



Politechnika
Śląska



Wydział Architektury
Politechniki Śląskiej

Politechnika Śląska
Wydział Architektury
Katedra Projektowania Architektury Mieszkaniowej i Użyteczności Publicznej

NURT ARCHITEKTURY PASYWNEJ W REALIZACJI OBIEKTÓW BASENOWYCH, OPTYMALIZACJA ROZWIĄZAŃ PROJEKTOWYCH NA TLE IMPLEMENTACJI NA RYNKU POLSKIM.

Autor: mgr inż. arch. Ada Kołodziejczyk-Kęsoń

Promotor: dr hab. inż. arch. Krzysztof M. Rostański, Prof. PŚ

słowa kluczowe: architektura pasywna, obiekty basenowe, pływalnie, obiekty sportowe, energooszczędność, ekonomiczne budownictwo, oszczędność eksploatacji, tania eksploatacja

Gliwice 2023

Serdeczne podziękowania dla promotora niniejszej pracy dr hab. inż. arch. Krzysztofa M. Rostańskiego, Prof. PŚ za inspirację, wiedzę, mądrość, pomoc i poświęcony czas. Praca nigdy by nie powstała, gdyby nie zaangażowanie, wiara we mnie i motywowanie do dalszej pracy. Chciałam podziękować również wszystkim osobom spotkanym podczas badań *in situ*, za okazaną otwartość, rozmowy i udostępnianie dokumentacji. Dziękuję mojej rodzinie za wyrozumiałość, wsparcie i miłość. Szczególne podziękowania należą się moim rodzicom oraz mężowi Michałowi za ogromne pokłady cierpliwości.

SPIS TREŚCI:

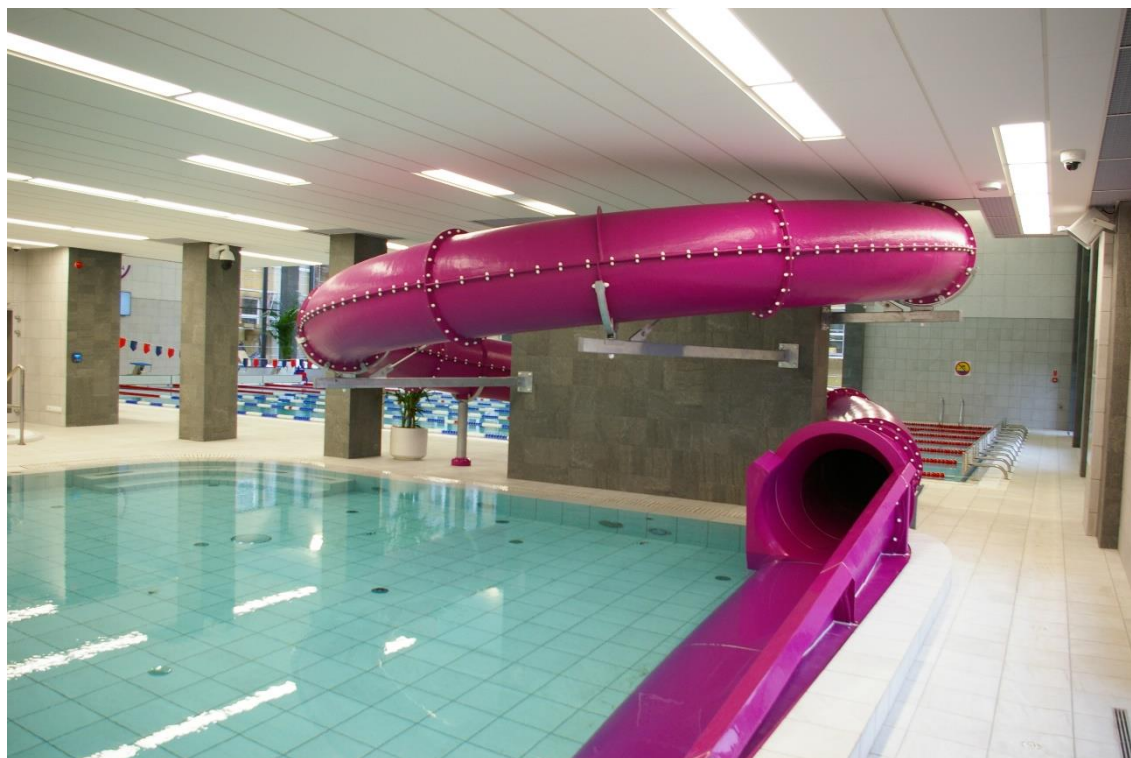
I. Wstęp	7
1.1. Wprowadzenie	7
1.1.1. Określenie tematu i uzasadnienie potrzeby jego podjęcia	9
1.1.2. Definicje	11
1.2. Przedmiot i zakres pracy	13
1.2.1. Przedmiot badań	14
1.2.2. Zakres badań	16
1.2.3. Czas badań	16
1.2.4. Obszar badań	17
1.3. Stan badań	17
1.4. Cele badawcze i teza pracy	20
1.5. Metody badań	22
1.5.1. Metody przyjęte w badaniach in situ obiektów istniejących	23
1.5.2. Metody przyjęte w opisie badanych obiektów istniejących	24
1.5.3. Opis prowadzenia badań przy użyciu kamery termowizyjnej	27
1.5.4. Autorska mieszana metoda badawcza	28
1.5.5. Założenia badań wykonanych w PHPP	34
1.6. Układ pracy	35
II. Standardy pasywne	39
2.1. Standard Darmstadt budynku pasywnego	39
2.1.1. Aktualne kryteria budynku pasywnego standardu Darmstadt	40
2.1.2. Sposoby uzyskania kryteriów budynku pasywnego	42
2.1.2.1. Izolacja przegród zewnętrznych	42
2.1.2.2. Konstruowanie bez mostków termicznych	44
2.1.2.3. Szczelna powłoka budynku	45
2.1.2.4. Pasywne wykorzystanie energii słonecznej	48
2.1.2.5. Wentylacja	49
2.1.2.6. Jakość powietrza wewnętrznego w budynkach pasywnych	51
2.1.2.7. Możliwości ogrzewania budynku pasywnego	53
2.1.2.8. Ciepła woda użytkowa	53
2.1.2.9. Zużycie energii elektrycznej	54
2.1.3. Ekonomika budynku pasywnego	54
2.1.4. Projektowanie i certyfikacja przy pomocy pakietu PHPP	55
2.1.5. Elastyczność budownictwa pasywnego	56
2.2. Standard budynku be2226	58
III. Przepisy prawne	59
3.1. Obowiązujące w Polsce przepisy prawne dotyczące projektowania odnoszące się do energooszczędności	59
3.2. Wytyczne do projektowania basenów krytych w Polsce	64
IV. Badania istniejących obiektów basenów pasywnych	70
4.1. Przykłady basenów pasywnych	70

4.1.1. Przykład basenu pasywnego poza granicami Polski – Lippe Bad Lünen	70
4.1.2. Przykład basenu pasywnego poza granicami Polski - Bambados	76
4.1.3. Przykład basenu pasywnego na terenie Polski – basen w Siemiatyczach	82
4.2. Wnioski z badań istniejących basenów pasywnych	89
V. Badania wybranych budynków różnych funkcji pod kątem pasywności	95
5.1. Porównanie standardów badanych budynków	103
5.2. Układ funkcjonalny badanych obiektów	106
5.3. Doświetlenie światłem naturalnym	112
5.4. Elewacje obiektów	113
5.5. Proporcje obiektów	115
5.6. niespójności badanych budynków z określonym standardem pasywności	117
5.7. Porównanie architektoniczne obiektów o wybranych standardach pasywności - aspekty fizyczne.	118
5.7.1. Komfort użytkowania (Tabela 15.)	118
5.7.2. Temperatura (Tabela 16.)	119
5.7.3. Światło naturalne (Tabela 17.)	121
5.8. Porównanie architektoniczne – aspekty estetyczne	122
5.8.1. Kształt (Tabela 18.)	122
5.8.2. Kolor (Tabela 19.)	124
5.9. Porównanie architektoniczne – elastyczność budynku	124
5.9.1. Zmiana funkcji (Tabela 20.)	124
5.10. Podsumowanie – porównanie architektoniczne	125
5.11. Wnioski z badań (Tabela 22.)	126
VI. Badania wariantów modelu referencyjnego obiektu basenowego	136
6.1. Warianty wykonania niecki basenowej nie mające wpływu na obliczenia pasywności, ale przekładające się na atrakcyjność obiektu.	136
6.2. Warianty wykonania filtracji basenowej nie mające wpływu na obliczenia pasywności, ale przekładające się na oszczędności.	136
6.3. Warianty źródeł energii mające wpływ na pasywność	137
6.4. Warianty obliczeniowe modelu referencyjnego obiektu basenowego mające wpływ na pasywność – kalkulacje sporządzone w pakiecie PHPP	138
6.4.1. Lokalizacja	138
6.4.2. Izolacja przegród zewnętrznych	143
6.4.3. Przykładowe mostki termiczne – zacinienie okien	146
6.4.4. Wprowadzenie zieleni w otoczenie budynków – zacinienie od obiektów zewnętrznych	150

6.4.5. Szczelność powłoki budynku	165
6.4.6. Pasywne wykorzystanie energii słonecznej	166
6.4.7. Zróżnicowanie bryły obiektu	169
6.5. Wnioski z badań wariantów modelu obiektu referencyjnego basenowego	171
VII. Podsumowanie	183
VIII. Bibliografia	190
8.1. Pozycje książkowe i czasopisma	190
8.2. Dokumenty prawne	201
8.3. Normy	202
8.4. Ważniejsze strony internetowe oraz inne materiały	203
IX. Spis tabel	205
X. Spis rysunków	207
XI. Spis załączników	211
XII. Streszczenie	213

Wstęp

I. Wstęp	7
1.1. Wprowadzenie	7
1.1.1. Określenie tematu i uzasadnienie potrzeby jego podjęcia	9
1.1.2. Definicje	11
1.2. Przedmiot i zakres pracy	13
1.2.1. Przedmiot badań	14
1.2.2. Zakres badań	16
1.2.3. Czas badań	16
1.2.4. Obszar badań	17
1.3. Stan badań	17
1.4. Cele badawcze i teza pracy	20
1.5. Metody badań	22
1.5.1. Metody przyjęte w badaniach in situ obiektów istniejących	23
1.5.2. Metody przyjęte w opisie badanych obiektów istniejących	24
1.5.3. Opis prowadzenia badań przy użyciu kamery termowizyjnej	27
1.5.4. Autorska mieszana metoda badawcza	28
1.5.5. Założenia badań wykonanych w PHPP	34
1.6. Układ pracy	35



Rysunek 1. Wnętrze basenu pasywnego w Siemiatyczach (fotografia Autorki).

I. Wstęp

1.1. Wprowadzenie

Aby móc funkcjonować, ludzie muszą zaspokajać podstawowe potrzeby. Zgodnie z założeniami piramidy potrzeb Masłowa najbardziej podstawowe są potrzeby biologiczne i fizyczne, do których zalicza się schronienie [Dholakia-Lehenbauer et al 2012]. Pierwszymi schronieniami były naturalne formacje [Ching 1996], takie jak jaskinie czy ziemianki. Nawet w tak prymitywnych siedzibach dbano o komfort i jakość powietrza [Lefort et al 2021]. Gdy spełnione są najbardziej podstawowe potrzeby fizjologiczne, można myśleć o bardziej zaawansowanych potrzebach psychologicznych. W czasach nowożytnych możliwe jest rozwijanie się, samorealizacja oraz osiąganie statusu społecznego, między innymi, poprzez posiadanie prestiżowego budynku. Obecnie, w czasach, gdy ekologia ma wielkie znaczenie, ponadprzeciętne budynki zużywają mało energii odpowiadając potrzebom współczesnego społeczeństwa poprzez dbałość o środowisko [Alders 2016], [Taleghani et al 2013], [Gruber 2011], [van Ellen 2019], [Harvey et al 2014].

W XXI wieku świat mierzy się z wieloma kryzysami, począwszy od zdrowotnego, jakim jest np. pandemia COVID-19, poprzez ekonomiczny, do ekstremalnych zmian klimatycznych i środowiskowych spowodowanych zanieczyszczeniem powietrza. Przyszłość naszej planety jest zagrożona, dlatego też Komisja Europejska opracowała plan redukcji krytycznego problemu, jakim jest emisja dwutlenku węgla. Między innymi zakłada on budowanie obiektów energooszczędnych oraz ograniczanie ich negatywnego wpływu na środowisko. Zgodnie z komunikatem Komisji Europejskiej wymagana jest redukcja emisji gazów cieplarnianych do 2030 roku o minimum 55% w porównaniu z emisją z 1990 roku [17.9.2020 COM 2020 562 final].

Sektor przemysłu budowlanego jest odpowiedzialny za 40% emisji całkowitej ilości dwutlenku węgla i zużywa jedną trzecią globalnej energii końcowej. W 2019 roku zaobserwowano ekstremalne warunki klimatyczne, które doprowadziły do szczytu emisji dwutlenku węgla (10FCO_2). Spowodowane to było wzrostem rocznego zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania i chłodzenia [International Energy Agency 2021], [Ford 2001], [Flynn 2016], [Schiano-Phan 2010], [Pylysy et al 2020], [Lin et al 2021], [Piccardo et al 2020], [Dz. U. 05.203.1684]. Aby dostosować się do zmian klimatycznych, w których występują nie tylko mroźne zimy, ale również ekstremalnie gorące okresy letnie, konieczne jest znalezienie rozwiązania budowlanego, które będzie energooszczędne. Nie tylko będzie zużywać minimalną ilość energii potrzebnej do ogrzewania i chłodzenia, będzie również ograniczać zużycie energii elektrycznej potrzebnej do obsługi tego obiektu. Będzie wykorzystywać rozwiązania chroniące przed przegrzewaniem, które ma negatywny wpływ na zdrowie ludzi i jest obserwowane nawet w klimacie umiarkowanym (między innymi w Wielkiej Brytanii, Szkocji, czy Nowej Zelandii) [Beizaee et al 2013], [Morgan et al 2017], [Lomas et al 2017], [Hajat et al 2014].

Architekci powinni projektować budynki o niskim zapotrzebowaniu na energię potrzebną do ogrzewania i chłodzenia, które nie przegrzewałyby się latem. Ochrona przed przegrzewaniem nie powinna opierać się na skomplikowanych urządzeniach zaawansowanej technologii, które pochłaniają dużo energii, ale na rozwiązaniach budownictwa pasywnego. Projektowane budynki powinny być zrównoważone [Voelcker 1999] ekonomicznie, społecznie oraz środowiskowo [Purvis et al 2019], [Ghisellini et al 2016]. Wymienione wyżej trzy filary definiują zrównoważony rozwój [Hrivnak 2007]. Nacisk kładzie się na ekonomikę użytkowania w całym cyklu życia budynku. Wszystkie powyższe działania prowadzą do redukcji emisji dwutlenku węgla. Najbardziej wskazanym działaniem, jest zastosowanie rozwiązań, które nie wymagają skomplikowanych systemów technologicznych, lecz mogą być projektowane przy użyciu rozwiązań opartych na prawach fizyki budowli i cechach materiałów budowlanych. Przykładem takich rozwiązań jest standard budownictwa pasywnego, opracowany w instytucie w Darmstadt [Feist et al. 2006a].

Specyficznymi obiektami są kryte baseny, które wymagają dużych nakładów finansowych zarówno na etapie budowy, jak i podczas użytkowania. Baseny sportowe oraz przyszkolne pływanie utrzymywane są z podatków. Koszty ogrzewania takich obiektów są znaczne, ze względu na konieczność utrzymywania wysokiej temperatury powietrza na hali basenowej i w szatniach. Temperatura powietrza komfortowa dla osób nieubranych i o wilgotnej skórze na hali basenowej powinna się zawierać w przedziale $27^{\circ}\text{C} - 32^{\circ}\text{C}$, a w szatniach i natryskach w przedziale $24^{\circ}\text{C} - 26^{\circ}\text{C}$ [Sokołowski 1998]. Dodatkowe koszty związane są ze zużyciem energii elektrycznej na potrzeby technologii wody basenowej oraz jej podgrzaniem. Temperatura wody basenowej w basenach pływackich, do nauki pływania i do skoków powinna zawierać się w przedziale $27^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$, w basenach dla dzieci powinna zawierać się w przedziale $30^{\circ}\text{C} - 32^{\circ}\text{C}$, w basenach typu terapeutycznego powinna zawierać się w przedziale $32^{\circ}\text{C} - 36^{\circ}\text{C}$ [Sokołowski 1998]. Niekontrolowane przenikanie ciepła przez okna i przegrody powoduje nie tylko straty finansowe związane z koniecznością dodatkowego ogrzewania, w celu pokrycia strat, ale może prowadzić również do uszkodzenia obiektu przez wewnętrzne zawilgocenie przegród. W związku ze zwiększonym zużyciem energii, zwiększa się nie tylko koszt użytkowania obiektu, ale również ilość emisji dwutlenku węgla. Dlatego też tak istotne jest maksymalne obniżenie zużycia energii w obiektach basenowych.

W obiektach użyteczności publicznej około 20% kosztów cyklu życia budynków to koszty inwestycji, a pozostałe 80%, to koszty eksploatacyjne. W przypadku krytych pływalni udział ten nieco się zmienia. Wskazuje się, że około 10% to koszty inwestycji, a 90% stanowią dla nich koszty eksploatacji. Bazując na danych rynku niemieckiego, z 2011 roku wyliczono, że w projektach średniej wielkości pływalni, koszty inwestycji opiewały na 14 mln EURO. Dla przyjętych 40 lat okresu użytkowania i rocznym wzroście kosztów założonym jedynie na poziomie 1,95%, koszty rozbiórki oszacowano na 0,6 mln EURO. Obliczono, że nawet przy 1%

oszczędności kosztów operacyjnych, zyskałoby się 1,3 mln EURO redukcji kosztów cyklu życia [Ahrens et al. 2011]. Stanowi to istotny zysk.

Na zagadnienia oszczędności w budownictwie patrzy się zwykle jedynie przez pryzmat materiałów i technologii budowlanych zastosowanych w obiekcie. Jednakże, istotną kwestią, którą również trzeba wziąć pod uwagę jest komponent architektoniczny, tektonika obiektu, jego relacja z otaczającym środowiskiem. Obiekty basenowe stanowią tu szczególne wyzwanie.

1.1.1. Określenie tematu i uzasadnienie potrzeby jego podjęcia

Praca traktuje o realizacji obiektów basenowych w nurcie architektury pasywnej. Celem pracy jest określenie zbioru konwergentnych rozwiązań i zasad projektowych w formie wytycznych do projektowania dla szczególnego rodzaju obiektów, jakimi są pasywne obiekty basenowe na rynku polskim. Praca prezentuje rozwiązania, które można wykorzystać w projektowaniu skomplikowanych obiektów, jakimi są pasywne baseny kryte. Wypracowane zalecenia projektowe korzystnie wpływają na obniżenie kosztów eksploatacji tych obiektów bez utraty ich cech funkcjonalnych. Koszty eksploatacji basenów krytych w znacznej mierze generowane są wielkością zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzania obiektu. W strefie hali basenowej, pomieszczeń natrysków i szatni niezbędne jest utrzymywanie stosunkowo wysokiej temperatury wewnętrznej powietrza i wody basenowej przez cały rok. Aby uniknąć ewentualnego przegrzania budynku latem korzystne jest, ze względów ekonomicznych, zastosowanie w tej strefie odpowiednich rozwiązań pasywnych.

Ze względu na większą świadomość społeczną oraz wyższy standard życia, Polacy w XXI wieku zaczęli żyć zdrowo. Coraz częściej, na ulicach, w parkach można zobaczyć osoby biegające, uprawiające Nordic Walking, czy inne dyscypliny sportu. W miastach i na wsiach tworzone są bezpłatne, ogólnodostępne, siłownie na wolnym powietrzu. Gminy i miasta prześcigają się w ofercie dla mieszkańców podnosząc standard życia. Wiele gmin decyduje się na budowę basenów, jednakże w późniejszym okresie borykają się z kosztami eksploatacji tych obiektów. Baseny stają się nierentownym obciążeniem budżetu. Nawet próby dofinansowań w celu zwiększenia ilości użytkowników i podniesienia przychodu tych obiektów nie są w stanie zbilansować kosztów poniesionych na eksploatację.

W Polsce zgodnie z danymi GUS w 2014 roku ogółem funkcjonowało 521 (w 2018 roku już 579) pozaszkolnych pływalni krytych oraz 236 basenów przyszkolnych. Dominują pływalnie o wymiarach 25 x 12,5 m lub większych stanowiąc 56,7% ich ogółu (w 2018 roku już 58,4%). Basenów krytych o wymiarach olimpijskich 50 x 25 m było 12 (w 2018 roku 13). Najwięcej pływalni zlokalizowanych było na Śląsku (16,5%, w 2018 roku już tylko 13,0%), Mazowszu (13,7%, w 2018 roku przybyło do 14,5%). Najmniej krytych basenów odnotowano w województwie lubuskim (1,8%, w 2018 roku było 1,7%) i podlaskim (2,8%, w 2018 roku miejsce o najmniejszej ilości basenów zajęło województwo zachodniopomorskie).

76,5% pływalni dostosowanych jest do potrzeb osób niepełnosprawnych. Większość tych obiektów powstała lub została poddana procesowi modernizacji po 2000 r. (77%) oraz po 2010 r. (48,9%). Krytych pływalni łącznie z przyszkolnymi, przypadało 0,2 na 10 tysięcy mieszkańców w 2014 jak i w 2018 roku [GUS 2015], [GUS 2019]. Dla porównania wg danych EUSA (European Union of Swimmingpool and SPA Associations – Europejskiego Zjednoczenia Związków Basenów oraz SPA) z roku 2009 we Francji było 1.4 mln basenów na 64 mln mieszkańców, co daje 218,75 basenów na 10 tysięcy mieszkańców, we Włoszech 200 tys. na 58 mln, co daje 34,48 basenów na 10 tysięcy mieszkańców, w Niemczech 800 tys. na 82.3 mln co daje 97,21 basenów na 10 tysięcy mieszkańców, w Wielkiej Brytanii 230 tys. na 60 mln mieszkańców co daje 38,33 basenów na 10 tysięcy mieszkańców, w Hiszpanii 1.112 mln na 44.7 mln co daje 248,77 basenów na 10 tysięcy mieszkańców [EUSA 2017]. Rynek zachodni z roku na rok ma tendencję zwyżkową.

Aby zwiększyć ilość basenów w Polsce, a co za tym idzie umożliwić szerszy do nich dostęp powstał program Dolnośląski Delfinek [MSiT 2017], [MSiT 2020 a], [MSiT 2020 b] promujący budowanie małych basenów przyszkolnych. O ile inne województwa podjęłyby podobne starania, dysproporcja pomiędzy krajami europejskimi, a Polską mogłaby się zmniejszyć. Celem programu było zachęcenie gmin i miast do budowania tego typu obiektów sportowych. Należy zwrócić uwagę, że obiekty te mogły być zaprojektowane i wybudowane z użyciem rozwiązań pasywnych. Umożliwiłoby to obniżenie zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania, co znacznie zredukowałoby koszty eksploatacji. Zastosowanie dodatkowych rozwiązań technologicznych, jak odzysk ciepła ze ścieków i wód popłucznych, zmniejszałoby zapotrzebowanie na energię potrzebną do podgrzania wody basenowej. Zastosowanie specjalnych, nowoczesnych sposobów filtracji wody basenowej z odzyskiem powodowałoby, że jej zużycie znacznie się obniżało.

Ekonomia rozwiązań pełni kluczową rolę w budownictwie pasywnym. Weryfikacji wymaga racjonalność wydatków i szybkość zwrotu kosztów inwestycji. Należy podkreślić, że największe oszczędności uzyskuje się na etapie eksploatacji, który to etap pochłania przeciętnie 95,38% kosztów w czasie życia budynku [Hnat 2011]. Koszty projektu oraz budowy basenów pasywnych będą wyższe, ale jest to koszt ponoszony jednorazowo, w krótkim czasie w stosunku do cyklu życia budynku. Należy też zauważyć, że europejski system dotacji inwestycyjnych obejmuje tylko budowę, pozostawiając koszty eksploatacji właścicielom obiektów.

W literaturze przedmiotu wyraźny jest brak rozeznania problematyki budownictwa pasywnego dla obiektów basenów krytych, co jest bezpośrednim przyczynkiem do podjęcia tematu. Dysertacja ma zapoczątkować badania dotyczące pragmatycznego architektonicznego kształtowania budynku basenu pasywnego oraz rozwiązań powiązanych.

Opracowanie winno dać odpowiedź na pytanie, jak należy projektować budynki basenów, aby ich eksploatacja była ekonomiczna, przy uszanowaniu potrzeb i oczekiwań jej użytkowników.

Praca w swym założeniu ma przyczynić się do wypracowania następujących regulacji:

- Wprowadzenie wytycznych do projektowania obiektów basenów krytych zawierających rozwiązania budownictwa pasywnego, czyli basenów konwergentnych pasywnie.
- Zalecenia obejmujące uzupełnienie obiektów pływalni o niezbędne urządzenia techniczne poprawiające oszczędność basenów konwergentnie pasywnych.

Budynki zrównoważone wywodzą się z jednego korzenia i dzielą na coraz bardziej dopracowane szczegółowe standardy. Nurt ekologiczny w architekturze, to projektowanie przyjazne środowisku naturalnemu - tworzenie zielonej architektury. Nurt ten polega na czerpaniu z rozwiązań opartych na przyrodzie (Nature -based Solutions). Wykorzystując proste zależności fizyczne pozwala uzyskać zauważalne korzyści oraz uniknąć zastosowania skomplikowanych, drogich elementów i urządzeń zaawansowanej technologii [Wines 2008].

Budynki basenów krytych są specyficzne i wymagają odrębnego podejścia przy projektowaniu zwłaszcza pasywnym. Żaden z opisywanych w niniejszej pracy standardów nie jest idealny w odniesieniu do projektowania basenów krytych. Instytut w Darmstadt dla tego typu budynków ustala indywidualne wymagania. Niniejsza praca nie ma na celu zmiany żadnego standardu budownictwa pasywnego. Wykorzystując założenia standardu pasywnego Darmstadt oraz standardu be2226 w niniejszej pracy opracowano wytyczne projektowe będące zbiorem optymalnych rozwiązań projektowych dla konwergentnie pasywnych obiektów basenów krytych wykonywanych w warunkach polskich.

1.1.2. Definicje

Poniżej podano ważniejsze sformułowania wraz z ich definicjami stosowane w niniejszej pracy.

Budynek pasywny – w niniejszej pracy określenie to służy do opisanie obiektu budowlanego wyposażonego w wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła, o zapotrzebowaniu na energię użytkową do ogrzewania i chłodzenia $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, współczynnika przenikania ciepła U dla przegród zewnętrznych $\leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, o zapotrzebowaniu na energię pierwotną $\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Wyjątki stanowią budynki wyposażone w technologię niezbędną do funkcjonowania obiektu, dla których zużycie energii pierwotnej jest na wysokim poziomie.

Architektoniczna konwergencja pasywna – rodzaj optymalizacji rozwiązań architektoniczno-budowlanych sprzyjających pasywności jako źródła ekonomiki eksploatacji obiektu bez narzucania konkretnych rozwiązań.

Basen konwergentnie pasywny – w niniejszej pracy to budynek, który został określony przez Instytut Budownictwa Pasywnego w Darmstadt jako basen pasywny, lub ma stosowną certyfikację Instytutu w Darmstadt (dla budynków zlokalizowanych

za granicą), lub uzyskał certyfikat budynku pasywnego Małopolskiego Centrum Budownictwa Energooszczędnego Politechniki Krakowskiej (dla obiektu zlokalizowanego w Polsce), który realizuje inny zestaw wymagań względem typowych budynków pasywnych. Są to budynki o różnym przeznaczeniu i strukturze, które wykorzystują elementy służące pasywności. Realizują więc ideę budownictwa pasywnego, ale przy koniecznych odstępstwach od standardu.

Standard pasywny Darmstadt – określa rozwiązania i warunki dla budownictwa energooszczędnego, o krańcowo niskim zapotrzebowaniu na energię potrzebną do ogrzewania. Ogrzewanie budynku powinno być realizowane za pomocą powietrza wentylującego budynek [Feist et al. 2006 a]. Wyjątki stanowią obiekty użyteczności publicznej o szczególnych warunkach środowiska wewnętrznego oraz obiekty, dla których przepisy prawne i normy stanowią inaczej. Konieczne jest spełnienie kryteriów budynku pasywnego, nie jest konieczne wykorzystanie wszystkich komponentów budownictwa pasywnego. Kryteriami budownictwa pasywnego są:

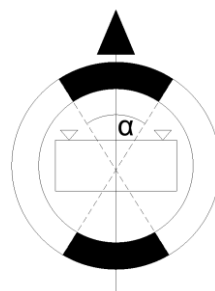
- zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania $EU_{co+w} \leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ lub obciążenie cieplne budynku $\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$;
- zapotrzebowanie na energię potrzebną do chłodzenia $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$;
- zapotrzebowanie na energię pierwotną $\leq 60 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii (do roku 2015 $\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bez wykorzystania odnawialnych źródeł energii). Wyjątki stanowią obiekty wyposażone w technologię zużywającą więcej energii pierwotnej, niezbędną do funkcjonowania obiektu;
- szczelność budynku $\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$;
- częstotliwość występowania nadmiernych temperatur (powyżej 25°C) $\leq 10\%$ godzin w roku.

Budynek energooszczędny – budynek, w którym zastosowano komponenty i zasady budownictwa pasywnego określonego przez standard pasywny Darmstadt, jednak który nie spełnił wszystkich kryteriów tego standardu, oraz nie uzyskał certyfikatu budownictwa pasywnego.

Standard be2226 - określa rozwiązania i warunki dla budownictwa energooszczędnego, o krańcowo niskim zapotrzebowaniu na energię potrzebną do ogrzewania. Polega na zastosowaniu pasywnych rozwiązań takich jak izolacyjne przegrody akumulujące ciepło w całym przekroju ściany. Źródło ogrzewania stanowi jedynie energia cieplna pochodząca od słońca, użytkowników, sprzętów oraz oświetlenia. Wentylację stanowią wywietrzniki - okna sterowane czujnikami zawartości dwutlenku węgla monitorującymi jakość powietrza wewnątrz obiektu.

Odchylenie budynku od kierunku północnego – bazując na zapisach normy [PN-B-01025:2004] punkt 3.2 „Oznaczenie zalecanej orientacji budynku ze względu na jego nasłonecznienie” określono definicję odchylenia budynku od kierunku północnego - jest to orientacja budynku względem kierunku północy określona za pomocą symbolu podanego, na rysunku obok (Rys. 2.). Wyróżniony na tym symbolu kąt α określa odchylenie osi budynku

od kierunku północnego z uwagi na nasłonecznienie poszczególnych pomieszczeń budynku.



Rysunek 2. Symbol orientacji budynku względem kierunku północy zgodnie z normą [PN-B-01025:2004].

Lokalizacja funkcji podstawowej danego obiektu **względem stron świata** – określenie do której elewacji (zwróconej w którą stronę geograficznego kierunku głównego lub pośredniego) przylega funkcja podstawowa obiektu.

Wskaźnik zapotrzebowania na energię pierwotną – zgodnie z ustawą o charakterystyce energetycznej budynków [Dz.U. 2014 poz. 1200] określa roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną, a jego wartość określa Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. W sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późn. zm.].

Zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania – zgodnie z normą Energetyczne właściwości użytkowe budynków [PN-EN ISO 52016-1] punkt 3.4.3 jest to ciepło, które ma być dostarczane do pomieszczenia o określonych warunkach cieplnych w celu utrzymania zadanej temperatury, w danej przestrzeni, w zadanym przedziale czasowym.

Przeciąg – silny prąd powietrza przepływający przez pomieszczenie, na przykład, gdy okna otwarte są na przestrzał. Również prąd konwekcyjny powstający w pomieszczeniu o znacznej różnicy temperatur. Ciepłe powietrze unosi się do góry, a zimne powietrze opada na dół. Przeciąg jest wynikiem różnicy ciśnień i temperatur pomiędzy wnętrzem i zewnętrzem.

1.2. Przedmiot i zakres pracy

W Polsce konieczne jest sporządzanie charakterystyk energetycznych dla budynków projektowanych oraz świadectw jakości energetycznej istniejących fizycznie budynków potwierdzających ich parametry energetyczne. Obecne przepisy prawne coraz większą wagę przykładają do zagadnień związanych z energooszczędnością budynków. Elementy budowlane muszą wykazywać się odpowiednimi parametrami fizycznymi, spełniającymi wymogi energooszczędności. Te regulacje są jedynie minimalnymi wymaganiami, które musi spełnić budynek

i jego części składowe. Możliwe jest zastosowanie dodatkowych rozwiązań, które podniosą energooszczędność budynku, oraz będą korzystne zarówno inwestycyjnie, jak i eksploatacyjnie.

1.2.1. Przedmiot badań

Przedmiotem badań jest nurt konwergentnej architektury pasywnej w realizacji obiektów basenowych. Ponieważ budowa basenów krytych wiąże się z zastosowaniem w nich wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła, co jest podstawą standardu Darmstadt, autorka uznała to za przyczynek do skierowania swej uwagi na badania związków basenów krytych i budynków pasywnych, szczególnie, że zrealizowanych obiektów łączących te zagadnienia jest bardzo mało. Dodatkowo analiza literatury wykazała, że badania na ten temat wypełniłyby znaczącą lukę w opracowaniach dotyczących obiektów pasywnych. Badaniom poddano wszystkie zrealizowane baseny pasywne. Na świecie istnieją tylko dwa baseny pasywne zlokalizowane w Niemczech, jeden określony jako basen pasywny przez Instytut w Darmstadt, a drugi certyfikowany przez ten Instytut oraz tylko jeden basen pasywny zlokalizowany w Polsce mający certyfikat budynku pasywnego wydany przez Małopolskie Centrum Budownictwa Energooszczędnego Politechniki Krakowskiej.

Obiekty basenowe wchodziły przeważnie w skład multikompleksów różnych funkcji, o różnej charakterystyce, zależnie od rodzaju strefy. Dlatego zakres badanych obiektów poszerzono poza wyłącznie obiekty basenowe. Do badań wybrano więc baseny kryte oraz obiekty użyteczności publicznej o funkcjach, które najczęściej uzupełniają funkcję basenową w celu ich uatrakcyjnienia, bądź są konieczne do prawidłowego działania obiektu.

Badaniom poddano budynki konwencjonalne – kryte pływalnie z programu Dolnośląski Delfinek, które ze względu na powtarzalność rozwiązań oraz określone parametry, możliwe do porównania, pozwoliły na opracowanie modelu obiektu referencyjnego poddanego obliczeniom w programie PHPP.

Autorka jest świadoma szerokiego zakresu przykładów budynków pasywnych, jednakże celowo zdecydowała o ograniczeniu się do polskich przykładów obiektów pasywnych użyteczności publicznej wykonanych w standardzie Darmstadt, by wydobyć cechy polskich uwarunkowań.

Budynki pasywne wybrane do przeprowadzenia badań zlokalizowane w Polsce, opisywane w dokumentacjach projektowych oraz doniesieniach prasowych jako pasywne, to budynki, które charakteryzują się zapotrzebowaniem na energię użytkową do ogrzewania i chłodzenia $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, współczynnikiem przenikania ciepła U dla przegród zewnętrznych $\leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, o zapotrzebowaniu na energię pierwotną $\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Wyjątki stanowią budynki wyposażone w technologię niezbędną do funkcjonowania obiektu, zużywającą więcej energii pierwotnej, które są wyposażone w wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła.

Podczas przeprowadzania badań dokumentacji projektowych okazało się, że niektóre z budynków zaprojektowanych w standardzie pasywnym Darmstadt nie spełniają wyżej wymienionych założeń, w związku z czym przypisano je do budynków energooszczędnych.

Zbadano również przykład prototypowego budynku zlokalizowanego w Austrii. Jest to tak zwany obiekt sprytny – budynek be2226 jest on przykładem bardzo ciekawego nurtu architektury pasywnej, którego przeanalizowanie pozwoliło na wskazanie możliwości implementacji nowego podejścia do projektowania pasywnego, również w kontekście pasywnych budynków basenowych.

Na terenie kraju działa Polski Instytut Budownictwa Pasywnego i Energii Odnawialnej im. Güntera Schlagowskiego. Przenosi on założenia działające sprawnie w Darmstadt, w Niemczech na rynek polski.

Przykładami krytej pływalni wybudowanej w standardzie budownictwa pasywnego Darmstadt są: obiekt basenu krytego Lippe Bad Lünen [Tchoban Voss Architekten, 2017] oraz basen Bambados, zlokalizowane w Niemczech. Zostały wybudowane w 2011 roku i nadal funkcjonują. Kolejnym przykładem jest obiekt basenu krytego zlokalizowany w Siemiatyczach w Polsce, zaprojektowany w standardzie budynku pasywnego Darmstadt, wybudowany w 2020 r. Budynek ten nie miał przeprowadzanej pełnej procedury uzyskiwania certyfikacji Darmstadt, ale uzyskał certyfikat budynku pasywnego Małopolskiego Centrum Budownictwa Energooszczędnego Politechniki Krakowskiej. Na przykładzie tych obiektów zostanie wykazana przewidywana oszczędność na etapie eksploatacji.

Krokiem dalej w rozwoju budownictwa pasywnego jest standard be2226, to budynek sprytny, semiaktywny bądź semipasywny, czasem zwany hybrydowym, który nie wymaga konwencjonalnego ogrzewania, klimatyzacji czy wentylacji mechanicznej. Koncepcja zakłada dobrze izolowaną obudowę zewnętrzną budynku, w której następuje przepływ ciepła. Istotą jest też otwarty plan pomieszczeń i konstrukcji, który może być dostosowywany do każdej funkcji. Nacisk w tej metodzie położono na pojemność termiczną obudowy budynku. Przy dużej pojemności termicznej przegród zewnętrznych przepływ ciepła jest zredukowany. Budowanie w ten sposób obniża przegrzewanie się budynku, gdyż ciepło akumulowane jest w przegrodach budowlanych w całym przekroju ściany, co jest utrudnione w obiektach ocieplonych styropianem czy wełną mineralną. W budynkach be2226 ściana zewnętrzna składa się z dwóch warstw wysoko termoizolacyjnych bloczków ceramicznych. Metoda ta zakłada również wietrzenie obiektu oknami sterowanymi czujnikami dwutlenku węgla w powietrzu wewnętrznym [Eberle (red.) 2016]. Rzetelne określenie potrzeby wietrzenia polega na metodzie detekcji dwutlenku węgla oraz badaniu aktywności użytkowników w poszczególnych pomieszczeniach [Spataru et al 2014].

1.2.2. Zakres badań

W pracy przedstawione zostały przykłady budynków: konwencjonalnych, energooszczędnych, pasywnych oraz sprytnego – be2226.

Szczegółowe studia dotyczące wybranych obiektów istniejących różnych funkcji i standardów pod kątem pasywności, dla udowodnienia tezy pracy, prowadzone będą w następujących zakresach:

- układu funkcjonalnego
- doświetlenia światłem naturalnym
- cech elewacji
- proporcji
- komfortu użytkowania
- temperatury
- kształtu
- koloru
- możliwości zmiany funkcji
- porównania architektonicznego obiektów w aspektach fizycznych
- niespójności z określonym standardem pasywności

Szczegółowe studia dotyczące wariantów przyjętego modelu obiektu referencyjnego, prowadzone będą w następujących zakresach:

- wariantowości wykonania niecki basenowej
- wariantowości wykonania filtracji basenowej
- wariantowości zastosowanych źródeł energii

Szczegółowe studia dotyczące kalkulacji wariantów przyjętego modelu obiektu referencyjnego, prowadzone będą w następujących zakresach:

- lokalizacji
- izolacji przegród zewnętrznych
- przykładowych mostków termicznych
- zacienienia
- szczelności powłoki
- pasywnego wykorzystania energii słonecznej
- zróżnicowania bryły.

1.2.3. Czas badań

Zakres czasowy pracy określono zgodnie z czasem powstania pierwszych budynków pasywnych w latach dziewięćdziesiątych XX wieku do dzisiaj tj. od roku 1990 do 2023 roku. Najstarsza dokumentacja projektowa, przebadanych obiektów, datowana jest na początek XXI wieku. Czas badań obejmuje zarówno projekt, realizację oraz funkcjonowanie wybranych i przebadanych obiektów. Budownictwo pasywne użyteczności publicznej, w standardzie Darmstadt, jest

w Polsce nowością. Pierwsze obiekty powstały około 2009 roku. Baseny pasywne zlokalizowane w Niemczech są wybudowane w okresie od około 2011 roku.

Badania *in situ* prowadzono w latach 2020-2021. Nie bez znaczenia było to, że czas badań przypadł na okres pandemii COVID-19, to utrudniało ich wykonywanie.

1.2.4. Obszar badań

Badaniami objęto obszar całej Polski. Kwerenda źródeł wykazała, że pasywne budynki użyteczności publicznej występują głównie w południowej części kraju. Badania rozszerzono o dwa obiekty zlokalizowane w Niemczech oraz jeden zlokalizowany w Austrii. Lokalizację badanych obiektów pokazuje Rysunek 3.



Rysunek 3. Lokalizacja badanych obiektów budowlanych (opracowanie własne).

1.3. Stan badań

Każde zmniejszenie zużycia energii obniża emisję dwutlenku węgla. Badania Chiara Piccardo, Ambrose Dodoo oraz Lief Gustavssona [Piccardo et al 2020] wskazują, że możliwe jest zmniejszenie ekwiwalentu CO₂ o ponad 50% dostosowując budynek do odpowiedniego standardu budynku pasywnego. Korzystne jest zatem implementowanie zasad zrównoważonego rozwoju oraz ekologii do projektów obiektów basenowych, które wymagają znacznej ilości energii, co przekłada się na ślad CO₂.

