dom pośród drzew” czy „Ceglany dom w lesie”.



Ilustracja 57. Perfect house pracowni REFORM Architekt Group [źródło:<https://reformarchitekt.pl/projekt/re-perfect-house/> dostęp: 18.05.2022r]



Ilustracja 58. Lakeside house pracowni REFORM Architekt Group [źródło:<https://reformarchitekt.pl/projekt/re-lakeside-house/> dostęp: 18.05.2022r]



Ilustracja 59. Dom pośród drzew pracowni Z3Z ARCHITEKCI [źródło: <https://www.archdaily.com/963518/house-blended-into-the-forest-z3z-architekci/60cab81e9814550164f9659d-house-blended-into-the-forest-z3z-architekci-photo>, dostęp 15.05.2022r]



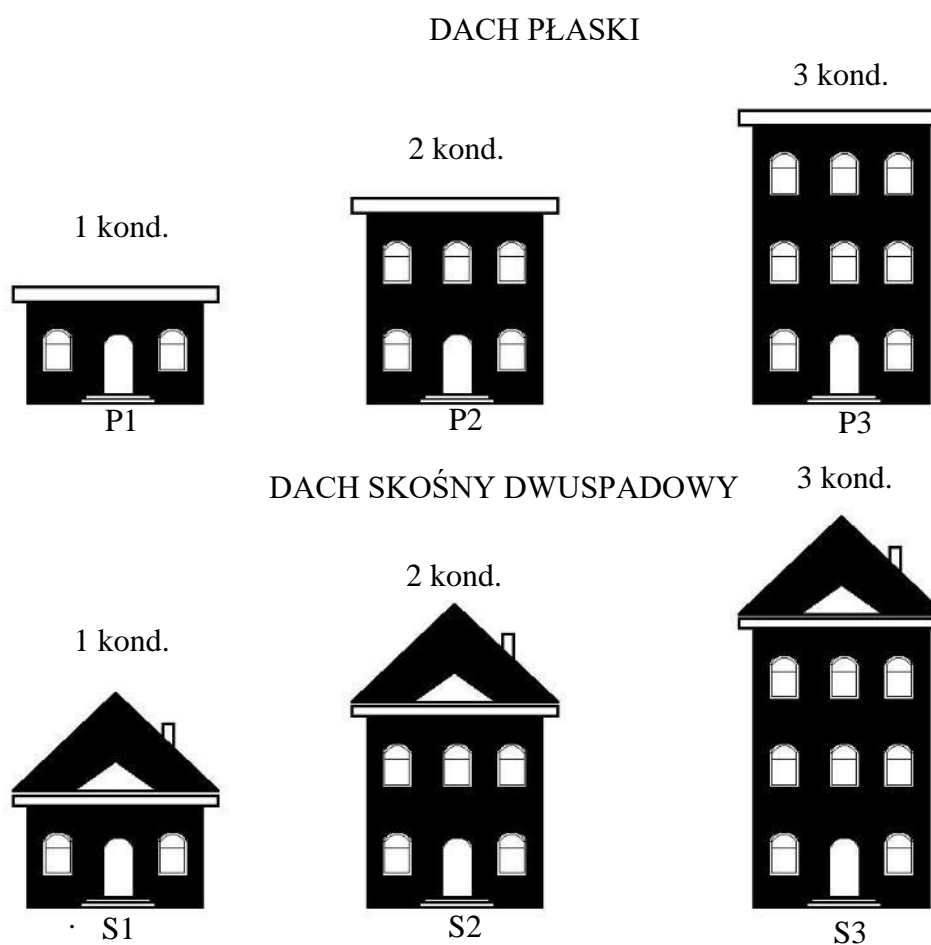
Ilustracja 60 Dom ceglany pracowni Z3Z ARCHITEKCI [źródło: <https://archinea.pl/ceglany-dom-w-lesie-pracowni-z3z-architekci/>, dostęp 15.05.2022r]

Podczas procesu projektowania architektura obiektu i jej układ funkcjonalny pełnią nadrzędną rolę, natomiast wybór zastosowanego źródła ciepła czy wentylacji ograniczał się tylko do wyznaczenia odpowiedniego miejsca w budynku. W poniższych badaniach starano się sprawdzić czy chęć zastosowania konkretnego źródła ciepła będzie determinowała w jakimś stopniu architekturę obiektu. W trakcie obliczeń operowano na dwóch wariantach bazowych. Pierwszy wariant dotyczył budynków z płaskim dachem, drugi natomiast z dachem skośnym dwuspadowym. Każdy z nich analizowano w 3 wariantach wysokościowych: parterowy, 2 kondygnacyjny i 3 kondygnacyjny oraz różnych charakterystycznych wartościach współczynnika A/V. W badaniach skupiono się na dwóch typach źródła ciepła: ogrzewaniu gazowym i elektrycznym pompą ciepła w połączeniu z wentylacją mechaniczną. Z przeprowadzonych wcześniej badań wynika, iż są to najchętniej wybierane systemy w nowoczesnym budownictwie cieszące się zadowoleniem i komfortem użytkownika. Docelowo starano się wyznaczyć maksymalne wartości współczynnika kształtu obiektu, które pozwolą na ich zastosowanie.

Głównym elementem zmiennym w obliczeniach był współczynnik kształtu A/V. Na potrzeby obliczeń przyjęto przykładowe wymiary obiektu charakteryzujące się podanym współczynnikiem. Założono, iż powierzchnie szklane stanowią 1/8 powierzchni podłogi i ich lokalizację od strony południowej w co najmniej 80%. Warianty przeanalizowano w dwóch wariantach izolacyjności przegród budowlanych U1 i U8.

Tabela 22. Spis dobranych parametrów dla analizowanych wariantów współczynnika U [opracowanie własne]

Wariant	Współczynnik przenikania ciepła przegród zewnętrznych U [W/m^2K]			
	Ściana zewnętrzna	Podłoga na gruncie	Dach	okna
U1	0,20	0,30	0,15	0,8
U8	0,12	0,12	0,12	0,8



Ilustracja 61. Modelowe przedstawienie analizowanych wariantów architektury obiektu [opracowanie własne]

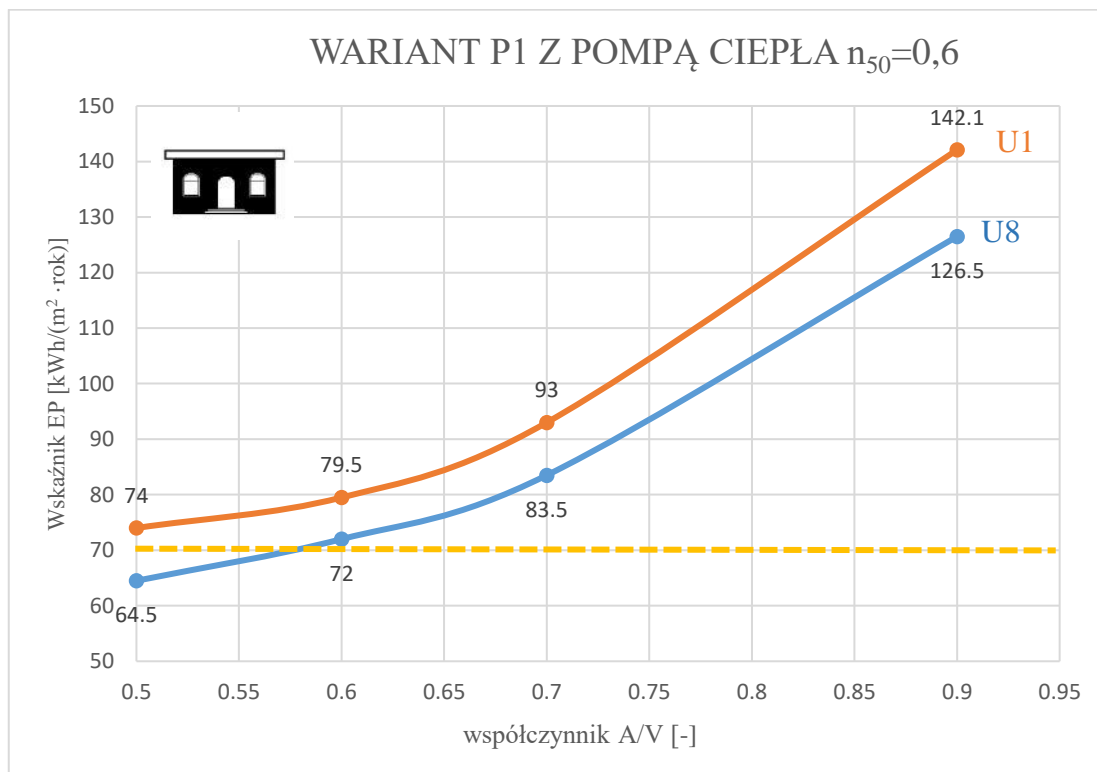
W pierwszej kolejności sprawdzono jak wartość współczynnika A/V kształtuje zużycie energii pierwotnej w budynkach z płaskim dachem. Przeanalizowano 3 wielkości obiektu charakteryzujące się różną ilością kondygnacji. Ze względu na prowadzenie badań na obiektach mieszkalnych jednorodzinnych przyjęto budynki jedno, dwu i trzy kondygnacyjne.

Tabela 23. Zestawienie analizowanych parametrów budynku.

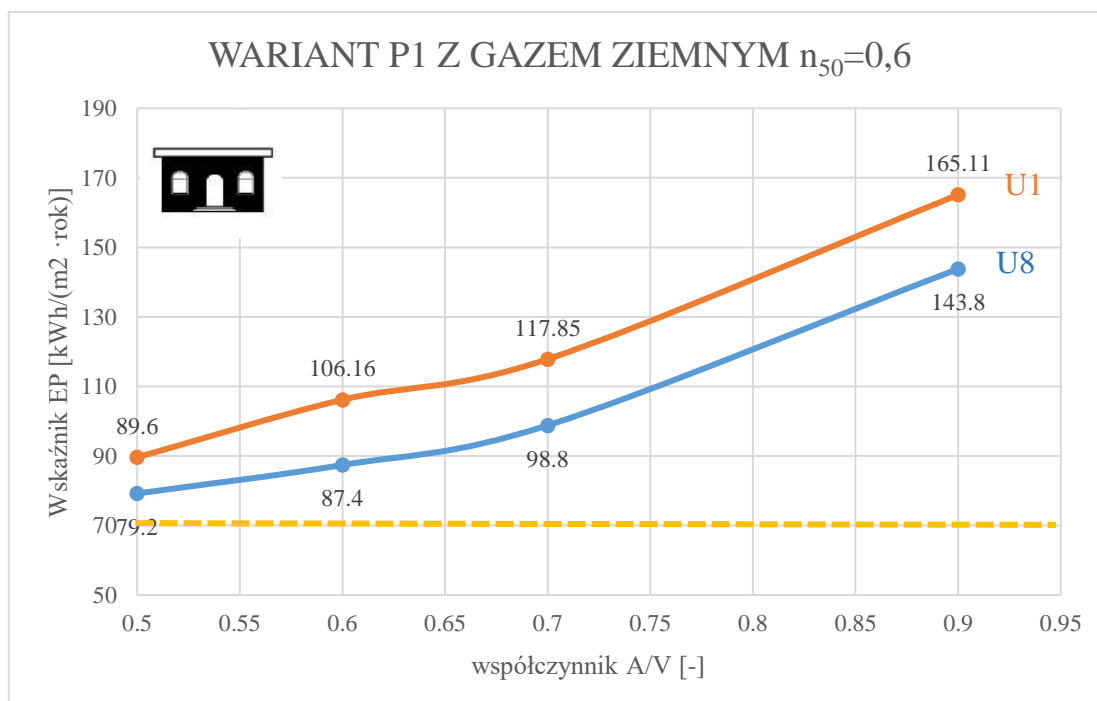
DACH PŁASKI			
wariant	Orientacyjne parametry		Wsp. A/V
	wysokość	kubatura	
BUDYNEK JEDNOKONDYGNACYJNY			
P1.1	4,5	1550	0,50
P1.2	4,5	754	0,60
P1.3	4,5	801	0,70
P1.4	4,5	440	0,90
BUDYNEK DWUKONDYGNACYJNY			
P2.1	7,5	3575	0,40
P2.2	7,5	1580	0,50
P2.3	7,5	1085	0,60
P2.4	7,5	923	0,70
BUDYNEK TRZYKONDYGNACYJNY			
P3.1	9	3570	0,35
P3.2	9	2424	0,45
P3.3	9	1411	0,55
P3.4	9	932	0,65
DACH SKOŚNY DWUSPADOWY			
wariant	Orientacyjne parametry		Wsp. A/V
	wysokość	kubatura	
BUDYNEK JEDNOKONDYGNACYJNY			
S1.1	4,5	1214	0,7
S1.2	4,5	820	0,9
S1.3	4,5	414	1,1
BUDYNEK DWUKONDYGNACYJNY			
S2.1	7,5	1520	0,45
S2.2	7,5	809	0,55
S2.3	7,5	550	0,60
BUDYNEK TRZYKONDYGNACYJNY			
S3.1	9	2211	0,45
S3.2	9	1317	0,50
S3.3	9	1379	0,60
S3.4	9	1446	0,70

Jak wykazały badania budynki parterowe z płaskim dachem cechują się dość wysokimi wskaźnikami zużycia energii pierwotnej pomimo zachowania dość zwartej bryły budynku. Zastosowanie pompy ciepła o średniej wydajności w takim budynku wymagać będzie zaprojektowania budynku o wysokiej izolacyjności cieplnej i wysokiej szczelności przy zachowaniu bardzo zwartej formy kształtując maksymalny współczynnik kształtu na poziomie 0,57. Stosując maksymalne dopuszczalne współczynniki przenikania ciepła U, należało by zmniejszyć współczynnik A/V do wartości poniżej 0,5.

Przy zmianie sposobu ogrzewania na gaz ziemny budynki nawet z bardzo dobrą izolacyjnością przegród zewnętrznych i współczynnikiem kształtu poniżej 0,5 nie spełniają wymagań wskaźnika EP. Ukształtowanie obiektów parterowych cechujących się współczynnikiem A/V poniżej wartości 0,4 jest bardzo trudne do wykonania, dlatego na podstawie badań można stwierdzić, że w budynkach parterowych z płaskim dachem nie będzie możliwe stosowanie gazu ziemnego.

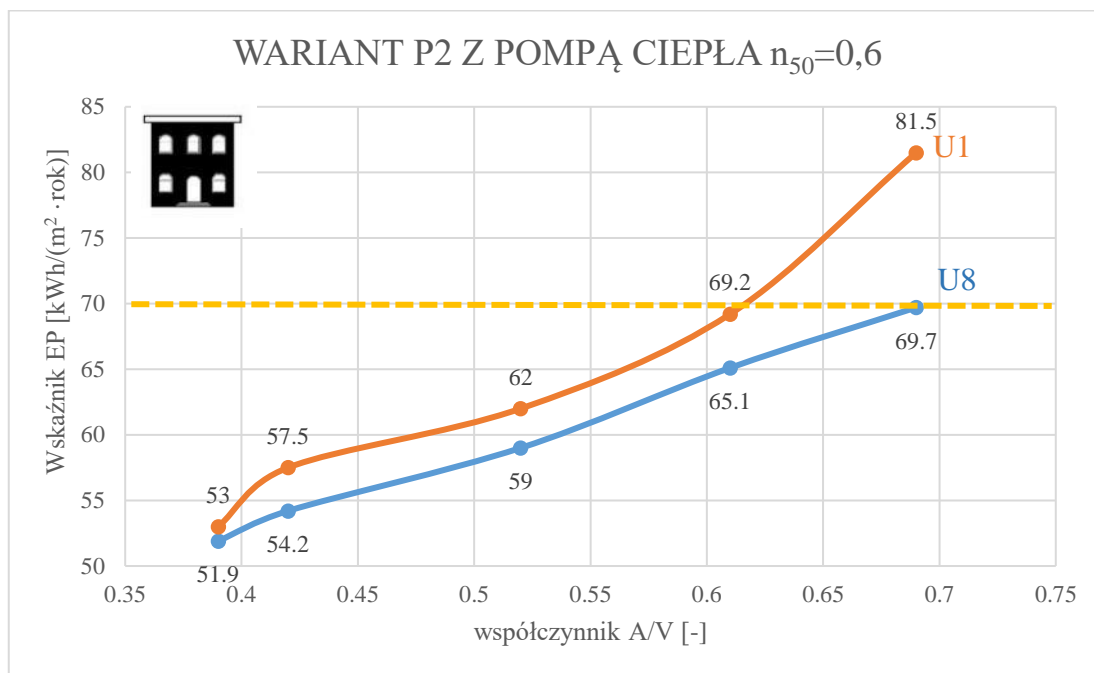


Wykres 76. Zestawienie wyników dla budynku jednokondygnacyjnego z dachem płaskim i pompą ciepła [opracowanie własne]

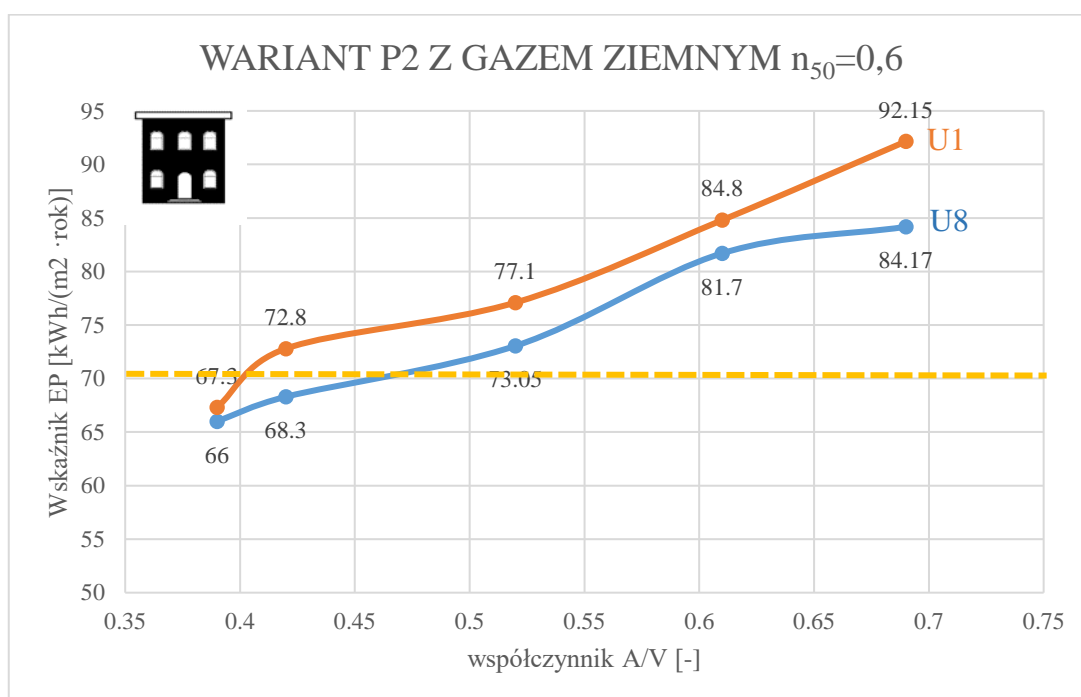


Wykres 77. Zestawienie wyników dla budynku jednokondygnacyjnego z dachem płaskim i gazem ziemnym [opracowanie własne]

Budynki dwukondygnacyjne cechują się korzystniejszymi parametrami współczynnika A/V co ma również bezpośredni wpływ na zmniejszenie się wskaźnika EP. Zastosowanie pompy ciepła w przypadku bardzo dobrej izolacji przegród (wariant U8) wymagać będzie współczynnika kształtu poniżej wartości 0,7, natomiast w przypadku wariantu U1 zbliżenia współczynnika A/V do wartości 0,60. W przypadku gazu ziemnego architektura obiektu powinna cechować się zdecydowanie wyższą zawartością bryły na poziomie A/V= 0,45 dla U8 i 0,4 dla U1.

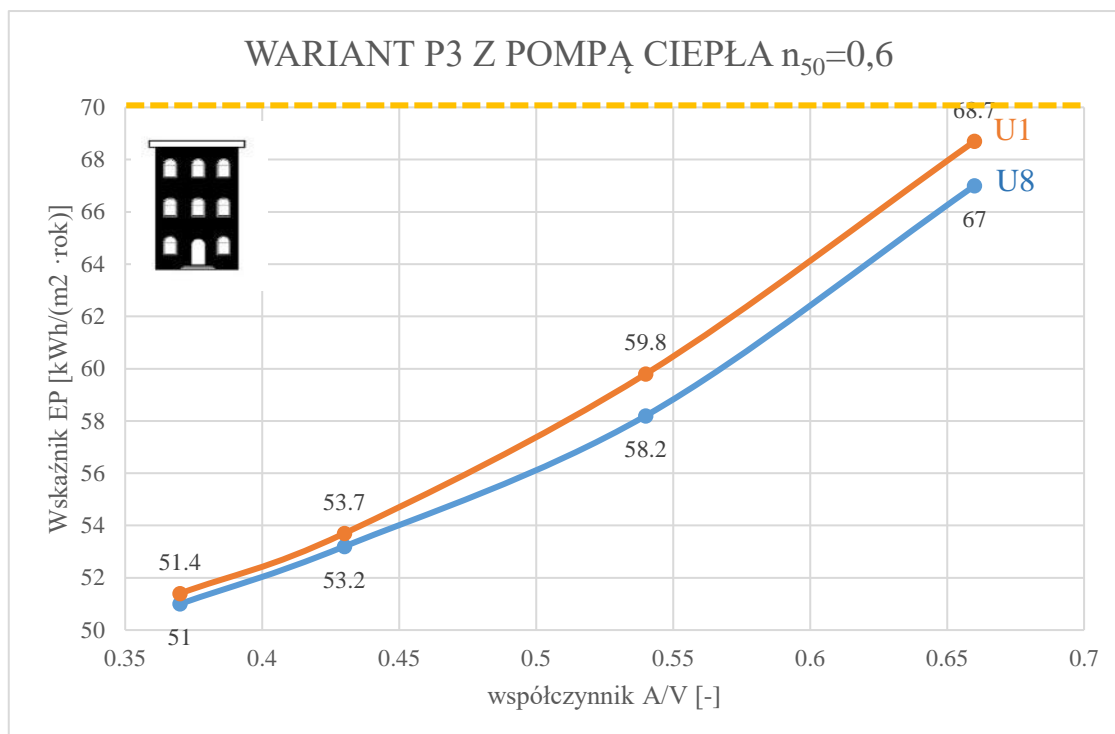


Wykres 78. Zestawienie wyników dla budynku dwukondygnacyjnego z dachem płaskim i pompą ciepłą [opracowanie własne]

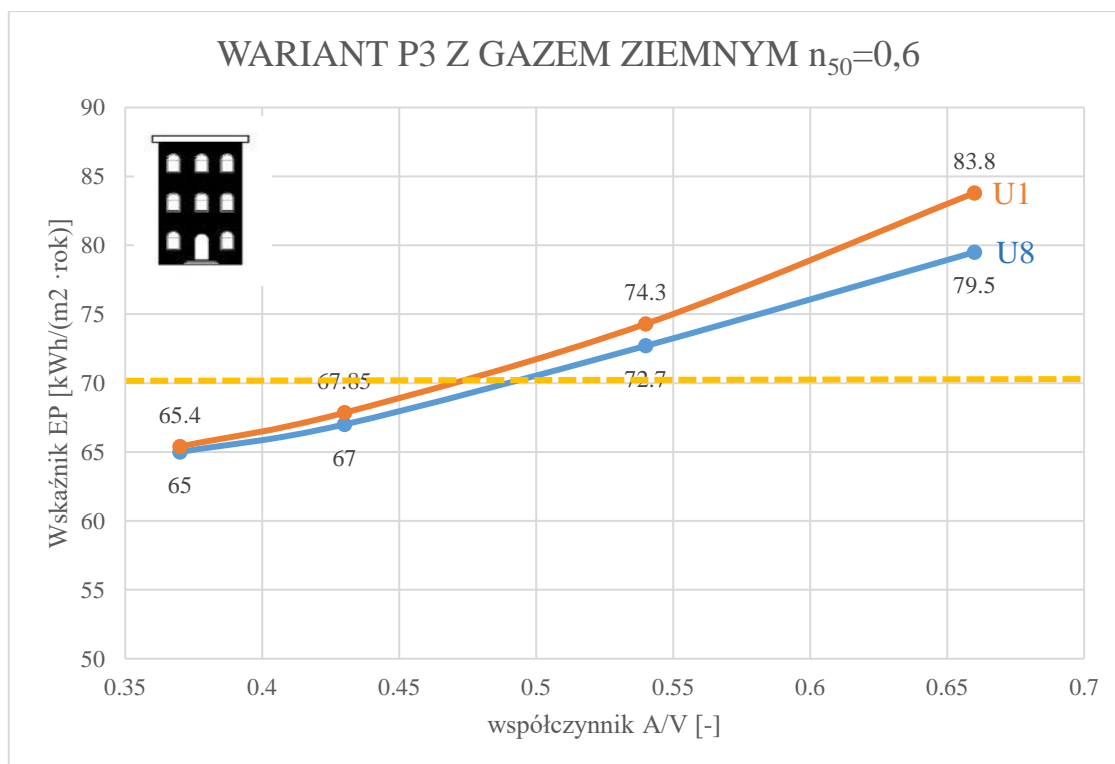


Wykres 79. Zestawienie wyników dla budynku dwukondygnacyjnego z dachem płaskim i gazem ziemnym [opracowanie własne]

Dodanie trzeciej kondygnacji do budynku i kształtując bryłę budynku do współczynnika A/V mniejszego niż 0,68 (U1) – 0,7 (U8) pozwala na zastosowanie pompy ciepła, natomiast gaz ziemny wymagałby z kolei parametru A/V w granicach 0,55(U1) – 0,58 (U8).

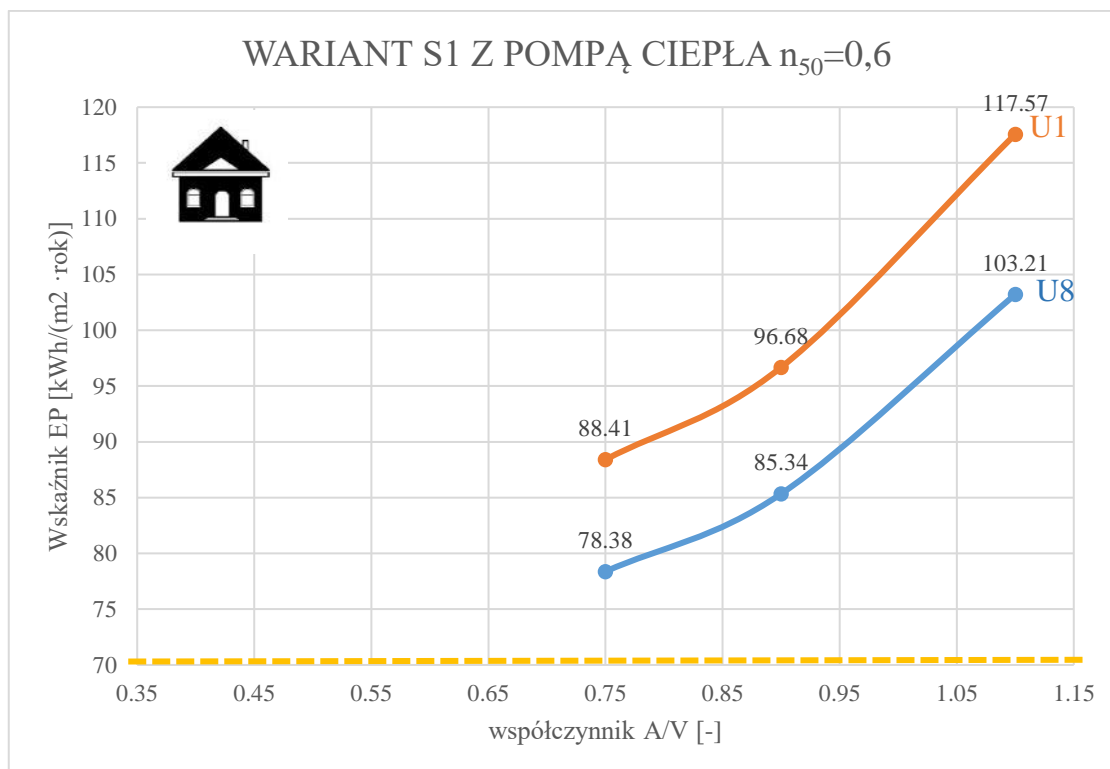


Wykres 80. Zestawienie wyników dla budynku trzykondygnacyjnego z dachem płaskim i pompą ciepła [opracowanie własne]

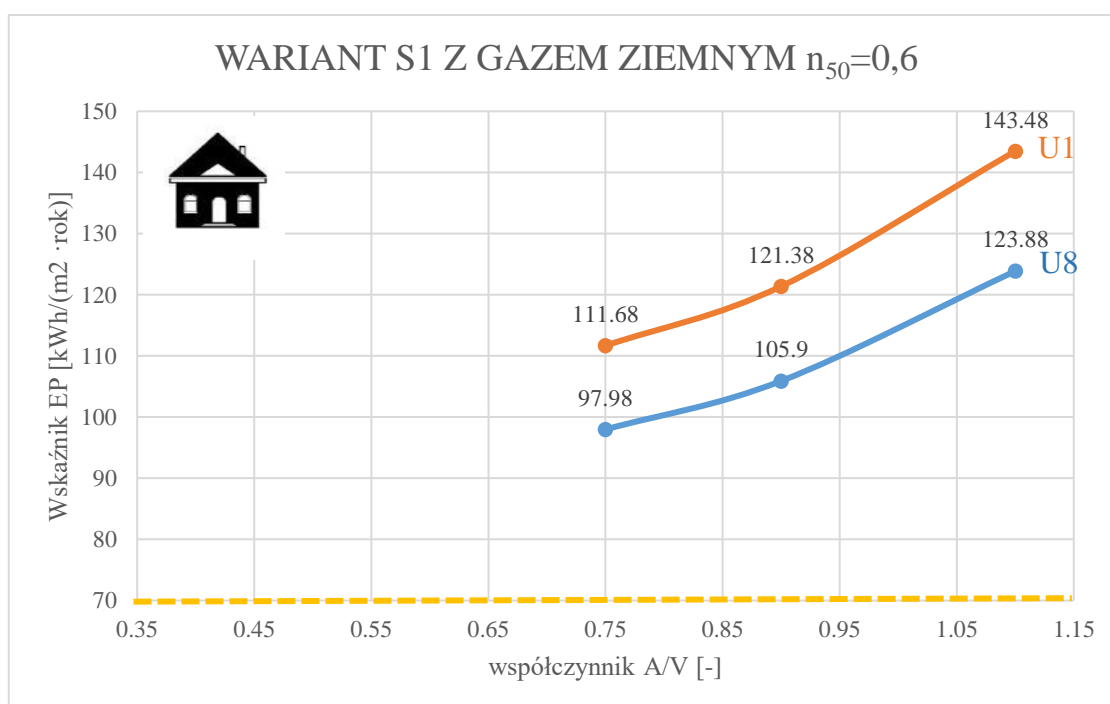


Wykres 81. Zestawienie wyników dla budynku trzykondygnacyjnego z dachem płaskim i gazem ziemnym [opracowanie własne]

Kształtując architekturę budynku ze skośnym dachem trudniej jest uzyskać niskie współczynniki kształtu. Dla budynków parterowych ze skośnym dachem dla najniższego uzyskanego w badaniach współczynnika A/V na poziomie 0,75 nie udało się otrzymać wskaźnika EP poniżej wymaganej wartości 70 zarówno dla pompy ciepła, jak i gazu ziemnego.

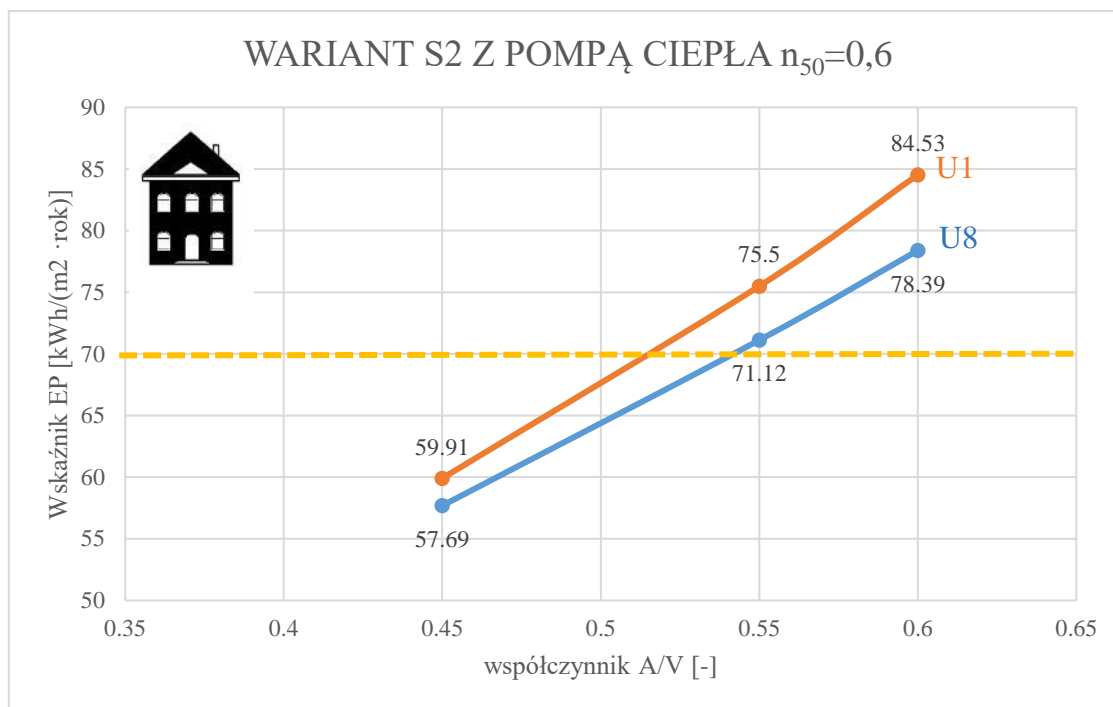


Wykres 82. Zestawienie wyników dla budynku jednokondygnacyjnego z dachem skośnym i pompą ciepła [opracowanie własne]

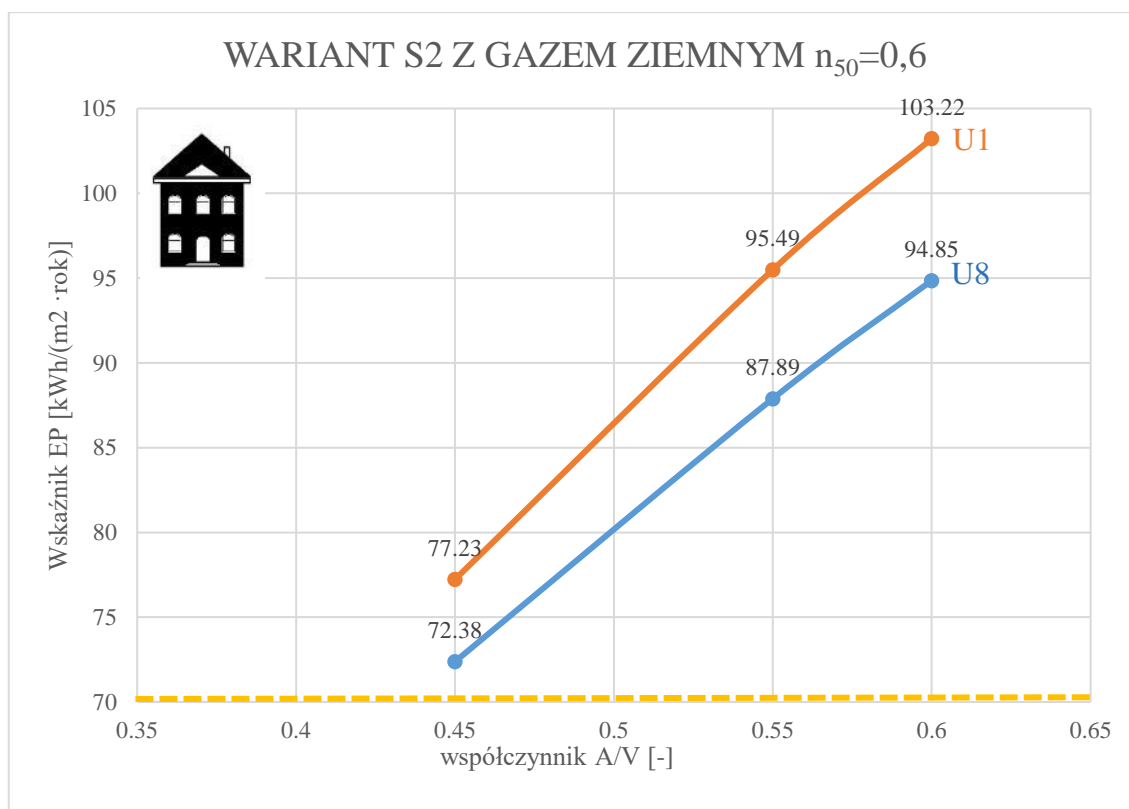


Wykres 83. Zestawienie wyników dla budynku jednokondygnacyjnego z dachem skośnym i gazem ziemnym [opracowanie własne]

W przypadku najczęściej projektowanych obiektów parterowych z użytkowym poddaszem zastosowanie pompy ciepła wymagać będzie budynków zwartych ze współczynnikiem A/V mniejszym niż 0,52 (U1) - 0,55 (U8), a gazu ziemnego poniżej 0,43 (U8).

