

Zabudowa wielorodzinna blisko zeroenergetyczna – tendencje projektowe

Nearly zero-energy multi-family buildings – design trends

Streszczenie:

W artykule przybliżono wybrane rozwiązania architektoniczne mające wpływ na efektywność energetyczną budynków wielorodzinnych blisko zeroenergetycznych – BWBZE. Na podstawie szczegółowych analiz 15 obiektów zrealizowanych w klimacie zbliżonym do polskiego wyłoniono strategię mającą bezpośrednie zastosowanie w zintegrowanym procesie projektowym. Wskazano zarówno elementy i cechy, które można uznać za tendencje, jak i przypadki szczególne zrealizowanych BWBZE. Autorzy mają nadzieję, że opisane zagadnienia staną się przyczynkiem do zmian w projektowaniu zabudowy wielorodzinnej na miarę XXI wieku w Polsce.

Abstract:

The article presents chosen technological solutions that affect the energy efficiency of multi-family zero-energy buildings – MFZEB. Based on detailed analyzes of 15 buildings built in a climate zone similar to Polish zone, strategies that have direct application in the integrated design process were selected. Both elements and features that can be considered as trends as well as specific cases of MFZEB were indicated. Authors hope that the described problems will contribute to changes in the design of multi-family housing for the 21st century in Poland.

Słowa kluczowe: architektura energoaktywna, efektywność energetyczna, zintegrowany proces projektowy

Keywords: Energy-active architecture, energy efficiency, integrated design process

1. WSTĘP

Rozwój budownictwa blisko zeroenergetycznego związany jest m.in. z celami Zrównoważonego Rozwoju ONZ, jak również z realizacją polityki klimatyczno-energetycznej, stosowania odnawialnych źródeł energii czy planu działania na rzecz racjonalizacji zużycia energii. W Polsce podstawowe znaczenie dla budownictwa blisko zeroenergetycznego mają 3 dokumenty prawne, tj.: Prawo Budowlane, Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie wymogów technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie oraz Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego. Dokumenty te mają na celu wprowadzenie standardu blisko zeroenergetycznego do polskiej praktyki budownictwa jednak proces ten nie następuje tak szybko, jak należałoby się spodziewać. Jednym z jego mankamentów jest brak jednoznacznej definicji, a nawet nazwy dla budynków charakteryzujących się niemal zerowym zużyciem energii, a sytuację tę utrudnia kwestia konieczności redukcji emisji CO₂, którą wnosi tzw. recast dyrektywy EPBD (2010)¹.

1. INTRODUCTION

The development of nearly zero-energy buildings is related to the goals of UN Sustainable Development, as well as with the implementation of climate and energy policy, the use of renewable energy sources, or an action plan for energy efficiency. In Poland, three legal documents are of fundamental importance for nearly zero-energy buildings: the Construction Law, the Regulation of the Minister of Infrastructure on technical requirements to be met by buildings and their location, and the Regulation of the Minister of Transport, Construction and Maritime Economy on the detailed scope and form of a construction project. These documents are intended to introduce a nearly zero-energy standard to Polish building practice, however, the process is not as fast as one might expect. One of its drawback is the lack of an unambiguous definition, or even a name for buildings characterized by almost zero energy consumption, the situation is made also difficult by the need to reduce CO₂ emissions, which is brought by the so-called EPBD recast (2010)¹.

Budownictwo mieszkaniowe, tzw. energooszczędne, istnieje od lat 70. XX w. W początkowym okresie były to domy jednorodzinne, pionierskie, realizowane przez badaczy i naukowców, a dopiero od 2002 roku, czyli ponad 10 lat po zrealizowaniu pierwszego pasywnego domu jednorodzinnego powstał pierwszy obiekt wielorodzinny blisko zeroenergetyczny w Zurychu.

Budownictwo mieszkaniowe w Polsce jest jednym z najbardziej prężnie rozwijających się sektorów gospodarki. Obserwuje się wyraźne tendencje w zakresie redukcji zużycia energii w budownictwie, niemniej trudno jest odnotować znaczące zmiany w zakresie rozwiązań architektonicznych, które sprzyjałyby poprawie jakości energetycznej. Według ustawy o efektywności energetycznej jest to: „Stosunek uzyskanej wielkości efektu użytkowego danego obiektu, urządzenia technicznego lub instalacji w typowych warunkach ich użytkowania lub eksploatacji, do ilości zużycia energii przez ten obiekt, urządzenie techniczne lub instalację, niezbędnej do uzyskania tego efektu. (Dz. U., 2016).

2. CEL, ZAKRES I METODA

Celem artykułu jest wskazanie tendencji współczesnego budownictwa wielorodzinnego, zmiernego ku standardowi budynków blisko zeroenergetycznych. Przyjęto, że budynek wielorodzinny to taki, w którym występuje spiętrzenie mieszkań (Seruga, 1984, s. 16).

Zbadano 50 obiektów znajdujących się w strefie klimatycznej zbliżonej do warunków panujących w Polsce zgodnie z klasyfikacją Wincentego Orłowicza (1990), umiarkowanej ciepłej². Zakres ograniczono do krajów Unii Europejskiej oraz Szwajcarii i Wielkiej Brytanii. Do badań wybrano budynki o deklarowanym standardzie blisko zeroenergetycznym, pasywnym³ oraz energooszczędnym o zapotrzebowaniu energetycznym obniżonym o ok. 60% w stosunku do budynków standardowych w danym kraju (Musall, 2010, s. 2), a także interesujące z punktu widzenia architektury aktywnej energetycznie (Bać A., 2020, s. 15). Są to obiekty zrównoważone (Kamionka, 2012). O ich wyborze zdecydowała dostępność materiału badawczego w literaturze fachowej i na stronach internetowych biur projektowych oraz specjalistycznych portali internetowych w przedziale czasowym od 2000 do 2017 roku.

Badaniom szczegółowym poddano 15 obiektów o wyróżniających się walorach architektoniczno-energetycznych. Metoda pracy polegała na analizie porównawczej wielokryterialnej pod kątem wybranych zagadnień mających związek z efektywnością energetyczną. W opracowaniu wskazano zarówno tendencje, jak i występowanie rozwiązań szczególnych, charakterystycznych dla osiągnięcia standardu blisko zeroenergetycznego za pomocą strategii biernych (Bać A., 2016, s. 26), a więc takich, w których przepływ energii nie jest zasilany z zewnątrz. Zakres artykułu obejmuje zagadnienia architektoniczne lub na pograniczu innych branż, a nie dotyczy rozwiązań instalacyjnych – stanowi podstawy dla zintegrowanego procesu projektowego budynków wielorodzinnych na miarę XXI wieku.

