

Kształtowanie przestrzennej efektywności energetycznej w zespołach zabudowy mieszkaniowej

Striving for spatial energy efficiency in dwelling complexes

Streszczenie

Głównym celem tego artykułu było wytyczenie kluczowych kierunków projektowych w ekologicznych zespołach zabudowy mieszkaniowej strefy klimatu umiarkowanego, pod względem przestrzennej efektywności energetycznej. Dokonano tego poprzez studia przypadków, analizę porównawczą i zestawienie wyników krytycznych parametrów związanych z przestrzenną efektywnością energetyczną w wybranych reprezentatywnych kompleksach mieszkaniowych. Ze względu na mnogość i złożoność ekologicznych zespołów zabudowy, badane przykłady ograniczały się do określonych wytycznych. Były nimi lokalizacja w strefie klimatu umiarkowanego oraz wdrażanie rozwiązań pro-środowiskowych zgodnie ze znanymi na całym świecie certyfikatami energetycznymi i środowiskowymi. W rezultacie uzyskano zestawienie nurtów projektowych w strefie klimatu umiarkowanego, które opiera się na kluczowych parametrach przestrzennej efektywności energetycznej. Ponadto, sformułowano uwagi i przyszłe ramowe wytyczne dotyczące obszarów i działań potencjalnej poprawy w zakresie przestrzennej efektywności energetycznej.

Abstract

The main aim of this article was to discover the key characteristics in shaping most rewarded eco-district complexes built respectively in temperate climate zone in respect to spatial energy efficiency and resilience principles. It was done through careful case studies, comparative analysis and juxtaposition of critical parameters related to spatial energy efficiency and resilience in chosen representative dwelling complexes. Due to the complexity and multitude instances of ecological dwelling complexes it was decided to set bounds to the defined criteria. The investigated examples were limited to following restrictions as location in moderate climate zone, implementing the pro-environmental solutions in accordance world-known energy and environmental assessment certifications. As a result, a reliable juxtaposition of design trends in temperate climate zone was provided, which was induced by the key spatial energy efficiency parameters. Furthermore, the remarks and future framework guidelines were made, concerning main fields of potential improvements in terms of spatial energy efficiency and resilience.

Słowa kluczowe: przestrzenna efektywność energetyczna, ekologiczne osiedla, eko-dzielnice, zrównoważony rozwój, odporność miejska, energia, ochrona klimatu, BedZED, SolarCity, Vauban, Hammarby, Siewierz-Jeziorna

Keywords: Spatial energy efficiency, eco-dwelling, eco-district, sustainable development, resilience, energy, climate protection, BedZED, SolarCity, Vauban, Hammarby, Siewierz-Jeziorna

1. Wstęp

W świetle transformacji energetycznej (*Erneubare Energien* 2019), działań na rzecz ochrony klimatu oraz globalnych celów niskoemisyjnego budownictwa znacząca uwaga planistów jest zwracana na charakterystykę energetyczną poszczególnych budynków. Jednakże, ostatnie badania w tej dziedzinie (Stoeglehner, Neugebauer, Erker, Narodoslawsky 2016) wskazują na istotną rolę odgrywaną przez znaczenie skali urbanistycznej. Opisując charakterystyki środowiskowe takie jak całkowite zapotrzebowanie na energię pierwotną, emisja CO₂ w cyklu życia oraz Indeks Zrównoważonego Rozwoju¹ (*Energetic Long Term Analysis of Settlement Structures FACTSHEET 1. ELAS-Point of Departure*) zauważono, że należy wziąć

1. Introduction

In the light of energy transition (*Erneubare Energien* 2019), climate change and global goals of low-emission construction, considerable attention of planners is paid to the energy characteristics and performance of single buildings. However, recent studies (Stoeglehner, Neugebauer, Erker, Narodoslawsky 2016) indicate the important role played by the importance of the urban scale.

The environmental characteristics (such as total primary energy demand, CO₂ lifecycle emissions and the Sustainable Planning Index¹ (*Energetic Long Term Analysis of Settlement Structures FACTSHEET 1. ELAS-Point of Departure*)) differ significantly in the

pod uwagę nie tylko parametry poszczególnych budynków ale także i otaczającej jej przestrzeni. Udowodniono, że brak uwzględnienia kontekstu przestrzennego może prowadzić do zniekształcenia wyników i niepełnego opisu problematyki energetycznej. Na podstawie koncepcji przestrzennej efektywności energetycznej określono parametry energetyczne dla zespołów budynków, miast oraz badania ich wpływu na środowisko (Stoeglehner, Narodoslawsky, Erker, Neugebauer 2016).

Poszukując odpowiedzi na problem projektowania efektywnych energetycznie dzielnic, autorzy artykułu zastanawiali się nad wytycznymi i zasadami kształtowania tych jednostek. Dodatkowo badaniu poddano warstwę lokalizacji w strefie klimatycznej jako krytycznej dla określenia pewnych parametrów oraz wpływu na środowisko. Efektem badania jest teza, że pomimo faktu, że każdy przypadek projektowy należy traktować indywidualnie, na podstawie analiz reprezentatywnych zespołów zabudowy mieszkaniowej możliwe jest wyłonienie głównych kierunków projektowych wpływających na przestrzenną efektywność energetyczną dla struktur znajdujących się w klimacie umiarkowanym.

2. Cel badań

Celem badań było odwołanie się do koncepcji przestrzennej efektywności energetycznej i zweryfikowanie jej parametrów wśród europejskich, ekologicznych zespołów zabudowy wznoszonych w ostatnich 20 latach. Dokonano tego poprzez sprecyzowanie, do jakiego stopnia poszczególne elementy przestrzennej efektywności energetycznej zostały uwzględnione w projektach ekologicznych założeń. W tym celu przeprowadzono analizę porównawczą kluczowych cech projektowych. Zamierzeniem ewaluacji było określenie, czy wybrane zespoły zabudowy mogą stanowić modelowe dzielnice w kontekście kształtowania przestrzennej efektywności energetycznej oraz wytyczenie na ich podstawie głównych działań projektowych wspierających przestrzenną efektywność energetyczną.

3. Metoda

Metoda badań obejmowała studium przypadków rozumianych jako sześć reprezentatywnych ekologicznych zespołów zabudowy, dla których przeprowadzono analizę porównawczą.

Kryterium doboru mieszkaniowych zespołów zabudowy ekologicznej była ich lokalizacja w Europie, w obrębie strefy klimatu umiarkowanego (Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych. 1987). Jako kolejny czynnik przyjęto wielkość zespół zabudowy – nie przekraczającej 20 000 mieszkańców oraz jego lokalizację –nieznajdącą się w ścisłym centrum miasta. W tym celu jako próbę badawczą wybrano sześć zespołów zabudowy, które stanowiły odpowiednio:

1. Beddington Zero Energy Development (BedZED), Hackbridge, Londyn, Wielka Brytania
2. Vauban Freiburg, Freiburg im Breisgau, Niemcy
3. SolarCity Linz, Linz-Pichling, Austria
4. Hammarby Sjöstad, Sztokholm, Szwecja
5. EVA-Lanxmeer, Culemborg, Holandia
6. Siewierz Jeziorna, Siewierz, Polska

overall consideration of buildings and their surroundings, rather than in a situation where only the parameters of individual buildings are adopted for energy characteristics. The individual treatment of buildings (architectural scale) and disregarding the role of the urban scale may lead to flattening energy issues.