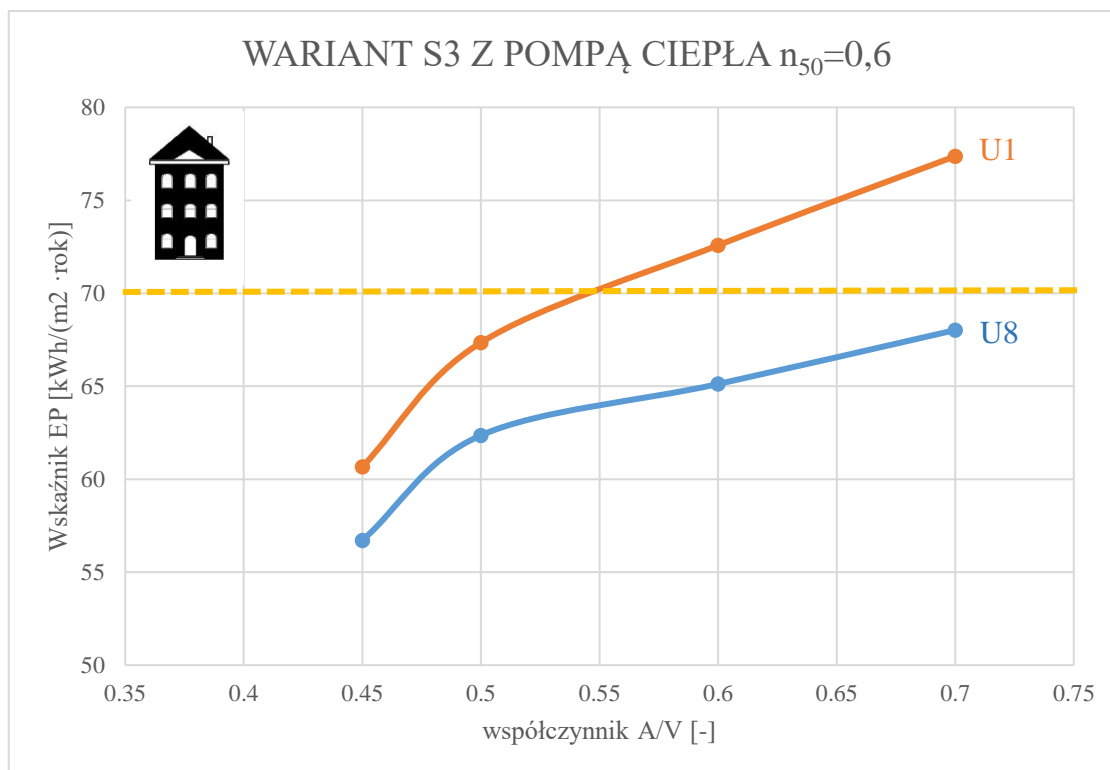


Wykres 84. Zestawienie wyników dla budynku dwukondygnacyjnego z dachem skośnym i pompą ciepła [opracowanie własne]

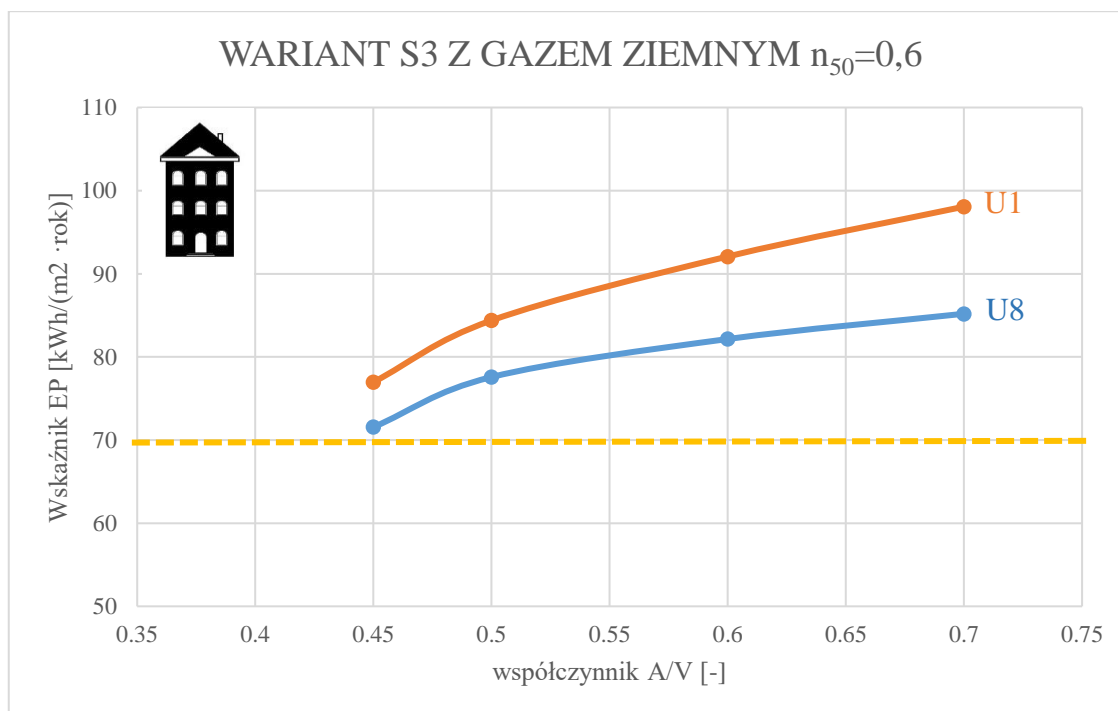


Wykres 85. Zestawienie wyników dla budynku dwukondygnacyjnego z dachem skośnym i gazem ziemnym [opracowanie własne]

Zastosowanie pompy ciepła w budynku trzy kondygnacyjnym ze skośnym dachem będzie wymagało kształtowania bryły do poziomu $A/V = \max 0,55 (U1) - 0,75(U8)$. Ogrzewanie gazowe natomiast zdecydowanie bardziej zwartej bryły na poziomie $0,4 (U1) - 0,5 (U8)$.



Wykres 86. Zestawienie wyników dla budynku trzykondygnacyjnego z dachem skośnym i pompą ciepłą [opracowanie własne]

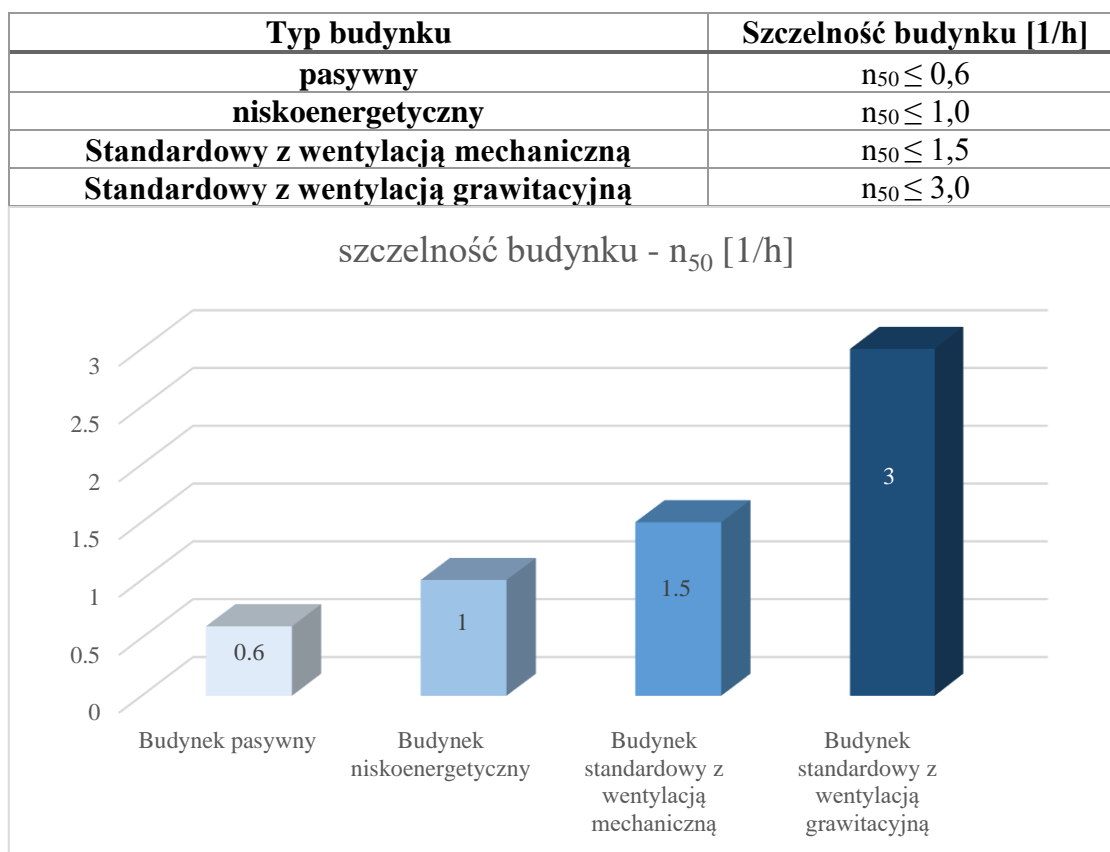


Wykres 87. Zestawienie wyników dla budynku trzykondygnacyjnego z dachem skośnym i gazem ziemnym [opracowanie własne]

4.7 Szczelność obiektu

Nierozłącznym elementem powiązaniem z wentylacją obiektu jest jego szczelność, której wymogi określone są w rozporządzeniu⁷⁹. Mianem szczelności budynku określona jest jego odporność na niekontrolowane przenikanie powietrza przez nieszczelności w przegrodach zewnętrznych obiektu. Wyrażona jest ona za pomocą współczynnika n_{50} , czyli liczbę wymian powietrza całej objętości obiektu w czasie jednej godziny przy różnicy ciśnienia 50 Pa⁸⁰. Parametr ten jest również istotny w kwestii rozpatrywania efektywności energetycznej budynku. Im wyższy standard energetyczny budynku tym wymagana wyższa szczelność obiektu. Przykładowo dla standardowych obiektów wyposażonych w wentylację grawitacyjną współczynnik n_{50} nie powinien przekraczać wartości 3,0 1/h, natomiast pasywnych nie powinien być większy niż 0,6 1/h.

Tabela 24. Zestawienie wymogów szczelności budynku w zależności od typu budynku.



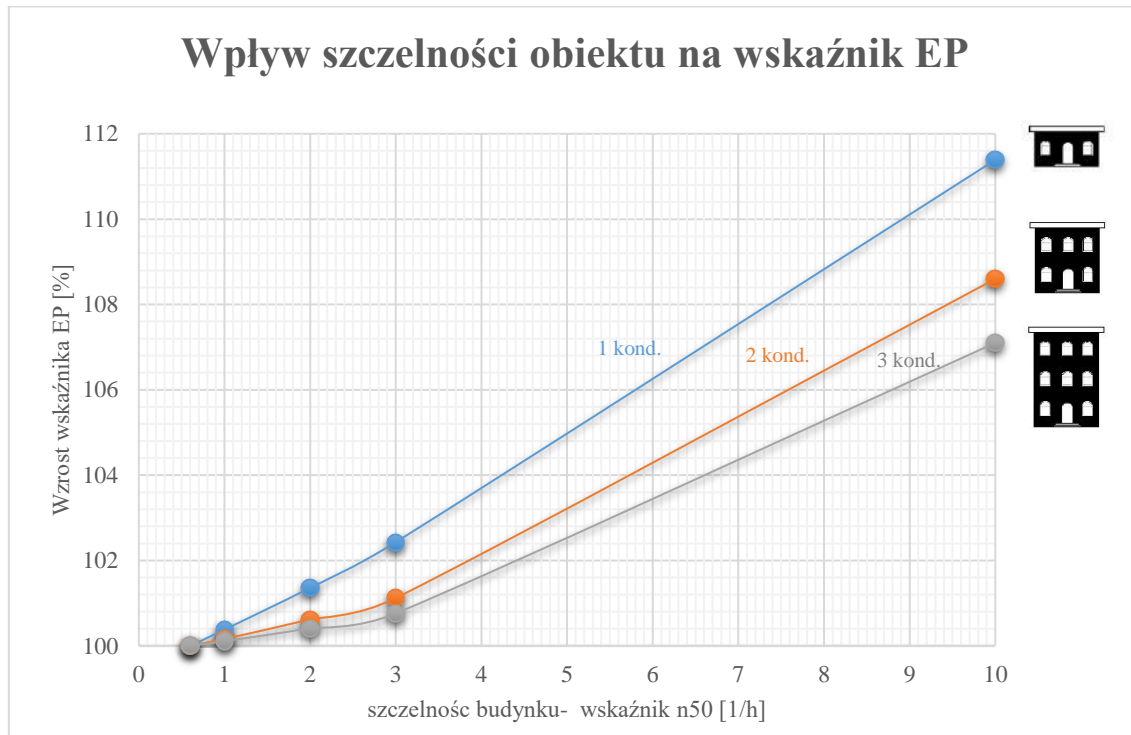
Wykres 88. Zestawienie wymogów szczelności budynku w zależności od typu budynku.

Jak wykazały badania niezależnie od źródła ciepła wraz ze wzrostem wskaźnika n_{50} wzrasta zużycie energii pierwotnej. W całościowym zestawieniu wzrost ten jest jednakże nieznaczny, ale wykazuje zależność od architektury obiektu. Na wykresie przedstawiono wpływ wzrostu wskaźnika infiltracji n_{50} (czyli spadku szczelności) na

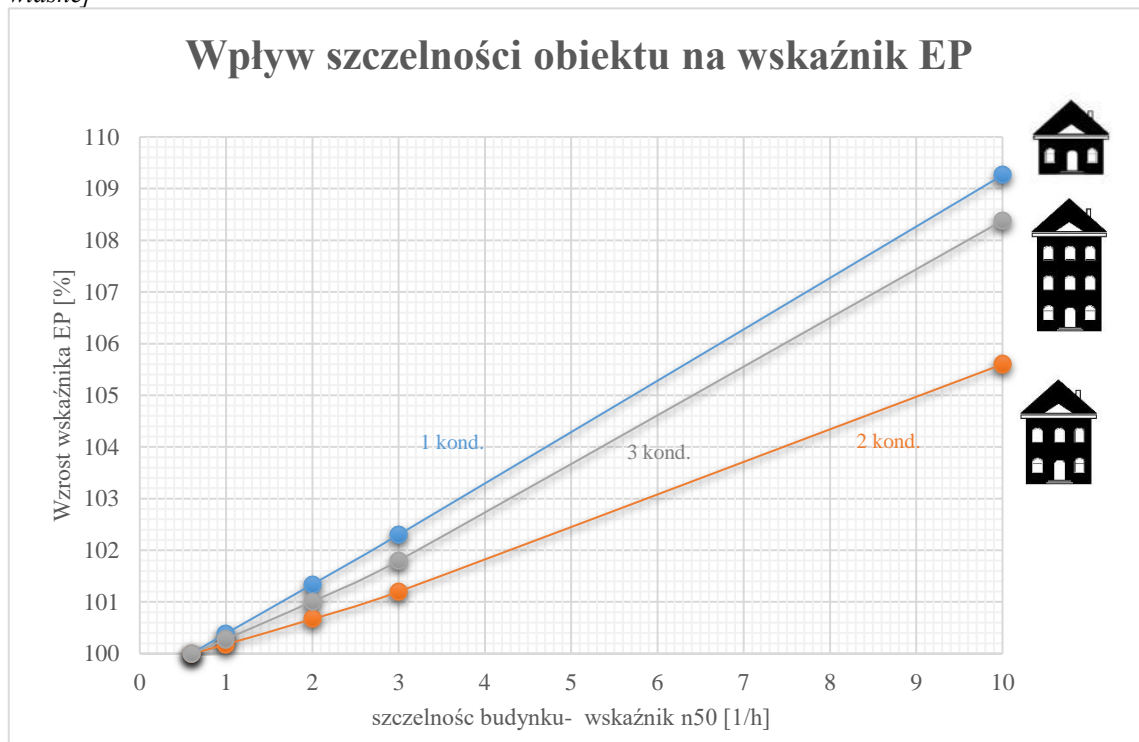
⁷⁹ Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 2002, nr 75, poz. 690), z późniejszymi zmianami

⁸⁰ <https://murator-dom.pl/budowa/dom-energooszczedny/szczelnosc-powietrzna-budynku-definicja-badanie-szczelnosci-aa-bd7E-pTxg-kd5C.html>

wskaźnik EP. Jako wariant bazowy uznano szczelność budynku pasywnego na poziomie $n_{50} = 0,6$ 1/h. Cechą charakterystyczną wykresu jest jego zbliżony do liniowego wzrost natomiast wykazano, że im bardziej zwarte obiekty tym mniejszy wpływ szczelności obiektu na zużycie energii pierwotnej. Najlepszymi parametrami cechują się budynki trzy kondygnacyjne z dachem płaskim natomiast najgorszymi domy parterowe.



Wykres 89. Wpływ szczelności obiektu na wskaźnik EP dla budynków z płaskim dachem [opracowanie własne]



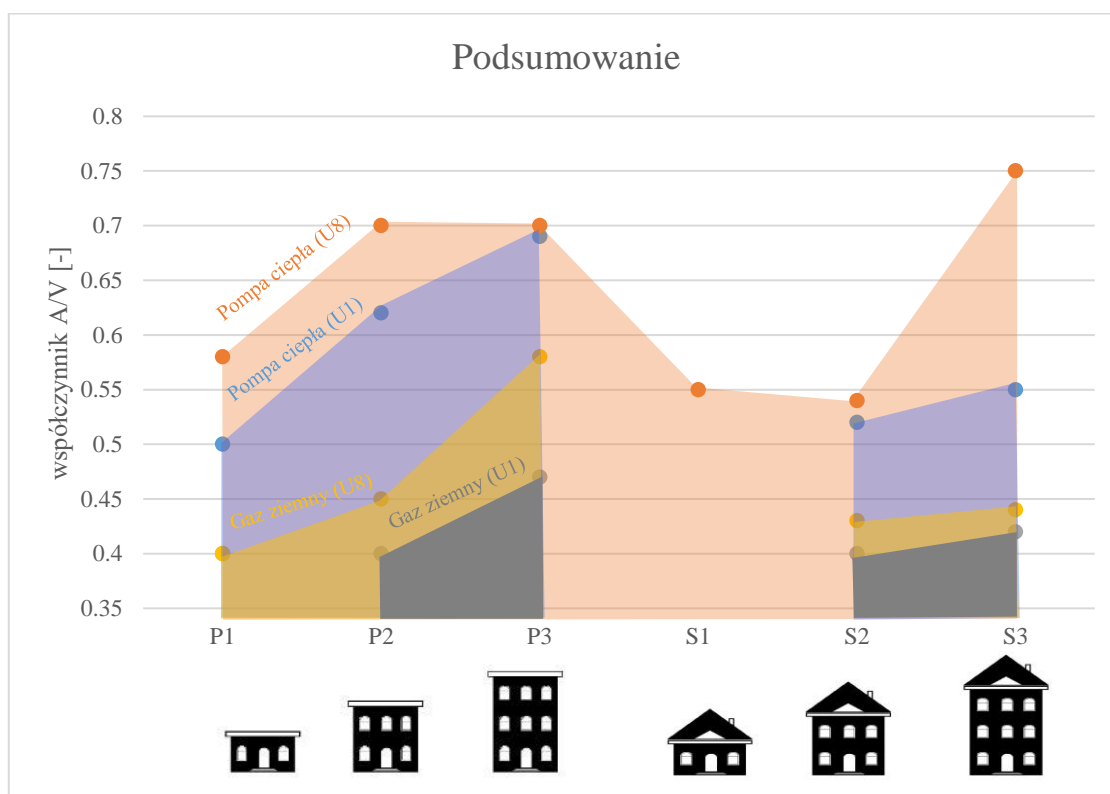
Wykres 90. Wpływ szczelności obiektu na wskaźnik EP dla budynków z dachem skośnym [opracowanie własne]

4.8 Podsumowanie części architektonicznej

Zużycie energii pierwotnej (wskaźnik EP) zależy przede wszystkim od zastosowanego w budynku źródła ciepła. Jego zmniejszenie można uzyskać poprzez odpowiednie zaprojektowanie obiektu mieszkalnego między innymi o znacznie wyższym standardzie energetycznym niż jest to wymagane nowymi przepisami. Architektura obiektu ma również kluczowy wpływ w przypadku zastosowania ogrzewania gazowego czy pompy ciepła. Istotną rolę pełni w tym wypadku zwartość bryły i związany z tym współczynnik kształtu A/V .

W badaniach wykazano, że:

- **Zastosowanie pompy ciepła o średniej wydajności ($COP \approx 3,0$) czy gazowego źródła ciepła wymagać będzie od architektów kształtowania architektury zwartej z maksymalnym współczynnikiem kształtu w zależności od kształtu obiektu i jego parametrów izolacyjności przegród zewnętrznych.**
- **Przy ograniczeniu występowania mostków cieplnych w obiektach ogólna szczelność budynku nie wpływa znacząco na wysokość wskaźnika EP, a różnica pomiędzy szczelnością $n_{50}=0,6$ a $n_{50} = 3,0$ wynosi maksymalnie 2,5%.**
- **Zmniejszenie strat przez przenikanie przez przegrody zewnętrzne do poziomu parametrów budownictwa pasywnego może zredukować wskaźnik EP w zależności od źródła ciepła o około 10 % .**



Wykres 91. Graficzne podsumowanie otrzymanych wyników [opracowanie własne]

Tabela 25. Zestawienie analizowanych parametrów w zależności od kształtu budynku.

wariant	Ilość kondygnacji	Rodzaj dachu	Rodzaj paliwa	Szczelność obiektu	Rodzaj wentylacji	Izolacyjność przegród	współczynnik A/V
P1	1	płaski	Pompa ciepła	$n_{50}=0,6$	Mechaniczna z odzyskiem ciepła ($\eta=85\%$)	Wariant U1 $U_{\text{ściany zewnętrznej}} = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{podłogi na gruncie}} = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{dachu}} = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 0,50$
P2	2						$\leq 0,62$
P3	3						$\leq 0,69$
S1	1	Skośny dwuspadowy	Pompa ciepła				-
S2	2						$\leq 0,52$
S3	3						$\leq 0,55$
P1	1	płaski	Gaz ziemny				$\leq 0,40$
P2	2						$\leq 0,40$
P3	3						$\leq 0,47$
S1	1	Skośny dwuspadowy	Gaz ziemny				-
S2	2						$\leq 0,40$
S3	3						$\leq 0,42$
wariant	Ilość kondygnacji	Rodzaj dachu	Rodzaj paliwa	Szczelność obiektu	Rodzaj wentylacji	Izolacyjność przegród	współczynnik A/V
P1	1	płaski	Pompa ciepła	$n_{50}=0,6$	Mechaniczna z odzyskiem ciepła ($\eta=85\%$)	Wariant U8 $U_{\text{ściany zewnętrznej}} = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{podłogi na gruncie}} = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{dachu}} = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 0,58$
P2	2						$\leq 0,70$
P3	3						$\leq 0,70$
S1	1	Skośny dwuspadowy	Pompa ciepła				0,55
S2	2						$\leq 0,54$
S3	3						$\leq 0,75$
P1	1	płaski	Gaz ziemny				$\leq 0,40$
P2	2						$\leq 0,45$
P3	3						$\leq 0,58$
S1	1	Skośny dwuspadowy	Gaz ziemny				-
S2	2						$\leq 0,43$
S3	3						$\leq 0,44$

5

UWARUNKOWANIA TECHNICZNE ŹRÓDEŁ CIEPŁA W ARCHITEKTURZE

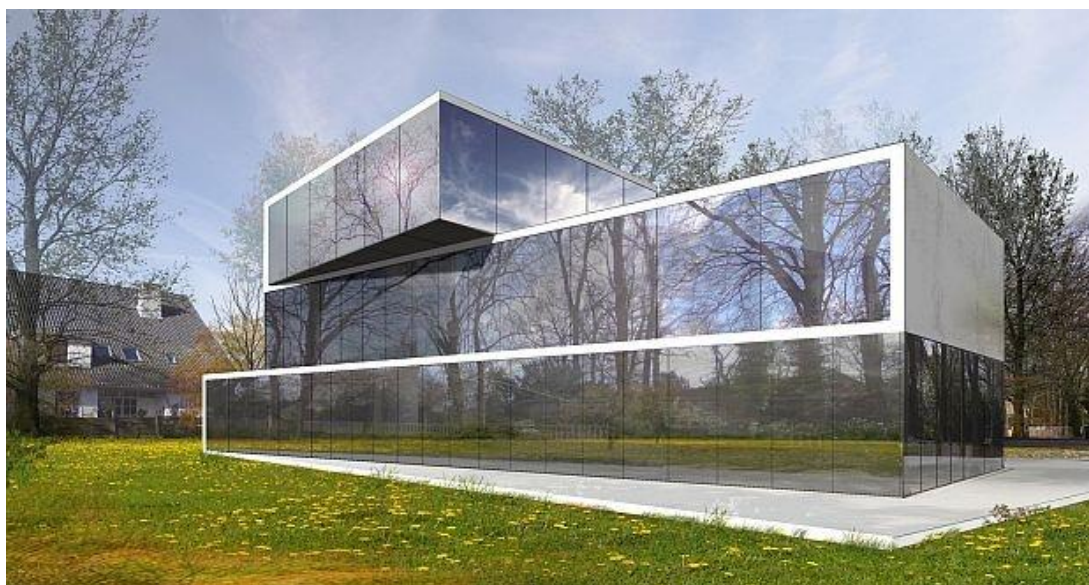
Obecnie można zauważyć zmieniającą się tendencje w kształtowaniu architektury budynków mieszkaniowych w Polsce. Zamiast typowych, niewyróżniających się z zewnątrz domów powstają coraz częściej starannie zaprojektowane obiekty architektury, które wyróżniają się swoją niecodzienną bryłą. Zarówno projektanci, jak i inwestorzy indywidualni starają się szukać coraz to nowszych rozwiązań, niż powielać schematy sprzed lat. Współczesny trend opiera się głównie na budynkach wolnostojących bądź szeregowych. Na znaczeniu zyskała w tym wypadku nie tylko funkcjonalność obiektu, ale również forma architektoniczna, która poprzez swoją oryginalność, charakterystyczne cechy czy ekspresję powinna zachęcać do samego przebywania w danym obiekcie.



Ilustracja 62. Dom jak las projektu pracowni 81.WAW.PL [źródło: https://architektura.info/architektura/polska_i_swiat/dom_jak_las_zwyciezca_the_international_design_awards_2021, dostęp: 09.02.2022r]

Projektowanie obiektów w dzisiejszych czasach opiera się na zupełnie innych zasadach niż dawniej. Współcześni architekci przy projektowaniu muszą wziąć szereg złożonych czynników mających wpływ na realizację obiektów architektonicznych. Większa swoboda i przyspieszony rozwój technologiczny tylko komplikują jeszcze bardziej sprawę. Nie ma, bowiem jednego dominującego stylu architektonicznego, który narzuca podstawowe cechy budynku. Obecna architektura przestała być kształtowana na podstawie dominującego nurtu a waha się pomiędzy skrajnymi

formami – od opartych na liniach prostych po swobodnie wymodelowane, zdekonstruowane lub zainspirowane światem natury formy. W architekturze przestało chodzić o funkcję i użyteczność a znaczenie uzyskała estetyczność i chęć zaistnienia w przestrzeni. Jak zauważył Antonio Monestiroli⁸¹ już od ponad wieku nie wykształcił się jeden dominujący styl, który został zastąpiony manierami i różnymi językami. Nowoczesna architektura stanowi, zatem odpowiedź architekta na zastany w danym miejscu kontekst i powinna ona być wpisana w otoczenie i z nim współgrać na zasadzie dialogu.



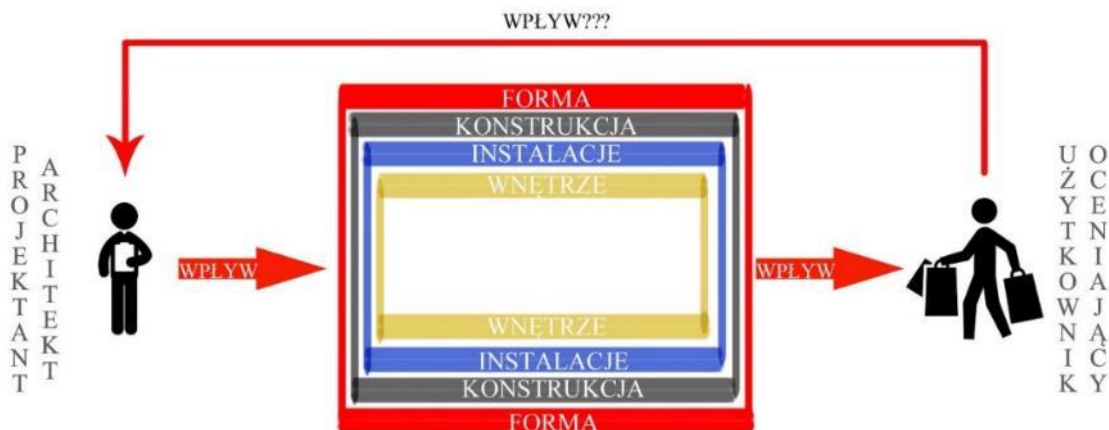
Ilustracja 63. Szklany dom w Brenie projektu R. Koniecznego [Źródło: https://www.bryla.pl/bryla/1,85301,10296151,Szklany_dom_w_Brenie___nowy_projekt_Koniecznego.html, dostęp; 09.02.2022]

Zmianie uległa również sama rola architekta. Pierwotnie sprowadzała się do bycia artystą/twórcą, który miał za zadanie przede wszystkim stworzyć wyszukany projekt. Obecnie rola ta została znacznie poszerzona o bycie ekonomistą, specjalistą od ochrony środowiska, technikiem a dopiero na końcu artystą. W związku z rozwojem ustroju wolnorynkowego kwestie ekonomiczne stały się bardzo istotnym elementem każdego przedsięwzięcia. Nie tylko sam etap projektowania i budowania powinien być ściśle określony w budżecie, ale także etap późniejszego użytkowania powinien być jak najbardziej ekonomiczny. Kolejnym ważnym elementem projektowania jest przestrzeganie wymogów prawnych związanych przede wszystkim z ochroną środowiska. W dyrektywie o efektywności energetycznej budynków z 2002 roku⁸² określono minimalne wymagania, jakie powinny spełniać budynki w zakresie efektywności energetycznej. Inne ustawy (m.in. o substancjach zubożających warstwę ozonową) nakierunkowują architekta na technologie, jakie może wykorzystać podczas projektowania, które będą przyjazne dla środowiska. Takie podejście sprawia, że rozwija się tendencja oparta na rachunku ekonomicznym, którą nie jest łatwo połączyć z wyczuciem stylu i estetyką. W tym miejscu też występuje inne podejście w

⁸¹ A. Monestiroli, Tryglif i Metopa. *Dziewięć wykładów o Architekturze*, tłum. U. Pytlowany, A. Porębska, Kraków 2008, s. 59

⁸² *Dyrektywa 2002/91/we* parlamentu europejskiego i rady z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.

postrzeganiu budynku przez architekta i użytkownika. Jak zauważa E. Niezabitowska⁸³ architekt traktuje budynek jak dzieło sztuki, natomiast użytkownik traktuje budynek jak przedmiot użytkowy o wysokiej wartości materialnej i ewentualnie o wysokich walorach estetycznych.



Ilustracja 64. Schemat zależności pomiędzy architektem a użytkownikiem [opracowanie własne].

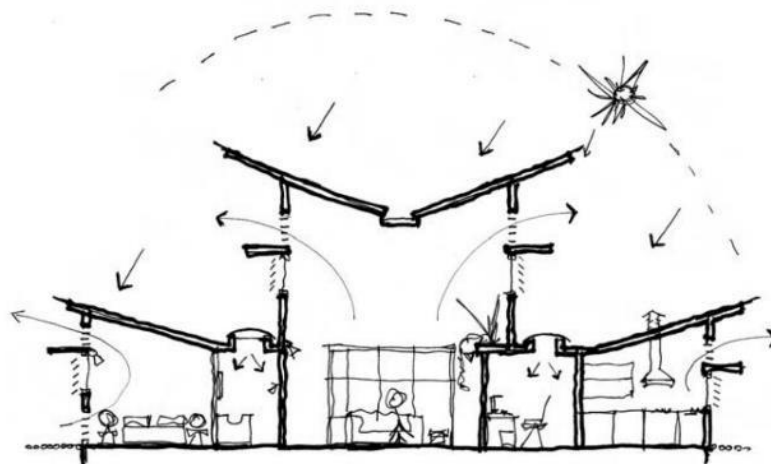
Główna różnica w podejściu jest widoczna na etapie różnych procesów życia budynku. Architekt swoją uwagę skupia na budynku w procesie projektowym, jest to obiekt dla niego niezmienny, o stałych walorach estetycznych, natomiast swoją uwagę traci już po zakończeniu etapu budowy. W momencie, w którym budynek tak naprawdę zaczyna dopiero swoje życie. W tym momencie właśnie zainteresowanie budynkiem zaczyna użytkownik. Dla niego jest to miejsce ciągle zmieniających się procesów życiowych, jak również dostosowujący się do pasującej mody czy potrzeb użytkowników. To on analizuje i użytkuje budynek od momentu jego wybudowania aż po jego wyburzenie.

To on użytkuje budynek, który powstał, aby spełniał właśnie jego oczekiwania i potrzeby. Niestety w większości na etap projektowy nie ma on większego wpływu. Musi zaufać architektowi, że oprócz spełnienia wszystkich norm czy warunków budowlanych spełni również jego oczekiwania. Przyglądając się niektórym współczesnym realizacjom na świecie można stwierdzić, że czasami potrzeby użytkownika są gdzieś zapomniane bądź odłożone na drugi plan. Widać nieograniczoną niczym wolną twórczość architektów, chęć stworzenia dzieła sztuki a nie użytkowego budynku. Inne aspekty, ekonomiczne czy eksploatacyjne wydają się w tym wypadku w ogóle nieistotne a co dopiero względy i potrzeby szarego użytkownika.

Poczucie estetyki w obecnym społeczeństwie jest na bardzo wysokim poziomie. Coraz więcej inwestorów chce, aby ich inwestycje stały się nośnikami prestiżu, żeby obiekty charakteryzowały się wyjątkowością pod względem wyglądu, jak i zastosowanych rozwiązań. Z jednej strony taki trend prowadzi do rozwoju nowych, innowacyjnych rozwiązań, z drugiej strony może prowadzić do przekraczania granicy i tworzenia budynków zbyt ekstrawaganckich, które są zbyt agresywne na tle otaczającego go budownictwa. Należy zwrócić uwagę na coraz większe znaczenie

⁸³ Niezabitowska E., *Metody i techniki badawcze w architekturze*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2014

efektywności energetycznej w budownictwie. Trend ten skłania coraz częściej architektów do wykorzystywania ekologicznych technologii w architekturze mieszkalnej opartych na naturalnych źródłach energii jak słońce, ziemia czy woda. Kształtując architekturę w oparciu o naturalne aspekty środowiskowe, jak zyski ciepła od nasłonecznienia, można zwiększyć efektywność zastosowanych w budynku technologii⁸⁴.



Source: Richard Hyde

Ilustracja 65. Śledzenie zysków ciepła w powiązaniu z kształtem architektury⁸⁵.

5.1 Wpływ źródeł ciepła na układ funkcjonalny budynku

Według aktualnych przepisów⁸⁶ każde źródło ciepła należy usytuować w odpowiednim pomieszczeniu o konkretnych wymaganiach. Najczęściej wykorzystywana jest do tego kotłownia, w której umieszcza się kocioł/piec grzewczy i inne elementy instalacji centralnego ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej. Każdy rodzaj paliwa grzewczego posiada odrębne przepisy dotyczące lokalizacji i wielkości pomieszczenia, w którym jest zainstalowane urządzenie grzewcze oraz sposobu jego wentylacji. Wymagania dotyczące kotłowni zostały określone w Rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, a także w normie PN-87/B-2411. Poniżej przeanalizowano wymagania prawne dotyczące lokalizacji wybranych źródeł ciepła i ich bezpośredni wpływ na architekturę obiektu oraz aktualne tendencje w architekturze za pomocą metody *desk reaserch*.

Każde analizowane źródło ciepła charakteryzuje się innym poziomem efektywności energetycznej, jak i komfortem użytkowania. Starano się zbadać jaki wpływ na samą architekturę ma wybór konkretnego źródła ciepła. W dalszej części pracy nie wzięto pod uwagę źródeł opartych na węglu i energii elektrycznej ze względu na zbyt wysoki wskaźnik EP. Skupiono się na ogrzewaniu na biomasę, pompach ciepła i gazie ziemnym oraz ich wpływie na kształtowanie architektury mieszkaniowej.

⁸⁴ Hyde R., *Bioclimatic housing: innovative designs for warm climates*. Routledge, 2012

⁸⁵ Ibidem s14

⁸⁶ Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 2002, nr 75, poz. 690), z późniejszymi zmianami

5.1.1 Uwarunkowania techniczne dotyczące kotłowni na biomasę

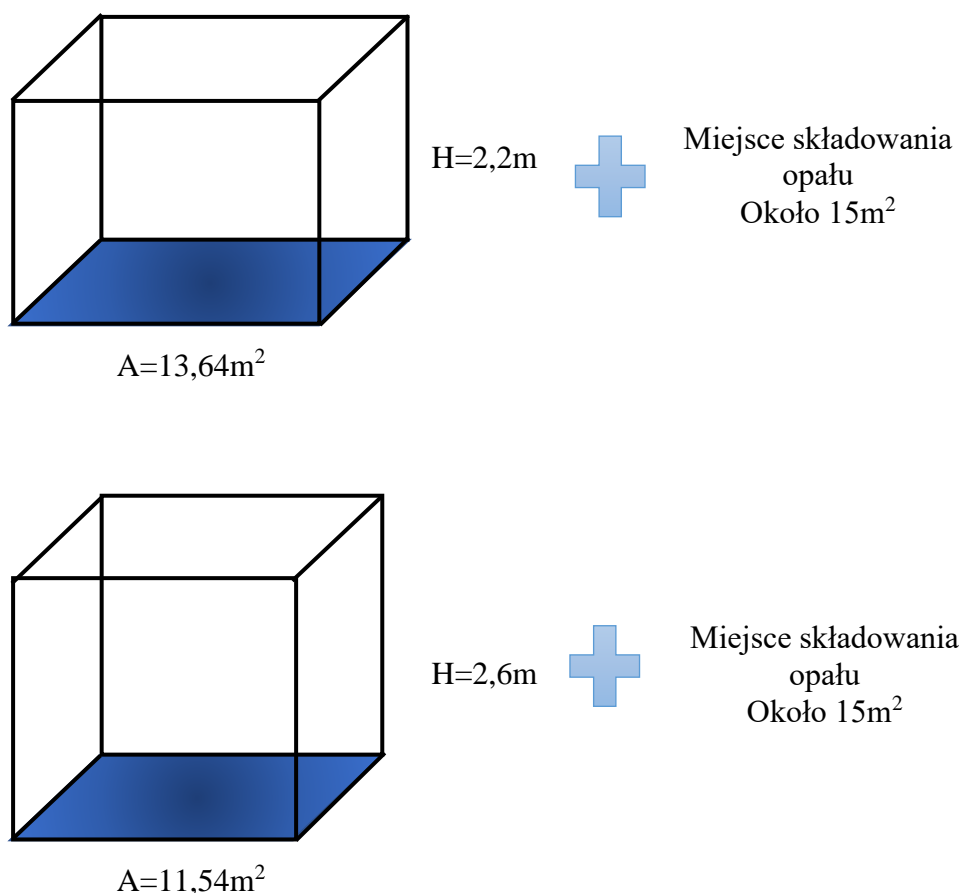
Z przeprowadzonych wcześniej badań wynika, że w obecnych obiektach tylko kotły na biomasę spełniają nowe wymagania wskaźnika EP. Biomasa należy do paliw stałych zgodnie z definicją: *Za paliwo stałe uważane są bowiem wszystkie produkty pochodzenia naturalnego lub sztucznego, które są wykorzystywane do wytwarzania energii cieplnej i zachowują postać stałą*⁸⁷. Pomieszczenie, w którym lokalizujemy kotły na paliwo stałe musi spełnić konkretne wymagania techniczne. Istotną kwestią jest to, że urządzenia te muszą być instalowane w osobnych pomieszczeniach, a kubatura pomieszczenia obliczana jest w zależności od mocy kotła. Dla kotła na biomasę o mocy nieprzekraczającej 25kW, co w większości domów jednorodzinnych jest wystarczające, kotłownia powinna mieć kubaturę wynikającą z mocy kotła przyjmując $4\text{m}^3/\text{kW}$, ale nie mniejszą niż 30m^3 . Przy założeniu standardowej wysokości pomieszczeń mieszkalnych - 2,6m daje to nam kotłownię o minimalnej powierzchni $11,54\text{m}^2$, a zmniejszenie wysokości do minimalnej wartości - 2,2m wymaga już pomieszczenia o powierzchni $13,64\text{m}^2$. Podobne powierzchnie mają często pokoje mieszkalne, co może znacząco wpłynąć na architekturę obiektu.