3. UWARUNKOWANIA PROJEKTOWE

W Polsce panuje przekonanie, że obiekty blisko zeroenergetyczne to takie, które posiadają bardzo dobrą izolację termiczną i są wyposażone w rozliczne urządzenia

Energy-efficient buildings have been in existence since the 1970s, but so far approx. 220 buildings known as nearly zero-energy have been built around the world. In the initial phase, single-family houses were pioneered. Built by researchers and scientists. In 2002, what is 10 years after the construction of the first passive single-family house, the first multi-family, the near-zero-energy building was built in Zurich. Housing in Poland is one of the most dynamically developing sectors of the economy. There are clear trends in reducing energy consumption in construction, but it is difficult to notice significant changes in architectural solutions that would favor the improvement of energy quality. According to the Energy Efficiency Act it is: “The ratio of the obtained value of the utility effect of a given facility, technical device or installation under typical conditions of their use or operation, to the amount of energy consumption by this facility, technical device or installation necessary to achieve this effect” (Dz. U., 2016).

2. PURPOSE, SCOPE AND METHOD

The purpose of the article is to indicate the tendency of modern multi-family housing, moving towards the standard of nearly zero-energy buildings. It was assumed that a multi-family building is one with an accumulation of flats (Seruga, 1984, p. 16). 50 objects located in a climate zone similar to the conditions prevailing in Poland, according to the classification of Wincenty Orłowicz (1990), moderately warm, were examined². The scope is limited to the countries of the European Union as well as Switzerland and Great Britain. Buildings with a declared standard close to zero energy, passive³ and energy-efficient with energy demand reduced by about 60% compared to standard buildings, in a given country, and also interesting from the point of view of energetically active architecture (Bać A., 2020, p. 15) were selected for the research (Musall, 2010, p. 2). Those are sustainable objects (Kamionka, 2012). Their selection was determined by the availability of research material in professional literature and on the websites of design offices and specialized websites in the period from 2000 to 2017.

15 buildings with outstanding architectural and energy values were subjected to detailed examination. The method of work was based on a multi-criteria comparative analysis in terms of selected problems related to energy efficiency. The study indicates both the tendencies and the occurrence of specific solutions, characteristic of achieving the near-zero-energy standard using passive strategies (Bać A., 2016, p. 26), therefore, those in which the energy flow is not supplied from the outside. The scope of the article covers architectural issues or issues on the border of other consultants, and does not concern MEP solutions – it is the basis for an integrated design process of multi-family buildings for the 21st century.

3. DESIGN CONDITION

There is a conviction in Poland that nearly zero-energy buildings are those that have very good thermal insulation and are equipped with numerous mechanical devices to achieve thermal comfort for users,

mechaniczne służące osiągnięciu komfortu termicznego użytkowników, jak wentylacja mechaniczna nawiewno-wywiewna z odzyskiem ciepła czy klimatyzacja. Są one także kojarzone z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii – OZE w postaci pomp ciepła lub najczęściej fotowoltaiki. W literaturze fachowej uwarunkowania obiektów o niemal zerowym zapotrzebowaniu na energię (Sowa, 2017, s. 12) dzieli się na te instalacyjne – tzw. aktywne i architektoniczne – tzw. bierne czy naturalne. W artykule natomiast przyjęto koncepcję architektury aktywnej energetycznie, która definiuje rozwiązania architektoniczne mające związek z redukcją zapotrzebowania na energię. Przedstawiono zatem te rozwiązania, które najczęściej leżą w gestii projektanta architektury i są to rozwiązania w zakresie ukształtowania bryły, rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych i elewacyjnych, a także rozplanowania mieszkań i występowania fotowoltaiki⁴. Zostaną one przedstawione w kolejnych rozdziałach.

4. UKSZTAŁTOWANIE BRYŁY

Właściwa strategia projektowania bryły budynków wpływa na zapotrzebowanie na energię między 30 a 60%. Przyjęto, że dla budynków wielorodzinnych blisko zeroenergetycznych – BWBZE znaczenie mają: typologia, zwartość bryły, układ komunikacyjny oraz układ funkcjonalno-przestrzenny, które zostaną omówione poniżej.

4.1. Typologia budynku

W klasycznej typologii (Pallado, 2014, s. 58) wymienia się następujące typy zabudowy: budynki punktowe, odcinkowe, liniowe i płaszczyznowe. Można potwierdzić, że typy te występują w BWBZE. Znacząca większość obiektów charakteryzuje się wydłużonymi rzutami, są to najczęściej budynki liniowe oraz odcinkowe. W znacznie mniejszym stopniu występują budynki punktowe. Natomiast występują także nowe typy, nazwane tutaj hybridowymi, które powstają z dodania tarasów do budynków punktowych albo częścię do budynków odcinkowych, tworząc w ten sposób budynki hybridowe punktowo-tarasowe lub odcinkowo-tarasowe. Inną nową formą związaną z efektywnością energetyczną są budynki liniowe w układzie liniowo-punktowym albo w układzie liniowo-płaszczyznowym (il. 1).

4.2. Zwartość bryły

Zwartość bryły określana jest poprzez współczynnik kształtu bryły i jest stosunkiem sumy pól powierzchni A do kubatury bryły V, określaną w skrócie jako A/V. Jeśli wartość współczynnika jest mniejsza, to większa jest zwartość bryły. Budynki o wyższym współczynniku A/V

such as mechanical ventilation with heat recovery or air conditioning. They are also associated with the use of renewable energy sources – RES in the form of heat pumps or, most often, photovoltaic. In the professional literature, the conditions of building with almost zero energy demand (Sowa, 2017, p. 12) are divided into MEP conditions – the so-called active and architectural – the so-called passive or natural. The article adopts the concept of energy-active architecture, which defines architectural solutions related to the reduction of energy demand. Therefore, the solutions that are most often the responsibility of an architectural designer are presented, and these are solutions in the field of shape of the mass, construction, material and facade solutions, as well as apartment layout and the presence of photovoltaics⁴. They will be presented in the following chapters.

4. SHAPING THE MASS

The right building mass design strategy influences the energy demand between 30 and 60%. It was assumed that for multi-family nearly zero-energy buildings – MFNZE: typology, compactness, communication layout and functional and spatial layout are important, what will be discussed below.

4.1. Building typology

The following types of buildings are listed in the classical typology (Pallado, 2014, p. 58): point, sectional, linear and plane buildings. It can be confirmed that these types are present in MFNZE. The vast majority of buildings are characterized as elongated in plan, they are most often linear and sectional buildings. Point buildings are much less common. However, there are also new types, called here the hybrid types, which are created by adding terraces to point buildings, or more often to sectional buildings, thus creating a hybrid point-terrace or segment-terrace buildings. Another new form related to energy efficiency are linear buildings in a linear-point typology or in a linear-plane typology (Ill. 1).

4.2. The compactness of the mass

The solidity of the mass of a building is determined by the shape factor which is the ratio of the sum of the surface areas A to the volume of the mass V, abbreviated as A/V. If the value of the coefficient is smaller, the compactness of the solid is greater. Buildings with a higher A/V ratio have a larger facade area, which

Il. 1. Schematy typologii hybridowych: a) tarasowo-punktowych, b) tarasowo-odcinkowych, c) liniowo-punktowych wysokich, d) liniowo-punktowych niskich, e) liniowo-płaszczyznowych. Opracowanie P. Michalski.