Dbłość o środowisko naturalne powoduje, że świadomi architekci skłaniają się w kierunku rozwiązań energooszczędnych. Tematykę energii podejmują między innymi zreszczenie „2030 architecture”, której inicjatorem jest Edward Mazra. Światowej sławy architekci, jak Daniel Libeskind, Ken Yeang, Nicholas Grimshaw, Stefan Behling udzielali wywiadów w cyklu wykładów ArchDaily zatytułowanych „Architecture and Climate”. Popularyzowaniem architektury energoaktywnej zajmuje się między innymi Anna Bać [Bać red. nauk. 2020] promując kwestie energii w architekturze. Zaangażowana jest w prace łączące systemy solarne wraz z magazynami energii w aspekcie wkomponowania instalacji w bryłę obiektu [Bać et al 2019], [Nemś et al. 2018]. Praca Elżbiety Ryńskiej opisuje przyjazne środowisku metody projektowania i budowania, stanowiące ważny element zrównoważonego rozwoju [Ryńska 2001].

Tematyka budownictwa pasywnego w Polsce zdobywa coraz większą popularność za sprawą kryzysu klimatycznego. Budownictwo pasywne jest stosunkowo nową dziedziną wiedzy – pierwsze budynki pasywne w standardzie Darmstadt powstały w latach dziewięćdziesiątych XX wieku [PIBP 2016].

Właściwe pierwszym „domem” pasywnym zbudowanym w 1892 roku, a oddanym do eksploatacji w 1893 roku, był statek polarny (badawczy) Fram, który Fridtojf Nansen opisywał w następujący sposób: *„ściany pokryte są smołowanym filcem, na to położono pokrycie korkowe, na to z kolei deski jodłowe, potem znowu gruba warstwa filcu, następnie szczelne powietrznie linoleum i znów deskowanie, Stropy mają tu łącznie około 40cm grubości. Okna, przez które chłód szczególnie łatwo mógłby się dostać do środka chronione są przez potrójne przeszklenie i dodatkowe ocieplenie. Wewnątrz jest przyjemnie i ciepło. Niezależnie czy na zewnątrz jest minus 5° C czy minus 30° C, u nas w piecu nie mamy ognia. Wentylacja jest bardzo dobra, ponieważ dzięki wentylatorowi mamy ciągle świeże zimowe powietrze. Zastanawiam się dla tego nad tym, czy nie kazać usunąć całkiem pieca, tylko przeszkadza”* [Nansen 1893]. Konstrukcja statku Fram stała się inspiracją dla idei budynków pasywnych.

Dbłość o środowisko oraz ograniczenie kosztów eksploatacji przyczyniły się do rozwoju budownictwa pasywnego. Zagadnienie to łączy interdyscyplinarne dziedziny: projektowania architektonicznego, budowlanego, instalacyjnego, fizyki budowli, nauk społecznych, nauk ekonomicznych oraz sportu.

Skupiono się na budynkach pasywnych w standardzie Darmstadt, ponieważ takie budynki wciąż są rzadkością, mimo że charakteryzują się zapotrzebowaniem na energię potrzebną do ogrzewania obniżonym o około 80-90% w stosunku do obiektów konwencjonalnych. Koszt wykonania obiektu pasywnego w stosunku do konwencjonalnego, szacuje się, że jest tylko 5-10% wyższy [Schnieders et al 2001]. Pasywne budynki użyteczności publicznej sprawdzają się na całym świecie [Peper et al 2007]. Szeroko opisywane są obiekty użyteczności publicznej, takie jak szkoły [Wang et al 2019], obiekty biurowe [Peper et al 2017], obiekty opieki zdrowia [Kah et al 2013], [Sun et al 2020]. W Niemczech powstały dwa pasywne obiekty basenowe, są to Lippe Bad Lünen [Peper et al 2013] oraz Bambados

[Gollwitzer et al 2015]. W Polsce powstał tylko jeden pasywny obiekt basenowy – w Siemiatyczach.

Promocją i certyfikacją budynków pasywnych w Polsce zajmuje się Polski Instytut Budownictwa Pasywnego i Energii Odnawialnej imienia Güntera Schlagowskiego. Pierwszy budynek pasywny, który został opomiarowany i przebadany po wybudowaniu to mieszkaniówka niskiej intensywności Kranichstein Darmstadt [Feist 2005]. Certyfikacje budynków pasywnych wystawiane są również przez Małopolskie Centrum Budownictwa Energooszczędnego Politechniki Krakowskiej oraz Dolnośląską Agencję Energii i Środowiska zlokalizowaną we Wrocławiu.

W Polsce jest stosunkowo niewiele obiektów użyteczności publicznej będących budynkami pasywnymi w rozumieniu standardów Darmstadt. W pracy przebadano większość tego typu obiektów. Problem z dokładnym określeniem ilości takich budynków polega na braku ich certyfikacji. Największy odsetek obiektów pasywnych na całym świecie stanowią budynki mieszkalne niskiej intensywności.

Tematyką basenową i architekturą akwaticzną zajmuje się Zbyszko Bujniewicz, jednakże nie porusza on kwestii pasywności tych obiektów [Bujniewicz 2015]. Baseny kryte są bardzo ważnym elementem struktury sportowej oferowanej przez miasto czy gminę. Dzięki zastosowaniu rozwiązań budownictwa pasywnego możliwe jest powstanie energooszczędnych pływalni krytych. Wyższa świadomość użytkowników oraz inwestorów wzmacnia dbałość w zakresie rozwiązań ekonomicznych i technicznych projektowanych i budowanych obiektów.

Bardzo ważną i szeroką dokumentację dotyczącą budownictwa pasywnego posiadają Niemcy. Na rynku polskim również widać analizę tego problemu. W Polsce osobami zajmującymi się budownictwem pasywnym są między innymi Edward Szczechowiak, Andrzej Górka, Łukasz Amanowicz z Instytutu Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej, gdzie funkcjonuje Centrum Budownictwa Pasywnego Politechniki Poznańskiej, utworzone w roku 2007 [CBPPP 2017]. Budownictwem energooszczędnym zajmuje się również Małopolskie Centrum Budownictwa Energooszczędnego Politechniki Krakowskiej, gdzie ekspertem merytorycznym jest Marcin Furtak. Zajmuje się on między innymi budownictwem energooszczędnym i zrównoważonym ekologicznie.

Przegląd dostępnych materiałów nasuwa jednak wniosek, iż budynki pływalni krytych były dyskutowane jedynie na podstawie przykładu basenu Lippe Bad Lünen oraz Bambados. Dostępna jest publikacja "Integrale Planung für die Realisierung eines öffentlichen Hallenbades mit Konzepten der Passivhaustechnologie" (Integralne projektowanie dla urzeczywistnienia koncepcji publicznego krytego basenu z koncepcjami technologii domu pasywnego), Lünen, Grudzień 2011 [Ahrens et al 2011, za Integrale Planung... 2011].

Badania istniejących obiektów pasywnych ukazały niedoskonałości tego standardu. Między innymi zwrócono uwagę na przegrzewanie się tych obiektów

w okresach letnich oraz niewystarczającą jakością powietrza dostarczaną przez wentylację mechaniczną [Goncalves et al 2021], [Gourlis et al 2017], [Kisilewicz et al. 2015], [Sepúlveda et al. 2020]. Równie szeroko opisywano również syndrom chorego budynku [Ah-Young et al 2021], [Ben-David et al 2016], [Baker 1996], [Heyman 1999], [Ramirez-Figueroa et al 2020], [Cook 1997]. Stąd też należy bardzo dokładnie projektować tego typu obiekty i uczyć się na błędach. Obiecujący w tym względzie wydaje się nowy standard – be2226 [Eberle (red.) 2016].

Pasywne baseny kryte Lippe-Bad w Lünen i Bambados w Bambergu zostały zbudowane w oparciu o koncepcje z "Podstawowego badania fizycznych i technicznych warunków realizacji koncepcji domu pasywnego w publicznych krytych pływalniach" autorstwa Passive House Institute (PHI) z 2009 roku [Schulz et al. 2009]. Badanie obiektu w Lippe-Bad zostało zainicjowane przez Bädergesellschaft Lünen i dofinansowane przez Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU). Budowie towarzyszył projekt "Integralne planowanie realizacji publicznego krytego basenu w koncepcji technologii domu pasywnego" [Ahrens et al 2011]. To opracowanie projektowe wykonano na zlecenie Bädergesellschaft Lünen, a finansowano przez DBU. Kryta pływalnia została otwarta we wrześniu 2011 roku. W celu zweryfikowania danych zawartych w projekcie z wartościami rzeczywistymi przeprowadzono monitoring naukowy (finansowany przez Federalne Ministerstwo Środowiska, Ochrony Przyrody i Bezpieczeństwa Nuklearnego, BMU). Związany z tym raport końcowy z monitoringu został przedstawiony w sierpniu 2013 roku [Peper et al. 2013].

Równolegle do basenu w Lünen, powstawał drugi kryty basen pasywny Bambados zlokalizowany w Bambergu. Instytut Budownictwa Pasywnego (Passive House Institute – PHI) towarzyszył w fazie projektowania i badał obiekt w pierwszych latach eksploatacji. Raport z monitoringu tego basenu został zakończony na początku września 2015 roku [Gollwitzer et al 2015].

Z przeprowadzonych studiów wynika, że do chwili obecnej nie powstała pozycja opisująca baseny pasywne w standardzie Darmstadt pod kątem architektury tych obiektów. Większość badań skupia się na fizyce budowli lub na zakresie związanym z zagadnieniami instalacyjnymi.

1.4. Cele badawcze i teza pracy

Istnieje wiele publikacji i badań dotyczących budownictwa pasywnego, zwanego również solarnym, jedynie część z nich dotyczy obiektów pasywnych w standardzie Darmstadt. Pozycji dotyczących basenów pasywnych w tym standardzie jest niewiele. Nie znaleziono pozycji zbiorczej dotyczącej basenów pasywnych w standardzie Darmstadt w kontekście zagadnień architektonicznych. Istnieją zaledwie trzy baseny pasywne zaprojektowane i wybudowane w standardzie Darmstadt. W tym jeden w Polsce.

W związku z powyższym **głównym celem badawczym** niniejszej pracy jest określenie potencjału możliwości przystosowania założeń budownictwa pasywnego w obiektach basenowych do warunków polskich, zachowując podstawowy cel – energooszczędność w cyklu życia.

Cel główny pozwala zrealizować cele pomocnicze takie jak:

- opracowanie optymalnych parametrów poszczególnych komponentów budynku
- opracowanie sposobu minimalizacji strat ciepła dzięki zabiegom architektonicznym

Dodatkowymi celami badań jest próba odpowiedzi na następujące pytania badawcze:

- Jak pasywność budynku basenu wpływa na jego estetykę?
- Czy zabiegi architektoniczne mogą wpływać pozytywnie na stopień pasywności obiektów basenowych?
- W jakim zakresie jest korzystne przystosowanie założeń budownictwa pasywnego w obiektach basenowych do warunków polskich?

Niniejsza praca, poza wartością naukową może być pomocna podczas projektowania pasywnych obiektów basenowych. Wskazuje na dobre praktyki i oferuje wytyczne projektowe w formie katalogu komponentów do projektowania basenów pasywnych wraz z proponowanymi zabiegami zmniejszającymi zapotrzebowanie obiektu na energię potrzebną do ogrzewania. Zastosowanie wskazówek zawartych w niniejszej pracy przełoży się na realne oszczędności zużycia energii, zmniejszenie kosztów utrzymania obiektu oraz zmniejszenie kosztów środowiskowych.

W niniejszej rozprawie postawiono następującą **tezę**:

Założenia standardów pasywnych są zbyt wygórowane dla obiektów basenów krytych. Konieczne jest opracowanie wytycznych projektowych dostosowanych do charakteru obiektów basenowych w polskich warunkach klimatycznych, dla zachowania podstawowego celu, jakim jest energooszczędność i niskie emisje w cyklu życia. Dzięki odpowiedniemu kształtowaniu formy architektonicznej można uzyskać wysokie parametry pasywności. Skala korzyści eksploatacyjnych i środowiskowych w projektowaniu basenów o cechach pasywnych zależy między innymi od rozwiązań architektoniczno-urbanistycznych. Architekci mogą elastycznie projektować konwergentne pasywnie obiekty basenowe przy zachowaniu indywidualnych cech estetycznych budynków i założonym modelu atrakcyjności, w którym straty ciepła generowane przez jeden komponent mogą być zrekompensowane przez atuty innego.

1.5. Metody badań

Zagadnienie projektu basenu krytego należy do kategorii obiektów o najwyższym stopniu skomplikowania. Świadczą o tym metoda ustalania honorariów za prace projektowe [IARP 2017] oraz rozporządzenie Ministra finansów z dnia 18 maja 2004 r. w sprawie określania metod i podstaw sporządzania kosztorysu inwestorskiego, obliczania planowanych kosztów prac projektowych oraz planowanych kosztów robót budowlanych określonych w programie funkcjonalno-użytkowym [Dz. u nr 130 poz. 1389]. Projektowanie takich obiektów należy zaliczyć do klasyfikacji wyższej, „w przypadku wymagań większych niż podstawowe, jeżeli projektowany obiekt łączy w sobie więcej niż jedną z funkcji opisanej w tabeli” do 6 kategorii złożoności. „Kategoria 6 — budynki o najwyższym stopniu skomplikowania funkcjonalnego, instalacyjnego i technologicznego, z wbudowanymi złożonymi konstrukcjami inżynierskimi, unikalnymi instalacjami i wyposażeniem, budynki o najwyższych wymaganiach co do standardu wykończenia i prestiżu [Dz. U. 2004 nr 130 poz. 1389].” Zastosowanie rozwiązań budownictwa pasywnego istotnie zwiększa skomplikowanie procesu projektowego obiektu basenu krytego. Zarówno Projektanci, jak i wykonawcy powinni posiadać niezbędną wiedzę i doświadczenie w wykonywaniu tego typu obiektów. Niniejsza praca ma na celu wykazanie, na przykładzie obliczeń wariantów modelu obiektu referencyjnego, wykonanych w pakiecie PHPP do obliczania obiektów pasywnych, że możliwe jest osiągnięcie korzystnych parametrów budynków basenowych. Przytoczone w opracowaniu metody badania – Blower Door Test oraz badania przy pomocy kamery termowizyjnej ukażą jakość rozwiązań budownictwa pasywnego oraz jakość wykonania obiektów pasywnych, wskazując na miejsca szczególnej uwagi przy realizacji eksploatacji takich budynków.

Metoda pracy wyodrębnia:

- analizę literatury pod kątem wpływu rozwiązań pasywnych na architektoniczne kształtowanie budynku;
- analizę obiektów istniejących pod kątem rozwiązań architektoniczno-budowlanych;
- porównanie obiektów wykonanych w różnych standardach od budynków konwencjonalnych, przez energooszczędne, pasywne do be2226;
- analizę przykładowych obliczeń wariantów modelu obiektu referencyjnego wykonanych w programie PHPP;
- analizę warunków prawnych i klimatycznych Polski wpływających na możliwości wykonania basenów w standardzie pasywnym;
- próbę określenia wpływu budownictwa pasywnego na jakość użytkowania – narracja użytkowników obiektów pasywnych;
- sformułowanie wytycznych i zaleceń projektowych.

W celu identyfikacji luki badawczej autorka wykonała przegląd 172 pozycji źródeł literaturowych dotyczących zgłębianego tematu.

1.5.1. Metody przyjęte w badaniach in situ obiektów istniejących

Do badań obiektów budowlanych użyto następujących metod i technik badawczych zgodnie z Tabelą 1. [Niezabitowska 2014]:

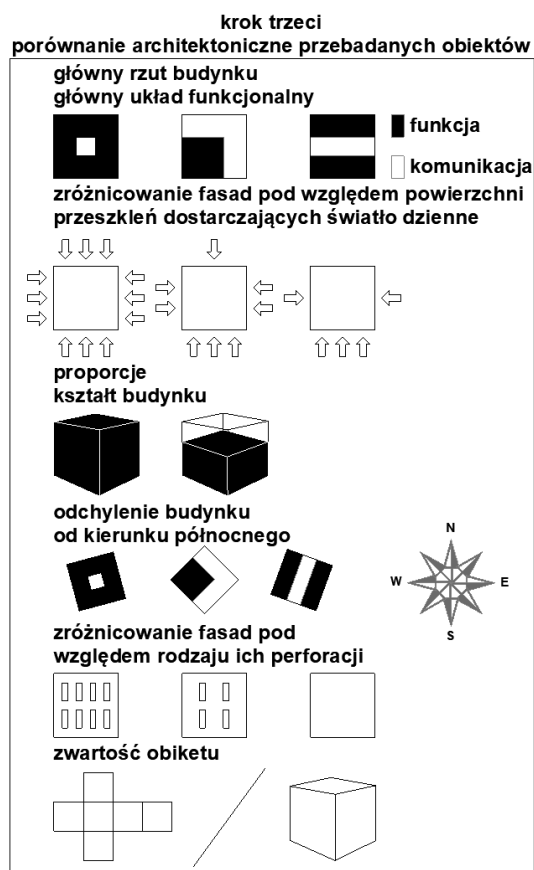
Tabela 1. Metody i techniki badawcze (opracowanie własne na podstawie [Niezabitowska 2014]).

Metody	Techniki
Eksperymentalna (badawcza)	Obserwacja, pomiary, techniki parametryczne.
Ilościowa i statystyczna	Pomiar, zliczanie elementów, analiza danych nieparametrycznych
Studium przypadku – badania <i>in situ</i>	ogłędziny badanego obiektu, analiza dokumentów, opis, wyjaśnienie, interpretacja, analiza porównawcza, pomiary, obserwacja, ankiety, wywiady

Autorka użyła sześciu kroków badawczych, które przedstawia poniższy diagram (Rys. 4.). W pierwszym kroku wybrane zostały cztery wskazane standardy, na których podstawie do końca jest prowadzona procedura.



Rysunek 4. Diagram kroków badawczych użytych w badaniach (opracowanie własne).



Rysunek 5. Trzeci krok badawczy – cechy architektoniczne pozwalające na osiągnięcie pasywności w budynku (opracowanie własne).

W ramach trzeciego kroku – porównania architektonicznego przebadanych obiektów, (zgodnie z Rysunkiem 5), autorka wyznaczyła do badania: główny układ funkcjonalny budynku – badając rzuty obiektów, doświetlenie światłem naturalnym przez otwory okienne, proporcje budynku, jego kształt, odchylenie budynku od kierunku północnego oraz określenie lokalizacji funkcji podstawowej danego obiektu względem stron świata, perforację fasad, zwartość obiektu.

1.5.2. Metody przyjęte w opisie badanych obiektów istniejących

Do opisu obiektów użyto następujących metod badawczych:

- logicznej argumentacji;
- analizy i logicznej konstrukcji;
- eksperymentalnej (badawczej);
- studium przypadku – badania *in situ*.

Zastosowano poniższe techniki badawcze [Niezabitowska 2014]:

- opis wraz z wyjaśnieniem;
- interpretację logiczną;
- komparystykę, skalowanie ocen;
- obserwację *in situ*;
- pomiar;
- ogląd obiektu;
- studia i analizy dokumentów;
- nieparametryczne analizowanie danych;
- przegląd źródeł literaturowych.

Wybrane obiekty zostały poddane badaniom określającym wpływ rozwiązań architektonicznych na energooszczędność budynku. Zbadano między innymi:

- usytuowanie budynku względem stron świata;
- rozmieszczenie przeszkleń – doświetlenie;
- forma i bryła obiektu – jego kształt;
- rozwiązania minimalizujące dodatnie mostki termiczne;
- układ przestrzenny;
- program funkcjonalny budynku.

Przebadano 31 obiektów budowlanych, w tym pięć budynków wykonanych w technologii tradycyjnej, jeden obiekt wykonany w standardzie be2226, trzy obiekty energooszczędne oraz dwadzieścia dwa budynki pasywne, w tym trzy baseny pasywne (Tabela 2.).

Tabela 2. Przebadane obiekty użyteczności publicznej w podziale na ich funkcje (opracowanie własne).

Przebadane obiekty użyteczności publicznej w podziale na ich funkcje	Budynki 2226	Budynki tradycyjne	Budynki energooszczędne	Budynki pasywne	łącznie
Baseny pasywne				3	3
Pływalnie programu Delfinek		5			5
Hale sportowe				6	6
Budynki biurowe	1			3	4
Przedszkola			2	3	5
Szkoły podstawowe			1	1	2
Ośrodki zdrowia				3	3
Hotele				1	1
Kluby ośrodków kultury				1	1
Budynki przemysłowe				1	1
ŁĄCZNIE	1	5	3	22	31

Przy wyborze budynków do analiz posłużono się kryterium:

1. funkcji – wybrano obiekty basenowe. Przebadano jedyne istniejące baseny pasywne. Dwa z nich firmuje Passive House Institut w Darmstadt, a jeden ma certyfikat pasywny Małopolskiego Centrum Budownictwa Energooszczędnego Politechniki Krakowskiej. Dla określenia modelu budynku referencyjnego użytego do kalkulacji jego wariantów, przebadano wybudowane w programie Dolnośląski Delfinek konwencjonalne budynki basenowe.
2. standardu – na podstawie doświadczenia projektowego Autorki przyjęto, że przy projektowaniu obiektów basenowych najlepiej sprawdzi się standard pasywny Darmstadt, ze względu na konieczność zastosowania wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła zarówno w obiektach basenowych, jak i pasywnych. W celu wydobycia cech polskich uwarunkowań do badań wybrano pasywne budynki użyteczności publicznej wykonane w standardzie Darmstadt, zlokalizowane w Polsce. Szukając tego typu obiektów w doniesieniach prasowych oraz dokumentacjach projektowych przebadano znalezione obiekty. Okazało się, że nie spełniają one w pełni założeń standardu, lecz mają charakterystyczne parametry pozwalające na określenie ich jako obiekty pasywne. Trzy budynki, z wytypowanych na wstępnym etapie zostały zaprojektowane i wykonane zgodnie z zasadami standardu Darmstadt, jednak nie spełniają wymaganych parametrów energooszczędności. W związku z tym, zakwalifikowano je do obiektów energooszczędnych. Podczas prac Autorka natknęła się na ciekawy standard budynku be2226, który wart jest opisanie oraz sprawdzenia czy założenia tego standardu umożliwią ulepszenie rozwiązań projektowych pasywnych budynków basenowych.
3. związku funkcjonalnego z obiektem basenu - przebadano nie tylko obiekty basenowe. Ponieważ dobry obiekt basenowy ma w sobie wiele funkcji tworząc multikompleks. Składa się on nie tylko z hali basenowej. W takim obiekcie powinny znajdować się przynajmniej strefa administracyjna i gastronomiczna. Uzupełnieniem funkcji basenowej są między innymi funkcja sportowa i edukacyjna. Ze sportem wiąże się również dbałość o zdrowie, w związku z tym sytuuje się w nich funkcje rehabilitacyjne oraz służące odnowie biologicznej. Dobry obiekt basenowy, aby był atrakcyjny dla użytkowników ma współistniejące funkcje konieczne do podstawowego funkcjonowania oraz funkcje uzupełniające i pomocnicze.

Szczegółowej analizie poddano dokumentacje techniczne - projekty budowlane i wykonawcze obiektów powstałych na przełomie lat 2011 oraz 2020. Przebadano obiekty pod kątem porównania poszczególnych parametrów. Prócz tego oparto się na własnych pomiarach oraz obserwacjach. Obiekty pasywne oraz konwencjonalne zbadane zostały *in situ*. Budynek be2226 zbadany został na bazie analizy dokumentacji i literatury. Badania *in situ* tego budynku były niemożliwe ze względu na restrykcje związane z pandemią COVID-19.

Za istotny parametr uznano współczynnik kształtu – wskaźnik zwartości bryły - jest to stosunek pola powierzchni obudowy budynku do jego objętości A/V , który w budynkach pasywnych, zgodnie z wytycznymi Instytutu Budownictwa Pasywnego w Darmstadt powinien być $\leq 0,7\text{m}^2/\text{m}^3$ [Feist 1998]. Kształt i wielkość obiektu mają duże znaczenie przy wynikach obliczeń wskaźnika zwartości bryły [Ciardiello et al. 2020], [Kheiri 2018], [Gleń et al 2019], [Parasonis et al 2012], [Huang et al 2016], [Ouarghi et al 2006], [Zemella et al 2011]. Im większy obiekt, tym wskaźnik zwartości bryły jest mniejszy, co wynika z faktu, iż przyrost objętości budynku jest większy od przyrostu powierzchni jego powłok [Bać red. nauk. 2020]. Autorka, w badaniach obiektów istniejących, nie porównuje efektywności energetycznej w zależności od wskaźnika zwartości bryły, jedynie bada, w jakich przedziałach ów wskaźnik kształtuje się dla badanych istniejących budynków pasywnych, konwencjonalnych, be22226 oraz energooszczędnych wykonanych w standardzie pasywnym Darmstadt. Wartość wskaźnika zwartości bryły A/V obliczono na podstawie danych z dokumentacji projektowej lub własnych pomiarów albo odczytano z dokumentacji.

Zbadano również:

- udział przeszkleń w stosunku do powierzchni ścian na poszczególnych elewacjach. Obliczenia wykonano przyjmując powierzchnię całej elewacji jako 100%. Powierzchnię przeszkleń odczytano z dokumentacji, mierzono w naturze lub na rysunkach projektowych;

- odchylenie budynków od kierunku północnego. Kąt odchylenia osi budynku od kierunku północnego określono na podstawie dokumentacji projektowej lub korzystając z map satelitarnych;

- współczynnik przenikania ciepła U dla ścian. Odczytano go z dokumentacji projektowej lub charakterystyki energetycznej obiektu. Jedynie dla budynku be2226 wykonano obliczenia własne bazując na danych literaturowych;

- wartość wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną oraz wartość wskaźnika zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i chłodzenia. Dane pobrano z dokumentacji projektowej, charakterystyk energetycznych lub z certyfikatów pasywności.

1.5.3. Opis prowadzenia badań przy użyciu kamery termowizyjnej

Obiekty poddane zostały badaniom termowizyjnym w podczerwieni przy użyciu kamery termowizyjnej FLIR i7. Termografia w podczerwieni, to rejestracja obrazów, polegająca na detekcji promieniowania w paśmie podczerwieni danego obiektu i zamianie tego promieniowania na obraz widoczny dla oka. Za pomocą termografii w podczerwieni można zmierzyć i ocenić rozkład temperatury na powierzchniach przedmiotów. Kamera termowizyjna nie wykrywa temperatury, lecz promieniowanie podczerwone. Przekształcenie widma promieniowania podczerwonego na wartości temperaturowe dokonuje się dopiero na podstawie zadanych parametrów przez samo urządzenie. Elementy mające wpływ na obraz

oraz interpretację termowizyjną to między innymi: stopień emisyjności, temperatura odbicia, temperatura atmosfery, oddalenie, wilgotność powietrza, nasłonecznienie [FLIR 2020]. Badania przeprowadzono w warunkach różnicy temperatur minimum 10° C. Ustawienia współczynnika emisyjności podczas badań wynosiły 0,95 – co jest ustawieniem charakteryzującym większość materiałów budowlanych i odpowiadającym matowej powierzchni. Przy wykonywaniu badań termowizyjnych wzięto pod uwagę odbicia termiczne, nasłonecznienie, zacienienie oraz wilgoć na elementach konstrukcyjnych. Dla obrazów termowizyjnych przyjęto paletę barw żelaza.

Interpretacja wyników termograficznych musi być skorelowana z wiedzą o różnych elementach, które mogą zafałszować wyniki. Podczas badań stwierdzono, że kolor elewacji ma wpływ na odczyty badań termowizyjnych. Te same spostrzeżenia opisuje również Dr Alina Wróbel [Wróbel 2010]. Na termogramach uwidaczniają się różnice odczytów temperatur pomiędzy kolorami elewacji na budynkach ocieplonych metodą lekką mokrą i pokrytych tynkiem o różnej barwie. Stopień pochłaniania zależy od współczynnika absorpcji ciepła powierzchni. Istotne jest albedo powierzchni. Powierzchnie o jasnej barwie pochłaniają znacznie mniej promieniowania widzialnego niż te o barwie ciemnej. Promieniowanie zamienia się na energię cieplną, stąd ciemniejsze powierzchnie nagrzewają się bardziej. Zjawisko to obserwowane jest w dzień i przy nasłonecznieniu [Wróbel 2010]. Podczas badań na termogramach widoczne są zacienienia powierzchni elewacji. Termografia ujawnia także zawilgocenia ścian wywołane uszkodzeniami powłoki budynku.

Ze względu na sytuację epidemiologiczną COVID-19 nie było możliwości przebadania budynku be2226, znajdującego się poza granicami kraju.

1.5.4. Autorska mieszana metoda badawcza

Autorka, do przeprowadzenia analiz obiektów zastosowała własną, mieszaną metodę badawczą. Łączy ona w sobie między innymi analizę pozycji literaturowych, analizę dokumentacji projektowej, badania przeprowadzone *in situ*, własne pomiary, w tym badania termowizyjne. Zastosowanie wybranych metod i technik umożliwiło autorce usystematyzowanie wyników badań i zdefiniowanie aspektów pasywnej architektury, które redukują koszty środowiskowe. Autorka opracowała indywidualne karty obiektów zawierające najważniejsze dla sporządzenia tej pracy informacje o obiektach, wraz z podsumowaniem analitycznym. Karty obiektów zawierają również ocenę zerojedynkową najistotniejszych dla autorki parametrów wpływających na pasywność, komfort użytkowania oraz odbiór architektoniczny obiektu.

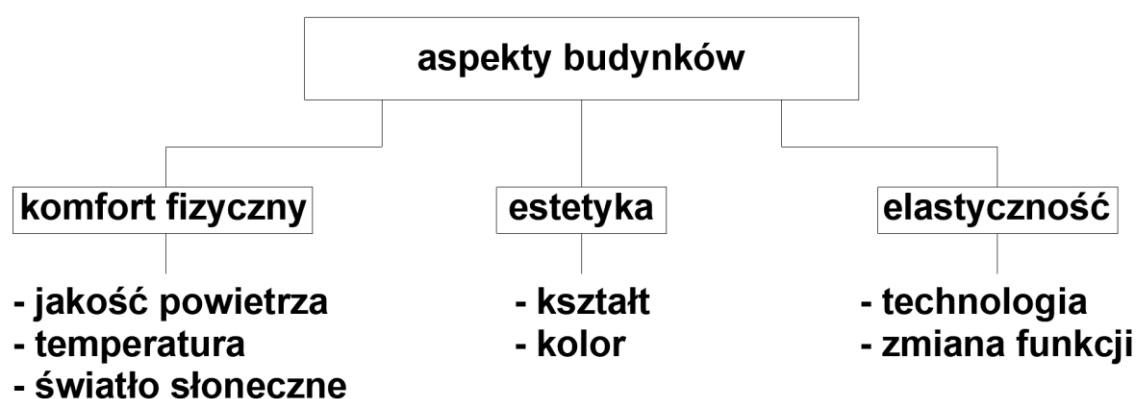
Zastosowana mieszana metoda badawcza przyjmuje następujące założenia zgodnie z Tabelą 3.

Tabela 3. Mieszana metoda badawcza (opracowanie własne).

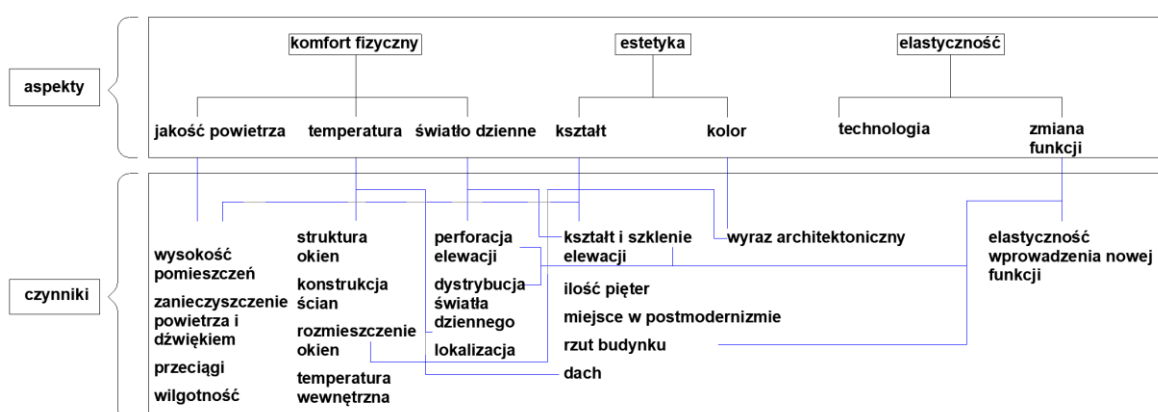
Metoda własna autorki	
Przedmiot badań	Budynki basenowe konwencjonalne i pasywne oraz budynki użyteczności publicznej pasywne, energooszczędne, be2226 o funkcjach pożądanych w kompleksie basenowym.
Cel	Opracowanie wytycznych do projektowania pasywnych basenów krytych w formie katalogu rozwiązań optymalnych.
Zakres problemu badawczego	Badania analityczne, interpretacja czynników architektonicznych, diagnoza problemów standardów budownictwa.
Podjęte środki	Logiczna analiza porównawcza, dedukcja, przegląd literatury, synteza, wyciąganie wniosków.
Zastosowane techniki	obserwacja, pomiar, techniki parametryczne, zliczanie elementów, analiza danych nieparametrycznych, oględziny badanego obiektu, analiza dokumentów, opis, wyjaśnienie, interpretacja, testy porównawcze, obserwacja

Autorka definiuje trzy aspekty budynków – fizyczny – odpowiedzialny za komfort, estetyczny – odpowiedzialny za przyjemność wynikającą z oglądu oraz elastyczny – odpowiedzialny za długość życia budynku. Komfort użytkowania można osiągnąć poprzez dobrą jakość i stałą temperaturę powietrza wewnątrz obiektu, oraz zapewnienie odpowiedniej ilości światła dziennego. Estetyka obiektu jest definiowana w szczególności poprzez styl architektoniczny, konotacje, zielen, kształt i kolor budynku. Z powyższych wybrano kształt budynku, który ma bezpośrednie przełożenie na efektywność energetyczną obiektu oraz kolor, którego albedo wpływa nie tylko na temperaturę powierzchni budynku, lecz również na mikroklimat miejsca. Elastyczność (trwałość) budynku jest odpowiedzialna za wydłużenie życia obiektu. Można ją osiągnąć projektem umożliwiającym łatwą zmianę funkcji, zastosowaniem trwałych materiałów budowlanych oraz poprzez unikanie stosowania skomplikowanych technologicznie urządzeń, które mogłyby się psuć podczas użytkowania.

Autorka zdefiniowała i porównała czynniki składające się na aspekty budynków, przedstawione na Rysunku 6. Konieczne jest przypisanie niektórych czynników do więcej niż jednego aspektu. Rysunek 7 prezentuje przyporządkowanie czynników do aspektów budynków.



Rysunek 6. Wybrane do badań aspekty budynków (opracowanie własne).



Rysunek 7. Przyporządkowanie czynników do wybranych aspektów budynków (opracowanie własne).

Autorka stworzyła punktację obiektów (Tabela 4.) w podziale na estetykę obiektu, jego elastyczność, komfort zmysłowy odczuwany w pomieszczeniach, dostęp do światła naturalnego wewnątrz obiektu i temperaturę w nim panującą. Oceniono wszystkie przebadane budynki.

Poniżej podano elementy, które brano pod uwagę podczas oceniania. Ocena jest zero-jedynkowa, albo obiekt ma daną cechę, wtedy przyznaje się 1 punkt, albo nie ma danej cechy i przyznaje się 0 punktów.

Tabela 4. Tabela punktacji branej pod uwagę podczas oceny budynków (opracowanie własne).

I. ESTETYKA OBIEKTU	OCENA ŁĄCZNA 0-5
- ZRÓŻNICOWANIE FASAD	OCENA CZĄSTKOWA 0-1
- ZWARTOŚĆ OBIEKTU	OCENA CZĄSTKOWA 0-1
- DOBRE PROPORCJE	OCENA CZĄSTKOWA 0-1
- SPÓJNOŚĆ	OCENA CZĄSTKOWA 0-1
- ATRAKCYJNOŚĆ KOLORYSTYCZNA ELEWACJI	OCENA CZĄSTKOWA 0-1

II. ELASTYCZNOŚĆ OBIEKTU	OCENA ŁĄCZNA 0-4
- OTWARTY PLAN	OCENA CZĄSTKOWA 0-1
- DOŚWIECZENIE ŚWIATŁEM DZIENNYM WIĘKSZOŚCI POMIESZCZEŃ	OCENA CZĄSTKOWA 0-1
- PODATNOŚĆ NA IMPLEMENTACJĘ NOWEJ FUNKCJI	OCENA CZĄSTKOWA 0-1
- BOGATA OFERTA	OCENA CZĄSTKOWA 0-1
III. KOMFORT ZMYŚLOWY	OCENA ŁĄCZNA 0-4
- POMIESZCZENIA WYŻSZE NIŻ KONIECZNE	OCENA CZĄSTKOWA 0-1
- BRAK ZANIECZYSZCZENIA HAŁASEM OD WEWNĄTRZ	OCENA CZĄSTKOWA 0-1
- BRAK ZANIECZYSZCZENIA HAŁASEM Z ZEWNĄTRZ	OCENA CZĄSTKOWA 0-1
- BRAK PRZECIĄGÓW	OCENA CZĄSTKOWA 0-1
IV. ŚWIATŁO SŁONECZNE I TEMPERATURA	OCENA ŁĄCZNA 0-6
- RÓWNOMIERNĄ PERFORACJĄ WSZYSTKICH FASAD	OCENA CZĄSTKOWA 0-1
- DOBRA STRUKTURA I JAKOŚĆ OKIEN	OCENA CZĄSTKOWA 0-1
- AKUMULACJA CIEPŁA W CAŁYM PRZEKROJU ŚCIANY	OCENA CZĄSTKOWA 0-1
- ZACIENIENIE OKIEN	OCENA CZĄSTKOWA 0-1
- BRAK KONWENCJONALNEGO OGRZEWANIA	OCENA CZĄSTKOWA 0-1
- PASYWNOŚĆ	OCENA CZĄSTKOWA 0-1

Poniżej wyjaśniono podane w tabeli hasła i kryteria przyznawania punktacji.

Zróznicowanie fasad – ocenę 1 przyznano obiektom, w których każda z elewacji ma indywidualne rozwiązania, można łatwo stwierdzić, która fasada jest frontową. Elewacje różnią się w zależności od usytuowania względem stron świata między innymi wielkością lub ilością okien. Ocenę 0 przyznano budynkom, w których wszystkie elewacje są prawie identyczne, o rytmicznym układzie okien tej samej wielkości.

Zwartość obiektu – ocenę 1 przyznano obiektom o wartości wskaźnika zwartości bryły $\leq 0,7 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Obiekty, których stosunek A/V osiągał wartości wyższe niż zalecane przez Instytut Budownictwa Pasywnego w Darmstadt dla obiektów pasywnych uzyskały ocenę 0.

Dobre proporcje – ocenę 1 przyznano obiektom o bryle zbliżonej do sześciangu oraz takich, których żaden z parametrów - wysokości, szerokości i długości nie jest większy niż dwukrotność pozostałych, których bryła jest miła dla oka, a stojąc przy obiekcie nie odczuwa się zaburzenia skali. Takie proporcje mają wpływ na parametr zwartości obiektu, co wiąże się z estetyką, którą ma na uwadze architekt. Ocenę 0 uzyskały obiekty, bardzo wydłużone, niskie prostopadłościany oraz charakteryzujące się przysadzistą bryłą, o przypadkowych i niekorzystnie dobranych elementach budynku.

Spójność – konsekwencja projektowa, ocenę 1 uzyskały obiekty, których relacje pomiędzy wnętrzem i zewnątrz są konsekwentnie zaprojektowane. Gdzie układ elewacji odzwierciedla funkcję i widać w niej myśl projektową. Patrząc na obiekt odczuwa się jednoczącą zgodność wszystkich rozwiązań. Ocenę 0 uzyskały obiekty, które wyglądają jak zestaw przypadkowych, niespójnych formalnie i funkcjonalnie elementów.

Atrakcyjność kolorystyczna elewacji – ocenę 1 uzyskały obiekty, których kolorystyka elewacji jest spójna, wynika z funkcji oraz konstrukcji. Różnice kolorów i faktur uzyskano doбором konkretnych materiałów elewacyjnych. Gdy wprowadzana jest zmiana koloru, dotyczy ona przykładowo całej bryły zestawionej z inną bryłą o odrębnej funkcji, czy podkreślenia pilastrów innym materiałem, czyli wynika z konstrukcji lub funkcji. Gdy kolorystyka jest spójna, materiał elewacyjny ma taką samą wartość albedo, w związku z powyższym nagrzewa się w równomiernie. Ocenę 0 uzyskały obiekty, w których w celu optycznego zmniejszenia czy skrócenia zastosowano różnobarwne geometryczne podziały, przeważnie w formie prostokątów na elewacji wykonanej z jednorodnego materiału. Zastosowano zabieg kolorowania płaskiej, nieciekawej elewacji. Wprowadzono kontrastowe kolory, które wyglądają pstrokato. Takie obiekty mogą być narażone na niepotrzebne uszkodzenia spowodowane rozszerzaniem się nagranych elementów o ciemniejszych kolorach w stosunku do tych o kolorach jaśniejszych. Szczególnie niebezpieczne jest to w elementach stalowych.

Otwarty plan – ocenę 1 uzyskały obiekty mające wolny rzut, gdzie dzięki zastosowaniu odpowiedniej konstrukcji możliwe jest wykorzystanie prawie całej powierzchni wewnętrznej. Dzięki temu możliwa jest dowolna aranżacja wnętrza i wprowadzenie innej funkcji. Ocenę 0 uzyskały obiekty o zamkniętym planie, czyli o pomieszczeniach ograniczonych nośnymi ścianami. Wnętrze obiektu podzielone jest na konkretnie zdefiniowane przestrzenie zmniejszające możliwości zastosowania dowolnej funkcji.