Ilustracja 66. Pomieszczenie techniczne z kotłem na biomasę [źródło: https://miesiecznik.murator.pl/instalacje/kociol-na-pelety_5755.html, dostęp 17.12.2021].

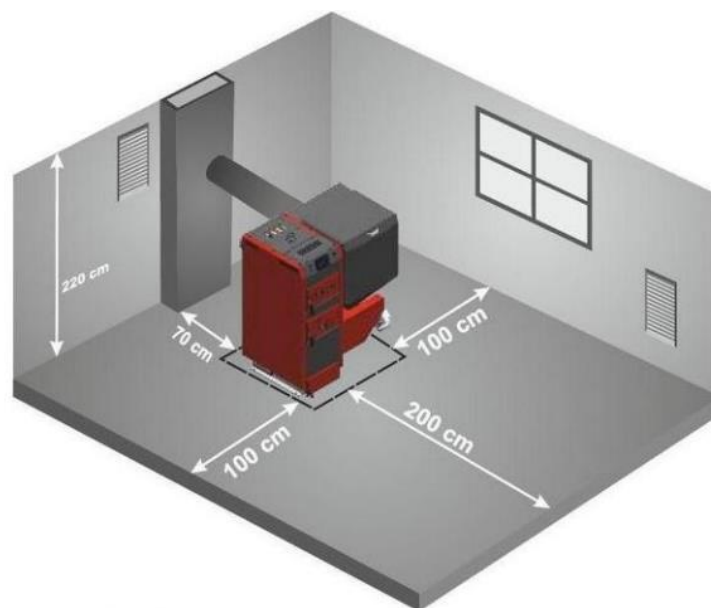
⁸⁷ <https://www.techsterowniki.pl/blog/masz-kociol-na-paliwo-stale-sprawdz-czy-twoja-kotlownia-spelnia-wymagania-techniczne>

W przypadku kotłowni na paliwo stałe istotny jest fakt, iż to użytkownik jest odpowiedzialny za zabezpieczenie odpowiedniej ilości paliwa na cały sezon grzewczy. Ważnym aspektem jest zatem miejsce składowania opału, które powinno znajdować się w osobnym pomieszczeniu lub jeżeli pozwala nam to powierzchnia w samej kotłowni. Ilość spalanego paliwa zależy od specyfikacji obiektu, jednak na potrzeby pracy przyjęto, iż należałoby zapewnić miejsce na około 6 ton paliwa stałego co wraz z uwzględnieniem strefy dojścia daje dodatkowe 15m^2 powierzchni. Wybór paliwa na biomase wiąże się bezpośrednio z koniecznością zapewnienia około $20\text{-}30\text{m}^2$ dodatkowej przestrzeni gospodarczej. Często, aby ograniczyć wymaganą powierzchnię, kotłownię łączy się bezpośrednio z magazynem paliwa, co w rezultacie może zajmować łącznie około 20m^2 .



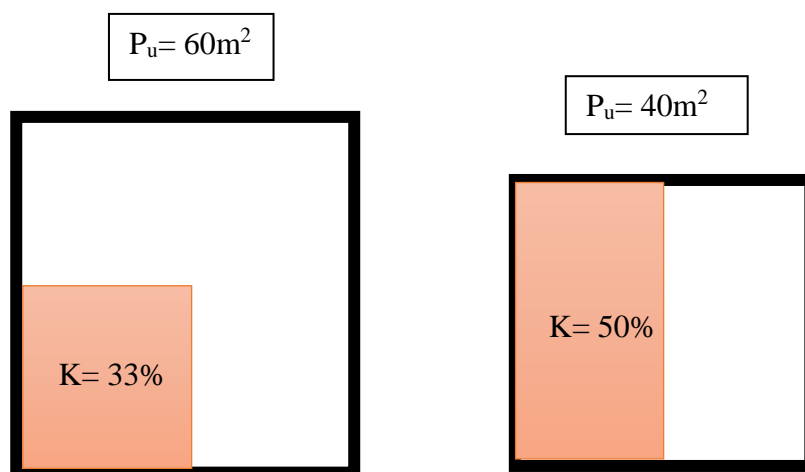
Ilustracja 67. Przykładowe wymiary pomieszczeń technicznych dla paliw stałych [opracowanie własne].

Duża powierzchnia kotłowni dla paliw stałych jest bezpośrednio związana z wymaganiami dotyczącymi ustawienia kotła oraz minimalnymi odległościami od przegród budowlanych co przedstawia ilustracja 67.



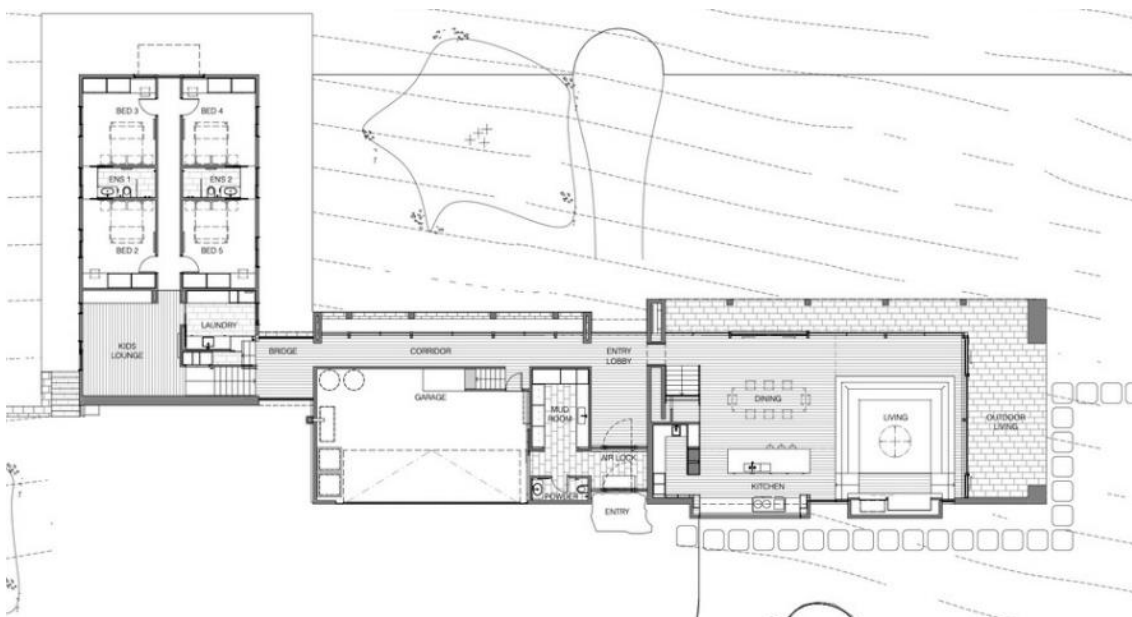
Ilustracja 68. Wymagania dotyczące ustawienia kotłdów na paliwa stałe [Źródło: <https://budujemydom.pl/irbj/porady/42557-jakie-sa-wymagania-dla-kotlowni>, dostęp 22.01.2022].

Często wygospodarowanie dodatkowej przestrzeni stanowi problem zarówno w przypadku budynków wolnostojących, jak i zabudowy bliźniaczej czy szeregowej. Istotnym parametrem w tym wypadku jest wielkość działki, jak i charakterystyczne parametry budynku zawarte w przepisach planistycznych. Największym ograniczeniem jest maksymalna powierzchnia zabudowy obiektu, która bezpośrednio wynika z powierzchni terenu. Zaprojektowanie kotłowni na paliwo stałe w małych budynkach mieszkalnych może okazać się trudne do wykonania. Im mniejszy budynek tym większy procent jego powierzchni użytkowej zajmowany jest przez kotłownię. Przykładowo w budynku o powierzchni użytkowej parteru równej 40m², zaprojektowana kotłownia na biomasę o powierzchni 20m² zajmowała by 50% tej powierzchni uniemożliwiając tym samym aktywne wykorzystanie pozostałej części. Zwiększając powierzchnię użytkową do 60 m² zajmowana przestrzeń przez kotłownię zmniejszyłaby się tym samym do 33% (Ilustracja 68). Wykorzystanie paliwa stałego również w obiektach modernizowanych jest często niemożliwe ze względu na niedostosowany do tego układ funkcjonalny.



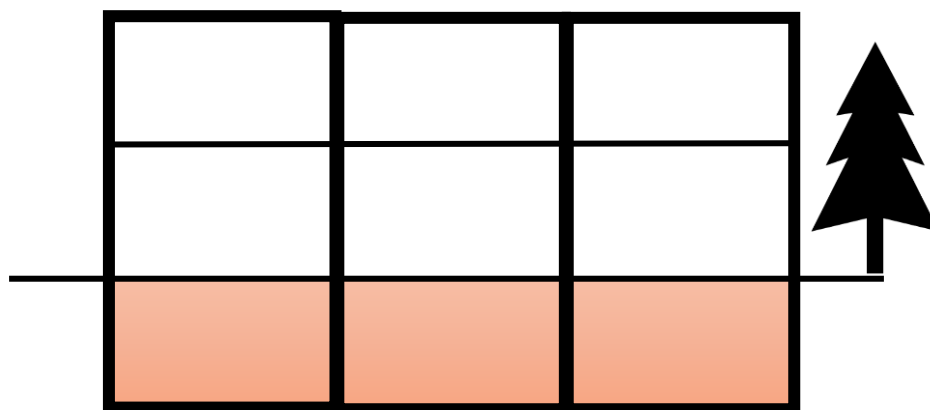
Ilustracja 69. Przykładowe schematy zajmowanego miejsca przez pomieszczenia techniczne dla paliw stałych [opracowanie własne].

Poniżej starano się przeanalizować możliwości optymalizacji budynku pod względem dostosowania go do kotłowni na paliwo stałe. Jednym rozwiązaniem jest umiejscowienie kotłowni na biomasę w miejscu garażu. Powierzchniowo zajmują one bowiem podobną powierzchnię, czyli około 20m². Jednakże wymogi usytuowania samego kotła uniemożliwiają jednoczesne użytkowanie pomieszczenia przez samochody osobowe. Wadą zatem tego rozwiązania jest brak możliwości zapewnienia miejsca parkingowego w bryle budynku, a często wymóg zapewnienia odpowiedniej ilości miejsc parkingowych jest również problematyczny do spełnienia. Rozwiązanie to natomiast sprawdzi się w przypadku dużego obiektu z powiększoną powierzchnią garażu wewnętrznego umożliwiając korzystanie z obydwu funkcji jednocześnie. Takie rozwiązanie zaproponowano w Flinders Residence w Australii pracowni Abe McCarthy Architects. Sam obiekt znajduje się na bardzo dużym terenie i posiada powierzchnię użytkową 921 m² co pozwoliło na dogodne zwiększenie powierzchni technicznych i wykorzystanie garażu na kotłownię na biomasę.



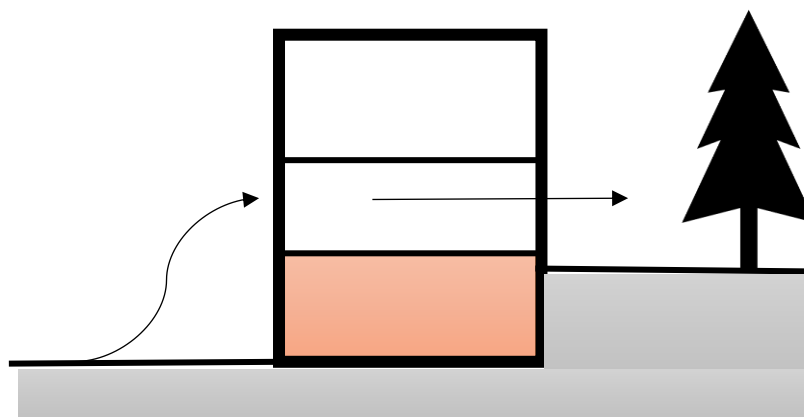
Ilustracja 70. Flinders Residence w Australii pracowni Abe McCarthy Architects [źródło: <https://www.archdaily.com>, dostęp: 03.04.2022r]

Alternatywnym rozwiązaniem jest zaprojektowanie dodatkowej kondygnacji np. podziemnej i przeniesienie tam samej kotłowni lub łącznie z garażem. Rozwiązanie to jest najlepsze pod względem architektonicznym poprzez małą ingerencję w układ funkcjonalny budynku, natomiast wiąże się z dodatkowymi kosztami w trakcie budowy. Należałoby również zwrócić uwagę na komfort użytkowania takiej kotłowni i wygody składowania w niej paliwa. Usytuowanie jedynie kotłowni w części podziemnej wiązało by się z utrudnionym do niej dostępem z zewnątrz i koniecznością przenoszenia ton paliwa przez część mieszkalną do piwnicy. Natomiast w połączeniu z podziemnym garażem dojście do kotłowni byłoby ułatwione i droga do części technicznej nie krzyżowałaby się z częścią mieszkalną. Nie można jednak zapomnieć, że zaproponowane rozwiązanie nie jest możliwe w przypadku niekorzystnych warunków gruntowych czy innych ograniczeń prawnych.



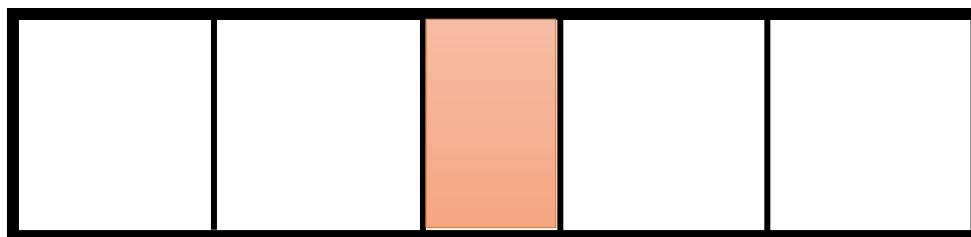
Ilustracja 71. Przykładowe schematy lokalizacji pomieszczenia technicznego dla paliw stałych w części podziemnej [opracowanie własne].

W przypadku korzystnych zapisów dotyczących maksymalnej wysokości obiektu warto również rozważyć dodanie jednej kondygnacji nadziemnej. Przeznaczenie parteru na część techniczną wiąże się jednak z ograniczonym dostępem ogrodu z części reprezentacyjnej domu. Z tego względu jest to rozwiązanie najkorzystniejsze dla budynku usytuowanego na terenie o dużym spadku. Warto zwrócić uwagę iż omówione rozwiązania są mało ekonomiczne dlatego raczej niespotykane w nowoczesnej architekturze.



Ilustracja 72. Przykładowe schematy lokalizacji pomieszczenia technicznego dla paliw stałych w części nadziemnej [opracowanie własne].

Kolejnym nowoczesnym rozwiązaniem wykorzystującym biomasę w zabudowie szeregowej jest zapewnienie jednej wspólnej kotłowni zasilającej cały kompleks. Istotną zaletą tego rozwiązania jest brak ingerencji w układ funkcjonalny poszczególnych segmentów mieszkalnych i ograniczenie emisji spalin i hałasu. Należy jednak pamiętać, że wspólna kotłownia dla osobnych własności prywatnych ogranicza możliwości indywidualnej regulacji parametrów ogrzewania co może stać się źródłem konfliktów. Tak samo jak konieczność zapewnienia obsługi urządzenia przez firmę zewnętrzną, która wiąże się natomiast z dodatkowymi kosztami.



Ilustracja 73. Schemat wspólnej kotłowni w zabudowie szeregowej [opracowanie własne].

Przykładem takiego rozwiązania jest projekt Eko osiedla pracowni BB studio. W projekcie osiedla znajdujemy zarówno zabudowę jednorodzinną, bliźniaczą, jak i szeregową o zerowym zużyciu energii i wykorzystaniu dużej ilości proekologicznych rozwiązań, w tym właśnie odnawialnych źródeł energii. Budynki jednorodzinne i bliźniacze ogrzewane są za pomocą pompy ciepła natomiast w zabudowie szeregowej zastosowano wspólną spalarnię biomasy.



Ilustracja 74. Wizualizacja Eko osiedla pracowni BB studio [źródło: <http://studio-bb.pl/project/eko-osiedle/>, dostęp: 05.01.2022r].

Wykorzystanie kotłów na biomase jest najbardziej efektywnym źródłem ciepła pod względem spełnienia wymogów wskaźnika EP. Nie przekłada się to jednak z rzeczywistym wpływem takich kotłów na środowisko⁸⁸. Ze względu na pogarszający się stan powietrza w Polsce zwłaszcza w sezonie grzewczym wiele województw zdecydowało się wprowadzić „Programy Ochrony Powietrza” lub uchwały antyśmogowe, które były konsekwencją wyroku Trybunału Sprawiedliwości Unii Europejskiej z 2018 roku⁸⁹. Programy te przede wszystkim dotyczyły ograniczenia użycia kominków, nie tylko w zakresie nowych instalacji, ale również już eksploatowanych. W uchwałach tych oprócz wyłączenia kominków z eksploatacji można znaleźć również zakaz spalania biomasy o wilgotności powyżej 20%.

Spalanie biomasy, w tym głównie nieobrobionego drewna w kominkach lub kotłach o niskiej klasie, nie jest obojętne dla środowiska, dlatego coraz częściej wprowadzany jest ich zakaz. W Polsce jako pierwszy region, który wprowadził walkę o poprawę jakości powietrza był Kraków. Pierwsze ustawy wprowadzone zostały w tym mieście już w 2017 roku natomiast od 1 września 2019 roku obowiązuje tu całkowity zakaz spalania paliw stałych w tym węgla i drewna zarówno w kotłach, piecach, jak i kominkach, natomiast dozwolone są paliwa gazowe, jak i olejowe. Ograniczenia są wprowadzane stopniowo i tym samym do końca 2022 roku założono eliminacje kotłów na węgiel i drewno, które nie spełniają norm emisyjnych i posiadają klasę niższą niż 3, a do końca 2026 roku kotłów w klasach 3 i 4. Coraz częściej również spotkać można odpowiednie zapisy w miejscowych planach zagospodarowania terenu zakazujące stosowania kotłowni na paliwo stałe.

Kominki nie tylko w Polsce ale również na świecie są w dalszym ciągu bardzo często wykorzystywane jako dodatkowe źródło ciepła dla odnawialnych źródeł energii w szczególności pomp ciepła. Takie rozwiązanie spotkać można w projekcie Haus am Moor w Austrii pracowni Bernardo Bader Architekten, gdzie gruntowa pompa ciepła wspomagana jest centralnie zlokalizowanym kominkiem zlokalizowanym w reprezentacyjnej części domu.



Ilustracja 75. Haus am Moor / Bernardo Bader Architekten [źródło: <https://www.archdaily.com>, dostęp 04.04.2022r]

⁸⁸ Norton M, Baldi A, Buda V, et al. *Serious mismatches continue between science and policy in forest bioenergy*. GCB Bioenergy. 2019; 11:1256–1263. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12643>

⁸⁹ <https://curia.europa.eu/jcms/upload/docs/application/pdf/2018-02/cp180019pl.pdf>, dostęp:01.02.2022



Ilustracja 76. Haus am Moor / Bernardo Bader Architekten [źródło: <https://www.archdaily.com>, dostęp 04.04.2022r]

W przypadku projektowania budynku zasilanego biomasą należy brać pod uwagę jedynie kotły o najwyższej klasie sprawności (klasa 5). Wynika to bezpośrednio z Europejskiej Dyrektywy Ecodesign obowiązującej od 1 stycznia 2020 roku. Najistotniejszy, jednakże wpływ na środowisko ma nie tylko sama klasa sprawności kotła, lecz jakość paliwa. W przypadku kotłowni na biomasę użytkownik odpowiedzialny jest za zakup i dostawę paliwa, a jego nieodpowiednia jakość może negatywnie wpływać na środowisko naturalne.

Omawiane paliwo mimo największej efektywności energetycznej posiada bardzo istotny wpływ na program funkcjonalny obiektu. W Polsce wymagania dotyczące kotłowni na paliwo stałe stanowią przeszkodę w stosowaniu tego rodzaju paliwa w budynkach o niewielkiej powierzchni zabudowy. Z tego względu nie są one stosowane w zabudowie szeregowej, w której miejsce jest ograniczone. Wygospodarowanie dodatkowego miejsca wiąże się z dużymi nakładami finansowymi. Kotłownie na biomasę nie są również alternatywnym paliwem dla budynków modernizowanych, nie posiadających osobnych pomieszczeń na urządzenia techniczne. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, iż nie jest to źródło popularnie wykorzystywane w nowoczesnej architekturze mieszkalnej. Jego zastosowanie spotykane jest głównie w dużych domach wolnostojących na terenach z ograniczoną dostępnością innych mediów.

5.1.2 Uwarunkowania techniczne dotyczące kotłowni na pompę ciepła

Jeżeli projekt budynku zakłada montaż pompy ciepła przepisy nie określają specjalnych wymagań dotyczących jej lokalizacji. Wynika z tego, że urządzenie to może być usytuowane w każdym pomieszczeniu nie przeznaczonym na stały pobyt ludzi. Ze względu jednak na dość duże gabaryty należy przewidzieć odpowiednio dużo miejsca na jego ustawienie i obsługę. W przeciwieństwie do kotłów na paliwo stałe, urządzenie to nie wymaga osobnego pomieszczenia technicznego, co zdecydowanie ułatwia jego montaż w każdym typie zabudowy mieszkaniowej.

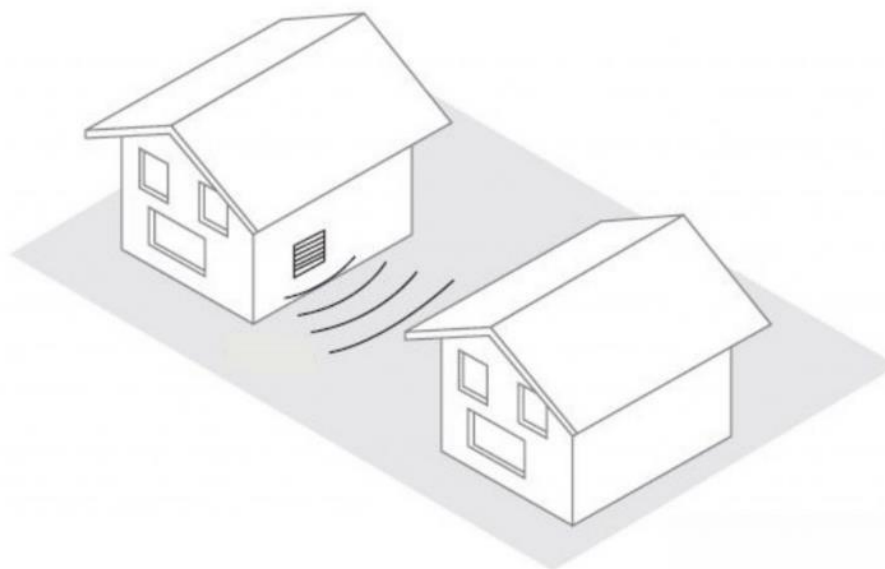


Ilustracja 77. Pomieszczenie z powietrzna pompą ciepła [źródło: <https://horyzont.com/budownictwo/pompa-ciepla-ujemne-temperatury>, dostęp: 05.01.2022r].

Wykorzystanie pompy ciepła wymaga znajomości przepisów prawnych w zależności od zastosowanego dolnego źródła ciepła. W przypadku budynków jednorodzinnych najczęściej wybierana jest powietrzna pompa ciepła, w drugiej kolejności gruntowa a najrzadziej wodna. Wynika to głównie z możliwości lokalizacyjnej działki.

Zastosowanie powietrznej pompy ciepła wiąże się z emisją hałasu z jednostki zewnętrznej, który zależy od aktualnego trybu pracy. Im niższe temperatury zewnętrzne tym większe zapotrzebowanie na energię, co jest jednoznaczne z większą emisją hałasu. Jest to jedna z najbardziej znaczących wad pompy ciepła, ponieważ dźwięki pracy urządzenia mogą być uciążliwe zarówno dla mieszkańców budynku, jak i sąsiadów, dlatego ważne jest, aby nie umieszczać urządzenia w sąsiedztwie pomieszczeń sypialnych. Z tego względu należy odpowiednio zaprojektować miejsce lokalizacji jednostki zewnętrznej spełniając wymagania określone w Rozporządzeniu Ministra

Środowiska w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu⁹⁰. Według wytycznych w zabudowie jednorodzinnej maksymalny próg hałasu mierzony na granicy posesji to 50dB w ciągu dnia i 40dB nocą. Szczególną uwagę należałoby zatem zwrócić na montaż powietrznej pompy ciepła w gęstej zabudowie i na działkach o małej powierzchni. Przydatna w tym zakresie jest ocena akustyczna wyznaczana metodami obliczeniowymi, która pozwala nam określić minimalną odległość jednostki od granicy działki.



Ilustracja 78. Przykład oddziaływania jednostki zewnętrznej pompy ciepła na sąsiedni budynek [źródło: <https://okieminzyniera.pl/przepisy-prawne-dotyczace-pomp-ciepła-ważne/>, dostęp: 05.01.2022].

Zastosowanie gruntowej pompy ciepła wymaga rozpoznania warunków gruntowych panujących na działce objętej inwestycją. Wymagane jest sporządzenie dokumentacji geologiczno- inżynierskiej. Na jej podstawie można określić pojemność cieplną gruntu i wymaganą powierzchnię wymiennika ciepła, jak również zwymiarować odpowiednią głębokość dolnego źródła w celu pokrycia zapotrzebowania na ciepło. W przypadku odwiertów o głębokości od 30 do 100m obowiązkowo należy wykonać projekt robót geologicznych, uzgodniony przez starostę, natomiast płytsze odwierty, jak i poziome wymienniki ciepła nie podlegają tym przepisom.

Ze względu na dostępność, woda gruntowa i powierzchniowa jest najrzadziej stosowanym dolnym źródłem ciepła w budownictwie jednorodzinne. Jej wykorzystanie wiąże się również z koniecznością przestrzegania przepisów prawa wodnego⁹¹. Według tych przepisów wykorzystanie wód powierzchniowych lub podziemnych w ilości średniorocznej przekraczającej 5m³ na dobę wymaga sporządzenia operatu wodnoprawnego i uzyskania pozwolenia wodnoprawnego.

Mimo, że przepisy dotyczące lokalizacji pompy ciepła nie są restrykcyjne, to jej montaż jest kłopotliwy w budynkach zlokalizowanych na małych działkach. W przypadku pompy ciepła nie lokalizacja we wnętrzu jest problematyczna, lecz przepisy odrębne, dotyczące lokalizacji jednostki zewnętrznej. Planując jej montaż, należy

⁹⁰ Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu

⁹¹ Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. - Prawo wodne

wiedzieć, że im większa ilość pionowych powierzchni wokół urządzenia, tym większy hałas generowany z urządzenia. Związane jest to bezpośrednio z odbijaniem fal dźwiękowych od powierzchni ścian pionowych, jak również przenoszeniem wibracji po konstrukcji obiektu⁹². Biorąc pod uwagę powyższe względy akustyczne, najkorzystniejszą lokalizacją jednostki zewnętrznej powietrznej pompy ciepła jest otwarta przestrzeń z dala od powierzchni ścian i okien. Nie jest to jednak możliwe w przypadku zabudowy mieszkaniowej o niewielkiej szerokości działek. Przykładem takiej zabudowy są budynki wolnostojące w centrum miast lub zabudowa szeregowa, charakteryzująca się wąskimi działkami w środkowych segmentach. Problem z lokalizacją jednostki zewnętrznej wynika z zapisów w „Rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku”, które zobowiązuje właścicieli nieruchomości na terenach zabudowy jednorodzinnej do zachowania limitu hałasu na granicy działki.

Wybierając odpowiedni model pompy ciepła, należy zatem skupić się nie tylko na jej współczynniku efektywności COP, ale również na poziomie mocy akustycznej. Niestety poziom hałasu generowany przez aktualnie dostępne na rynku pompy ciepła przekracza te wartości, dlatego przy ich lokalizacji należy uwzględnić odpowiednią odległość od granicy działki.

Dokonując analizy możliwości montażu takiej jednostki należy oszacować poziom ciśnienia akustycznego na granicy działki. Do wyznaczenia niezbędna jest wartość mocy akustycznej pompy, współczynnik kierunkowości Q zależny od miejsca jej ustawienia oraz odległość od źródła dźwięku⁹³.

$$L_A = L_{WA} + 10 \cdot \log \left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \right) \quad (1.1)$$

gdzie:

L_A = poziom ciśnienia akustycznego przy odbiorniku,

L_{WA} = poziom mocy akustycznej źródła dźwięku,

Q = współczynnik kierunkowości,

r = odległość odbiornika od źródła dźwięku.

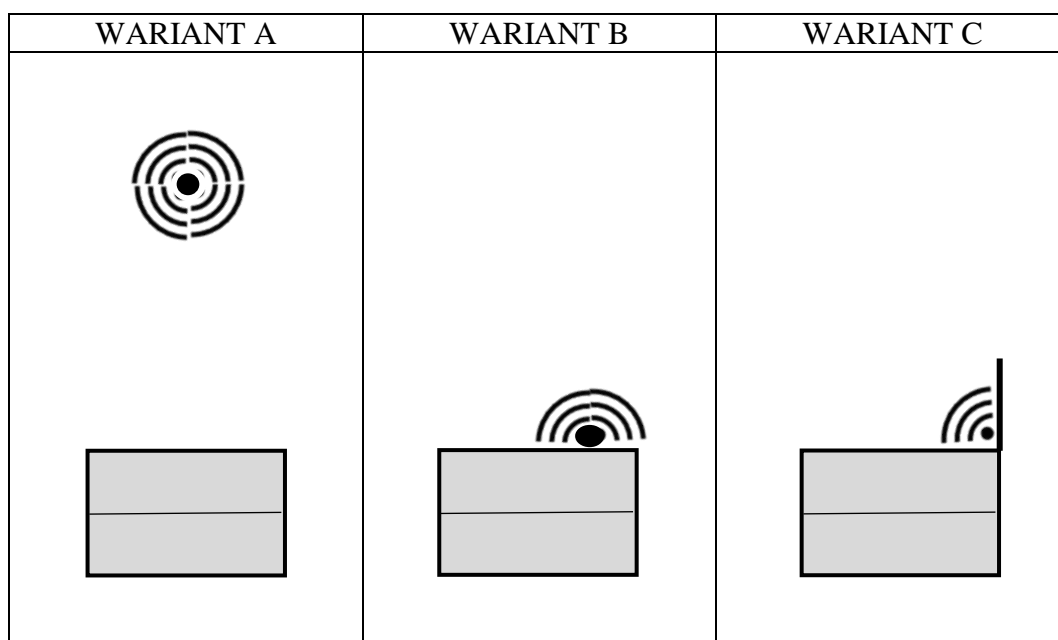
Obecnie rynek pomp ciepła w Polsce jest w fazie intensywnego rozwoju. Największym zainteresowaniem cieszą się powietrzne pompy ciepła typu powietrze/woda. Tym samym coraz większego znaczenia nabrał problem emisji hałasu w budownictwie jednorodzinym. Główne znaczenie ma to w gęstej zabudowie zurbanizowanej, gdzie odległości od budynków są ograniczone do minimum. Przeanalizowano zatem jaka jest optymalna lokalizacja jednostki zewnętrznej biorąc pod uwagę wymagane normy hałasu i wynikające z tego minimalne odległości od granic działki.

Większość powietrznych pom ciepła charakteryzuje się mocą akustyczną na poziomie 59-68dB. Minimalne odległości wynikają bezpośrednio z miejsca ustawienia jednostki zewnętrznej. W badaniach wzięto pod uwagę 3 możliwe lokalizacje ustawienia jednostki zewnętrznej :

- na otwartej przestrzeni -A,
- przy ścianie budynku – B
- w narożniku ścian budynku – C

⁹² <https://www.teraz-srodowisko.pl/media/pdf/aktualnosci/1406-Wytyczne-ograniczanie-halasu-instalacji-pompy-ciepła.pdf>

⁹³ ibidem



Ilustracja 79. Analizowane warianty lokalizacji jednostki zewnętrznej pompy ciepła [opracowanie własne].

Ze względów praktycznych najczęściej używany jest wariant B, czyli lokalizacja jednostki zewnętrznej pompy ciepła bezpośrednio przy ścianie budynku na osobnym fundamencie lub też podwieszona na ścianie. W analizie skupiono się na spełnieniu norm głośności na granicy działki na poziomie 40 i 50dB w zależności od pory dnia. Ze względu na fakt, iż w porze nocnej obowiązują niższe wartości dopuszczalnej emisji hałasu i specyfikacji urządzeń grzewczych uznano konieczność spełnienia norm nocnych. Wynika to bezpośrednio z faktu, iż urządzenia te potrzebują większej mocy grzewczej w przypadku niższych temperatur, które występują nocą co wiąże się bezpośrednio z większą emisją drgań i dźwięków. Na podstawie przeprowadzonej w dalszej części analizy wynika, że najkorzystniejszym rozwiązaniem jest lokalizacja na otwartej przestrzeni, ze względu na najmniejszy współczynnik kierunkowości. Aby zapewnić maksymalną dopuszczalną emisję dźwięków na granicy działki w wysokości 40dB dla pompy ciepła o maksymalnym poziomie dźwięków na poziomie 59dB jednostka zewnętrzna powinna znajdować się co najmniej w odległości 3,5 m od granicy działki. Maksymalna moc akustyczna pompy na poziomie 68dB wydłuża tę odległość do 10m od granicy działki. Aby zmniejszyć tę odległość do poziomu 1,1 m należałoby zainstalować pompę ciepła o maksymalnej mocy akustycznej nie większej niż 49dB.

Tabela 26. Minimalna odległość zewnętrznej jednostki pompy ciepła dla wariantu A [opracowanie własne].

Wariant A			
poziom ciśnienia akustycznego w zadanej odległości	współczynnik kierunkowości	poziom mocy akustycznej źródła dźwięku	Minimalna odległość od źródła dźwięku
L_A [dB]	Q [-]	L_{WA} [dB]	r [m]
40	2	49	1,1
40	2	59	3,5
40	2	68	10
50	2	49	0,35
50	2	59	1,1
50	2	68	3

Biorąc pod uwagę jednostkę zlokalizowaną na ścianie budynku (wariant B) o maksymalnej mocy akustycznej 59dB, powinna być ona odsunięta od granicy działki o minimum 5m, natomiast wzrost mocy do 68 dB ponad 3 krotnie wydłuża odległość do wartości 14m. Z obliczeń wynika, że aby móc zainstalować taką jednostkę na ścianie odsuniętej o 3m od granicy działki maksymalna moc akustyczna pompy ciepła powinna wynosić 55dB.

Tabela 27. Minimalna odległość zewnętrznej jednostki pompy ciepła dla wariantu B [opracowanie własne].

Wariant B			
poziom ciśnienia akustycznego w zadanej odległości	współczynnik kierunkowości	poziom mocy akustycznej źródła dźwięku	Minimalna odległość od źródła dźwięku
L_A [dB]	Q [-]	L_{WA} [dB]	R [m]
40	4	49	1,6
40	4	59	5
40	4	68	14
50	4	49	0,5
50	4	59	1,6
50	4	68	4,3

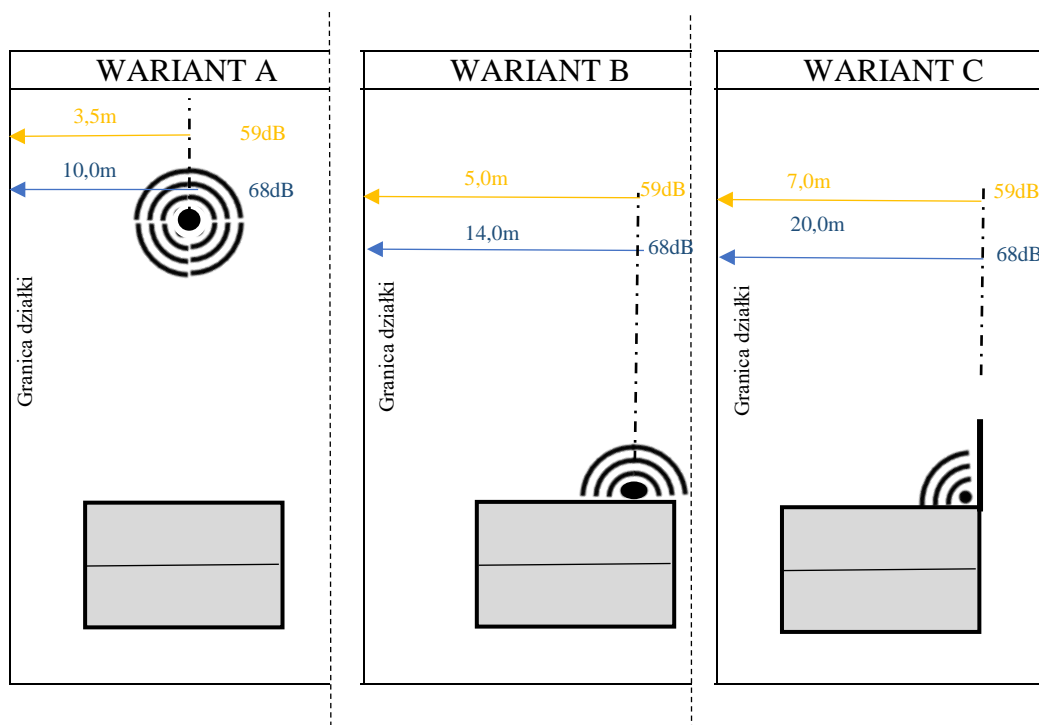
Ostatnim analizowanym wariantem jest lokalizacja jednostki w narożniku budynku – wariant C. W przypadku osłonięcia urządzenia z dwóch stron pionowymi ścianami współczynnik kierunkowości wzrasta dwukrotnie w porównaniu z wariantem B. Jest to zatem najmniej korzystne rozwiązanie wpływające bezpośrednio na emisję hałasu. Odległość wzrasta do 7m przy maksymalnej mocy 59dB, a dla 68dB wynosi już 20m od granicy działki.

Tabela 28. Minimalna odległość zewnętrznej jednostki pompy ciepła dla wariantu C [opracowanie własne].

Wariant C			
poziom ciśnienia akustycznego w zadanej odległości	współczynnik kierunkowości	poziom mocy akustycznej źródła dźwięku	Minimalna odległość od źródła dźwięku
L_A [dB]	Q [-]	L_{WA} [dB]	r [m]
40	8	49	2,3
40	8	59	7
40	8	68	20
50	8	49	0,75
50	8	59	2,3
50	8	68	6

Jak wykazały obliczenia największy problem z ustawieniem powietrznej pompy ciepła występuje w gęstej zabudowie mieszkaniowej. Dotyczy to zarówno zabudowy szeregowej jak i gęstej zabudowy wolnostojącej i bliźniaczej na niewielkich działkach. Najlepszym rozwiązaniem jest usytuowanie jednostki zewnętrznej na wolnej przestrzeni. Biorąc pod uwagę wcześniejsze obliczenia minimalna szerokość środkowych segmentów tego typu zabudowy powinna wynosić minimum 7m przy założeniu jednostki o maksymalnej mocy 59dB. Lokalizacja jednostki na otwartej przestrzeni jednak w takiej zabudowie jest dość trudna w wykonaniu ze względu na

zagospodarowanie terenu. Wskazane jest, aby jednostka znajdowała się raczej od frontowej części działki wraz ze strefą wejściową i parkingiem.