Koncepcja przestrzennej efektywności energetycznej okazała się skuteczna w określaniu parametrów energetycznych dla zespołów budynków, miast oraz badania ich wpływu na środowisko (Stoeglehner, Narodoslawsky, Erker, Neugebauer 2016). Próbując zrozumieć główne zasady projektowe istniejących ekologicznych dzielnic, zastanowienie może budzić konotacja lokalna przejawiana między innymi strefą klimatyczną. Mimo że każdy przypadek projektowy należy traktować indywidualnie, na podstawie analiz reprezentatywnych zespołów zabudowy mieszkaniowej możliwe jest zaobserwowanie głównych kierunków projektowych wpływających na przestrzenną efektywność energetyczną, które są charakterystyczne dla klimatu umiarkowanego.

The concept of spatial energy efficiency specification proved to be successful in determining the energy efficiency characteristics of whole building complexes, cities and their impact on environment. (Stoeglehner, Narodoslawsky, Erker, Neugebauer 2016). Trying to understand the main design principles of existing ecological districts, the reflection may be caused by the local connotation manifested among others by the climate zone. Since each case of the development complex should be treated individually, the disparities and similarities resulting from the location of eco-districts in different climate zones may be perplexing. Though, the main design trends contributing to the increase or decrease of spatial energy efficiency that can be observed in iconic eco-districts may have become a concern in terms of climate relations.

2. Aim of investigation

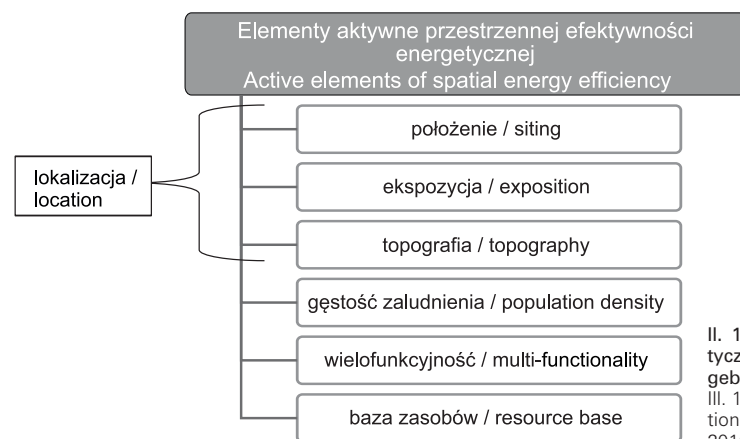
The aim of the research was to refer to the concept of spatial energy efficiency and verify its parameters among European, ecological building complexes erected in the last 20 years. This was done by specifying to which extent individual elements of spatial energy efficiency were included in ecological project assumptions. For this purpose a comparative analysis of key design features was carried out. The aim of the evaluation was to determine whether selected development complexes can become model districts in the context of shaping spatial energy efficiency and to set out on their basis the main project characteristics supporting spatial energy efficiency.

3. Method

The research method included a case study analysis of six representative ecological building complexes. The criterion for selection of ecological dwelling developments was their location in Europe, within the moderate climate zone (Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych 1987). As a further

* Mgr inż. arch. Julia Kurek, Politechnika Gdańska, Wydział Architektury Katedra Urbanistyki i Planowania Regionalnego, e-mail: julia.kurek@pg.edu.pl, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8783-2130>

** Dr hab. inż. arch. Justyna Martyniuk-Pęczek, prof. nadzw. PG, Politechnika Gdańska, Wydział Architektury Katedra Urbanistyki i Planowania Regionalnego, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4232-0817>



Il. 1. Analiza systematyki przestrzennej efektywności energetycznej, opracowanie własne na podstawie (Stoeglehner, Neugebauer, Erker, Narodoslavsky 2016)
 Ill. 1. Analysis of spatial energy efficiency system, own elaboration based on (Stoeglehner, Neugebauer, Erker, Narodoslavsky 2016)

Istotę w doborze dzielnic odegrały także postulaty ekologiczne uwzględnione przy projektowaniu i funkcjonowaniu danego zespołu zabudowy – dotyczące obniżonej konsumpcji energii elektrycznej i ciepłej, racjonalnej gospodarki wodnej, wspierania bioróżnorodności oraz innych działań na rzecz ochrony klimatu.

Dla każdego zespołu zabudowy przeprowadzono analizy oparte na koncepcji przestrzennej efektywności energetycznej. Koncepcja ta uwzględnia skalę nie tylko poszczególnych budynków, ale także ich relacje z otaczającą przestrzenią, kwestie dotyczące lokalizacji, aspekty mobilności (indywidualnej i zbiorowej) oraz problematykę związaną z miejską infrastrukturą techniczną w obrębie całego kompleksu. Dzięki temu pozwala na wytyczenie całościowych, przestrzennych wartości efektywności energetycznej. Systematyka przestrzennej efektywności energetycznej obejmuje cztery grupy zasadniczych elementów. Są nimi elementy aktywne, pasywne, krytyczne i buforowe [il.1]. Według autorów koncepcji (Stoeglehner, Neugebauer, Erker, Narodoslavsky 2016), aktywne elementy silnie oddziałują na inne elementy systemu przestrzennej efektywności energetycznej i pozostają jednocześnie pod niewielkim wpływem pozostałych czynników. Elementy pasywne znajdują się pod mocnym wpływem pozostałych i w niewielkim stopniu wpływają na elementy otaczające. Elementy krytyczne wykazują silne oddziaływanie na pozostałe aspekty oraz są jednocześnie uzależnione od zewnętrznych elementów. Elementy buforowe mają niskie oddziaływanie na pozostałe i są jednocześnie pod niewielkim wpływem pozostałych aspektów systemu.

Z uwagi na potrzeby niniejszego opracowania, w analizowanych zespołach skupiono się na elementach aktywnych, czyli takich których dobór zależy w głównej mierze od projektanta.