Doświetlenie światłem dziennym większości pomieszczeń – ocenę 1 uzyskały obiekty, w których pomieszczenia niedoświetlone światłem dziennym stanowią poniżej 10% powierzchni użytkowej obiektu. Ocenę 0 uzyskały obiekty, w których pomieszczenia niedoświetlone światłem dziennym stanowią powyżej 10% powierzchni użytkowej obiektu.

Podatność na implementację nowej funkcji – ocenę 1 uzyskały obiekty, które mają zamknięty plan, jednakże równomierne doświetlenie większości pomieszczeń, co ułatwia zmianę funkcji. Wartość 1 przyznano również obiektom, które mają otwarty plan, równomierną perforację wszystkich fasad i doświetlenie światłem naturalnym wszystkich pomieszczeń. Ocenę 0 uzyskały obiekty, które mają otwarty plan z towarzyszącymi pomieszczeniami, ale ich doświetlenie światłem naturalnym nie jest równomierne, rozbiórka może nie być konieczna, ale prace remontowe będą kosztowne. Obiekty o zamkniętym planie i nierównomiernym doświetleniu pomieszczeń światłem naturalnym również uzyskały ocenę 0.

Bogata oferta – ocenę 1 uzyskały obiekty, które mają minimum trzy dodatkowe funkcje, poza funkcją basenową. Ocenę 0 uzyskały obiekty mające dwie i mniej funkcji dodatkowych.

Pomieszczenia wyższe niż konieczne – ocenę 1 uzyskały obiekty, których wysokość pomieszczeń jest wyższa niż wymagana przepisami prawnymi. Ocenę 0 uzyskały obiekty, których wysokość pomieszczeń nie przekracza wartości wymaganych przepisami prawnymi.

Brak zanieczyszczenia hałasem od wewnątrz – ocenę 1 uzyskały obiekty, które nie mają wentylacji mechanicznej, będącej źródłem hałasu wewnątrz budynku. Ocenę 0 uzyskały obiekty mające wentylację mechaniczną.

Brak zanieczyszczenia hałasem z zewnątrz – ocenę 1 uzyskały obiekty, które mają wentylację mechaniczną, która dostarcza wystarczającą ilość czystego powietrza, w związku z tym nie ma konieczności otwierania okien, a hałas z zewnątrz blokowany jest przez stolarkę mającą parametry akustyczne. Ocenę 0 uzyskały obiekty, które wymagają otwierania okien w celu wietrzenia, a co za tym idzie hałas z zewnątrz przedostaje się do pomieszczeń.

Brak przeciągów – ocenę 1 uzyskały obiekty o szczelności powietrznej mające wentylację mechaniczną. W tych obiektach nie ma niekontrolowanego przemieszczania się zimnego powietrza będącego przyczyną chorób i dyskomfortu. Ocenę 0 uzyskały obiekty, w których do wentylacji konieczne jest otwarcie okien, co wiąże się z wpuszczaniem zimnego powietrza zewnętrznego do ciepłego pomieszczenia.

Równomierna perforacja wszystkich fasad – ocenę 1 uzyskały obiekty, których wszystkie elewacje mają jednakowe wymiary okien rozmieszczone równomiernie w rzędach i kolumnach. Ocenę 0 uzyskały obiekty, które mają znaczne różnice w ilości oraz wielkości okien zlokalizowanych na poszczególnych elewacjach.

Dobra struktura i jakość okien – ocenę 1 uzyskały obiekty o podwyższonych parametrach stolarki okiennej. Ocenę 0 uzyskały obiekty, których okna spełniają jedynie podstawowe parametry określone w przepisach prawnych.

Akumulacja ciepła w całym przekroju ściany – ocenę 1 uzyskały obiekty, których przekrój ściany jest w miarę jednorodny – ściana z bloczków ceramicznych termoizolacyjnych. Ściana nie wymaga dodatkowej warstwy izolacyjnej. Bloczek ceramiczny termoizolacyjny charakteryzuje się wysoką objętościową pojemnością ciepła, umożliwiającą jego akumulację. Ocenę 0 uzyskały budynki, których ściana składa się z części konstrukcyjnej, która pełni funkcję akumulacyjną oraz części izolacji termicznej wykonanej przeważnie z wełny mineralnej lub styropianu, które mają niską objętościową pojemność ciepła – nie mają właściwości akumulujących ciepło.

Zacienienie okien – ocenę 1 uzyskały obiekty, które mają zacienienie okien w formie zewnętrznych żaluzji, płyt wysuniętych poza lico ściany, ażurowych

konstrukcji, na których pną się rośliny. Ocenę 0 uzyskały budynki nie mające żadnych elementów zacinających okna.

Brak konwencjonalnego ogrzewania – Ocenę 1 uzyskały budynki, które nie mają konwencjonalnego ogrzewania. Ocenę 0 uzyskały obiekty wyposażone w konwencjonalne ogrzewanie.

Pasywność – Ocenę 1 uzyskały obiekty wykorzystujące pasywne rozwiązania projektowe, wybudowane w standardach pasywnych i spełniające kryteria wymagane tymi standardami. Ocenę 0 uzyskały wszystkie pozostałe obiekty.

W celu przeprowadzenia badań opracowano indywidualne karty obiektów, zawierające podsumowanie danych zgromadzonych podczas badań, służące do usystematyzowania danych wyjściowych oraz wniosków z przeprowadzonych badań, stanowiące załącznik do niniejszej pracy.

1.5.5. Założenia badań wykonanych w PHPP

Przy obliczeniach wykonanych w pakiecie do projektowania budynków pasywnych - PHPP posłużono się metodą ilościową i statystyczną. Program PHPP oblicza wartości rocznego zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania dla jednostki powierzchni mierzonej w metrach kwadratowych.

W celu zbadania, które czynniki i w jakim stopniu wpływają na energooszczędność obiektu, Autorka podjęła decyzję o przyjęciu do badań modelu obiektu referencyjnego – określonego w analizie funkcjonalno-użytkowej stanowiącej wytyczne pilotażowego programu „Dolnośląski Delfinek”. Program zakładał budowę małych przyszkolnych krytych pływalni w celu popularyzacji sportu w powiatach i gminach, które nie mają dostępu do takich usług. Założeniem było budżetowe rozwiązanie takich obiektów, w związku z powyższym zaprojektowanie ich w technologii pasywnej wpisywałoby się w założenia projektu oraz ograniczało koszty eksploatacyjne. „Delfinki” miały służyć nie tylko jako obiekty do nauki pływania, lecz również do rekreacji i rehabilitacji wodnej. Wyposażone miały być w czterotorową nieckę o wymiarach 16,67m x 8,5m. Wielkość ta wynika z wymiarów basenu olimpijskiego 50m x 25m i stanowi jego jedną trzecią. Taka wielkość ma znaczenie dla treningów pływackich oraz zawodów. Głębokość basenu zawierała się pomiędzy 0,9 a 1,35 m. W godzinach lekcyjnych z basenu mieli korzystać uczniowie szkół, natomiast po godzinach miał być wykorzystywany komercyjnie. Dopuszczano rozbudowę obiektu o dodatkowe urządzenia, takie jak dodatkowe niecki, wanny z hydromasażem, sauny. W założeniach programu dla zagospodarowania terenu wypunktowano między innymi konieczność zastosowania zieleni ozdobnej. Obiekt przewidziano na 30 osób jednorazowo korzystających z basenu oraz 10 osób obsługi. Odpowiada to liczebności 30 osobowej klasy. Spełnia to wymaganie 5-6m² powierzchni basenu dla jednej osoby podczas zajęć szkolnych [Sokołowski 1990]. Dla zajęć indywidualnych maksymalna łączna liczba pływających w basenie powinna wynosić 16 osób. Ograniczona ilość osób korzystających z basenu poprawia komfort

użytkowania obiektu. Oświetlenie naturalne preferowano w ścianach równoległych do torów. Umieszczanie przeszkleń na ścianach prostopadłych do torów może powodować dyskomfort podczas pływania – olśnienie albo utrudniać pracę ratowników – patrzenie pod słońce. Program „Dolnośląski Delfinek” preferował ekspozycję południowo-wschodnią lub południowo-zachodnią z osłoną przeciwsłoneczną w formie głębokiego okapu, lub daszku chroniącego przed przegrzaniem w lecie. Ponieważ obiekty z założenia miały być małe, urządzenia techniczne mogły być zlokalizowane pod częścią plaży, co ograniczało wielkość podbasenia. W razie rezygnacji z podbasenia, proponowało się zastosowanie korytarzy lub kanałów obejściowych umożliwiających monitoring ścian bocznych niecki. Plaża hali basenowej powinna mieć wysokość minimalną w świetle 4,2 m oraz minimum 3,5 m do dolnej krawędzi dźwigara. W ramach zajęć szkolnych pływalnia miała być otwarta od godziny 8:00 do 16:00 – 40 godzin tygodniowo. W ramach zajęć pozaszkolnych od poniedziałku do piątku od godziny 16:00 do 22:00 (6 godzin) oraz w soboty i niedziele w godzinach 8:00 do 20:00 (12 godzin) co dawało 54 godziny tygodniowo zajęć pozaszkolnych. Łącznie obiekt miał być użytkowany 94 godziny tygodniowo. Poza godzinami otwarcia obiekt można było wprowadzać w stan niższego zużycia energii elektrycznej i ogrzewania.

Powyższe założenia programowe umożliwiły określenie wielkości i proporcji modelu budynku referencyjnego, jego podstawowych cech i parametrów, które wprowadzono do programu, w celu wykonania obliczeń.

Jako model obiektu referencyjnego do obliczeń przyjęto halę basenową z niecką 16,67 m x 8,5 m. Obejście basenu – z trzech stron niecki ma 2,5 m szerokości plaży basenowej, wielkość ta umożliwia lokalizację wejścia z każdej strony niecki. Z jednej, krótszej strony basenu obejście ma 3 m ze względu na lokalizację słupków startowych. Wysokość minimalna obiektu w świetle 4,2 m, a do dolnej krawędzi dźwigara 3,5 m. Powierzchnia hali wynosi 299,30 m², a kubatura wewnętrzna wynosi 1.257,06 m³. Przeszklenia przyjęto na jednej ze ścian równoległych do torów pływackich. Powierzchnię okien przyjęto w wielkości odpowiadającej 1:8 powierzchni posadzki, w tym przypadku 37,41 m². Przyjęto wyjściowe współczynniki U zgodne z warunkami technicznymi - dla ścian zewnętrznych $U=0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, dla ścian wewnętrznych bez wymagań, dla dachu $U=0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, dla podłogi na gruncie $U=0,30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, dla stropów nad ogrzewanymi pomieszczeniami podziemnymi bez wymagań, dla okien $U=0,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, dla okien połaciowych $U=1,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Temperatura wewnętrzna latem i zimą 30° C. Przyjęto strefę klimatyczną I PL-Polska.

1.6. Układ pracy

Niniejsza praca podzielona została na dwie części – tekst właściwy dysertacji oraz karty obiektów pełniące rolę bazy danych uzyskanych w trakcie badań.

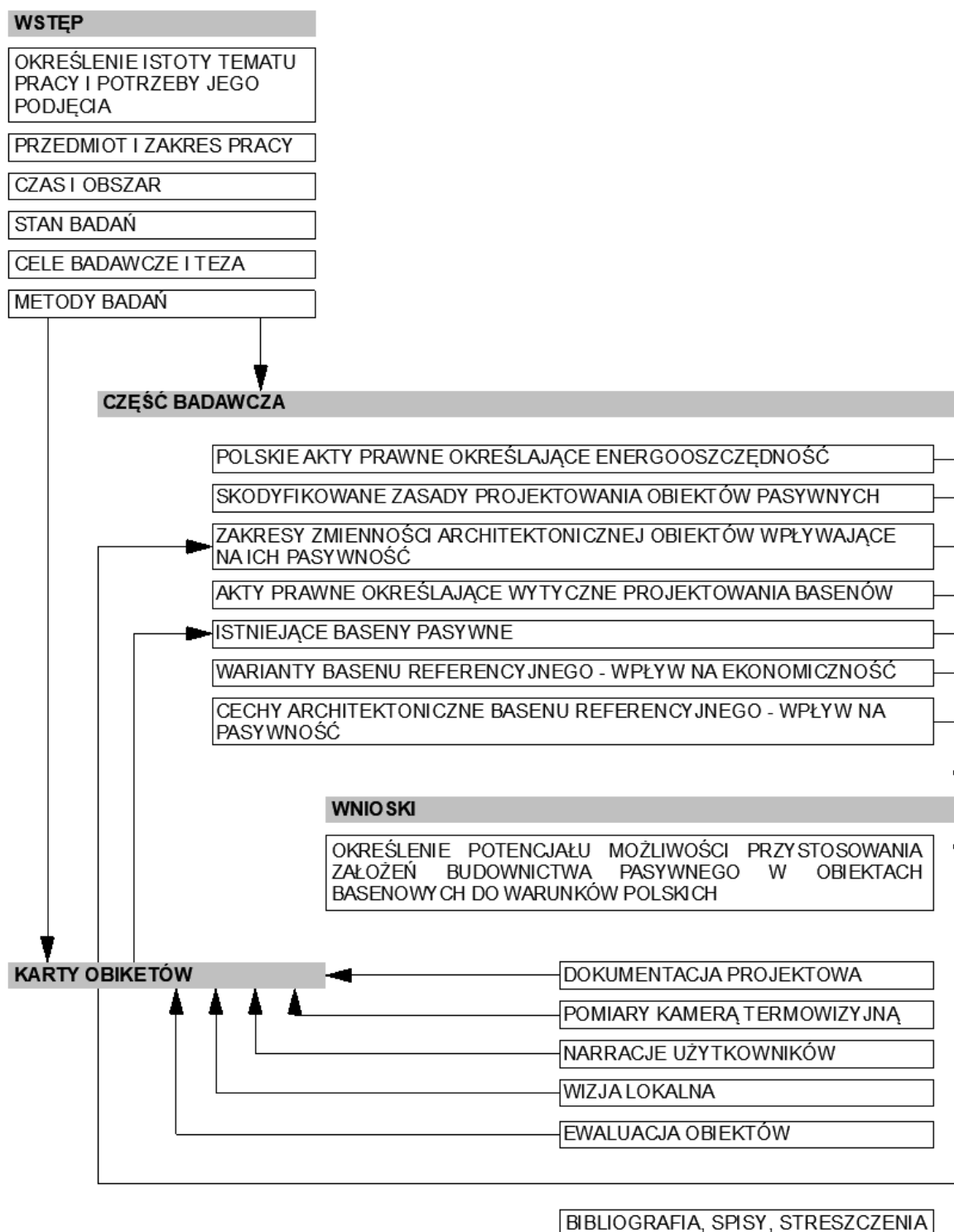
Pierwsza część tekstu właściwego – rozdział I. omawia: przedmiot, zakres, czas i obszar prowadzonych badań; przedstawiono tu stan badań; zdefiniowano cele

badawcze; sformułowano pytania badawcze i tezę pracy; omówiono metody badań i układ pracy.

Tekst główny rozprawy stanowiący rozdziały od II. do VII. to wyniki analiz i badań obiektów, dokumentacji projektowych oraz przeglądu literatury. W rozdziale II. przeanalizowano standardy Darmstadt budynków pasywnych oraz standard be2226. Rozdział III stanowi analizę obowiązującego w Polsce prawa związanego z energooszczędnością. W rozdziale III przeanalizowano również wytyczne do projektowania basenów krytych w Polsce. Rozdział IV. stanowią badania istniejących pasywnych obiektów basenowych zakończone wnioskami z tych badań. Rozdział V. stanowią badania wybranych budynków różnych funkcji pod kątem pasywności, zakończony wnioskami z badań. W rozdziale VI. przedstawiono badania obliczeniowe wariantów modelu referencyjnego obiektu basenowego zakończone wnioskami z tych badań. Podsumowanie pracy stanowi rozdział VII., w którym znajdują się całościowe wnioski i wytyczne.

Na podstawie opracowanej metody badań, powstały karty obiektów, stanowiące załączniki do niniejszej pracy.

Poniższy diagram (Rys. 8) prezentuje schemat układu pracy.



Rysunek 8. Schemat układu pracy (opracowanie własne)

Standardy pasywne oraz polska legislacja

II.	Standardy pasywne	39
2.1.	Standard Darmstadt budynku pasywnego	39
2.1.1.	Aktualne kryteria budynku pasywnego standardu Darmstadt	40
2.1.2.	Sposoby uzyskania kryteriów budynku pasywnego	42
2.1.2.1.	Izolacja przegród zewnętrznych	42
2.1.2.2.	Konstruowanie bez mostków termicznych	44
2.1.2.3.	Szczelna powłoka budynku	45
2.1.2.4.	Pasywne wykorzystanie energii słonecznej	48
2.1.2.5.	Wentylacja	49
2.1.2.6.	Jakość powietrza wewnętrznego w budynkach pasywnych	51
2.1.2.7.	Możliwości ogrzewania budynku pasywnego	53
2.1.2.8.	Ciepła woda użytkowa	53
2.1.2.9.	Zużycie energii elektrycznej	54
2.1.3.	Ekonomika budynku pasywnego	54
2.1.4.	Projektowanie i certyfikacja przy pomocy pakietu PHPP	55
2.1.5.	Elastyczność budownictwa pasywnego	56
2.2.	Standard budynku be2226	58
III.	Przepisy prawne	59
3.1.	Obowiązujące w Polsce przepisy prawne dotyczące projektowania odnoszące się do energooszczędności	59
3.2.	Wytyczne do projektowania basenów krytych w Polsce	64



Rysunek 9. Wnętrze strefy saunowej basenu pasywnego w Siemiatyczach (fotografia Autorki).

II. Standardy pasywne

2.1. Standard Darmstadt budynku pasywnego

W 1996 r. W niemieckim mieście Darmstadt Wolfgang Feist założył niezależny instytut badawczo-rozwojowy „Passivhaus Institut”. Od 2004 r. działa Polski Instytut Budownictwa Pasywnego i Energii Odnawialnej Imienia Güntera Schlagowskiego zlokalizowany w Gdańsku. Celem instytutu jest popularyzacja i promowanie wiedzy o budownictwie pasywnym podczas konferencji, for, spotkań czy szkoleń. Od roku 2012 organizowany jest cykl szkoleń „Certyfikowany Europejski Projektant Doradca Budownictwa Pasywnego” [Certified European Passive House Designer]. Który to kurs ukończyła autorka niniejszej pracy. Instytut prowadzi certyfikację budynków nowych oraz modernizowanych, prowadzi doradztwo, przeprowadza pomiary, opiniuje projekty, prowadzi współpracę naukowo-techniczną z uczelniami wyższymi, opracowuje publikacje naukowe i edukacyjne, itp.

Budownictwo pasywne jest to termin określający budownictwo energooszczędne, o krańcowo niskim zapotrzebowaniu na energię potrzebną do ogrzewania. Ogrzewanie takich budynków przybiera formę dogrzewanego powietrza wentylującego budynek [Feist et al. 2006 a]. W krajach o łagodniejszym klimacie np. w Niemczech to założenie jest prawidłowe i wykonalne. W Polsce, między innymi ze względu na obowiązujące normy oraz przepisy prawne, w niektórych obiektach takie rozwiązanie, jako jedyna forma ogrzewania jest niemożliwie do zrealizowania. Takie dodatkowe konwencjonalne ogrzewanie istnieje czasami jedynie z konieczności spełnienia warunków normowych i przeważnie nie jest używane.

Idealny budynek pasywny powinien zapewniać komfort jego użytkownikom zimą oraz latem, bez konieczności stosowania klimatyzacji. W okresie letnim dopuszczalne jest jedynie 10% dni z nadmierną temperaturą. Komfort cieplny zimą ma być zapewniony dzięki pasywnym źródłom ciepła takim jak energia słoneczna dostarczana przez południowe przeszklenia budynku, użytkownicy oraz sprzęty domowe czy biurowe.

Podaje się, że dorosły człowiek, w spoczynku, w komfortowej temperaturze wydziela $4,184 \text{ kJ} \cdot \text{kg} \text{ masy ciała}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. Z obliczeń wynika, że nieporuszający się 70 kg człowiek w ciągu godziny wydziela około 293 kJ ciepła, czyli porównywalnie, co 80 W żarówka [Krause 2022].

Budownictwo pasywne opiera się na bardzo prostych rozwiązaniach. Dużą wagę przykładają do aspektu ekonomicznego inwestycji. Projektowanie polega na wyważeniu kosztów poniesionych przez inwestora podczas procesu projektowego oraz budowy, który jest wyższy w porównaniu do budownictwa tradycyjnego [Kołodziejczyk-Kęsoń et al 2023] względem dużo niższych kosztów eksploatacji tychże budynków w rzeczywistym czasie użytkowania przez wiele dziesiątek lat.

W całej Europie środkowej tradycyjnymi źródłami ciepła są: miejskie przedsiębiorstwa energetyki ciepłej lub indywidualne kotły grzewcze opalane gazem, olejem czy paliwem stałym. Tradycyjny system ogrzewania to centralne ogrzewanie z radiatorami ciepła w formie grzejników, w którym czynnikiem jest woda. Zakłada się, że w konwencjonalnym budownictwie maksymalna moc grzewcza to 100 W/m^2 . Idea budownictwa pasywnego opiera się na zminimalizowaniu strat ciepła do tego stopnia, aby nie było konieczne stosowanie systemu ogrzewania [Feist et al. 2006 a]. Ogrzewanie ma być zintegrowane z wentylacją. Dogrzanie obiektu ma być wykonane jedynie dzięki nagrzewnicy powietrza nawiewanego do budynku przez system wentylacji.

Zakłada się, że ze względów higienicznych konieczne jest zastosowanie wentylacji mechanicznej. Przyjmuje się, że dla spełnienia potrzeb higienicznych potrzebny jest nawiew jednego metra sześciennego powietrza na jeden metr kwadratowy powierzchni mieszkania w ciągu godziny. Zakłada się, że nagrzewnica na przewodach wentylacyjnych może nagrzać się jedynie do 50°C . Przy założeniu temperatury wewnętrznej na poziomie 20°C , różnica temperatur wynosi 30 K , co odpowiada maksymalnemu obciążeniu cieplnemu

$$P = 1 \text{ m}^3/(\text{hm}^2) * 0,33 \text{ Wh}/(\text{Km}^3) * 30 \text{ K} = 10 \text{ W/m}^2.$$

Z powyższego obliczenia wynika wartość $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ dozwolonego rocznego zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania dla budynku pasywnego [Feist et al. 2006 a]. Wyliczenia te wskazują, że ogrzewanie można zapewnić nawiewanym, podgrzanym nagrzewnicą powietrzem wentylacyjnym, a moc grzewcza nie przekroczy 10 W/m^2 . Zgodnie ze standardem budownictwa pasywnego Darmstadt, powyższe wyliczenia dotyczą wszystkich budynków mieszkalnych niezależnie od klimatu. Klimat determinuje przyjęte rozwiązania techniczne takie jak grubość izolacji termicznej przegród budowlanych obiektu itp.

Budownictwo pasywne nakłada duży nacisk na jak najniższe obciążenie środowiska naturalnego. Celem jest utrzymanie całkowitego zapotrzebowania na energię pierwotną na możliwie niskim poziomie. Dotyczy to energii potrzebnej na cele ogrzewania, przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz zużycie prądu elektrycznego na potrzeby gospodarstwa domowego. Z powyższych założeń wynika kolejne kryterium budynku pasywnego – całkowite zużycie energii pierwotnej przy normalnym użytkowaniu i przy zastosowaniu odnawialnych źródeł energii ma być niższe lub równe $60 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Dla porównania budynki wybudowane przed 1980 r. zużywają do ogrzewania pomieszczeń około $220 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

2.1.1. Aktualne kryteria budynku pasywnego standardu Darmstadt

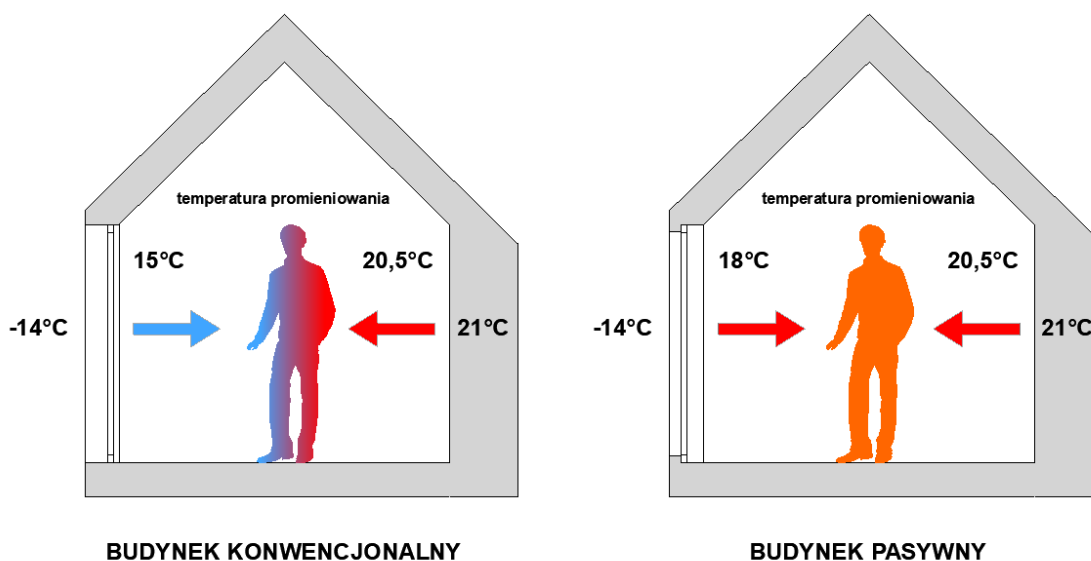
Zasady budownictwa pasywnego również przeszły modyfikację i obecnie prezentują się w następujący sposób:

1. Roczne zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania nie może przekroczyć $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

2. całkowite zapotrzebowanie na energię pierwotną pokrywające wszystkie potrzeby związane z utrzymaniem budynku (ogrzewanie, c.w.u., prąd elektryczny) z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii nie może przekroczyć $60 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Te dwa kryteria określają budynek pasywny, nie ma tu znaczenia jakimi materiałami czy systemami należy uzyskać wymagane zapotrzebowanie energii.

W budownictwie pasywnym bardzo ważny jest użytkownik. Priorytetem jest zapewnienie mu komfortu cieplnego (Rys. 10). Człowiek nie odczuwa zmiany temperatury w zakresie do 4 stopni, większa różnica temperatur odczuwana jest jako dyskomfort. Jedna strona ciała jest nagrzana, a druga wyziębiona. Najbardziej niekorzystne są przeciągi (dotkliwe np. w starym budownictwie).



Rysunek 10. Zasada odczuwalnego komfortu termicznego (opracowanie własne na podstawie źródła [Feist et al 2006 b])

Budownictwo pasywne polega na zastosowaniu sześciu podstawowych komponentów [Schnieders et al 2007]. Należą do nich:

- izolacyjność termiczna przegród $U \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;
- odpowiednia lokalizacja obiektu względem stron świata;
- otrzymywanie zysków ciepła z energii słonecznej;
- szczelność budynku na poziomie $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ oraz zastosowanie wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła o sprawności min 75%;
- stolarka okienna o współczynniku przenikania ciepła $U \leq 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ oraz współczynniku g około 50%;
- obiekty pozbawione mostków termicznych. Za obiekt wolny od mostków termicznych rozumie się obiekt, w którym wszystkie występujące mostki termiczne charakteryzują się wartością $\Psi < 0,01 \text{ W}/(\text{mK})$.

Nie jest koniecznym restrykcyjne przestrzeganie wszystkich sześciu zasad, pod warunkiem, że zostaną spełnione kryteria budynku pasywnego przedstawione poniżej.

Kryteriami budynku pasywnego są [Feist 2002], [Feist et al. 2005 c], [Feist et al 2007], [Schnieders et al 2006], [Pitts 2017]:

- zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania $EU_{co+w} \leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ lub obciążenie cieplne budynku $\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$;
- zapotrzebowanie na energię potrzebną do chłodzenia $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$;
- zapotrzebowanie na energię pierwotną $\leq 60 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii (do roku 2015 obowiązywała wartość $\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bez wykorzystania odnawialnych źródeł energii);
- szczelność budynku $\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$;
- częstotliwość występowania nadmiernych temperatur (powyżej 25°C) $\leq 10\%$ godzin w roku.

2.1.2. Sposoby uzyskania kryteriów budynku pasywnego

2.1.2.1. Izolacja przegród zewnętrznych

Aby uzyskać ekonomiczny budynek pasywny należy w sposób optymalny, przy użyciu pasywnych rozwiązań budowlanych, ograniczyć straty ciepła i wykorzystać zyski energii słonecznej [Monsen et al 1981], [Oliveira et al 1992]. W polskim klimacie podstawą jest ograniczenie strat ciepła przez przenikanie przegród zewnętrznych realizowane w formie ochrony cieplnej budynku. Zyski pasywne generowane przez energię słoneczną nagrzewającą pomieszczenia muszą być akumulowane wewnątrz budynku, a nie dostępne jedynie w momencie operowania słońca. Idealnym rozwiązaniem byłoby utrzymanie komfortu cieplnego w miesiącach zimowych jedynie dzięki nasłonecznieniu.

Podstawowe straty ciepła:

- przez przegrody szczelne – przewodzenie ciepła (transmisja);
- przez wentylację – przepływ powietrza.

Rozwiązania techniczne obniżające straty ciepła:

- termoizolacja przegród zewnętrznych;
- niwelowanie dodatnich mostków termicznych;
- szczelna powietrznie powłoka budynku;
- stosowanie specjalnie dedykowanych do takiego budownictwa okien;
- wysokoefektywna sprawność wentylacji - rekuperacji (odzysku) ciepła ze zużytego powietrza.

Izolacja termiczna musi w nieprzerwany sposób otaczać cały budynek. Gdy powierzchnia wymagająca izolacji termicznej jest najmniejsza z możliwych, wtedy

straty ciepła są również zminimalizowane, a dodatkowo obniżają się koszty realizacji budynku.

Zasady ograniczenia powierzchni izolacji termicznej:

- zwarta bryła, stosunek A/V (powierzchnia zewnętrzna przegród bryły budynku do jego kubatury) najlepszy wskaźnik zwartości bryły A/V ma kula, a im większy obiekt, tym wskaźnik ten jest mniejszy;
- zabudowa zwarta zamiast rozproszonej, wolnostojącej;
- unikanie skomplikowanych form – nieregularne kształty, podcięcia budynku, wykrawanie w bryle budynku).

Powyższe nie determinuje ograniczenia wolności twórczej kształtowania bryły budynku. Zwłaszcza przy dużych budynkach użyteczności publicznej, gdy wskaźnik zwartości bryły jest korzystniejszy daje to większą swobodę projektowania. We wszystkich przypadkach należy wziąć pod uwagę koszty, jakie można przeznaczyć na wykonanie inwestycji. Im mniej zwarta bryła budynku, tym wyższe będą koszty związane z ograniczeniem strat ciepła przy zastosowaniu innych rekompensujących rozwiązań, ale nie niemożliwe.

W standardzie pasywnym współczynnik przewodzenia ciepła przez przegrody U musi być mniejszy lub równy $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Na rynku dostępne są materiały charakteryzujące się różnymi wartościami współczynnika λ , co umożliwia zmniejszenie grubości ocieplenia.

W Tabeli 5. przedstawiono wyniki obliczeń przykładowych kombinacji przekroju ściany zewnętrznej. Założono stałą grubość konstrukcji ściany i określono jej materiał. Zaproponowano różnego rodzaju materiały izolacji termicznej i obliczono, jaka ich grubość jest konieczna, aby spełnić wymagania stawiane współczynnikiowi U dla ściany w budynku konwencjonalnym (zgodnym z warunkami technicznymi) i pasywnym oraz dla wartości współczynnika często spotykanego w istniejących obiektach pasywnych.

Tabela 5. Grubości ścian w zależności od przyjętego materiału termoizolacyjnego (opracowanie własne).

Konstrukcja ściany murowana, z pustaków ceramicznych o grubości 25 cm i współczynniku $\lambda=0,316 \text{ W/(mK)}$			
	Ściana spełniająca wymagania warunków technicznych	Ściana w budynku pasywnym	Ściana w istniejących budynkach pasywnych
Współczynnik $U \text{ [W/(m}^2\text{K)]}$ przegrody	0,20	0,15	0,10
Grubość ocieplenia z pustaka ceramicznego o współczynniku $\lambda=0,126 \text{ W/(mK)}$	50,6 cm	75,1 cm	114 cm
Grubość ocieplenia ze styropianu o współczynniku $\lambda=0,04 \text{ W/(mK)}$	16,1 cm	22,7 cm	36 cm
Grubość ocieplenia z wełny o współczynniku $\lambda=0,03 \text{ W/(mK)}$	12,1 cm	17,1 cm	27 cm
Grubość ocieplenia z PIRu o współczynniku $\lambda=0,022 \text{ W/(mK)}$	8,8 cm	12,5 cm	19,8 cm

2.1.2.2. Konstruowanie bez mostków termicznych

Przykładowe miejsca występowania mostków termicznych to między innymi [Feist et al. 2006 a]:

- narożniki budynku;
- przyłącza i przejścia instalacji;
- miejsca montażu stolarki okiennej;
- gniazda elektryczne;
- konwencjonalnie wykonane balkony;
- ławy fundamentowe wykonane w tradycyjny sposób;
- ściany attyki wykonane w tradycyjny sposób;
- styki materiałów o różnej przewodności cieplnej.

Dodatni mostek termiczny to fragment zewnętrznej przegrody budowlanej, który charakteryzuje się wyższym współczynnikiem przewodzenia ciepła, niż sąsiadująca z nim przegroda. Dobry projekt z poprawnym opracowaniem detali architektonicznych i staranne wykonanie obiektu, umożliwiają zmniejszenie ilości i wartości mostków termicznych, a co za tym idzie podwyższenie oszczędności energii. Niektóre mostki termiczne są nie do uniknięcia i należy je uwzględnić w obliczeniach, ale można je zredukować.

Dodatnie mostki termiczne w detalach architektonicznych to najczęściej przerwanie ciągłości ocieplenia. Takie mostki można zaobserwować na płytach balkonowych, ławach fundamentowych, czy attykach. Dzięki zastosowaniu nowoczesnych rozwiązań, jak szkło piankowe w strefie fundamentowej, bloczek izolacyjny na attyce, czy specjalne ciepłe kotwy do mocowania balkonów, możliwa jest minimalizacja występowania dodatnich mostków termicznych. Balkony mogą mieć własną konstrukcję, co eliminuje całkowicie mostki termiczne. Należy unikać tworzenia dodatnich mostków termicznych poprzez zachowanie ciągłości warstwy izolacyjnej. Kiedy jednak przerwanie warstwy jest konieczne, należy zastosować materiał o dużym oporze cieplnym, łącząc w detalu elementy izolacji w sposób ciągły.

Geometryczne mostki termiczne wynikają z kształtu budynku, są to np. narożniki wklęsłe i wypukłe. Korzystne jest wybieranie kątów rozwartych, dzięki czemu występują mostki ujemne, które są uznawane za pozytywne mostki termiczne. Przykładem jest zewnętrzny narożnik budynku, osiąga on wartości ujemne. Ujemne efekty mostków termicznych mogą zrekompensować niektóre negatywne (dodatnie) mostki termiczne, takie jak wpusty, miejsca montażu okien itp.

Przyjmuje się, że detal jest wolny od mostków termicznych w momencie, gdy liniowy współczynnik przenikania ciepła z tytułu mostku termicznego, odniesiony do wymiarów zewnętrznych, odpowiada stracie ciepła wykraczającej poza straty regularne na jednym metrze długości, przy różnicy temperatur jednego Kelwina $\Psi_a \leq 0,01 \text{ W/(mK)}$ [Feist et al 2016].

2.1.2.3. Szczelna powłoka budynku

Bardzo ważnym parametrem określającym budynek pasywny jest jego szczelność powietrzna i związana z nią konieczność zastosowania wentylacji mechanicznej z rekuperacją ciepła. Szczelność powietrzna jest najbardziej niezrozumiałym dla ludzi wymaganiem i mylnie kojarzy się z brakiem dostępu świeżego powietrza i jego złą jakością. Jawi się jako coś negatywnego i trudno osiągalnego. Ludzie nie zdają sobie sprawy, że powszechnie stosowany tynk jest powietrznie szczelny. Szczelność połączona z wentylacją mechaniczną zapewnia czyste, świeże powietrze. Jednakże również wentylacja mechaniczna nie jest korzystnie oceniana przez wielu ludzi. Może mieć to podłoże w negatywnych doświadczeniach ze złym utrzymaniem urządzeń, błędami wystrojenia, czy

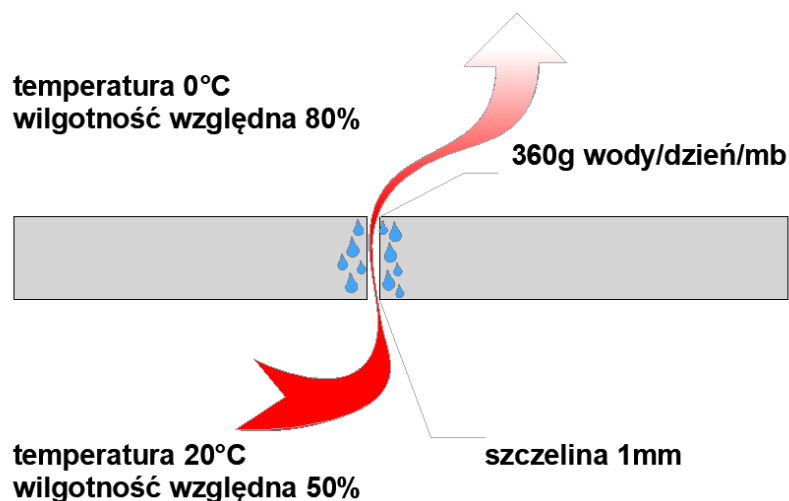
niepoprawnym doбором ilości powietrza nawiewanego. Negatywna ocena wentylacji mechanicznej może być też związana z syndromem chorego budynku, w tym niekorzystną jonizacją powietrza po przejściu przez filtry. W budynkach pasywnych otwieranie okien nie jest konieczne, ponieważ świeże, przefiltrowane powietrze dostarczane jest w odpowiedniej ilości do odpowiedniego pomieszczenia. Obiekty pasywne projektowane i wykonywane są z oknami otwieralnymi, standard budownictwa pasywnego nie zakazuje otwieralnych okien. Należy jednak racjonalnie otwierać okna i wiedzieć w którym momencie to robić [Kołodziejczyk-Kęsoń 2019], [Wang et al 2014]. Otwarcie okna zimą powoduje tylko większe straty ciepła. Latem otwieranie okien w porze nocnej jest jak najbardziej wskazane, gdyż ułatwia naturalne chłodzenie budynku.

Szczelność powietrzna nie jest tylko wymysłem standardów pasywnych. Zgodnie z obowiązującymi w Polsce warunkami technicznymi [Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późn. zm.] wszystkie rodzaje budynków mieszkalnych, produkcyjnych i użyteczności publicznej, przegrody zewnętrzne oraz ich połączenia, przejścia instalacyjne, połączenia okien i drzwi należy projektować i wykonywać całkowicie szczelnie powietrznie. Przepuszczalność powietrza dla okien w budynkach musi odpowiadać klasie 4 Polskiej Normy dotyczącej przepuszczalności powietrza okien i drzwi [PN-EN 1026:2016-04]. Budynki z wentylacją grawitacyjną i hybrydową muszą charakteryzować się szczelnością mniejszą niż 3 h^{-1} . Budynki z wentylacją mechaniczną lub klimatyzacją muszą charakteryzować się szczelnością powietrza mniejszą niż $1,5 \text{ h}^{-1}$. W przepisach prawnych występuje zalecenie przeprowadzenia próby szczelności zgodnej z Polską Normą dla wszystkich budynków mieszkalnych, produkcyjnych i użyteczności publicznej [PN-EN ISO 9972:2015-10].

Budownictwo konwencjonalne opiera się na wentylacji grawitacyjnej. Takie rozwiązanie jest zawodne. Stopień wymiany powietrza przez nieszczelności jest zmienny i zależy od siły wiatru, parcia wiatru oraz wyporu termicznego. Stąd wymiana powietrza albo jest za duża, albo niewystarczająca i jest zależna od wielu czynników, których nie da się regulować.

Poważnym problemem w nieszczelnościach oraz niekontrolowanym ruchu powietrza jest wnikanie wilgoci w przegrody budowlane. W momencie, gdy powietrze znajdujące się wewnątrz pomieszczenia napotka szczelinę, przenika na zewnątrz, gdzie temperatura jest niższa. Następuje wtedy wykroplenie pary wodnej związane z tym, że chłodniejsze powietrze ma mniejszą zdolność nasycenia parą wodną. Skroplony nadmiar wilgoci wnika w konstrukcję i materiał termoizolacyjny powodując nieodwracalne szkody przez zawilgocenie [Carlsson et al 1980]. Zjawisko to jest dużo bardziej niebezpieczne dla budynku niż dyfuzyjność pary wodnej w przegrodzie. W wyniku dyfuzji przenika około $1 \text{ g wody/dzień/m}^2$, podczas gdy w przypadku szczeliny o szerokości 1 mm , przy temperaturze zewnętrznej 0°C , a wewnętrznej 20°C i wilgotności względnej zewnętrznej 80% , a wewnętrznej 50% wykrapla się $360 \text{ g wody/dzień/mb}$ (Rys. 11). Nieszczelna powłoka budynku jest przyczyną wielu szkód budowlanych. Dodatkowymi szkodami są straty ciepła oraz

pogorszenie warunków akustycznych przegrody. Zgodnie z obliczeniami ściana o współczynniku przenikania $U = 0,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, w której wykona się szczelinę o szerokości 1 mm charakteryzuje się już tylko współczynnikiem U na poziomie $1,44 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, co oznacza pogorszenie jej parametrów 4,8 razy. Obliczenia przeprowadzono w warunkach temperatury zewnętrznej na poziomie -10°C oraz temperaturze wewnętrznej na poziomie 20°C [Proclima DBZ].



Rysunek 11. Wykroplenie wody w szczelinie, przez którą przenika powietrze (opracowanie własne, na podstawie źródła [PIBP 2016]).