Ill. 1. Diagrams of hybrid typologies: a) terraced-point, b) terraced-segmental, c) linear-point high, d) linear-point low, e) linear-plane, by P. Michalski.



mają większą powierzchnię elewacji, co tworzy zagrożenie poprzez straty ciepła przez przegrody zewnętrzne i poprzez potencjalnie większą liczbę mostków cieplnych. Bardziej skomplikowane bryły o tej samej kubaturze generują wzrost zapotrzebowania na energię nawet o 100% (Daniels, 1997). Przeanalizowane budynki wielorodzinne blisko zeroenergetyczne wykazują, że są to obiekty o średniej wartości współczynnika A/V, pomiędzy 0,22 a 0,58. Średnią wartością współczynnika A/V było 0,36.

4.3. Układ komunikacyjny

Klasycznie wyróżnia się układy komunikacyjne bezklatkowe, klatkowe, korytarzowe, galeriowe i mieszane, jak maissonette (Bać Z., 1978, s. 36). Wśród zbadanych BWBZE dominują układy klatkowe, ewentualnie galeriowe i bezklatkowe, o ile mają niewielką liczbę kondygnacji. Występują także układy korytarzowe i często także układy mieszane. Układy mieszane polegały na tym, że był to układ klatkowy wraz z galeriami lub układ bezklatkowy z indywidualnymi wewnętrznymi schodami do mieszkań na wyższej kondygnacji lub układ mieszany, składający się z układu korytarzowego i galeriowego. Ponieważ przestrzenie komunikacji w budynkach wielorodzinnych należą najczęściej do strefy niewymagającej ogrzewania, to pełnią one rolę buforów cieplnych, zwanych też buforami termicznymi i wykazano, że najczęściej występowały one przy elewacji północnej, ewentualnie wschodniej lub rzadziej zachodniej. Często klatki znajdują się w środku rzutu (il. 2). Oprócz roli bufora termicznego systemy komunikacyjne mogą służyć również zacienianiu czy pełnić funkcje komina solarnego, lecz układu dedykowanego tego typu nie zaobserwowano⁵.

4.4. Układ funkcjonalny budynku

Wydaje się, że występowanie obiektów wielofunkcyjnych ma pozytywne znaczenie dla efektywności energetycznej budynków, gdzie można wykorzystywać ciepło odpadowe, np. z powierzchni usługowych sklepu czy z powierzchni biurowych, serwerowni etc., do ogrzewania części mieszkalnych. Niemniej zasadniczo zbadane BWBZE są obiektami monofunkcyjnymi, chociaż występują wśród nich przykłady wyjątkowe. Wśród nich są takie, gdzie na kilku kondygnacjach usytuowano lokale usługowe i biurowe lub taki, gdzie w budynku mieszkalnym znalazł się dom opieki dla osób starszych, lub taki, gdzie zespół mieszkaniowy występuje w systemie „żyj i pracuj” (czyli taki obiekt, w którym do mieszkań przynależą równocześnie lokale biurowe) oraz taki obiekt, w którym oprócz lokali usługowych i biurowych mieści się również centrum lokalnej społeczności.

creates a risk due to heat loss through external partitions and through a potentially greater number of thermal bridges. More complicated masses with the same cubature generate an increase in energy demand by up to 100% (Daniels, 1997). The analyzed multi-family nearly zero-energy buildings show that they are buildings with an average value of the A/V ratio between 0.22 and 0.58. The average value of the A/V ratio was 0.36.

4.3. Circulation system

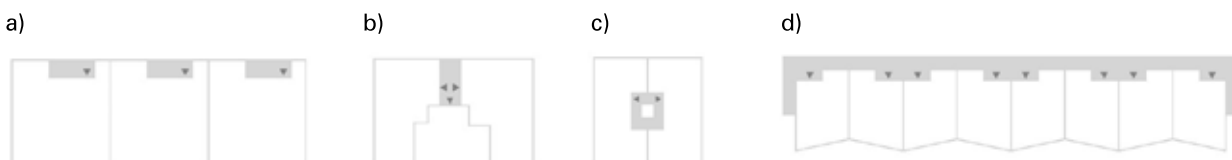
Classically, there are circulation systems no-staircase, with staircase, with corridor, with gallery and mixed systems, such as the maissonette (Bać Z., 1978, p. 36). Among the examined MFNZE, staircase systems are dominant, with gallery and no-staircase one, provided they have a small number of storeys to serve. There were also corridor systems and as well as mixed systems. Mixed layouts consisted of a staircase layout with galleries or a no-staircase layout with individual internal stairs to apartments on the upper floor, or a mixed layout consisting of a corridor and gallery systems. As the circulation spaces in multi-family buildings most often belong to the zone that does not require heating, they play a role of thermal buffers, and it has been shown that they most often occurred at the northern, possibly eastern or less frequently western elevation. Often the staircases are in the middle of the plan (III. 2). In addition to the role of a thermal buffer, circulation systems can also serve as shading or act as a solar chimney, but a dedicated system of this type has not been observed⁵.

4.4. Functional layout of the building

It seems that the presence of multifunctional facilities has a positive impact on the energy efficiency of buildings, where waste heat can be used, e.g. from service areas of a store, or from office spaces, server rooms, etc., for heating the residential parts. No less, fundamentally explored MFNZE are monofunctional objects, although there are exceptional examples among them. Such where there were service and office spaces on several floors, or where there was a nursing home for the elderly in a residential building, or where the housing complex operates in the “live and work” system (i.e. such a facility in which the apartments belong to office spaces), and there is a facility in which, in addition to service and office space, there is also a local community center.

Il. 2. Schematy układu budynków: a) bezklatkowy, b) klatkowy od strony północnej, c) klatkowy wewnątrz rzutu, d) układ galeriowy od strony północnej. Opracowanie P. Michalski.

III. 2. Building layout diagrams: a) without-staircase, b) staircase on the north side, c) staircase in the middle of the plan, d) gallery on the north side, by P. Michalski.



5. ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNO-MATERIAŁOWE

Rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe w kontekście efektywności energetycznej mają istotne znaczenie dla procesu akumulacji ciepła i chłodu w masywnych elementach budynków. Zwiększona akumulacja budynku ma pozytywny wpływ nie tylko na energetykę, ale także na poczucie komfortu termicznego użytkowników (Kisielewicz, 2014, s. 51-55). Ciepło zakumulowane w procesie bezpośredniego promieniowania do wnętrza jest magazynowane, a następnie równomiernie oddawane do wnętrza. Podobnie dzieje się z chłodem, który w procesie *free-cooling* jest magazynowany, a następnie oddawany. W badanych BWBZE wyodrębniono rozwiązania pasywne oraz semipasywne.