4. Analiza parametrów przestrzennej efektywności energetycznej oraz układu kompozycyjnego

4.1. Lokalizacja

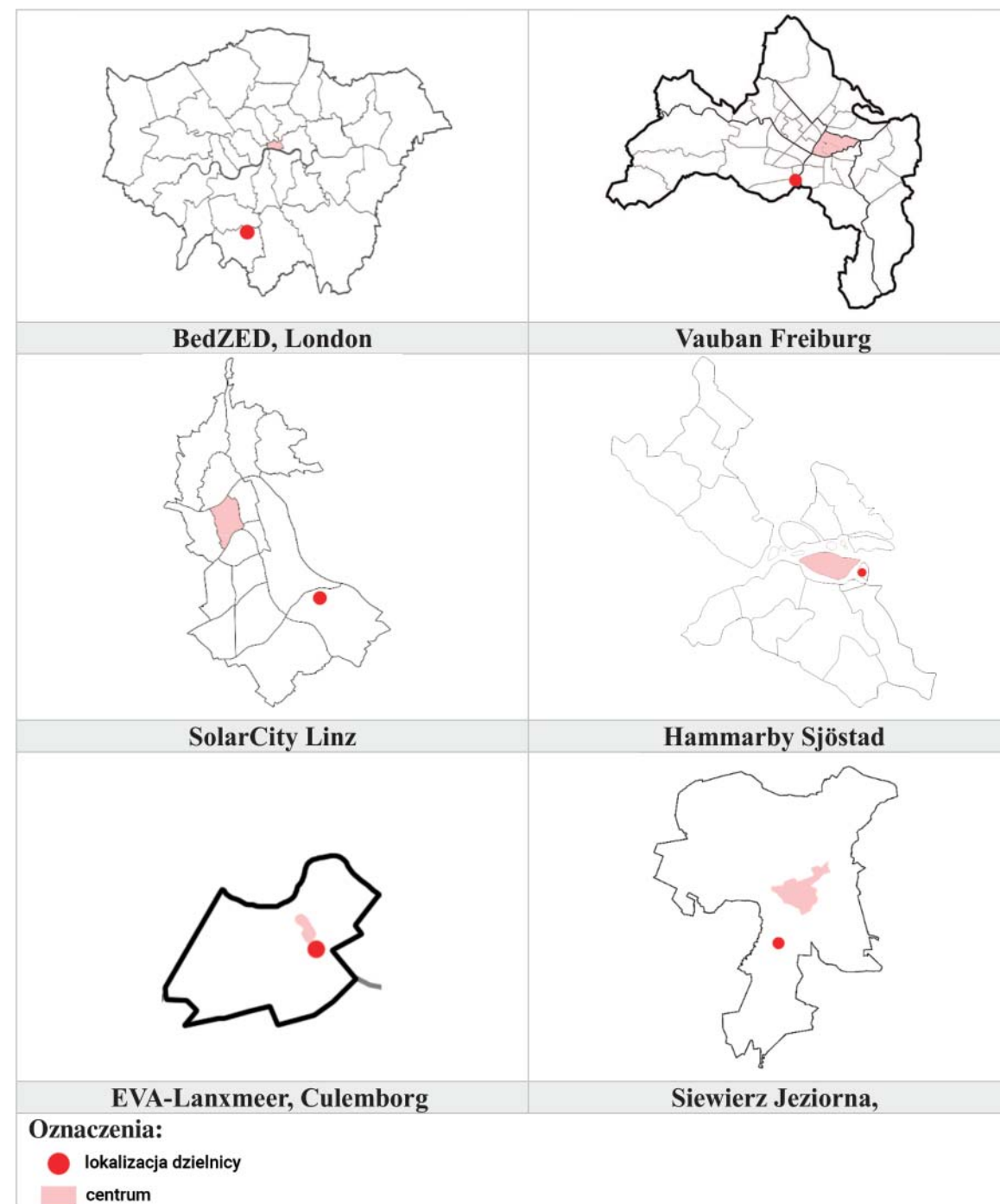
4.1.1. Położenie

Kluczową rolę w badaniu przestrzennej efektywności energetycznej odgrywa lokalizacja. Dotyczy ona zarówno samego położenia zespołu zabudowy względem centrum miasta, jak i topografii oraz ekspozycji. Znaczenie

factor, the size of the building complex under 20,000 inhabitants and its location distanced from the very center of the city was chosen. To this end, six development units were selected as a test sample, which were respectively:

1. Beddington Zero Energy Development (BedZED), Hackbridge, London, Great Britain
2. Vauban Freiburg, Freiburg im Breisgau, Germany
3. SolarCity Linz, Linz-Pichling, Austria
4. Hammarby Sjöstad, Stockholm, Sweden
5. EVA-Lanxmeer, Culemborg, Netherlands
6. Siewierz Jeziorna, Siewierz, Poland

The crucial role in the selection of districts was also played by ecological demands included in the design and functioning in a given development complex, concerning reduced consumption of electricity and heat, rational water management, providing support for biodiversity and other activities of climate protection. Structural analyzes based on the concept of spatial energy efficiency were carried out for each development complex. This concept considers the scale of not only individual buildings, but also their relationship with the surrounding area, location, aspects of mobility (individual and collective) and issues related to the city's technical infrastructure within the entire complex. Thanks to this, it allows to set overall spatial values of energy efficiency. Systematics of spatial energy efficiency includes four groups of basic elements. These are active, passive, critical and buffer elements [il.1 According to the authors of the concept, active elements strongly affect other elements at the same time under a small influence of other factors. Passive elements are under the strong influence of others and have a small influence on the surrounding elements. Critical elements have a strong impact on other aspects and are also dependent on external elements. Buffer elements have a low impact on the remaining ones and are also slightly influenced by other aspects of the system. Due to the needs of this study, the analyzes focused on active elements, i.e. those which selection depends mainly on the designer.



Tab. 1. Lokalizacja ekologicznych zespołów zabudowy względem centrum. Opracowanie własne
 Tab. 1. Location of ecological dwelling complexes in relation to the center. Own study

odległości zostało zdefiniowane za pomocą poziomów centralności (*Centrality Criteria*) określających dostęp do produktów – usług i towarów, infrastruktury społecznej oraz obiektów sportowych i rekreacyjnych. Analizując wskazane dzielnice można zauważyć, że większość z nich znajduje się na obrzeżach miast lub terenach podmiejskich. Wyjątek stanowi dzielnica Hammarby Sjöstad znajdująca się tuż przy centrum Sztokholmu oraz EVA-Lanxmeer występująca na obrzeżach terenu zabudowanego Culemborg.

4. Analysis of spatial energy efficiency parameters

4.1. Location

4.1.1. Siting

Location plays a key role in spatial energy efficiency research. It concerns both the siting of the development complex with respect to the city center, as well as topography and exposition. The significance of the distance was defined by means of centrality levels (*Centrality Criteria*) defining access to products – services and goods, social infrastructure as well as sports and recreational facilities.

Opierając się na koncepcji poziomów centralności (*Centrality Criteria*) można zaobserwować, iż oddalenie zespołu zabudowy od centrum miasta, wiążące się ze wzrostem kosztów infrastrukturalnych, dostarczanych mediów oraz zwiększoną mobilnością, może prowadzić do pogorszenia parametrów przestrzennej efektywności energetycznej. Istnieją jednak zapewne dalsze, złożone przesłanki, dla których zespoły zabudowy zostały umieszczone w określonych lokalizacjach. Mogą nimi być chociażby kwestie związane z dostępnym terenem bądź obszarem objętym specjalnymi działaniami miejskimi. Wyraźną tendencją widoczną w próbie badawczej jest oddalenie zespołów zabudowy względem centrum.

4.1.2. Topografia i ekspozycja

Topografia i ekspozycja względem stron świata poszczególnych zespołów zabudowy zostały przeanalizowane na podstawie map (*Mapy Europy*).

Celem odpowiedniej ekspozycji jest zapewnienie optymalnego ustawienia obiektu dla komfortu użytkownika wewnątrz budynku. Kluczowymi elementami okazuje się wówczas osiągnięcie równowagi pomiędzy odpowiednią ilością naturalnego światła, świeżego powietrza, stałej temperatury oraz często – widokiem zewnętrznym. Jako że temperatura, pogoda i światło słoneczne są dynamicznymi siłami natury odwołują się do statycznych elementów zabudowy. Dlatego też istotna jest kontrola ilości światła słonecznego wpuszczanego do budynku. W klimacie umiarkowanym – chłodnym, zyski ciepła słonecznego mogą zmniejszyć zapotrzebowanie na konwencjonalne ogrzewanie pomieszczeń i jednocześnie zmniejszyć emisję gazów cieplarnianych.

Analizowane zespoły zabudowy przeważająco przyjmują orientację północ-południe z odchyleniem od kierunku północnego na północno-zachodni (BedZED, EVA-Lanxmeer, Hammarby, Siewierz Jeziorna), oraz na północno-wschodni (Vauban, Hammarby). W Hammarby zabudowa okala nabrzeże i przyjmuje różne orientacje – w głównej mierze zwrócona jest na północny wschód oraz zachód. W SolarCity, zabudowa oparta jest na centrycznym założeniu umożliwiającym maksymalizację zysków solarnych. Objawia się to w wyraźnej orientacji zabudowy północ-południe, częściowym zwróceniu zabudowy w kierunku północno-wschodnim oraz w najmniejszym stopniu: północno-wschodnim.