Parametr szczelności budynku jest łatwo mierzalny dzięki testowi szczelności [Blower Door Test]. Test polega na zamontowaniu wentylatora w otworze drzwiowym lub okiennym, który utrzymuje w budynku określone podciśnienie lub nadciśnienie (o wartości 50 Pa). Następnie mierzona jest ilość powietrza wtłaczanego bądź wysysanego, w celu utrzymania ciśnienia. Z tego pomiaru wynika ilość powietrza napływającego bądź wypychanego przez nieszczelności. W ten sposób określa się stopień nieszczelności. Kontrola powłoki polega na znalezieniu nieszczelności. Wykonywana jest między innymi przy użyciu zadymiarek. Dzięki temu możliwe jest znalezienie i naprawienie nieprawidłowości.

Materiały szczelne powietrznie to między innymi tynk, sznur uszczelniający pokryty tynkiem w konstrukcjach betonowych, papa zgrzewana łączona taśmami uszczelniającymi z łatami dociskowymi, płyty OSB połączone pasami taśmy uszczelniającej. Ściana murowana pokryta ciągłą warstwą tynku bez pęknięć i szczelin, również w miejscu np. styku ściany i stropu czy posadzki jest szczelna powietrznie. Warunkiem jest sumienne wykonanie tynkowania również w miejscach potencjalnie niewidocznych np. ponad sufitem podwieszanym. Dla konstrukcji drewnianych warstwę szczelną powietrznie tworzy folia polietylenowa łączona taśmami butylowymi montowana pomiędzy wnętrzem, a warstwą ocieplenia. Płyty betonowe oraz szyby są szczelne ze względu na swoją budowę materiałową. Podstawą jest zawsze uszczelnienie połączeń różnych elementów i szczelny montaż stolarki.

Podczas prac projektowych istotne jest uzyskanie maksymalnie prostego detalu gwarantującego dobre wykonanie. Konieczne jest stosowanie sprawdzonej i trwałej technologii. Należy maksymalnie zredukować ilość przebieg powłoki szczelnej. Na rynku istnieją rozwiązania biorące pod rozważenie problem szczelności. Można zastosować szczelne puszki instalacyjne, kołnierze uszczelniające do przepustów rur instalacyjnych itp. W zależności od miejsca, przykładowo dla uszczelnienia montażu puszki elektrycznej, można również zastosować np. masę gipsową

2.1.2.4. Pasywne wykorzystanie energii słonecznej

Zyski energetyczne wyrównują straty ciepła przez przegrody i wentylację. Celem budownictwa pasywnego jest maksymalne pozyskanie energii słonecznej, która przenika do wnętrza obiektu poprzez pasywne okna. Najwięcej zysków energii słonecznej jest potrzebne w zimie. W tych miesiącach jest małe nasłonecznienie, a równocześnie występują niskie temperatury zewnętrzne, co powoduje, że straty przez przegrody w tym okresie są najwyższe. W celu sprawdzenia opłacalności, doboru wielkości oraz ilości otworów okiennych niezbędne jest wykonanie bilansu zysków i strat ciepła w okresie zimowym. W okresie grzewczym zaleca się zrezygnowanie z otwierania okien. W budynku pasywnym dobra jakość powietrza zapewniana jest przez cały rok dzięki wentylacji mechanicznej. Nie jest to równoznaczne z zakazem otwierania okien, jednakże jest to niepotrzebne. Jeżeli użytkownicy będą otwierali okna w sezonie grzewczym, należy się liczyć z koniecznością pokrycia dodatkowych kosztów związanych ze zwiększeniem zużycia energii. Pozbawiamy się zysków z rekuperacji i wychładzamy pomieszczenia. W istniejących osiedlach pasywnych przeprowadzono statystyczne badania intensywnego wietrzenia przez otwieranie okien. Wykazały one, że nieliczni użytkownicy mają taką tendencję [Ebel et al 2003], [Reiß et al 2003]. Należy pamiętać również, że każde zacienienie powierzchni przeszklonej powoduje dodatkowe straty.

Do lat 70 XX wieku standardowe okna miały współczynnik przewodności cieplnej na poziomie $U = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. W okresie zimy szron osadzał się po wewnętrznej stronie szyby. Począwszy od lat 80 XX wieku zaczęto stosować szklenie podwójne o współczynniku dla okna $U = 3,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Nadal jednak dochodziło do kondensacji pary wodnej na szybie wewnątrz pomieszczenia. Od lat 90 XX wieku wprowadzono okna ciepłochronne z dwiema szybami wypełnionymi gazami szlachetnymi o współczynniku U na poziomie od 1,2 do $1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Zgodnie z warunkami technicznymi, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie okna mają charakteryzować się współczynnikiem przenikania ciepła $U_{\text{max}} = 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ [Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późn. zm.].

Obecnie w budownictwie pasywnym stosuje się okna z potrójnym szkleniem oraz dwoma komorami wypełnionymi gazem szlachetnym o współczynniku U na poziomie 0,6 do $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Efektywny współczynnik strat ciepła U dla okien obliczany jest w oparciu o normy [PN-EN ISO 10077-1:2017-10] oraz

[PN- EN ISO 10077-2:2017-10]. Temperatura powierzchni okna wewnątrz pomieszczenia jest zbliżona do temperatury całego pomieszczenia, w związku z powyższym komfort cieplny jest wysoki i nie ma potrzeby montażu grzejnika pod oknem. Szyba okna pasywnego musi się charakteryzować współczynnikiem g całkowitej przepuszczalności energii na poziomie około 50%.

W montażu okien niezwykle ważne jest, aby ich usytuowanie było na krawędzi zewnętrznej warstwy konstrukcyjnej – w warstwie ocieplenia, warto też nasunąć warstwę ocieplenia na ramę. Ramy mają gorsze parametry współczynnika U niż przeszklenia, generując więcej strat ciepła. Najkorzystniej jest, gdy w powierzchni całego okna udział ram jest jak najmniejszy w stosunku do udziału szyby. Okna stałe – nieotwieralne charakteryzują się lepszą izolacyjnością cieplną i mniejszą ilością dodatkowych mostków termicznych.

2.1.2.5. Wentylacja

Za miarę dobrej wentylacji, w XIX wieku, Max von Pettenkofer uznał zawartość dwutlenku węgla (CO_2) w powietrzu. Przy koncentracji CO_2 poniżej 0,1% użytkownicy ocenili jakość powietrza jako dobrą [Pettenkofer 1851], [Pettenkofer 1858].

Zgodnie z normą [PN-EN 16798-1:2019-06] tablica B.2 określającą domyślne wartości projektowe wewnętrznej temperatury operatywnej w zimie i w lecie dla budynków z mechanicznymi systemami chłodzenia dla pomieszczeń mieszkalnych w sezonie zimowym temperatura ta wynosi 20°C , również w budynkach biurowych, salach konferencyjnych, restauracjach, salach lekcyjnych i pracy wykonywanej w pozycji siedzącej w sezonie zimowym temperatura ta wynosi 20°C . Podczas, gdy dla pomieszczeń o aktywności stojącej – chodzeniu temperatura ta wynosi 16°C . Dotyczy to aktywności realizowanych w ubraniu.

Całkowity minimalny przepływ powietrza w pomieszczeniach, ze względów zdrowotnych zaleca się, żeby nie był mniejszy niż 4 l/s (na osobę). Standardowo emisja CO_2 wynosi 20 l/h (na osobę).

Projektowe strumienie objętości powietrza w kuchniach to 25 l/s, w łazienkach lub prysznicu z toaletą, lub bez toalety oraz w pomieszczeniach o podwyższonej wilgotności i w toaletach to 10 l/s.

Do 2015 roku funkcjonowała norma [PN-83/B-03430] określała ona strumień powietrza w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Norma [PN-82/B-02402] wycofana w 2012 roku określała temperaturę w pomieszczeniach (dla pomieszczeń przeznaczonych do rozbierania lub przebywania ludzi bez odzieży to jest: rozbieralnie-szatnie, łazienki, natryskownie, umywalnie, hale pływalni określano 25°C) [SPW 2010]. Obecnie temperatury obliczeniowe dla szczytowych mocy cieplnych cytowane są w obowiązujących warunkach technicznych. Dla hal pływalni temperatura obliczeniowa wynosi 24°C [Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późn. zm.].

W basenach krytych dla utrzymania komfortu cieplnego użytkowników zgodnie z normą [VDI 2089.] w przestrzeni hal basenowych utrzymuje się temperaturę na poziomie 30-34° C. Przedział ten wynika ze średniej temperatury skóry człowieka, która wynosi około 33,5-34° C w stanie komfortu cieplnego. Aby ograniczyć parowanie, temperatura wody w basenie powinna wynosić około 26-28 °C. Różnica temperatury pomiędzy powietrzem wewnętrznym, a temperaturą wody powinna zawierać się w przedziale 1-2° C. W Tabeli 6. Podano temperatury w poszczególnych pomieszczeniach obiektu basenowego w zależności od temperatury wody.

Tabela 6. Temperatury w obiekcie basenowym (opracowanie własne na podstawie normy VDI 2089).

Pomieszczenie	Temperatura w pomieszczeniu w zależności od temperatury wody
Hol wejściowy, pomieszczenia sąsiadujące z holem oraz klatki schodowe	18-22° C
Przebieralnie	24-28° C
Sanitariaty, pomieszczenia administracyjne	22-26° C
Natryski z przylegającymi sanitariatami	27-31° C
Hala basenowa	30-34° C

Zgodnie z normą [PN-EN 16798-1:2019-06] zalecane kryteria projektowe dotyczące wilgotności w strefach przebywania ludzi, to 60% projektowanej wilgotności względnej dla osuszania i 25% projektowanej wilgotności względnej dla nawilżania. Standard budynków pasywnych zakłada, że ciągły przepływ powietrza zapewnia odprowadzenie wilgoci.

Strumień powietrza wentylacyjnego według [ASHRAE Standard 62-2001], powinien wynosić minimum 2,5 l/m² powierzchni basenu. Dla basenów rekreacyjnych krotność wymiany powinna wynosić 4-6 wymian h⁻¹, podczas gdy dla basenów sportowych nawet 10 wymian h⁻¹, w basenach szkolnych 3,5 h⁻¹. Przyjmuje się, że im mniejszy obiekt, w każdej z danych funkcji, tym krotność wymiany powietrza powinna być większa [Kaiser 2020]. Krotność wymiany powietrza zależy od jego zanieczyszczenia np. dwutlenkiem węgla, związkami chemicznymi, czy zapachami. Im mniejsze pomieszczenie, tym zanieczyszczenia rozpuszczają się w mniejszej objętości czystego powietrza, stąd wymagana większa krotność powietrza [Nowak 2008]. W związku z wyższymi wymaganiami temperaturowymi oraz wentylacyjnymi baseny pasywne w standardzie Darmstadt mają indywidualnie dobrane i określone zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania, podczas

gdy obiekty pozostałych funkcji nie mogą przekroczyć wartości określonych kryteriów.

Wentylacja grawitacyjna dla wielu obiektów, a zwłaszcza dla basenów jest niewystarczająca, nie zapewnia równomiernego napływu świeżego powietrza oraz odprowadzenia powietrza zużytego. W budynkach energooszczędnych czasem proponowane jest rozwiązanie wentylacji hybrydowej polegające na wprowadzaniu świeżego powietrza przez nawiewniki w oknach czy ścianach zewnętrznych, natomiast wywiew realizowany jest za pomocą wentylatora wyciągowego. Takie rozwiązanie, dla przyjętego strumienia objętościowego świeżego powietrza $120 \text{ m}^3/\text{h}$ powoduje, że dla czteroosobowej rodziny w mieszkaniu o powierzchni 120 m^2 roczna strata ciepła związana z wentylacją grawitacyjną lub hybrydową wyniesie $28 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Sama ta wartość przekracza dopuszczalne w budynku pasywnym zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania ($15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$). Z powyższego wynika konieczność zastosowania efektywnego odzysku ciepła z wentylacji [Feist et al. 2006 a].

Budynki pasywne powinny charakteryzować się wentylacją wyposażoną w wysokoefektywny odzysk ciepła o sprawności min. 75%. System wentylacji powinien charakteryzować się niskim zużyciem prądu elektrycznego. Można go osiągnąć dzięki optymalizacji strumienia powietrza nawiewanego oraz poprzez zastosowanie wysokosprawnych wentylatorów stałoprądowych. Dobry projekt wentylacji, o krótkich przewodach i podziale na strefy z niezakłóconym przepływem powietrza znacznie obniży koszty eksploatacji. Należy pamiętać o utrzymywaniu systemu wentylacji w jak najlepszym porządku poprzez zastosowanie filtrów powietrza bezpośrednio za czerpnią oraz w urządzeniach wentylacyjnych. Wymiana filtrów musi odbywać się regularnie w zależności od zanieczyszczenia powietrza w danym rejonie.

Przy wysokosprawnych wymiennikach ($>75\%$ sprawności odzysku ciepła) oraz temperaturze zewnętrznej poniżej -5°C może dochodzić do oblodzenia wymiennika po stronie wyrzutu powietrza. Taką sytuację można zniwelować przy zastosowaniu gruntowego wymiennika ciepła (GWC). Są to zakopane na głębokości około $1,5 \text{ m}$ poniżej poziomu terenu równoległe przewody, przez które przepływa przefiltrowane, świeże powietrze. Nawet przy najniższych temperaturach zewnętrznych w zimie powietrze przechodzące przez gruntowy wymiennik ciepła ogrzewa się od 1°C do 10°C . Ze względów higienicznych, podczas wykonywania oraz użytkowania GWC należy unikać kondensacji wody [Feist 1994]. Innym sposobem jest zamontowanie nagrzewnicy (np. elektrycznej), która wstępnie podgrzewa świeże powietrze do temperatury minimum 0°C , przed wprowadzeniem go do wymiennika. Takie rozwiązanie zużywa energię elektryczną.

2.1.2.6. Jakość powietrza wewnętrznego w budynkach pasywnych

Na jakość powietrza mają wpływ zastosowane materiały budowlane oraz lotne substancje pochodzące z wyposażenia pomieszczeń. Ich wpływ i stężenie,

maleje wraz z długością użytkowania. Działająca wentylacja mechaniczna oraz użytkownicy nie pozostają bez znaczenia dla warunków jakości powietrza. Wentylacja mechaniczna przyczynia się do redukcji stężenia substancji szkodliwych, takich jak styren, pochodzących z materiałów izolacyjnych. Obniżenie poziomu styrenu w okresie kilku miesięcy od wybudowania obiektu do poziomu racjonalnego pod względem higieny powietrza jest możliwe. Wietrzenie otwieraniem okien nie zmniejsza stężenia styrenu, wręcz przeciwnie.

Ilość zarodników grzybów pleśniowych tworzących kolonie w powietrzu wewnętrznym dostarczonym przez wentylację mechaniczną jest równa lub niższa, w zależności od pory roku od stężenia występującego w powietrzu zewnętrznym. Odpowiadają one stężeniu ilości zarodników grzybów pleśniowych tworzących kolonie w powietrzu wewnętrznym budynków konwencjonalnych wietrzonych poprzez otwieranie okien, w których nie stwierdza się pleśni w pomieszczeniach. Nawet gruntowy wymiennik ciepła nie podwyższa stężenia zarodników w powietrzu wewnętrznym budynku. Powodem tak niskiej ilości zarodników w domach pasywnych może być zastosowaniem filtra przeciwpyłkowego w centralnej instalacji wentylacyjnej. Filtr taki przechwytuje część zarodników grzybów. Jednakże, jeśli filtr ten nasiąka wilgocią (np. przy różnicach temperatur w zimie, czy okresowym wyłączaniu wentylacji mechanicznej) może sam stać się rozsadnikiem grzybów pleśniowych. Stąd też tak ważne jest przeprowadzanie systematycznych wymian filtrów, minimum dwa razy w roku. W tym samym czasie warto jest wyczyścić przewody gruntowego wymiennika ciepła [Feist et al. 2006 a].

Jony atmosferyczne w powietrzu wewnętrznym to molekuły i atomy, które mają ładunki elektryczne. Cząstki początkowo obojętne pod względem elektrycznym podlegają jonizacji, można wyróżnić jony ujemne i dodatnie. Ujemne mają nadwyżkę elektronów, dodatnie, mają mniej elektronów niż protonów. Naturalne jony atmosferyczne tworzą się w przyrodzie za sprawą np. rozpylania wody, naturalnej promieniotwórczości, uderzenia pioruna, promieniowania ultrafioletowego. Chlorofil roślinny produkuje jony ujemne. Z wyjątkiem tlenu i jonów ujemnych zgodnie z zasadami zielarstwa wiele gatunków roślin, nie tylko małych, jak cebula czy czosnek, produkuje substancje zwane fitocydami, które mają działanie antybakteryjne, przeciwgrzybicze, czy wirusowe. Substancje te mają nieoceniony wpływ między innymi na układ nerwowy, oddechowy oraz krwionośny. W sposób sztuczny jony można uzyskać poprzez rozpylenie wody, zastosowanie wysokiego napięcia, preparatów promieniotwórczych, czy jonizatorów. Małe jony dodatnie i ujemne w zakresie naturalnego stężenia w powietrzu zewnętrznym są korzystne dla zdrowia. Każde odchylenie jest oznaką zaburzenia mikroklimatu pomieszczenia w rozumieniu biologii budowlanej. Nad brzegiem morza oraz w lesie ilość jonów jest równa i wynosi średnio 200-400 jonów lekkich obu znaków na 1 m^3 [Wiszniewski 1997]. Budynki pasywne charakteryzują się zrównoważoną wielkością ładunków jonów dodatnich i ujemnych. Ilościowy i jakościowy skład jonów w powietrzu wewnętrznym w budynkach pasywnych odpowiada analogicznym wartościom w budynkach konwencjonalnych. Vanessa Perez, Dominik Alexander

oraz Willoam Bailey wykazali, że ujemna jonizacja powietrza obniża podatność na depresję, szczególnie przy najwyższym poziomie ekspozycji. Nie zaobserwowano wpływu dodatniej czy ujemnej jonizacji powietrza na niepokój, nastrój, relaks, sen, czy komfort osobisty [Perez et al 2013]. Z kolei Zbigniew Haber podaje optymalny stosunek 6 tysięcy jonów dodatnich do 4 tysięcy jonów ujemnych na 1 m³ powietrza. Określił on również, że letnie upalne powietrze miejskiej ulicy zawiera tylko 500-1000 jonów ujemnych. Badania naukowe wykazały, że skład jonowy powietrza transportowanego metalowymi przewodami wentylacyjnymi ulega degradacji. Jony lekkie, tlenu i dwutlenku węgla należą do biologicznie najbardziej czynnych [Haber 2001], [Woźny 2015].

2.1.2.7. Możliwości ogrzewania budynku pasywnego

Standard budynku pasywnego umożliwia zaoszczędzenie nakładów inwestycyjnych związanych z rozprowadzeniem ciepła. Konwencjonalne rozprowadzenie ciepła jest czasem stosowane w istniejących budynkach pasywnych, ale w wielu przypadkach zbędne. Ciepło można dostarczyć nagrzewnicą zamontowaną za rekuperatorem. Po wyjściu z nagrzewnicy przewody muszą przebiegać wewnątrz pomieszczeń ciepłych. Minimalizuje to straty ciepła. Należy uniemożliwić bezpośrednią wymianę ciepła pomiędzy kanałami nawiewnymi i wyciągowymi. Ciepło do podgrzania powietrza nawiewanego może pochodzić z wymaganego systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej (nagrzewnica wodna).

Źródłem ciepła w budynku pasywnym może być między innymi kocioł kondensacyjny, niskotemperaturowe podgrzewacze olejowe, kotły na paliwo stałe np. pelety, czy pompy ciepła. System ogrzewania powinien być prosty i ekonomiczny. Wytwarzane ciepło w pierwszym rzędzie musi zaspokajać zapotrzebowanie na energię potrzebną do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Rozprowadzenie ciepła powinno być prowadzone wewnątrz powłoki termicznej, a ewentualne odcinki przewodów poza tą strefą muszą być dobrze izolowane (około 10 cm warstwy ocieplenia). Urządzenia przygotowujące ciepło, zasilane paliwem, a montowane wewnątrz budynku muszą być wyposażone w niezależne od powietrza wewnętrznego doprowadzenie powietrza do spalania. Zasilanie powietrzem i odprowadzenie spalin musi być szczelnie oddzielone od powietrza wewnętrznego. W czasie, gdy urządzenie jest wyłączone również musi być szczelne, aby substancje szkodliwe nie przedostawały się do pomieszczeń użytkowanych lub żeby nie zakłócić strumieni powietrza w systemie wentylacji (infiltracja). Sterowanie wytwarzaniem ciepła realizowane jest przy pomocy czujników temperatur wewnętrznych i zewnętrznych [Feist et al. 2006 a].

2.1.2.8. Ciepła woda użytkowa

Ze względu na bardzo niewielkie zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania budynków pasywnych duże ilości przypadają na energię wymaganą

do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Aby ograniczyć straty, zasobnik centralnej wody użytkowej wraz z przewodami należy umieścić w pomieszczeniach ogrzewanych wewnątrz ocieplonej powłoki. Straty ciepła tych urządzeń przynoszą wtedy zyski w pomieszczeniach ogrzewanych. W przypadku wykonania instalacji poza powłoką ocieploną, w celu wykluczenia strat ciepła, wszystkie elementy należy zaizolować grubą warstwą izolacji (dużo większą niż zakładana w przepisach prawnych i normach). Projekt ocieplenia instalacji powinien uwzględniać również minimalizację dodatnich mostków termicznych. Należy projektować możliwie krótkie odcinki instalacji ciepłej wody. Oszczędza to koszty inwestycyjne, jak również zmniejsza straty ciepła. Jako wytyczna dla architektów – najlepiej grupować pomieszczenia wykorzystujące centralną wodę użytkową w bliskim sąsiedztwie (kuchnie, łazienki, toalety itp.). Wskazana jest dodatkowa izolacja zasobnika i przewodów wewnątrz powłoki ciepłochronnej budynku. Zminimalizuje ona straty ciepła na instalacji oraz zapobiegnie nadmiernemu przegrzewaniu się obiektu w lecie. Zastosowanie baterii z oszczędnościowymi głowicami natryskowymi, termostatycznych baterii mieszających, ograniczników przepływu itp. przekłada się na oszczędność wody jak i ciepła potrzebnego do ogrzania tej wody. Dodatkowo można połączyć system z kolektorami słonecznymi [Feist et al. 2006 a].

2.1.2.9. Zużycie energii elektrycznej

Rachunek za energię elektryczną stanowi decydującą część kosztów eksploatacyjnych w budynku pasywnym. Energia elektryczna wykorzystywana jest do wielu zastosowań: chłodzenie, pranie, zmywanie, komunikacja, oświetlenie, komputery, zasilanie maszyn itp. należy więc stosować urządzenia energooszczędne. Czynnikiem decydującym jest techniczna sprawność urządzenia elektrycznego. Przy zakupie urządzeń, należy kierować się ich niskim zużyciem energii elektrycznej [CEPHEUS 1998/3]. Do oświetlenia należy stosować energooszczędne źródła światła takie jak LED. Poprzez zaprojektowanie budynku zgodnie ze standardem Darmstadt, można zrezygnować z konieczności stosowania klimatyzacji. System wentylacji musi być energooszczędny, a urządzenia elektryczne powinny mieć tryb czuwania, zmniejszający zużycie energii.

2.1.3. Ekonomia budynku pasywnego

Pierwszy dom pasywny w Darmstadt – Kanichstein, który został zrealizowany w ramach projektu naukowego wymagał ok. 20% dodatkowych kosztów inwestycyjnych [Feist et al. 2006 a]. Materiały używane w budownictwie pasywnym są coraz bardziej dostępne, są produkowane przemysłowo, a nie jak w pierwszym budynku wykonywane na zamówienie, w związku z czym można zaobserwować znaczną obniżkę kosztów. Zwiększenie wymagań energetycznych stawianych budynkom w warunkach technicznych [Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późn. zm.] również przybliżyła wymagania zwykłych budynków do budynków pasywnych. Obecnie podaje się różne wartości kosztów dodatkowych dla wybudowania

budynków pasywnych. Zgodnie z materiałami szkoleniowymi (szkolenie organizowane przez Akademię Zdrowego Budownictwa Kamila Wiśniewskiego) zwiększenie kosztów inwestycji waha się od 4% w przypadku dużego obiektu do około 20% przy małym obiekcie względem kosztów ponoszonych przy inwestycji zgodnej z obowiązującym prawem budowlanym. Różnica ta wynika ze stosunku kubatury obiektu do powierzchni przegród zewnętrznych w małych i dużych obiektach. Czynnikiem wpływającym na koszty realizacji to między innymi wielkość obiektu, funkcja (możliwość jej zmiany w przyszłości), jakość, lokalizacja, instalacje, czas i rynek. Im dłuższy cykl życia budynku, nie przerwany koniecznością modernizacji, a modernizacja budynków pasywnych nie jest konieczna nawet przez 20-50 lat, tym koszty środowiskowe są niższe. Budynki, które można dostosować do innej funkcji, bez konieczności wprowadzania dużych zmian zarówno w planie, jak również w modernizacji termo-energetycznej są budynkami o niskich kosztach inwestycyjnych i eksploatacyjnych.

2.1.4. Projektowanie i certyfikacja przy pomocy pakietu PHPP

Projektowanie budynków pasywnych to skomplikowany proces. Nie polega jedynie na implementacji pojedynczych komponentów budynków pasywnych. Dopiero uwzględnienie współzależności wszystkich elementów pozwala na osiągnięcie standardu budownictwa pasywnego. Aby móc zbadać te zależności pomocny jest program PHPP (Pakiet do Projektowania Budynków Pasywnych). Stosowanie go powinno zacząć się już na etapie planowania zakresu projektu, a następnie podczas całego procesu projektowego od koncepcji, przez projekt budowlany do wykonawczego.

Przy obliczeniach związanych z ciepłno-wilgotnościowymi właściwościami przegród, określając zewnętrzne warunki graniczne, przyjmuje się te reprezentowane dla lokalizacji budynku, z uwzględnieniem wysokości nad poziomem morza. W normach krajowych dostępne są informacje o warunkach zewnętrznych. W przypadku, gdy dana lokalizacja nie znajduje się w normach, przyjmuje się, że temperatura spada o 1 stopień na każde 200 m wzrostu wysokości.

Suma strat ciepła (przez przenikanie i wentylację) pomniejszona o sumę zysków ciepła (z energii słonecznej i wewnętrznych źródeł ciepła) daje wielkość zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzania budynku. Bilans cieplny to równowaga sum zysków i strat cieplnych w cyklu rocznym. Na zyski składają się wszystkie wpływające przez powłokę budynku strumienie energii. Na straty składają się wszystkie strumienie energii wypływającej przez powłokę budynku [Feist et al. 2006 a]. Po stronie zysków dolicza się również ogrzewanie. Wówczas bilans jest zrównoważony.

Aby obliczyć straty ciepła przez przenikanie należy wprowadzić dane o powierzchni przegrody oraz określić jej rodzaj. Na tej podstawie obliczany jest współczynnik przenikania ciepła U przegród budowlanych. Należy również wprowadzić dane dotyczące mostków termicznych. Stosując zasady budownictwa

pasywnego – projektowania bez mostków (za detal wolny od mostków termicznych uważa się detal o wartości mostku $\Psi < 0,01 \text{ W/(mK)}$).

Wyniki testu szczelności (oraz wstępne założenie poziomu szczelności) – straty spowodowane infiltracją uwzględniane są podczas obliczania elementów związanych z wentylacją. Obliczenia strat ciepła przez wentylację przebiega wg europejskiej normy. Wprowadzone są wartości średniej wymiany powietrza przez instalację wentylacyjną, sprawność rekuperatora oraz sprawność gruntowego wymiennika ciepła (jeśli występuje). Po uwzględnieniu stopnia infiltracji obliczana jest ekwiwalentna wymiana powietrza. Obliczane są następnie straty ciepła przez wentylację. Poszczególne elementy systemu wentylacji wraz z rodzajami wymienników, sposobem działania systemu (czasowe wyłączenie), ilością i parametrami zastosowanych urządzeń oraz długością przewodów i ich izolacją uzupełnia się w kolejnych etapach.

Określa się również wielkości mające wpływ na ograniczenie podaży ciepła z promieniowania słonecznego oraz współczynnik przenikania ciepła U dla okien z uwzględnieniem współczynnika g . Obliczana jest podaż ciepła z energii słonecznej z uwzględnieniem orientacji okien. Pakiet PHPP zawiera procedurę dokładnego określania podaży promieniowania słonecznego dowolnej orientacji (interpolacja Fourier'a).

W konsekwencji wypełniania wszystkich arkuszy obliczane jest roczne zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania. Program umożliwia studiowanie oraz wprowadzanie zmian w poszczególnych arkuszach mające wpływ na wartość rocznego zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania.

2.1.5. Elastyczność budownictwa pasywnego

Zgodnie z danymi Instytutu Budownictwa Pasywnego z Darmstadt możliwe jest wykonanie obiektu w tym standardzie o dowolnej funkcji, np. mieszkalnej, jedno i wielorodzinnej, hotelowej, biurowej, edukacyjnej, sakralnej, przemysłowej, handlowej, rolniczej, czy sportowej, jak hale sportowe i baseny kryte. Inwestorzy mają pełną dowolność w wyborze funkcji obiektu. Zmiana istniejącej funkcji budynku powinna być możliwa, co sprawia, że obiekt ma dłuższy cykl życia. Elastyczność w zakresie zmiany funkcji obniża koszty środowiskowe.

Obiekty pasywne mogą być wykonywane z dowolnych materiałów. Ściana zewnętrzna może być wykonana w dowolnej technologii (murowana tradycyjnie, wylewana, z prefabrykatów gazobetonowych, ceramicznych, itp.), ocieplona metodą lekką moką o odpowiedniej grubości ocieplenia. Możliwe jest również zastosowanie technologii wykorzystującej szalunki tracone z twardego styropianu, wypełniane na budowie betonem. Obiekty mogą również składać się z płytowych elementów drewnianych, czy dwuteowników drewnianych i być wypełnione izolacją termiczną odpowiedniej grubości. Zdarza się, że konstrukcja ścian stanowi prefabrykowane wielowarstwowe elementy ściennie z izolacją poliuretanową

(przeważnie w budynkach przemysłowych). Ciekawym, lecz rzadko spotykanym jest również budownictwo z bel słomy (np. w Ameryce Północnej), o parametrach budynku pasywnego. Chociaż szczególną uwagę należy zwrócić na szczelność i zapobieganie zagrzybieniu materiału. Nowoczesne materiały, które umożliwiają osiągnięcie odpowiedniego współczynnika nawet przy grubości 2,5 cm, to izolacja próżniowa. Taka izolacja jest jednak bardzo wrażliwa na przebicie i w takim przypadku całkowicie traci swoje właściwości.

Rodzaj materiału termoizolacyjnego jest również dowolny: styropian, wełna mineralna, skalna, celuloza, pir, bloczki ceramiczne termiczne, styrodur itp. z doświadczenia zaleca się wybieranie materiałów termoizolacyjnych o współczynnikach λ na poziomie 0,035 W/(mK), lub mniejszych, co umożliwi dobranie optymalnej grubości materiału w ekonomicznej cenie.

Wartość wskaźnika zwartości bryły nie ogranicza wolności twórczej kształtowania obiektu. Zwarta bryła jest pożądana, ale nie znaczy to, że budynek nie ma mieć ciekawej formy. To od architekta zależy, jak zaprojektuje obiekt. Istnieje możliwość połączenia dwóch zwartych, niezależnych termicznie brył, ułożonych do siebie pod kątem i stykających się jedynie fragmentarycznie. Taki zabieg umożliwi nam osiągnięcie wrażenia rozczłonkowanej bryły. Przesada w każdą stronę jest niedobra. Należy zachować umiar i zdrowy rozsądek. Możliwe jest też zastosowanie rozwiązań konstrukcyjnie niepowiązanych z powłoką izolacyjną, co sprawia, że budynek może mieć ciekawą elewację bez konieczności ingerowania w ocieploną bryłę. Z kolei dla układu funkcjonalnego zwarta bryła ma również pozytywne aspekty, umożliwia ona zmianę funkcji. Oczywiście można również rekompensować straty związane ze zwartością bryły rozwiązaniami technicznymi – lepszymi parametrami okien, izolacji, ale można też zastosować dodatkowe przeszklenia od strony południowej, aby zwiększyć zyski słoneczne itp. Należy jednak zawsze wziąć pod uwagę ekonomikę rozwiązania.

Architekci mają dowolność projektowania detali architektonicznych, pod warunkiem zapewnienia minimalizacji mostków termicznych. Naprzeciwko wychodzą nowe rozwiązania technologiczne umożliwiające zastosowanie ciepłego montażu płyt balkonowych, zastosowanie pasywnych kotew montażowych do płyt elewacyjnych itp.

Szczelność budynku wymaga od architektów jedynie odpowiedniego opracowania rozwiązań i detali architektonicznych. Istnieje szeroka gama materiałów umożliwiająca zapewnienie wewnętrznej powłoki szczelnej, począwszy od zwykłego tynku. Tutaj elastyczność jest ogromna, pod warunkiem posiadania wiedzy, jak sporządzić dokumentację i jak nadzorować prace budowlane.

Elastyczność w zakresie rozmieszczania oraz wielkości okien w budynkach pasywnych jest nieco zmniejszona, ale nie konkretnymi ramami postępowania, czy zakazami ilościowymi, lecz bilansem zysków i strat cieplnych. Istnieją obiekty pasywne, które mają przeszklenia o podobnej ilości na wszystkich elewacjach, w takich przypadkach straty powstałe przez okna na elewacji północnej, pokryte

zostały zyskami osiągniętymi innymi elementami o podwyższonych parametrach (lepsza jakość okien, grubsza termoizolacja, lokalizacja w korzystniejszej strefie klimatycznej). Należy zwrócić uwagę, że okna od strony południowej zapewniają tak konieczne zyski ciepła, ale również mogą być przyczyną przegrzewania się pomieszczeń w lecie.

Zastosowanie wentylacji mechanicznej umożliwia pozbycie się kominów wentylacji grawitacyjnej zabierających powierzchnię i sprawiających, że remont i zmiana układu pomieszczeń staje się ograniczona. Wentylacja mechaniczna umożliwia również projektowanie pomieszczeń, w których napływ świeżego powietrza jest równomierny w całym pomieszczeniu.

2.2. Standard budynku be2226

Głównym założeniem standardu be2226 jest stworzenie budynku, który nie będzie potrzebował żadnego konwencjonalnego ogrzewania, ani klimatyzacji. Temperatura powierzchni ścian, w zależności od sezonu, powinna zawierać się pomiędzy 22, a 26° C. W budynkach tego typu, temperatura oraz jakość powietrza kontrolowane są przez czujniki CO₂, które sterują otwieraniem i zamykaniem pionowych wietrzników przyokiennych [Hui et al 2008], [Almeida et al 2017]. Budynki w standardzie be2226 powinny bardziej odpowiadać na zmiany w zachowaniu użytkowników niż na warunki pogodowe. W tej koncepcji celem jest zmniejszenie przepływu ciepła [Junghans 2016]. W wielu rozwiązaniach energooszczędnych współczynnik U jest bardzo istotny, jednakże jest ograniczony jedynie do przenikania ciepła, pomija on kwestię magazynowania ciepła w przegrodzie. Właśnie możliwość magazynowania ciepła w przegrodach budowlanych jest tak istotna w koncepcji budynku be2226. Współczynnik przenikania ciepła zmniejsza się wraz ze wzrostem możliwości magazynowania ciepła w komponentach budowlanych [Keller et al. 1998]. W standardzie be2226 źródłem ogrzewania budynku są: zyski ciepła pochodzące od słońca, użytkowników, urządzeń elektronicznych i elektrycznych, oraz od oświetlenia światłem elektrycznym. W zimie preferuje się zatrzymywanie ciepła wewnątrz budynku, unika się usuwania go poprzez wentylację. W celu dogrzania pomieszczeń podczas zimowych dni sztuczne oświetlenie włączane jest wcześniej rano.

Budynek be2226 to obiekt prototypowy zaprojektowany przez biuro projektowe Baumschlager Eberle Architekten. Wybudowany pomiędzy 2010, a 2013 r. Zlokalizowany jest w Lustenau – gminie targowej w Austrii, w kraju związkowym Vorarlberg w powiecie Dornbirn. 2226 to numer adresowy obiektu. Plan budynku jest otwarty, funkcja podstawowa jest zlokalizowana po obwodzie obiektu naokoło rdzenia będącego komunikacją i pomieszczeniami pomocniczymi. Budynek ma sześć pięter.

III. Przepisy prawne

3.1. Obowiązujące w Polsce przepisy prawne dotyczące projektowania odnoszące się do energooszczędności

Podwaliną polskiego prawa, dotyczącą projektowania i budowania jest Ustawa Prawo Budowlane [Dz. U. 1994 Nr 89 poz. 414 z późn. zm.], na mocy której, opracowane zostało najważniejsze dla architektów Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późn. zm.]. Rozporządzenie określa między innymi wymagania izolacyjności cieplnej, szczelności budynku, zużycia energii i inne warunki związane z energooszczędnością budynków. Szczególnie istotny w tym względzie jest załącznik 2 do rozporządzenia.

Wyżej wymienione przepisy prawne wymagają sporządzenia projektowanej charakterystyki energetycznej obiektu na etapie projektu oraz wykonania świadectwa charakterystyki energetycznej dla obiektów nowo powstałych, sprzedawanych oraz wynajmowanych. W zakresie sprawdzenia i potwierdzenia wartości energii potrzebnej na ogrzewanie i użytkowanie obiektu podstawowym obowiązującym przepisem prawnym jest Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/EU z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków [Dz.U. L 153 z 18.6.2010]. Wprowadzenie założeń dyrektywy EPBD do ustawodawstwa polskiego nastąpiło we wrześniu 2007 r. w formie zmian do Ustawy Prawo Budowlane, które weszły w życie z dniem 1 stycznia 2009 r. [Wentylacja.com.pl 2010]. W Polsce obowiązuje Ustawa o charakterystyce energetycznej budynku z dnia 29 sierpnia 2014 r. [Dz.U. 2014 poz. 1200] oraz Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej [Dz.U. 2015 poz. 376 z późn. zm.].

Wyróżnia się charakterystykę energetyczną budynku lub jego części oraz świadectwo charakterystyki energetycznej budynku lub jego części. Charakterystyka energetyczna sporządzana jest na etapie projektu i określa zbiór danych i wskaźników energetycznych, które określają całkowite zapotrzebowanie na energię niezbędną do użytkowania budynków zgodnie z ich przeznaczeniem. Świadectwo charakterystyki energetycznej wystawiane jest budynkom istniejącym. Uwzględnia ono parametry techniczne konstrukcji, instalacji oraz źródła ciepła. Zgodnie z Ustawą o charakterystyce energetycznej budynków [Dz.U. 2014 poz. 1200] Art. 6. w przypadku budynków mających projekt techniczny świadectwo charakterystyki energetycznej może być sporządzone na podstawie charakterystyki energetycznej, przy uwzględnieniu ewentualnych odstępstw od projektu technicznego w zakresie charakterystyki energetycznej budynku. Niestety zapis ten sprawia, że osoby sporządzające świadectwa charakterystyk energetycznych budynków opierają się jedynie na dokumentacji projektu technicznego, nie wykonując badań szczelności

budynku, nie sprawdzają rzeczywistej jakości wykonania, sprawdzenia rzeczywistego zużycia energii itp. Z kolei zgodnie z Prawem Budowlanym nieistotnym odstępniem od zatwierdzonego projektu jest między innymi: zmiana wielkości powierzchni zabudowy w zakresie do 5%, wysokości, długości lub szerokości w zakresie do 2%, zmiana źródła ciepła do ogrzewania lub przygotowywania ciepłej wody użytkowej, ze źródła zasilanego gazem, odnawialnymi źródłami energii lub z sieci ciepłowniczej na źródło inne niż opalane paliwem stałym. Projektant kwalifikuje odstępnie od projektu, a gdy jest to odstępstwo nieistotne dołącza odpowiednie informacje do dokumentacji budowy. Bardzo często do osoby sporządzającej świadectwo charakterystyki energetycznej zgodnie z prawem dostarczany jest jedynie projekt techniczny. Nie ma ona wglądu w dokumentację budowy i informacji dotyczących nieistotnych odstępni od zatwierdzonego projektu.

Podczas sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej budynku wartość mostków termicznych najczęściej przyjmuje się z obowiązujących norm albo w najgorszych przypadkach zupełnie pomija. Istnieją programy komputerowe, jak TERM do obliczania mostków termicznych, w których można obliczyć mostki liniowe, jednakże niewiele świadectw czy charakterystyk uwzględnia pełne dane i obliczenia rzeczywistych rozwiązań.

Świadectwo charakterystyki energetycznej z założenia powinno informować inwestora o efektywności energetycznej jego budynku. Powinno pomóc mu w decyzji kupna mieszkania, domu, budynku przeznaczonego na inwestycję, czy podczas projektowania nowego obiektu. Umożliwia ono porównanie odpowiednich wskaźników zapotrzebowania na energię do ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, przygotowania ciepłej wody i oświetlenia. Niestety forma świadectwa jest nieczytelna, a zawarte w nim dane są niezrozumiałe dla osób nie związanych z budownictwem i nie znających zagadnień energooszczędności. Dla inwestorów stały się jedynie obowiązkiem formalnym. Czasami zdarza się, że inwestorzy obchodzą konieczność sporządzania świadectwa sądząc, że jest to jedynie zbędne wymaganie prowadzące do wzrostu kosztów. A czasem świadomie go nie sporządzają. Zgodnie z Ustawą o charakterystyce energetycznej budynków [Dz.U. 2014 poz. 1200], urzędy publiczne powinny w widocznym miejscu obiektu umieszczać takie świadectwa. Jednakże nie wszystkie urzędy spełniają ten wymóg. Jeszcze gorzej sprawy mają się w momencie sprzedaży czy wynajmu mieszkań. Jeszcze do niedawna nie było żadnej konsekwencji związanej z brakiem świadectwa, dopiero zmiana ustawy o charakterystyce energetycznej budynków z dnia 7 października 2022 r. wprowadza zapis o karze grzywny. Jest to niestety martwy zapis, ponieważ nie jest egzekwowany.