Ilustracja 80. Minimalne odległości jednostki zewnętrznej w zależności od mocy akustycznej i lokalizacji [opracowanie własne].

Przy takich samych założeniach, lecz usytuowaniu jednostki na ścianie budynku minimalna szerokość działki powinna wynosić ponad 10m, co jest rzadko spotykane w przypadku zabudowy szeregowej, na której skupiają się głównie obecnie nowoczesne osiedla mieszkaniowe. Przykładem jest ciągle rozbudowywane osiedle Leśna Polana w podpoznańskiej Dąbrowce. Większość osiedla przeznaczona jest pod zabudowę szeregową, w której szerokość działek wynosi 7,5m.



Ilustracja 81. Widok na osiedle Leśna Polana w Dąbrowce Dąbrowce [źródło: <https://dabrowka.com.pl/mapa-lesna-polana/>, dostęp 04.04.2022r]



Ilustracja 82. Plan osiedla Leśna Polana w Dąbrowce [źródło: <https://dabrowka.com.pl/mapa-lesna-polana/>, dostęp 04.04.2022r]

Jednym z rozwiązań mających istotny wpływ na emisję hałasu jest zastosowanie elewacji o korzystnych parametrach akustycznych. Bardzo dobrymi parametrami w tym aspekcie cechują się trójwarstwowe ściany. Ocieplenie warstwy konstrukcyjnej wełną mineralną i osłonięcie jej materiałem o właściwościach pochłaniających dźwięk może przynieść znaczące korzyści w tym zakresie. Jak wykazują badania rozwiązania oparte na metodzie „lekkiej suchej”, którego przykładem jest elewacja wentylowana charakteryzują się lepszą izolacyjnością akustyczną o parę dB od metod mokrych⁹⁴. Dobre efekty przynoszą również ciężkie okładziny jak płyty włóknowo-cementowe, które można coraz częściej spotkać w projektach budynków jednorodzinnych.

Korzyści przynieść może również stosowanie obudowy akustycznej samego urządzenia co według badań producenta⁹⁵ może zredukować emisję hałasu o około 10dB. Według badań⁹⁶ podobną charakterystyką tłumienia hałasu cechuje się naturalna

⁹⁴ <https://inzynierbudownictwa.pl/akustyka-domow-jednorodzinnych-o-zabudowie-szeregowej/>

⁹⁵ https://www.daikin.pl/pl_pl/about/case-studies/sound-enclosure-case-study-in-flassy.html

⁹⁶ Habrat T., *Zieleń jako element ekranujący*, Instytut telekomunikacji i akustyki Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1999.

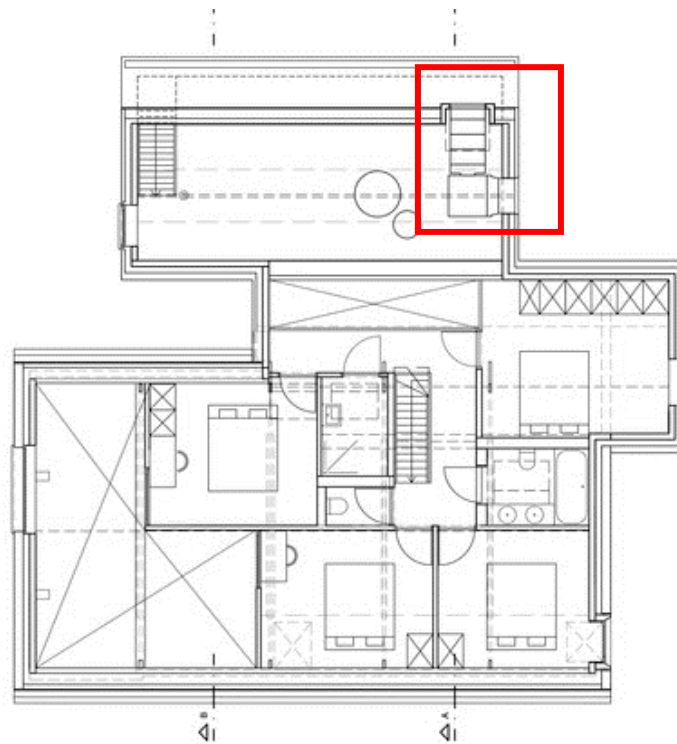
roślinność. Według R. Makierewicza⁹⁷ korzystne walory ekranujące posiada nawet wąski pas zieleni poprzez zmianę kształtu widma czy rozproszenie fal dźwiękowych.



Ilustracja 83. Zewnętrzna jednostka pompy ciepła 1. W otoczeniu zieleni [źródło: <https://muratorodom.pl>, dostęp: 19.05.2022r] 2. Przy ścianie z materiałem pochłaniającym dźwięk [źródło: <https://feris.tech/pompy-ciepala/>, dostęp: 19.05.2022r] 3. W specjalnej akustycznej obudowie [źródło: <https://www.pinterest.fr/> dostęp: 19.05.2022r]

⁹⁷ ibidem

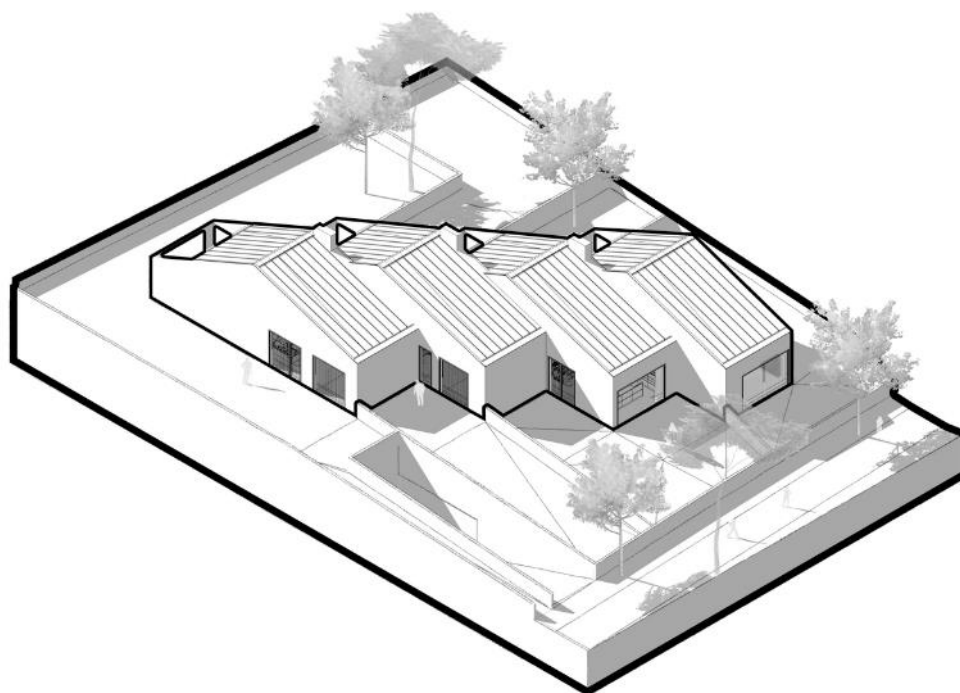
Ciekawe rozwiązanie lokalizacji jednostki zewnętrznej pompy ciepła zaproponowała pracownia Atelier Tom Vanhee przy projekcie renowacji budynku jednorodzinnego w Belgii. W obiekcie zaprojektowano powietrzną pompę ciepła natomiast jednostkę zewnętrzną umieszczono wewnątrz obiektu w części poddasza garażu. Wymaganą wymianę powietrza zapewniono dzięki specjalnym otworom w elewacji i specjalnie zaprojektowanego do tego dużego komina.



Ilustracja 84. House Aartrijke / Atelier Tom Vanhee [źródło: https://www.archdaily.com/796415/house-aartrijke-atelier-tom-vanhee?ad_medium=gallery dostęp: 13.04.2022r].

Pompa ciepła staje się coraz popularniejszym wyborem wśród użytkowników budynków mieszkalnych. Jednakże jej zastosowanie niesie ze sobą pewne ograniczenia. Praca powietrznej pompy ciepła może przyczynić się do zwiększenia się emisji hałasu w omawianej zabudowie co może wpłynąć na pogorszenie komfortu użytkowania obiektu. W celu ograniczenia rozchodzenia się dźwięku po konstrukcji obiektu w trakcie projektowania należałoby zwrócić szczególną uwagę na jej lokalizację oraz odpowiedni dobór materiałów pochłaniających dźwięk i tym samym ograniczające negatywne skutki pracy urządzenia.

Wariantem pompy ciepła, w której nie występuje emisja hałasu jest wariant wykorzystujący gruntowny wymiennik ciepła. Coraz częściej takie rozwiązania spotykane są w zabudowie mieszkalnej jednorodzinnej, jak i szeregowej np. Loyola Houses w Hiszpanii pracowni Ramos Bilbao Arquitectos.



Ilustracja 85. Budynki szeregowo Loyola Houses w Hiszpanii [źródło: <https://www.archdaily.com>, dostęp 14.04.2022r]

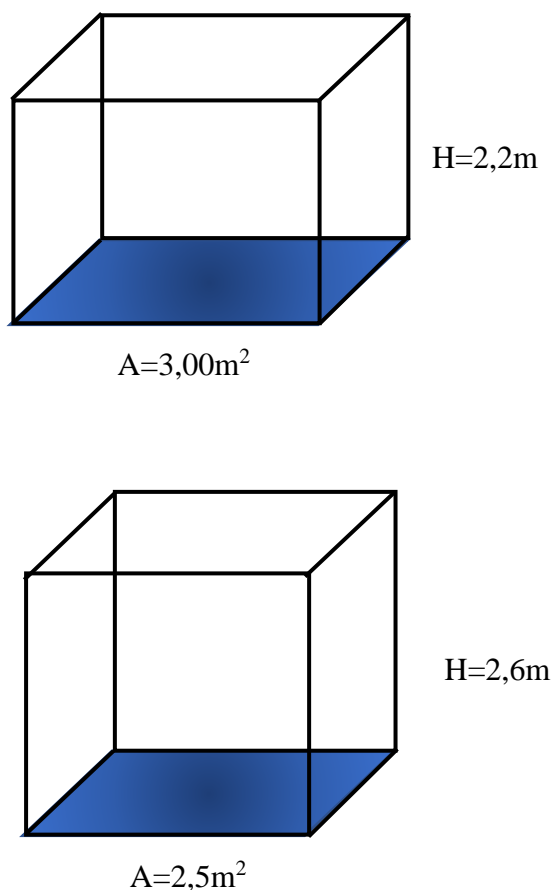
5.1.3 Uwarunkowania techniczne dotyczące kotłowni gazowej

Podstawowym aktem prawnym zawierającym wytyczne do projektowania i wykonawstwa kotłowni gazowej jest rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. W budynkach mieszkalnych jednorodzinnych najczęściej stosuje się kotły o mocy 16-21kW. Zgodnie z § 176 ust. 2 kotły na paliwa gazowe o łącznej mocy cieplnej do 30kW mogą być instalowane w pomieszczeniu nieprzeznaczonym na stały pobyt ludzi, technicznym lub przewidzianym wyłącznie na kotłownię w budynku wolno stojącym. Nie każde zatem urządzenie grzewcze wymaga osobnego pomieszczenia. Dotyczy to jedynie kotłów gazowych z zamkniętą komorą spalania (typ C), niezależnie od rodzaju występującej we wnętrzach wentylacji, pod warunkiem zastosowania koncentrycznych przewodów powietrzno-spalinowych. Za pomieszczenia nieprzeznaczone na stały pobyt ludzi uważa się takie, w których osoby przebywają krócej niż 4 godziny na dobę, a zaliczają się do nich przede wszystkim łazienkę, wydzieloną kuchnię, przedpokoje, garderoby, pomieszczenia sanitarne, pralnie itp. W przypadku instalacji kotłów gazowych w wyżej wymienionych pomieszczeniach wymagane jest, aby miały one kubaturę nie mniejszą niż $6,5\text{m}^3$. Przy założeniu zatem standardowej wysokości pomieszczenia $2,6\text{m}$ wystarczy pomieszczenie o powierzchni $2,5\text{m}^2$, natomiast przy minimalnej wysokości $2,2\text{m}$ to niecałe 3m^2 .



Ilustracja 86. Przykładowe wnętrze z kotłem gazowym [Źródło: <https://www instalacjebudowlane.pl/4182-23-40-gdzie-umiescic-kociol-grzewczy.html>, 13.01.2022r]. dostęp

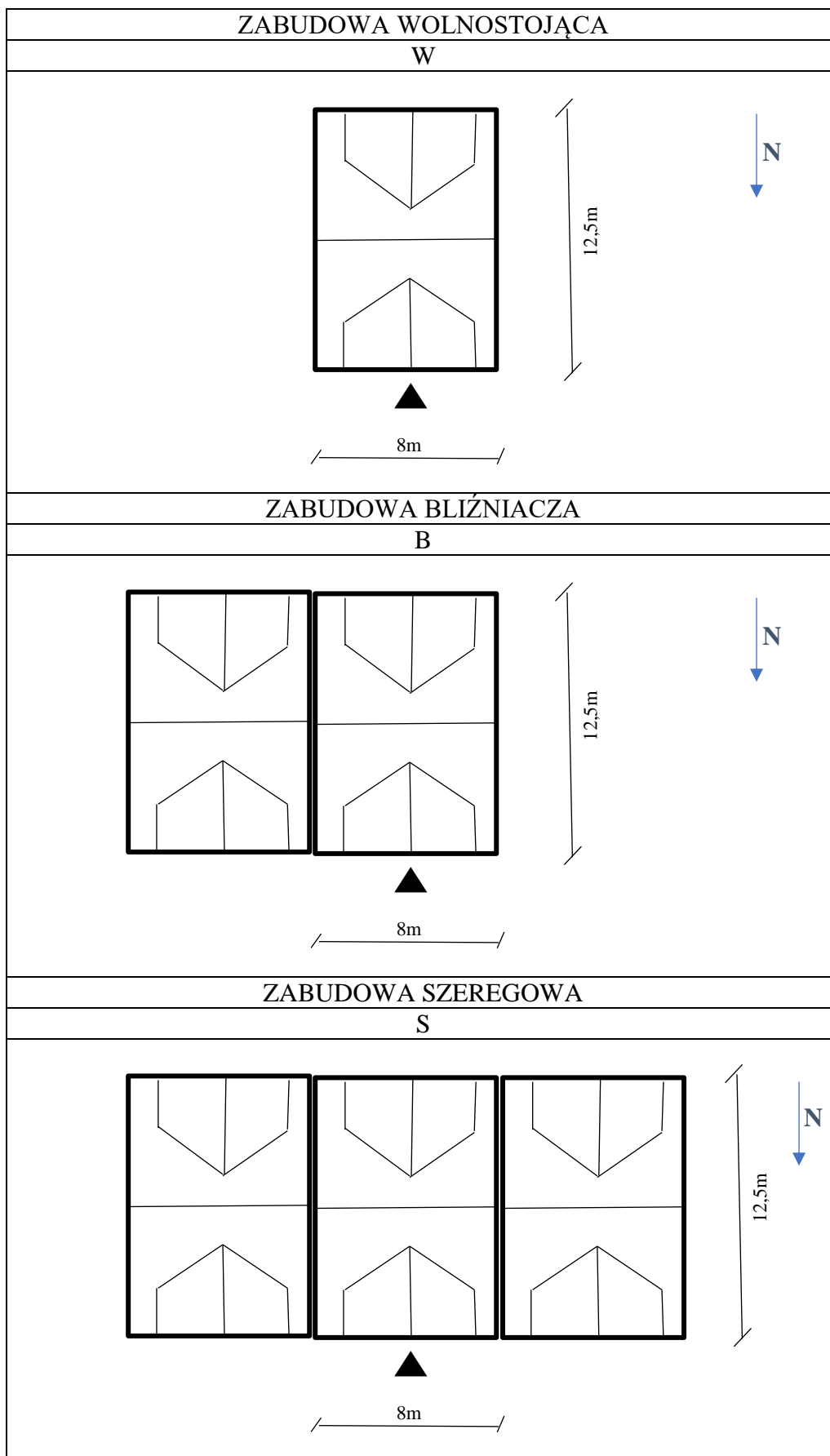
Pod względem architektonicznym nieocenioną zaletą ogrzewania gazowego jest oszczędność miejsca i dość łatwe do spełnienia przepisy. Jest to najczęściej spotykany sposób ogrzewany przyjmowany w gotowych projektach architektonicznych. Biorąc pod uwagę zdecydowanie mniejsze gabaryty kotła gazowego w porównaniu z biomasą i pompą ciepła jest to preferowane źródło ciepła dla budynków o bardzo ograniczonej powierzchni zabudowy lub w budynkach mieszkaniowych w zabudowie szeregowej.



Ilustracja 87. Przykładowe wymiary pomieszczeń technicznych dla paliwa gazowego [opracowanie własne].

Wyniki z rozdziału 4 jednoznacznie wskazują, że zastosowanie gazu ziemnego w obecnej formie będzie bardzo ograniczone w budownictwie mieszkalnym. Z tego względu w kolejnym etapie badań starano się sprawdzić jak nieanalizowane wcześniej rozwiązania architektoniczne wpływają na zużycie energii pierwotnej i jakie elementy należało by zmienić, aby zastosowanie gazu było bardziej prawdopodobne.

Ten typ źródła dominuje przede wszystkim w zabudowie szeregowej i małych budynkach wolnostojących dlatego w pierwszej kolejności zbadano wpływ typu zabudowy mieszkaniowej na wartość wskaźnika EP przy założeniu, że pozostałe parametry budynku i instalacji są identyczne dla analizowanych budynków.



Ilustracja 88. Rozpatrywane schematy zabudowy mieszkaniowej [opracowanie własne].

Wszystkie parametry obiektu, jak i rozwiązań instalacyjnych w każdym z wariantów przyjęto za identyczne i przedstawiono je w tabeli 29.

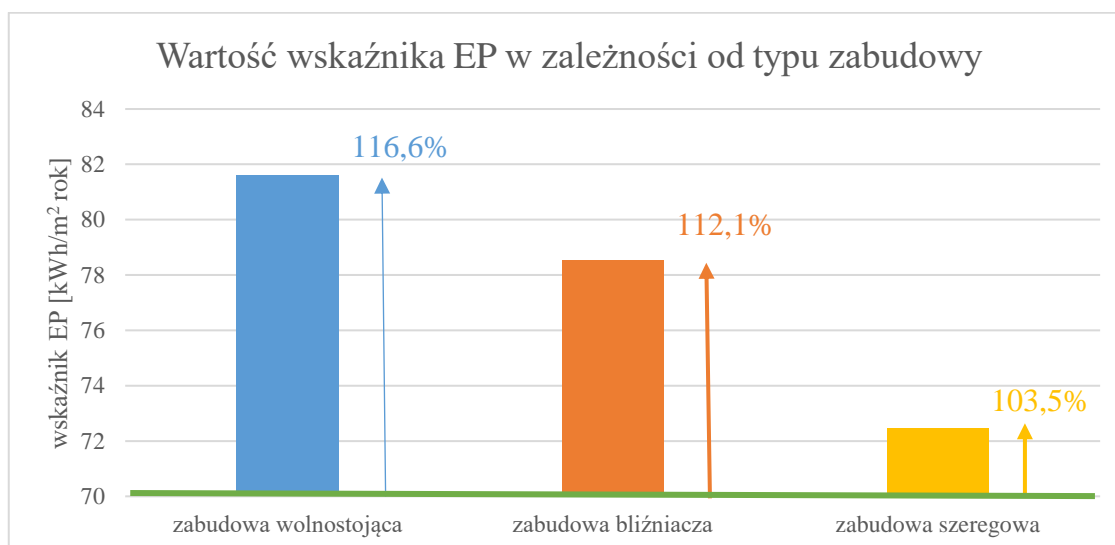
Tabela 29. Parametry obiektu przyjęte w obliczeniach [opracowanie własne].

Powierzchnia zabudowy	100m²
Powierzchnia o regulowanej temperaturze Af	157,96m ²
Kubatura budynku	645,7m ³
Współczynnik kształtu	0,66
Źródło ciepła (c.o + c.w.u)	Gaz ziemny / energia elektryczna
Rodzaj wentylacji	Mechaniczna z odzyskiem ciepła (85%)
Rodzaj źródła ciepła	Kondensacyjny kocioł gazowy niskotemperaturowy 55/45 C o mocy nominalnej do 50kW
Rodzaj instalacji grzewczej	Ogrzewanie wodne podłogowe z regulacją centralną i miejscową
Rodzaj zasobnika	Zasobnik ciepła w przestrzeni ogrzewanej

Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że zabudowa szeregowa charakteryzuje się najniższymi wskaźnikami zużycia energii pierwotnej przy identycznych parametrach obiektu. W przypadku wolnostojącego obiektu o powierzchni zabudowy 100m², wskaźnik EP wynosi 81,62 kWh/(m²·rok) a ten sam obiekt w zabudowie szeregowej charakteryzuje się wskaźnikiem EP niższym o około 18% i wynosi 72,46 kWh/(m²·rok), co tak naprawdę nieznacznie tylko przekracza wymagany próg równy 70 kWh/(m²·rok).

Tabela 30. Wyniki wskaźnika EP w zależności od typu zabudowy [opracowanie własne].

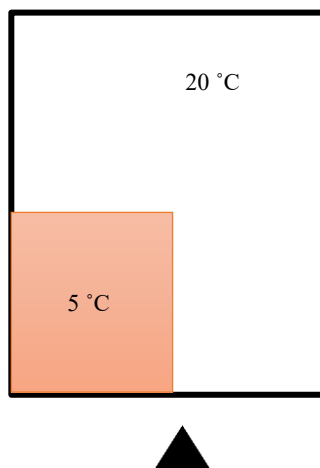
TYP ZABUDOWY	WSKAŹNIK EP [kWh/m²·rok]
WOLNOSTOJĄCY	81,62
BLIŹNIACZY	78,52
SZEREGOWY	72,46



Wykres 92 Wartość wskaźnika EP w zależności od typu zabudowy

Przy wykonywaniu obliczeń charakterystyki energetycznej obiektów należy zwrócić uwagę na uwzględnienie wszystkich niezbędnych parametrów. W badaniu stworzono model budynku i na tej podstawie wyznaczono straty przez przenikanie odpowiednich przegród budowlanych. Wykonanie obliczeń dla tego samego obiektu jedynie poprzez zdefiniowanie wymaganych parametrów budynku, nie uwzględniając wielkości poszczególnych przegród budowlanych i ilości otworów okiennych znacząco wpływa na otrzymane wyniki końcowe. Wykonanie obliczeń dla budynku wolnostojącego bez tworzenia modelu rzeczywistego obniżyło wartość wskaźnika EP z 81,62 do 65,47 kWh/(m²·rok). Jak pokazują wyniki, w celu spełnienia aktualnych wymogów EP ≤ 70 kWh/(m²·rok), poprawność metodyki liczenia ma kluczowy wpływ.

W kolejnym etapie sprawdzono jak układ funkcjonalny wnętrza wpływa na wskaźnik zużycia energii pierwotnej. Ze względu na fakt, iż w obiektach mieszkalnych większość pomieszczeń przeznaczona jest na pobyt ludzi i charakteryzuje się temperaturą zbliżoną do 20°C, w dalszej części analizy skupiono się na pomieszczeniach o znacząco różnej temperaturze. W pierwszej kolejności przeanalizowano jak garaż w bryle budynku wpływa na całościową charakterystykę energetyczną. W tym celu część parteru o powierzchni 21 m² przeznaczono na garaż indywidualny dla 1 samochodu osobowego o projektowanej temperaturze 5°C. Ścianę pomiędzy częścią mieszkalną a garażem przewidziano jako konstrukcyjną z 5cm ociepleniem i łącznym współczynnikiem przenikania ciepła U na poziomie 0,62W/m²·K.



Ilustracja 89. Schemat rozkładu pomieszczeń w budynku o innych temperaturach [opracowanie własne].

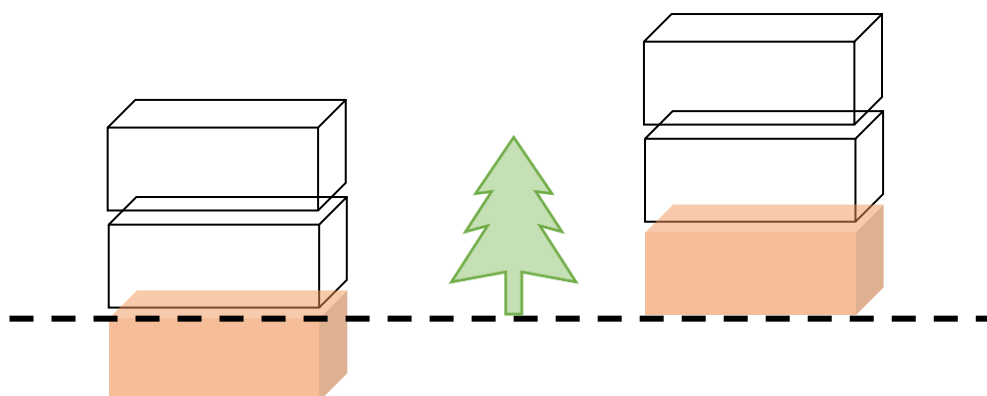
Analizy dokonano dla dwóch wariantów: garażu ogrzewanego i nieogrzewanego. Wyniki przedstawiono w tabeli 31.

Tabela 31. Wyniki wskaźnika EP w zależności od lokalizacji i parametrów garażu [opracowanie własne].

TYP ZABUDOWY	WSKAŹNIK EP [kWh/m ² rok]		
	Bez garażu	Garaż ogrzewany	Garaż nieogrzewany
WOLNOSTOJĄCY	81,69	77,74	86,73
BLIŹNIACZY	78,52	73,53	79,85
SZEREGOWY	72,46	70,62	76,43

Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, iż przeznaczenie części budynku na garaż indywidualny o niższej temperaturze wpływa korzystnie na zużycie energii, ale tylko w przypadku utrzymania w nim stałej temperatury i uwzględnieniu go jako przestrzeni ogrzewanej. Niezależnie od typu zabudowy zaprojektowanie garażu ogrzewanego w układzie funkcjonalnym obiektu obniża jego wskaźnik EP. Dla zabudowy wolnostojącej o 5%, bliźniaczej o 6,5% a szeregowej 2,5%. Przy uwzględnieniu tej samej powierzchni garażu jako przestrzeni nieogrzewanej, wskaźnik EP z kolei wzrasta w porównaniu z wariantem bazowym bez garażu o 5-6%.

Tereny mocno zurbanizowane charakteryzują się dość niewielką powierzchnią działek co ogranicza możliwości jej kształtowania. W dalszej części analizy sprawdzono, jaki będzie miało wpływ dodanie kolejnej kondygnacji mieszkalnej do budynku na jego charakterystykę energetyczną. W obliczeniach wzięto pod uwagę dodanie kondygnacji technicznej wykorzystanej na cele kotłowni i garażu o projektowanej temperaturze 5°C. Przeanalizowano dwa warianty. Dodanie kondygnacji podziemnej oraz dodanie jednej kondygnacji nadziemnej do wariantu bazowego. Obliczenia wykonano jedynie dla wersji wolnostojącej oraz szeregowej.



Ilustracja 90. Schemat rozpatrywanego układu kondygnacji budynku [opracowanie własne].

Na podstawie powyższych badań stwierdzono, że budynek po dodaniu jednej kondygnacji charakteryzuje się niższymi wartościami wskaźnika EP co czyni go bardziej efektywnym energetycznie w porównaniu do budynku bazowego i jest to wystarczające do spełnienia wymogu maksymalnego wskaźnika $EP \leq 70 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$. Jest to bezpośrednio związane z mniejszym w tym wypadku współczynnikiem kształtu A/V , na który wpływa większa kubatura obiektu, co analizowano w poprzedniej części badań. Nie wykazano natomiast znaczącej różnicy pomiędzy kondygnacją podziemną a nadziemną.

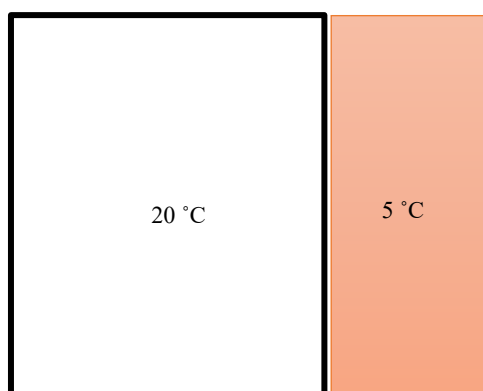
Tabela 32. Wyniki wskaźnika EP w zależności od ilości kondygnacji [opracowanie własne].

TYP ZABUDOWY	WSKAŹNIK EP [kWh/m ² ·rok]		
	Wariant bazowy	Dodatkowa kondygnacja podziemna	Dodatkowa kondygnacja nadziemna
WOLNOSTOJĄCY	81,69	66,41	66,68
SZEREGOWY	72,46	66,18	66,79

Istotnym parametrem w tym wypadku jest jednakże projektowana temperatura wewnętrzna przestrzeni. Przykładowo dodanie dodatkowej kondygnacji o funkcji mieszkalnej o projektowanej temperaturze 20°C w zabudowie szeregowej zwiększa wskaźnik EP z 66,41 do 70,55 kWh/m²·rok.

Zabudowa szeregową obiektów mieszkalnych charakteryzuje się niewielką powierzchnią zabudowy i zwartą bryłą, co jest bezpośrednio związane z koniecznością powtarzalności segmentów. Ze względu na bezpośrednie przyleganie do ścian budynku innych segmentów mieszkalnych ten typ zabudowy charakteryzuje się lepszymi parametrami w porównaniu do takiego samego budynku w zabudowie wolnostojącej. Odpowiednio kształtując bryłę i układ funkcjonalny obiektu jesteśmy w stanie obniżyć wskaźnik EP przy ogrzewaniu gazowym do wymaganej wartości. Zabudowa wolnostojąca z kolei charakteryzuje się największą dowolnością w kształtowaniu jej architektury ograniczoną jedynie przepisami w warunkach zabudowy lub miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego.

Przeanalizowano również wpływ wielkości przestrzeni technicznej o znacząco różnej temperaturze w zabudowie wolnostojącej na wskaźnik jej efektywności energetycznej. Jako wariant bazowy przyjęto podstawowe wymiary obiektu z tabeli 29. Całość obiektu przeznaczono na pomieszczenia o temperaturze 20°C, natomiast analizie podlegała dodatkowo dodana powierzchnia techniczna o temperaturze 5°C o powierzchni łącznej 40m² oraz 52m².



Ilustracja 91. Schemat analizowanego przykładu zabudowy wolnostojącej [opracowanie własne].

Jak wykazano zwiększenie powierzchni zabudowy o powierzchnię o zdecydowanie niższej temperaturze niż pomieszczenia mieszkalne pozytywnie wpływa na całościowe zużycie energii przez budynek. Im większy procent powierzchni o niższej temperaturze tym korzystniejszy wskaźnik EP.

Tabela 33. Wyniki wskaźnika EP w zależności o wielkości części o niższej temperaturze [opracowanie własne].

TYP ZABUDOWY	WSKAŹNIK EP [kWh/m ² rok]		
	Wariant bazowy	Część techniczna o powierzchni 40m ²	Część techniczna o powierzchni 52 m ²
WOLNOSTOJĄCY	81,69	70,97	70,1

Mimo, iż gaz ziemny należy do paliw kopalnych w dalszym ciągu można spotkać tego typu rozwiązania we współczesnych projektach mieszkalnych. Jak pokazały badania jego wykorzystanie w głównej mierze zależy jednak od przyjętych we wstępnej fazie projektu założeniach co może wpłynąć zarówno korzystnie na architekturę obiektu poprzez większą zwartość bryły, jak i niekorzystnie poprzez proponowanie przez architektów nieuwarunkowanych funkcjonalnie nieekonomicznych rozwiązań.

Przykładem nowoczesnej architektury z ogrzewaniem gazowym jest projekt ekologicznego osiedla domów szeregowych - *Arborescence* zaprezentowany przez dewelopera z Montrealu, spółki *KnightsBridge*. Domy cechują się najnowocześniejszymi standardami ekoprojektowania potwierdzonymi certyfikatem LEED a zarazem wyposażone są w ogrzewanie gazowe.



Ilustracja 92. Ekologiczne osiedle domów szeregowych *Arborescence* [źródło: <https://swiatoze.pl/ekologiczne-domy-szeregowe-w-stylu-skandynawskim/>, dostęp: 28.12.2021r].

Podobne rozwiązania prezentują również polscy architekci. Przykładem jest osiedle *Ostoja Kampinos* pracowni *Beczak & Beczak* architekci. Projekt osiedla został wykonany zgodnie z autorską koncepcją domu niskoemisyjnego firmy *Weinerberger* o nazwie *e4*, opierającą się na czterech filarach takich jak: energia, ekologia, ekonomia i emocje. Gaz ziemny wykorzystany został również w projekcie *Wood House* w Krakowie obejmującym dwa budynki jednorodzinne w zabudowie bliźniaczej. Prosta forma obiektu urozmaicona została wyrzeźbionym dachem i drewnianą elewacją. Obiekty te cechują się niewielką powierzchnią zabudowy jednego segmentu mieszkalnego lecz ponadprzeciętną wysokością obiektu co zwiększa ich kubaturę.



Ilustracja 93. Osiedle Kampinos [źródło: <https://domenergo.com/aktualnosci/ostoja-kampinos/>, dostęp 24.04.2022r]

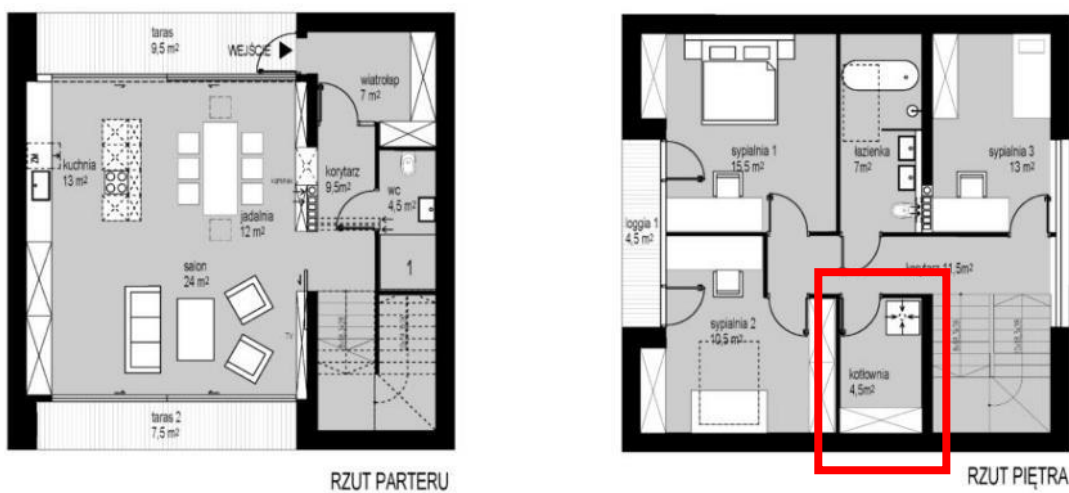


Ilustracja 94. Wood House w Krakowie [źródło: https://zyciewarchitekturze2020.architekturamurator.pl/contact_forms/popup/112/565765/, dostęp 24.04.2022r]

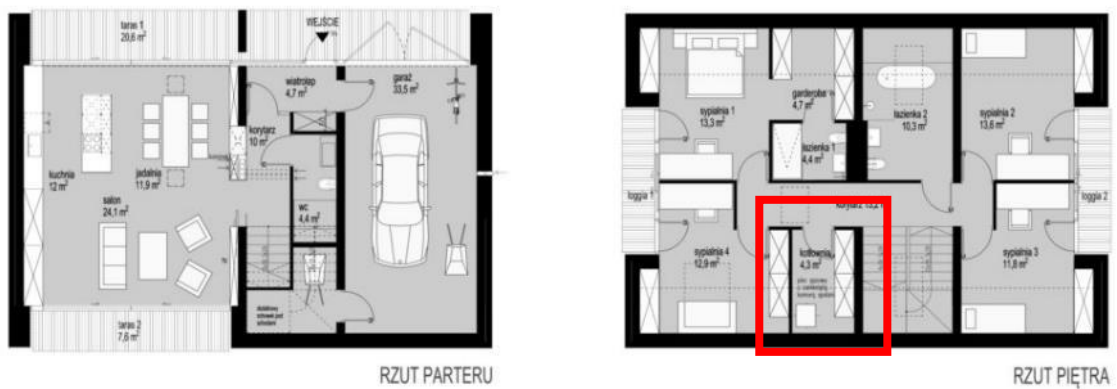
Ogrzewanie gazowe jest również najpopularniejszym źródłem ciepła wykorzystywanym w projektach gotowych. Przykładem są domy typowe „Dom w kolorze” pracowni Architektury Głowacki. Jest to propozycja domu kompaktowego w dwóch wariantach powierzchniowych: S o powierzchni użytkowej 131,5m² i M o powierzchni 158,5m². W każdym z wariantów kotłownia gazowa znajduje się na piętrze w sąsiedztwie pokoi sypialnych. Budynek charakteryzuje się bardzo zwartą bryłą na planie prostokąta z symetrycznym dachem dwuspadowym. Projekt budynku wyróżnia zastosowanie jednego materiału wykończenia całości obiektu.



Ilustracja 95. Dom w kolorze [źródło: <https://domyzglowa.pl/projekt/950/>, dostęp: 14.01.2022r].



Ilustracja 96. Dom w kolorze – rzuty wersji S [źródło: <https://domyzglowa.pl/projekt/950/>, dostęp: 14.01.2022r].



Ilustracja 97. Dom w kolorze – rzuty wersji M [źródło: <https://domyzglowa.pl/projekt/950/>, dostęp: 14.01.2022r].

5.2 Uwarunkowania techniczne dotyczące wentylacji obiektu

Współczesne budownictwo dąży do zmniejszenia zapotrzebowania na energię i tym samym obniżenia kosztów eksploatacyjnych. Wraz z zaostrzającymi się przepisami technicznymi i wzrostem świadomości użytkowników należałoby zwrócić uwagę na projektowane w nowych obiektach systemy wentylacyjne. Jak wykazały badania ma to równie istotny wpływ na obniżenie zużycia energii jak dobra izolacyjność ścian. Istotną kwestią w dziedzinie wentylacji obiektów jest zwrócenie uwagi na technikę wentylacyjną nowo projektowanych budynków, która powinna być wysokoefektywna w połączeniu z możliwością dostosowania do wymagań użytkownika. Przepisy zawarte w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2014 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie regulują nie tylko zagadnienia energetyczne budynków, ale również dotyczące projektowania instalacji wentylacyjnych. Można w nich znaleźć wymagania dotyczące zapewnienia odpowiedniego stanu powietrza wewnętrznego takie jak:

- ilość świeżego powietrza,
- jakość świeżego powietrza,
- kierunek przepływu świeżego powietrza w pomieszczeniach
- maksymalne wartości emitowanego hałasu i drgań przez urządzenia wentylacyjne,
- odpowiedni dobór i rozmieszczenie urządzeń i elementów instalacji wentylacyjnej.