Tereny nadbrzeżne (Hammarby) cechuje względnie płaskie ukształtowanie terenu. Względnie płaski obszar cechuje również niewielki zespół zabudowy BedZED oraz EVA-Lanxmeer. W przypadku pozostałych zespołów zabudowy widoczne jest zróżnicowanie rzeźby terenu. Nie jest ono szczególnie intensywne, wśród zabudowy wyraźne są miejscowe wypłaszczenia terenu (Vauban, SolarCity, Siewierz Jeziorna).

4.2. Gęstość zaludnienia

Gęstość zaludnienia oraz zabudowy odgrywa znaczną rolę w kształtowaniu przestrzennej efektywności energetycznej. Poszukiwane są optima, które pozwo-

Analizując the indicated districts, it can be seen that most of them are either located on the outskirts of the cities or in the suburban areas. An exception is the Hammarby Sjöstad district located just outside the center of Stockholm and EVA-Lanxmeer on the outskirts of the built-up area Culemborg.

Based on the concept of centrality levels (*Centrality Criteria*) it can be observed that the distance of the building complex from the city center, associated with an increase in infrastructure costs, utilities and increased mobility, may lead to deterioration of spatial energy efficiency parameters. However, there are probably further, complex premises for which development have been placed in specific locations. These may be, for example, issues related to the available area or area covered by special urban activities. A clear tendency in the research sample is to distance the building units from the center.

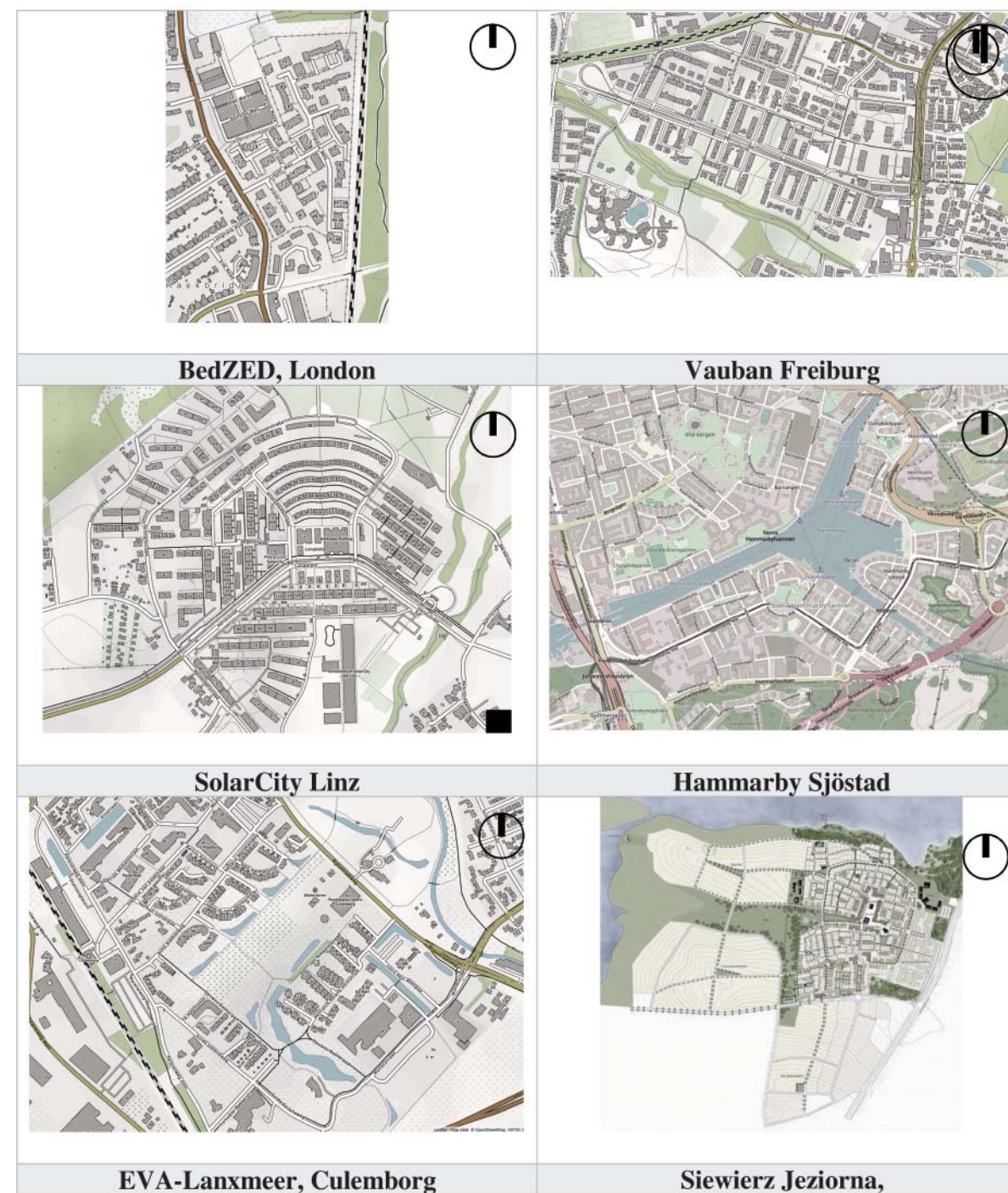
4.1.2. Topography and exposition

Topography and exposition of individual development complexes were analyzed on the basis of maps (*Maps of Europe*). The main purpose of the appropriate exposure is to ensure high comfort inside the building. To achieve it, the key elements are a balance between the appropriate amount of natural light, fresh air, constant temperature and often – external view. As the temperature, weather and sunlight are dynamic forces of nature, they refer to static building elements. Therefore, it is important to control the amount of sunlight entering the building. In a temperate cool climate, additional solar heat gains can reduce the need for conventional space heating and at the same time reduce greenhouse gas emissions. The analyzed building complexes prevail north-south orientation with a deviation from the north to the north-west (BedZED, EVA-Lanxmeer, Hammarby, Siewierz Jeziorna), and north-east (Vauban, Hammarby). In Hammarby, the buildings surround the embankment and adopt different orientations – mainly to the northeast and the west. In SolarCity, the buildings follow a centralized urban composition, enabling maximization of solar gains. This is manifested in the clear orientation of the north-south buildings, partial turn of buildings in the north-east direction and in the smallest extent: north-east.

Coastal areas (Hammarby) are characterized by relatively flat terrain. The relatively flat area is also present in smaller dwelling complexes: BedZED and EVA-Lanxmeer. In the case of others, the diversity of the relief is evident. It is not particularly intense and some local flattenings are evident among the some complexes (Vauban, SolarCity, Siewierz Jeziorna).