5.1. Akumulacyjność pasywna

Można wyróżnić budynki lekkie o konstrukcji szkieletowej, budynki średnie o betonowej konstrukcji stropów i lekkich ścianach oraz budynki ciężkie o betonowej konstrukcji stropów ze ścianami z cegły. Z tego względu w analizowanych obiektach przeważała technologia ciężka, najczęściej żelbetowa. Niektóre budynki były w technologii szkieletowej drewnianej, inne w murowanej lub mieszanej. Przykładem tej ostatniej może być konstrukcja drewniano-żelbetowa, kiedy ściany zewnętrzne i wewnętrzne oraz wszystkie stropy w części mieszkalnej wykonane zostały z drewna klejonego CLT, natomiast dla poprawy akumulacyjności budynku, wewnętrzną klatkę schodową i obudowę windy zaprojektowano jako element żelbetowy (il. 3). Ciekawym rozwiązaniem jest wznoszenie ścian wielowarstwowych murowanych, kiedy główną konstrukcją nośną ścian są bloczki betonowe, a następnie na stelażu stalowym montowana jest izolacja termiczna w postaci wełny mineralnej, która osłonięta jest od strony zewnętrznej dowolnym materiałem z pustką wentylacyjną. Dzięki temu od wewnątrz budynku występuje masywna ściana umożliwiająca akumulację ciepła.

5.2. Akumulacyjność semipasywna

Akumulacyjność semipasywna jest to kumulowanie energii w formie ciepła utajonego materiałów zmiennofazowych PCM (Kwiatkowski, 2017, s. 88) Takie rozwiązania zwiększają znacząco pojemność cieplną materiałów budowlanych. Dla porównania 1 cm PCM jest równoznaczny pod względem

5. DESIGN AND MATERIAL SOLUTIONS

Structural and material solutions in the context of energy efficiency are essential for the process of heat and cold accumulation in heavy building elements. Increased accumulation of the building has a positive effect not only on the energy, but also on the thermal comfort of its users (Kisielewicz, 2014, pp. 51-55). The heat accumulated in the process of direct radiation to the interior is stored and then evenly transferred to the interior. The same is true of coolness, which is stored in the free-cooling process and then returned. In the examined MFNZE, passive and semi-passive solutions were distinguished.

5.1. Passive accumulation

It is possible to distinguish between light-weight, medium-weight buildings with concrete ceiling structures and light walls, and heavy buildings with concrete ceiling structures and brick walls. For this reason, heavy technology, most often made of reinforced concrete, predominated in the analyzed objects. Some buildings were wooden, brick or mixed. An example of the latter may be a timber and reinforced concrete structure, where the external and internal walls as well as all floor slabs in the residential part were made of glued laminated timber, while to improve the building's accumulation, the internal staircase and elevator shaft are designed as a reinforced concrete element (Ill. 3). An interesting solution is the construction of multi-layer brick walls, when concrete blocks are the main supporting structure of the walls, and then thermal insulation in the form of mineral wool is installed on the steel frame, which is covered from the outside with any material with a ventilation void. As a result, from the inside of the building there is a heavy wall that allows heat accumulation.

5.2. Semi-passive accumulation

Semi-passive accumulation - this is the accumulation of energy in the form of latent heat of PCM, phase change materials (Kwiatkowski, 2017, p. 88). Such solutions significantly increase the heat capacity of building materials. For comparison, 1 cm of PCM is equivalent to the accumulation of 7 cm of concrete.

Il. 3. Konstrukcja mieszana drewniano-żelbetowa: ściany zewnętrzne i wewnętrzne oraz wszystkie stropy wykonane z drewna, dla poprawy akumulacyjności budynku i mieszkań wewnętrzną klatkę schodową oraz obudowę windy zaprojektowano jako element żelbetowy. Źródło: <https://www.archdaily.com/421676/woodcube-architekturagentur>, zdjęcia: Kunze M., dostęp 13.06.2022.

Ill. 3. Mixed timber and reinforced concrete structure: external and internal walls and all floor slabs made of wood, in order to improve the accumulation of the building and apartments, the internal staircase and the elevator shaft were designed as a reinforced concrete element. Source: <https://www.archdaily.com/421676/woodcube-architekturagentur>, zdjęcia: Kunze M., access 13.06.2022.





a)



b)

II. 4. Zastosowanie PCM: a) zasłony wewnętrzne wykonane z PCM, b) panele elewacyjne z PCM. Źródła: a) <https://www.internationale-bauausstellung-hamburg.de/en/projects/the-building-exhibition-within-the-building-exhibition/smart-material-houses/smart-is-green/projekt/smart-is-green.html>, zdjęcia: Grimmenstein B., dostęp 13.06.2022. b) <https://www.schwarz-architekten.com/project/eulachhof-erste-null-energie-wohnbau-der-schweiz/>, dostęp 13.06.2022.

III. 4. PCM application: a) internal curtains made of PCM, b) facade panels made with PCM. Sources: a) <https://www.internationale-bauausstellung-hamburg.de/en/projects/the-building-exhibition-within-the-building-exhibition/smart-material-houses/smart-is-green/projekt/smart-is-green.html>, zdjęcia: Grimmenstein B., access 13.06.2022. b) <https://www.schwarz-architekten.com/project/eulachhof-erste-null-energie-wohnbau-der-schweiz/>, access 13.06.2022.

akumulacji z 7 cm betonu. Materiały zmienno-fazowe charakteryzują się dużą absorpcją, akumulacyjnością i zdolnością oddawania energii poprzez zmianę temperatury (Musiał 2015). Absorbując ciepło z otoczenia, materiał przechodzi z fazy stałej w fazę ciekłą i z powrotem. W jednym z badanych BWBZE zastosowano zasłony wewnętrzne wykonane z materiałów zmienno-fazowych, które akumulują ciepło lub chłód przez okres 3 do 6 godzin i występuje także długotrwała akumulacja w postaci zbiorników z PCM zasilanych przez kolektory słoneczne. W innym budynku zastosowano czterowarstwowe panele elewacyjne ze szkła. Między szybami znajdują się PCMy, ale też warstwa selektywna, której zadaniem jest przepuszczanie lub odbijanie promieni słonecznych w zależności od kąta ich padania (II. 4).

6. ROZWIĄZANIA ELEWACYJNE

Z punktu widzenia efektywności energetycznej istotne i często niedoceniane znaczenie mają rozwiązania elewacyjne. W badanych obiektach wyodrębniono te związane z izolacyjnością cieplną, przeszklenia i zacienienia.

6.1. Izolacyjność cieplna

Izolacyjność cieplna przegród budowlanych oraz ich szczelność jest powszechnie wymagana. Niestety w Polsce szczelność powietrzna budynków jest jedynie zalecana i określana jest współczynnikiem N_{50} oznaczającą krotność wymiany powietrzna w czasie 1 godziny przy różnicy ciśnienia wewnętrznego i zewnętrznego wynoszącej 50 Pa. Ma ona szczególnie istotne znaczenie dla budynków o wentylacji mechanicznej wywiewno-nawiewnej, ponieważ redukuje znacząco straty energii. Wszystkie zbadane BWBZE cechują się bardzo wysokim współczynnikiem izolacyjności cieplnej przegród i spełniają N_{50} . Wszelkie elementy budynków znajdujące się poza strefą w pełni ogrzewaną zostały oddylatowane. Są to zarówno balkony, loggie, przestrzeń komunikacji czyli klatki schodowe, galerie bądź korytarze. Zasada ta ma zastosowanie niezależnie od tego, czy są to elementy betonowe, stalowe, czy też drewniane.