Charakterystyka energetyczna budynku oraz jej świadectwo określają kilka wskaźników. Między innymi określają one rodzaje zapotrzebowania na energię i wszystkie są wyrażone w kWh/(m²a). EU jest to wskaźnik zapotrzebowania na energię użytkową i określa on efektywność energetyczną przyjętych rozwiązań

architektonicznych oraz konstrukcyjnych. Potwierdza on spełnienie założeń standardu, w jakim budynek został zaprojektowany. EK to wskaźnik zapotrzebowania na energię końcową, określa efektywność energetyczną przyjętych rozwiązań instalacyjnych. Umożliwia on oszacowanie rocznych kosztów eksploatacji budynku. EP jest to wskaźnik zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną, określa efektywność energetyczną przyjętych rozwiązań redukujących wpływ budynku na środowisko. Umożliwia on określenie stopnia wykorzystania odnawialnych źródeł energii.

Krajowa Agencja Poszanowania Energii opracowała ekspertyzę obejmującą weryfikację przepisów dotyczących sporządzania charakterystyki energetycznej oraz jej świadectw [KAPE 2022]. Zaproponowano tam wiele zmian w zakresie metody obliczeniowej, zawartości i prezentacji wyników w świadectwach charakterystyki energetycznej. Kontrowersje budzi metoda obliczania zapotrzebowania na energię nie dostosowana do typu budynków, nie uwzględniająca sposobu ich użytkowania oraz wyposażenia. Jako rozwiązanie zaproponowano przyjęcie metody obliczania zapotrzebowania na energię użytkową potrzebną do ogrzewania, chłodzenia, nawilżania i odwilżania zgodnie z normą PN-EN ISO 52016- 1. W metodologii sporządzania charakterystyki energetycznej przyjmuje się jedynie uproszczone założenia wskaźnikowe, szczególnie w aspekcie obliczania zapotrzebowania na ciepło do przygotowania ciepłej wody użytkowej i wyznaczania średniego strumienia powietrza wentylacyjnego. Dodatkowo w metodologii są ograniczenia w określaniu zapotrzebowania na energię potrzebną do chłodzenia wynikającą z ciepła utajonego oraz w uwzględnianiu przegrzewania pomieszczeń. Metodologia zakłada korzystanie z nieaktualnych danych klimatycznych zawierających błędy w zakresie natężenia rozproszonego promieniowania słonecznego. Kontrowersyjne jest stosowanie metody miesięcznej, w związku z powyższym zaproponowano zmianę na metodę godzinową. Zaproponowano wprowadzenie klas energetycznych budynków od A+ do G, gdzie A+ to budynki o dodatnim bilansie energii nieodnawialnej pierwotnej, klasę A stanowią obiekty bezemisyjne, a G to budynki o najgorszej klasie energetycznej. Poprawki do ustawy o charakterystyce energetycznej oraz powiązanych aktów prawnych mają za zadanie ujednolicenie metod obliczeniowych stosowanych w różnych celach, uwzględnienie postępu technologicznego w zakresie wyposażenia obiektów oraz integrację budynku z sieciami zewnętrznymi [KAPE 2022].

Maksymalna wartość wskaźnika EP zmieniała się historycznie w kolejnych regulacjach prawnych [Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późn. zm.]. Wskaźnik ten określa roczne obliczeniowe zapotrzebowanie budynku na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji, chłodzenia, przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz oświetlenia. Oblicza się go zgodnie z poniższym wzorem:

$$EP = EP_{H+W} + \Delta EP_C + \Delta EP_L; [kWh/(m^2a)]$$

gdzie:

EP_{H+W} – częściowa maksymalna wartość wskaźnika EP na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej,

ΔEP_C – częściowa maksymalna wartość wskaźnika EP na potrzeby chłodzenia,

ΔEP_L – częściowa maksymalna wartość wskaźnika EP na potrzeby oświetlenia.

Zmiany wartości częściowej maksymalnej wartości wskaźnika EP prezentują poniższe tabele zaczerpnięte z warunków technicznych (Tabela 7, 8 i 9) [Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późn. zm.]:

1) na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej:

Tabela 7. Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej (źródło: [Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późn. zm.])

Lp.	Rodzaj budynku	Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP_{H+W} na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej [$kWh/(m^2 \cdot rok)$]		
		od 1 stycznia 2014 r.	od 1 stycznia 2017 r.	od 1 stycznia 2021 r. ^{*)}
1	2	3		
1	Budynek mieszkalny:			
	a) jednorodzinny	120	95	70
	b) wielorodzinny	105	85	65
2	Budynek zamieszkania zbiorowego	95	85	75
3	Budynek użyteczności publicznej:			
	a) opieki zdrowotnej	390	290	190
	b) pozostałe	65	60	45
4	Budynek gospodarczy, magazynowy i produkcyjny	110	90	70
*) Od 1 stycznia 2019 r. – w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością.				

2) na potrzeby chłodzenia:

Tabela 8. Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP na potrzeby chłodzenia (źródło: [Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późn. zm.]

Lp.	Rodzaj budynku	Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika ΔEP_C na potrzeby chłodzenia [kWh/(m ² · rok)] ^{*)}		
		od 1 stycznia 2014 r.	od 1 stycznia 2017 r.	od 1 stycznia 2021 r. ^{**)}
1	2	3		
1	Budynek mieszkalny: a) jednorodzinny b) wielorodzinny	$\Delta EP_C = 10 \cdot A_{f,C}/A_f$	$\Delta EP_C = 10 \cdot A_{f,C}/A_f$	$\Delta EP_C = 5 \cdot A_{f,C}/A_f$
2	Budynek zamieszkania zbiorowego	$\Delta EP_C = 25 \cdot A_{f,C}/A_f$	$\Delta EP_C = 25 \cdot A_{f,C}/A_f$	$\Delta EP_C = 25 \cdot A_{f,C}/A_f$
3	Budynek użyteczności publicznej: a) opieki zdrowotnej b) pozostałe			
4	Budynek gospodarczy, magazynowy i produkcyjny			

gdzie:

A_f – powierzchnia użytkowa ogrzewana budynku [m²],

$A_{f,C}$ – powierzchnia użytkowa chłodzona budynku [m²].

^{*)} Jeżeli budynek posiada instalację chłodzenia, w przeciwnym przypadku $\Delta EP_C = 0$ kWh/(m² · rok).

^{**)} Od 1 stycznia 2019 r. – w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością.

3) na potrzeby oświetlenia:

Tabela 9. Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP na potrzeby oświetlenia (źródło: [Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późn. zm.]

Lp.	Rodzaj budynku	Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika ΔEP_L na potrzeby oświetlenia [kWh/(m ² · rok)] w zależności od czasu działania oświetlenia w ciągu roku t_0 [h/rok] ^{*)}		
		od 1 stycznia 2014 r.	od 1 stycznia 2017 r.	od 1 stycznia 2021 r. ^{**)}
1	2	3		
1	Budynek mieszkalny: a) jednorodzinny b) wielorodzinny	$\Delta EP_L = 0$	$\Delta EP_L = 0$	$\Delta EP_L = 0$
2	Budynek zamieszkania zbiorowego	dla $t_0 < 2500$ $\Delta EP_L = 50$ dla $t_0 \geq 2500$ $\Delta EP_L = 100$	dla $t_0 < 2500$ $\Delta EP_L = 50$ dla $t_0 \geq 2500$ $\Delta EP_L = 100$	dla $t_0 < 2500$ $\Delta EP_L = 25$ dla $t_0 \geq 2500$ $\Delta EP_L = 50$
3	Budynek użyteczności publicznej: a) opieki zdrowotnej b) pozostałe			
4	Budynek gospodarczy, magazynowy i produkcyjny			

^{*)} Jeżeli w budynku należy uwzględnić oświetlenie wbudowane, w przeciwnym przypadku $\Delta EP_L = 0$ kWh/(m² · rok).

^{**)} Od 1 stycznia 2019 r. – w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością.

Stąd dla pozostałych budynków użyteczności publicznej można określić wartość maksymalnego wskaźnika EP dla roku 2017

$$EP = 60 + 25 \cdot 1 + 100 = 185 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$$

Oraz dla pozostałych budynków użyteczności publicznej wybudowanych w roku 2021 wartość wskaźnika EP wynosi:

$$EP = 45 + 25 \cdot 1 + 50 = 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$$

Co oznacza, że od 2021 roku zgodnie z polskimi przepisami prawnymi maksymalna wartość wskaźnika EP (energii pierwotnej) na poziomie 120 kWh/(m²a) odpowiada wymaganemu w standardzie Darmstadt, obowiązującemu do 2015 roku, całkowitemu, maksymalnemu zapotrzebowaniu na energię pierwotną, liczonemu bez zastosowania odnawialnych źródeł energii. Obecnie standard ten wymaga, aby całkowite zapotrzebowanie energii pierwotnej z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii było niższe lub równe 60 kWh/(m²a).

3.2. Wytyczne do projektowania basenów krytych w Polsce

Projektowanie basenów krytych objęte jest wymaganiami Prawa Budowlanego, Warunków Technicznych i przepisów powiązanych. Poniżej przytoczono najważniejsze z nich. Wytyczne do projektowania basenów krytych w Polsce znajdują się między innymi w normach oraz przepisach związków pływackich [PN-EN 13451-10], [PN-EN 15288-1], [PN-EN 15288-2]. Wiele norm jest nadal obcojęzycznych. Poniżej przytoczono najważniejsze zapisy normatywne dotyczące projektowania krytych pływackich.

Norma [PN-EN 15288-1] Baseny pływackie – Część 1: „Wymagania bezpieczeństwa dotyczące projektowania” określa kwestie projektowania i układu plaży basenowej przy niecce. (Tłumaczenie własne).

Punkt 3.5 normy [PN-EN 15288-1] określa definicje basenów użyteczności publicznej. Są to obiekty dostępne dla wszystkich albo zdefiniowanej grupy użytkowników, a nieprzeznaczone na wyłączone użytkowanie rodzin i gości właścicieli, niezależnie czy pobierana jest od nich opłata wejściowa.

Norma [PN-EN 15288-1] klasyfikuje 3 typy basenów pływackich. Do typu 1 należą baseny, w których aktywności związane z wodą są główną działalnością biznesową. Przykładami są baseny publiczne, baseny przeznaczone dla rozrywki, parki wodne, aquaparki) oraz te, które są użytkowane jako publiczne zgodnie z punktem 3.5.

Norma [PN-EN 15288-1] określa, typową ilość użytkowników na basenach pływackich typu 1, głównie użytkowanych do pływania oraz nauki pływania. Powinny one mieć minimalną powierzchnię lustra wody 3 m² na osobę korzystającą z basenu.

Określone są najważniejsze rekomendacje do projektowania basenów typu 1:

- a) racjonalnie zaprojektowana segregacja strefy basenowej i obutej stopy;

- b) toalety i natryski powinny być lokalizowane na drodze wejściowej do niecki basenowej w celu zachęcenia użytkowników do korzystania z nich przed wejściem na plażę niecki basenowej;
- c) główne ścieżki komunikacyjne powinny być prowadzone poza strefami niebezpiecznymi (np. głęboka woda, baseny ze sztuczną falą, wolnej krawędzi, miejscach tworzenia się potencjalnych kolejek np. przed wejściem na zjeżdżalnię) albo odpowiednio od nich wydzielone;
- d) niecki dla niepływających oraz brodziki dla dzieci powinny być wydzielone albo umieszczone w odpowiedniej odległości od niecek basenów pływackich z głęboką wodą;
- e) wejścia do niecek basenowych powinny być sytuowane w miejscach, gdzie woda jest płytsza;
- f) zabezpieczenie przed nieautoryzowanym wejściem.

Norma podkreśla konieczność wykonania wentylacji oraz systemu ogrzewania w taki sposób, aby zrównoważyć relacje pomiędzy temperaturą powietrza, a jego wilgotnością.

- temperatura powietrza powinna być pomiędzy +0K a +4K w stosunku do temperatury wody;
- wilgotność względna pomiędzy 40% a 80% preferowana <60%;
- prędkość powietrza w pobliżu użytkowników $\leq 0,10$ m/s.

Powierzchnie ogrzewcze takie jak powierzchnie grzejników, siedziska dogrzewane, ogrzewane ściany itp. powinny mieć temperaturę nie wyższą niż 40° C.

Plażę basenową należy projektować w sposób zapewniający swobodny przepływ użytkowników i unikanie zatorów. Dlatego też norma przywołuje wymagane wielkości obejścia w obrębie niecki.

Zgodnie z tabelą 1 normy [PN-EN 15288-1] – należy zachować minimalne szerokości obejścia basenowego dla basenów typu 1 z wyłączeniem basenów terapeutycznych:

- 3,0 m – w przestrzeniach przyległych do wejścia użytkowników na plażę basenową (kierunek wejścia – na nieckę basenową);
- 2,5 m – w przestrzeniach przyległych do wyjść użytkowników z niecki basenowej na obejście;
- 3,0 m – od krawędzi basenu do ściany w przestrzeni montażu słupków startowych;
- 4,5 m – od krawędzi basenu do ściany w obszarze platform nurkowych oraz skoczni do nurkowania;
- 1,25 m – minimalna wolna przestrzeń dostępna dla użytkowników do przejścia, gdzie zainstalowane są urządzenia takie jak platformy do nurkowania, skocznie do nurkowania, zjeżdżalnie wodne;

- 4,0 m – odległość pomiędzy niecką pływacką/ niecką dla nurkujących a niecką basenu dla niepływających/ strefą dla niepływających, w momencie, gdy nie ma elementów separujących. Przestrzenie, gdzie głębokość wody w basenie jest $\leq 1,35$ m są przestrzeniami dla niepływających, a te $> 1,35$ m przestrzeniami dla pływających;
- 3,0 m – odległość pomiędzy niecką do nurkowania, a niecką pływacką, strefą pływacką, gdy nie ma elementów separujących te strefy;
- 1,25 m – komunikacja obejścia wokół niecki basenowej o powierzchni lustra wody poniżej 300 m^2 ;
- 1,50 m – komunikacja obejścia wokół niecek basenowych o powierzchni lustra wody powyżej 300 m^2 .

Wielkości te wpływają na wielkość obiektu, jego kubaturę oraz stosunek kubatury do powierzchni obiektu. Stosunek ten w budynkach pasywnych powinien wynosić w zależności od źródła według Kaczmarzyka w przedziale od 0,83 do 1,26 m^2/m^3 [Kaczmarzyk 2017], według materiałów Darmstadt powinien być mniejszy lub równy 0,7 m^2/m^3 [Feist 1998].

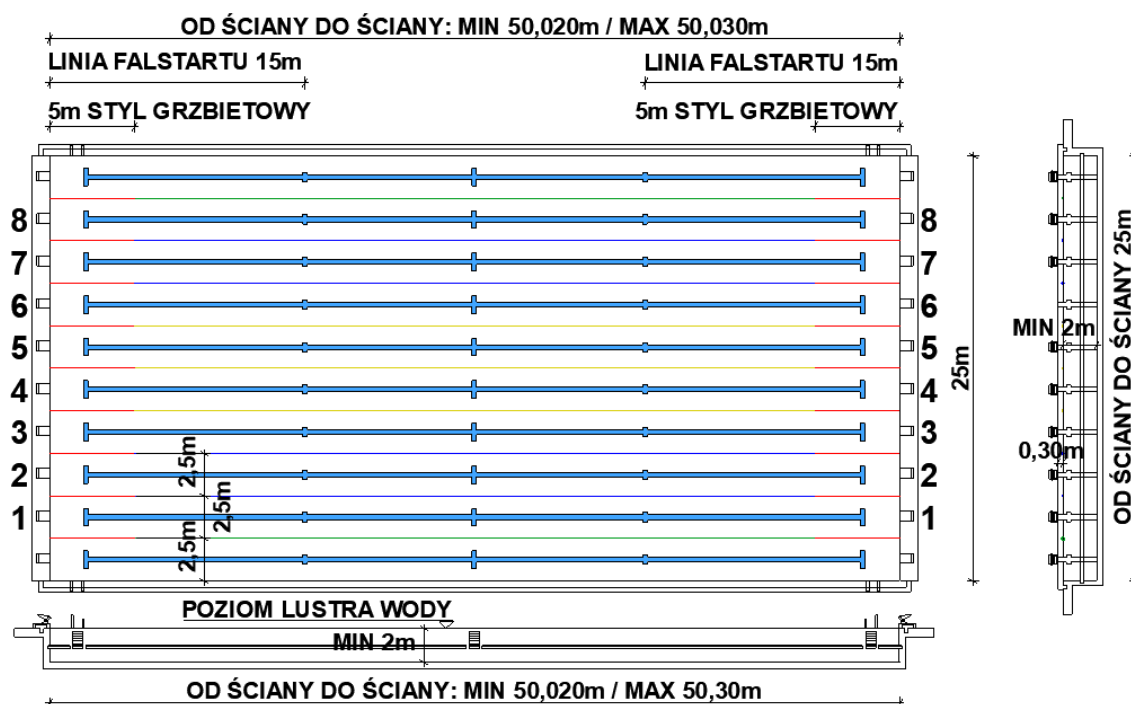
Baseny sportowe, które wymagają homologacji Polskiego Związku Pływackiego należy opracowywać również w oparciu o wytyczne FINA aktualne na rok projektu obiektu. Obecnie obowiązują Przepisy FINA dotyczące obiektów sportowych 2021-2025 [FINA 2021-2025] oraz przepisy pływania FINA 2021-2025. Dokument ten skupia się na obiektach sportowych i zapewnieniu w nich najlepszych możliwych warunków do przeprowadzania zawodów.

Przepisy FINA określają następujące standardy:

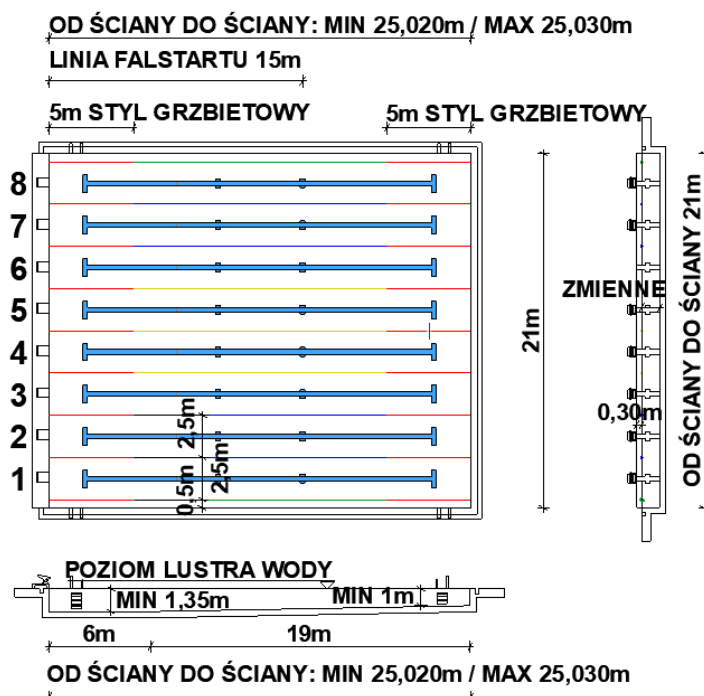
- olimpijskie;
- ogólne pływalni;
- minimalne.

Określają one wielkości niecek wraz z niezbędnymi tolerancjami, oznaczenia, wyposażenie niecek, temperaturę i ruch wody. Rysunki 12. i 13. Prezentują przykładowe wymiary wybranych wielkości basenów. Standardowe wymiary niecek omawianych w dokumencie to niecki o długości 50 m i 25 m o minimalnej głębokości od 1 m do 1,35 m w zależności od odległości od ściany ze słupkami startowymi. Dla pływalni olimpijskich głębokość niecki powinna wynosić min. 2 m, a zalecana to 3 m, gdy pływalnia używana jest do dyscyplin takich jak pływanie artystyczne synchroniczne. Minimalna szerokość torów powinna wynosić co najmniej 2,5 m, a tory zewnętrzne powinny być poszerzone o min. 0,2 m. Ilość torów dla igrzysk olimpijskich wynosi 8, a dla mistrzostw świata 10. W nieckach olimpijskich i do rozgrywania mistrzostw świata na zewnątrz torów 1-8 należy zapewnić dwie przestrzenie o szerokości 2,5 m. Temperatura wody w zakresie 25-28° C. Odległość niecki pływackiej od niecki do skoków znajdujących się we wspólnej strefie powinna wynosić minimum 5 m, jednakże preferuje się odległość 10 m. Obiekt powinien być wyposażony w klimatyzowane pomieszczenie kontrolne. Powinno mieć ono wymiary

minimalne 6 m x 3 m i powinny być usytuowane między 3 a 5 metrem od ściany finiszowej z niezakłóconym widokiem na tę ścianę podczas całego wyścigu.



Rysunek 12. Przykładowe wymiary podane w oficjalnych przepisach FINA dotyczących obiektów dla basenów 50 x 25 m 8-torowego (opracowanie własne na podstawie źródła [FINA 2021-2025]).



Rysunek 13. Przykładowe wymiary podane w oficjalnych przepisach FINA dotyczących obiektów dla basenów 25 x 21 m 8-torowego (opracowanie własne na podstawie źródła [FINA 2021-2025]).

Wyżej wymienione parametry mają bezpośredni wpływ na wielkość obiektu. Głębokość niecek, przekładają się na wysokość podbasenia. W przypadku tradycyjnego wykonywania niecek, gdzie podbasenie znajduje się w podpiwniczeniu, należy wziąć pod uwagę warunki geologiczne oraz poziom wód gruntowych. Wprowadza się odpowiednie rozwiązania architektoniczno-budowlane (między innymi minimalizujące powstanie dodatkowych mostków termicznych), oraz instalacyjne strefy podziemnej budynku. Jednym z rozwiązań projektowych, które można zastosować, aby uniknąć zagłębiania obiektu poniżej poziomu gruntu, to wyniesienie strefy podbasenia powyżej, na kondygnację nadziemną. Wiąże się to jednak ze znaczną zmianą – zwiększeniem wysokości obiektu, co może doprowadzić do kolejnych konsekwencji projektowych, a mianowicie zaliczenie obiektu do wyższej klasy odporności pożarowej budynku. Niesie to za sobą koszty związane z wymaganiami przeciwpożarowymi stawianymi obiektom budowlanym zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późn. zm.]. Należy też pamiętać o niedogodnościach takiego rozwiązania dla osób niepełnosprawnych.

Norma [PN-EN 15288-2] Baseny pływackie - Część 2: „Wymagania bezpieczeństwa dotyczące obsługi” między innymi określa wymagania bezpieczeństwa dotyczące obsługi, jakie należy uwzględnić w projektowanym obiekcie. (Tłumaczenie własne).

Projektując obiekt basenowy nie należy zapominać o pomieszczeniach pomocniczych i technicznych służących do uzdatniania wody. Ich podstawowe parametry oraz wytyczne określone zostały w stosowym rozporządzeniu. Istotne w projektowaniu obiektów basenowych jest usytuowanie pomieszczeń uzdatniania wody, a zwłaszcza magazynu podchlorynu sodu. Chlorownie oraz magazyny, w których stosuje się podchloryn sodowy mogą stanowić oddzielne budynki lub wydzielone pomieszczenia w budynkach technologicznych. Należy pamiętać, że pomieszczenia magazynu podchlorynu sodowego powinny mieć odrębne wejście z zewnątrz budynku [Dz. U. Nr 21 poz. 73]

Badania istniejących obiektów basenów pasywnych

IV. Badania istniejących obiektów basenów pasywnych	70
4.1. Przykłady basenów pasywnych	70
4.1.1. Przykład basenu pasywnego poza granicami Polski – Lippe Bad Lünen	70
4.1.2. Przykład basenu pasywnego poza granicami Polski - Bambados	76
4.1.3. Przykład basenu pasywnego na terenie Polski – basen w Siemiatyczach	82
4.2. Wnioski z badań istniejących basenów pasywnych	89



Rysunek 14. Basen pasywny w Lippe Bad Lünen widok na elewację zachodnią (fotografia Autorki).

IV. Badania istniejących obiektów basenów pasywnych

4.1. Przykłady basenów pasywnych

4.1.1. Przykład basenu pasywnego poza granicami Polski – Lippe Bad Lünen

Każdy basen pasywny jest jednostkowym projektem, dla którego Instytut Budownictwa Pasywnego w Darmstadt określa indywidualne wymagania. Obiekt Lippe Bad Lünen to pilotażowy basen pasywny, w którym oszczędność energii potrzebnej do ogrzewania, w porównaniu z danymi literaturowymi, kształtuje się na poziomie ok. 70% [Peper et al 2013]. Wybudowany w Niemczech w Nadrenii Północnej-Westfalii, w mieście Lünen, na terenach byłej ciepłowni. Zaprojektowany w 2009 r. przez biuro projektowe NPS TCHOBAN VOSS GmbH & Co. KG. Obiekt został oddany do użytku we wrześniu 2011 roku. Niemiecka Fundacja Federalna do spraw Środowiska (Deutschen Bundesstiftung Umwelt - DBU) wspierała badania fizycznych i technicznych warunków realizacji koncepcji basenu pasywnego. Rocznie z obiektu o powierzchni około 7.100 m² (powierzchnia lustra wody ok. 850 m²) może skorzystać około 230.000 osób. Basen jest basenem sportowym oraz szkoleniowym [Ahrens et al 2011].

Lokalizacja obiektu (Rys. 15.) jest przemyślana. Obiekt łatwo dostępny jest dla niezmotoryzowanych użytkowników. Przy obiekcie znajdują się przystanki transportu publicznego. Autokary szkolne przywożą młodzież na zajęcia. W związku z powyższym liczba miejsc parkingowych jest ograniczona. Parking oraz dojazd do obiektu zlokalizowane zostały od północy. Przestrzeń zlokalizowana od południa i zachodu jest wolna od hałasu komunikacyjnego, sprzyja to funkcji rekreacyjnej tych terenów [Ahrens et al 2011].



Rysunek 15. Sytuacja. Basenu Lippe Bad Lünen (opracowanie własne).



Rysunek 16. Zdjęcie wejścia basenu Lippe Bad Lünen (fotografia Autorki).

Na przestronnym, dużym placu (Rys. 16.) zaprojektowano pojedynczy budynek o wyrazistej architekturze, który stanowi centralny, punkt identyfikacyjny założenia obszaru Lippedreick. Bezpośrednie sąsiedztwo obiektu stanowi zabudowa

mieszkaniowa. Budynek zlokalizowany jest nad rzeką Lippe. Otwiera się na jej brzeg zarówno przeszkleniami, jak i zagospodarowaniem - ścieżkami spacerowymi zlokalizowanymi wokół budynku. Założenie nie ma zewnętrznych basenów.

Sąsiedztwo rzeki wiąże się z ryzykiem powodzi, dlatego też podbasenie wykonano jako wannę szczelną z betonu wodoszczelnego. Obiekt posadowiono na palach. Izolację termiczną znajdującą się w gruncie zaprojektowano jako nienasiąkliwą [Ahrens et al 2011]. Istniejąca zieleń – starodrzew, nie zacienia obiektu. Zieleń projektowana ogranicza się do niskiej zieleni ozdobnej, nie wykorzystuje się jej jako elementu zacieniającego i eliminującego przegrzewanie latem. Okna cofnięte są w głąb elewacji w celu stworzenia zacinienia. Zrezygnowano z urządzeń zacieniających przeszklenia, zastosowano jedynie nadwieszenia dachu nad oknami wynikające z pochylenia ścian. Latem, w przypadku występowania nadmiernych temperatur w obiekcie stosuje się zwiększoną wymianę powietrza [Ahrens et al. 2011].

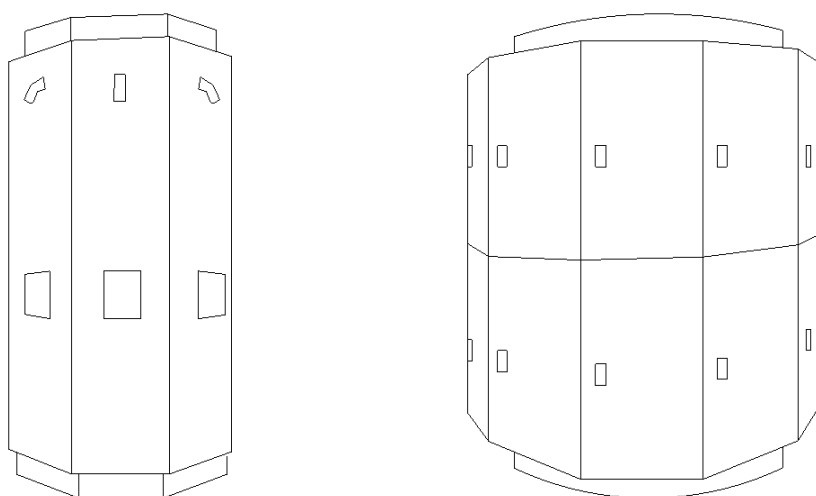
Elewacja frontowa zorientowana jest na zachód. Obiekt to rozbudowa starej ciepłowni, stąd utrudnione było dowolne jego ustawienie względem stron świata. Elewacja południowa, jak i zachodnia mają przeważającą ilość przeszkleń. Elewacje północna i wschodnia mają ilość przeszkleń umożliwiającą doświetlenie obiektu w całości, jednakże ilość ta jest ograniczona do koniecznego minimum. Duże przeszklenia obejmujące całą ścianę znajdują się przy nieckach basenowych rekreacyjnej, szkoleniowej i sportowej. Niecka znajdująca się w starej części obiektu ma doświetlenie realizowane przez górne przeszklenia. Hala basenu została dodatkowo doświetlona świetlikami dachowymi. Piąta elewacja – dach pokryty jest panelami fotowoltaicznymi. Budynek utrzymany jest w kontrastowych kolorach czerni, bieli i szarości. W oknach zastosowano trzyszybowe przeszklenia [Ahrens et al 2011].

Budynek starej ciepłowni został zrewitalizowany i w jego wnętrzu znajduje się jedna z niecek basenowych. Do starego, wysokiego budynku doprojektowano niższe bryły mieszczące pozostałe niecki basenowe wraz z zapleczem sanitarnym. Ściany obiektu zostały pochylone w celu stworzenia zacinienia okien. W rzucie budynek składa się z trzech przenikających się prostokątów, gdzie strefa środkowa zawiera funkcję podstawową.

Bryła budynku jest rozrzeźbiona, mimo to wskaźnik zwartości bryły $A/V = 0,39 \text{ m}^2/\text{m}^3$ wynika to z faktu, że obiekt jest duży. Zadaszenie przed strefą wejściową stanowi niezależną stalową konstrukcję. Dzięki oddzieleniu tych elementów uniknięto dodatnich mostków termicznych na połączeniu obiektu pasywnego z elementem zadaszenia pełniącego rolę zacinienia [Ahrens et al 2011]. Obiekt nie ma zjeżdżalni, jedynie małą, dla najmłodszych dzieci znajdującą się w brodziku. Rezygnacja ze zjeżdżalni zmniejsza zapotrzebowanie obiektu na energię potrzebną do ogrzewania. Obiekt ma dwie platformy do skoków w części wysokiego budynku starej ciepłowni. Basen do skoków ma głębokość 3 m.

Nie udało się uniknąć kilku dodatnich mostków termicznych na połączeniu starej części z nową. Jednakże zastosowane rozwiązania zminimalizowały straty z nich wynikające. Pod fundamentami jako izolację termiczną zastosowano szkło pianowe charakteryzujące się minimalnym odkształceniem, dużymi wytrzymałościami na ściskanie i praktycznie niewrażliwością na wilgoć [Ahrens et al 2011]. Badanie termowizyjne obiektu potwierdziło szczelność i dobrą izolacyjność termiczną. Na elementach okien i drzwi zaobserwowano typowe niewielkie dodatnie mostki termiczne. Większe dodatnie mostki termiczne zaobserwowano na drzwiach ewakuacyjnych oraz na świetlikach. Na połączeniu dachu ze ścianą, w starej części obiektu, odnotowano niewielki dodatni mostek termiczny. Podczas badania stwierdzono pęknięcie jednej z szyb w szklanym systemie fasadowym.

W basenie Lippe Bad, ze względu na temperaturę, wydzielono 6 stref obejmujących: brodzik dla dzieci, basen dydaktyczny z ruchomym dnem, basen sportowy w nowej części budynku, basen sportowy w starej części budynku, szatnie z natryskami, hol wejściowy z pomieszczeniami biurowymi i pomieszczeniami personelu. W rozmieszczeniu funkcji widoczne jest grupowanie stref ciepłych oraz tworzenie buforu pomiędzy strefami wymagającymi znacząco różnej temperatury [Ahrens et al 2011]. Strefę wejściową tworzy przeszklony przedsionek z foyer z widokiem na halę basenową. Kolejną strefę tworzą szatnie wraz z węzłami sanitarnymi i natryskami. Warto zwrócić uwagę na szafki i natryski, zaprojektowano je jako słupy stojące na środku pomieszczenia (Rys. 17.), co ułatwia sprzątanie zaplecza przy użyciu maszyn. Hala basenowa, ze względu na różne wymagania temperaturowe danych stref jest wydzielona szklanymi ścianami. W centralnej części obiektu zlokalizowano pomieszczenie ratowników – obsługi basenów, jest to podwyższone, przeszklone stanowisko wydzielone przestrzennie, klimatycznie i akustycznie. W podbaseniu zlokalizowana została technologia oraz pozostałe urządzenia obsługujące budynek wraz z pomieszczeniami dla personelu (szatnie, sanitariaty, pomieszczenia socjalne) [Ahrens et al 2011].



Rysunek 17. Schemat rozwiązania pryszniców i szafek (opracowanie własne).



PARTER

- 0.1 Foyer**
- 0.2 STREFA SZATNI Z PRYSZNICAMI**
- 0.3 KOMUNIKACJA**
- 0.4 STREFA BRODZIKA DLA DZIECI I BASENU REKREACYJNEGO**
- 0.5 STREFA RATOWNIKÓW I OBSŁUGI BASENU**
- 0.6 STREFA BASENÓW PŁYWACKICH Z DWOMA BASENAMI 25m**
- 0.7 STREFA BASENU SZKOLENIOWEGO Z RUCHOMYM DNEM**
- 0.8 STREFA ADMINISTRACYJNA**
- 0.9 WYMIENNIKOWNIA - CIEPŁOWNIA MIEJSKA**

Rysunek 18. Program obiektu Lippe Bad Lünen (opracowanie własne).

Obiekt został zaprojektowany jako przyjazny i dostępny dla osób niepełnosprawnych, wszystkie funkcje znajdują się na jednej kondygnacji (Rys. 18.), a przejścia pomiędzy strefami są na jednym poziomie [Ahrens et al 2011].

Komfort użytkowania obiektu był istotny podczas doboru rozwiązań projektowych. Na powierzchniach wewnętrznych występuje wysoka temperatura, średnia wilgotność w pomieszczeniach to 64%. Zastosowano niską prędkość powietrza nawiewanego, co zmniejsza ryzyko uczucia powiewów odczuwalnie zimnego powietrza na mokrej skórze. W strefie wejściowej i w prysznicach zastosowano czujniki wilgotności i CO₂, co pozwala na kontrolowanie przepływów objętości powietrza. Zastosowano atrakcyjne wzornictwo, dobrze dobrane materiały i kolory. Zadbano o dobrą akustykę pomieszczeń z niskimi czasami pogłosu oraz unikaniem echa trzepoczącego. W tym celu zastosowano wielkopowierzchniowe panele akustyczne zlokalizowane na ścianach i na suficie [Ahrens et al 2011].

Tabela 10. Parametry przegród zewnętrznych (opracowanie własne na podstawie źródła [Ahrens et al 2011]).

Przegroda	Współczynnik U [W/(m ² K)]
Ściana grubości 55 cm	U = 0,11 W/(m ² K)
Podłoga na gruncie grubości 62 cm	U = 0,12 W/(m ² K)
Dach z dźwigarów drewnianych grubości 30 cm	U = 0,11 W/(m ² K)
Dach żelbetowy na starej części budynku	U = 0,11 W/(m ² K)

Podstawą projektu było wykonanie odpowiednio izolowanych przegród budowlanych (Tabela 10.) z uwzględnieniem termoizolacyjnej stolarki okiennej i drzwiowej z takimi też przeszkleniami. Dzięki wyższym temperaturom, mierzonym na powierzchniach wewnętrznych przegród zewnętrznych, możliwe jest zwiększenie wilgotności względnej. Czynniki f_{Rsi} zdefiniowany jest w normie [PN-EN 13788:2013-05] jako czynnik temperaturowy na powierzchni wewnętrznej. Określa on różnicę temperatury powierzchni wewnętrznej i temperatury powietrza zewnętrznego, podzieloną przez różnicę temperatury działania (powietrza wewnętrznego) i temperaturę powietrza zewnętrznego. Iloraz ten obliczany jest przy założeniu, że opór przejmowania ciepła na powierzchni wewnętrznej wynosi R_{si} . Projektowany czynnik temperatury na powierzchni wewnętrznej to minimalny dopuszczalny czynnik temperatury na powierzchni wewnętrznej określony jako $f_{Rsi,min}$, gdzie w ilorazie zamiast temperatury powierzchni wewnętrznej występuje minimalna dopuszczalna temperatura na powierzchni wewnętrznej poniżej której może rozpocząć się rozwój pleśni. Standardowa fasada basenu ma współczynnik $f_{Rsi}=0,48$, natomiast pasywna fasada z omawianego obiektu ma współczynnik $f_{Rsi}=0,78$. Znaczący to tyle, że przy temperaturze zewnętrznej wynoszącej -15°C na fasadzie standardowej pleśń może pojawić się przy wilgotności względnej 20%, natomiast przy tej samej temperaturze zewnętrznej na pasywnej fasadzie pleśń może pojawić się przy wilgotności względnej 55% [Ahrens et al 2011]. Podwyższenie wewnętrznej wilgotności względnej umożliwiło zmniejszenie strat wynikających z parowania wody basenowej. Na obiekcie zainstalowano centrale wentylacyjne z rekuperacją ciepła oraz system inteligentnego sterowania wentylacją, co znacznie zredukowało straty ciepła. Zastosowanie ciepłej stolarki okiennej wyeliminowało parowanie okien, więc nie ma konieczności nadmuchiwania suchego powietrza na szklane fasady. W godzinach pracy obiektu założono projektowaną wilgotność na poziomie 64%, poza godzinami pracy obiektu, w godzinach nocnych wilgotność zgodnie z projektem miała wzrastać do 80%. Obiekt został zaprojektowany z założeniem wartości szczelności na poziomie $n_{50}=0,2\text{ h}^{-1}$. Ponieważ jednak podczas badań szczelności obiektu odnotowano nieszczelności i problemy z montażem zwłaszcza świetlików ($n_{50}=0,39\text{ h}^{-1}$ [Gollwitzer et al 2018]), nie udało się zrealizować zwiększenia wilgotności w pomieszczeniach [Peper et al 2013].

Ogrzewanie oraz ciepła woda użytkowa bazują na niskotemperaturowym czynniku grzewczym. Zastosowano energooszczędne systemy oświetlenia oraz pompy technologii wody basenowej. Dzięki tym rozwiązaniom projektowane zapotrzebowanie na energię końcową zmniejszono do 549 kWh/(m²a). Basen zasilany jest czterema źródłami - 33,9% pochodzi z jednostki kogeneracyjnej zasilanej biogazem, 33,5% pochodzi z kondensacyjnego wymiennika ciepła spalin, 16,6% pochodzi z ciepła odpadowego z dwóch jednostek ciepłowniczych, a pozostałe 16,0% pochodzi z sieci ciepłowniczej miasta Lünen. Nadwyżki ciepła wytworzone w kogeneracji odprowadzane są do miejskiej sieci ciepłowniczej. Zastosowano również odzysk ciepła odpadowego i kondensacyjnego. Wszystkie powyższe rozwiązania przyczyniły się do osiągnięcia projektowanego zapotrzebowania na energię pierwotną wysokości 409 kWh/(m²a). Wartość projektowanego zapotrzebowania na energię użytkową (potrzebną do ogrzania obiektu oraz do podgrzania ciepłej wody użytkowej) wynosi 389 kWh/(m²a). W terminie od kwietnia 2012 do marca 2013 roku zużycie ciepła wynosiło 258 kWh/(m²_{EBF} a), a zużycie energii elektrycznej 156 kWh/(m²_{EBF} a) [Peper et al 2013]. Cały obiekt ogrzewany jest jedynie powietrzem nawiewanym przy użyciu wentylacji. Statyczne powierzchnie grzewcze nie występują [Gollwitzer et al 2018].

Technologia wody basenowej zakłada ultrafiltrację, dzięki temu możliwy jest recykling wody. Duża część wód popłucznych jest oczyszczana i wykorzystywana jako woda basenowa, pozostała część wykorzystywana jest do spłukiwania toalet. Zastosowanie oszczędnej armatury zapewniło redukcję zapotrzebowania na wodę pitną o ok. 67%. Wody opadowe oraz woda z technologii basenowej nie nadająca się do wprowadzenia do obiegu basenowego po uprzednim oczyszczeniu wprowadzana jest do pobliskiej rzeki Lippe. Ścieki bytowe z basenu odprowadzane są do miejskiej oczyszczalni ścieków [Ahrens et al 2011].

W celu zapewnienia jakości wody basenowej, podczas wprowadzania podchlorynu sodu do wody, powstają tak zwane produkty uboczne dezynfekcji. Podczas badań jakości wody i powietrza grupa o największym wpływie na zdrowie to trihalometany (THM) i trichloraminy. Powstają one w wyniku reakcji chloru z zanieczyszczeniami zawartymi w wodzie oraz wprowadzanymi przez kąpiących się (np. mocznik, pot, aminokwasy znajdujące się na skórze). THM oblicza się jako parametr sumy czterech związków: trichlorometanu (chloroformu), bromodichlorometanu, dibromochlorometanu i tribromometanu. Zawartość THM przelicza się na związek o najmniejszej masie cząsteczkowej – w tym przypadku chloroform. THM jest słabo rozpuszczalny w wodzie, wysoce lotny i dlatego wytrąca się z wody basenowej. W przypadku niewystarczającej wentylacji w hali może gromadzić się w powietrzu. THM służy jako substancja wskaźnikowa do oceny jakości wody basenowej.