Według polskich przepisów⁹⁸ zapewnienie odpowiedniej wentylacji niezbędne jest w strefach, gdzie przebywają ludzie, jak również w pomieszczeniach bez otwieranych okien oraz wszystkich innych pomieszczeniach, w których ze względów technologicznych czy bezpieczeństwa zapewnienie odpowiedniego stanu powietrza jest niezbędne. Instalacje wentylacji można wykonać jako:

- grawitacyjną (oparta na naturalnym ciągu powietrza),
- hybrydową,
- mechaniczną (oparta na wymuszonym przez wentylatory ciągu powietrza): nawiewną, wywiewną, nawiewno-wywiewną bez/ z odzyskiem ciepła.

Budynki mieszkalne jednorodzinne, które są przedmiotem badań nie mają specjalnych wymagań, dlatego można w nich stosować zarówno wentylację grawitacyjną, jak i wentylację mechaniczną. Polska norma określa jednak minimalne strumienie powietrza doprowadzonego do budynku jednorodzinego na poziomie 20m³/h na osobę. Wentylacja mechaniczna opiera się na wymuszonym obiegu powietrza dlatego oprócz wymagań dotyczących lokalizacji czerpni i wyrzutni⁹⁹ nie wpływa ona znacząco na architekturę obiektu. Niewielkiego rozmiaru otwory łatwo ukryć na elewacji obiektu nie wpływając na jej końcowy efekt, co potwierdza projekt domu jednorodzinego w Katowicach pracowni RS+ .

⁹⁸ PN-83/B-03430 Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej Wymagania wraz ze zmianą PN-83/B-03430/Az3 luty 2000

⁹⁹ Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2014 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie

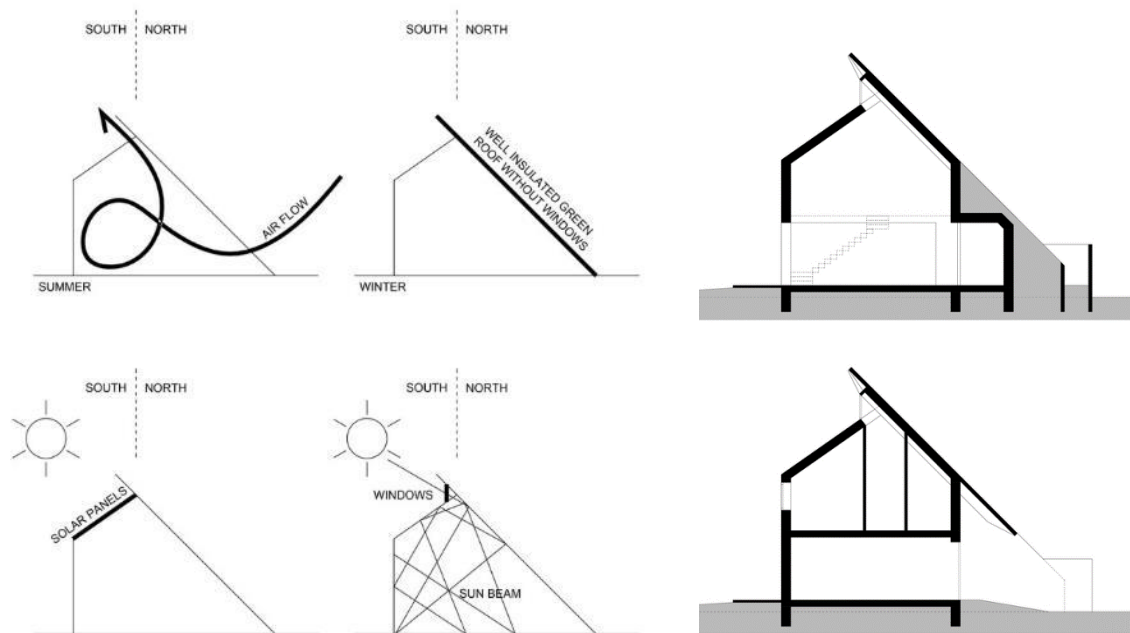


Ilustracja 98. Dom jednorodzinny w Katowicach [źródło: <https://www.bryla.pl/bryla/1,85301,19666485,katowicki-dom-z-lupka-skosny-okap-zdradza-co-dziejsie-w-srodku.html>, dostęp 24.05.2022]

Inaczej sytuacja wygląda w budynkach wyposażonych w wentylację grawitacyjną, gdzie szczególnie istotne jest projektowanie obiektu w taki sposób, który zapewni odpowiedni naturalny przepływ powietrza. Szczególnie istotne znaczenie ma to w okresie letnim, kiedy ze względu na wysokie temperatury przepływ powietrza jest mocno ograniczony.

Zastosowanie wentylacji grawitacyjnej w niskoenergetycznych budynkach wymaga od architekta znajomości podstawowych zasad naturalnego przepływu powietrza i odpowiedniego kształtowania architektury wzmagając tzw. „efekt kominowy”. Stosowanie wentylacji naturalnej jest szczególnie popularne w krajach z ciepłym klimatem natomiast w Polsce tylko nieliczne projekty nowoczesnych domów wykazują dostosowanie bryły konkretnie pod tego rodzaju typ wentylacji. Jednym z przykładów jest budynek mieszkalny „Dom z dachem” pracowni Superhelix.

Elementem wspomagającym naturalny przepływ powietrza otwarta część atrialna o dużej wysokości i szereg otwieralnych okien w najwyższej części połaci dachowej.

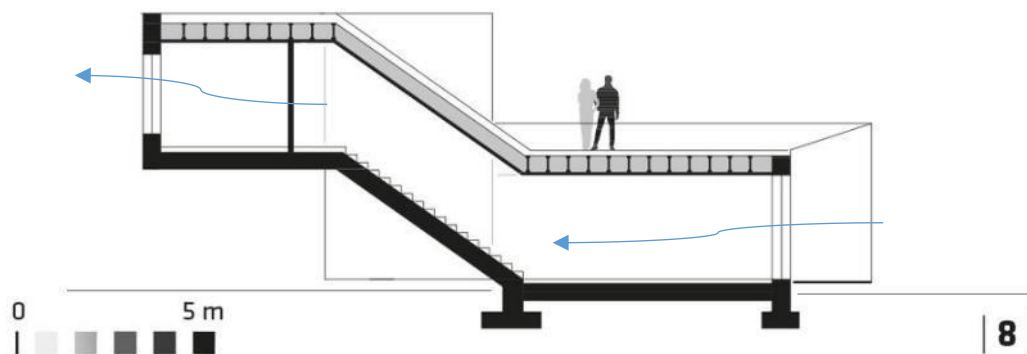


Ilustracja 99. Dom z dachem [Źródło: <https://www.archdaily.com>, dostęp 24.05.2022r]

Odpowiednie formowanie bryły wspomagające efekt kominowy możemy zauważyć w projekcie architekta Piotra Kuczii „Dom Robak”. Istotnym parametrem jest korzystna lokalizacja okien i odpowiednie połączenie przestrzeni parteru z piętrem.



Ilustracja 100. Dom Robak [źródło: <https://magazif.com/architektura/dom-robak-ekologiczny-dom-przyszlosci/>, dostęp 24.05.2022r]

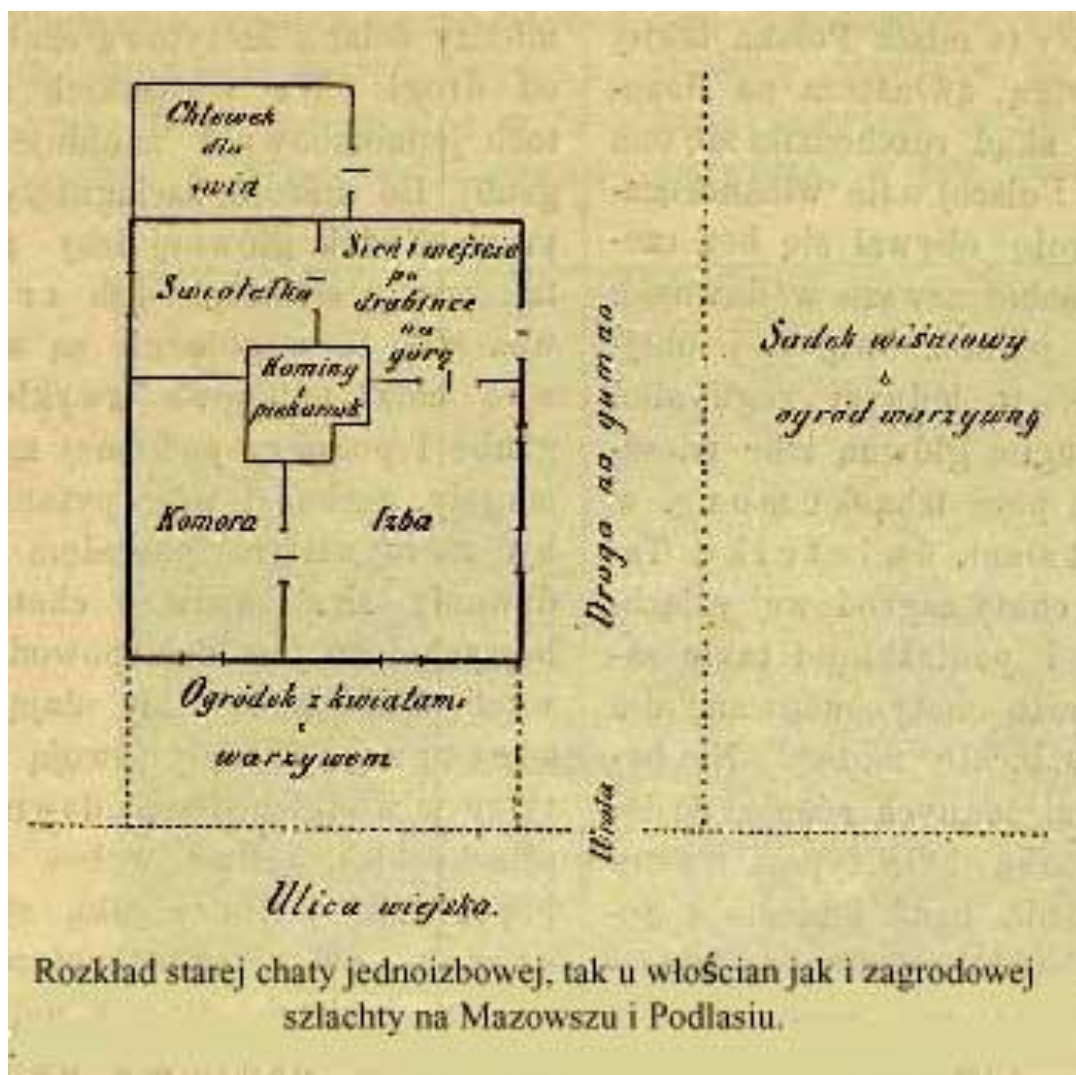


Ilustracja 101. Dom Robak – przekrój [źródło: https://architektura.muratorplus.pl/technika/warsztat/wormhouse-w-zablociu_8842.html, dostęp 24.05.2022r]

Należy zwrócić uwagę iż wybór odpowiedniego systemu wentylacji powinien być dokonany na wstępnym etapie projektu. Wentylacja grawitacyjna ma decydujący wpływ na kształt budynku czy lokalizację otworów okiennych natomiast w przypadku wentylacji mechanicznej pozwala to na zastosowanie odpowiednich technologii ułatwiających rozmieszczenie sieci kanałów i jednostki centralnej nie ingerując w przestrzeń mieszkalną.

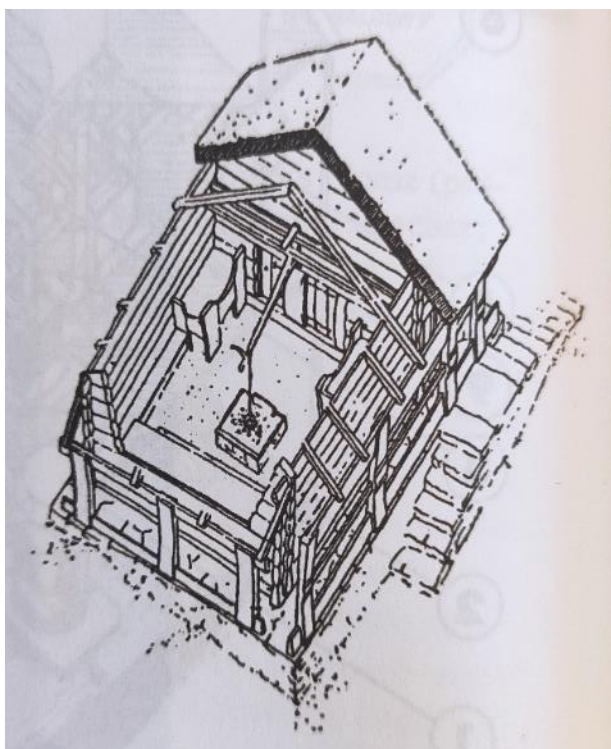
5.3. Aktualne tendencje kształtowania pomieszczeń technicznych w architekturze mieszkaniowej

Od początków dziejów na kształt architektury mieszkaniowej wpływało źródło ciepła i sposób wentylowania obiektu. Z początku sercem domu było ognisko, które zapewniało odpowiednie ciepło mieszkańcom i to wokół niego powstawała obudowa. Schronienie pełniące funkcję domu w okresie archaicznym pełniły szałas budowane na planie koła z centralnie usytuowanym ogniskiem. Konstrukcja nie mogła być jednak zbyt szczelna ze względu na konieczność zapewnienia dostępu powietrza i możliwości ulotnienia się spalin. Z tego względu na szczycie szalasu znajdował się otwór pełniący funkcję obecnych kominów. Z czasem zaczęto budować solidniejsze konstrukcje, szałas zaczęto zastępować początkowo gliniankami a ostatecznie ścianami murowanymi. Wraz z biegiem lat architektura mieszkaniowa zaczęła zmieniać swoją formę poprzez wykorzystanie nowych materiałów czy też dodawanie do niej nowych funkcji. Elementem niezmiennym przez długi okres czasu był fakt, iż sercem domu było źródło ciepła. Początkowo było to ognisko, potem paleniska i piece kaflowe. Zawsze jednak stały one w reprezentacyjnej części obiektu jako najważniejszy element, zapewniając komfort jego użytkowania.



Ilustracja 102. Rozkład starej chaty jednoizbowej [źródło: <https://www.laliny.hekko24.pl/zab.htm>, dostęp: 02.01.2022r].

Wraz z rozwojem technologii architektura zaczęła tracić zależność od zastosowanego w niej źródła ciepła. Reprezentacyjne kiedyś paleniska z serca domu schowane zostały w formie zwykłych urządzeń w najmniej użytkową część domu. Od zawsze jednak architektura powiązana była ściśle ze źródłem ciepła i systemem wentylacji. Z początku architektura dostosowywana była do źródła ciepła i wentylacji. Wraz z rozwojem technologicznym to system grzewczy i wentylacja zaczęły być dostosowywane do architektury.



Ilustracja 103. Tradycyjny norweski dom z centralnym paleniskiem [źródło: Banham R. Architecture of the Well -tempered Environment. Second, Revised Edition. Princeton: Architectural Press, 1984, s100]

Poniżej przedstawiono parę przykładów nowoczesnej architektury mieszkaniowej i obecne tendencje projektowania przestrzeni technicznej w układzie funkcjonalnym. Można tutaj wyróżnić projekt domu jednorodzinnego w Kuźnicy Kiedrzyńskiej biura architektonicznego Verso Deltoid. Głównym elementem obiektu, który skupia wzrok przechodnia jest drewniana elewacja z dyskretnym połączeniem tynku silikonowego. Dla użytkownika natomiast ważną rolę będzie pełnić układ funkcjonalno-przestrzenny obiektu. Duże przeszklenia korytarza łączącego strefę dzienną i nocną zacierają granice między wnętrzem a zewnątrz. Mimo, że jest to budynek parterowy oparty na prostym planie, jego punktem charakterystycznym są rozważnie zastosowane dachy skośne nadające całości charakteru. Należy tutaj zwrócić uwagę na poprawne wpisanie obiektu w otoczenie. Budynek otrzymał prestiżową nagrodę – tytuł fasady roku 2018¹⁰⁰.

¹⁰⁰ <https://www.infoarchitekta.pl/artykuly:4-projekty:18149-harmonia-inspirowana-natura-dom-w-kuznicy-kiedrzyńskiej-fasada-roku-2018.html>

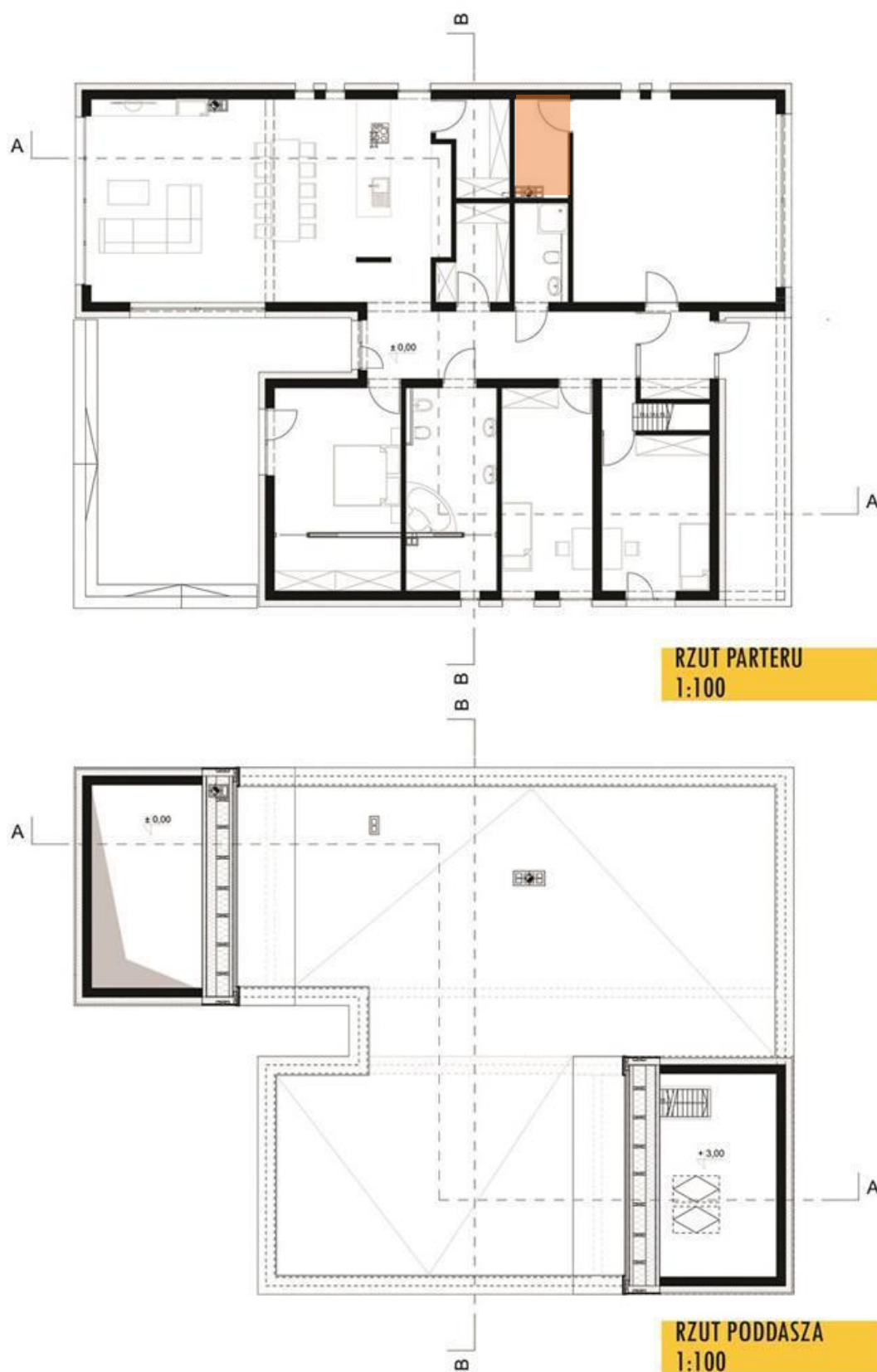


Ilustracja 104. Dom jednorodzinny w Kuźnicy Kiedrzyńskiej [źródło: <https://www.infoarchitekta.pl/artykuly:4-projekty:18149-harmonia-inspirowana-natura-dom-w-kuznicy-kiedrzyńskiej-fasada-roku-2018.html>, dostęp 15.12.2021r].

Pomimo lokalizacji obiektu w obszarze mocno zalesionym charakteryzującym się lepszymi parametrami powietrza zewnętrznego niż w centrum miast, inwestor zdecydował się na wyposażenie obiektu w wentylację mechaniczną. Część techniczna składająca się z garażu i małej kotłowni zaprojektowana została od północnej części. Pod względem wielkości pomieszczenia technicznego najbardziej komfortowym źródłem ciepła dla obiektu jest ogrzewanie gazowe lub pompa ciepła. Obiekt nie jest dostosowany wielkościowo do kotłowni na paliwo stałe. Charakterystycznym elementem obiektu jest również zastosowanie dodatkowego źródła ciepła w postaci kominka grzewczego w reprezentacyjnej części domu.

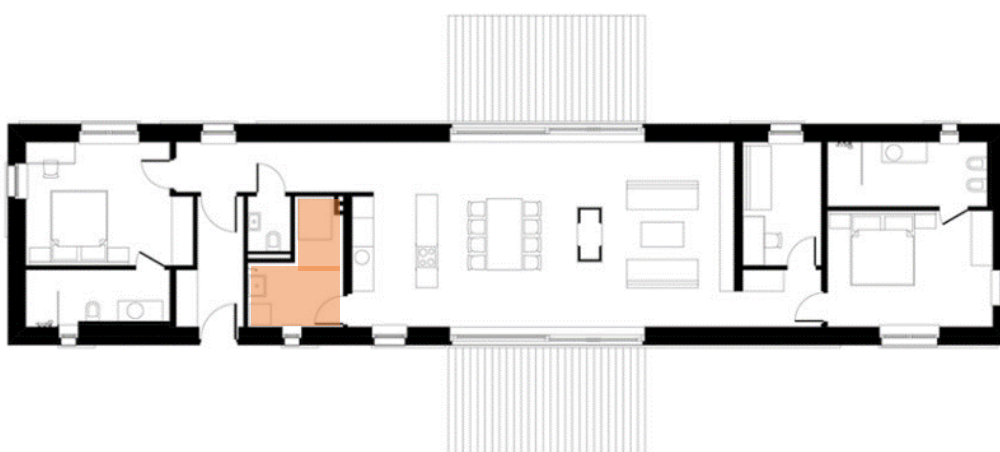


Ilustracja 105. Dom jednorodzinny w Kuźnicy Kiedrzyńskiej [źródło: <http://www.grupaverso.com.pl/34,Dom-w-Kuznicy-Kiedrzyńskiej>, dostęp 15.12.2021].



Ilustracja 106. Rzuty domu jednorodzinnego w Kuźnicy Kiedrzyńskiej [źródło: <https://archinea.pl/lesny-dom-kuznicy-kiedrzyńskiej-projektu-grupy-verso/>, dostęp 15.12.2021r].

Od paru lat można zauważyć wyraźną poprawę jakości polskiej architektury, na co wskazują przyznawane liczne nagrody architektoniczne. Co roku następuje przegląd najbardziej ciekawych i wyróżniających się obiektów na tle innych. Prestiżowe nagrody w większości przyznawane są obiektom użyteczności publicznej. Jednak coraz częściej dostrzegane są również obiekty jednorodzinne. Przykładem może być wyróżnienie przyznane w prestiżowym konkursie Nagrody roku SARP 2018 dla domu jednorodzinnego w Nowej Górcie. Autorzy projektu Katarzyna Osipowicz i Piotr Grabowski docenieni zostali za „jasność idei i konsekwencję realizacji domu jednorodzinnego w otwartym krajobrazie, gdzie bogactwo walorów jego otoczenia, świadomie docenione przez autorów, stało u podstaw powstania formy prostej, powściągliwej, w swej lapidarności wręcz archetypicznej”.¹⁰¹



Ilustracja 107. Dom jednorodzinny w Nowej Górcie [źródło: <https://archinea.pl/w-harmonii-z-otaczajaca-przyroda-dom-w-nowej-gorce-studia-gab/>, dostęp 15.12.2021r].

¹⁰¹ <http://sztuka-architektury.pl/article/10357/nagroda-roku-sarp-oto-laureaci>

Dom zaprojektowany został na planie prostokąta i charakteryzuje się dość zwartą prostą bryłą. Autorzy projektu skupili się na spełnieniu norm dla budownictwa w standardzie NF40¹⁰². Brak kominów wentylacyjnych sugeruje na zastosowanie wentylacji mechanicznej. Co celów grzewczych natomiast wykorzystana została gruntowa pompa ciepła. Część techniczna domu stanowi niewielką przestrzeń oddzielającą kuchnię od strefy wejściowej.

Charakterystycznym elementem domu jest centralnie ustawiony kominek w części dziennej, który nie stanowi głównego źródła ciepła, lecz formę bardziej dekoracyjną. Takie rozwiązanie jest coraz częściej stosowane we współczesnym budownictwie mieszkaniowym.



Ilustracja 108. Wnętrze domu jednorodzinnego w Nowej Górze [źródło: <https://www.studiogab.net/nowa-gorka>, dostęp 15.12.2021r].

Kolejnym nagrodzonym projektem budynku mieszkalnego jest dom w Podpoznańskim Lusówku pracowni PL. Architekci. Budynek otrzymał nagrodę SARP 2020 dla najlepszego domu w Polsce. W kształtowaniu formy obiektu kierowano się nieregularnym kształtem działki oraz bezpośrednim sąsiedztwem budynku z przeskalowanymi połaciami dachu. W zależności od perspektywy budynek z jednej strony jest niewielki i wąski a z drugiej szeroki i duży. Jak w przypadku poprzednich projektów budynek zakłada garaż wpisany w bryłę budynku z bezpośrednim sąsiedztwem części technicznej. Ze względu na gabaryty pomieszczenia technicznego projekt zakłada prawdopodobnie ogrzewanie gazowe lub pompę ciepła. Brak kominów wentylacyjnych sugeruje wykorzystanie wentylacji mechanicznej.

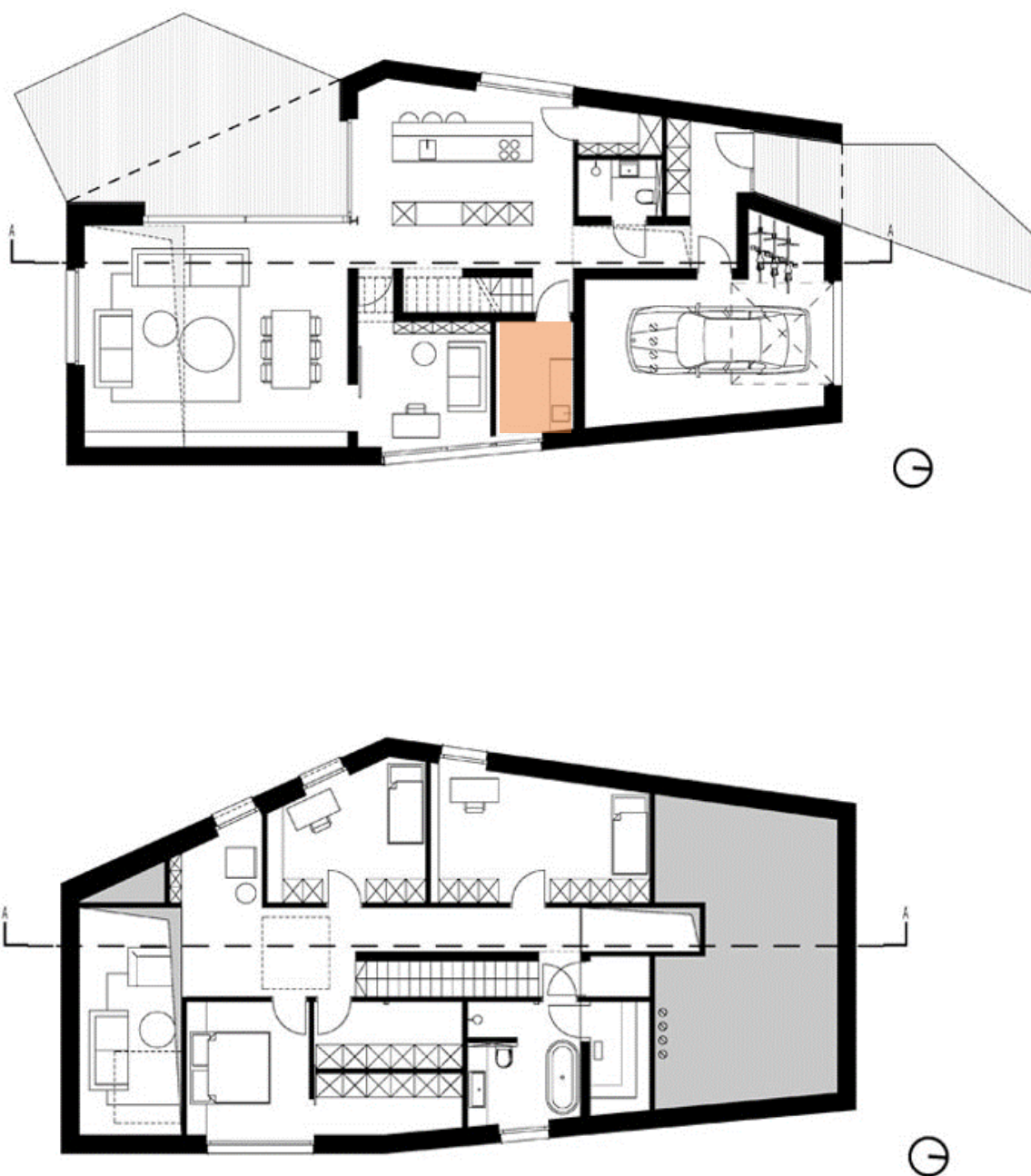
¹⁰² NF40 - budynek energooszczędny o zapotrzebowaniu na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji $\leq 40 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ według wytycznych Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej



Ilustracja 109. Dom jednorodzinny w Lusówku [źródło: <https://www.plarchitekci.pl/architektura/nowoczesny-dom-jednorodzinny-ze-skosnym-dachem/>, dostęp 15.12.2021r].



Ilustracja 110. Dom jednorodzinny w Lusówku [źródło: <https://www.plarchitekci.pl/architektura/nowoczesny-dom-jednorodzinny-ze-skosnym-dachem/>, dostęp 15.12.2021r].



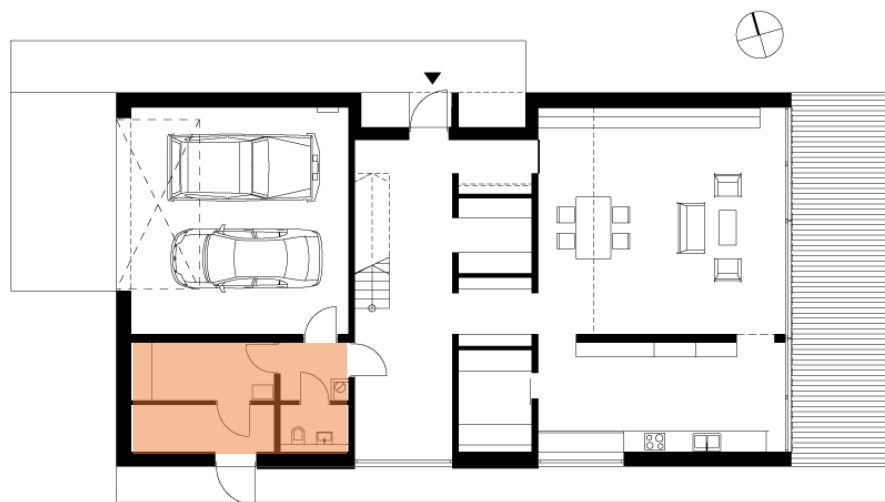
Ilustracja 111. Rzuty domu jednorodzinnego w Lusówku [źródło: <https://www.plarchitekci.pl/architektura/nowoczesny-dom-jednorodzinny-ze-skosnym-dachem/>, dostęp 15.12.2021r].

Przedstawione wyżej przykłady nagrodzonej architektury mieszkaniowej cechuje wspólny element, jakim jest dowolność w kształtowaniu architektury mieszkaniowej w układzie wolnostojącym. Rozległe powierzchniowo działki w otoczeniu pobliskiej zieleni wpływają korzystnie na końcowy odbiór budynku i możliwości zastosowania konkretnych rozwiązań.

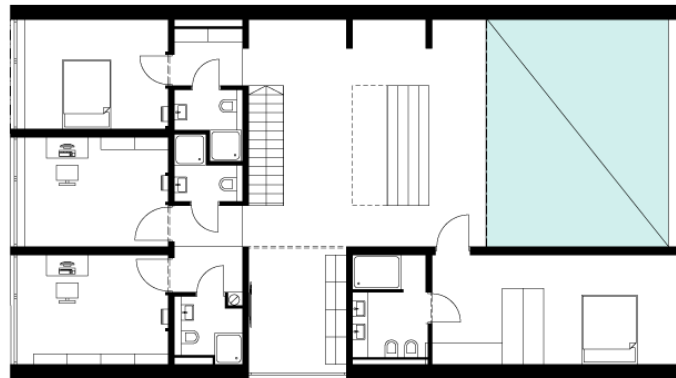
Projekt pracowni Kameleonlab przedstawia z kolei dom zlokalizowany na wąskiej działce w Krzykach w gęstej niejednorodnej zabudowie. W bezpośrednim sąsiedztwie terenu objętego inwestycją znajdują się przede wszystkim tradycyjne domy „kostki” z lat 60. i 70. XX w. Budynek został zaprojektowany jako dwukondygnacyjny z antresolą i tarasem na dachu płaskim. Część techniczna budynku została przewidziana na parterze od frontowej części działki w połączeniu z garażem dwustanowiskowym. Od strefy dziennej oddziela ją szeroki korytarz wejściowy i strefa gospodarcza. W projekcie przewidziana została wentylacja mechaniczna i ogrzewanie gazowe. Ze względu na dość obszerne parametry budynku mimo gęstej zabudowy przy paru drobnych korektach części technicznej można by dostosować budynek do kotłowni na paliwo stałe - biomasę.



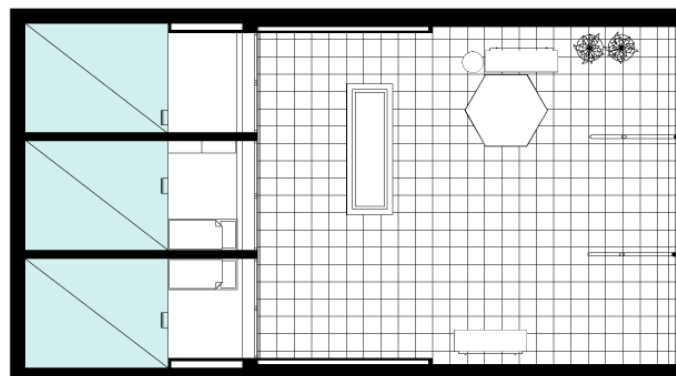
Ilustracja 112. Dom jednorodzinny w Krzykach [źródło: <http://www.kameleonlab.com/0222-dom-w-wroclawiu-krzyki/>, dostęp 15.12.2021r].



rzut parteru
ground floor plan



rzut 1 piętra
1st floor plan



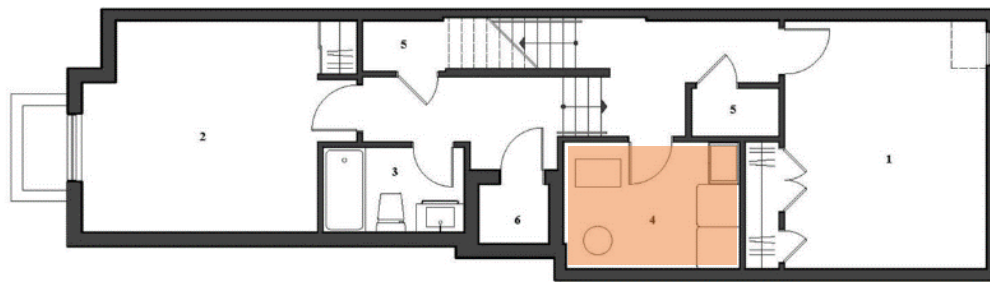
rzut antresoli i tarasu dachowego
mezzanine and rooftop terrace plan

Ilustracja 113. Rzuty domu jednorodzinnego w Krzykach [źródło: <http://www.kameleonlab.com/0222-dom-we-wroclawiu-krzyki/>, dostęp 15.12.2021r].

Przykładem budynku wymagającego wpisania się w gęstą zabudowę jest również projekt pracowni Green Dot architects „linear house” zlokalizowany w Toronto w Kanadzie. Budynek mimo niewielkiej dostępnej powierzchni pod zabudowę charakteryzuje się dość bogatym układem funkcjonalnym. Ze względu na niewielką powierzchnię autorzy zdecydowali się na dodanie dodatkowej kondygnacji podziemnej przeznaczonej głównie na pomieszczenia techniczne i dodatkowe funkcje obiektu.



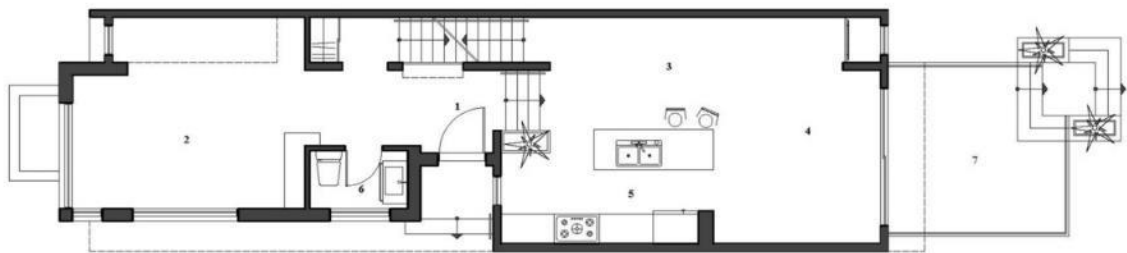
Ilustracja 114. Dom jednorodzinny w Toronto [Źródło: <http://www.kameleonlab.com/0222-dom-we-wroclawiu-krzyki/>, dostęp 15.12.2021r].