4.2. Population density

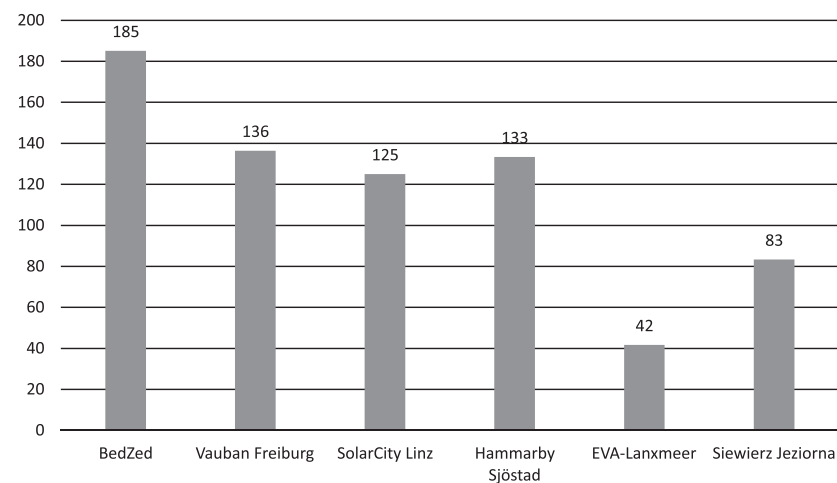
Density of population and buildings plays a significant role in shaping spatial energy efficiency. The optima are sought, which will allow simultaneous satisfaction of the residents' needs and at the same time not excessively increase the demand for operational energy related to transport and maintenance of infrastructure. Research carried out so far (Larson, Yezer 2015) showed



Tab. 2. Topografia i ekspozycja zabudowy w analizowanych ekologicznych kompleksach. Źródło map (*Mapy Europy*)
Tab. 2. Topography and exposition of buildings in the analyzed ecological complexes. Source of maps (*Mapy Europy*)

łą na jednoczesne zaspokojenie potrzeb wszystkich mieszkańców i jednocześnie nie zwiększając nadmierne zapotrzebowania na energię operacyjną, związaną z transportem i podtrzymaniem infrastruktury. Dotychczas przeprowadzone badania (Larson, Yezer 2015) wykazały, iż istnieje punkt graniczny do którego zwiększanie gęstości populacji oraz intensywności zabudowy ma ekonomiczne i funkcjonalne uzasadnienie. Kompaktowy, zwarty układ zabudowy wspiera efektywność energetyczną i jest widoczny w analizo-

that there is a boundry point to which the increase of population density and building intensity has economic and functional justification. The compact spatial system supports energy efficiency and is visible in the analyzed assemblies by the population density factor. For the purpose of the article, the method of calculating the density of population was adopted by dividing the number of population per hectare of the analyzed assumptions. The comparison showed that the districts located in larger cities (SolarCity, Hammarby,



Il. 2. Gęstość zaludnienia w dzielnicach ekologicznych – opracowanie autorskie. Uwaga: w przypadku Siewierz Jeziorna, z uwagi na toczące się prace budowlane przyjęto prognozowaną liczbę przyszłych mieszkańców. Opracowanie własne na podstawie: (Budowa pierwszego kwartału dzielnicy Siewierz-Jeziorna; Urbanism), (Deklaracja zrównoważonego rozwoju dla Siewierza Jeziornej), (freiburg-vauban.de – Stadtteil Vauban, Freiburg), (Chance 2009), (Solaripedia | Hammarby Sjöstad), (Energie | EVA-Lanxmeer)
 Il. 2 Density of population in ecological districts. Note: in the case of Siewierz Jeziorna, due to the ongoing construction work, the forecasted number of future residents was assumed. Own study based on: (Budowa pierwszego kwartału dzielnicy Siewierz-Jeziorna; Urbanism), (Deklaracja zrównoważonego rozwoju dla Siewierza Jeziornej), (freiburg-vauban.de – Stadtteil Vauban, Freiburg), (Chance 2009), (Solaripedia | Hammarby Sjöstad), (Energie | EVA-Lanxmeer)

wanych zespołach poprzez współczynnik gęstości zaludnienia.

Na potrzeby artykułu przyjęto sposób obliczania gęstości zaludnienia poprzez podzielenie liczby ludności przypadającej na jeden hektar analizowanych założeń. Z zestawienia wynika, że dzielnice znajdujące się przy większych miastach (SolarCity, Hammarby, Vauban,) reprezentują wyższą wartość gęstości zaludnienia, oscylującą na podobnym poziomie odpowiednio 125, 133, 136 osób przypadających na jeden hektar. Te zaś, które znajdują się przy mniejszych miejscowościach (EVA-Lanxmeer, Siewierz Jeziorna) charakteryzują odpowiednio mniejsze wartości.

Wyjątkiem okazuje się zespół zabudowy BedZED, którego charakteryzuje najwyższa wartość gęstości zaludnienia. Była ona zamierzeniem projektowym planistów (Chance 2009), mających na celu znaczące obniżenie emisji dwutlenku węgla i śladu ekologicznego przez zabudowę mieszkaniową. Duża gęstość – 100 budynków przypadających na jeden hektar (Chance 2009) wymusiła na projektantach nietypowe podejście do kwestii zapewnienia naturalnego oświetlenia oraz indywidualnych stref rekreacji – ogrodów. By spełnić wspomniane wymagania bryły budynków zostały podcięte od strony południowej, a na ich dachach zlokalizowano ogrody dla mieszkańców. Pozwoliło to na zachowanie walorów funkcjonalnych i estetycznych przy jednoczesnym utrzymaniu wysokiej gęstości zaludnienia.

4.3. Wielofunkcyjność

Istotnym znaczeniem dla kształtowania ekologicznych zespołów zabudowy jest także wielofunkcyjność. Autorzy koncepcji przestrzennej efektywności energetycznej scharakteryzowali ją za pomocą pięciu poziomów centralności (*Centrality Criteria*) w zależności od odległości dzielącej daną lokalizację do określonej usługi. Kluczowym i podstawowym elementem w kontekście wielofunkcyjności jest występowanie usług tzw. pierwszego rzędu. Powinny one zostać zlokalizowane w obrębie zespołu zabudowy lub w odległości dostępnej w ciągu 15 minut spacerem. Wszystkie z analizowanych zespołów zabudowy spełniają to kryterium.

Vauban,) represent a higher value of population density, oscillating at a similar level of respectively 125, 133, 136 people per one hectare. Those, which are located near smaller towns (EVA-Lanxmeer, Siewierz Jeziorna) are characterized by correspondingly lower values of population density.

An exception is the BedZED development complex, which is characterized by the highest population density. It was the conscious planning intention of the architects (Chance 2009), aiming at a significant reduction of carbon dioxide emissions and ecological footprint by housing development. High density understood as 100 buildings per one hectare (Chance 2009) forced the designers to use an unusual approach to the issue of providing natural lighting and individual recreation zones – sky-gardens. To meet these requirements, the building blocks were cut from the south, and on their roofs, gardens for residents were located. It allowed to maintain functional and aesthetic values while maintaining high population density.

4.3. Multifunctionality

An important factor for the development of ecological building complexes is also multifunctionality. The authors of the concept of spatial energy efficiency characterized it by means of five levels of centrality (*Centrality Criteria*) depending on the distance between certain location and given services.

A key and fundamental element in the context of multifunctionality is the occurrence of so-called first degree services and infrastructure. They should be located within the building complex or within a 15-minute walk. All of the analyzed dwelling complexes meet this criterion.

4.4. Resource base

Kluczowym elementem dla kształtowania przestrzennej efektywności energetycznej jest także racjonalne wykorzystanie zasobów – takich jak energia cieplna i elektryczna, gospodarka wodami.

W każdym z zespołów zdecydowano się na indywidualne podejście, którego ogólnym celem było obniżenie konsumpcji energii oraz śladu ekologicznego.

4.4. Baza zasobów

Kluczowym elementem dla kształtowania przestrzennej efektywności energetycznej jest także racjonalne wykorzystanie zasobów – takich jak energia cieplna i elektryczna, gospodarka wodami.

W każdym z zespołów zdecydowano się na indywidualne podejście, którego ogólnym celem było obniżenie konsumpcji energii oraz śladu ekologicznego.