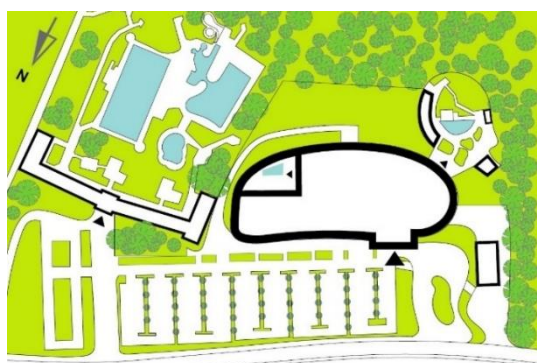
Na obiekcie przeprowadzono badania jakości powietrza i wartości stężenia THM (trihalometanów) w wodzie basenowej. Pierwszy pomiar jakości powietrza został przeprowadzony w trzech strefach funkcjonalnych hali w 2013 r. Wilgotności

w halach były stosunkowo wysokie – pomiędzy 57,4, a 58,4% mierzone 20 cm nad poziomem wody. Badanie wykazało, że wszystkie zmierzone wartości w powietrzu hali są poniżej granicy wykrywalności. Nie stwierdzono zatem zwiększonego zanieczyszczenia powietrza w hali basenowej trihalometanami nawet przy bardzo niskich strumieniach objętości powietrza zewnętrznego.

4.1.2. Przykład basenu pasywnego poza granicami Polski - Bambados

Instytut Budownictwa Pasywnego w Darmstadt, tu również określił indywidualne wymagania W omawianym basenie zużycie energii na ogrzewanie zostało obniżone o 50% w porównaniu do analogicznych obiektów [PHI 2015].

Kryty basen pasywny Bambados, zlokalizowany w Niemczech w Bambergu, został zaprojektowany przez biuro PBR, Osnabrück. Realizacja obiektu miała miejsce w 2011 roku. Z obiektu o powierzchni 13.500 m² (powierzchnia lustra wody 1.742 m²) może korzystać dziennie 1100 osób. Kryty basen zlokalizowany jest przy parku oraz niezależnie funkcjonującym otwartym kąpielisku miejskim.



Rysunek 19. Sytuacja. Basen Bambados (opracowanie własne).



Rysunek 20. Zdjęcie strefy wejściowej basenu Bambados (fotografia Autorki)

Przed budynkiem, od strony elewacji frontowej znajduje się rozległy parking (Rys. 19.). Strefę wejściową tworzy plac z fragmentem zieleni i elementami małej architektury (Rys. 20.). Plac pełni również funkcję miejsca zbiórki podczas alarmów pożarowych. Utwardzenia parkingu jak i placu tworzą betonową pustynię z rzadką obsadzoną młodymi drzewkami, które w przyszłości mają zacieniać miejsca postojowe.

Synergia natury z obiektem osiągnięta została przez duże przeszklenia od strony południowej – wgląd na park oraz wyjście ze strefy saunowej budynku do zewnętrznego ogrodu saunowego zlokalizowanego w bezpośrednim sąsiedztwie parku. W ogrodzie saunowym znajduje się basen schładzający, basen z podgrzewaną wodą oraz budynek saun zewnętrznych. Budynek hali basenowej oddalony jest od istniejącej zieleni wysokiej, która go nie zacienia. Zimą jest to korzystne, występują maksymalne zyski ciepła z energii słonecznej. Latem, zieleń nie

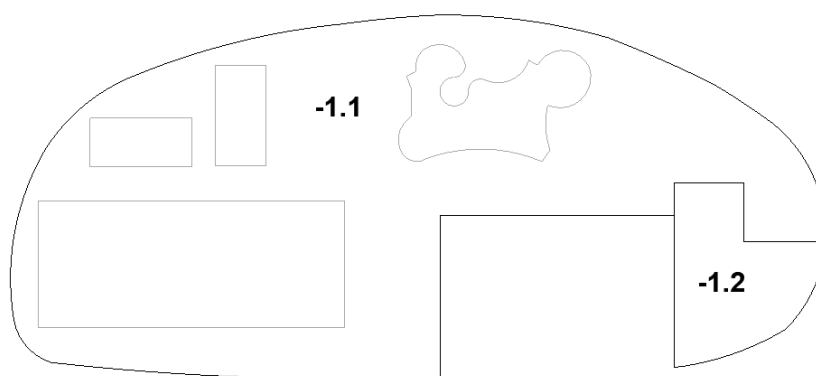
zapewnia cienia w budynku, a co za tym idzie nie minimalizuje przegrzewania obiektu. Aby wyeliminować przegrzewanie obiektu latem na elewacji południowej zastosowano żaluzje zewnętrzne.

Elewacja frontowa zorientowana jest na północny-zachód. Jest wydłużona i ma niewielką, konieczną ilość okien, z wyjątkiem całkowicie przeszklonej strefy wejściowej. Elewacja południowa charakteryzuje się największą ilością przeszkleń. Duże okna sięgające od podłogi do sufitu znajdują się w strefie saun i strefie wypoczynkowej. Kształt bryły budynku, to wydłużony prostopadłościan o zaokrąglonych narożnikach ścian. Ze względu na organiczny kształt budynku wydzielenie elewacji wschodniej i zachodniej jest utrudnione. W rzucie budynek przypomina owal. Piątą elewację tworzy dach szedowy doświetlający wnętrze budynku, pokryty jest panelami fotowoltaicznymi. Na jednej szóstej powierzchni dachu znajduje się taras z basenem zewnętrznym. Wyjście z budynku do basenu zewnętrznego zaprojektowano jako osłonięty od wiatru, termoizolacyjny tunel. W budynku zainstalowano czujniki regulujące intensywność światła dziennego sprzężone z systemem sterowania światłem.

Budynek jest duży i ma bardzo zwartą bryłę, dlatego też charakteryzuje się bardzo niskim wskaźnikiem zwartości bryły $A/V=0,21\text{m}^2/\text{m}^3$. Obiekt ma wycięcie jedynie w strefie wejściowej. Obiekt nie ma zjeżdżalni zewnętrznych, bardzo charakterystycznych elementów konwencjonalnych aquaparków, które sprawiają, że obiekty te są rozpoznawalne z oddali. Istniejące na obiekcie zjeżdżalnie znajdują się w całości wewnątrz bryły. Wyeliminowano w ten sposób dodatnie mostki termiczne, które prowadzą do znacznych strat ciepła. Kolejnym rozwiązaniem eliminującym dodatnie mostki termiczne jest zastosowanie konstrukcji z płyt OSB dla stworzenia attyk budynku [Gollwitzer et al 2015].

Badanie termowizyjne obiektu potwierdziło szczelność i dobrą izolacyjność termiczną. Na elementach okien i drzwi zaobserwowano typowe niewielkie dodatnie mostki termiczne. Strefa wypływu basenu zewnętrznego znajdującego się na tarasie również wykazała dodatnie mostki termiczne.

Obiekt podzielony jest na strefy funkcjonalne (Rysunki 21, 22 i 23). Basen sportowy z szatniami i pomieszczeniami administracyjnymi oraz strefa SPA zlokalizowane są od północy. Funkcje te wymagają niższych temperatur. Basen rekreacyjny i basen dydaktyczny zlokalizowano od południowego-wschodu, a strefa saun zlokalizowana została od strony południowo-zachodniej. Te funkcje wymagają najwyższych temperatur występujących w obiekcie. Budynek jest częściowo podpiwniczony. Podbasenie wraz z technologią i pomieszczeniami technicznymi znajduje się w piwnicy budynku.

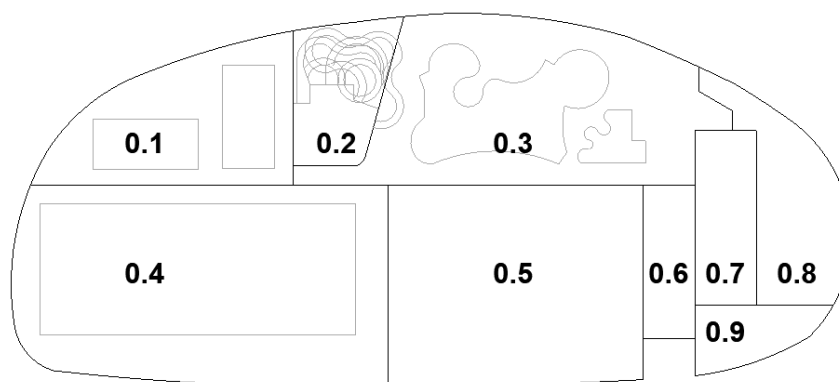


PODBASENIE

-1.1 POMIESZCZENIA TECHNICZNE

-1.2 ZAPLECZE SOCJALNE

Rysunek 21. Program basenu Bambados - podbasenie (opracowanie własne).



PARTER

- 0.1 STREFA BASENÓW TRENINGOWYCH DWA BASENY DYDAKTYCZNE W TYM JEDEN Z RUCHOMYM DNEM**
- 0.2 STREFA ZJEŹDŹALNI - 2 ZJEŹDŹALNIE**
- 0.3 STREFA REKREACYJNA Z BASENEM Z GROTĄ I LEŻANKAMI ORAZ BRODZIKIEM DLA DZIECI**
- 0.4 STREFA BASENU SPORTOWEGO - BASEN 50m - 8 TORÓW Z MOŻLIWOŚCIĄ PODZIAŁU RUCHOMYM DNEM**
- 0.5 STREFA SZATNI Z PRYSZNICAMI**
- 0.6 FOYER**
- 0.7 GASTRONOMIA**
- 0.8 STREFA SAUN**
- 0.9 ADMINISTRACJA**

Rysunek 22. Program basenu Bambados – parter: plaża basenowa (opracowanie własne).



PIĘTRO

- 1.1 TARAS DACHOWY Z BASENEM ZEWNĘTRZNYM**
- 1.2 STREFA SZATNI Z PRYSZNICAMI**
- 1.3 STREFA SPA - PODNAJEM**
- 1.4 STREFA SAUN**



Rysunek 23. Program basenu Bambados - piętro (opracowanie własne).

Dla celów obliczeń w programie PHPP (Passive House Project Planning Package) obiekt został podzielony na strefy temperaturowe. Określono je na podstawie wymaganych temperatur, wewnętrznych zysków ciepła oraz lokalizacji stref – ich sąsiedztwa. Hala basenowa wraz z szatniami i natryskami charakteryzuje się najwyższym zużyciem ciepła. Szatnie i prysznice pośrednio dogrzewane są przez sąsiednie baseny, ale równocześnie narażone są na wychłodzenie od strony strefy wejściowej. Dodatkowe zyski ciepła od kabin saunowych i przeskleń od strony południowo-zachodniej odnotowano w strefie saun [Gollwitzer et al 2015].

Parametry przegród zewnętrznych podaje Tabela 11.

Tabela 11. Parametry przegród zewnętrznych (opracowanie własne na podstawie źródła [Gollwitzer et al 2015]).

Przegroda	Współczynnik U [W/(m ² K)]
Ściana grubości 55 cm	U = 0,135 W/(m ² K)
Podłoga na gruncie grubości 75 cm	U = 0,142 W/(m ² K)
Dach z dźwigarów drewnianych grubości 38 cm	U = 0,097 W/(m ² K)
Dach żelbetowy o grubości 61 cm	U = 0,095 W/(m ² K)

Budynek został poddany badaniu szczelności testem Blower Door Test. Szczelność powietrzną budynku określono na poziomie $n_{50}=0,07 \text{ h}^{-1}$. Szczelność powietrzna w basenach jest istotna, ze względu na wysoką wilgotność, obecność chloru oraz wysokie temperatury. Czynniki te mogą przyczynić się do niszczenia przegród budowlanych przez wykroplenie wilgoci wewnątrz struktur budowlanych. Aby zapobiec wykropleniu pary wodnej w przegrodzie, specyficznych warunkach basenowych punkt rosy jest przesunięty do wnętrza budynku.

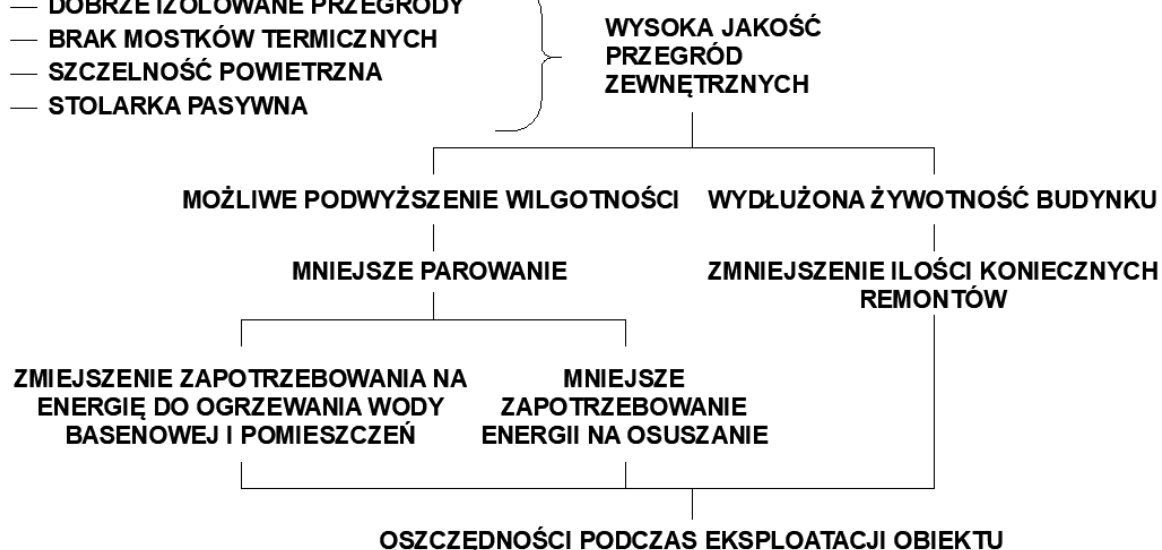
Zastosowana na obiekcie, wykonana z profili aluminiowych fasada słupowo-ryglowa, ma potrójne szklenie. Taka konstrukcja pozwala na uzyskanie wysokich temperatur na powierzchni przeszkleń oraz przy krawędziach szklenia. Średni współczynnik przenikania ciepła dla szyb w omawianym budynku wynosi $U_g = 0,54 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ przy $g = 0,49$ [Gollwitzer et al 2015].

Obok budynku hali basenowej zlokalizowany jest budynek kotłowni kogeneracyjnej zasilający obiekt w ciepło. Energia wytwarzana jest tam z surowców odnawialnych. Obiekt zużywa tak małą ilość energii podczas użytkowania, że nie występuje ciągłe zapotrzebowanie na moc dla jednostki kogeneracyjnej. Obiekt wyposażono w dodatkowe źródło ciepła – pompy ciepła powietrza wywiewanego z urządzeń wentylacyjnych. Do podgrzewania wody basenowej wykorzystuje się ciepło odpadowe z basenów schładzających. Obiekt ogrzewany jest powietrzem nawiewanym. W hali basenu sportowego oraz w strefie saun znajdują się pojedyncze ławki grzewcze służące okresowemu podgrzewaniu. Zrezygnowano z ogrzewania podłogowego plaży basenowej, która podgrzewana jest zyskami ciepła od technologii znajdującej się w podbaseniu [Gollwitzer et al 2015]. Badanie organoleptyczne potwierdziło, że po dotknięciu mokrą, bosą stopą, temperatura posadzki jest komfortowa.

Wentylacja ma za zadanie zapewnić jakość powietrza, osuszyć je oraz ogrzać obiekt. Wilgotność względna, uwzględniająca komfort użytkowników w trakcie użytkowania wynosi 58%. Poza godzinami otwarcia obiektu wyłącza się wentylację. W zależności od temperatury powietrza wewnętrznego wilgotność wzrasta. Dzięki stałemu monitorowaniu wilgotności względnej nie dopuszcza się do przekroczenia jej wartości powyżej 64%. Przekroczenie tej wartości może prowadzić do uszkodzenia konstrukcji. Aby nie doprowadzić do zbyt wysokiej wilgotności względnej, w razie potrzeby włącza się wentylację w celu osuszania. Wyższa wilgotność skutkuje mniejszym parowaniem wody, co prowadzi do zmniejszenia zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania wody basenowej i pomieszczeń oraz zmniejszeniem zapotrzebowania na energię potrzebną do osuszania obiektu. Stąd wniosek, że podwyższenie wilgotności względnej na obiektach basenowych skutkuje niższym zużyciem energii. Jednakże, aby bezpiecznie można było podnieść wilgotność względną konieczne jest zastosowanie przegród o wysokich temperaturach powierzchni wewnętrznych (Rys. 24.). Można to osiągnąć dzięki zastosowaniu dobrej izolacji termicznej przegród, ciepłej stolarki oraz minimalizacji dodatnich mostków termicznych. Przy spełnieniu wyżej wymienionych warunków nie występuje kondensacja pary wodnej ani w przegrodach budowlanych, ani na powierzchni przeszkleń. Ponieważ stolarka okienna, jak również szklenie wykazują wysokie współczynniki przenikania ciepła, na oknach nie występuje kondensacja pary wodnej, więc możliwa jest rezygnacja z nadmuchu na przeszklone fasady – element charakterystyczny w basenach konwencjonalnych [Gollwitzer et al 2015].

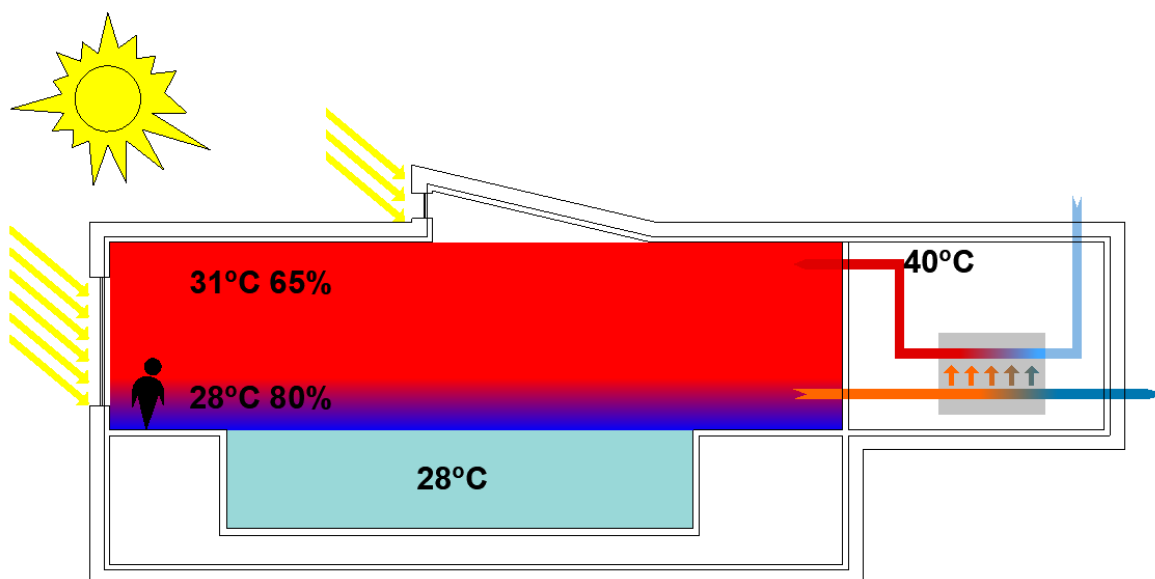
KOMPONENTY BASENU PASYWNEGO:

- DOBRZE IZOLOWANE PRZEGRODY
- BRAK MOSTKÓW TERMICZNYCH
- SZCZELNOŚĆ POWIETRZNA
- STOLARKA PASYWNA



Rysunek 24. Zależności pomiędzy założeniami budownictwa pasywnego, a oszczędnościami (opracowanie własne na podstawie źródła [Gollwitzer et al 2015]).

Użytkownicy basenów krytych dzielą się na dwie grupy – personel suchy, ubrany oraz użytkownicy mokrzy. Każda grupa preferuje inne warunki wilgotnościowe. Personel suchy lepiej czuje się, gdy poziom wilgotności względnej powietrza jest niższy. Użytkownicy mokrzy preferują wyższy poziom wilgotności względnej powietrza. Personel suchy odczuwa dyskomfort i zmęczenie przebywając w wilgotnym i gorącym środowisku hali basenowej, dlatego też należy projektować oddzielne pomieszczenia dla obsługi basenu, przeznaczone na odpoczynek od wilgoci i ciepła. Stanowiska dla ratowników należy sytuować w strefach nawiewu suchego powietrza. Obniżenie temperatury wody skutkuje zmniejszeniem jej parowania, jednakże musi być komfortowa dla użytkowników. Wentylacja warstwowa zapewnia odmienne warunki wilgotnościowe w pasach nad powierzchnią wody (Rys. 25). Na wysokości około 10 cm ponad powierzchnią lustra wody utrzymuje się dużą wilgotność, która zapobiega parowaniu wody basenowej. W pasie ponad 50 cm nad poziomem wody powietrze powinno być bardziej suche o około 10%. Ułatwia to przebywanie w tej strefie obsługi basenu oraz zmniejsza ryzyko wykroplenia pary wodnej w przegrodach zewnętrznych.



Rysunek 25. Wentylacja warstwowa (opracowanie własne na podstawie źródła [Gollwitzer et al 2015]).

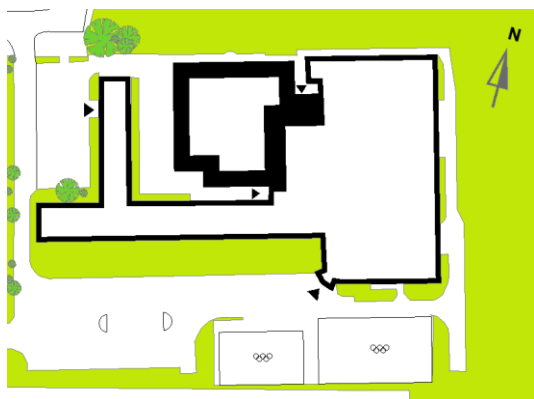
W 2014 roku przeprowadzono pomiary trihalometanów – badanie jakości powietrza na basenach. Badanie przeprowadzone zostało przez Laboratorium Chemiczne Graser (CLG). Jako wartości referencyjne przyjęto te znajdujące się w publikacji Federacji Agencji Ochrony Środowiska i Eichelsdörfera). Wyniki pokazały, że w hali niecki rekreacyjnej i szkoleniowej stężenia THM w stosunku do wartości porównywalnych z literatury są niskie i średnie, natomiast w hali niecki sportowej odnotowano wysokie stężenie THM. Pomimo, iż nie zostały przekroczone wartości maksymalne, wdrożono rozwiązania naprawcze związane z korektą ustawienia nawiewu powietrza [Gollwitzer et al 2015].

4.1.3. Przykład basenu pasywnego na terenie Polski – basen w Siemiatyczach

Kryty basen w Siemiatyczach projektowany był w myśl założeń budownictwa pasywnego standardu Darmstadt. Ze względu na decyzję Inwestora nie wykonano obliczeń w pakiecie do projektowania budynków pasywnych. Basen ten uzyskał Polski Certyfikat Budownictwa Energooszczędnego wydany przez Małopolskie Centrum Budownictwa Energooszczędnego, stwierdzający spełnienie parametrów STANDARDU klasy A+, czyli obiekt uzyskuje efektywność energetyczną dla budynku pasywnego. Basen charakteryzuje się zapotrzebowaniem na energię pierwotną do ogrzewania i chłodzenia $EP_{H+W} = 45,71 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \leq 60 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, a także zapotrzebowaniem na energię użytkową do ogrzewania $EU_{CO} = 10,47 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Zgodnie z certyfikatem szacowany roczny spadek emisji gazów cieplarnianych (tony ekwiwalentu CO_2) wynosi $45,54 \text{ MgCO}_2/\text{a}$. Dane zawarte w certyfikacji opierają się na danych projektowych.

Budynek basenu zlokalizowany jest w Polsce, w województwie podlaskim, powiecie siemiatyckim. Został zaprojektowany przez biuro ARCHITEKCIPL

Jerzy Hnat. Realizacja obiektu miała miejsce w 2019 oraz 2020 roku. Obiekt o powierzchni netto 2.704,96 m² ma powierzchnię lustra wody 389,25 m². z obiektu może jednocześnie korzystać 100 użytkowników. Kryta pływalnia jest basenem przyszkolnym, zlokalizowana jest pomiędzy budynkiem hali sportowej oraz szkoły (podczas projektu gimnazjum, obecnie szkoły muzycznej). Pływalnia jest połączona z oboma obiektami. Ze względu na usytuowanie budynku (Rys. 26) na placu, pomiędzy istniejącą zabudową, obiekt ma wynikowy kształt. Dopasowanie do istniejących warunków działki wymusiło na projektantach odpowiednie ukształtowanie przeszkleń, związane z warunkami przeciwpożarowymi i obostrzeniami wynikającymi z konieczności zachowania odpowiedniej odległości pomiędzy budynkami.



Rysunek 26. Sytuacja. Basen w Siemiatyczach (opracowanie własne).



Rysunek 27. Basen Wodne Tarasy w Siemiatyczach (fotografia autorki)

Parking do obiektu zlokalizowany jest przed istniejącym budynkiem hali sportowej. Wokół budynku basenu znajduje się niewielkie betonowe obejście tworzące miniaturowy plac. Podbasenie mieszczące technologię oraz pomieszczenia instalacyjne nie zmieściło się w całości pod budynkiem, więc jego część znajduje się pod placem. Obejście służy dostawom urządzeń oraz dowozowi chemii do obiektu. Elewacja frontowa jest schowana za skrzydłem szkoły i wystaje nieznacznie. Działka szkoły, hali i basenu jest już tak zainwestowana, że znajdują się na niej niewielkie ilości zieleni niskiej i kilka drzew. Od północy znajduje się napowietrzna linia średniego napięcia, od której budynek odsunięty jest o wielkość strefy ochronnej. Teren wokół budynku nie został wzbogacony małą architekturą, ze względu na niewielką przestrzeń wokół niego. Dojazd do budynku pełni funkcję drogi pożarowej. Sąsiadujące budynki tworzą naturalne zacienienie.

Obiekt największym przeszkleniem otwiera się na zachód oraz częściowo na południe (Rys. 27.). Okna szkoły doświetlające korytarz, są równoległe do przeszkleń basenu. Użytkownicy basenu mogą czuć się niekomfortowo – obserwowani przez ludzi z zewnątrz. Na oknach nie zastosowano elementów zacieniających, ponieważ budynki są oddalone od siebie o niewielkie odległości i same tworzą zacienienia dla siebie. W budynku występują zarówno przeszklenia jak i drzwi przeciwpożarowe.

Wynika to z niewielkich odległości obiektów oraz z warunków bezpieczeństwa pożarowego.

Aby uzyskać połączenie obiektu z otaczającą przestrzenią zaprojektowano również przeszklenia od strony północnej. Przeszklenia te są stosunkowo niewielkie i zlokalizowane na wysokości wzroku płynących w nieckach. Skierowane są na zielenią sąsiadującą z obiektem.

Wejście do budynku zlokalizowane jest przez istniejącą halę sportową. Obiekt wykorzystuje szatnię odzieży zewnętrznej znajdującą się w istniejącej hali wielofunkcyjnej. Samoobsługowe kasy zlokalizowane są wewnątrz obiektu basenu. Prowadzą one do komunikacji pionowej – schodów i windy, a stamtąd już do szatni. Te przeznaczone dla osób niepełnosprawnych znajdujących się na poziomie niecek basenowych, a szatnie ogólne zlokalizowano piętro wyżej.

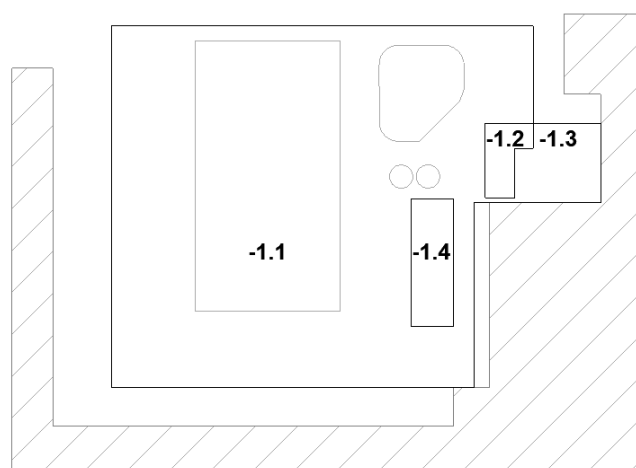
Budynek jest duży, a wraz z podbaseniem tworzy prawie idealny prostopadłościan. Bryła charakteryzuje się wskaźnikiem zwartości $A/V = 0,34 \text{ m}^2/\text{m}^3$. W rzucie budynek przypomina kwadrat z nieznacznymi wycięciami. Wycięcia bryły budynku wynikają z warunków bezpieczeństwa pożarowego. Na dachu znajduje się kotłownia gazowa oraz panele fotowoltaiczne zasilające obiekt. Budynek wyposażony jest w system monitorowania i sterowania BMS.

Obiekt nie ma zjeżdżalni zewnętrznych, charakterystycznych dla obiektów basenowych, co ogranicza straty ciepła. Pomimo, iż basen nie jest duży – ma nieckę pływacką $25 \times 12 \text{ m}$, niewielki basen rekreacyjny o powierzchni $56,57 \text{ m}^2$, wodny plac zabaw o powierzchni $15,48 \text{ m}^2$ oraz dwie niewielkie wanny jacuzzi. Projektanci umieścili zjeżdżalnię wewnętrzną prowadzącą z poziomu szatni na poziom niecek basenowych. Zamiast korzystać ze schodów, wychodząc bezpośrednio spod natrysków można zjechać zjeżdżalnią wprost do basenu rekreacyjnego. Cały obiekt ma spokojną, jasną kolorystykę, w której elementami kontrastowymi jest zjeżdżalnia oraz oznaczenia w kolorze fuksji. Aby uzyskać przyjazny dla użytkownika obiekt zwrócono szczególną uwagę na kwestie związane z akustyką hali basenowej. Na całej powierzchni hali zastosowano akustyczny sufit oraz akustyczne okładziny ścienne znajdujące się na wysokości piętra. Okładziny te wykonano z wełny drzewnej ze spoiwem magnezytowym. Dzięki temu w obiekcie nie ma pogłosu, użytkownicy nie czują dyskomfortu, a system nagłośnienia może działać bez zakłóceń.

W obiekcie zastosowano wiele rozwiązań minimalizujących dodatnie mostki termiczne. Obiekt w części wykonany został na palach ze względu na wysoki poziom wód gruntowych, zabite zostały również ścianki szczelne. Pomimo tych trudnych warunków obiekt posadowiono na płycie, która znajduje się na warstwie termoizolacyjnej wykonanej ze styroduru. W ten sposób ocieplenie jest ciągłe. Attyki mają własną konstrukcję i wykonane są z termoizolacyjnych bloczków. Ocieplenie dachu w miejscu obniżenia na koryta odwadniające wykonane jest z piru – materiału o lepszym współczynniku λ . Stalowe kasetony elewacyjne zamocowane zostały na konsolach ze stali nierdzewnej, które wykonane są w sposób pasywny, redukujący punktowe dodatnie mostki cieplne.

Badanie termowizyjne potwierdziło dobrą termoizolację budynku. Drzwi i okna wykazały typowe niewielkie dodatnie mostki termiczne. Niektóre drzwi wymagają poprawy uszczelek. Dodatkowo mostki termiczne zaobserwowano na elementach przeciwpożarowych okien, drzwi i klap dymowych. Konieczność stosowania zgodnie z polskimi przepisami prawnymi kratki wentylacyjnych w drzwiach zewnętrznych wprowadza zimne powietrze np. do przestrzeni magazynowej.

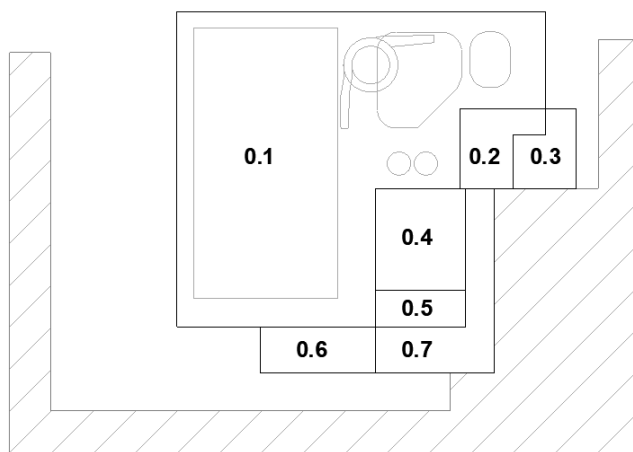
Obiekt podzielony jest na strefy funkcjonalne, na parterze (Rys. 29.) znajduje się hala basenowa, strefa saunowa z szatnią, saunami suchą, parową i na podczerwień oraz z tepidarium. Na piętrze (Rys. 30.) znajdują się szatnie ogólne oraz pomieszczenia edukacyjne. Pomieszczenia te nie wymagają dużego doświetlenia, ponieważ wyposażone zostały w urządzenia z ekranami służącymi do prezentacji między innymi wartości oszczędności pasywnego budynku basenu. Pomieszczenia te zlokalizowano od strony wschodniej z koniecznymi przeszkleniami. Nie potrzebują one dużej ilości ciepła. Strefa basenowa znajduje się od strony dużych przeszkleń południowych i zachodnich. Sauny znajdują się we wnętrzu obiektu i nie mają przeszkleń, ani wglądu na zewnątrz. Zyski ciepła są jedynie od urządzeń i użytkowników, ale nie ma też znacznych strat. Plaża basenowa z nieckami dogrzewana jest od dołu zyskami ciepła z podbasenia wypełnionego urządzeniami technicznymi (Rys. 28.).



PODBASENIE

- 1.1 POMIESZCZENIA TECHNICZNE**
- 1.2 ZAPLECZE SOCJALNE**
- 1.3 WEJŚCIE DO BASENU KRYTEGO**
- 1.4 SZATNIE OBSŁUGUJĄCE HALĘ SPORTOWĄ**

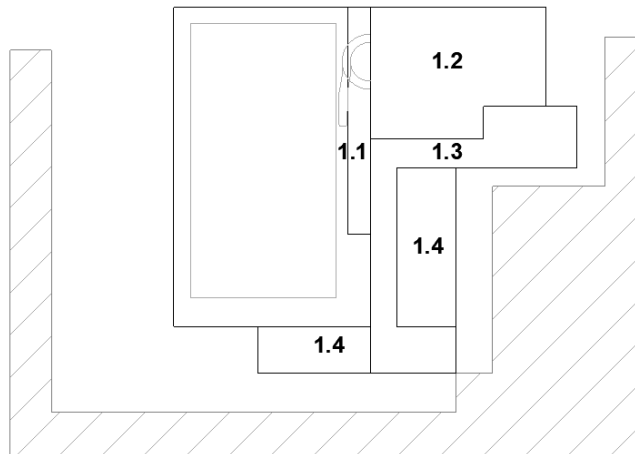
Rysunek 28. Program basenu w Siemiatyczach - podbasenie (opracowanie własne).



PARTER

- 0.1 STREFA BASENÓW**
- 0.2 SZATNIE DLA OSÓB NIEPEŁNOSPRAWNYCH**
- 0.3 KOMUNIKACJA**
- 0.4 STREFA SAUNARIUM**
- 0.5 STREFA SRATOWNIKÓW**
- 0.6 SZACHT INSTALACYJNY**
- 0.7 KOMUNIKACJA OBSŁUGUJĄCA HALE SPORTOWĄ**

Rysunek 29. Program basenu w Siemiatyczach – parter: plaża basenowa (opracowanie własne).



PIĘTRO

- 1.1 ANTRESOLA Z ZEJŚCIEM SCHODAMI**
- 1.2 STREFA SZATNI Z PRYSZNICAMI**
- 1.3 KOMUNIKACJA**
- 1.4 POMIESZCZENIA CENTRUM EDUKACYJNEGO**



Rysunek 30. Program basenu w Siemiatyczach - piętro (opracowanie własne).

Obiekt charakteryzuje się przemyślanym sąsiedztwem stref cieplnych. Wejście główne prowadzi przez halę sportową znajdującą się kondygnację niżej niż hala basenowa, minimalizuje to straty ciepła związane z wychładzaniem stref ciepłych poprzez otwierane drzwi strefy wejściowej. Pomieszczenia edukacyjne zlokalizowane od strony wschodniej, to strefa o najniższych temperaturach. Sauny wymagające najwięcej ciepła zlokalizowane są w strefie basenowej bez kontaktu ze ścianami zewnętrznymi, których parametry podaje Tabela 12.

Tabela 12. Parametry przegród zewnętrznych (opracowanie własne na podstawie źródła [architekciPL 2016]).

Przegroda	Współczynnik U [W/(m ² K)]
Ściana grubości 62 cm wraz z konsolami	U = 0,115 W/(m ² K)
Podłoga na gruncie grubości 115 cm	U = 0,170 W/(m ² K)
Stropodach żelbetowy 70 cm	U = 0,090 W/(m ² K)
Dach żelbetowy nad częścią podziemną 55 cm	U = 0,092 W/(m ² K)

Budynek został poddany badaniu szczelności testem Blower Door Test. Badanie szczelności budynku zostało przeprowadzone zgodnie z normą PN-EN 13829 i dało rezultat $n_{50}=0,58 \text{ h}^{-1} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$. W tak dużym obiekcie szczelność osiąga się stosunkowo łatwo [Gollwitzer et al 2018 a], w związku z powyższym należy stwierdzić, że obiekt ma spore nieszczelności. Obniżenie ilości nieszczelności pozwoliłoby na uzyskanie jeszcze lepszych - niższych wartości energii potrzebnej na ogrzanie budynku. Szczelność powietrzna w basenach jest istotna, ponieważ niekorzystne warunki panujące na hali basenowej mogą znacząco wpływać na niszczenie przegród budowlanych. Podczas przeprowadzania testu szczelności należałoby wskazać punkty nieszczelności i doszczelnić budynek.

Fasada słupowo-ryglowa, aluminiowa, ma współczynnik $U_{CW} = 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Szklona jest szybami o współczynniku $U_g = 0,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Dzięki temu przeszklenie od strony wnętrza utrzymuje wysokie temperatury i nie powinna wykraplać się na nich para. Pomimo tego, zastosowano nawiewy ciepłego powietrza wentylacyjnego na powierzchnie przeszkłone.

Źródłem ciepła CWU jest kaskada dwóch kotłów kondensacyjnych oraz pompa ciepła zasilana z gruntowego wymiennika ciepła. Kotłownia wykonana jest na dachu budynku w oddzielnym pomieszczeniu. Pompa ciepła ma również moc chłodzącą, którą jako chłód pasywny odzyskany, wykorzystywać się będzie na hali sportowo-widowiskowej sąsiadującej i połączonej z obiektem. Wykorzystanie chłodu pasywnego pompy ciepła sprawi, że możliwa będzie regeneracja gruntowego wymiennika ciepła. Źródłem chłodu jest powrót obiegu pierwotnego pompy ciepła. Pionowy gruntowy wymiennik ciepła składa się z 24 odwiertów

o głębokości 100 m. Źródła ciepła wspomagane są przez pompę ciepła z odzysku ciepła ze ścieków i wód popłucznych.

Centrale wentylacyjne wyposażone są w recyrkulację oraz odzysk ciepła z powietrza wywiewanego na poziomie 77-85%. Cały obiekt ogrzewany jest powietrzem z wentylacji. Grzejniki znajdują się jedynie w pomieszczeniu sanitarnym obsługi technicznej, ratowników oraz w kotłowni. Instalacje grzewcze niskotemperaturowe mają sprawność przesyłu min. 95%. Temperatura wody w nieszce basenu pływackiego wynosi 28° C, a w nieszce basenu rekreacyjnego 30° C, temperatura powietrza 30° C, wilgotność powietrza hali basenu wynosi 60%, stąd zaprojektowano wentylację, która osusza powietrze w hali. Powietrze nawiewane jest na okna, a wywiewane jest kratkami znajdującymi się po przeciwnej stronie hali, powodując cyrkulację powietrza w całej hali.

Technologia wody basenowej na filtrach podciśnieniowych oparta jest na systemie zamkniętego obiegu z czynnym przelewem. W obiekcie zaprojektowano instalację elektrolizy membranowej, gdzie czysty podchloryn sodu produkowany jest z soli kuchennej. Zarówno podchloryn, korektor pH, jak i koagulant dozowane są automatycznie przez pompki tłoczące. Filtry co 3 dni poddawane są płukaniu (czyszczeniu fizycznemu) bez względu na zanieczyszczenia, co regulowane jest przepisami prawa międzynarodowego. Zanieczyszczenia biologiczne usuwane są chemicznie, poprzez regulację pH (na poziomie 7,0-7,4). Pozwala to na dezynfekcję oraz jest zdrowe dla człowieka. Dla wszystkich układów basenowych przewidziano zastosowanie średniociśnieniowych lamp UV. Działają one bakteriobójczo i niszczą drobnoustroje przez destrukcję ich DNA. Zastosowanie lamp UV umożliwia ograniczenie dawek chloru, co zmniejsza ilości powstających szkodliwych chloramin oraz poprawia jakość wody. Pompy wyposażone są w przemienniki częstotliwości – falowniki, co przynosi oszczędność energii elektrycznej na poziomie około 10-15%. Pozwala to również zastosować obniżenie nocne w przypadku właściwych parametrów wody. Na obiekcie zastosowano układ odzysku ciepła z wód popłucznych i wód z natrysków. Woda w basenach podgrzewana jest wymiennikami basenowymi płytowymi zasilanymi z lokalnej wymiennikowni. Ciepło z natrysków przekazywane jest do wstępnego podgrzania wody świeżej na CWU. Ciepło z wód popłucznych służy do podgrzania wstępnego wody uzupełniającej zbiorniki wyrównawcze basenów.