- 1 Recreation Room
- 2 Exercise Room
- 3 Bathroom
- 4 Laundry & Utility Room
- 5 Storage
- 6 Cold Room



BASEMENT



- 1 Foyer
- 2 Living Room
- 3 Dining Room
- 4 Family Room
- 5 Kitchen
- 6 Powder Room
- 7 Deck



FIRST FLOOR



- 1 Master Bedroom
- 2 Bedroom
- 3 Bathroom
- 4 Balcony



SECOND FLOOR

Ilustracja 115. Rzuty domu jednorodzinnego w Toronto [źródło: https://www.archdaily.com/590562/the-linear-house-green-dot-architects/54c06cdce58ecee700002d2-235_cedarvale-04-jpg, dostęp 15.12.2021r].

5.4 Podsumowanie

Kształtowanie współczesnej architektury mieszkalnej wskazuje na coraz większą świadomość społeczną w kwestii proekologiczności, co przekłada się na podejmowane przez nich decyzje odnośnie zastosowanych systemów grzewczo-wentylacyjnych. Przeprowadzone badania wykazały duży wpływ unormowań prawnych w tej dziedzinie i tym samym istotną rolę architekta kształtującego obiekt, którego zadaniem jest spełnić te wymagania w połączeniu z oczekiwaniami użytkowników. Końcowy projekt budynku powinien zatem odzwierciedlać zasady zrównoważonego rozwoju zarówno w kwestii ekologiczności, zminimalizowania zużycia energii ale również komfortu jego użytkownika pod względem ekonomicznym, jak i komfortu cieplnego.

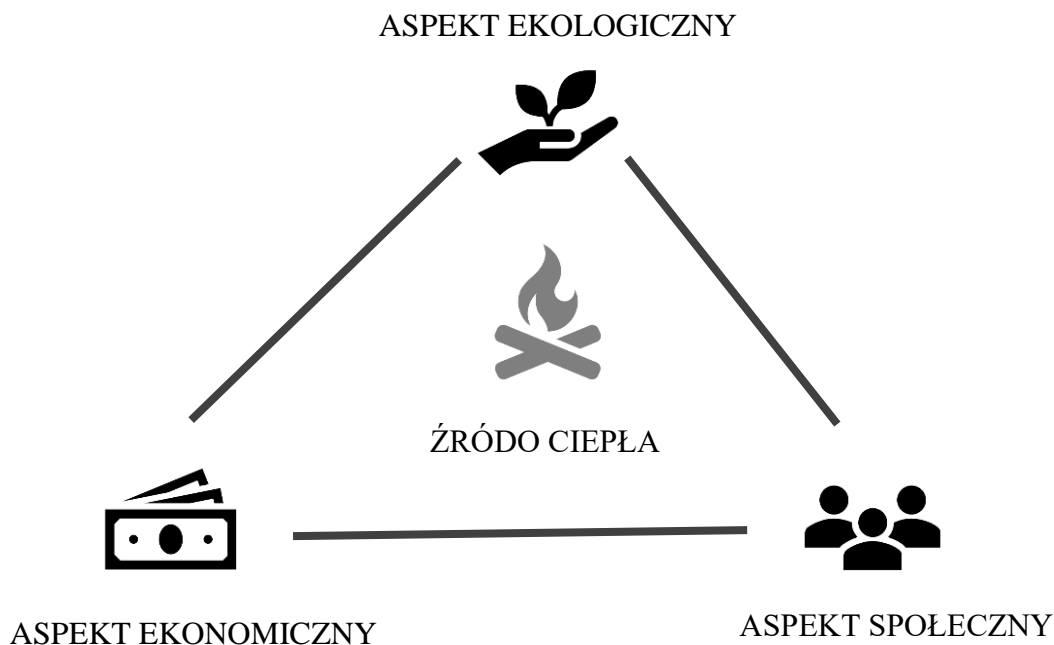
Przedstawiona w rozdziale analiza uwarunkowań technicznych źródeł ciepła w budynkach mieszkalnych pokazuje, iż mogą one mieć istotny wpływ na formę obiektu, jak i na rozplanowanie w nim funkcji. W zależności od wybranego źródła ciepła czy systemu wentylacji architekt musi wziąć pod uwagę szereg różnych zależności już na wstępnych fazach projektowych. Wybrane przykłady ukazują, iż we współczesnych projektach pomieszczenia techniczne zajmują niewielkie przestrzenie i nie wpływają negatywnie na plan funkcjonalny budynku, zapewniając komfort użytkownikom. Takie możliwości wykazuje przede wszystkim stosowanie pomp ciepła czy ogrzewania gazowego w połączeniu z wentylacją mechaniczną. Należy jednak pamiętać iż każdy z analizowanych w badaniach systemów niesie ze sobą różne konsekwencje zarówno pozytywne, jak i negatywne i ich wybór powinien być świadomy i poprzedzony odpowiednimi analizami na wstępnym etapie projektu.

Część IV

6 OCENA I PODSUMOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

Podczas projektowania obiektów mieszkaniowych inwestorzy skupiają się w głównej mierze na zaspokojeniu własnych potrzeb i takie rozwiązania projektują. Jedną z decyzji podczas budowy domu jest wybór odpowiedniego źródła ciepła. Mimo użytkowania obiektu przez jedną rodzinę, wybór źródła wpływa również na bezpośrednie otoczenie. Przykładowo kocioł węglowy nie tylko szkodzi mieszkańcom obiektu, ale również pogarsza jakość powietrza w najbliższym jego obszarze. Obecnie coraz popularniejsze są ekologiczne źródła ciepła. Jak wykazały badania, niekoniecznie źródła ciepła uznane za ekologiczne przez użytkowników są efektywne energetycznie. W głównej mierze związane jest to nie z bezpośrednią emisją szkodliwych substancji do środowiska, lecz wykorzystania surowców nieodnawialnych do jego produkcji.

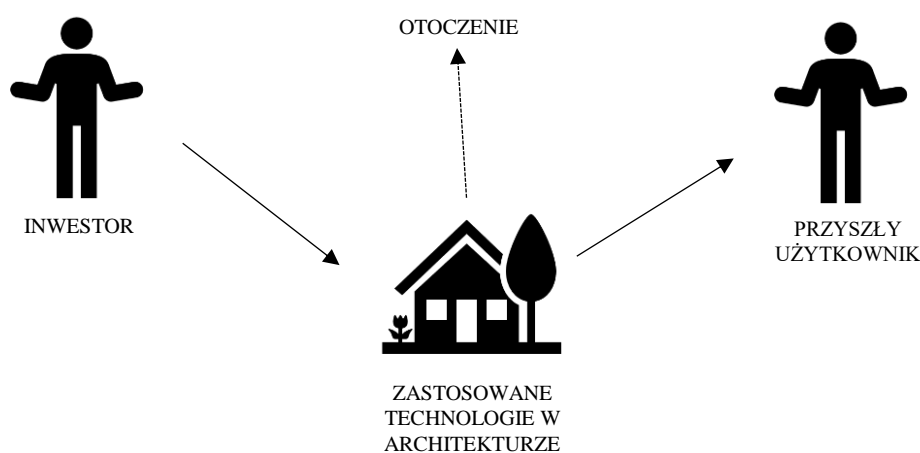
Projektując obecną architekturę mieszkaniową, należy mieć na uwadze założenia zrównoważonego rozwoju. Jego ideą jest projektowanie, budowanie i użytkowanie z myślą o przyszłości, jak i przyszłych pokoleniach. Jego bezpośrednim celem jest zaspokojenie potrzeb społecznych przy jednoczesnym poszanowaniu środowiska naturalnego¹⁰³. W pracy wykazano, że w przypadku architektury czynnikiem determinującym jej przyjazność dla środowiska naturalnego jest przede wszystkim wykorzystane źródło ciepła.



Ilustracja 116. Schemat architektury zrównoważonej w powiązaniu ze źródłem ciepła [opracowanie własne].

¹⁰³ Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska: Dz. U. z 2001 r. Nr 62, poz. 627

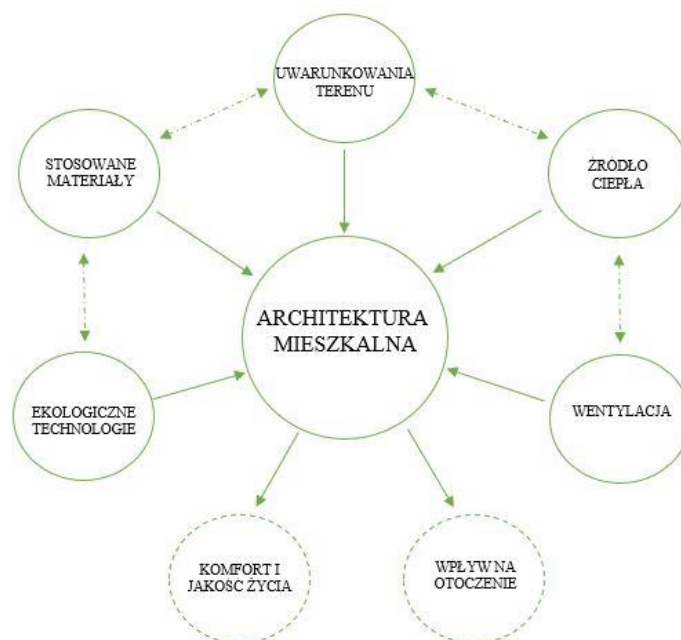
Pomimo, iż skala jednego obiektu mieszkalnego jest niewielka, w całościowym zestawieniu architektura mieszkaniowa stanowi większość ogólnej zabudowy i należy zwrócić uwagę na coraz wyższe standardy w tej dziedzinie zarówno w kwestii architektury, jak i poprawy komfortu jej użytkowania. Inwestorzy budynków jednorodzinnych podczas budowy podejmują decyzję w oparciu o własne potrzeby i dostępne fundusze. Ich decyzje często oparte są o ich własne przekonania, bez dogłębnej analizy tematu i wpływu na przyszłych użytkowników. Duża rotacja na rynku nieruchomości sprawia, iż podczas budowy architekt projektujący zgodnie z ideą zrównoważonego rozwoju, powinien myśleć zarówno o potrzebach jego aktualnych, jak i przyszłych użytkowników. Zakup gotowego budynku mieszkalnego wiąże się z brakiem decyzyjności w kwestiach źródła ciepła i systemu wentylacji a ich zmiana generuje dodatkowe koszty. Wynika z tego, należy projektować obiekty z myślą o przyszłych technologiach i możliwych zmianach prawnych w tym zakresie.



Ilustracja 117. Schemat wpływu podejmowanych decyzji na etapie budowy na przyszłego użytkownika [opracowanie własne].

Architektura mieszkaniowa jest istotnym elementem w kształtowaniu nowoczesnej zrównoważonej architektury ekologicznej. W obecnych czasach w budownictwie kładzie się nacisk na stosowanie nowoczesnych technologii ekologicznych. Coraz większe znaczenie w tym aspekcie nabiera wybór odpowiedniego źródła ciepła i systemu wentylacji ogólnej obiektu. To właśnie te dwa czynniki są jednym z kluczowych czynników wpływających na ostateczną efektywność energetyczną obiektu i tym samym pełnią istotną rolę w kształtowaniu współczesnej architektury. Należy jednak pamiętać o konieczności osiągnięcia równowagi pomiędzy architekturą a potrzebami użytkowników. Głównym zadaniem architektury mieszkaniowej jest właśnie spełnienie przede wszystkim potrzeb jej użytkowników, dlatego przy projektowaniu odpowiednich rozwiązań nie należy o tym zapominać.

Na podstawie badań stwierdzono, iż wybór konkretnego źródła ciepła wiąże się z koniecznością zastosowania określonych już na początku fazy projektowania założeń. Na architekturę mieszkalną bezpośrednio wpływa zastosowane w niej źródło ciepła, system wentylacji, jak również zastosowane materiały, ekologiczne technologie i uwarunkowania lokalizacyjne. Z kolei sama architektura ma wpływ na otoczenie, jak i komfort i jakość życia mieszkańców (ilustracja 117).



Ilustracja 118. Schemat relacji w architekturze mieszkalnej [opracowanie własne].

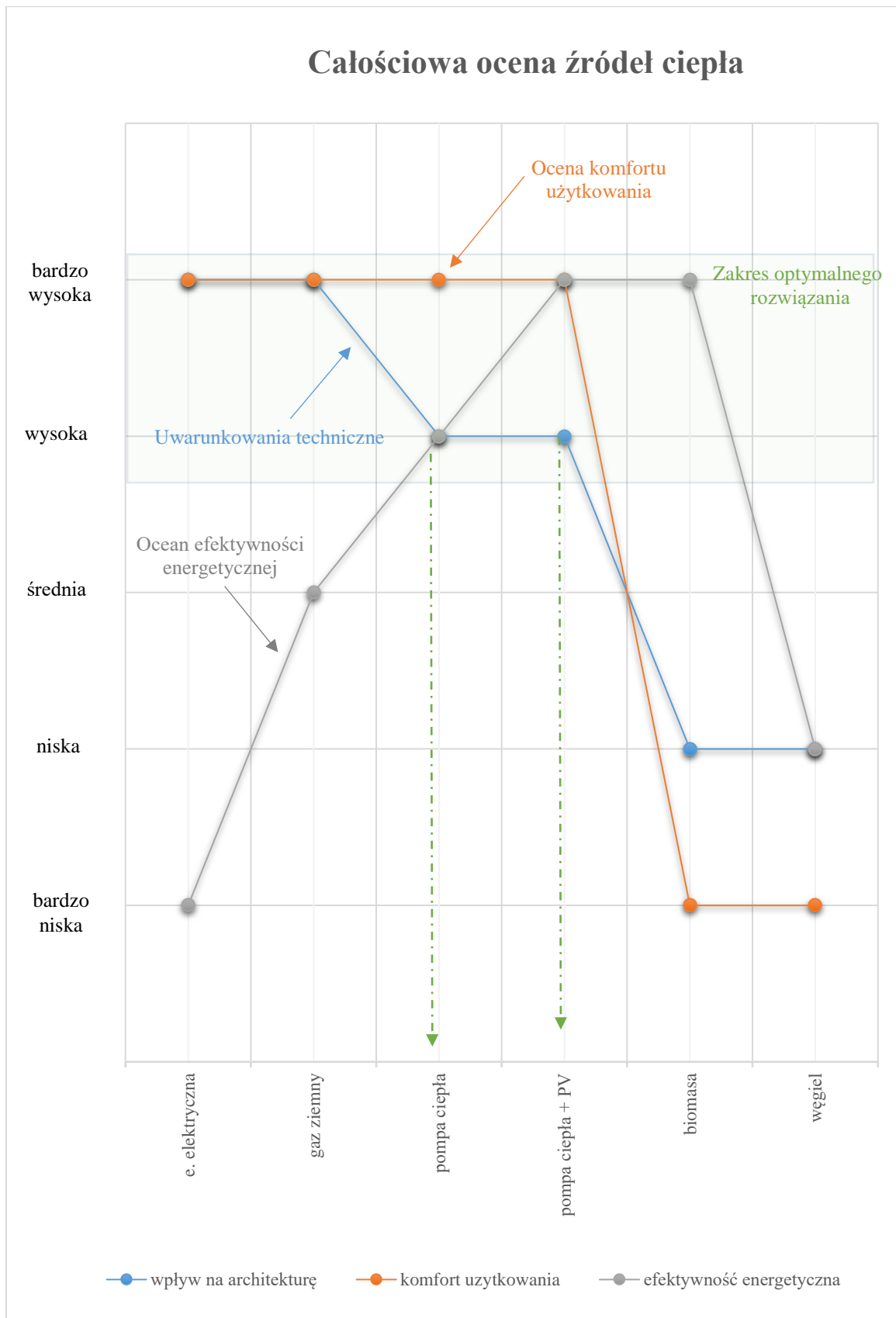
W pracy podjęto próbę zdefiniowania najlepszych rozwiązań w kwestii źródła ciepła i systemu wentylacji w odniesieniu do architektury mieszkalnej. Oceny dokonano na podstawie trzech kryteriów: efektywności energetycznej, komfortu użytkownika, jak i uwarunkowań technicznych w architekturze. Wyniki przedstawiono w tabeli 34 i na wykresie 93. Oceny poszczególnych czynników dokonano w oparciu o badania na podstawie stworzonej przez autorkę pracy skali. W zależności od spełnienia poszczególnych wymagań każdemu źródłu ciepła nadano ocenę z zakresu: bardzo wysoka (5)/ wysoka (4)/ średnia (3)/ niska (2)/ bardzo niska (1).

Ze względu na wymóg spełnienia wymagań dotyczących maksymalnego wskaźnika zużycia energii pierwotnej EP w projektowanej charakterystyce energetycznej budynków nie podejmowano dalszej analizy źródeł ciepła z oceną co najmniej niską w aspekcie efektywności energetycznej.

Analiza pozwoliła stworzyć model wybranych optymalnych parametrów w zależności od zastosowanego źródła ciepła. W ogólnej ocenie uznano, iż najkorzystniejszym wariantem w nowoprojektowanym budownictwie mieszkalnym jest pompa ciepła w połączeniu z instalacją fotowoltaiczną, która cechuje się wysoką efektywnością energetyczną, komfortem użytkowania, jak również pozwala dowolnie kształtować architekturę obiektu. Wykorzystanie w tym samym wariantcie kotła elektrycznego wymaga zdecydowanie większej powierzchni pod instalację PV i wymusza lepsze parametry izolacyjności przegród budowlanych, jak i mechaniczny system wentylacji. Biomasa daje z kolei architektowi całkowitą dowolność w projektowaniu obiektu i doboru pozostałych parametrów, jednakże jej wysokie wymagania techniczne i bardzo niski komfort użytkowania sprawiają, iż w ostatecznym etapie nie jest ona oceniana pozytywnie. Jako samodzielne źródło ciepła najkorzystniej oceniono pompę ciepła i gaz ziemny. Każde z nich wykazuje jednak konieczność zmian w architekturze pod względem lepszej izolacyjności przegród i stosowania odzysku ciepła w wentylacji. Gaz ziemny jednakże wymagać będzie budynków zdecydowanie bardziej zwartych i konieczna będzie analiza możliwości jego zastosowania na wstępnym etapie projektowania. Zarówno sam kocioł elektryczny, jak i węglowy nie są w stanie spełnić minimalnych wymagań.

Tabela 34. Całościowe zestawienie ocenianych źródeł ciepła w zależności od przyjętych kryteriów.

Aspekt / źródło ciepła	ENERGIA ELEKTRYCZNA	ENERGIA ELEKTRYCZNA NA + PV	GAZ ZIEMNY	BIOMASA	POMPA CIEPŁA	POMPA CIEPŁA + PV	WĘGIEL
ANALIZOWANE KRYTERIA							
Efektywność energetyczna	Bardzo niska (1)	Średnia (3)	Średnia (3)	Bardzo wysoka (5)	Wysoka (4)	Bardzo wysoka (5)	Niska (2)
Komfort użytkowania	Bardzo wysoka (5)	Bardzo wysoka (5)	Bardzo wysoka (5)	Bardzo niska (1)	Bardzo wysoka (5)	Bardzo wysoka (5)	Bardzo niska (1)
Uwarunkowania techniczne w architekturze	Bardzo wysoka (5)	Wysoka (4)	Bardzo wysoka (5)	Niska (2)	Wysoka (4)	Wysoka (4)	Niska (2)
Ogólna ocena:	Średnia (11)	Średnia (12)	Wysoka (13)	Niska (8)	Wysoka (13)	Bardzo wysoka (14)	Bardzo niska (5)
DODATKOWE ASPEKTY							
Wymagana wentylacja obiektu	Min. Mechaniczna z odzyskiem ciepła	Min. Mechaniczna z odzyskiem ciepła	Min. Mechaniczna z odzyskiem ciepła	Min. Grawitacyjna z nawiewnikami	Min. Mechaniczna z odzyskiem ciepła	Min. Grawitacyjna z nawiewnikami	
Izolacyjność przegród budowlanych	Optymalny Wariant U8 $U_{\text{ściany zewnętrznej}} = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{podłogi na gruncie}} = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{dach}} = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$	Optymalny Wariant U8 $U_{\text{ściany zewnętrznej}} = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{podłogi na gruncie}} = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{dach}} = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$	Wymagany Wariant U8 $U_{\text{ściany zewnętrznej}} = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{podłogi na gruncie}} = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{dach}} = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$	Min. Wariant U1 (WI2021) $U_{\text{ściany zewnętrznej}} = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{podłogi na gruncie}} = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{dach}} = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$	Optymalny Wariant U8 $U_{\text{ściany zewnętrznej}} = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{podłogi na gruncie}} = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{dach}} = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$	Min. Wariant U1 (WI2021) $U_{\text{ściany zewnętrznej}} = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{podłogi na gruncie}} = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{dach}} = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$	
Zależność od lokalizacji terenu	TAK	TAK	TAK	NIE	TAK	NIE	
Współczynnik kształtu A/V	obojętny	< 0,5	< 0,5	obojętny	< 0,7	obojętny	
Dodatkowe wymagania	Odpowiedniej wielkości powierzchnia dachu			Konieczność samodzielnego dostarczenia i składowania opału	Typ powietrzny: Dodatkowe rozwiązania chroniące przed hałasem	Odpowiedniej wielkości powierzchnia dachu	



Wykres 93. Zestawienie oceny wielokryterialnej źródeł ciepła

Energia elektryczna

Ogrzewanie elektryczne cechuje się bardzo małymi wymaganiami technicznymi i jest wysoko oceniane przez użytkowników. Stanowi ono bardzo dobrą alternatywę w krajach, w których energia elektryczna pozyskiwana jest głównie z odnawialnych źródeł energii. W Polsce produkcja energii elektrycznej uzyskiwana jest głównie z paliw węglowych, dlatego poprzez brak możliwości spełnienia warunków energetycznych (wskaźnik EP) nie jest możliwe projektowanie ogrzewania elektrycznego jako samodzielnego źródła ciepła. Chęć jego zastosowania wymagać będzie dodatkowej instalacji fotowoltaicznej o odpowiednio dobranej mocy, której wielkość zależeć będzie od pozostałych parametrów. Korzystnie wpłynie stosowanie wentylacji mechanicznej czy wysoka izolacyjność przegród budowlanych.

Gaz ziemny

Najpopularniejszym wyborem wśród mieszkańców w głównej mierze ze względu na stosunkowo niskie koszty inwestycyjne i eksploatacyjne w powiązaniu z niską szkodliwością dla środowiska jest gaz ziemny. Główną wadą tego źródła ciepła jest fakt, iż zalicza się do kopalnych źródeł energii i ma to bezpośredni wpływ na wysokie wartości wskaźnika EP. Z tego względu zastosowanie ogrzewania gazowego w nowoczesnym budownictwie wiązać się będzie z koniecznością zastosowania konkretnych rozwiązań architektonicznych. Jednym z wymogów będzie:

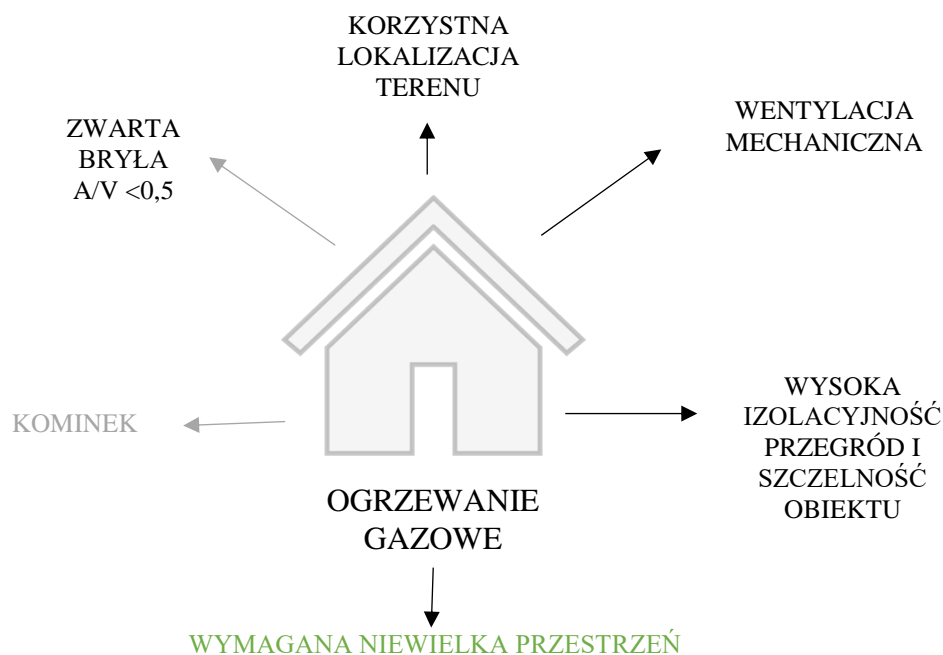
- stosowanie wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła,
- projektowanie obiektu zgodnie z niektórymi wymogami dla budownictwa pasywnego. Wiąże się to bezpośrednio z dobrze zaizolowanymi przegrodami zewnętrznymi ze współczynnikiem przenikania ciepła U na poziomie niższym niż $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ oraz stolarką okienną i drzwiową o wysokiej szczelności,
- kształtowanie zwartej bryły budynku o współczynniku kształtu A/V na poziomie $0,5$ i niższej.

Nawet zastosowanie powyższych rozwiązań nie gwarantuje możliwości zastosowania ogrzewania gazowego przy jednoczesnym spełnieniu wymogu wskaźnika EP. Chęć wykorzystania gazu ziemnego jako jedyne źródła ciepła będzie miało, kluczowy wpływ na kształt projektowanej architektury, i już na etapie projektowym należałoby sprawdzać, czy projektowany obiekt spełni wymagania.

Jedną z możliwości jest zastosowanie dodatkowego źródła ciepła w postaci kominka z płaszczem wodnym, który uznawany jest wedle prawa, jako paliwo na biomasę, a więc odnawialne źródło energii. Odpowiednio dobrany stosunek pokrycia zapotrzebowania na ciepło z odnawialnych źródeł energii wystarczająco obniża wskaźnik EP. Obecnie widać również rosnącą tendencję montażu paneli fotowoltaicznych na budynkach mieszkalnych niezależnie od zastosowanego źródła ciepła. W przypadku gazu ziemnego panele redukują wyłącznie energię pomocniczą, co czasami jest wystarczające.

Podczas badań stwierdzono, iż odpowiedni wybór źródła ciepła ma istotną rolę przede wszystkim w zabudowie szeregowej, która cechuje się dość małą powierzchnią zabudowy przez co ważną kwestią jest ilość zajmowanego w niej miejsca przez urządzenia grzewcze. Prawdopodobnie z tego względu najczęściej stosowanym paliwem w tych obiektach jest ogrzewanie gazowe. Badania wykazały, iż w dużej mierze to właśnie kształt obiektu w świetle nowych przepisów ma decydujący wpływ

na możliwość zastosowania gazu ziemnego. Architektura tych obiektów powinna być jak najbardziej zwarta o możliwie jak najniższym współczynniku kształtu na poziomie poniżej 0,5. Korzystnie wpływa na to zwiększenie kubatury obiektu poprzez zwiększanie jego wysokości, co może mieć istotny wpływ na warunki naświetlenia obiektów sąsiednich.



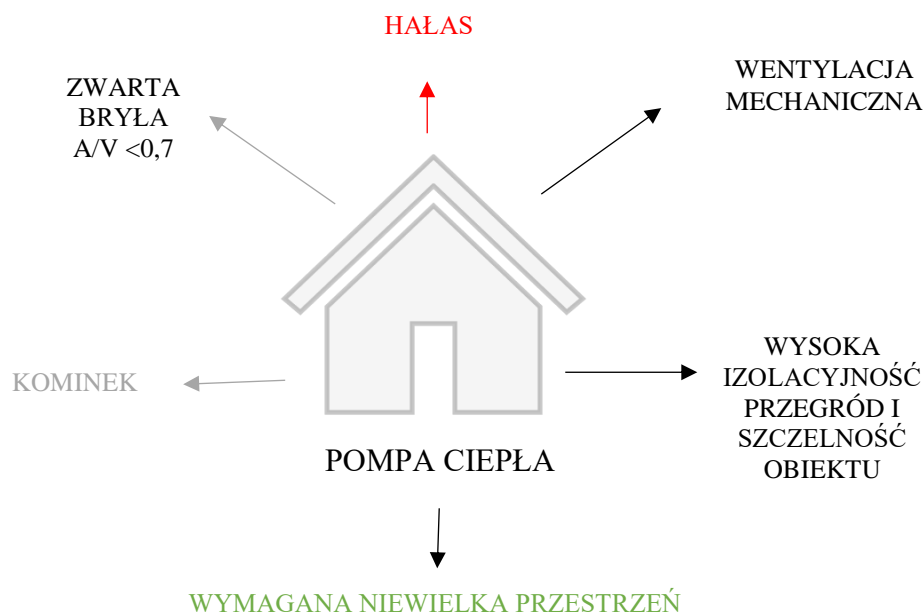
Ilustracja 119. Schemat aspektów architektonicznych wynikających z ogrzewania gazowego [opracowanie własne].

Pompa ciepła

Alternatywą do gazu ziemnego pod względem komfortu i zajmowanego miejsca w obiektach mieszkalnych są wysokowydajne pompy ciepła. Rynek tych urządzeń jest aktualnie w formie rozkwitu, co przekłada się bezpośrednio na zwiększoną ich wydajność, a ich coraz większa popularność na coraz niższą cenę. Pod względem energetycznym są one bardziej korzystne od ogrzewania gazowego, jednakże ze względu na to, że do działania wykorzystują energię elektryczną, wysokość wskaźnika EP budynku wyposażonego w pompę ciepła zależy przede wszystkim od jej współczynnika wydajności COP. Za efektywnie energetycznie źródło ciepła można uznać jedynie pompy ciepła o współczynniku COP powyżej 4.

Największą obawą użytkowników przed wyborem takiego sposobu grzewczego jest jej zależność od dostaw energii elektrycznej. Większość osób rozważa zatem jej montaż wyłącznie w połączeniu z panelami fotowoltaicznymi. Taka kombinacja instalacji pozwala, na dowolne kształtowanie architektury mieszkaniowej bez uwzględnienia dodatkowych rozwiązań. W przypadku montażu samej pompy ciepła do spełnienia wskaźnika EP konieczny jest:

- stosowanie wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła,
- projektowanie obiektu zgodnie z niektórymi wymogami dla budownictwa pasywnego. Wiąże się to bezpośrednio z dobrze zaizolowanymi przegrodami zewnętrznymi ze współczynnikiem przenikania ciepła U na poziomie niższym niż $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ oraz stolarką okienną i drzwiową o wysokiej szczelności,
- kształtowanie zwartej bryły budynku o współczynniku kształtu A/V na poziomie $0,7$ i niższej.



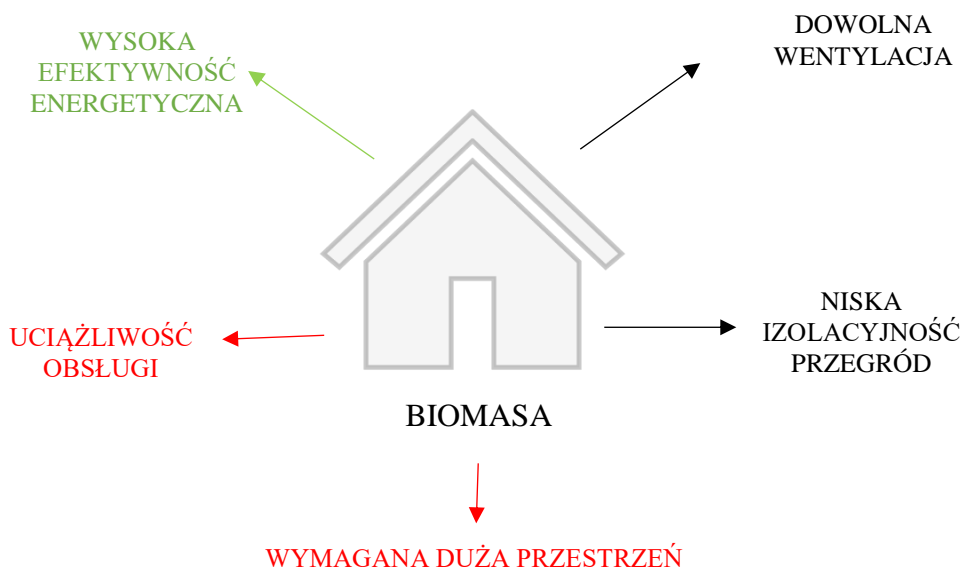
Ilustracja 120. Schemat aspektów architektonicznych wynikających z ogrzewania pompą ciepła [opracowanie własne].

Istotną wadą pompy ciepła jest jej drastyczny spadek wydajności wraz ze spadkiem temperatury zewnętrznej. Zmusza to często użytkowników do inwestycji w dodatkowe awaryjne źródło ciepła, którym często okazuje się kominek, ze względu na niskie koszty budowy i dodatkowe względy wizualne. Technologia pompy ciepła niesie ze sobą również negatywne konsekwencje. W przypadku najpopularniejszego typu, jakim jest powietrzna pompa ciepła, należy zwrócić uwagę na narastający problem emisji hałasu. Z tego względu nie jest ona wskazana w gęstej zabudowie szeregowej, gdzie szerokości działek są niewielkie i nie ma możliwości ustawienia jednostki w bezpiecznej odległości. Zdecydowanie mniej uciążliwą wersją jest gruntowa pompa ciepła, natomiast przekłada się to również na wyższą jej cenę i koszt wykonania. Na wzrost popularności stosowania tego rozwiązania mogą mieć również wpływ programy dofinansowujące ich montaż jak „Moje ciepło”¹⁰⁴.

¹⁰⁴ <https://mojecieplo.gov.pl/>

Biomasa

Jak wykazały badania jedynie zastosowanie biomasy gwarantuje spełnienie aktualnych wymogów energetycznych bez większych nakładów projektowych. Jako jedyne samodzielne źródło może być stosowane łącznie z wentylacją grawitacyjną spełniając jedynie maksymalne wartości współczynnika przenikania U dla przegród budowlanych. W przeciwieństwie do pozostałych wymaga natomiast największej ingerencji w układ funkcjonalny obiektu ze względu na dość wymagające przepisy dotyczące wymiarów pomieszczenia, w którym taki kocioł może być zlokalizowany. Nie jest to jednak popularne rozwiązanie szczególnie w obiektach o małej powierzchni zabudowy, gdzie wygospodarowanie takiej przestrzeni technicznej jest często niemożliwe. Przez użytkowników uznawane jest jako niekomfortowe w użytkowaniu i nieekologiczne, dlatego wybierane jest jedynie w przypadku braku możliwości zastosowania innego źródła ciepła, w większości wypadków braku gazu ziemnego. Istotną wadą wpływającą na przyszłość stosowania tego źródła ciepła w architekturze mieszkaniowej jest nie w istocie niski wskaźnik EP, lecz zajmowane miejsce i przede wszystkim uciążliwa obsługa takiego urządzenia. W dzisiejszych czasach użytkownicy bardzo cenią sobie swój komfort a dbałość o zapewnienie dostaw paliwa, jego składowanie i co kilkudniowa obsługa urządzenia tego nie zapewniają.



Ilustracja 121. Schemat aspektów architektonicznych wynikających z ogrzewania biomasa [opracowanie własne].

Węgiel

Całościowo najmniej korzystnym źródłem ciepła jest ogrzewanie węglowe, które oceniono negatywnie pod każdym analizowanym kryterium.

7

WNIOSKI KOŃCOWE

Przedmiotem pracy było zbadanie jak źródło ciepła i system wentylacji ogólnej wpływa na kształtowanie się współczesnej architektury mieszkaniowej. W pracy skupiono się na analizie dostępnych w budownictwie mieszkalnym źródeł ciepła pod względem efektywności energetycznej, bazując na wskaźniku zużycia energii pierwotnej EP i porównaniu ich z oczekiwaniami użytkowników. Otrzymane wyniki stały się podstawą do zbadania ich wpływu na architekturę mieszkalną. Całościowa ocena wykonanych badań wykazała zależność architektury obiektu i jej podstawowych parametrów od zastosowanego w niej źródła ciepła co potwierdziło postawioną na początku pracy tezę badań:

Źródło ciepła jest istotnym parametrem wpływającym na współczesną architekturę mieszkalną.

Przeprowadzona ocena pozwoliła stwierdzić, że zastosowanie najbardziej komfortowych dla użytkowników źródeł ciepła w nowoprojektowanych budynkach mieszkalnych wymusi na projektantach podjęcie odpowiednich kroków już na etapie wstępnej koncepcji obiektu. Na tej podstawie zdefiniowano następujące wnioski główne:

- I. Architektura obiektu ma istotny wpływ na możliwość wykorzystania konkretnego źródła ciepła i systemu wentylacji, dlatego ich wybór powinien być dokonany w świadomy sposób na wstępnym etapie projektowym po dokładnej analizie możliwości ich zastosowania.**
- II. Gaz ziemny wykazuje największą zależność od architektury obiektu co może wpłynąć korzystnie na jej ogólne parametry, poprzez kształtowanie obiektów bardziej zwartych o lepszych właściwościach izolacyjnych, dodatkowo wymuszając stosowanie instalacji zmniejszających zużycie energii w obiektach jak wentylacyjny odzysk ciepła.**
- III. Pompa ciepła o średniej wydajności wykorzystująca wyłącznie energię z sieci dość znacznie ogranicza dowolność kształtowania bryły budynku, dlatego korzystniej jest łączyć ją z instalacją fotowoltaiczną lub kierować się minimalizacją zużycia energii stosując odpowiednie zasady projektowe.**
- IV. Poprawność działania wentylacji grawitacyjnej w nowoprojektowanych budynkach zależy od odpowiednio ukształtowanej pod nią bryły i wymaga od architekta stosowania rozwiązań usprawniających przepływ powietrza, co nie jest konieczne w przypadku wentylacji mechanicznej.**

Szeroki profil badań pozwolił na sformułowanie również poniższych wniosków uzupełniających:

- I. **Chęć wykorzystania gazowego źródła ciepła może skutkować projektowaniem przez architektów nieekonomicznych rozwiązań architektonicznych, jak zwiększenie ilości kondygnacji czy zwiększenie powierzchni obiektu o pomieszczenia o znacząco niższej temperaturze nie popartych potrzebami użytkownika.**

Wyjaśnienie: Ilość niezabudowanych działek w gęstej zabudowie miejskiej z roku na rok maleje. Stanowią one zarazem duże wyzwanie dla projektanta, aby odpowiednio ukształtować architekturę respektując ład przestrzenny. Pomimo iż zabudowa szeregowa cechuje się najlepszymi parametrami energetycznymi bez korzystnych warunków lokalizacyjnych wybór najpopularniejszego obecnie ogrzewania gazowego może okazać się niemożliwy. Próba kształtowania architektury pod wskazane źródło ciepła może projektowanie nieekonomicznych rozwiązań jak przewymiarowane powierzchnie techniczne czy niepotrzebnie zwiększona kubatura obiektu.