4.4.1. Gospodarowanie wodami

Działania związane z gospodarowaniem wodami stanowiły istotny element analizowanych ekologicznych zespołów zabudowy. W tym kontekście podejściem, uwzględnionym w każdym analizowanym przykładzie okazało się oczyszczanie i ponowne wykorzystanie wody szarej. Wykorzystywanie urządzeń o niskim przepływie i kontrole nawadniania oraz zbieranie wody deszczowej i burzowej zmniejsza zapotrzebowanie na wodę pitną i tym samym przyczynia się to oszczędności zasobów

4.4.1. Water management

Działania związane z gospodarowaniem wodami stanowiły istotny element analizowanych ekologicznych zespołów zabudowy. W tym kontekście podejściem, uwzględnionym w każdym analizowanym przykładzie okazało się oczyszczanie i ponowne wykorzystanie wody szarej. Wykorzystywanie urządzeń o niskim przepływie i kontrole nawadniania oraz zbieranie wody deszczowej i burzowej zmniejsza zapotrzebowanie na wodę pitną i tym samym przyczynia się to oszczędności zasobów wodnych, która była postulatem wszystkich analizowanych zespołów.

Oczyszczanie i ponowne wykorzystanie wody szarej stanowią pierwszy krok do uniezależniania się od sieci miejskiej. Kolejnym krokiem do stosowania tzw. zamkniętej pętli wodnej jest recykling wody czarnej. Jest ona w dużej mierze oczyszczana w obrębie zabudowy (BedZED, Vauban, Hammarby, EVA-Lanxmeer).

Nazwa działania	BedZED	Vauban	SolarCity	Hammarby	EVA-Lanxmeer	Siewierz Jeziorna
oczyszczanie i ponowne wykorzystanie wody szarej	+	+	+	+	+	+
oczyszczanie wody czarnej w obrębie zespołu zabudowy	+	+		+	+	
sztucznie utworzone tereny podmokłe	+	+				
wtórne wykorzystanie wody deszczowej lub infiltracja			+	+	+	+
cele związane z oszczędzaniem wody			+	+	+	
zbierania i usuwania wody deszczowej (zielone dachy i przepuszczalne nawierzchnie)	+	+				+

Tab. 3 Gospodarowanie wodami w obrębie analizowanych zespołów. Opracowanie własne na podstawie: (Budowa pierwszego kwartału dzielnicy Siewierz-Jeziorna; Urbanism), (Deklaracja zrównoważonego rozwoju dla Siewierza Jeziornej), (freiburg-vauban.de – Stadtteil Vauban, Freiburg), (Chance 2009), (Solaripedia | Hammarby Sjöstad), (Energie | EVA-Lanxmeer)

Name of activity	BedZED	Vauban	SolarCity	Hammarby	EVA-Lanxmeer	Siewierz Jeziorna
greywater purification & reuse	+	+	+	+	+	+
on-site blackwater treatment	+	+		+	+	
constructed wetlands	+	+				
stormwater reuse or infiltration			+	+	+	+
water conservation goals			+	+	+	
stormwater prevention (green-roofs & permeable surfaces)	+	+				+

Tab. 3. Water management within the analyzed complexes. Own study based on: (Budowa pierwszego kwartału dzielnicy Siewierz-Jeziorna; Urbanism), (Deklaracja zrównoważonego rozwoju dla Siewierza Jeziornej), (freiburg-vauban.de – Stadtteil Vauban, Freiburg), (Chance 2009), (Solaripedia | Hammarby Sjöstad), (Energie | EVA-Lanxmeer)

Kategoria	Nazwa działania	BedZED	Vauban	SolarCity	Hammarby	EVA-Lanxmeer	Siewierz Jeziorna
Energia ciepła i elektryczna	standardy efektywności energetycznej wyznaczone na rok 2030	+	+	+	+	+	+
	monitoring osiągniętych celów energetycznych	+				+	+
	energia odnawialna	100%	+	+	+	100%	
	Cele związane z redukcją zużycia energii i obniżenia emisji CO ₂ ,	+	+	+	+	+	+
Gospodarowanie odpadami	redukcja odpadów budowlanych	+		+	+		
	recykling odpadów	+	+	+	+	+	+
	odpady jako źródło energii (ang. waste to energy)	+		+	+	+	

Tab. 4. Energia ciepła i elektryczna oraz gospodarowanie odpadami w obrębie analizowanych kompleksów zabudowy. Opracowanie własne na podstawie: (Budowa pierwszego kwartału dzielnicy Siewierz-Jeziorna; Urbanism), (Deklaracja zrównoważonego rozwoju dla Siewierza Jeziornej), (freiburg-vauban.de – Stadtteil Vauban, Freiburg), (Chance 2009), (Solaripedia | Hammarby Sjostad), (Energie | EVA-Lanxmeer)

Category	Activity	BedZED	Vauban	SolarCity	Hammarby	EVA-Lanxmeer	Siewierz Jeziorna
Heat and electricity	2030 standards of energy efficiency	+	+	+	+	+	+
	ongoing monitoring to meet ecological goals	+				+	+
	Renewable energy	100%	+	+	+	100%	
	reduction goals for energy & CO ₂	+	+	+	+	+	+
Waste management	reduction in construction waste	+		+	+		
	waste recycling	+	+	+	+	+	+
	waste to energy	+		+	+	+	

Tab. 4. Heat, electricity and waste management within the analyzed building complexes. Own study based on: (Budowa pierwszego kwartału dzielnicy Siewierz-Jeziorna; Urbanism), (Deklaracja zrównoważonego rozwoju dla Siewierza Jeziornej), (freiburg-vauban.de – Stadtteil Vauban, Freiburg), (Chance 2009), (Solaripedia | Hammarby Sjostad), (Energie | EVA-Lanxmeer)

wodnych, która była postulatem wszystkich analizowanych zespołów.

Oczyszczanie i ponowne wykorzystanie wody szarej stanowią pierwszy krok do uniezależnienia się od sieci miejskiej. Kolejnym krokiem do stosowania tzw. zamkniętej pętli wodnej jest recykling wody czarnej. Jest ona w dużej mierze oczyszczana w obrębie zabudowy (BedZED, Vauban, Hammarby, EVA-Lanxmeer). Najczęściej stosowanym rozwiązaniem jest użycie zbiorników sedymentacyjnych oraz sztucznych obszarów podmokłych. Praktyka samodzielnego oczyszczania ścieków umożliwia uniezależnienie się od zewnętrznej infrastruktury oraz także wykorzystania energii cieplnej wytwarzanej w procesie spalania odpadów przetworzonej wody czarnej (ang. waste to heat energy). Istotnym działaniem okazało się także zbieranie i usuwanie wody deszczowej dzięki zastosowaniu dachów zielonych lub nawierzchni przepuszczalnych (BedZED, Vauban, Siewierz Jeziorna).

4.4.2. Energia ciepła i elektryczna, gospodarowanie odpadami

W kontekście energetycznym, wszystkie analizowane zespoły zabudowy postawiły sobie restrykcyjne cele związane z podniesieniem efektywności energetycznej oraz obniżeniem emisji gazów cieplarnianych. Równie istotnym punktem okazał się także recykling odpadów. Większość z zespołów zabudowy integruje także odnawialne źródła energii, przy czym BEDZed oraz EVA-Lanxmeer deklaruje ich integrację w stu procentach. Nie mniej kluczową rolę odgrywa monitoring osiągniętych celów energetycznych. W przypadku BEDZed stał się on cenną wskazówką na temat nie w pełni sprawdzających się rozwiązań energetycznych oraz niepełnym stosowaniu się mieszkańców do energooszczędnego trybu życia. Dzięki tego typu obserwacjom możliwe jest zaadaptowanie lub przearanżowanie istniejących systemów do realnych potrzeb energetycznych. Ponadto podkreśla ono znaczenie czynnika ludzkiego i indywidualnych stylów życia w końcowym bilansie energetycznym oraz śladzie środowiskowym.