Dla celów oświetlenia zastosowano oprawy oświetleniowe ze źródłami LED. Na dachu obiektu zaprojektowano instalację fotowoltaiczną o mocy 40,2 kWp obniżając koszty energii elektrycznej zużywanej przez obiekt w sposób ciągły. Moduły zamontowane zostały w układzie wschód-zachód ze względu na ograniczoną powierzchnię na dachu. W celu monitorowania instalacji fotowoltaicznej uruchomiono system zarządzania energią SZE. Umożliwia on prezentację on-line uzysku energetycznego oraz oszczędność CO₂ w stosunku do zużycia energii z paliw kopalnych (węgla kamiennego) - przeliczenie zgodnie z normami ISO 50001 oraz ISO 14064. Obiekt wyposażony został w system ESOK.

Jest to Zintegrowany System Obsługi Klienta, zarządza relacjami z klientem, ruchem użytkowników oraz procesami zarządzania obiektem. System zapewnia kontrolę dostępu do poszczególnych stref oraz sprzedaż i rezerwację usług. Obiekt wyposażony jest również w system BMS, który między innymi obsługuje i steruje urządzeniami wentylacyjno-klimatyzacyjnymi i grzewczymi oraz monitoruje stan urządzeń i systemów instalacyjnych. Reguluje on również temperaturę wody w nieckach basenowych oraz temperaturę i wilgotność w hali basenowej.

4.2. Wnioski z badań istniejących basenów pasywnych

Obiekty pasywnych basenów krytych zużywają mniej energii potrzebnej do ogrzewania, w porównaniu z konwencjonalnymi analogicznymi obiektami, są zrównoważone i zapewniają komfort użytkowania oraz dobrą jakość powietrza.

Przemyślane rozmieszczenie funkcji względem siebie oraz względem stron świata zapewnia poprawną regulację temperatur w strefach oraz eliminuje wychładzanie poszczególnych przestrzeni. Korzystne jest sytuowanie w pobliżu hali basenowej zespołów szatni z natryskami, ponieważ te pomieszczenia mają najwyższe temperatury oraz zużywają najwięcej ciepła na ogrzewanie. Bezpośrednie sąsiedztwo szatni i strefy wejściowej powoduje straty ciepła. Ta sama zasada dotyczy oddzielenia strefy saun z szatniami od strefy wejściowej. Strefa administracyjna może być połączona bezpośrednio ze strefą wejściową, jednakże nie powinno się umieszczać w bezpośrednim sąsiedztwie strefy administracyjnej ze strefą moką i wilgotną. Strefy wymagające najwyższych zysków ciepła korzystnie jest sytuować od strony południowo-zachodniej.

Zaletę stanowi wymaganie standardu pasywnego, jakim jest szczelna, dobrze izolowana termicznie powłoka budynku bez mostków termicznych. Za detal wolny od mostków termicznych uważa się detal o wartości mostku $\Psi < 0,01 \text{ W/(mK)}$. Dzięki wysokim temperaturom powierzchni przegród możliwe jest wyeliminowanie zawilgacania przegród. Wilgoć w przegrodach prowadzi do pleśni oraz uszkodzeń konstrukcji i przyczynia się do konieczności przeprowadzania kosztownych remontów. Dzięki zastosowaniu standardu pasywnego w obiektach o podwyższonej wilgotności wymienione powyżej problemy nie występują. Dzięki temu wydłuża się żywotność obiektu. Można również podnieść poziom wilgotności, co zmniejsza zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania.

Wprowadzenie zjeżdżalni do wnętrza budynku redukuje powstawanie dodatkich mostków termicznych i zmniejsza ucieczkę ciepła przez słabo izolowane powierzchnie ścian zjeżdżalni. Korzystne jest również zrezygnowanie z basenów wypływowych bezpośrednio łączących baseny wewnętrzne z zewnętrznymi. Proponowane wyżej rozwiązania zmniejszają zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania.

Izolacja termiczna stropu oddzielającego podbasenie od hali basenowej nie jest konieczna, a wręcz niekorzystna. Zyski ciepła z podbasenia mogą

z powodzeniem podgrzewać plażę basenową, dzięki czemu można zrezygnować z kosztownego ogrzewania podłogowego.

Odpowiednio zaprojektowane przeszklenia na poszczególnych elewacjach powinny zapewniać wymagane zyski energetyczne od słońca oraz minimalizować niekorzystne zjawisko przegrzewania obiektu. Nie bez znaczenia jest również dbałość o minimalizację efektu olśnienia. Użytkownicy obiektów sportowych zarówno basenowych, jak i innych hal sportowych powinni móc rozgrywać zawody w sposób zapewniający równe warunki dla wszystkich. Efekt olśnienia może znacząco wpłynąć na wynik zawodów. W obiektach basenowych efekt ten jest potęgowany odbiciem promieni świetlnych od powierzchni wody.

Cały obiekt powinien być doświetlony światłem naturalnym przez jak najdłuższy czas w ciągu doby. Doświetlenie światłem sztucznym powinno być zaprojektowane z oszczędnych źródeł światła oraz sterowane czujnikami zmierzchu i ruchu. Powyższe rozwiązania przekładają się na oszczędność energii elektrycznej.

Wyniki z przeprowadzonych analiz i badań są zbieżne z opublikowanymi przez Instytut Budownictwa Pasywnego z Darmstadt wytycznymi do projektowania basenów pasywnych [Gollwitzer et al 2018 a]. Każdy kryty obiekt basenowy wymaga stosowania wentylacji mechanicznej. Szczelność powietrzna takiego obiektu jest cechą pożądaną nawet w konwencjonalnych budynkach. Dlatego projektowanie i budowanie basenów pasywnych ma duże uzasadnienie i nie wymaga znacznych dodatkowych nakładów finansowych, lecz jedynie dobrego i przemyślanego projektu. Dobry projekt architektoniczno-budowany, przemyślany pod każdym względem skutkuje obiektem zrównoważonym, energooszczędnym i tanim w eksploatacji. Obniżenie kosztów eksploatacji wpływa na opłacalność inwestycji oraz odciąża budżet gmin dofinansowujący tego typu obiekty.

W celu osiągnięcia najlepszych rezultatów budownictwa pasywnego niezbędne jest na każdym etapie realizacji przeprowadzenie rzetelnej kontroli jakości. Aby budynek należał w 100% do puli obiektów pasywnych konieczne jest uzyskanie certyfikacji w Instytucie Budownictwa Pasywnego. Jednakże zastosowanie rozwiązań bez certyfikatu podniesie również jakość budynku, o ile projekt oraz wykonawstwo będzie na odpowiednim poziomie. Należy podkreślić, że Instytut Budownictwa Pasywnego w Darmstadt dla każdego z niemieckich basenów pasywnych wyznaczył indywidualne kryteria, różniące się od kryteriów standardu Darmstadt. Wynika stąd wniosek, że kryteria standardu pasywnego Darmstadt w realizacji obiektów basenowych są zbyt wygórowane. Certyfikacja potwierdza oficjalnie wszystkie zaprojektowane i zainstalowane parametry budynku. Jednakże nawet chcąc poprawić jakość i ekonomiczność niektórych rozwiązań należy rozważyć stosowanie zasad budownictwa pasywnego w codziennej pracy w celu obniżenia kosztów eksploatacji budynków.

Tabela 13 prezentuje wytyczne projektowe w formie katalogu optymalnych rozwiązań architektonicznych dla budynków basenowych opracowanych na podstawie badań rozdziału III. Oraz IV.

Tabela 13. Wytyczne projektowe – katalog optymalnych rozwiązań architektonicznych dla budynków basenowych - opracowanie na podstawie badań z rozdziału III. oraz IV. (opracowanie własne).

Komponent	Wytyczne projektowe dla budynków basenowych	Rola energetyczna	Uwagi i wskazówki projektowe
Strefy bosej i obutej stopy. Strefowanie funkcji o podobnych warunkach klimatu wewnętrznego	Rozdzielenie stref bosej i obutej stopy. Łączenie stref o podobnych warunkach klimatu wewnętrznego.	Straty ciepła poprzez sąsiedztwo funkcji ciepłych i zimnych.	W basenach konieczne jest rozdzielenie stref bosej i obutej stopy, równocześnie strefa bosej stopy jest automatycznie strefą cieplejszą. Dobrą praktyką jest stosowanie stref buforowych w formie przedsionków separujących pomieszczenie zimne – np. strefę wejściową, od strefy ciepłej np. szatniami. W tym przedsionku można zastosować ławeczkę do zmiany obuwia od strony wejściowej wchodzimy w obuwie, siadamy na ławeczce, ściągamy obuwie, przenosimy nogi nad ławeczką i znajdujemy się w strefie czystej stopy, gdzie można umieścić szafki na buty, następnie można przejść do szatni właściwych.
Toalety i natryski	Na drodze wejściowej do niecki basenowej	Połączenie pomieszczeń o podobnych warunkach temperaturowo-wilgotnościowych	Należy zachęcać użytkowników do skorzystania z natrysków przed wejściem do basenu, ma to niebagatelny wpływ na jakość wody, konieczność płukania filtrów oraz stosowania środków chemicznych do oczyszczania wody, co generuje koszty. Podnosi to jakość warunków higienicznych panujących na obiekcie.
Komunikacja na plaży basenowej	Najkrótsza, wydzielona poza strefami niebezpiecznymi np. głębokiej wody, wejść na zjeżdżalnię itp. Posiadająca odpowiednią szerokość w wyznaczonych przestrzeniach sąsiadujących z nieckami	Wydzielenie stref o zróżnicowanych warunkach temperaturowych. Minimalizacja strat ciepła.	W obiektach basenowych, w których znajdują się niecki o różnej funkcji korzystne jest ich wydzielenie np. szklanymi ścianami od posadzki do sufitu. Zapewnia to wydzielenie komunikacji na plaży oraz poprawę bezpieczeństwa użytkowników – dzieci z brodzika nie wpadną do głębokiej wody basenu pływackiego, dodatkowo takie rozdzielenie komunikacji wydzieli strefy o innych wymaganiach termicznych i wilgotnościowych. Strefa basenów rekreacyjnych musi mieć wyższe temperatury, ze względu na niski wydatek energetyczny użytkowników. Strefa basenu pływackiego charakteryzuje się niższą temperaturą ze względu na wysiłek fizyczny pływaków.

Elementy grzejne	Brak elementów grzejnych. Wykorzystanie powietrza wentylacyjnego do ogrzewania pomieszczeń	Możliwe w dobrze izolowanych, szczelnych budynkach pasywnych. Zmniejszenie zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania	Rezygnacja z grzejników, siedzisk grzejnych i ogrzewania płaszczyznowego z jednej strony zabezpiecza użytkowników przed poparzeniem użytkowników, z drugiej strony świadczy o poprawnym, pasywnym zaprojektowaniu obiektu. Niezastosowanie izolacji termicznej stropu oddzielającego podbasenie od hali umożliwia dogrzanie plaży basenowej ciepłem podbasenia tworząc system grzejny podłogowy wykorzystujący wewnętrzne zyski ciepła z technologii.
Wielkość niecki pływackiej	Dostosowane do potrzeb i założeń obiektu	Wewnętrzne zyski ciepła z powierzchni lustra wody, wilgotność pomieszczenia	Wielkość niecki basenowej powinna odpowiadać potrzebom użytkowników oraz przeznaczeniu obiektu. Największe niecki pływackie nie są konieczne w każdym obiekcie, baseny 25 x 50 m to obiekty olimpijskie, nie ma na nie dużego zapotrzebowania. Bardzo popularne są baseny 12,5 x 25 m są wygodne, można organizować na nich zawody, ale nie są za duże. Natomiast dla nauki pływania i dla rekreacyjnego pływania wystarczą niecki o wymiarach 8,5 x 16,67 m. Niecki rekreacyjne cieszą się dużą popularnością wśród użytkowników. Ich wielkość powinna być dobrana na podstawie równowagi kosztów oraz zysków płynących z popularności obiektu przekładającej się na wpływy z biletów. Wielkość niecek przekłada się na powierzchnię plaży basenowej oraz wielkości szatni, natrysków, powierzchni podbasenia itp., czyli między innymi przekłada się na powierzchnię użytkową oraz kubaturę, a co za tym idzie na zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania. Dlatego warto przeprowadzić analizy przedprojektowe uzasadniające przyjęte wielkości niecek w obiekcie.
Przegrody zewnętrzne	Przegrody charakteryzujące się dobrą izolacją termiczną, o zminimalizowanej ilości dodatkowych mostków termicznych, szczelne powietrznie, wyposażone w pasywną stolarkę	Możliwe podwyższenie wilgotności, co zmniejsza parowanie, więc zmniejsza się zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzania wody basenowej i pomieszczeń, zmniejszenie zapotrzebowania na energię potrzebną do osuszania.	Poprawnie zaprojektowane przegrody zewnętrzne przyczyniają się do oszczędności podczas eksploatacji obiektu. Wydłużają żywotność obiektu równocześnie zmniejszając ilość remontów wynikających z korozji konstrukcji obiektu oraz pozostałych jego elementów.

Strefowanie przestrzeni mokrych użytkowników i suchego personelu	Zastosowanie wentylacji warstwowej, sytuowanie stanowisk ratowników w strefie nawiewu suchego powietrza, wydzielenie pomieszczeń odpoczynku dla ratowników	Obniżenie temperatury wody zmniejsza jej parowanie. Oraz zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzania wody basenowej.	Należy rozmyślnie rozmieszczać stanowiska ratowników oraz organizować pomieszczenia odpoczynku dla ratowników, charakteryzujące się środowiskiem o niższym poziomie wilgotności względnej powietrza niż panujące na hali basenowej.
Zjeżdżalnie	Brak lub zlokalizowane wewnątrz powłoki budynku	Straty ciepła, gdy zjeżdżalnia jest zewnętrzna, pojawiają się dodatkowo mostki termiczne, gdy przebija powłokę budynku	Należy zastosować takie rozwiązanie zjeżdżalni, aby spełniało zapotrzebowanie użytkowników na ten element wyposażenia oraz nie powodowało strat ciepła. Albo należy całkowicie zrezygnować ze zjeżdżalni, albo wprowadzić je do wnętrza budynku.
Wpływ z basenu wewnętrznego do basenu zewnętrznego	Brak	Minimalizacja strat ciepła potrzebnego na ogrzanie wody basenowej – oddawanie ciepła wody basenu zewnętrznego do atmosfery nie zachodzi.	Rekomenduje się wykluczenie elementu łączącego basen zewnętrzny oraz wewnętrzny. Czasem stosuje się ograniczenie ucieczki ciepła poprzez zastosowanie odpowiednich śluz oraz przekryć powierzchni lustra wody basenu zewnętrznego w godzinach zamknięcia obiektu. Decyzja o zaprojektowaniu takiego elementu powinna być poprzedzona wnikliwymi analizami oraz obliczeniami.
Doświetlenie światłem naturalnym	Doświetlenie prostopadłe do torów, minimalizujące oślnienie, głównie od strony południowej.	Pozyskiwanie ciepła z energii słonecznej poprzez okna sytuowane od strony południowej	Doświetlenie hali basenowej powinno minimalizować oślnienie, czyli okna nie powinny znajdować się na linii startowej i na linii nawrotu.
Rozmieszczenie funkcji	Sytuowanie koło siebie pomieszczeń o podobnych warunkach wilgotnościowo – temperaturowych	Zmniejszenie zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania	Korzystne jest sytuowanie stref o podobnych warunkach wilgotnościowo-temperaturowych koło siebie. Najwięcej strat ciepła powstaje podczas sytuowania w bezpośrednim sąsiedztwie strefy wejściowej i szatniowej. Rozwiązaniem jest stworzenie strefy buforowej pomiędzy tymi pomieszczeniami w postaci np. pomieszczenia do zmiany obuwia, pełniącego funkcję przedsionka. Pomoże to nieco zmniejszyć straty ciepła.

Badania wybranych budynków pod kątem pasywności – aspekty architektoniczne obiektów

V. Badania wybranych budynków różnych funkcji pod kątem pasywności	95
5.1. Porównanie standardów badanych budynków	103
5.2. Układ funkcjonalny badanych obiektów	106
5.3. Doświetlenie światłem naturalnym	112
5.4. Elewacje obiektów	113
5.5. Proporcje obiektów	115
5.6. niespójności badanych budynków z określonym standardem pasywności	117
5.7. Porównanie architektoniczne obiektów o wybranych standardach pasywności - aspekty fizyczne.	118
5.7.1. Komfort użytkowania (Tabela 15.)	118
5.7.2. Temperatura (Tabela 16.)	119
5.7.3. Światło naturalne (Tabela 17.)	121
5.8. Porównanie architektoniczne – aspekty estetyczne	122
5.8.1. Kształt (Tabela 18.)	122
5.8.2. Kolor (Tabela 19.)	124
5.9. Porównanie architektoniczne – elastyczność budynku	124
5.9.1. Zmiana funkcji (Tabela 20.)	124
5.10. Podsumowanie – porównanie architektoniczne	125
5.11. Wnioski z badań (Tabela 22.)	126



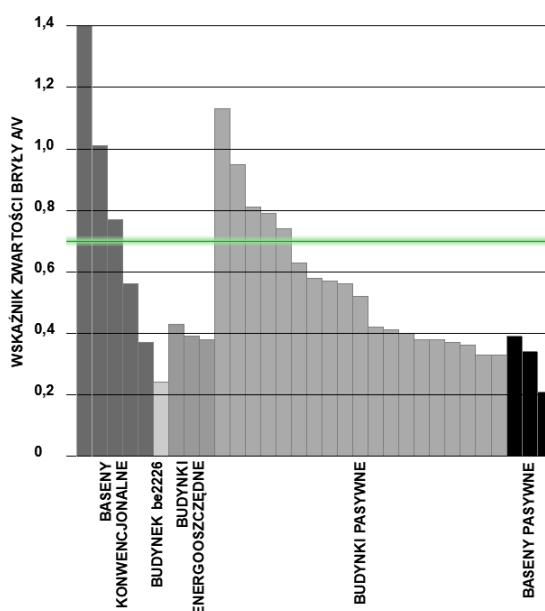
Rysunek 31. Basen pasywny w Lippe Bad Lünen widok na elewację zachodnią (fotografia Autorki).

V. Badania wybranych budynków różnych funkcji pod kątem pasywności

Wskaźnik zwartości bryły A/V

Dobór odpowiedniego kształtu budynku [Parasonis et al 2012] oraz jego odpowiednia orientacja względem stron świata umożliwia redukcję kosztów eksploatacyjnych o około 30-40% bez dodatkowych nakładów finansowych [Wang et al 2005].

Badane obiekty, w podziale na budownictwo tradycyjne, energooszczędne, pasywne i be2226, wykazują się wielkościami wskaźnika zwartości bryły przedstawionymi na poniższym wykresie (Rys. 32.). Zieloną linią zaznaczona została wielkość $0,7 \text{ m}^2/\text{m}^3$, która wyznacza granicę określoną przez Instytut Budownictwa Pasywnego w Darmstadt dla poprawnie zaprojektowanych budynków pasywnych [Feist 1998]. Powyżej tej wartości budynkowi trudno jest osiągnąć pasywność, jednakże nie jest to niemożliwe.



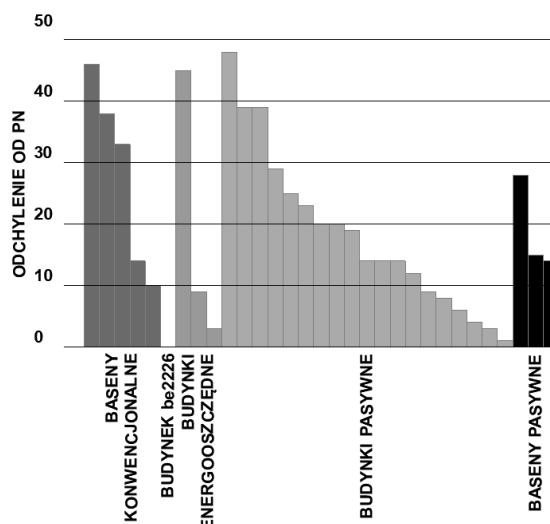
Rysunek 32. Wykres wartości wskaźnika zwartości bryły A/V w podziale na standardy przebadanych budynków (opracowanie własne).

Zbadane obiekty konwencjonalne, które charakteryzują się kształtem zbliżonym do prostopadłościanu, mają wskaźnik zwartości bryły $\leq 0,77 \text{ m}^2/\text{m}^3$, te o bardziej skomplikowanej bryle wykazywały znacznie większe wartości. Obiekty z tej kategorii są zbliżone wielkościowo. Budynek be2226 przedstawiono dla porównania, ma on jeden z najniższych współczynników, bryła tego budynku to idealny sześcián, o boku 24 m. Po kuli najlepszy wskaźnik zwartości bryły ma sześcián. Wszystkie przebadane budynki energooszczędne (każdy z nich jest innej wielkości, jeden jest stosunkowo mały, drugi średni, a trzeci duży) mają wskaźnik

zwartości bryły $< 0,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Mały i średni, to obiekty bardzo zwarte. Na przebadane 22 obiekty pasywne, pięć z nich ma wskaźnik zwartości bryły powyżej $0,7 \text{ m}^2/\text{m}^3$, co stanowi 22,7%. Trzy z nich są porównywalne wielkościowo i mają dwuspadowy dach. Ich stosunek A/V wynosi od $0,81 \text{ m}^2/\text{m}^3$ do $1,13 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Pozostałe dwa są większe, dwukondygnacyjne o płaskich dachach i ich wskaźniki zwartości bryły wynoszą odpowiednio $0,74 \text{ m}^2/\text{m}^3$ oraz $0,79 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Pomimo niespełnienia zalecanego przez Instytut w Darmstadt wskaźnika zwartości bryły obiekty te są obiektami pasywnymi. Na wykresie (Rys. 32.) zaznaczono osobno baseny pasywne, które wliczają się do obiektów pasywnych. Ich wskaźnik zwartości bryły nie przekracza $0,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Są to obiekty duże, o zwartym kształcie stąd wartość wskaźnika na tak niskim poziomie.

Stopień odchylenia badanych budynków od kierunku północnego

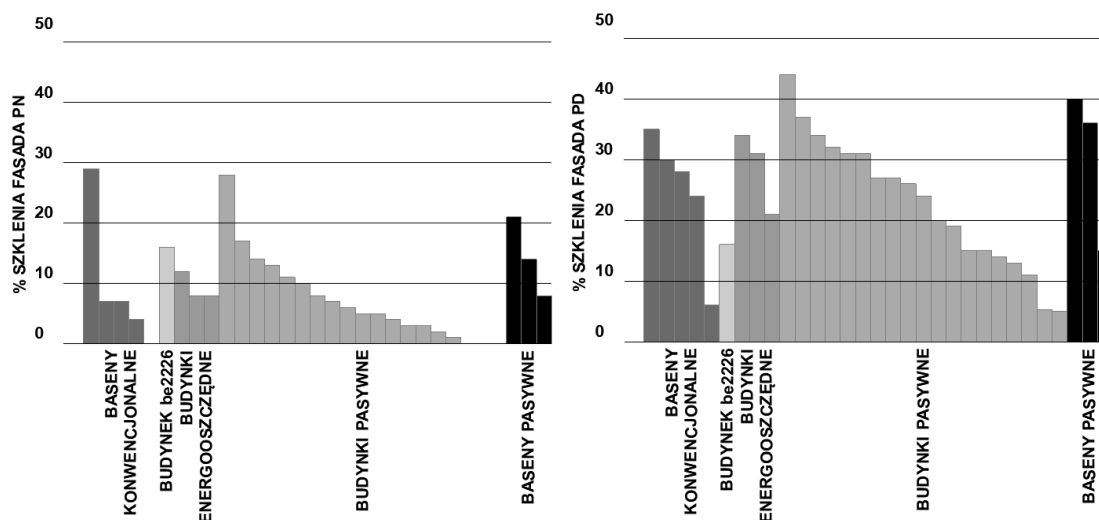
Kolejna analiza przedstawia stopień odchylenia badanych budynków od kierunku północnego. Wykres (Rys. 33.) pokazuje, że żaden z obiektów nie przekracza 50° odchylenia od kierunku północnego. Jeden budynek pasywny notował odchylenie o wartości 48° , spowodowane jest to faktem, że ten budynek nie powstał z założenia jako obiekt pasywny, jest to renowacja istniejącego obiektu. Większość badanych budynków nie jest obiektami wolnostojącymi. Działki, na których powstawały nie były wolne od zainwestowania, co wymuszało na projektantach konieczność ustępstw i dostosowania do istniejących warunków. Przebadane budynki konwencjonalne w ponad połowie przypadków mają odchylenie od kierunku północnego powyżej 30° . Wynika to z faktu, iż są to obiekty dobudowywane do istniejących szkół. Wiąże się to z koniecznością dostosowania się do istniejącej zabudowy oraz warunków zagospodarowania działki budowlanej. Budynek be2226 jest budynkiem eksperymentalnym i nie ma odchylenia od kierunku północnego, jest dokładnie zorientowany północ-południe. Odchylenie przebadanych budynków energooszczędnych od kierunku północnego jest zróżnicowane i wynosi od 3° do 45° . Największą grupą badanych budynków są budynki pasywne, 4,6% tych budynków charakteryzuje się odchyleniem od kierunku północnego w zakresie pomiędzy 40° - 50° , 27,3% stanowi przedział 0° - 10° , a 40,9% zawiera się pomiędzy 10° a 20° . Odchylenie budynków basenów pasywnych od kierunku północnego mieści się w przedziale 10° - 30° . Można stwierdzić, że odchylenie budynków od kierunku północnego w żadnym z przebadanych obiektów nie przekracza 50° . Większość obiektów pasywnych mieści się w przedziale 0° - 20° . Odchylenie budynków od kierunku północnego nie jest znaczne. Można określić, którym głównym kierunkom geograficznym odpowiadają poszczególne elewacje.



Rysunek 33. Wykres wartości kąta odchylenia osi badanych budynków od kierunku północnego (opracowanie własne).

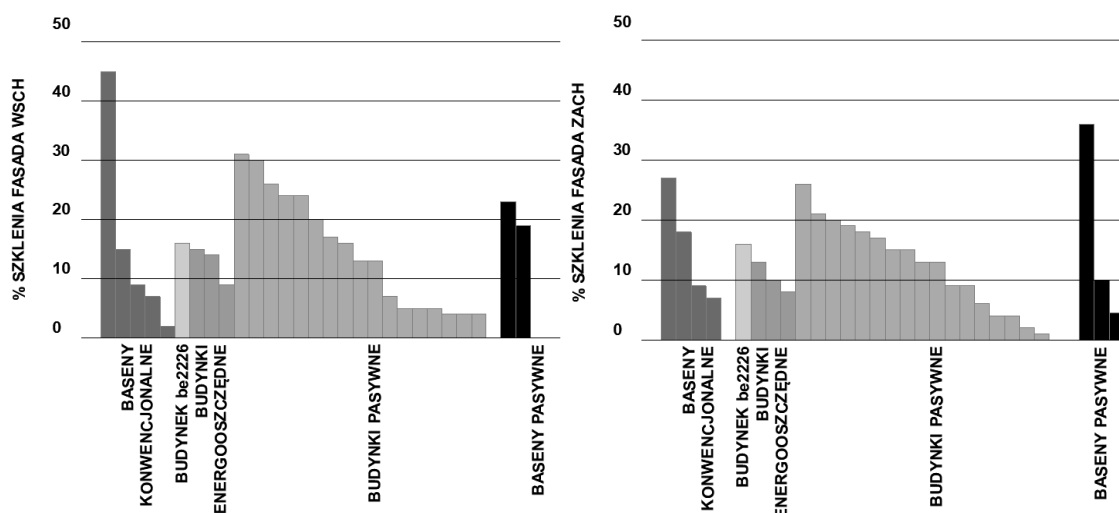
Przeszklenia na poszczególnych fasadach

Wyniki analizy przeszkleń pokazują poniższe wykresy (Rys. 34.). Na osobnych wykresach przedstawiono udział procentowy powierzchni przeszkleń na fasadach przyporządkowanych do głównych kierunków geograficznych w podziale na grupy budynków.



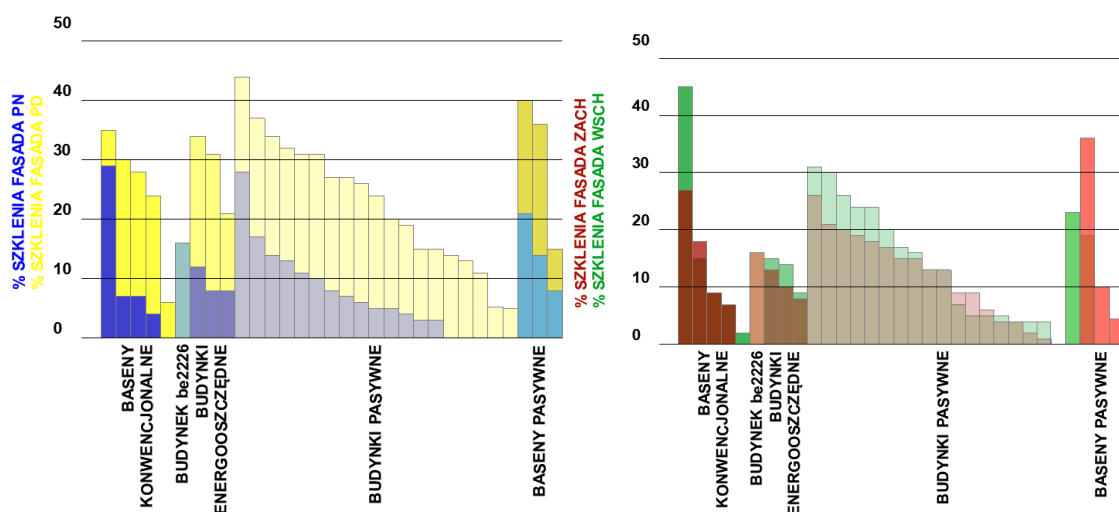
Rysunek 34. Procent szklenia fasad badanych obiektów na elewacji północnej i południowej (opracowanie własne).

Powyższe wykresy (Rys. 34.) ukazują, że w każdym z typów budynków przeszklenia na fasadzie południowej dominują. Jedynym wyjątkiem jest budynek be2226, który ma jednakową wielkość przeszkleń na każdej z fasad. Wielkość ta jest ściśle dostosowana do funkcji obiektu (obiekt biurowy).



Rysunek 35. Procent szklenia fasad badanych obiektów na elewacji wschodniej i zachodniej (opracowanie własne).

Na powyższych wykresach (Rys. 35.) przedstawiono porównywalną ilość przeszkleń na fasadach zachodniej i wschodniej, choć wschodnie fasady mają nieznacznie większą liczbę przeszkleń.



Rysunek 36. Porównanie procentowego zestawienia szklenia fasad badanych obiektów na elewacjach północnej i południowej oraz wschodniej i zachodniej (opracowanie własne).

Powyższe wykresy (Rys. 36.) prezentują porównanie wyników analizy poprzez nałożenie na siebie procentowego udziału przeszkleń na fasadach północnej i południowej oraz zachodniej i wschodniej. Widać znaczne różnice pomiędzy ilością przeszkleń od strony południowej w stosunku do strony północnej. W budownictwie przeważa wysoki udział przeszkleń na ścianach południowych, choć nie jest to regułą. Badania innych naukowców wskazują, że na półkuli północnej, orientacja południowa dla lokalizacji przeważającej ilości przeszkleń jest

najkorzystniejsza [Csáky et al 2015], [Alzoubi et al 2014], [Mall et al 2015], [Pacheco et al 2012], [Obrecht et al 2019]. Miejski Budynek Jutra 2030 to projekt badawczy, którego zespół określił jako najbardziej właściwą, pod względem równowagi zysków i strat energii cieplnej, wartość zalecanej wielkości przeszkleń dotyczącą elewacji południowej na 40%. Laskowski wskazuje optymalną wartość 30% [Laskowski 2008]. Hausladen, Saldanha i Leidl dopuszczają nawet 50% pokrycie przeszkleniem. Przy przeszkleniach powyżej 30% wymagane jest zastosowanie zewnętrznego systemu zacinającego [Hausladen et al 2006].

Współczynnik przenikania ciepła dla ścian

Współczynniki przenikania ciepła dla ścian w budynkach konwencjonalnych zawierają się pomiędzy 0,14-0,2 W/(m²K), w budynku be2226 wielkość ta wynosi 0,161 W/(m²K) (wielkość obliczono na potrzeby tej analizy przyjmując ceramiczne pustaki izolacyjne o współczynniku $\lambda = 0,126$ W/(mK) zgodnie ze specyfikacją wybranego producenta). W przypadku budynków energooszczędnych wielkości tego współczynnika wynosiły pomiędzy 0,11-0,19 W/(m²K), a w budynkach pasywnych 0,08-0,15 W/(m²K).

Energia pierwotna i użytkowa

Wartość zapotrzebowania na energię pierwotną w budynkach konwencjonalnych zawiera się między 94,6 – 250 kWh/(m²a), w budynkach energooszczędnych 36,31-165 kWh/(m²a), a w budynkach pasywnych pomiędzy 14,8-120 kWh/(m²a), jedynie dla ośrodka zdrowia oraz basenów zlokalizowanych za granicą, gdzie konieczny jest zwiększony pobór mocy wynikający z technologii, wartość ta była wyższa od wymaganej standardem.

Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną w obiektach tradycyjnych w niektórych przypadkach (250 kWh/(m²a)) ponad dwukrotnie przekracza wartości wymagane dla obiektów pasywnych (120 kWh/(m²a)). Można jednak odnotować, iż jeden z obiektów tradycyjnych przewyższał pod tym względem (94,6 kWh/(m²a)) nawet standardowe budynki pasywne (120 kWh/(m²a)).

Wartość energii użytkowej na potrzeby ogrzewania i wentylacji w budynkach konwencjonalnych zawiera się pomiędzy 32,33 - 45,29 kWh/(m²a), w obiektach energooszczędnych pomiędzy 1,41 - 36,31 kWh/(m²a), a w obiektach pasywnych pomiędzy 8,4-15 kWh/(m²a).

W przebadanych obiektach, w budynkach pasywnych wartość zapotrzebowania na energię pierwotną jest niższa o 50-85%, a wartość zapotrzebowania na energię użytkową na potrzeby ogrzewania i wentylacji jest niższa o 67-74% w stosunku do pozostałych obiektów.

Wentylacja oraz źródła ciepła

Sprawność odzysku ciepła central wentylacyjnych w budynkach konwencjonalnych wynosi pomiędzy 70 - 95%, w budynkach energooszczędnych 80 - 94%, a w budynkach pasywnych 60 - 94%.

W budynkach konwencjonalnych jako źródła ciepła przeważają kotły gazowe oraz sieć miejska. Wysoki parametr grzewczy umożliwia szybką reakcję na zmieniające się warunki atmosferyczne. W budynkach energooszczędnych jako źródła ciepła przeważają pompy ciepła, a w budynkach pasywnych również pompy ciepła i kotły gazowe. Pompy ciepła działają na niskim parametrze czynnika grzewczego, stąd konieczność przewidywania i utrzymywania stałej temperatury przez cały czas, nawet podczas nieużytkowania obiektu (przedszkola, szkoły podczas przerw świątecznych, czy ferii zimowych). Budynek be2226 źródłem ciepła są jedynie zyski słoneczne, od użytkowników i od oświetlenia.

Szczelność powietrzna budynków

Po wybudowaniu, obiekty pasywne przeszły testy szczelności Blowerdoor test, a ich wyniki oscylowały pomiędzy 0,3 - 0,6 h⁻¹. W pozostałych przypadkach brak danych dotyczących szczelności.

Jakość wykonania budynku pod kątem termoizolacyjności

Badania termowizyjne budynków konwencjonalnych przeprowadzono na obiektach wyłączonych z użytkowania ze względu na sytuację epidemiologiczną COVID-19. Temperatura wody oraz temperatura wewnętrzna w obiektach utrzymywane były na poziomie normalnego użytkowania. Tylko w jednym obiekcie, w Strzegomiu temperaturę wewnętrzną obniżono do 19° C. Największe nieprawidłowości odnotowano na elementach stolarki okiennej i drzwiowej, w narożnikach budynków, na połączeniu konstrukcji dachu ze ścianami zewnętrznymi, zlokalizowano też przeciek dachu, punktowe dodatnie mostki termiczne konstrukcji zadaszeń zewnętrznych, straty na dylatacjach pomiędzy budynkami. Obiekty były nieszczelne powietrznie, występowały punktowe dodatnie mostki termiczne.

Na budynkach energooszczędnych i pasywnych badania termowizyjne przeprowadzono na obiektach zarówno działających, jak i wyłączonych z użytkowania, ze względu na sytuację epidemiologiczną COVID-19. Szkoły, hale sportowe i baseny były wyłączone z użytkowania lub przed godzinami użytkowania (wyjątek stanowiły obiekty zagraniczne – dwa baseny pasywne). Obiekty przedszkolne były użytkowane z zachowaniem reżimu epidemiologicznego.

Temperatury wewnętrzne w obiektach utrzymywane były na poziomie normalnego użytkowania. W jednym obiekcie w hali sportowej w Bełdowie temperatura wewnętrzna wynosiła 16,5° C, ponieważ nastąpiła usterka źródła ogrzewania. Badania prowadzono w warunkach różnicy temperatury wewnętrznej i zewnętrznej minimum 10° C. Największe nieprawidłowości odnotowano na elementach stolarki okiennej i drzwiowej, na elementach p. poż. takich jak klapy oddymiające, czy okna p. poż. W jednym przypadku odnotowano nieszczelność przy obróbce blacharskiej ściany – zawilgocenie, w kolejnym obiekcie z 2013 r. pęknięcie ocieplenia ściany zewnętrznej.

W przebudowywanym i termomodernizowanym, a nie nowobudowanym obiekcie w Strzegomiu odnotowano przeciek dachu. Obiekt hotelowy w Bardo miał balkony, które wykazywały dodatni, liniowy mostek termiczny przy łączeniu z murem. W obiekcie w Miękinii, który był rozbudową i termomodernizacją historycznego obiektu odnotowano dodatni mostek termiczny na montażu stolarki. Powstał on, ponieważ była konieczność zastosowania od wewnątrz ocieplenia obiektu o walorach historycznych, czego w standardowych rozwiązaniach się nie stosuje. W tym też obiekcie zauważono dodatnie mostki punktowe zamocowania konstrukcji schodów zewnętrznych.

Badania termowizyjne wykazały wysoką jakość prac budowlanych. Obiekty wykonywane zostały poprawnie, z dbałością o szczegóły, jednakże nawet tu nie uniknięto drobnych niedociągnięć. Większość da się zminimalizować przez odpowiednie wyregulowanie zawiasów i uszczelek okien i drzwi. Termowizja wykazała typowe, dodatnie, liniowe mostki termiczne zlokalizowane na obwodach otworów okiennych i drzwiowych. Warstwy termoizolacji na ścianach wykonane są poprawnie i jednolicie. Największe dodatnie mostki termiczne występują na elementach związanych z bezpieczeństwem pożarowym – klapach oddymiających, oknach i drzwiach p.poż. itp.

Charakterystyki oraz świadectwa energetyczne

Podczas analizy dokumentacji projektowej stwierdzono różną zawartość dostępnych charakterystyk i świadectw energetycznych. Niektóre przebadane budynki wykazywały w dokumentach informacje, że są budynkami pasywnymi. Niestety stwierdzenia te bazują jedynie na projektach, nie są sprawdzane po wybudowaniu obiektów. W większości charakterystyk mostki termiczne nie były wcale wzięte pod uwagę albo zastosowano wartości z norm. W jednej z charakterystyk energetycznych budynku stwierdzono brak uwzględnienia mostków termicznych dużej ilości balkonów istniejących na obiekcie. Przy badaniu termowizyjnym uwidoczniała się ucieczka ciepła przez te elementy budowlane. Stąd tak ważne jest badanie i certyfikowanie już istniejących obiektów, a nie tylko poleganie na dokumentacji projektowej. Część zagadnień mniej doświadczony

projektant może pominąć lub nie wziąć pod uwagę. Na wartość zapotrzebowania na energię pierwotną wpływa zastosowane źródło ciepła oraz stosowanie odnawialnych źródeł energii [Dz.U. L 140 z 5.6.2009], takich jak: gruntowy wymiennik ciepła, ogniwa fotowoltaiczne, turbiny wiatrowe, czy panele solarne. Wystawianie certyfikatów tylko na podstawie deklarowanych w dokumentacji projektowej wartości, w opinii autorki, jest niewłaściwe. Dlatego też autorka skłania się do certyfikowania obiektów na podstawie rzeczywistych zużyć obiektu. Charakterystyki dołączane do projektów powinny zawierać obliczenia sporządzone w jednym, spójnym programie przez wykwalifikowane osoby. W badaniach Xinxin Liang, Yaodong Wang, Mohammad Royapoor, Qibai Wu, Tony Roskilly [Liang et al 2017] wykazują rzeczywistą różnicę w zużyciu energii dla istniejących obiektów konwencjonalnych i pasywnych. Nasuwa się wniosek, że dopiero po takich badaniach powinno się przeprowadzić certyfikację.

Otwieralne okna w obiektach

Podczas przeprowadzania badań stwierdzono, że w wielu obiektach pasywnych okna są otwarte, pomimo braku takiej konieczności i działającej wentylacji mechanicznej. Po rozmowach z użytkownikami zdefiniowano niektóre powody:

- zalecenia wietrzenia Sanepid dla obiektów przedszkolnych;
- nieprzyjemny zapach w pomieszczeniu (powodem był pot użytkowników w obiekcie rehabilitacyjnym oraz chemicznie pachnące dekoracje w przedszkolu);
- zalecenia epidemiologiczne związane z reżimem sanitarnym COVID-19 (nakaz wietrzenia w budynkach użyteczności publicznej);
- przegrzewanie obiektów podczas dni letnich;
- niedostateczna jakość powietrza spowodowana zbyt dużą ilością osób w pomieszczeniu do tego nieprzeznaczonym;
- zwykła niesubordynacja użytkowników biur – rotacja pracowników, którzy nie są zapoznani z technologią funkcjonowania obiektu. Otwierają oni okna w najcieplejszym momencie letniego dnia, przy pracującej rekuperacji – co sprawia, że najcieplejsze powietrze wnika do pomieszczenia, zamiast z niego zostać usunięte. Powoduje to również większe zużycie energii potrzebnej do wentylacji mechanicznej pomieszczenia. Wentylacja pracuje wtedy ze zdwojoną mocą usiłując schłodzić pomieszczenie, do którego cały czas dostarcza się cieplejsze powietrze z zewnątrz.