Phase change materials are characterized by high absorption, accumulation and the ability to give back energy through temperature change (Musiał 2015). By absorbing heat from the environment, the material changes from the solid phase to the liquid phase and back again. In one of the examined MFNZE, internal curtains made of phase change materials were used, which accumulate heat or cold for a period of 3 to 6 hours and there is also a long-term accumulation in the form of PCM tanks powered by solar collectors. Another building uses four-layer glass facade panels. There are PCMs between the panes, but also a selective layer whose task is to transmit or reflect sunlight depending on the angle of their incidence (III. 4).

6. FACADE SOLUTIONS

From the point of view of energy efficiency, façade solutions are important and often underestimated. In the examined objects, there were distinguished those related to thermal insulation, glazing and shading.

6.1. Thermal insulation

Thermal insulation of building partitions and their air tightness are commonly required by law. Unfortunately, in Poland, the air tightness of buildings is only recommended and is determined by the N_{50} coefficient, which means the air exchange rate in 1 hour with a difference of internal and external pressure of 50 Pa. It is particularly important for buildings with full mechanical ventilation, because it significantly reduces energy losses. All tested MFNZE are characterized by a very high coefficient of thermal insulation of the partitions and are compliant with N_{50} . All elements of the buildings outside the fully heated zone have been dilated. These are both balconies, loggias, circulation area, i.e. staircases, galleries or corridors. This principle applies regardless of whether they are concrete, steel or wooden elements.

6.2. Przeszklenia

W kontekście efektywności energetycznej budynków przeszklenia wiążą się z zyskami solarnymi z promieniowania słonecznego. Bezpośrednie wykorzystanie energii promieniowania słonecznego wiąże się z pojęciem tzw. architektury solarnej, której elementami są m.in. struktury szklarniowe, podwójne przegrody lub kominy solarne (Kuczia, 2011, s. 130). W zbadanych budynkach występują jedynie struktury szklarniowe. Z przeszkleniami wiąże się również pojęcie *ściany aktywnej* określające stopień, w jakim dana elewacja została zaprojektowana pod kątem wykorzystania zysków solarnych. Występują ściany bierne, czyli jedynie umożliwiające oświetlenie światłem dziennym oraz ściany aktywne, które są nastawione na pozyskiwanie możliwie największych zysków solarnych. W badanych obiektach dominują ściany aktywne, które ukierunkowane są na południe, ale także

6.2. Glazing

In the context of the energy efficiency of buildings, glazing is related to the solar gains from solar radiation. Direct use of solar radiation energy is associated with the concept of the so-called solar architecture, the elements of which are, among others, greenhouse structures, double partitions or solar chimneys (Kuczia, 2011, p. 130). Only greenhouse structures exist in the examined buildings. The concept of an *active elevation* is also associated with glazing, which determines the degree to which a given facade has been designed with the use of solar gains in mind. And so there are passive elevations, i.e. only allowing daylight illumination, and active elevations, which are aimed at obtaining the highest possible solar gains. Active elevations are dominant in the studied objects, which are oriented to the south, but also to the east

II. 5. Systemy zacieniające: a) przy wykorzystaniu półprzeziernych ogniw fotowoltaicznych, b) jako panele fotowoltaiczne zintegrowane z przeszkleniami, c) w formie balkonów z balustradami z ogniwami fotowoltaicznymi, d) w formie balkonów i zbiorników z algami, e) jako wykusze, f) jako markizy zintegrowane z balustradami loggii. Źródła: a) <https://www.zedfactory.com/bowzed>, dostęp 13.06.2022. b) <https://www.zedfactory.com/bedzed>, dostęp 13.06.2022. c) <https://zillerplus.de/project/smart/?lang=de>, dostęp 13.06.2022. d) https://www.splitterwerk.at/database/main.php?mode=album&album=2013_The_Clever_Treefrog_5&dispsize=512&startsite=1, dostęp 13.06.2022. e) <http://pernthaler.at/portfolio-item/messequartier/>, zdjęcia: Ott P., dostęp 13.06.2022. f) <https://www.artec-architekten.at/en/projects/generationen-wohnen-am-muhlgrund#&gid=1&pid=7>, zdjęcia: Klomfar B., dostęp 13.06.2022.

III. 5. Shading systems: a) using translucent photovoltaic cells, b) as photovoltaic panels integrated with glazing, c) in the form of balconies with balustrades with photovoltaic cells, d) in the form of balconies and tanks with algae, e) as bay windows, f) as awnings integrated with the balustrades of the loggia. Sources: a) <https://www.zedfactory.com/bowzed>, access 13.06.2022. b) <https://www.zedfactory.com/bedzed>, dostęp 13.06.2022. c) <https://zillerplus.de/project/smart/?lang=de>, access 13.06.2022. d) https://www.splitterwerk.at/database/main.php?mode=album&album=2013_The_Clever_Treefrog_5&dispsize=512&startsite=1, access 13.06.2022. e) <http://pernthaler.at/portfolio-item/messequartier/>, zdjęcia: Ott P., access 13.06.2022. f) <https://www.artec-architekten.at/en/projects/generationen-wohnen-am-muhlgrund#&gid=1&pid=7>, zdjęcia: Klomfar B., access 13.06.2022.



a) b)



c) d)



e) f)



na wschód i zachód. Elewacje północne miały najniższy stopień przeszklenia albo w ogóle nie posiadały okien.

6.3. Zacienienia przeszkleń

Zyski solarne uzyskiwane przez przeszklenia w okresach przejściowych, tj. od lutego do marca i od września do października oraz w okresie zimowym, tj. od października do stycznia są zjawiskiem pożądanym. Natomiast w okresie letnim występuje zjawisko przegrzewania budynku, które – jak widać w ostatnich latach – nasila się (Chwieduk, 2011, s. 123-130). Sposobem na przeciwdziałanie nadmiernym zyskom solarnym są elementy zacieniające. Wyróżnia się wiele typów systemów zacieniających ze względu na różne czynniki, takie jak lokalizacja, sposób działania i forma (Zielonko-Jung, 2020, s. 69-72). Można wyróżnić elementy zacieniające zewnętrzne, wewnętrzne lub pośrednie. Mogą to być elementy stałe lub ruchome, sterowanie ręczne lub automatyczne. Mogą być także osłony pełne bądź osłony poziome lub pionowe o różnych formach. Dominującą zasadą w badanych BWBZE jest występowanie elementów zacieniających, które zawsze występują na elewacjach południowych, często także na elewacjach wschodnich i zachodnich, a nawet zdarzają się na elewacjach północnych. Występują one w formie elementów zewnętrznych, w formie stałej, ewentualnie ruchomej. Najczęściej zanotowano rozwiązania architektoniczne, takie jak wykusze, balkony czy wysunięte galerie oraz elementy półkowe, ewentualnie elementy pełne, bardzo rzadko zieleń przyjmuje charakter zacieniający. Sporadycznie występują też elementy *stricte* zacieniające poziome o dużej gęstości (lamelle lub żaluzje). Funkcję osłon przeciwśonecznych pełnią także panele fotowoltaiczne i wcześniej wspomniane PCM (il. 5).