- II. **Powietrzna pompa ciepła może wpłynąć na zwiększenie emisji hałasu, dlatego ze względu na duże ograniczenia w racjonalnym kształtowaniu architektury najkorzystniejszym wariantem źródła ciepła dla zabudowy charakteryzującej się niewielką powierzchnią działki (w tym w szczególności zabudowy szeregowej) jest gruntowa pompa ciepła.**

Wyjaśnienie: Przeszkodą w stosowaniu powietrznych pomp ciepła na małych działkach jest generowany przez jednostkę zewnętrzną hałas i potencjalny brak możliwości spełnienia norm akustycznych wymaganych na granicach działki odrębnymi przepisami. Z tego względu zdaniem autorki pracy najbardziej wskazanym źródłem ciepła w tym typie zabudowy jest gruntowa pompa ciepła w której powyższe problemy nie występują. Do rozważenia pozostaje również kocioł elektryczny z instalacją fotowoltaiczną. W tym rozwiązaniu należy jednak wziąć pod uwagę konieczność dostosowania kształtu i powierzchni dachu pod instalację PV.

Na podstawie powyższego wniosku stwierdzono, że:

Zwiększona tendencja wykorzystywania powietrznych pomp ciepła może skutecznie wpłynąć na pogorszenie się warunków akustycznych w gęstej zabudowie mieszkaniowej

I zaproponowano poniższe rozwiązania:

1. *Badania wykazały konieczność zmian zapisów warunków technicznych w kwestii lokalizacji źródeł ciepła opartych na powietrznych pompach ciepła, w szczególności dotyczących lokalizacji jednostek zewnętrznych w oparciu o przepisy o ochronie środowiska.*

2. *Na etapie projektu budowlanego konieczna powinna być analiza intensywności poziomu hałasu dla powietrznych pomp ciepła szczególnie w gęstej zabudowie miejskiej, z uwzględnieniem minimalnych odległości od granicy działki.*
3. *Architekt powinien dostosować rozwiązania architektoniczne do stosowanej pompy ciepła poprzez dobór odpowiednich materiałów ograniczających rozchodzenie się fal dźwiękowych po konstrukcji obiektu, czy też stosowanie sztucznych lub naturalnych barier dźwiękowych.*

Wyjaśnienie: Badania wykazały, że najkorzystniejszym źródłem ciepła w nowoczesnym budownictwie pod względem wielokryterialnej oceny jest pompa ciepła. Jej wykorzystanie wiąże się jednak z potencjalnie rosnącym problemem emisji hałasu w zabudowie mieszkaniowej. Szczególną uwagę na ten problem należałoby zwrócić w gęstej zabudowie miejskiej charakteryzującej się małą powierzchnią działek i zwartą zabudową. Architekt na etapie projektowania powinien wykorzystać zarówno rozwiązania funkcjonalne, jak i materiałowe w celu zminimalizowania negatywnych efektów akustycznych pompy ciepła. W tym celu warto wybierać materiały elewacyjne o wysokiej chłonności dźwięku, jak drewno czy płyty węglowo-cementowe, co dodatkowo może poprawić estetykę elewacji obiektu. Kluczowa jest również odpowiednia lokalizacja pomieszczenia technicznego i tym samym jednostki zewnętrznej z dala od pomieszczeń przeznaczonych na stały pobyt ludzi, co ma bezpośredni wpływ na poprawę w nich komfortu akustycznego. Należało by również unikać montażu jednostek na ścianach konstrukcyjnych bezpośrednio graniczącymi z takimi pomieszczeniami. Po przeprowadzonej analizie autorka stwierdziła brak precyzyjnych zapisów w warunkach technicznych dotyczących powietrznej pompy ciepła i jej zdaniem istnieje konieczność zmian przepisów w tym zakresie uwzględniającą przede wszystkim minimalne odległości jednostki zewnętrznej od otworów okiennych w pomieszczeniach przeznaczonych na stały pobyt ludzi i granicy działki w zależności od maksymalnej mocy akustycznej urządzenia.

III. Wyniki badań wskazują, że najbardziej efektywnym energetycznie źródłem ciepła w architekturze mieszkalnej jest biomasa, jednakże z największym uwarunkowaniami technicznymi i najniższą oceną mieszkańców w kwestii komfortu użytkowania.

Wyjaśnienie: Jak wykazały badania dążenie do poprawy efektywności energetycznej budynków i wprowadzanie coraz większej ilości ekologicznych rozwiązań nie zawsze wiąże się jednoznacznie z poprawą komfortu użytkowania. Przykładem jest ogrzewanie wykorzystujące biomasę, które wykazuje najwyższą efektywność energetyczną, natomiast jest bardzo negatywnie oceniane przez użytkowników. Badania jakościowe w tym temacie jednoznacznie wskazały unikanie przez użytkowników omawianego źródła i jego montaż wyłącznie w przypadku braku innej możliwości. Biomasa negatywnie oceniana jest również pod względem architektury poprzez wymaganą przepisami dużą powierzchnię pomieszczenia technicznego i konieczność składowania opału.

Na podstawie powyższego wniosku stwierdzono, że:

Wskaźnik EP odzwierciedlający przepisową efektywność energetyczną nie powinien być determinującym czynnikiem podczas wyboru źródła ciepła.

I zaproponowano poniższe rozwiązania:

- 1. Dobierając odpowiednie źródło ciepła do budynku architekt powinien dokonać jego wielokryterialnej oceny pod względem energetycznym, jak i komfortu użytkownika, wykorzystując do tego np. badania jakościowe.***

Wyjaśnienie: Coraz większy nacisk kładzie się na projektowanie zgodne z ideą zrównoważonego rozwoju, a najlepszy tego efekt można uzyskać poprzez kompleksowe analizy na każdym etapie projektowania. Źródło ciepła stanie się jednym z kluczowych parametrów wyjściowych do projektowania obiektów mieszkalnych mających bezpośredni wpływ na konieczność zastosowania konkretnych rozwiązań architektonicznych czy innych systemów usprawniających efektywność energetyczną obiektu. Należy pamiętać, że tworzenie koncepcji obiektu mieszkalnego jest skomplikowanym procesem uwzględniającym konkretne potrzeby użytkowników. Optymalizacja efektywności energetycznej wiąże się z zastosowaniem ekologicznych rozwiązań uwzględniających kształtowanie architektury o konkretnych parametrach i materiałach. Podczas projektowania należy zwrócić szczególną uwagę na podejmowanie działań poprawiających efektywność i ekologiczność obiektów mieszkalnych w korelacji z poprawą jakości życia użytkowników. W tym celu bardzo pomocne są badania jakościowe POE.

W procesie projektowym obiektów rola architekta jest niezwykle ważna. Jako koordynator procesu projektowego odpowiedzialny jest on za ścisłą współpracę z projektantami innych branż jak konstrukcyjna, instalacyjna czy elektryczna. Mniejsza złożoność funkcji w budynkach mieszkalnych jednorodzinnych często ogranicza zespół projektantów do samego architekta i to na nim spoczywa zapewnienie odpowiedniej korelacji architektury obiektu z jego efektywnością energetyczną i komfortem użytkownika.

IV. Badania wykazały małą skuteczność obowiązujących przepisów dotyczących kwestii wentylacji obiektów mieszkalnych jednorodzinnych.

- 1. W przypadku stosowania wentylacji grawitacyjnej architekt powinien być zobowiązany na poziomie projektu budowlanego do przedstawienia skuteczności jej działania w projektowanym obiekcie.***
- 2. Organy administracyjne za pomocą instrumentów planistycznych powinny opracować analizę jakości powietrza i wynikających z nich przeciwwskazań do stosowania wentylacji grawitacyjnej wymuszając stosowanie wentylacji co najmniej wspomaganą mechanicznie.***

Wyjaśnienie: O ile wybór źródła ciepła w budynkach mieszkalnych w większości jest wyborem świadomym, to w przypadku wentylacji ogólnej często jest on przypadkowy. Wynika to głównie z niskiej świadomości użytkowników wpływu wentylacji na ich zdrowie i kondycje budynku oraz pasywnej postawy architekta w tym

aspekcie. Standardem w budynkach jednorodzinnych jest wentylacja grawitacyjna, która jak pokazują wyniki badań¹⁰⁵ nie jest już skuteczna i wymaga konkretnych usprawnień. Duże zaniedbanie w tym temacie wykazują również sami architekci, którzy projektując domy mieszkalne często zapominają o uwzględnieniu nawiewników okiennych i uświadomieniu przyszłych użytkowników o zagrożeniach wynikających z braku poprawnie działającej wentylacji. W nowoczesnych, ekologicznych budynkach mieszkalnych dominuje natomiast wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła. Co prawda generuje ona dodatkowy koszt zużycia energii elektrycznej, ale całościowo istotnie wpływa na zmniejszenie zużycia energii przez budynek i poprawia komfort użytkowania, dlatego jest coraz częściej wybierana w nowoczesnych obiektach.

¹⁰⁵ Firląg S., Miszczuk A., *Efektywność działania wentylacji naturalnej i możliwości jej usprawnienia*, Rynek Instalacyjny 6/2016, s. 68-72.

8

BIBLIOGRAFIA

SPIS LITERATURY

1. Aliyu a. A, Muhammad M. S., Bukar M. G., Singhry I. M., *A review of post-occupancy evaluation as a tool and criteria for assessing building performance*, Academic Conference on Agenda for Sub-Sahara Africa Vol. 4 No. 1. 28th April, 2016
2. Amanowicz Ł., Szczechowiak E., *Zasady projektowania systemów wentylacji budynków energooszczędnych*, „Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja” 48/2, 2017, s. 72–78
3. Antczak-Jarząbska R., Niedostatkiewicz M., *Nasada kominowa sposobem intensyfikacji wydajności wentylacji grawitacyjnej w budynkach mieszkalnych*, Acta Sci. Pol. Architectura 18 (1) 2019, 99–108
4. Baker N., Steemers K., *Energy and environment in architecture: a technical design guide*. Taylor & Francis, 2003,
5. Ballenstedt J. *Architektura. Historia i teoria*. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa – Poznań 2000
6. Banham R. *Architecture of the Well -tempered Environment*. Second, Revised Edition. Princeton: Architectural Press, 1984
7. Barłowska P., Proszak D., *Pelet czy węgiel? ekonomiczne aspekty wyboru paliwa do ogrzania budynku jednorodzinnego*, Czasopismo inżynierii lądowej, środowiska i architektury, jceea, t. XXXIII, z. 63 (2/I/16), kwiecień-czerwiec 2016, s. 267-276.
8. Belis, C., Monforti-Ferrario, F. *Sustainable use of biomass in the residential sector*, A report prepared in support of the European Union Strategy for the Danube Region (EUSDR) 2018
9. Biała A., *Analiza porównawcza wentylacji naturalnej i mechanicznej na przykładzie domu jednorodzinnego*. Architectus 2020 3(63).
10. Blecich P., Bonefać I., Wolf I., *Space heating and cooling energy demand in energy efficient single-family house with mechanical ventilation system*, Technical Gazette 24, Suppl. 1(2017), 119-126,
11. Błaszczak M., Przybylski Ł. *Rzeczy są dla ludzi. Projektowanie uniwersalne*. Wydawnictwo Naukowe Scholar. Warszawa 2010 r.
12. Borowska J., Kulczewska S., *Wpływ rodzaju paliwa na wartość wskaźnika energii pierwotnej w budynkach mieszkalnych jednorodzinnych*, Technical Issues 4/2016 pp. 3-8.
13. Bradecki T., Twardoch A., *Współczesne kierunki kształtowania zabudowy mieszkaniowej*, Monografia, Politechnika śląska, Gliwice 2013
14. Cordero A.S., Márquez J.M.A., Melgar S.G., Rodríguez M.V., *Matching Energy Consumption and Photovoltaic Production in a Retrofitted Dwelling in Subtropical Climate without a Backup System*, Energies 2020, 13, 6026.
15. Dehghani-sanij R., Soltani M., Raahemifar K., *A new design of wind tower for passive ventilation in buildings to reduce energy consumption in windy regions*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 42, 2015, s.182-195.

16. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2002/91/UE z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
17. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków
18. Edwards, B. (1999) *Sustainable Architecture*, Spon Press, UK
19. Efekty działalności budowlanej w 2020 r., Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Warszawa 2021, s14.
20. Efektywność działalności budowlanej w 2020 r., Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Warszawa 2021 s33.
21. Efektywność energetyczna w Polsce - przegląd 2013, Instytut Ekonomii środowiska, Kraków 2014, dostęp: www.iee.org.pl
22. Efektywność energetyczna w Polsce przegląd 2015, Instytut Ekonomii Środowiska, Kraków 2016 s 51.
23. Efektywność wykorzystania energii w latach 2008-2018, Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Warszawa 2020.
24. Elder J, Turner G. E., Rubin A. I., *Post Occupancy Evaluation: A case study of the evaluation process*, General services administration, Washington D. C. 1979
25. Energia ze źródeł odnawialnych w 2020 r., Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Warszawa 2021
26. Farrell A., Haslam M., *Natural ventilation strategies in near-zero-energy building*, Architectural Research through to Practice: 48 th International Conference of the Architectural Science Association 2014, The Architectural Science Association & Genova University Press . s619-630.
27. Federal Facilities Council, (2001), *Learning from Our Buildings: A State of the Practice Summary of Post Occupancy Evaluation*, Federal Facilities Council Technical Report No. 145, National Academy of Science.
28. Fedorczyk-Cisak M., Kowalska A., *Komfort użytkowania oraz klimat środowiska wewnętrznego budynków energooszczędnych*, Materiały budowlane, 6 '2014 (nr 502) , s. 97-100.
29. Firląg S.: *Działanie wentylacji grawitacyjnej w ocenie mieszkańców*, Ciepłownictwo, ogrzewnictwo, wentylacja 48/8 (2017),: s. 340-344
30. Firląg S., Miszczuk A.: *Efektywność działania wentylacji naturalnej i możliwości jej usprawnienia*, Rynek Instalacyjny 6/2016, s. 68-72.
31. Firląg S., Miszczuk A., 2015. „Szczelność powietrzna budynków energooszczędnych a instalacje.” Rynek Instalacyjny. (4): 56-62.
32. Firląg S. *Standardy efektywności energetycznej budynków jednorodzinnych*, Oficyna wydawnicza Politechniki warszawskiej, warszawa 2021,
33. Francik S., Frączek J., Ślipek Z. *Preferencje wyboru źródła ciepła dla indywidualnych budynków mieszkalnych*, Autobusy : technika, eksploatacja, systemy transportowe > 2012 > R. 13, nr 10 s. 188
34. Fross K. *Badania jakościowe w projektowaniu architektonicznym na wybranych przykładach* wyd. II e-book, Wydawnictwo Euro-projekt, KFK International, www.fross.pl
35. Fross K. *Badania jakościowe w planowaniu, programowaniu, projektowaniu oraz ocenie inwestycji*, „Builder” 2015, R. 19, nr 6, 30–33
36. Gaczoł T., *Komin jako detal architektoniczny - wybrane przykłady*, Czasopismo Techniczne. Architektura, 2011, R. 108, z. 2-A/1 s.47-55
37. Gaczoł T.: *Podciśnieniowy i nadciśnieniowy system wentylacji grawitacyjnej*, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury t. XXXIII, z. 63 (3/16), lipiec-wrzesień 2016, s. 85-93

38. Gaczoł T., *Wentylacja naturalna systemy nawiewu – wybrane przykłady*, „Czasopismo Techniczne Architektura”, z. 10, z. 4-A, 2007.
39. Garnham T., Thomas R., *The Environments of Architecture*. Oxford: Taylor & Francis (2007)
40. Gawlik L, Mokrzycki E, *Paliwa kopalne w krajowej energetyce – problemy i wyzwania*, POLITYKA ENERGETYCZNA – ENERGY POLICY JOURNAL 2017 , Tom 20 , Zeszyt 4 , s. 6-26
41. Geryło R., *Nowoczesny standard energetyczny budynków*, Polcen sp. Z.oo, wydanie 1 Warszawa 2015,
42. Głów A., Kurz D., *Analiza opłacalności inwestowania w przydomowe instalacje fotowoltaiczne na przykładzie paneli i dachówek fotowoltaicznych*, Poznan University of Technology academic journals no 74 electrical engineering 2013, s 275-282.
43. Gollinger-Tarajko M., *Wzrost efektywności energetycznej w budownictwie jako kryterium poprawy jakości życia i środowiska*, Quarterly Journal – No 2/2016 (17) s137-151.
44. Goreczny T. *Problemy jakości powietrza wewnętrznego w kontekście analizy energochłonności budynków*, Transcom 2011, 27-29 June 2011,
45. Gossauer, E. & Wagner, A. (2007), *Post Occupancy Evaluation and Thermal Comfort: State of the Art and New Approaches*, Advances In Building Energy Research, Volume 1(1), pp: 151–175
46. Grandjean E., *Ergonomia mieszkania aspekty fizjologiczne i psychologiczne w projektowaniu*, Arkady, Warszawa, 1978.
47. Grygier G., Szyperski P., *Wytyczne dla instalacji wentylacyjnej z odzyskiem ciepła (systemu rekuperacji) w domach jednorodzinnych*, Stowarzyszenie Polska Wentylacja 2011.
48. Grzegorzczak L., *Zmiany obciążeń cieplnych budynków niemal zero – energetycznych i ich wpływ na topologię układów grzewczych*, Politechnika poznańska Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Instytut inżynierii środowiska, Zakład Ogrzewnictwa, Klimatyzacji i Ochrony Powietrza, Praca doktorska 2019.
49. Habrat T., *Zieleń jako element ekranujący*, Instytut telekomunikacji i akustyki Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1999.
50. Hadjri K., Crozier C., *Post-occupancy evaluation: purpose, benefits and barriers*, Facilities, Vol. 27 No. 1/2, 2009. pp. 21-33
51. Händel C., *Ventilation with heat recovery is a necessity in “nearly zero” energy buildings*, REHVA Journal – May 2011.
52. Hay R., Samuel F., Watson J. K, Bradbury S., *Post-occupancy evaluation in architecture: experiences and perspectives from UK practice*,
53. Hoehn J., Kaplowitz M.D, *Do focus groups and individual interviews reveal the same information for natural resource valuation?* Ecological Economics, 2001, vol. 36, issue 2, 237-247
54. Hopkowicz M., Maludziński B., *Możliwości poprawienia charakterystyki energetycznej budynku o niskim zapotrzebowaniu na energię*, Budownictwo Czasopismo techniczne, wydawnictwo Politechniki Krakowskiej 2-B/2012 zeszyt 3 rok 109, str 177-183
55. Hopkowicz M., Mikołajewski J., Prymon M., *Analiza przyczyn powstawania zagrożeń w środowisku wewnętrznym budynków z wentylacją naturalną – studium przypadku*. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, (11): 33
56. Hyde R., . *Bioclimatic housing: innovative designs for warm climates*. Routledge, 2012

57. Janczak P., Trzmiel G., *Charakterystyka instalacji fotowoltaicznych małej mocy w aspekcie ekonomicznym*, Poznan University of Technology academic journals no 81 electrical engineering 2015, s 161-167.
58. Kaczmarzyk M., *Wpływ współczynnika kształtu a/v na wielkość strat ciepła w budynku w świetle rosnących wymogów dotyczących izolacyjności termicznej przegród budowlanych*, Czasopismo inżynierii lądowej, środowiska i architektury, JCEEA, t. XXXIV, z. 64 (2/II/17), kwiecień-czerwiec 2017, s. 45-54,
59. Kała J., Soliński B., *Efektywność ekonomiczna funkcjonowania mikroinstalacji fotowoltaicznych wykorzystywanych przez prosumenta*, Problemy Drobnych Gospodarstw Rolnych • Nr 4 • 2017, 105–116.
60. Kasperkiewicz K., *Termomodernizacja Budynków- ocena efektów energetycznych*, PWN warszawa 2018,
61. Kasperkiewicz K., *Wybrane zagadnienia oceny i projektowania energooszczędnych budynków mieszkalnych*, Prace instytutu techniki budowlanej - kwartalnik nr 2 (134) 2005.
62. Kasprzyk G., *Energetyczno-ekologiczne aspekty zastosowania pompy ciepła w budynku jednorodzinym*, Zeszyty naukowe wyższej szkoły technicznej w Katowicach 2016, nr 8. S 75-86.
63. Kasprzyk G., *Systemy grzewcze w budynkach jednorodzinnych jako instrument energetyki prosumenckiej*, Zeszyty naukowe wyższej szkoły technicznej w Katowicach 2016, nr 8.s. 97-106
64. Kasztelewicz Z., Ptak M., Sikora M., *Węgiel brunatny optymalnym surowcem energetycznym dla Polski*, Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, rok 2018, nr 106, s. 61–84,
65. Kasztelewicz Z., Tajduś A., Słomka T., *Węgiel brunatny to paliwo przyszłości czy przeszłości? Napędy i sterowanie*, nr 7/8 Lipiec-sierpień 2017, s. 88-104.
66. Koczyk H., Antoniewicz B., *Wpływ sposobu zaopatrzenia w ciepło budynku energooszczędnego na etykietę energetyczną*, Budownictwo Czasopismo techniczne, wydawnictwo Politechniki Krakowskiej 1-B/2009 zeszyt 5 rok 106, str 105-112
67. Kostecka I., Kowalewski G., Jezierski W., *Ocena komfortu cieplnego w jednorodzinym budynku mieszkalnym po jego termomodernizacji*, Budownictwo i inżynieria środowiska 8 (2017) s. 67-73.
68. Kostka M., Szulgowska-Zgrzywa M., *Change-over natural and mechanical ventilation system energy consumption in single-family buildings*, E3S Web of Conferences 22, 00086 (2017).
69. Krawczyk D., Sojko-gil A., *Wpływ termomodernizacji obiektów na wartość wskaźników ep i ek na przykładzie budynku przedszkola*, Civil and Environmental Engineering / Budownictwo i Inżynieria Środowiska 1 (2010) 199-204
70. Kupczyk A., Piechock J., Redlarski G., Wojdalski J., *Efficiency of biomass energy used for heating purposes in a residential building in comparison with other energy sources*, Teka. Commission of motorization and energetics in agriculture – 2012, vol. 12, no. 1, 211–218.
71. Kurzak L., Maciągowska A., *Wykorzystanie pomp ciepła w budynkach jednorodzinnych*, Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym 2(12) 2013, s. 55-60.
72. Liping, W., Hien, W.N. (2007), *Applying natural ventilation for thermal comfort in residential buildings in Singapore*. Architectural Science Review 50 (3) : 224-233
73. Lis A., *Energochłonność budynków edukacyjnych i ich izolacyjność cieplna w świetle aktualnych wymagań*, Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym, 1(15) 2015, s. 101-108

74. Lis A. *Ocena wskaźników komfortu cieplnego ludzi w pomieszczeniach*, FIZYKA BUDOWLI W TEORII I PRAKTYCE TOM II, 2007, s191-196
75. Lis P., Piesyk J., *Zużycie energii i efektywność energetyczna budynków – charakterystyka i prognozy*, Fizyka budowli w teorii i praktyce, TOM VIII, Nr 3 – 2016, s. 21-28.
76. Lorenz U., Grudziński Z. 2003. *Ceny węgla kamiennego energetycznego w kraju i na rynkach międzynarodowych. Polityka Energetyczna*. Nr 6. s. 285
77. Lorenz U., Grudziński Z. 2007. *Perspektywy dla międzynarodowych rynków węgla energetycznego*. Polityka Energetyczna. Nr 2. s. 498
78. Marchwiński J., Zielonko-Jung K., *Łączenie zaawansowanych i tradycyjnych technologii w architekturze proekologicznej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2012
79. Mirowski T., Kamiński J., Szurlej A., *Analiza potencjału efektywności energetycznej w sektorze mieszkalnictwa w perspektywie do 2030 roku*. Rynek Energii” – nr 6/2013
80. Monforti-Ferrario, F.; Belis, C., *Sustainable use of biomass in the residential sector*, A report prepared in support of the European Union Strategy for the Danube Region (EUSDR) 2018,
81. Monestiroli A., Tryglif i Metopa. *Dziewięć wykładów o Architekturze*, tłum. U. Pytlowany, A. Porębska, Kraków 2008,
82. Moosavi L., Mahyuddin N., Ghafar N. A, Ismail M. A., *Thermal performance of atria: An overview of natural ventilation effective designs*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 34, 2014, s. 654-670,
83. Müller J., *Ile kosztuje wentylacja w budynku pasywnym?*, Rynek Instalacyjny 9/2012, s. 58-60.
84. Nantka M. B., *Techniczne aspekty gospodarki energetycznej w budownictwie Tom I*, wydawnictwo politechniki śląskiej Gliwice 2014.
85. Nantka M.B.: *Wentylacja naturalna i mechaniczna warunkiem poprawnego użytkowania obiektów kubaturowych*, Szkolenie seminaryjne Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych, oddział w Katowicach, Katowice, 2014
86. Niezabitowska E., *Od POE do BPE*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2008
87. Niezabitowska E., *Metody i techniki badawcze w architekturze*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2014
88. Niezabitowska E., *Badania jakościowe a projektowanie*, Architektura i design, Builder luty 2017 s.40-43
89. Niezabitowska E., Niezabitowski A., *Badania jakościowe w architekturze i urbanistyce*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Architektura. Z.33, Gliwice 1996
90. Norton M, Baldi A, Buda V, et al. *Serious mismatches continue between science and policy in forest bioenergy*. GCB Bioenergy. 2019;11:1256–1263. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12643>
91. Nowak K., *Modernizacja budynków a komfort cieplny pomieszczeń*, Fizyka Budowli w teorii i praktyce TOM VI, Nr 2 – 2011
92. Olsson D., *History of ventilation technology - From a Western Perspective*, Swegon Air Academy 2016
93. Ostrowska B., *Energooszczędność jako czynnik kształtowania architektury. tradycja i współczesność*, Czasopismo techniczne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej 7-A/2012 zeszyt 29 rok 109 s.121-138.

94. Pater S., Magiera J., *Ocena zapotrzebowania na energię budynku mieszkalnego przy wykorzystaniu dwóch niezależnych programów obliczeniowych*, Czasopismo techniczne 2-Ch /2011 zeszyt 10 rok 108 Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej
95. Piasecki M. *Metoda oceny budynku pod kątem zrównoważonego rozwoju*, Zrównoważone Budownictwo, 5' 2010, pp. 34-36.
96. Piechocki J., Redlarski G., *Analiza konwencjonalnych nośników energii z biomasą do celów grzewczych. Cz. 2. Studium przypadku*, inżynieria rolnicza 2013: z. 2(143) t.1 s. 289-301
97. Praca zbiorowa, *Polityka energetyczna Polski do 2030 roku*, Ministerstwo Gospodarki, dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 10 listopada 2009 roku. Dostęp 05.10.2021 [<http://www.mg.gov.pl/files/upload/8134/Polityka%>]
98. Prawo energetyczne (Dz. U. z 2021 r. poz. 716, 868, 1093, 1505, 1642 i 1873)
99. Preiser W., Rabinowitz H., White E., *Post-Occupancy Evaluation*, Van Nostrand Reinhold, New York 1988.
100. Rajchel B., Klimczak R., *Wykorzystanie pompy ciepła w domu jednorodzinnym jako systemu przyjaznego środowiska przyrodniczego*, Problemy ochrony środowiska przyrodniczego i kulturowego Pogórza Dynowskiego w aspekcie zrównoważonego rozwoju turystyki, red. Krupa J., Szpara K., Wyd. Politechnika Rzeszowska, s. 233 – 253.
101. Redlarski G., Piechocki J., *Analiza konwencjonalnych nośników energii z biomasą do celów grzewczych. Cz. 2. Studium przypadku*, inżynieria rolnicza 2013:
102. RIBA and Hay, R., S. Bradbury, D. Dixon, K. Martindale, F. Samuel, A. Tait (2016), *Pathways to POE*, Value of Architects, University of Reading, RIBA
103. Rosolski S. *Komfort klimatyczny a jakość życia*, zeszyty naukowe Politechniki Poznańskiej nr 2 Architektura, Urbanistyka, Architektura Wnętrz 2020
104. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 2002, nr 75, poz. 690), z późniejszymi zmianami
105. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. 2015 poz. 376)
106. Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu
107. Rutkowska G., Wichowski P., Srok M., *Analiza możliwości wykorzystania pomp ciepła dla budynku mieszkalnego zlokalizowanego w Euroregionie Beskidy*, Europa Regionum Tom XXIII rok 2015 s 223-230
108. Rutkowska G., Klepak O., Podawca K.: *Problemy strat ciepła w istniejących budynkach jednorodzinnych w kontekście błędów wykonawczych*, Rocznik Ochrona Środowiska 2013, Tom 15 cz. 3, s.2625-2639.
109. Rybka K., *Odzysk ciepła z wentylacji – luksus czy konieczność*, Rynek Instalacyjny 6/2016, s. 57-60.
110. Sekret R., *Environmental effects of the buildings energy supply systems* (Monographs No. 237, Czestochowa University of Technology, Czestochowa, 2012).
111. Siuta-Olcha A., Cholewa T., Guz Ł., *Analiza porównawcza potrzeb energetycznych jednorodzinnych budynków mieszkalnych o różnym standardzie wykonania*, Proceedings of ECOpole, Vol. 5, No. 1 2011, str 287-292
112. Strzeszewski M., *Określanie zapotrzebowania na ciepło do wentylacji w przypadku stosowania odzysku ciepła z powietrza wywiewanego, bez nagrzewnic powietrza*, w: „Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce 2003”. Pod redakcją Teresy

- Jędrzejewskiej-Ścibak i Jerzego Sowy. Wydawnictwa Instytutu Ogrzewnictwa i Wentylacji Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004. Str. 355-342.
113. Szczekała M., Kaliszuk–Wietecha A., Firląg S., Węglarz A., Narloch P.L, *Wpływ wewnętrznych zysków ciepła na charakterystykę energetyczną budynku (EUCO i EPH+W) na przykładzie standardów NF15, NF40 oraz WT 2021*, fizyka budowli w teorii i praktyce tom IX, nr 4 – 2017, str. 35-38
 114. Szul T., *Wpływ zastosowanego źródła ciepła na wartość wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP*”, Technika Rolnicza Leśna 5/2009, s. Tytko R., *Odnawialne źródła energii*. Warszawa 2011
 115. Ujma A., *Wpływ lokalizacji budynku mieszkalnego na jego parametry energetyczne*, Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym 2(10) 2012, s. 104-110.
 116. Wasiuta A., *Źródła energii odnawialnej jako czynnik bezpieczeństwa energetycznego Polski*, Społeczeństwo i Polityka Nr 1 (34)/2013
 117. Wilk-Słomka B., *Rozwiązania architektoniczno-budowlano-instalacyjne a efektywność energetyczna budynku jednorodzinnego*, Fizyka budowli w teorii i praktyce, tom VI, nr 2 – 2011, str. 91-96
 118. Wiszniewski A., *Kryteria wyboru źródła ciepła do budynków mieszkalnych*, Energooszczędność w budownictwie, 1’ 2007nr 413 s76-80
 119. Witruwiusz P., *O architekturze ksiąg dziesięć*, Pruszyński S-ka, Warszawa, 2004
 120. Zielonko-Jung K., Marchwiński J., *Łączenie zaawansowanych i tradycyjnych technologii w architekturze proekologicznej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2012
 121. Ustawa o odnawialnych źródłach energii z dn. 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii
 122. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane (Dz. U. z 2021 r. poz. 2351 z późn. zm.)
 123. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska: Dz. U. z 2001 r. Nr 62, poz. 627
 124. Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. - Prawo wodne
 125. Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2018 r. Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Warszawa 2019
 126. Zamieszkane budynki - Narodowy Spis Powszechny Ludności i Mieszkań 2011, Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Warszawa 2013,

Źródła internetowe:

- 1) <http://poznan.naszemiasto.pl/>
- 2) <https://portpc.pl/wieden-bez-kotlow-gazowych-i-olejowych-w-nowych-budynkach-od-2019/>, dostęp:21.01.2022 r.
- 3) <https://globenergia.pl/czyste-powietrze-ktore-zrodla-ciepla-najczesciej-wybieraja-polacy/>, dostęp 15.12.2021r.
- 4) http://www.rolfdisch.de/wp-content/uploads/BROSCHUERE_SolarArchitecture-1.pdf
- 5) <https://globenergia.pl/czyste-powietrze-ktore-zrodla-ciepla-najczesciej-wybieraja-polacy/>, dostęp 15.12.2021r.
- 6) <https://strefabiznesu.pl/gus-ogrzewanie-gazowe-najpopularniejsze-w-nowych-domach-ale-wegiel-wciaz-trzyma-sie-mocno/ar/c9-15299175>, dostęp 15.12.2021 r.
- 7) <https://portpc.pl/wieden-bez-kotlow-gazowych-i-olejowych-w-nowych-budynkach-od-2019/>, dostęp:21.01.2022 r.

- 8) <https://www.muratorplus.pl/technika/izolacje/wspolczynnik-przenikania-ciepła-od-czego-zalezy-wspolczynnik-u-przegrod-budowlanych-aa-iTn4-bLg6-hCpS.html>, dostęp 14.01.2022r.
- 9) <https://energiadlapoznania.pl/>
- 10) <https://www.infoarchitekta.pl/artykuly:4-projekty:18149-harmonia-inspirowana-natura-dom-w-kuznicy-kiedrzynskiej-fasada-roku-2018.html>
- 11) <http://sztuka-architektury.pl/article/10357/nagroda-roku-sarp-oto-laureaci>
- 12) <https://www.teraz-srodowisko.pl/media/pdf/aktualnosci/1406-Wytyczne-ograniczanie-halasu-instalacji-pompy-ciepła.pdf>
- 13) <https://inzynierbudownictwa.pl/akustyka-domow-jednorodzinnych-o-zabudowie-szeregowej/>
- 14) <https://www.techsterowniki.pl/blog/masz-kociol-na-paliwo-stale-sprawdz-czy-twoja-kotlownia-spelnia-wymagania-techniczne>
- 15) <https://curia.europa.eu/jcms/upload/docs/application/pdf/2018-02/cp180019pl.pdf>, dostęp:01.02.2022
- 16) https://www.daikin.pl/pl_pl/about/case-studies/sound-enclosure-case-study-in-flassy.html
- 17) <http://sztuka-architektury.pl/article/10357/nagroda-roku-sarp-oto-laureaci>
- 18) <https://kotly.pl/cop-scop-spf-pompy-ciepła/>, dostęp 28.01.2022
- 19) <https://muratorpom.pl/budowa/dom-energooszczedny/szczelnosc-powietrzna-budynku-definicja-badanie-szczelnosci-aa-bd7E-pTxg-kd5C.html>
- 20) <https://mojeciepło.gov.pl/>

SPIS ILUSTRACJI

Ilustracja 1. Słynna triada Witruwiusza dotycząca architektury [opracowanie własne].	10
Ilustracja 2. Elementy wpływające na komfort użytkowania [opracowanie własne]... 11	11
Ilustracja 3. Schemat i metoda pracy [opracowanie własne].....	15
Ilustracja 4. Historyczne budownictwo mieszkalne z centralnym kominkiem [źródło: Ballenstedt J. Architektura. Historia i teoria. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa – Poznań 2000 s. 425].....	17
Ilustracja 5. Francja. Zamek Château Chambord. [źródło: http://adventum.com.pl/2018/09/03/chambord-francja-i-jej-najpiekniejszy-zamek-nad-loara/ , dostęp: 30.03.2022r]	18
Ilustracja 6. Casa Batlo [źródło: https://www.travelingwithaga.com/must-see-gaudi-buildings-in-barcelona/ , dostęp 30.03.2022r]	19
Ilustracja 7. Przykład architektury mieszkalnej z kominem na elewacji [źródło: https://pl.pinterest.com , dostęp: 30.03.2022r]	19
Ilustracja 8. Przekrój poprzeczny kamienicy mieszkalnej z 1904 roku [źródło: https://polska-org.pl/810421,foto.html , dostęp 24.02.2022]	20
Ilustracja 9. American Women’s Home [źródło: https://arc638gizembayhan.tumblr.com/post/49628172255/term-paper/embed , dostęp 22.02.2022].	21
Ilustracja 10. Rzut przyziemia Baker House [źródło: http://www.steinerag.com/flw/Artifact%20Pages/PhRtS153.htm , dostęp 24.02.2022]	22
Ilustracja 11. Baker House [źródło: https://www.housebeautiful.com/design-inspiration/real-estate/a28470837/frank-lloyd-wright-baker-house-lake-michigan-for-sale/ , dostęp 22.02.2022r]	23

Ilustracja 12. Robbie house [źródło: https://franklloydwright.org/site/robie-house/ , dostęp 22.02.2022r]	23
Ilustracja 13. Wnętrze Robbie house [źródło: https://www.skouttravel.com/robie-house/frederick-c-robie-house-living-room-photograph-by-james-caulfield-1200x800/ , dostęp 22.02.2022r]	24
Ilustracja 14. Rzut parteru Robbie house [źródło: https://www.archdaily.com/60246/ad-classics-frederick-c-robie-house-frank-lloyd-wright/5037de3328ba0d599b0000ac-ad-classics-frederick-c-robie-house-frank-lloyd-wright-main-floor-plan , dostęp: 24.02.2022]	24
Ilustracja 15. Villa Savoye w Poissy we Francji [źródło: https://www.modlar.com/photos/9978/villa-savoye/ , dostęp 24.02.2022r].....	25
Ilustracja 16. Villa Savoye – rzuty i elewacje [źródło: https://www.behance.net/gallery/14582537/Architecture-case-study , dostęp 24.02.2022]	25
Ilustracja 17. Rodzaje energii rozróżnianej w świadectwie energetycznym budynku [opracowanie własne].	28
Ilustracja 18. Osiedle Słoneczne w Żołędowie - domy szeregowe [źródło: https://www2.osiedlesloneczne.pl/ , dostęp:10.02.2022r]	31
Ilustracja 19 Osiedle Słoneczne w Żołędowie- dom wolnostojący [źródło: https://www2.osiedlesloneczne.pl/ , dostęp:10.02.2022r]	31
Ilustracja 20. Budynek jednorodzinny projektu Rolfa Disch'a we Fryburgu [źródło: https://www.planetcustodian.com/some-of-the-worlds-best-energy-positive-buildings/6521/ , dostęp: 10.01.2022].	32
Ilustracja 21. Domy szeregowe E+ w Roxbury [źródło: https://www.archdaily.com/633320/e-interface-studio-architects?ad_medium=gallery , dostęp 10.01.2022].....	32
Ilustracja 22. Dom jednorodzinny The Solcer House w Wielkiej Brytanii [źródło: https://source.thenbs.com/case-study/solcer-house/rNMNaiGbiQAE1z4UFignfb/rNMNaiGbiQAE1z4UFignfb , https://www.mirror.co.uk dostęp 10.01.2022].	33
Ilustracja 23. Dom jednorodzinny Home for Life projektu AART Architects [źródło: https://www.archdaily.com , dostęp 10.01.2022].	34
Ilustracja 24. Dom jednorodzinny z panelami fotowoltaicznymi [źródło: https://www.muratorplus.pl/technika/fasady/fasadowe-panele-fotowoltaiczne-powermax-skala-w-8-roznych-kolorach-aa-2DJg-Vxmh-sDPz.html , dostęp: 07.02.2022r].....	41
Ilustracja 25. Energy Plant House pracowni Attika Architekten w Szwecji wyposażony w pompę ciepła [źródło: https://www.designboom.com/architecture/attika-architekten-energy-plant-house-the-netherlands-11-06-2019/ , dostęp 07.02.2022r]	42
Ilustracja 26. Betonowa bryła domu jednorodzinnego w Abiko, Japonia [źródło: https://archirama.muratorplus.pl/artukul/galeria/architektura-w-japonii-betonowy-dom-jednorodzinny-w-abiko,3465/2008/18257/ , dostęp: 14.02.2022]	43
Ilustracja 27. Schemat pierwszych obiektów mieszkalnych z centralnie usytuowanym źródłem ciepła [Źródło: https://www.pinterest.fr/pin/308707749431993734/ , dostęp: 16.01.2022r].....	47
Ilustracja 28. Popularne systemy wentylacji ogólnej w budownictwie mieszkalnym źródło: https://www.velux.com/what-we-do/research-and-knowledge/deic-basic-book/ventilation/ventilation-and-ventilation-systems , dostęp 14.01.2022r].	48
Ilustracja 29. Lee House [źródło: https://www.archdaily.com , dostęp: 18.01.2022r]..	51
Ilustracja 30. Lee House [źródło: https://www.archdaily.com , dostęp: 18.01.2022r]..	52