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych analiz można stwierdzić, że problematyka kształtowania ekologicznych dzielnic mieszkaniowych strefy klimatu umiarkowanego jest zbliżona. Wszystkie z nich odniosły się świadomie do aspektów zrównoważonego rozwoju oraz aktywnych elementów przestrzennej efektywności energetycznej.

Istotna rola w kontekście kształtowania przestrzennej efektywności energetycznej w zespołach zabudowy mieszkaniowej odgrywana jest przez elementy aktywne, dotyczące położenia, topografii, ekspozycji, gęstości zaludnienia, bazy zasobów oraz wielofunkcyjności. Wszystkie analizowane przykłady odnoszą się do tych postulatów, z wyraźnymi charakterystycznymi trendami. Kluczowe znaczenie odgrywa lokalizacja – znajdująca się w pobliżu centrum i zapewniająca dostęp do infrastruktury i usług odpowiedniego rzędu. Wielofunkcyjność jest obecna we wszystkich analizowa-

Najczęściej stosowanym rozwiązaniem jest użycie zbiorników sedymentacyjnych oraz sztucznych obszarów podmokłych. Praktyka samodzielnego oczyszczania ścieków umożliwia uniezależnienie się od zewnętrznej infrastruktury oraz także wykorzystania energii cieplnej wytwarzanej w procesie spalania odpadów przetworzonej wody czarnej (ang. waste to heat energy). Istotnym działaniem okazało się także zbieranie i usuwanie wody deszczowej dzięki zastosowaniu dachów zielonych lub nawierzchni przepuszczalnych (BedZED, Vauban, Siewierz Jeziorna).

Activities related to water management were an important element of the analyzed ecological complexes. In this context, the approach considered in each analyzed example turned out to be the purification and re-use of gray water. The use of low-flow devices and irrigation controls as well as rainwater and stormwater collection reduces the need for drinking water and thus contributes to saving water resources, which was the postulate of all analyzed complexes.

Cleansing and reusing gray water is the first step to becoming independent from the municipal infrastructure. The next step to apply the so-called closed water-loop is recycling of black water. It is largely adopted within buildings (BedZED, Vauban, Hammarby, EVA-Lanxmeer). The most frequently used solution is the use of sedimentation tanks and artificial wetlands. The practice of independent wastewater treatment makes it possible to become independent from the external infrastructure and also adopting the strategy called waste to heat energy. An important action was also the collection and removal of stormwater thanks to the use of green roofs or permeable surfaces (BedZED, Vauban, Siewierz Jeziorna).

4.4.2. Thermal and electrical energy, waste management

In the energetical context, all analyzed developments had set strict goals related to increasing energy efficiency and reducing greenhouse gas emissions. The recycling of waste has also proved to be an important point. Most of the complexes also integrate renewable energy sources, with BedZed and EVA-Lanxmeer declaring their integration in one hundred percent. The monitoring of the achieved energy goals plays no less important role. In the case of BedZed, it has become a valuable guide on the subject of not fully satisfactory energy solutions and incomplete application of residents to an energy-saving lifestyle. Thanks to such observations, it is possible to adapt or rearrange existing systems to the real energy needs. In addition, it highlights the importance of the human factor and individual lifestyles in consideration of final energy balance and environmental footprint.

5. Conclusions

Based on the analyzes carried out, it can be concluded that the problem of shaping ecological districts of the moderate climate zone is alike. All of them referred consciously to the aspects of sustainable development and active elements of spatial energy efficiency.

nych zespołach jako czynnik poprawiający nie tylko funkcjonalność, ale także minimalizujący potrzebę dużej mobilności. Sposób sytuowania zabudowy oraz doboru jej formy odpowiada kierunkom świata i ma na celu między innymi maksymalizację zysków słonecznych w okresie zimowym oraz ich minimalizację w okresie potencjalnego przegrzewania, przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej jakości użytkownika. Optymalna gęstość zaludnienia jest zbliżona w przypadku dzielnic znajdujących w miastach o podobnej wielkości i odległości od centrum. W przypadku miast o większej liczbie mieszkańców, kompaktowa zabudowa ekologiczna wiąże się z reguły z najwyższą gęstością zaludnienia. W przypadku terenów podmiejskich lub mniejszych miejscowości kompaktowość osiągnięta jest przy niższych wartościach gęstości zaludnienia.

Pewne restrykcje narzucane przez przestrzenną efektywność energetyczną, mogą powodować ograniczenia projektowe. Jednakże, dzięki aktywnemu podejściu projektowemu i uwzględnieniu szczególnych uwarunkowań już w pierwszej fazie projektowej – na etapie koncepcji, możliwe jest realizowanie postulatów dla ekologicznych dzielnic mieszkaniowych. Niektóre przykłady projektowe dowodzą, że początkowe wyzwania projektowe w postaci wymagających parametrów, mogą stać się punktem do kreatywnych rozwiązań estetyczno-funkcjonalnych zarówno w skali urbanistycznej, jak i architektonicznej.

Analizowane zespoły wskazują także, że oprócz istotnej roli planistów, w kontekście kształtowania przestrzennej efektywności energetycznej niewątpliwie ma również rolę użytkowników – mieszkańców. Doświadczenia z BedZED pokazują, iż mimo skrupulatnych działań projektowych mało ekologiczny styl życia mieszkańców spowodował pogorszenie końcowych parametrów energetycznych i środowiskowych. Rezultaty okazały się znacznie bardziej niekorzystne, niż pierwotnie zakładano i wymagały podjęcia dalszych działań. Wskazuje to na wagę podnoszenia świadomości ekologicznej w kontekście zabudowy mieszkaniowej, która powinna towarzyszyć nie tylko projektantom, ale osobom ze wszystkich grup zawodowych i społecznych.

PRZYPIS

¹ Indeks Zrównoważonego Rozwoju (ang. Sustainable Process Index®) (*Energetic Long Term Analysis of Settlement Structures FACTSHEET 1. ELAS-Point of Departure*)

LITERATURA

- [1] *Budowa pierwszego kwartału dzielnicy Siewierz-Jeziorna | MAU Mycielski Architecture & Urbanism*, [Accessed 2 June 2019]. Available from: <http://mau.com.pl/aktualnosci/budowa-pierwszego-kwartalu-dzielnicy-siewierz-jeziorna/>
- [2] *Centrality Criteria*, [Accessed 2 June 2019]. Available from: http://www.elas-calculator.eu/res/en/ELAS_ZStufe.pdf
- [3] CHANCE, Tom, 2009. Towards sustainable residential communities; the Beddington Zero Energy Development

An important role in the context of shaped spatial energy affectivity in housing complexes is played by active elements concerning siting, topography, exposure, population density, resource base and multifunctionality. All analyzed examples refer to these postulates, with distinctive characteristic trends. The location is of key importance – located near the center and providing access to the infrastructure and services of the relevant order. Multifunctionality is present in all analyzed complexes as a factor improving not only functionality, but also minimizing the need for high mobility. The method of situating the buildings and shaping their form corresponds to the exposition and amis among other to maximize solar gains in the winter period and to minimize them during the period of potential overheating, while maintaining high quality of use.

The optimal population density is similar for districts located in cities of similar size and distance from the center. In the case of cities with a larger population, compact ecological housing is usually associated with the highest density of population. In the case of suburban areas or smaller towns, compactness is achieved at lower values of population density

Certain restrictions imposed by spatial energy efficiency may result in design restrictions. However, thanks to an active project approach and considering specific conditions already in the first design phase at the concept stage, it is possible to implement demands for ecological housing districts. Some design examples prove that the initial design challenge in the form of demanding parameters may become a point for creative aesthetic and functional solutions both in the urban and architectural scale.