7. ROZPLANOWANIE MIESZKAŃ

Średnia wielkość mieszkań w badanych obiektach to 80 m², natomiast średnia największych to 120 m² co znacząco odbiega od średniej powierzchni mieszkań oddanych do użytku w Polsce, jaką jest około 55m². Najczęściej były to mieszkania prywatne, rzadziej komunalne, socjalne lub na wynajem. Klasycznie przyjmuje się mieszkania w układach jednoprzestrzennych, amfildowych, cyrkulacyjnych lub rozkładowych (Z. Bać i in., 1978, s. 35-36) Można wyróżnić także mieszkania jednopoziomowe lub wielopoziomowe. Wśród badanych obiektów zdecydowanie dominowały mieszkania rozkładowe. Z punktu widzenia efektywności energetycznej dla rozplanowania mieszkań istotne jest strefowanie termiczne oraz doświetlenie.

7.1. Strefowanie termiczne

Strefowanie termiczne jest istotne ze względu na temperaturę obliczeniową, która dla pokoi mieszkalnych wynosi 20°, a dla łazienek 24°, co oznacza, że uzasadnione jest lokalizowanie łazienek wewnątrz rzutu. Pozwala to na wykorzystanie nadwyżek ciepła do przylegających pomieszczeń oraz na ochronę łazienek przed stratami ciepła przez przegrody zewnętrzne. Z kolei kuchnie mogą być lokalizowane po stronie północnej, gdzie służą jako dodatkowe źródło ciepła w mieszkaniu (Jones, 1998). W badanych obiektach w większości łazienki

and west. The northern elevations had the lowest degree of glazing or had no windows at all.

6.3. Shading

Solar gains obtained by glazing during the transitional periods, i.e. from February to March and from September to October, and in the winter period, i.e. from October to January, are a desirable occurrence. On the other hand, in the summer period, the overheating of the building occurs, which, as can be seen in recent years, has been increasing (Chwieduk, 2011, pp. 123-130). Shading elements are a way to counteract excessive solar gains. There are many types of shading systems due to various factors such as location, mode of operation and form (Zielonko-Jung, 2020, pp. 69-72). There are external, internal or intermediate shading elements. Those can be fixed or movable elements, manual or automatic control. There can also be full covers, or horizontal or vertical covers of various forms. The dominant principle in the examined MFNZE is the presence of shading elements, which always appear on southern facades, often also on eastern and western facades, and even on northern facades. They are in the form of external elements, in a fixed or mobile form. Most often, architectural solutions such as bay windows, balconies or protruding galleries as well as shelving elements, possibly full elements were noted, greenery rarely takes on a shading character. Horizontal elements strictly shaded of high density (lamellas or blinds) are also very rare. Photovoltaic panels and the aforementioned PCM (Ill. 5) also function as sun visors.

7. LAYOUT OF APARTMENTS

The average size of apartments in the examined buildings was 80 m², while the average of the largest ones is 120 m², which significantly differs from the average area of apartments completed in Poland, which is approximately 55 m². Most often they were private apartments, less often council, social or rental apartments. Normally, flats are single-space, enfilade, circulation or spreaded (Z. Bać et al., 1978, pp. 35-36). One-level or multi-level apartments can also be distinguished. Spreaded flats definitely dominated among the examined buildings. From the point of view of energy efficiency, thermal zoning and lighting are important for the layout of apartments.

7.1. Thermal zoning

Thermal zoning is important due to the designed inside temperature, which is 20° for residential rooms and 24° for bathrooms, which means that it is reasonable to locate the bathrooms inside the plan. This allows the use of excess heat to adjacent rooms and to protect bathrooms against heat loss through external partition walls. On the other hand, kitchens can be located on the north side, where they serve as an additional source of heat in the apartment (Jones, 1998). In the studied objects, most bathrooms were located



a)



b)



c)



d)

II. 6. Fotowoltaika zintegrowana z budynkiem: a) na dachach, b) na elewacjach, c) jako osłony. Źródła: a) <http://www.rolfdisch.de/en/projects/the-sun-ship/> dostęp 13.06.2022. b) <https://www.zedfactory.com/bedzed>, dostęp 13.06.2022. c) <https://www.hhs.ag/projects.html?projekt=aktiv-stadthaus-frankfurt&typologie=>, dostęp 13.06.2022. d) <https://kaempfen.com/projekte/neubauten/wohnsiedlung-sunnywatt-2010>, dostęp 13.06.2022.

III. 6. Photovoltaics integrated with the building: a) on the roofs, b) on the facades, c) as covers. Sources: a) <http://www.rolfdisch.de/en/projects/the-sun-ship/> access 13.06.2022. b) <https://www.zedfactory.com/bedzed>, access 13.06.2022. c) <https://www.hhs.ag/projects.html?projekt=aktiv-stadthaus-frankfurt&typologie=>, access 13.06.2022. d) <https://kaempfen.com/projekte/neubauten/wohnsiedlung-sunnywatt-2010>, access 13.06.2022.

występowały wewnątrz rzutów budynków, w centrum mieszkania lub przy ścianach z sąsiednimi mieszkaniami, a w typie punktowym lub liniowo-punktowym występowały przy ścianach zewnętrznych.

7.2. Doświetlenie

Najczęściej występującym sposobem doświetlenia mieszkań badanych obiektów było doświetlenie dwustronne, ewentualnie trójstronne, a rzadko występowały mieszkania o jednostronnym doświetleniu. Najczęściej było to doświetlenie południowe i zachodnie. Strefy dzienne były oświetlane wyłącznie z kierunku południowego, rzadziej zachodniego. Kuchnie w przeważającej części znajdowały się po stronie północnej mieszkania lub w jego centralnej części. W większości obiektów łazienki nie posiadały przeszkleń i jak wspomniano najczęściej znajdowały się w centralnej części mieszkań.

8. FOTOWOLTAIKA

Cechą charakterystyczną budynków blisko zeroenergetycznych jest generowanie energii na miejscu. Najczęściej w tym celu są stosowane systemy fotowoltaiczne zintegrowane z budynkiem. Ich sprawność zależy przede wszystkim od natężenia promieniowania słonecznego, konstrukcji ogniw, jak również kierunków

inside the plan of the buildings, in the center of the apartment or at the walls with adjacent apartments, and in the point or line-point typology of MFZEB they were found at the external walls.