Ilustracja 31. Stepping Park House [źródło: https://www.archdaily.com , dostęp 07.01.2022r].	52
Ilustracja 32. Stepping Park House [źródło: https://www.archdaily.com/908346/stepping-park-house-vtn-architects/5c20fbc08a5e516a3001606-stepping-park-house-vtn-architects-photo?next_project=no , dostęp 07.01.2022r.].	53
Ilustracja 33. Jalal-abad Villa [źródło: https://www.archdaily.com , dostęp 0.01.2022r.].	54
Ilustracja 34. Schemat działania wentylacji w Jalal-abad Villa [źródło: https://www.archdaily.com , dostęp 0.01.2022r.].	55
Ilustracja 35. Schemat relacji wpływających na komfort użytkowania obiektu [opracowanie własne].	57
Ilustracja 36. Podstawowe parametry wpływające na komfort cieplny budynków [opracowanie własne].	58
Ilustracja 37. Schemat wykonanych badań jakościowych [opracowanie własne].	67
Ilustracja 38. Diagram zestawiający źródła ciepła pod względem komfortu użytkowania [opracowanie własne].	92
Ilustracja 39. Model przyjętych składowych do obliczenia rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną dla budynku [opracowanie własne].	93
Ilustracja 40. Schemat przeprowadzonej oceny efektywności energetycznej	95
Ilustracja 41. Modelowe przedstawienie analizowanych wariantów wielkościowych [opracowanie własne]	98
Ilustracja 42. Widok perspektywiczny i schematyczne rzuty wariantu A0 [opracowanie własne].	98
Ilustracja 43. Widok perspektywiczny i schematyczne rzuty wariantu A1 [opracowanie własne].	99
Ilustracja 44. Widok perspektywiczny i schematyczne rzuty wariantu A2 [opracowanie własne].	100
Ilustracja 45. Widok perspektywiczny i schematyczne rzuty wariantu A3 [opracowanie własne].	101
Ilustracja 46. Mapa sieci ciepłowniczej na terenie Poznania [źródło: https://energiadlapoznania.pl/wazne-informacje/edukacja/jak-powstaje-cieplo/system-ciepłowniczy/ , dostęp: 26.01.2022].	104
Ilustracja 47. Przykładowy wykres zależności wydajności pompy ciepła od temperatury zewnętrznej [źródło: https://ecieplo.pl/pompy-ciepła/tryby-pracy-pompy-ciepła-abc/ , dostęp: 28.01.2022].	121
Ilustracja 48. Diagram efektywności energetycznej źródeł ciepła [opracowanie własne].	129
Ilustracja 49. Schemat możliwości spełnienia wskaźnika EP w zależności od zastosowanego źródła ciepła i systemu wentylacji [opracowanie własne].	130
Ilustracja 50. Schemat funkcji elewacji budynku [opracowanie własne].	131
Ilustracja 51. Wpływ kształtu obiektu na zużycie energii [źródło: https://www.archipelag.pl/abc-budowy-1/buduj-energooszczednie-1/architektura?Article=%40bryła-domu-energooszczednego.html , dostęp 01.05.2022]	147
Ilustracja 52. Dom Typowy Roberta Koniecznego [źródło: https://archinea.pl/dom-typowy-robert-konieczny-kwk-promes/ dostęp: 18.05.2022r]	148
Ilustracja 53. Wpływ szerokości boku sześcianu na współczynnik kształtu A/V [źródło: https://www.izolacje.com.pl/artukul/prawo-ekonomia-rynek/166651,projektowanie-budynkow-niskoenergetycznych#image-4 , dostęp 02.05.2022r]	149

Ilustracja 54. Dom Rozcięty projektu pracowni PL.architekci [źródło: https://architektura.muratorplus.pl/galeria/poz_4-dom-rozciety-w-poznaniu-projektu-plarchitekci,11481/5687/64162/ , dostęp: 18.05.2022r]	149
Ilustracja 55. Mikrokamienica biura BXB studio Bogusław Barnaś [źródło: https://murator.com.pl/przed-budowa/prezentacje-domow/top-10-1-najciekawsze-domy-zbudowane-w-2021-roku-aa-7Qm4-LkHk-Q2Uh.html , dostęp: 18.05.2022r]	150
Ilustracja 56. Perfect house pracowni REFORM Architekt Group [źródło: https://reformarchitekt.pl/projekt/re-perfect-house/ dostęp: 18.05.2022r].....	151
Ilustracja 57. Lakeside house pracowni REFORM Architekt Group [źródło: https://reformarchitekt.pl/projekt/re-lakeside-house/ dostęp: 18.05.2022r]	151
Ilustracja 58. Dom wśród drzew pracowni Z3Z ARCHITEKCI [źródło: https://www.archdaily.com/963518/house-blended-into-the-forest-z3z-architekci/60cab81e9814550164f9659d-house-blended-into-the-forest-z3z-architekci-photo , dostęp 15.05.2022r]	152
Ilustracja 59 Dom ceglany pracowni Z3Z ARCHITEKCI [źródło: https://archinea.pl/ceglany-dom-w-lesie-pracowni-z3z-architekci/ ,dostęp 15.05.2022r]	153
Ilustracja 60. Modelowe przedstawienie analizowanych wariantów architektury obiektu [opracowanie własne]	154
Ilustracja 61. Dom jak las projektu pracowni 81.WAW.PL [źródło: https://architektura.info/architektura/polska_i_swiat/dom_jak_las_zwyciezca_the_international_design_awards_2021 , dostęp: 09.02.2022r]	166
Ilustracja 62. Szklany dom w Brenie projektu R. Koniecznego [źródło: https://www.bryla.pl/bryla/1,85301,10296151,Szklany_dom_w_Bremie___nowy_projekt_Koniecznego.html , dostęp; 09.02.2022]	167
Ilustracja 63. Schemat zależności pomiędzy architektem a użytkownikiem [opracowanie własne].	168
Ilustracja 64. Śledzenie zysków ciepła w powiązaniu z kształtem architektury.....	169
Ilustracja 65. Pomieszczenie techniczne z kotłem na biomasę [źródło: https://miesiecznik.murator.pl/instalacje/kociol-na-pelety_5755.html , dostęp 17.12.2021].	170
Ilustracja 66. Przykładowe wymiary pomieszczeń technicznych dla paliw stałych [opracowanie własne].	171
Ilustracja 67. Wymagania dotyczące ustawienia kotłów na paliwa stałe [źródło: https://budujemydom.pl/irbj/porady/42557-jakie-sa-wymagania-dla-kotlowni , dostęp 22.01.2022].	172
Ilustracja 68. Przykładowe schematy zajmowanego miejsca przez pomieszczenia techniczne dla paliw stałych [opracowanie własne].	172
Ilustracja 69. Flinders Residence w Australii pracowni Abe McCarthy Architects [źródło: https://www.archdaily.com , dostęp: 03.04.2022r]	173
Ilustracja 70. Przykładowe schematy lokalizacji pomieszczenia technicznego dla paliw stałych w części podziemnej [opracowanie własne].....	174
Ilustracja 71. Przykładowe schematy lokalizacji pomieszczenia technicznego dla paliw stałych w części nadziemnej [opracowanie własne].....	174
Ilustracja 72. Schemat wspólnej kotłowni w zabudowie szeregowej [opracowanie własne].	175
Ilustracja 73. Wizualizacja Eko osiedla pracowni BB studio [źródło: http://studio-bb.pl/project/eko-osiedle/ , dostęp: 05.01.2022r].	175
Ilustracja 74. Haus am Moor / Bernardo Bader Architekten[źródło: https://www.archdaily.com , dostęp 04.04.2022r].....	176

Ilustracja 75. Haus am Moor / Bernardo Bader Architekten [źródło: https://www.archdaily.com , dostęp 04.04.2022r]	177
Ilustracja 76. Pomieszczenie z powietrzna pompą ciepła [źródło: https://horyzont.com/budownictwo/pompa-ciepła-ujemne-temperatury , dostęp: 05.01.2022r].	178
Ilustracja 77. Przykład oddziaływania jednostki zewnętrznej pompy ciepła na sąsiedni budynek [źródło: https://okieminzyniera.pl/przepisy-prawne-dotyczace-pomp-ciepła-wazne/ , dostęp: 05.01.2022].	179
Ilustracja 78. Analizowane warianty lokalizacji jednostki zewnętrznej pompy ciepła [opracowanie własne].	181
Ilustracja 79. Minimalne odległości jednostki zewnętrznej w zależności od mocy akustycznej i lokalizacji[opracowanie własne].....	183
Ilustracja 80. Widok na osiedle Leśna Polana w Dąbrowce Dąbrowce [źródło: https://dabrowka.com.pl/mapa-lesna-polana/ , dostęp 04.04.2022r]	183
Ilustracja 81. Plan osiedla Leśna Polana w Dąbrowce [źródło: https://dabrowka.com.pl/mapa-lesna-polana/ , dostęp 04.04.2022r]	184
Ilustracja 82. Zewnętrzna jednostka pompy ciepła 1. W otoczeniu zieleni [źródło: https://murator-dom.pl , dostęp: 19.05.2022r] 2. Przy ścianie z materiałem pochłaniającym dźwięk [źródło: https://feris.tech/pompy-ciepła/ , dostęp: 19.05.2022r] 3. W specjalnej akustycznej obudowie [źródło: https://www.pinterest.fr/ dostęp: 19.05.2022r].....	185
Ilustracja 83. House Aartrijke / Atelier Tom Vanhee [źródło: https://www.archdaily.com/796415/house-aartrijke-atelier-tom-vanhee?ad_medium=gallery dostęp: 13.04.2022r].	186
Ilustracja 84. Budynki szeregowe Loyola Houses w Hiszpani [źródło: https://www.archdaily.com , dostęp 14.04.2022r]	187
Ilustracja 85. Przykładowe wnętrza z kotłem gazowym [źródło: https://www.instalacjebudowlane.pl/4182-23-40-gdzie-umiescic-kocioł-grzewczy.html , dostęp 13.01.2022r].....	188
Ilustracja 86. Przykładowe wymiary pomieszczeń technicznych dla paliwa gazowego [opracowanie własne].	189
Ilustracja 87. Rozpatrywane schematy zabudowy mieszkaniowej [opracowanie własne].	190
Ilustracja 88. Schemat rozkładu pomieszczeń w budynku o innych temperaturach [opracowanie własne].	192
Ilustracja 89. Schemat rozpatrywanego układu kondygnacji budynku [opracowanie własne].	193
Ilustracja 90. Schemat analizowanego przykładu zabudowy wolnostojącej [opracowanie własne].	194
Ilustracja 91. Ekologiczne osiedle domów szeregowych Arborescene [źródło: https://swiatoze.pl/ekologiczne-domy-szeregowe-w-stylu-skandynawskim/ , dostęp: 28.12.2021r].	195
Ilustracja 92. Osiedle Kampinos [źródło: https://domenergo.com/aktualnosci/ostoja-kampinos/ , dostęp 24.04.2022r].....	196
Ilustracja 93. Wood House w Krakowie [źródło: https://zyciewarchitekturze2020.architekturamurator.pl/contact_forms/popup/112/565765/ , dostęp 24.04.2022r]	196
Ilustracja 94. Dom w kolorze [źródło: https://domyzglowa.pl/projekt/950/ , dostęp: 14.01.2022r].	197
Ilustracja 95. Dom w kolorze – rzuty wersji S [źródło: https://domyzglowa.pl/projekt/950/ , dostęp: 14.01.2022r].....	197

Ilustracja 96. Dom w kolorze – rzuty wersji M [źródło: https://domyzglowa.pl/projekt/950/ , dostęp: 14.01.2022r].....	197
Ilustracja 97. Dom jednorodzinny w Katowicach [źródło: https://www.bryla.pl/bryla/1,85301,19666485,katowicki-dom-z-lupka-skosny-okap-zdradza-co-dzieje-sie-w-srodku.html , dostęp 24.05.2022].....	199
Ilustracja 98. Dom z dachem [Źródło: https://www.archdaily.com , dostęp 24.05.2022r].....	200
Ilustracja 99. Dom Robak [źródło: https://magazif.com/architektura/dom-robak-ekologiczny-dom-przyszlosci/ , dostęp 24.05.2022r].....	201
Ilustracja 100. Dom Robak – przekrój [źródło: https://architektura.muratorplus.pl/technika/warsztat/wormhouse-w-zablociu_8842.html , dostęp 24.05.2022r]	201
Ilustracja 101. Rozkład starej chaty jednoizbowej [źródło: https://www.laliny.hekko24.pl/zab.htm , dostęp: 02.01.2022r].....	202
Ilustracja 102. Tradycyjny norweski dom z centralnym paleniskiem [źródło: Banham R. Architecture of the Well -tempered Environment. Second, Revised Edition. Princeton: Architectural Press, 1984, s100].....	203
Ilustracja 103. Dom jednorodzinny w Kuźnicy Kiedrzyńskiej [źródło: https://www.infoarchitekta.pl/artykuly:4-projekty:18149-harmonia-inspirowana-natura-dom-w-kuznicy-kiedrzynskiej-fasada-roku-2018.html , dostęp 15.12.2021r].	204
Ilustracja 104. Dom jednorodzinny w Kuźnicy Kiedrzyńskiej [źródło: http://www.grupaverso.com.pl/34,Dom-w-Kuznicy-Kiedrzynskiej , dostęp 15.12.2021].	204
Ilustracja 105. Rzuty domu jednorodzinnego w Kuźnicy Kiedrzyńskiej [źródło: https://archinea.pl/lesny-dom-kuznicy-kiedrzynskiej-projektu-grupy-verso/ , dostęp 15.12.2021r].	205
Ilustracja 106. Dom jednorodzinny w Nowej Górcie [źródło: https://archinea.pl/w-harmonii-z-otaczajaca-przyroda-dom-w-nowej-gorce-studia-gab/ , dostęp 15.12.2021r].	206
Ilustracja 107. Wnętrze domu jednorodzinnego w Nowej Górcie [źródło: https://www.studiogab.net/nowa-gorka , dostęp 15.12.2021r].	207
Ilustracja 108. Dom jednorodzinny w Lusówku [źródło: https://www.plarchitekci.pl/architektura/nowoczesny-dom-jednorodzinny-ze-skosnym-dachem/ , dostęp 15.12.2021r].	208
Ilustracja 109. Dom jednorodzinny w Lusówku [źródło: https://www.plarchitekci.pl/architektura/nowoczesny-dom-jednorodzinny-ze-skosnym-dachem/ , dostęp 15.12.2021r].	208
Ilustracja 110. Rzuty domu jednorodzinnego w Lusówku [źródło: https://www.plarchitekci.pl/architektura/nowoczesny-dom-jednorodzinny-ze-skosnym-dachem/ , dostęp 15.12.2021r].	209
Ilustracja 111. Dom jednorodzinny w Krzykach [źródło: http://www.kameleonlab.com/0222-dom-we-wroclawiu-krzyki/ , dostęp 15.12.2021r].	210
Ilustracja 112. Rzuty domu jednorodzinnego w Krzykach [źródło: http://www.kameleonlab.com/0222-dom-we-wroclawiu-krzyki/ , dostęp 15.12.2021r].	211
Ilustracja 113. Dom jednorodzinny w Toronto [źródło: http://www.kameleonlab.com/0222-dom-we-wroclawiu-krzyki/ , dostęp 15.12.2021r].	212
Ilustracja 114. Rzuty domu jednorodzinnego w Toronto [źródło: https://www.archdaily.com/590562/the-linear-house-green-dot-	

architects/54c06cdce58ecef700002d2-235_cedarvale-04-jpg, dostęp 15.12.2021r].	213
Ilustracja 115. Schemat architektury zrównoważonej w powiązaniu ze źródłem ciepła [opracowanie własne].	216
Ilustracja 116. Schemat wpływu podejmowanych decyzji na etapie budowy na przyszłego użytkownika [opracowanie własne].	217
Ilustracja 117. Schemat relacji w architekturze mieszkalnej [opracowanie własne].	218
Ilustracja 118. Schemat aspektów architektonicznych wynikających z ogrzewania gazowego [opracowanie własne].	222
Ilustracja 119. Schemat aspektów architektonicznych wynikających z ogrzewania pompa ciepła [opracowanie własne].	223
Ilustracja 120. Schemat aspektów architektonicznych wynikających z ogrzewania biomasą [opracowanie własne].	224

SPIS WYKRESÓW

Wykres 1. Wykres przedstawiający wartość maksymalną wskaźnika EP_{H+W} [kWh/(m ² ·rok)] na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej.	30
Wykres 2. Struktura zużycia energii w budynkach mieszkalnych.	36
Wykres 3. Struktura wykorzystania nośników energii w krajach UE-15 i Polsce [Źródło: Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2018r, Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Warszawa 2019 s. 84].	37
Wykres 4. Udział gospodarstw domowych w mieście i na wsi wykorzystujących nośniki energii do ogrzewania pomieszczeń w roku 2009,2012,2015,2018 [Źródło: Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2018r, Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Warszawa 2019 s. 61]	39
Wykres 5. Struktura wykorzystania nośników energii na cele ogrzewania [źródło: Efekty działalności budowlanej w 2020 r., Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Warszawa 2021, s33.].	40
Wykres 6. Udział procentowy strat przez przenikanie i wentylację w zapotrzebowaniu na ciepło do ogrzewania i wentylacji budynków jednorodzinnych w Polsce	51
Wykres 7. Typ zabudowy mieszkaniowej [opracowanie własne].	68
Wykres 8. Powierzchnia użytkowa obiektów [opracowanie własne].	69
Wykres 9. Rok budowy obiektów [opracowanie własne].	69
Wykres 10. Lokalizacja obiektu [opracowanie własne].	70
Wykres 11. Sposób ogrzewania obiektu [opracowanie własne].	71
Wykres 12. Sposób ogrzewania budynków mieszkalnych w Polsce [opracowanie własne].	72
Wykres 13. Sposób ogrzewania budynków mieszkalnych w Wielkopolsce [opracowanie własne].	72
Wykres 14. Sposób ogrzewania budynków mieszkalnych w zabudowie wolnostojącej [opracowanie własne].	73
Wykres 15. Sposób ogrzewania budynków mieszkalnych w zabudowie bliźniaczej [opracowanie własne].	73
Wykres 16. Sposób ogrzewania budynków mieszkalnych w zabudowie szeregowej [opracowanie własne].	74
Wykres 17. Wpływ na wybór gazowego źródła ciepła [opracowanie własne].	74

Wykres 18. Preferowana zmiana gazowego źródła ciepła na inne [opracowanie własne].	75
Wykres 19. Wpływ na wybór węglowego źródła ciepła [opracowanie własne].	75
Wykres 20. Preferowana zmiana węglowego źródła ciepła na inne [opracowanie własne].	76
Wykres 21. Wpływ na wybór pompy ciepła jako źródła ciepła [opracowanie własne].	76
Wykres 22. Dodatkowe instalacje montowane przez mieszkańców [opracowanie własne].	77
Wykres 23. Plany mieszkańców dotyczące montażu wybranych instalacji [opracowanie własne].	77
Wykres 24. Rozkład odpowiedzi respondentów dotyczącej decyzji o niewybraniu pompy ciepła jako głównego źródła ciepła [opracowanie własne].	78
Wykres 25. Rozkład odpowiedzi respondentów dotyczącej decyzji o niewybraniu kotła na biomasę jako głównego źródła ciepła [opracowanie własne].	79
Wykres 26. Czynniki wpływające na wybór źródła ciepła [opracowanie własne].	79
Wykres 27. Typ wentylacji w zabudowie mieszkalnej [opracowanie własne].	80
Wykres 28. Typ wentylacji w zabudowie mieszkalnej powstałej po 2017 roku [opracowanie własne].	80
Wykres 29. Ważność czynników wpływających na wybór wentylacji obiektu [opracowanie własne].	81
Wykres 30. Motywy wyboru metody wentylacji obiektu [opracowanie własne].	82
Wykres 31. Motywy wyboru metody mechanicznej wentylacji obiektu [opracowanie własne].	82
Wykres 32. Motywy wyboru metody grawitacyjnej wentylacji obiektu [opracowanie własne].	83
Wykres 33. Częstotliwość występowania parowania szyb w oknach w zależności od zastosowanej wentylacji obiektu według ankietowanych [opracowanie własne].	84
Wykres 34. Częstotliwość występowania pleśni/grzybów na meblach/ ścianach w zależności od zastosowanej wentylacji obiektu według ankietowanych [opracowanie własne].	84
Wykres 35. Częstotliwość wyziębienia pomieszczeń w zależności od zastosowanej wentylacji obiektu według ankietowanych [opracowanie własne].	85
Wykres 36. Częstotliwość spadku jakości powietrza w zależności od zastosowanej wentylacji obiektu według ankietowanych [opracowanie własne].	85
Wykres 37. Częstotliwość odczuwania zapachów z zewnątrz w zależności od zastosowanej wentylacji obiektu według ankietowanych [opracowanie własne].	86
Wykres 38. Częstotliwość utrzymywania się wilgoci w pomieszczeniach w zależności od zastosowanej wentylacji obiektu według ankietowanych [opracowanie własne].	86
Wykres 39. Częstotliwość występowania hałasu z urządzeń wentylacyjnych w zależności od zastosowanej wentylacji obiektu według ankietowanych [opracowanie własne].	87
Wykres 40. Podsumowanie wyników z przeprowadzonej ankiety.	91
Wykres 41. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A0 z wentylacją grawitacyjną.	107
Wykres 42. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A0 z wentylacją mechaniczną.	107
Wykres 43. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A1 z wentylacją grawitacyjną [opracowanie własne].	108
Wykres 44. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A1 z wentylacją mechaniczną [opracowanie własne].	108

Wykres 45. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A2 z wentylacją grawitacyjną [opracowanie własne].....	109
Wykres 46. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A2 z wentylacją mechaniczną [opracowanie własne].	109
Wykres 47. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A3 z wentylacją grawitacyjną [opracowanie własne].....	110
Wykres 48. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A3 z wentylacją mechaniczną [opracowanie własne].	110
Wykres 49. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A2 z wentylacją mechaniczną i ogrzewaniem gazowym [opracowanie własne].	111
Wykres 50. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A2 z wentylacją mechaniczną i ogrzewaniem na węgiel[opracowanie własne].	112
Wykres 51. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A2 z wentylacją mechaniczną i ogrzewaniem na biomasę [opracowanie własne].....	113
Wykres 52. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A2 z wentylacją mechaniczną i ogrzewaniem pompą ciepła [opracowanie własne].	114
Wykres 53. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A2 z wentylacją mechaniczną i ogrzewaniem elektrycznym [opracowanie własne].	115
Wykres 54. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A1 w połączeniu z instalacją fotowoltaiczną dla wybranych źródeł ciepła [opracowanie własne].	116
Wykres 55. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A2 w połączeniu z instalacją fotowoltaiczną dla wybranych źródeł ciepła [opracowanie własne].	117
Wykres 56. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A3 w połączeniu z instalacją fotowoltaiczną dla wybranych źródeł ciepła [opracowanie własne].	118
Wykres 57. Zestawienie wartości wskaźnika EP dla wariantu A0 w połączeniu z instalacją fotowoltaiczną dla wybranych źródeł ciepła [opracowanie własne].	118
Wykres 58. Wartości wskaźnika EP w wariantcie U8 dla budynku A0 z wentylacją grawitacyjną w zależności od strefy klimatycznej [opracowanie własne].	119
Wykres 59. Wartości wskaźnika EP w wariantcie U8 dla budynku A0 z wentylacją mechaniczną w zależności od strefy klimatycznej [opracowanie własne].	120
Wykres 60. Wskaźnik EP w zależności od współczynnika COP pompy ciepła z wentylacją grawitacyjną [opracowanie własne]	122
Wykres 61. Wskaźnik EP w zależności od współczynnika COP pompy ciepła z wentylacją mechaniczną [opracowanie własne]	123
Wykres 62. Zużycie energii dla budynku A2 z wentylacją grawitacyjną w wariantcie U1 [opracowanie własne].	124
Wykres 63. Zużycie energii dla budynku A2 z wentylacją mechaniczną w wariantcie U1 [opracowanie własne].	125
Wykres 64. Zużycie energii dla budynku A2 z wentylacją grawitacyjną w wariantcie U8.....	125
Wykres 65. Zużycie energii dla budynku A2 z wentylacją mechaniczną w wariantcie U8 [opracowanie własne]	126
Wykres 66. Porównanie wartości wskaźnika EP w zależności od rodzaju wentylacji i źródła ciepła [opracowanie własne].....	126
Wykres 67. Podsumowanie efektywności energetycznej wybranych źródeł ciepła... 128	
Wykres 68. Wartości współczynnika przenikania ciepła U [W/(m ² K)] dla ścian zewnętrznych i dachów na przestrzeni lat 1965-2021. [Opracowanie własne na podstawie tabeli 15].	133
Wykres 69. Graficzne zestawienie wariantów obliczeniowych uwzględniających różne wartości paramentów U.	136

Wykres 70. Wartość wskaźnika EP w zależności od wariantu współczynnika U [opracowanie własne].	137
Wykres 71. Zestawienie ogólne wpływu izolacyjności poszczególnych przegród budowlanych na stopień redukcji wskaźnika EP [opracowanie własne].....	140
Wykres 72. Wartość wskaźnika EP w zależności od wariantu współczynnika U dla budynku wyposażonego w wentylację mechaniczną [opracowanie własne].	141
Wykres 73. Całościowe zestawienie wartości wskaźnika EP w zależności od wariantu współczynnika U dla budynku A2 wyposażonego w wentylację grawitacyjną [opracowanie własne].	142
Wykres 74. Całościowe zestawienie wartości wskaźnika EP w zależności od wariantu współczynnika U dla budynku A2 wyposażonego w wentylację mechaniczną [opracowanie własne].	143
Wykres 75. Stopień możliwej redukcji wskaźnika EP [opracowanie własne].....	146
Wykres 76. Zestawienie wyników dla budynku jednokondygnacyjnego z dachem płaskim i pompą ciepła [opracowanie własne]	156
Wykres 77. Zestawienie wyników dla budynku jednokondygnacyjnego z dachem płaskim i gazem ziemnym [opracowanie własne]	156
Wykres 78. Zestawienie wyników dla budynku dwukondygnacyjnego z dachem płaskim i pompą ciepła [opracowanie własne]	157
Wykres 79. Zestawienie wyników dla budynku dwukondygnacyjnego z dachem płaskim i gazem ziemnym [opracowanie własne]	157
Wykres 80. Zestawienie wyników dla budynku trzykondygnacyjnego z dachem płaskim i pompą ciepła [opracowanie własne]	158
Wykres 81. Zestawienie wyników dla budynku trzykondygnacyjnego z dachem płaskim i gazem ziemnym [opracowanie własne]	158
Wykres 82. Zestawienie wyników dla budynku jednokondygnacyjnego z dachem skośnym i pompą ciepła [opracowanie własne]	159
Wykres 83. Zestawienie wyników dla budynku jednokondygnacyjnego z dachem skośnym i gazem ziemnym [opracowanie własne].....	159
Wykres 84. Zestawienie wyników dla budynku dwukondygnacyjnego z dachem skośnym i pompą ciepła [opracowanie własne]	160
Wykres 85. Zestawienie wyników dla budynku dwukondygnacyjnego z dachem skośnym i gazem ziemnym [opracowanie własne].....	160
Wykres 86. Zestawienie wyników dla budynku trzykondygnacyjnego z dachem skośnym i pompą ciepła [opracowanie własne]	161
Wykres 87. Zestawienie wyników dla budynku trzykondygnacyjnego z dachem skośnym i gazem ziemnym [opracowanie własne].....	161
Wykres 88. Zestawienie wymogów szczelności budynku w zależności od typu budynku.	162
Wykres 89. Wpływ szczelności obiektu na wskaźnik EP dla budynków z płaskim dachem [opracowanie własne].....	163
Wykres 90. Wpływ szczelności obiektu na wskaźnik EP dla budynków z dachem skośnym [opracowanie własne]	163
Wykres 91. Graficzne podsumowanie otrzymanych wyników [opracowanie własne]	164
Wykres 92 Wartość wskaźnika EP w zależności od typu zabudowy	191
Wykres 93 Zestawienie oceny wielokryterialnej źródeł ciepła	220

SPIS TABEL

Tabela 1 Wartości współczynnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii lub energii dla systemów technicznych w_i	29
Tabela 2. Przyjęte założenia wspólne do obliczenia zapotrzebowania na energię pierwotną na potrzeby ogrzewania i wentylacji.	96
Tabela 3. Charakterystyczne parametry przyjętych modeli budynków.....	97
Tabela 4. Charakterystyczne parametry modelu budynku w wariancie A0.	99
Tabela 5. Charakterystyczne parametry modelu budynku w wariancie A1.	100
Tabela 6. Charakterystyczne parametry modelu budynku w wariancie A2.	101
Tabela 7. Charakterystyczne parametry modelu budynku w wariancie A3.	102
Tabela 8. Spis analizowanych wariantów źródeł ciepła [opracowanie własne].	103
Tabela 9. Spis parametrów systemów grzewczych [opracowanie własne].	104
Tabela 10 Spis parametrów systemów ciepłej wody użytkowej [opracowanie własne]	105
Tabela 11. Spis dobranych źródeł ciepła [opracowanie własne].	105
Tabela 12. Spis dobranych parametrów dla analizowanych wariantów współczynnika U [opracowanie własne]	106
Tabela 13. Wartości wskaźnika EP w zależności od zastosowanej pompy ciepła o zadanej sprawności przy założeniu budynku z wentylacją grawitacyjną [opracowanie własne].	122
Tabela 14. Wartości wskaźnika EP w zależności od zastosowanej pompy ciepła o zadanej sprawności przy założeniu budynku z wentylacją mechaniczną [opracowanie własne].	123
Tabela 15. Wymagania dotyczące izolacyjności cieplnej ścian, stropodachów i powierzchni szklanych w Polsce [opracowanie własne].	132
Tabela 16. Zestawienie przyjętych parametrów współczynnika U dla wybranych przegród i stolarki.	134
Tabela 17. Zestawienie wariantów obliczeniowych uwzględniających różne wartości paramentów U.....	135
Tabela 18. Wpływ redukcji współczynnika U przegród budowlanych na wskaźnik energii pierwotnej EP budynku A2 z wentylacją grawitacyjną w zależności od źródła ciepła [opracowanie własne].....	138
Tabela 19. Wpływ redukcji współczynnika U przegród budowlanych na wskaźnik energii pierwotnej EP budynku A2 z wentylacją mechaniczną w zależności od źródła ciepła [opracowanie własne].....	139
Tabela 20. Wpływ redukcji współczynnika U przegród budowlanych na wskaźnik energii pierwotnej EP budynku A2 z wentylacją grawitacyjną w zależności od źródła ciepła [opracowanie własne].....	144
Tabela 21. Wpływ redukcji współczynnika U przegród budowlanych na wskaźnik energii pierwotnej EP budynku A2 z wentylacją mechaniczną w zależności od źródła ciepła [opracowanie własne].....	145
Tabela 22. Spis dobranych parametrów dla analizowanych wariantów współczynnika U [opracowanie własne]	154
Tabela 23. Zestawienie analizowanych parametrów budynku.	155
Tabela 24. Zestawienie wymogów szczelności budynku w zależności od typu budynku.	162
Tabela 25. Zestawienie analizowanych parametrów w zależności od kształtu budynku.	165

Tabela 26. Minimalna odległość zewnętrznej jednostki pompy ciepła dla wariantu A [opracowanie własne].	181
Tabela 27. Minimalna odległość zewnętrznej jednostki pompy ciepła dla wariantu B [opracowanie własne].	182
Tabela 28. Minimalna odległość zewnętrznej jednostki pompy ciepła dla wariantu C [opracowanie własne].	182
Tabela 29. Parametry obiektu przyjęte w obliczeniach [opracowanie własne].	191
Tabela 30. Wyniki wskaźnika EP w zależności od typu zabudowy [opracowanie własne].	191
Tabela 31. Wyniki wskaźnika EP w zależności od lokalizacji i parametrów garażu [opracowanie własne].	192
Tabela 32. Wyniki wskaźnika EP w zależności od ilości kondygnacji [opracowanie własne].	193
Tabela 33. Wyniki wskaźnika EP w zależności o wielkości części o niższej temperaturze [opracowanie własne].	194
Tabela 34. Całościowe zestawienie ocenianych źródeł ciepła w zależności od przyjętych kryteriów.	219

ZAŁĄCZNIKI

Ankieta dotycząca źródła ciepła i wentylacji

Nazywam się Aneta Biała i zapraszam do udziału w badaniu ankietowym dotyczącym źródeł ciepła na cele grzewcze i sposobu wentylacji obiektu. Badanie skierowane jest do osób mieszkających w budynkach mieszkalnych jednorodzinnych (wolnostojących, bliźniaczych i szeregowych). Wypełnienie ankiety powinno zająć ok. 5-10 minut.

Badanie jest w pełni dobrowolne i anonimowe. Wyniki będą analizowane wyłącznie w celach naukowych na potrzeby pracy doktorskiej.

Wzięcie udziału w badaniu jest jednoznaczne z wyrażeniem zgody na przetwarzanie danych, które są w nim zawarte.

W razie dodatkowych pytań proszę o kontakt: aneta.biala@put.poznan.pl

***Wymagane**

Powierzchnia użytkowa budynku mieszkalnego? (orientacyjna)

1. W jakim budynku mieszkasz? *

Zaznacz tylko jedną odpowiedź.

- dom jednorodzinny wolnostojący
 dom w zabudowie bliźniaczej
 dom w zabudowie szeregowej
 Inne: _____

2. Powierzchnia użytkowa budynku mieszkalnego? (orientacyjna) *

Zaznacz tylko jedną odpowiedź.

- do 70m²
 70-100m²
 100-150m²
 150-200m²
 powyżej 200m²

3. Rok budowy obiektu? *

Zaznacz tylko jedną odpowiedź.

- przed 1990
 1991-2000
 2001-2006
 2007-2013
 2014-2016
 2017-2020
 2021

4. W jakim województwie znajduje się budynek? *

Rok budowy obiektu?

Zaznacz tylko jedną odpowiedź.

- dolnośląskie
 kujawsko-pomorskie
 lubelskie
 lubuskie
 łódzkie
 małopolskie
 mazowieckie
 opolskie
 podkarpackie
 podlaskie
 pomorskie
 śląskie
 świętokrzyskie
 warmińsko-mazurskie
 wielkopolskie
 zachodniopomorskie

6. Jaki typ wentylacji masz w domu? *

Zaznacz tylko jedną odpowiedź.

- grawitacyjna (standardowe kominy wentylacyjne w pomieszczeniu typu łazienka, kuchnia)
 grawitacyjna z nawiewnikami okiennymi
 hybrydowa (grawitacyjna z zamontowanymi nasadami kominowymi na dachu)
 mechaniczna - np. rekuperacja
 Inne: _____

7. Czy w budynku jest zainstalowane któreś z poniższych urządzeń? *

Zaznacz wszystkie właściwe odpowiedzi.

- kolektory słoneczne (do grzania ciepłej wody)
 ogniwa fotowoltaiczne
 klimatyzacja
 zadne z powyższych
 Inne: _____

8. Jeżeli zaznaczyłeś/aś w poprzednim pytaniu któreś z urządzeń to co skłoniło cię do ich montażu?

5. Sposób ogrzewania budynku? *

Zaznacz wszystkie właściwe odpowiedzi.

- c.o z kotłem węglowym
 c.o z kotłem olejowym
 c.o z kotłem gazowym
 c.o z pompą ciepła
 c.o z kotłem elektrycznym
 c.o z kotłem na ekogroszek
 kominiek opalany drewnem
 c.o z kotłem na biomasę (pellet, sioma itp)

Inne: _____

9. Jeżeli odpowiedziałeś/aś w poprzednim pytaniu "żadne z powyższych" to czy planujesz ich montaż i dlaczego? _____

12. Dlaczego zdecydowałeś/aś się lub nie zdecydowałeś/aś się na pompę ciepła? _____

13. Dlaczego zdecydowałeś/aś się lub nie zdecydowałeś/aś się na ekologiczny kocioł na biomasę (pellet, zrębki itp)? _____

14. Czy uważasz, że inne źródło ciepła znacząco obniżyłoby twoje rachunki za ogrzewanie? (np. wymiana kotła gazowego na pompę ciepła itp) _____

15. Czy z perspektywy czasu lub możliwości wybrałbyś inne źródło ciepła? *
 Zaznacz tylko jedną odpowiedź.
 tak
 Nie
10. Uszereguj od 1 do 3 poniższe czynniki pod względem ważności przy wyborze źródła ciepła na cele ogrzewania (1 - najważniejszy)
 *
 Zaznacz tylko jedną odpowiedź w rzędzie.
- | | 1 | 2 | 3 |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| cena | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| ekologia | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| wygoda użytkowania | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
11. Dlaczego zdecydowałeś/aś się na wybrane źródło ciepła? *
 Zaznacz tylko jedną odpowiedź.
 rekomendacja architekta
 kupilem/am dom już z gotowym systemem grzewczym
 nie miałem/am wyboru (np. brak możliwości podłączenia gazu)
 kierowałem/am się głównie ceną urządzenia
 zależało mi na ekologicznym źródle ciepła
 uznałem /am je za najbardziej spełniające moje wymagania
 Inne: _____

16. Jeżeli odpowiedziales/aś "tak" to jakie było by to źródło ciepła i dlaczego?

17. Jak oceniasz komfort użytkowania Twojego źródła ciepła na cele grzewcze ? *

Zaznacz tylko jedną odpowiedź w rzędzie.

	uciążliwe	akceptowalne	wygodne	bardzo wygodne
obsługa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
serwis	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
hałas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
zajmowane miejsce	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

18. Oceń ważność czynników wpływających na wybór sposobu wentylacji obiektu *

Zaznacz tylko jedną odpowiedź w rzędzie.

	nie ważne	mало ważne	średnio ważne	ważne	bardzo ważne
cena instalacji	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
wygoda użytkownia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
jakość powietrza w budynku	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
potencjalne oszczędności w ogrzewaniu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

19. Wybór metody wentylacji obiektu oparty był o: *

Zaznacz tylko jedną odpowiedź.

analizę wad i zalet każdego rodzaju wentylacji i podjęcie decyzji

zasugerowałem/am się rozwiązaniem w projekcie budowlanym

wyborem najpopularniejszego rozwiązania

brak możliwości wyboru (zakup gotowego domu)

Inne: _____