Analizowane zespoły wskazują także, że oprócz istotnej roli planistów, w kontekście kształtowania przestrzennej efektywności energetycznej niewątpliwie ma również rolę użytkowników – mieszkańców. Doświadczenia z BedZED pokazują, iż mimo skrupulatnych działań projektowych mało ekologiczny styl życia mieszkańców spowodował pogorszenie końcowych parametrów energetycznych i środowiskowych. Rezultaty okazały się znacznie bardziej niekorzystne, niż pierwotnie zakładano i wymagały podjęcia dalszych działań. Wskazuje to na wagę podnoszenia świadomości ekologicznej w kontekście zabudowy mieszkaniowej, która powinna towarzyszyć nie tylko projektantom, ale osobom ze wszystkich grup zawodowych i społecznych. The analyzed complexes also indicate that in addition to the important role of planners, the role of users – residents is also critical in the context of shaping spatial energy efficiency. Experiences from BedZED showed that despite the scrupulous design activities, the less ecological lifestyle of residents caused a deterioration of the final energy and environmental parameters. The results turned out to be much more unfavorable than originally expected and required further action. This indicates the importance of raising environmental awareness in the context of housing, which should accompany not only designers but people from all professional and social groups.

ENDNOTES

¹ Sustainable Process Index® (*Energetic Long Term Analysis of Settlement Structures FACTSHEET 1. ELAS-Point of Departure*)

(BedZED) and beyond. *Environment and Urbanization* [online]. 2009. Vol. 21, no. 2, p. 527–544. [Accessed 2 June 2019]. DOI 10.1177/0956247809339007.

[4] *Deklaracja zrównoważonego rozwoju dla Siewierza Jeziornej*, [no date]. [online]. [Accessed 2 June 2019]. Available from: http://www.siewierzjeziorna.pl/wp-content/uploads/2014/12/Siewierz_Jeziorna_Deklaracja_Rozwoju_PL.pdf

[5] *Energetic Long Term Analysis of Settlement Structures FACTSHEET 1. ELAS-Point of Departure*, [no date]. [online]. [Accessed 2 June 2019]. Available from: http://www.elas-calculator.eu/res/en/ELAS_Infopaket.pdf

[6] *Energie | EVA-Lanxmeer*, [online]. [Accessed 2 June 2019]. Available from: <http://www.eva-lanxmeer.nl/over/nu/energie>

[7] *Erneubare Energien*, 2019. [online]. Available from: <https://www.erneubare-energien.de/EE/Navigation/DE/Home/home.html>

[8] *freiburg-vauban.de – Stadtteil Vauban, Freiburg*, [online]. [Accessed 2 June 2019]. Available from: <https://freiburg-vauban.de/en/quartier-vauban-2/>

[9] LARSON, William and YEZER, Anthony, 2015. The energy implications of city size and density. *Journal of Urban Economics*. 2015. Vol. 90, p. 35–49. DOI 10.1016/j.jue.2015.08.001.

[10] *Mapy Europy*, [no date]. [online]. [Accessed 20 June 2019]. Available from: <https://www.mapy-europy.pl/>

[11] PAŃSTWOWE PRZEDSIĘBIORSTWO WYDAWNICTW KARTOGRAFICZNYCH., 1987. *Atlas geograficzny*. Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych im Eugeniusza Romera. ISBN 8370000118. Wyd. 22.

[12] *Solaripedia | Hammarby Sjöstad*, [online]. [Accessed 20 June 2019]. Available from: http://www.solaripedia.com/13/300/3371/hammarby_sjostad_master_plan.html

[13] STOEGLHNER, Gernot, NARODOSLAWSKY, Michael, ERKER, Susanna and NEUGEBAUER, Georg, 2016. System Interrelations Between Spatial Structures, Energy Demand, and Energy Supply. *SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology*. 2016. No. 9783319318684, p. 73–90. DOI 10.1007/978-3-319-31870-7_5.

[14] STOEGLHNER, Gernot, NEUGEBAUER, Georg, ERKER, Susanna and NARODOSLAWSKY, Michael, 2016. *Integrated Spatial and energy planning*. SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology. ISBN 9783319318684.

BIBLIOGRAPHY

[1] *Budowa pierwszego kwartału dzielnicy Siewierz-Jeziorna | MAU Mycielski Architecture & Urbanism*, [Accessed 2 June 2019]. Available from: <http://mau.com.pl/aktualnosci/budowa-pierwszego-kwartalu-dzielnicy-siewierz-jeziorna/>

[2] *Centrality Criteria*, [Accessed 2 June 2019]. Available from: http://www.elas-calculator.eu/res/en/ELAS_ZStufe.pdf

[3] CHANCE, Tom, 2009. Towards sustainable residential communities; the Beddington Zero Energy Development (BedZED) and beyond. *Environment and Urbanization* [online]. 2009. Vol. 21, no. 2, p. 527–544. [Accessed 2 June 2019]. DOI 10.1177/0956247809339007.

[4] *Deklaracja zrównoważonego rozwoju dla Siewierza Jeziornej*, [no date]. [online]. [Accessed 2 June 2019]. Available from: http://www.siewierzjeziorna.pl/wp-content/uploads/2014/12/Siewierz_Jeziorna_Deklaracja_Rozwoju_PL.pdf

[5] *Energetic Long Term Analysis of Settlement Structures FACTSHEET 1. ELAS-Point of Departure*, [no date]. [online]. [Accessed 2 June 2019]. Available from: http://www.elas-calculator.eu/res/en/ELAS_Infopaket.pdf

[6] *Energie | EVA-Lanxmeer*, [online]. [Accessed 2 June 2019]. Available from: <http://www.eva-lanxmeer.nl/over/nu/energie>

[7] *Erneubare Energien*, 2019. [online]. Available from: <https://www.erneubare-energien.de/EE/Navigation/DE/Home/home.html>

[8] *freiburg-vauban.de – Stadtteil Vauban, Freiburg*, [online]. [Accessed 2 June 2019]. Available from: <https://freiburg-vauban.de/en/quartier-vauban-2/>

[9] LARSON, William and YEZER, Anthony, 2015. The energy implications of city size and density. *Journal of Urban Economics*. 2015. Vol. 90, p. 35–49. DOI 10.1016/j.jue.2015.08.001.

[10] *Mapy Europy*, [no date]. [online]. [Accessed 20 June 2019]. Available from: <https://www.mapy-europy.pl/>

[11] PAŃSTWOWE PRZEDSIĘBIORSTWO WYDAWNICTW KARTOGRAFICZNYCH., 1987. *Atlas geograficzny*. Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych im Eugeniusza Romera. ISBN 8370000118. Wyd. 22.

[12] *Solaripedia | Hammarby Sjöstad*, [online]. [Accessed 20 June 2019]. Available from: http://www.solaripedia.com/13/300/3371/hammarby_sjostad_master_plan.html

[13] STOEGLHNER, Gernot, NARODOSLAWSKY, Michael, ERKER, Susanna and NEUGEBAUER, Georg, 2016. System Interrelations Between Spatial Structures, Energy Demand, and Energy Supply. *SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology*. 2016. No. 9783319318684, p. 73–90. DOI 10.1007/978-3-319-31870-7_5.

[14] STOEGLHNER, Gernot, NEUGEBAUER, Georg, ERKER, Susanna and NARODOSLAWSKY, Michael, 2016. *Integrated Spatial and energy planning*. SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology. ISBN 9783319318684.