7.2. Lighting

The most common way to illuminate the apartments of the studied buildings was dual- or triple-aspect layouts, rarely there were single-aspect ones.. Most often it was southern and western aspects. Living areas were lit only from the south, less often from the west. Most of the kitchens were located on the northern side of the flat or in its central part. In most buildings, bathrooms did not have glazing and, as mentioned, they were most often located in the central part of the apartments.

8. PHOTOVOLTAICS

A characteristic feature of nearly zero-energy buildings is the generation of energy on the spot. Building-integrated photovoltaic systems are most often used for this purpose. Their efficiency depends primarily on the intensity of solar radiation, the structure of the cells as well as the orientation of the modules in relation to the directions of the world and the angle of their inclination⁶.

orientacji modułów względem stron świata oraz kąta ich nachylenia⁶.

W większości badanych budynków panele fotowoltaiczne zlokalizowane są na dachu, ewentualnie na dachu oraz na elewacjach, mogą również występować jako wspomniane wcześniej zadaszenia, systemy zacieniające lub wypełnienie przeszł balustrady (il. 6). Największa powierzchnia instalacji fotowoltaicznej, zamontowana zarówno na dachu, jak i elewacji, wyniosła 1600 m², natomiast najmniejsza 202 m². Zasadniczo instalacje te pokrywają całkowite zapotrzebowanie budynku na energię, czasami służą także do ładowania pojazdów elektrycznych.

9. PODSUMOWANIE

W artykule zaprezentowano tendencje w stosowaniu typowych i indywidualnych rozwiązań energoaktywnych dla już zrealizowanych wielorodzinnych budynków blisko zeroenergetycznych w strefie klimatycznej zbliżonej do polskiej. Z wyjątkiem fotowoltaiki są to rozwiązania w literaturze przedmiotu uznawane za bierne. Wskazane rozwiązania w zakresie ukształtowania bryły, rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych i elewacyjnych, a także rozplanowania mieszkań wskazują, że istotne znaczenie dla obiektów zgodnych z duchem czasu mają rozwiązania architektoniczne. Zgodnie z aktualną polityką unijną, a także ze zdrowym rozsądkiem wynikającym ze zmian klimatu i wszystkimi ich konsekwencjami, należy radykalnie zmienić podejście do projektowania. Zaprezentowane tu strategie nie są nowe, ich korzenie odnaleźć można w dawnej architekturze niemal wszystkich kultur na świecie. Wydaje się, że z powodu wszechobecnego postępu technologicznego projektanci zapominają o rozwiązaniach najprostszych. Strategią, która wydaje się najistotniejsza i jednocześnie najmniej popularna w Polsce są różnorodne sposoby zacinienia przeszkleń w celu uniknięcia nadmiernych zysków solarnych. Zapewne dodanie osłon na elewacjach podroży koszty budowy, ale zaoszczędzi kosztów wzmoczonego działania systemów klimatyzacji i chłodzenia w lecie, w związku ze zmianami klimatu okresy te wydłużą się na wiosnę i jesień. Dodatkowe koszty mają dwa oblicza – jedno dotyczy bezpośrednio środków finansowych wydatkowanych na urządzenia o zwiększonej wydajności oraz na pokrycie zapotrzebowania na energię elektryczną do ich zasilania w trakcie użytkowania obiektów. Drugie – dotyczy kosztów i skutków środowiskowych związanych z samym wyprodukowaniem energii na potrzeby zasilania tych urządzeń. Biorąc pod uwagę tzw. cały cykl życia obiektów – LCA (*Life Cycle Analysis*) i związane z nim koszty cyklu życia LCC (*Life Cycle Cost*) należy rozpatrywać nakłady inwestycyjne w stosunku do nakładów ponoszonych na eksploatację. Dodatkowo z czysto ludzkiego punktu widzenia użytkownik będzie ponosił wyższe koszty użytkowania mieszkań skazanych na przykład na stosowanie klimatyzacji.

Na razie w polskim budownictwie mieszkaniowym, zwłaszcza wielorodzinnym opanowanym przez zachwiany mechanizm deweloperski, dywagacje o środowiskowych, społecznych i ekonomicznych konsekwencjach oddziaływania obiektów są bezzasadne. Pewną nadzieją jest rosnąca świadomość społeczna i międzynarodowy rynek nieruchomości, który wymusza lepszą jakość obiektów. Mechanizmem postępu mogą być także

In most of the examined buildings, the photovoltaic panels are located on the roofs, possibly on the roof and on the facades, they can also appear as the aforementioned shading systems or filling the balustrade spans (Ill. 6). The largest area of the photovoltaic installation, mounted both on the roof and on the facade, was 1,600 m², while the smallest 202 m². Basically, these installations cover the building's total energy requirements and are sometimes also used to charge electric vehicles.

9. SUMMARY

The article presents trends in the use of typical and individual energy-active solutions for already completed multi-family buildings close to zero-energy demand, in a climate zone similar to Poland. With the exception of photovoltaics, these solutions are considered passive in the literature. The indicated solutions in terms of the shape of the mass, structure, material and facade solutions, as well as the layout of apartments indicate that architectural solutions are of significant importance for buildings in line with the spirit of the times. In line with current EU policy, as well as common sense resulting from climate change and all its consequences, the approach to design must be radically changed. The strategies presented here are not new, their roots can be found in the old architecture of almost all cultures in the world. It seems that due to the ubiquitous technological progress, designers have forgotten about the simplest solutions.

The strategy that seems to be the most important and, at the same time, the least popular in Poland are various methods of shading the glazing in order to avoid excessive solar gains. Probably adding covers on the facades will increase the building costs, but it will save the increased cost of operation of air conditioning and cooling systems in the summer, and due to climate change, these periods will be extended in spring and autumn. Additional costs have two faces – one directly relates to the financial resources spent on devices with increased efficiency and to cover the demand for electricity to power them during the use. The second – it refers to the costs and environmental effects related to the production of energy itself for the purposes of powering these devices. Taking into account the so-called entire life cycle of facilities – LCA (*Life Cycle Analysis*) and the associated costs of the life cycle LCC (*Life Cycle Cost*) it should be considered to compare investment expenditure in relation to the growing cost of operation. In addition, from a purely human point of view, the user will incur higher costs of using apartments condemned, for example, to the use of air conditioning.

So far, in Polish housing, especially multi-family housing dominated by a shaky development mechanism, discussions about the environmental, social and economic consequences of buildings are unfounded. There is some hope in the growing social awareness and the international real estate market, which forces better quality of buildings. The mechanism of progress may also be institutions and programs

instytucje i programy finansujące rozwiązania efektywne energetycznie, o ile te nie koncentrują się wyłącznie na nowoczesnych technologiach. Zapewne wpływ na polepszenie projektowanych obiektów mieszkaniowych ma właściwa edukacja architektoniczna (Jagiello-Kowalczyk, 2017). Autorzy mają nadzieję, że przybliżone strategie architektoniczne zmierzające do poprawy standardu energetycznego obiektów staną się powszechną praktyką projektowania w Polsce. Zapewne istotną rolę będzie tu odgrywał zintegrowany proces projektowy, który umożliwi optymalizację rozwiązań budynkowych m.in. pod względem komfortu użytkowania, kosztów czy też dowolnie przyjętych kryteriów projektowych.

PRZYPISY / ENDNOTES

¹ Według Artykułu 2 Dyrektywy EPBD budynek o niemal zerowym zużyciu energii: „o bardzo wysokiej charakterystyce energetycznej określonej zgodnie z załącznikiem I. Niemal zerowa lub bardzo niska ilość wymaganej energii powinna pochodzić w bardzo wysokim stopniu z energii ze źródeł odnawialnych, w tym energii ze źródeł odnawialnych wytwarzanej na miejscu lub w pobliżu” (EPBD 2010).

² Badania zawarte w artykule wykonano w ramach pracy doktorskiej na Wydziale Architektury PWR, *Cechy budynków wielorodzinnych blisko zeroenergetycznych*, obronionej z wyróżnieniem w 2020 roku, wykonanej pod kierunkiem Anny Bać.

³ Budownictwo pasywne rozumiane jest jako obiekty w standardzie 15kWh/m²a – zgodnie z metodologią Instytutu Budownictwa Pasywnego Wolfganga Feista w Darmstadt.

⁴ Fotowoltaikę przyjęto jako osobne zagadnienie z premedytacją, ponieważ co prawda o ilości energii wyprodukowanej z OZE decyduje branża instalacyjna, tzw. inżynier HVAC (heating, ventilation, air conditioning) i wyniki charakterystyki energetycznej, lecz o ich umiejscowieniu decyduje raczej architekt. Raczej – ponieważ w ZPP decyzje projektowe podejmowane są w zespole.

⁵ Uproszczony system komina solarnego w przestrzeniach komunikacji może występować w rozwiązaniach posiadających elementy uchylne w najwyższych partiach elewacji.

⁶ Najbardziej efektywnym kierunkiem montażu modułów PV na terenie Polski jest kierunek południowy, dla tego kierunku najlepszym kątem nachylenia jest przedział pomiędzy 30° a 45° (Mirowski, Sornek, 2015, 80-82).

financing energy-efficient solutions, as long as they do not focus solely on modern technologies. Certainly, proper architectural education has an impact on the improvement of designing residential buildings (Jagiello-Kowalczyk, 2017). The authors hope that approximate architectural strategies aimed at improving the energy standard of buildings will become common practice in an integrated design process in Poland. The integrated design process, which enables optimization of building, among others, will probably play an important role here in terms of comfort of use, costs or any design criteria.

¹ According to Article 2 of the EPBD, a nearly zero-energy building: „with very high energy performance as defined in Annex I. The nearly zero or very low amount of energy required should be derived to a very large extent from renewable energy, including renewable energy produced on-site or nearby” (EPBD 2010).

² The research contained in the article was carried out as part of a doctoral dissertation at the Faculty of Architecture of Wrocław University of Science and Technology, *Features of multi-family nearly zero energy buildings*, defended with honors in 2020, carried out under the supervision of Anna Bać.

³ Passive construction is understood as facilities in the 15kWh / m²a standard - in accordance with the methodology of the Wolfgang Feist Passive House Institute in Darmstadt.

⁴ Photovoltaics was adopted as a separate issue with deliberation, because the amount of energy produced from RES is decided by the installation industry, the so-called HVAC engineer (heating, ventilation, air conditioning) and the results of energy performance, but rather the architect decides their location. Rather - because in ZPP, design decisions are made in a team.

⁵ A simplified solar chimney system in circulation spaces can be used in conjunction with tilting elements in the highest parts of the facade.

⁶ The most effective direction for the installation of PV modules in Poland is the south direction, for this direction the best inclination angle is between 30° and 45° (Mirowski, Sornek, 2015, 80-82).

BIBLIOGRAFIA/ REFERENCES

- [1] Bać A., *Zrównoważenie w architekturze. Od idei do realizacji na tle doświadczeń kanadyjskich*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2016.
- [2] Bać A., *Architektura aktywna energetycznie*, w: *Architektura energoaktywna po 2021. Tom 1. Zagadnienia architektoniczno-budowlane*, red. A. Bać, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2020, s. 10-22.
- [3] Bać Z., Bokun Z., Gierczak J., Jodłowiec E., Andrzejewski H., Bagiński E., Zabiński R., *Wprowadzenie do projektowania osiedlowych struktur funkcjonalno-przestrzennych*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1978.
- [4] Daniels K., *The technology of ecological buildings: Basic principles and measures, examples and ideas*, Birkhäuser Verlag, Boston, MA 1997.
- [5] EPBD recast, Directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast), adopted by the Council on 14/04/2020, Brussels, 2008/0223.
- [6] Jagiello-Kowalczyk M., *Zintegrowane projektowanie zrównoważone*, „Środowisko Mieszkaniowe”, Politechnika Krakowska, 2017, s. 180-186.
- [7] Jones D. L., *Architecture and the environment: bioclimatic building design*, Overlook Press, Woodstock, N.Y. 1998.
- [8] Kamionka L., *Architektura zrównoważona. Jej standardy na przykładzie wybranych metod oceny*, seria Monografie, studia, rozprawy nr M30, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2012.
- [9] Kisielewicz T., *Pojemność cieplna a komfort termiczny w budynkach energooszczędnych*, „Materiały Budowlane”, nr 9/2014, s. 51-55.

- [10] Mirowski T., Sornek K., *Potencjał energetyki prosumenckiej w Polsce na przykładzie mikroinstalacji fotowoltaicznych w budownictwie indywidualnym*, „Polityka Energetyczna”, nr 18(2)/2015, s.73-84.
- [11] Musall E., Weiss T., Voss K., Lenoir A., Donn M., Cory S., Garde F., *Net Zero Energy Solar Buildings: An Overview and Analysis on Worldwide Building Projects*, 2010.
- [12] Orłowicz W., *Strefy klimatyczne*, w: *Atlas geograficzny*, PPWK Warszawa, Wrocław 1990.
- [13] Pallado J., *Zabudowa wielorodzinna: podstawy projektowania*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2014.
- [14] Seruga W., *Warunki i kryteria kształtowania niskiej intensywniej zabudowy mieszkaniowej*, Politechnika Krakowska, Kraków 1984.
- [15] Sowa J., *Koncepcja budynku niemal zeroenergetycznego*, w: *Budynki o niemal zerowym zużyciu energii*, red. J. Sowa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2017, s. 11-15.
- [16] Zielonko-Jung K., *Projektowanie elewacji aktywnej energetycznie*, w: *Architektura energoaktywna po 2021. Tom 1. Zagadnienia architektoniczno-budowlane*, red. A. Bać, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2020, s. 65-74.
- [17] Dz. U. 2016 poz. 831, 2016. Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o efektywności energetycznej.