Narracja użytkowników

Użytkownicy wskazywali problemy związane z prawidłowym wyregulowaniem obiektu. W przedszkolu w Słominkach panie pracujące w części administracyjnej skarżyły się na niedostateczne ogrzanie pomieszczeń. Gdy zapoznano się z dokumentacją projektową stwierdzono, że pomieszczenia administracyjne mają ogrzewanie podłogowe, które nie było nigdy włączone. Osoby pełniące rolę konserwatorów w takich obiektach w większości nie są przeszkolone i nie umieją obsługiwać urządzeń. Podczas przeprowadzania badań autorka spotkała tylko jednego konserwatora, który wiedział, jak ustawiać obiekt i znał go od strony technicznej.

Niski parametr pomp ciepła sprawia, że użytkownicy muszą zmienić przyzwyczajenia. Chodzi tu o niewłaściwe ze względów technicznych wyłączanie ogrzewania podczas przerw świątecznych czy ferii, gdy obiekt jest nieużytkowany. Potem przywrócenie żądanej temperatury wymaga czasu. Użytkownicy skarżą się na to, że po powrocie przez kilka dni temperatura jest za niska i czują się w obiekcie niekomfortowo.

Dla budynku pasywnego najczęściej zakłada się bazową temperaturę, której regulacja jest podzielona na strefy wyznaczone podczas projektowania, zdarza się, że nie wszyscy użytkownicy odczuwają komfort cieplny. Niektórym pracownikom biurowym, czy gościom hotelowym trudno jest wytrzymać w temperaturze wewnętrznej 20° C, zwłaszcza podczas wykonywania prac siedzących. Niektórzy pracownicy i goście hotelowi dogrzewają się zimą przy pomocy farelek.

Na obiekcie basenowym, w przeciwieństwie do pozostałych funkcji, niezbędna jest wentylacja mechaniczna. Nie można zaprojektować hali basenowej bez wentylacji mechanicznej, chociażby dla potrzeb osuszania. W basenach jest podwyższona wilgotność, co wymusza lepszą szczelność obiektu, aby woda, po osiągnięciu punktu rosy, nie wykraplała się w konstrukcji ściany. Dlatego tak ważna jest szczelność budynku oraz dobranie odpowiedniej grubości ocieplenia.

5.1. Porównanie standardów badanych budynków

Dla porównania idealnych założeń poszczególnych standardów wyniki analizy zaprezentowane zostały w Tabeli 14.

Tabela 14. Porównanie założeń poszczególnych standardów – idealne założenia (opracowanie własne).

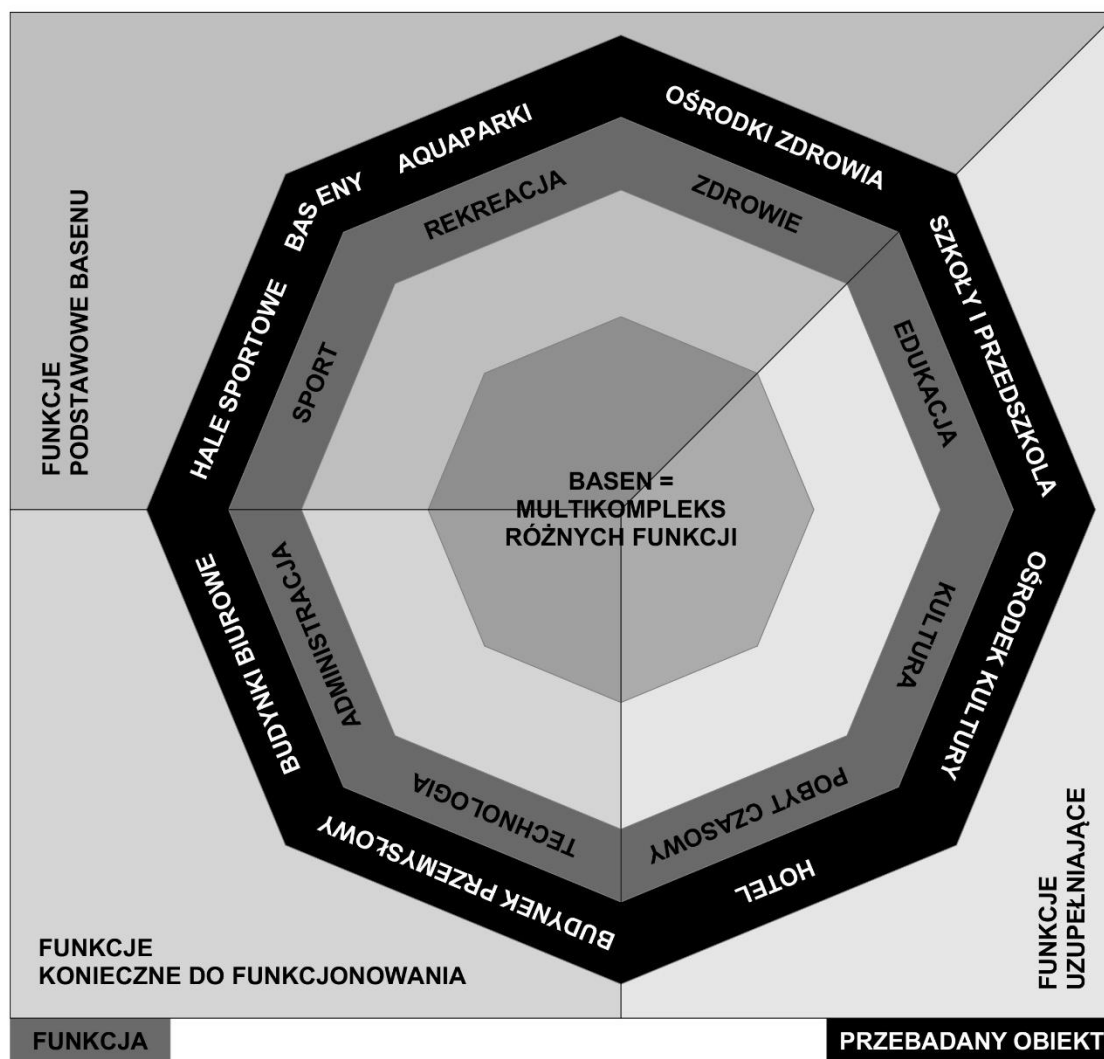
Standard	Konwencjonalny	Energooszczędny	Pasywny	be2226
Konwencjonalne ogrzewanie i chłodzenie	Obecne	Może występować	Eliminacja	Eliminacja
Sposób dostarczania powietrza i ogrzewanie obiektu	Powietrze dostarczane przez wentylację grawitacyjną. W przypadku budynków basenowych dostarczane przez wentylację mechaniczną. Ciepło dostarczane przez elementy grzejne bazujące na czynniku wysokotemperaturowym	Powietrze dostarczane przez wentylację grawitacyjną lub mechaniczną. Ciepło dostarczane przez elementy grzejne na czynniku wysoko lub niskotemperaturowym	Powietrze i czynnik grzewczy dostarczane przez wentylację mechaniczną	Powietrze dostarczane przez wywietrzniki sterowane czujnikami CO ₂ . Ciepło dostarczane jedynie w formie zysków od urządzeń, użytkowników oraz solarnych akumulowane w całym przekroju powłoki zewnętrznej i w stropach
Dobrze izolowana powłoka zewnętrzna	Wymagana przepisami prawnymi warstwa termoizolacji najczęściej styropianu lub wełny mineralnej	Grubsza od wymaganej przepisami prawnymi warstwa termoizolacji najczęściej styropianu lub wełny mineralnej	Grubsza od wymaganej przepisami prawnymi warstwa termoizolacji najczęściej styropianu lub wełny mineralnej	Wykonstruowana z dwóch warstw pustaków ceramicznych o bardzo dobrych parametrach izolacyjności termicznej, używana w celu akumulacji ciepła w całym przekroju ściany

Współczynnik przenikania ciepła ścian zewnętrznych U	Wymagany przepisami prawnymi (w zależności od roku wykonania obiektu od 1 stycznia 2014 $U \geq 0,25 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, od 1 stycznia 2017 $U \geq 0,23 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, od 31 grudnia 2020 $U \geq 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$)	Niższy niż wymagany przepisami prawnymi	Powinien być $\leq 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Pojawia się istotny problem z przegrzewaniem się obiektów w okresie letnim, ze względu na małą ilość elementów zdolnych do akumulowania ciepła. Materiały izolacyjne nie akumulują ciepła.	Dla badanego budynku prototypowego $0,161 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (obliczenia własne przy założeniu współczynnika przenikania ciepła dla otynkowanej ściany z pustaków ceramicznych $\lambda = 0,126 \text{ W/(mK)}$ zgodnie ze specyfikacją wybranego producenta)
Ciepło	Dostarczane przy użyciu kotłów i rozprowadzane po obiekcie za pomocą grzejników, ogrzewania płaszczyznowego. Obserwowane różne kombinacje	Dostarczane przy użyciu wysokosprawnych urządzeń grzewczych wykorzystujących odnawialne źródła energii (OZE); rozprowadzany po obiekcie za pomocą niskoparametrycznych urządzeń, takich jak ogrzewanie płaszczyznowe. Obserwowane różne kombinacje	Dostarczane wyłącznie poprzez wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła (rekuperacją) – nagrzewane powietrze wentylujące obiekt	Stała temperatura wewnętrzna (Pomimo zmian pogody począwszy od ekstremalnego zimna, do ekstremalnych upałów), zapewniona poprzez stropy i przegrody zewnętrzne wykonane z materiału akumulującego ciepło w całym przekroju.

5.2. Układ funkcjonalny badanych obiektów

Można projektować małe obiekty basenowe o jednej funkcji, ale będą one mniej atrakcyjne i rentowne. Z badań wynika, że każdy basen miał przynajmniej jedną funkcję dodatkową. Z tego też powodu zdecydowano się przebadać nie tylko obiekty basenowe, ale również wybrane budynki użyteczności publicznej, których dodatkowe funkcje działają synergicznie z funkcją podstawową.

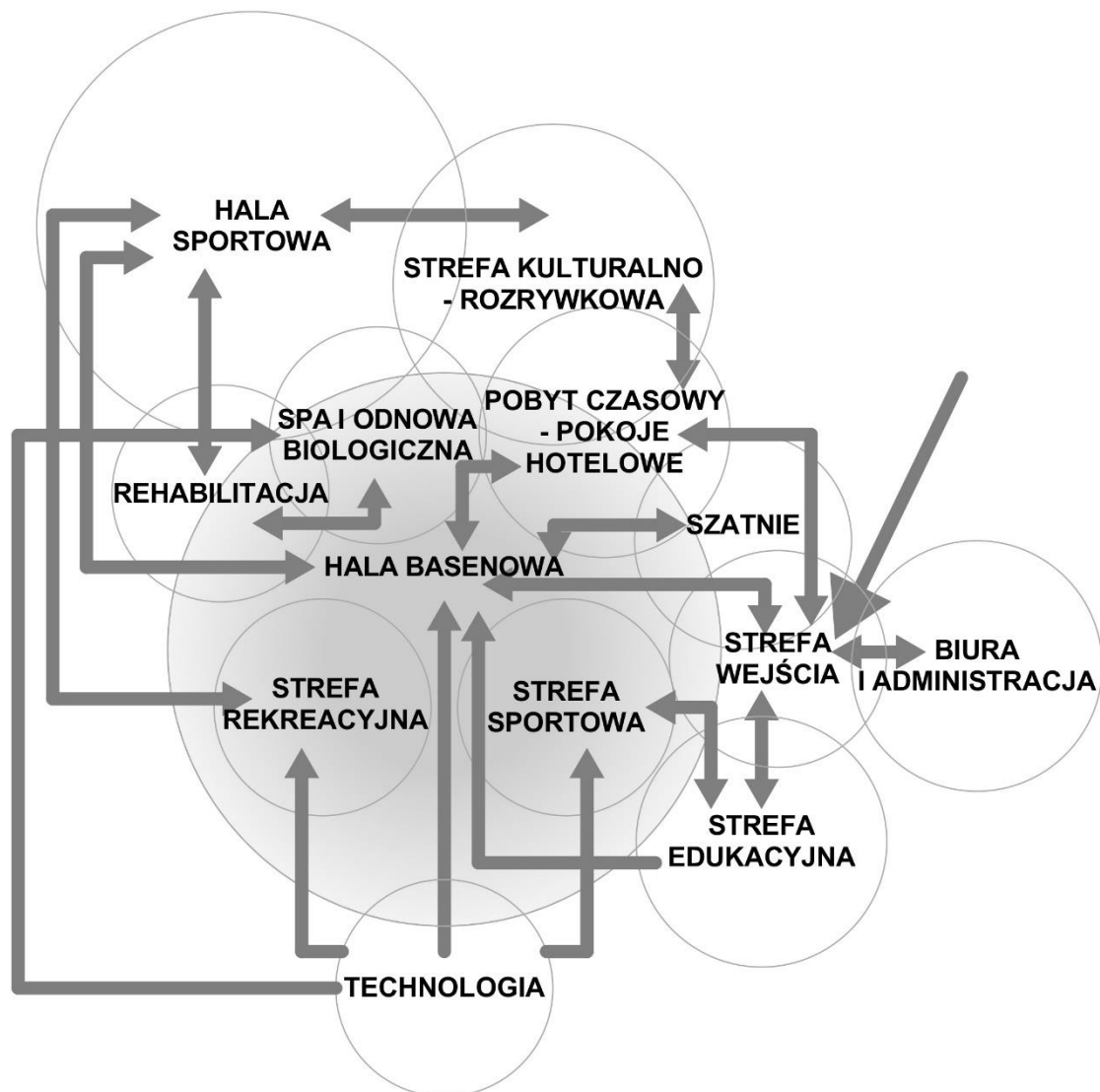
JAK DZIAŁA BASEN I Z CZEGO MOŻE SIĘ SKŁADAĆ



Rysunek 37. Schemat funkcji, z których może składać się obiekt basenowy (opracowanie własne).

Schematy przedstawione na Rysunkach 37 oraz 38 prezentują zakres możliwych powiązań funkcjonalnych oraz ich relacje. Bardzo ważne jest umiejętne rozmieszczenie funkcji w obiekcie zarówno pod względem funkcjonalnym, jak i energetycznym. Poniżej przedstawiono schemat preferowanego sąsiedztwa i przenikania wybranych funkcji.

PREFEROWANE SĄSIEDZTWO I PRZENIKANIE FUNKCJI

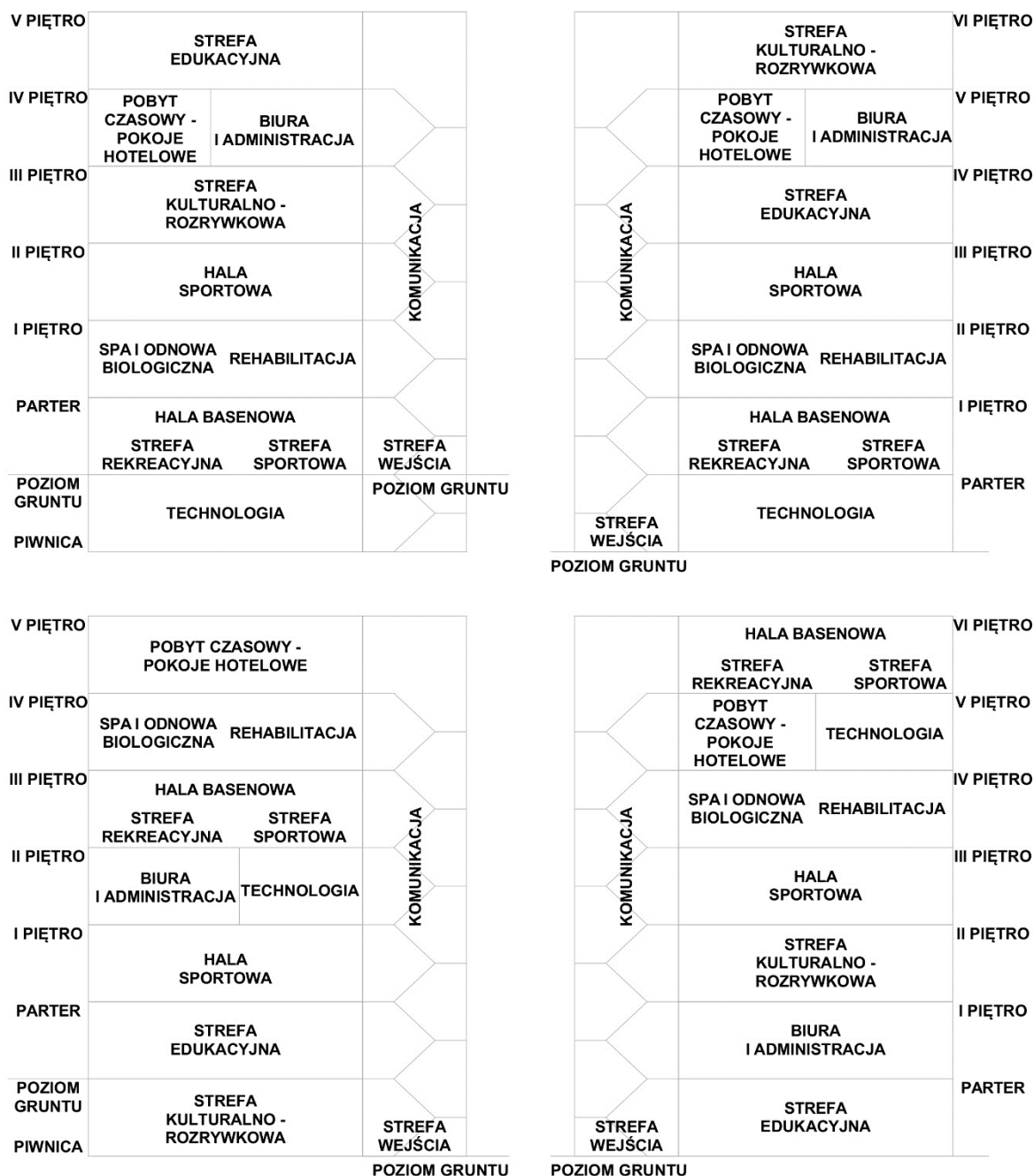


Rysunek 38. Schemat przenikania funkcji w obiekcie uwidaczniający ich preferowane sąsiedztwo (opracowanie własne).

Jeśli teren inwestycji jest wystarczająco duży, można projektować wielofunkcyjne obiekty na jednym poziomie. Jednakże działki budowlane są bardzo drogie, a terenów inwestycyjnych w miastach zaczyna brakować. Dlatego też projektuje się obiekty wielopiętrowe, umożliwiające zminimalizowanie nie tylko powierzchni zabudowy, a co za tym idzie kosztów działki budowlanej, lecz również uzyskanie korzyści energetycznych dzięki zlokalizowanym nad sobą piętrům. Zyski ciepła z parteru mogą ogrzewać piętro. Zabudowywanie setek hektarów powierzchni każdego roku może prowadzić do problemów ekologicznych, dlatego też każda działka budowlana musi być maksymalnie wykorzystana [Wöhl 2002]. Budynki zmniejszają przestrzeń wegetacyjną, co prowadzi do zmian klimatu lokalnego. Istotną rolę odgrywa tu nie tylko zieleń, ale również albedo dachów i powierzchni utwardzonych, a także ich uszczelnienie [Gerlic 2022]. Victor Olgyay

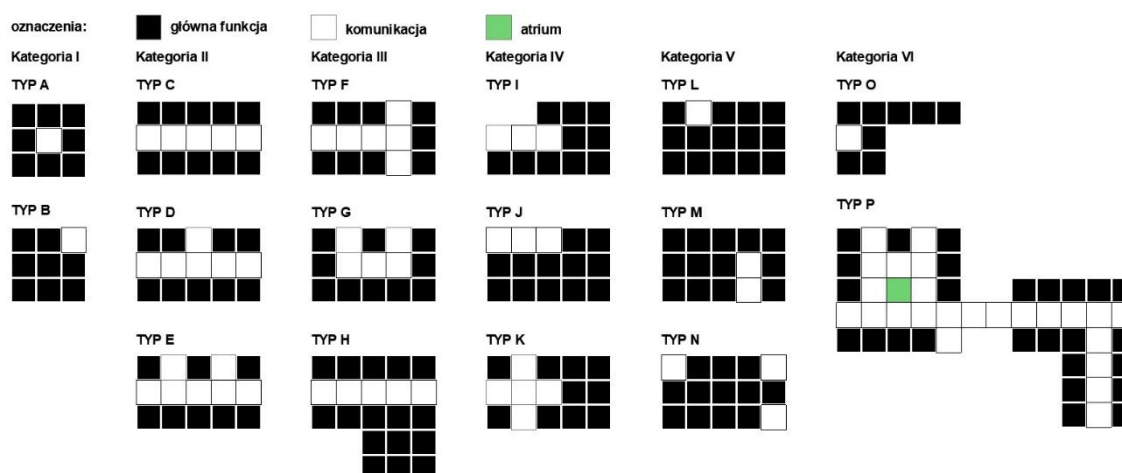
[Olgyay 1963] twierdzi, że ważnym aspektem architektury adaptacyjnej jest topografia miejsca, która powinna być brana pod uwagę podczas procesu projektowania.

Poniżej na Rysunku 39. zaprezentowano przykładowe schematy kilku możliwości piętrowego układu funkcji. z zaznaczeniem, że technologia wody basenowej nie musi znajdować się w podpiwniczeniu, przy zastosowaniu odpowiednich technicznych rozwiązań, może również w części znajdować się na tym samym poziomie, co niecka basenowa.



Rysunek 39. Przykładowe możliwości piętrowego układu funkcji w obiekcie z basenem (opracowanie własne).

Po przeprowadzeniu analiz badanych budynków zidentyfikowano szesnaście typów schematów funkcjonalnych budynków i sklasyfikowano je w sześciu kategoriach. Poniżej zaprezentowano typy w podziale na poszczególne kategorie (Rys. 40.).



Rysunek 40. Kategorie i typy układów funkcjonalnych przebadanych obiektów w podziale na poszczególne kategorie (opracowanie własne).

Do kategorii pierwszej zaliczono budynki o planie kwadratu lub zbliżone do tego kształtu. Podzielono je na dwa typy, planów z komunikacją w centrum rzutu obiektu - typ A, oraz budynki z komunikacją znajdującą się w jednym z narożników budynku, pozostawiając resztę jako otwartą przestrzeń. Oba warianty cechują się otwartym planem oraz możliwością zmiany funkcji obiektu.

Kategoria druga składa się z rzutów obiektów, których funkcja podstawowa została rozcięta komunikacją na dwie części. Wydłużony prostokąt budynku ma komunikację sięgającą od jednej elewacji do drugiej, umożliwiając doświetlenie komunikacji z dwóch stron. Utworzony w ten sposób układ korytarzowy podzielono na trzy typy – typ C, idealne założenie, typ D i E będące modyfikacją idealnego założenia – dodano dodatkowe przejścia, aby wszystkie pomieszczenia były dostępne z komunikacji.

Kategorię trzecią tworzą warianty kategorii drugiej – w typie F komunikacja nie przecina całego obiektu, kończy się prostokątnym korytarzem tworząc T- kształtny układ komunikacji budynku. Typ G to U-kształtny typ komunikacji. Typ H to połączenie klasycznego typu C – prostej funkcji podzielonej komunikacją z dołożeniem przestrzeni otwartej do układu.

Do kategorii czwartej przyporządkowano obiekty, które składają się z dwóch części – jednej dobrze skomunikowanej, a drugiej otwartej przestrzeni hali czy sali. Wyróżniamy tu typ I jako dwutraktowy z dołożoną przestrzenią otwartą. Typ J, gdzie komunikacja została wyrzucona na krawędź jednej z elewacji i dołączono do niej

przestrzeń otwartą. Typ K ukazuje komunikację w formie krzyża w jednej części obiektu, przy czym drugą część stanowi przestrzeń otwarta.

Kategoria piąta składa się z obiektów w kształcie wydłużonego prostokąta, gdzie komunikacja zlokalizowana została punktowo w funkcji otwartej. Taki układ tworzą obiekty basenowe, gdzie zaznaczono główne wejścia i komunikację pionową pomiędzy poziomami. Funkcja podstawowa to otwarta hala wraz z funkcjami przynależnymi, gdzie użytkownicy poruszają się pomiędzy atrakcjami i nieckami. Te przejścia nie są kwalifikowane jako komunikacja, przynależą do funkcji głównej obiektu np. plaża basenowa. Typy L, M, N to różne kombinacje układu komunikacji punktowej.

Kategorię szóstą stanowią typy O oraz P. Są to połączenia dwóch funkcji znajdujących się w złączonych skrzydłach budynków. Występują tu różne, zespolone typy układów funkcjonalnych. Typ P zawiera w sobie układ funkcjonalny obiektu atrialnego połączony z układem korytarzowym ukształtowanym w literę L.

Rysunek 41 prezentuje przyporządkowanie funkcji do danej kategorii i typu budynku. Hale basenowe przybierają następujące układy w kolejności od najliczniejszych, kategoria V trzy obiekty, każdy z innego typu L, M, N; kategoria IV typ J - 2 obiekty; następnie kategoria I, II i III po jednym obiekcie typu B, C i H. Najwięcej basenów pasywnych znajduje się w kategorii V. Każdy basen pasywny prezentuje inny typ B, L i N.

Można zauważyć, że pasywne budynki: hal sportowych najczęściej przyjmują układ funkcjonalny typu K kategorii IV (5 obiektów); budynki biurowe układ typu D kategorii II, przedszkola najczęściej przyjmują układ typu C kategorii II.

Najwięcej obiektów przyporządkowano do kategorii II (12 obiektów), typ C prezentuje osiem obiektów w tym pięć budynków pasywnych należących do przedszkoli, szkół i hoteli. Układy korytarzowe prezentują funkcje o dużej ilości małych pomieszczeń zamykanych, do których potrzebna jest komunikacja w formie korytarza. Analogicznymi do hal basenowych są układy hal sportowych, które najczęściej, bo aż w pięciu na sześć przypadkach, charakteryzują się typem K kategorii IV.

		Hale basenowe	Hale sportowe	Budynki biurowe	Przedszkola	Szkoły	Ośrodki zdrowia	Hotele	Ośrodki kultury	Hale przemysłowe		
												
Kategoria I	TYP A			1xB							1xB	1xP
	TYP B	1xP									1xP	1xB
Kategoria II	TYP C	1xK			2xE 3xP	1xP		1xP			1xK 2xE 5xP	2xE
	TYP D			2xP					1xP		3xP	1xK
	TYP E			1xP							1xP	9xP
Kategoria III	TYP F						1xP				1xP	1xK
	TYP G						1xP				1xP	2xP
	TYP H	1xK									1xK	
Kategoria IV	TYP I		1xP								1xP	1xE
	TYP J	2xK									2xK	2xK
	TYP K		5xP			1xE					5xP 1xE	6xP
Kategoria V	TYP L	1xP									1xP	1xK
	TYP M	1xK									1xK	2xP
	TYP N	1xP									1xP	
Kategoria VI	TYP O									1xP	1xP	2xP
	TYP P						1xP				1xP	
		3xP 5xK	6xP	1xB 3xP	2xE 3xP	1xP 1xE	3xP	1xP	1xP	1xP		

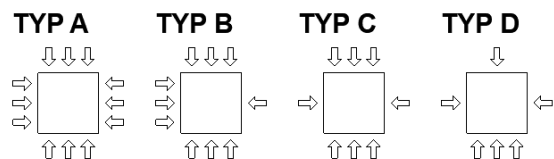
E - BUDYNEK ENERGOOSZCZĘDNY
 K - BUDYNEK KONWENCJONALNY
 P - BUDYNEK PASYWNY
 B - BUDYNEK be2226

Rysunek 41. Przyporządkowanie funkcji do danej kategorii i typu budynku (opracowanie własne).

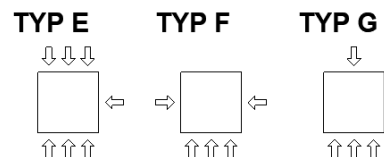
5.3. Doświetlenie światłem naturalnym

Przebadane budynki przyporządkowano do dwóch kategorii doświetlenia światłem dziennym (Rys. 42.). Pierwsza kategoria to obiekty, których wnętrza doświetlone jest z czterech stron świata – okna znajdują się na każdej elewacji, kategoria druga to obiekty doświetlenie z trzech oraz dwóch stron świata. Dwadzieścia trzy budynki zakwalifikowano do kategorii I, a osiem do kategorii II.

Kategoria I



Kategoria II



Rysunek 42. Kategorie i typy doświetlenia światłem dziennym badanych budynków (opracowanie własne).

		Hale basenowe	Hale sportowe	Budynki biurowe	Przedszkola	Szkoły	Ośrodki zdrowia	Hotele	Ośrodki kultury	Hale przemysłowe		
Kategoria I				1xB			1xP	1xP			2xP	1xB
										1xP	1xP	3xE
		1xK	3xP			1xP					1xK	16xP
		1xP									5xP	1xB
Kategoria II		2xK		2xP	2xE	1xE	2xP				3xE	2xK
		2xP			2xP						2xK	8xP
Kategoria II		1xK	1xP						1xP		1xK	2xP
		1xK	1xP	1xP	1xP						1xK	3xP
			1xP								1xP	
		5xK 3xP	6xP	3xP 1xB	2xE 3xP	1xE 1xP	3xP	1xP	1xP	1xP		

E - BUDYNEK ENERGOOSZCZĘDNY
K - BUDYNEK KONWENCJONALNY
P - BUDYNEK PASYWNY
B - BUDYNEK be2226

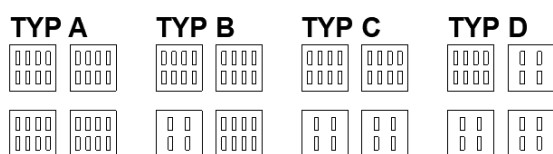
Rysunek 43. Przyporządkowanie badanych budynków pod kątem doświetlenia światłem dziennym do danej kategorii i typu (opracowanie własne).

Na Rysunku 44. przyporządkowano badane budynki pod kątem doświetlenia światłem dziennym do danej kategorii i typu. Najwięcej budynków, bo aż trzynaście ma doświetlenie z czterech stron świata i jest typu D, gdzie jedna z fasad jest najbardziej przeszklona, natomiast pozostałe trzy mają jedynie doświetlenie światłem naturalnym w zakresie koniecznym, wynikającym z przepisów prawa budowlanego. Większość, bo aż osiem z tych budynków to obiekty pasywne. Osiemnaście budynków na trzydzieści dwa w przeważającej mierze jest doświetlona z jednej strony świata, przeważnie południowej, są to typy D, F, G. Tylko trzy obiekty, dwa pasywne i jeden be2226, mają równomierną perforację wszystkich elewacji umożliwiającą doświetlenie wnętrza światłem naturalnym ze wszystkich stron świata - typ A. Baseny zakwalifikowano zarówno do pierwszej jak i drugiej kategorii. W pierwszej kategorii jeden basen konwencjonalny i jeden pasywny mają przeważające doświetlenie światłem naturalnym z dwóch przeciwległych stron świata, pozostałe dwie elewacje doświetlone są w zakresie minimalnym, typ C. Z kolei dwa baseny konwencjonalne i dwa baseny pasywne charakteryzują się jedną wydłużoną fasadą z dużym doświetleniem światłem naturalnym, oraz pozostałymi trzema fasadami doświetlonymi w sposób konieczny, typ D. W drugiej kategorii znajdują się dwa obiekty konwencjonalne jeden typu E, drugi typu F.

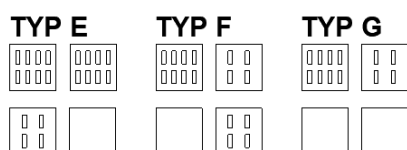
Hale sportowe mają doświetlenie światłem słonecznym głównie z jednej lub dwóch przeciwległych, wydłużonych elewacji. Trzy hale zaliczono do typu C, a trzy należą do kategorii II każda inny typ F, G, H. W 67% budynków hal szatnie mają doświetlenie światłem naturalnym poprzez otwieralne okna.

5.4. Elewacje obiektów

Kategoria I



Kategoria II



Rysunek 44. Kategorie i typy przeszkleń fasad badanych budynków (opracowanie własne).

Badane obiekty przyporządkowano do dwóch kategorii (Rys. 44.). Kategoria I podzielona została na cztery typy o przeszkleniach na wszystkich fasadach, różniące się ilością przeszkleń na poszczególnych elewacjach. Kategoria II podzielona została na trzy typy, o przynajmniej jednej elewacji pozbawionej otworów okiennych z których jeden ma aż dwie niedoświetlone fasady.

Typ A stanowią elewacje, które niezależnie od proporcji, na każdej z nich mają jednakowo, rytmicznie rozmieszczone okna. Typ B ma dwa rodzaje fasad, z czego trzy elewacje o dużej ilości przeszkleń oraz jedną o zmniejszonej, wynikającej z przepisów prawa budowlanego w zakresie wielkości powierzchni okien. Typ C ma dwa rodzaje fasad, przeważnie dwie wydłużone elewacje, o dużej ilości przeszkleń

oraz dwie o mniejszej ilości. Typ D ma dwa rodzaje fasad, w tym jedna elewacja wydłużona z dużą ilością przeszkleń, pozostałe elewacje mają jedynie wymagane, konieczne przeszklania. Typ E ma trzy rodzaje fasad, dwie wydłużone elewacje z dużą ilością przeszkleń, jedna z konieczną ilością, wynikającą z przepisów prawa oraz jedna bez przeszkleń. Typ F ma trzy rodzaje fasad, jedna wydłużona elewacja z przeważającą ilością przeszkleń, dwie z minimalną ilością przeszkleń oraz jedna bez przeszkleń. Typ G ma również trzy rodzaje fasad, z czego jedna wydłużona elewacja z przeważającą ilością przeszkleń, druga z minimalną ilością, a trzecia pozbawiona perforacji. Rysunek 45. podaje przyporządkowanie badanych budynków pod kątem perforacji fasad do danej kategorii i typu.

		Hale basenowe	Hale sportowe	Budynki biurowe	Przedszkola	Szkoły	Ośrodki zdrowia	Hotele	Ośrodki kultury	Hale przemysłowe		
												
Kategoria I				1xB			1xP	1xP			2xP	3xE 3xK 16xP 1xB
										1xP	1xP	
		1xK 1xP	3xP			1xP					1xK 5xP	
		2xK 2xP		2xP	2xE 2xP	1xE	2xP				3xE 2xK 8xP	
Kategoria II		1xK	1xP						1xP		1xK 2xP	2xK 6xP
		1xK	1xP	1xP	1xP						1xK 3xP	
			1xP								1xP	
		5xK 3xP	6xP	3xP 1xB	2xE 3xP	1xE 1xP	3xP	1xP	1xP	1xP		

E - BUDYNEK ENERGOOSZCZĘDNY
K - BUDYNEK KONWENCJONALNY
P - BUDYNEK PASYWNY
B - BUDYNEK be2226

Rysunek 45. Przyporządkowanie badanych budynków pod kątem perforacji fasad do danej kategorii i typu (opracowanie własne).

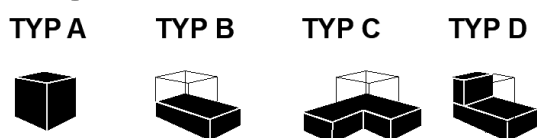
Najwięcej, bo aż 36% budynków pasywnych zakwalifikowano do kategorii i typu D, następne 23% stanowi typ C. Widać tu, że mamy do czynienia z obiektami z jedną lub dwoma wydłużonymi elewacjami o przeważającej ilości przeszkleń, oraz pozostałymi fasadami o minimalnej perforacji, wynikającej z przepisów prawa. Wszystkie baseny pasywne znajdują się w kategorii I, z czego dwa należą do typu D. Baseny konwencjonalne znajdują się w obu kategoriach.

W badanych obiektach, przeszklenia, zwłaszcza od południa czy zachodu miały żaluzje zewnętrzne lub okapy dachowe zacieniające obiekt w porze letniej. W pomieszczeniach edukacyjnych, używa się obecnie projektorów, dla których konieczne jest zaciemnienie (pojawiają się one zarówno w szkołach, jak i przedszkolach). Powoduje to komplikacje zwłaszcza w obiektach pasywnych. W zimie w obiektach pasywnych pożądane są zyski ciepła od słońca, zaciemnienie wynikające z użytkowania obiektu (np. obsługi rzutników) degraduje założony efekt. Zaciągnięte żaluzje sal przedszkolnych mogą być powodem niedogrzenia pomieszczeń w okresie zimowym. Należy więc tak projektować przestrzeń sal lekcyjnych, aby umożliwić ich funkcjonowanie przy użyciu nowoczesnych technologii. W nielicznych obiektach stosowano naturalne zacienienie, do którego należą rośliny liściaste – zacieniające obiekt latem, a zimą, po opadnięciu liści umożliwiają dostęp słońca i tym samym pozyskanie energii cieplnej.

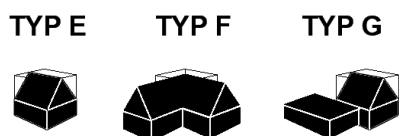
Podczas przeprowadzania badań zaobserwowano częsty zabieg wizualnego podziału elewacji budynków kolorem, nie wynikającym z funkcji czy formy. Ten sztuczny zabieg umożliwiał budynkom wizualne osiągnięcie lepszych proporcji, skracał lub wydłużał, dodawał rytm, lub dzielił budynek. Jednakże kreowanie elewacji jedynie kolorem jest w ocenie autorki niepełne, ale najmniej kosztochłonne. Stosując różne materiały czy faktury na elewacji, można osiągnąć zamierzony efekt, co jest bardziej szczerze. Można również projektować samą bryłę budynku w taki sposób, aby elewacje były atrakcyjne, proporcjonalne i wynikały z jego funkcji i formy.

5.5. Proporcje obiektów

Kategoria I



Kategoria II



Rysunek 46. Kategorie i typy brył badanych budynków (opracowanie własne).

Badane obiekty podzielono na dwie kategorie – z płaskimi i spadzistymi dachami (Rys. 46.). W kategorii I zgrupowano budynki od sześciennych, przez wydłużone prostopadłościany do kombinacji tych brył, natomiast kategoria II składa się z obiektów przekrytych dachami spadzistymi od prostej bryły nakrytej dwuspadowym dachem, przez obiekty o bardziej skomplikowanym rzucie nakryte wielospadowym dachem, do połączenia bryły z dachem płaskim i spadzistym.

Budynek be2226 to perfekcyjny sześcian o boku długości 24 m. Im budynek bardziej zbliżony do idealnej kuli czy sześcianu, tym mniej zużywa energii na ogrzewanie. Zwartość obiektu pełni tu kluczową rolę. Nie bez znaczenia jest również wielkość i wypełnienie kubatury powierzchnią użytkową. Rozczłonkowanie obiektu i jego rozrzeźbienie obniża efektywność energetyczną budynku.

		Hale basenowe	Hale sportowe	Budynki biurowe	Przedszkola	Szkoły	Ośrodki zdrowia	Hotele	Ośrodki kultury	Hale przemysłowe		
												
Kategoria I		1xP		1xB							1xP 1xB	2xE 5xK 14xP 1xB
		4xK 1xP	4xP		1xE 2xP	1xP	1xP				1xE 4xK 9xP	
		1xK	1xP			1xE	1xP			1xP	1xE 1xK 3xP	
		1xP									1xP	
Kategoria II			1xP	2xP	1xE 1xP		1xP				1xE 5xP	1xE 8xP
				1xP				1xP			2xP	
									1xP		1xP	
		5xK 3xP	6xP	3xP 1xB	2xE 3xP	1xE 1xP	3xP	1xP	1xP	1xP		

E - BUDYNEK ENERGOOSZCZĘDNY
K - BUDYNEK KONWENCJONALNY
P - BUDYNEK PASYWNY
B - BUDYNEK be2226

Rysunek 47. Przyporządkowanie badanych budynków pod kątem brył budynków do danej kategorii i typu (opracowanie własne).

Rysunek 47. prezentuje przyporządkowanie badanych budynków pod kątem brył budynków do danej kategorii i typu. Budynki pasywne przyjmują zróżnicowane kształty i mają różne proporcje. Najwięcej, bo aż 41% budynków zakwalifikowano do kategorii i typu B – wydłużony prostopadłościan. Kolejną kategorią w ilości 23% stanowią obiekty prostopadłościenne przekryte spadzistym dachem - kategoria II typ E. Niektóre obiekty mają kształt wynikły z konieczności umieszczenia obiektu w zwartej zabudowie, inne miały niezainwestowaną, dużą działkę, na której można było dowolnie kształtować bryłę. Wszystkie hale basenowe zakwalifikowano do pierwszej kategorii. Każdy basen pasywny zakwalifikowany jest do innego typu. 80% basenów konwencjonalnych należy do kategorii I typ B – prosty wydłużony prostopadłościan. Podobnie hale sportowe, aż 67% z nich stanowi kategoria I typ B. Obiekty basenowe i hale sportowe mają dobre proporcje wysokości do długości i szerokości budynku. Problemy pojawiały się przy obiektach przedszkolnych. Część z nich miała słabe proporcje – z dwiema długimi, niskimi elewacjami. Jedno z przedszkoli miało skomplikowany kształt, schodkowo zaprojektowanych, jakby przesuniętych względem siebie szeregowych domków. Zabieg ten sprawił, że obiekt

ma przyjazną skalę i nawiązuje swoją architekturą do sąsiadującej zabudowy jednorodzinnej, mimo tego spełnia kryteria budynku pasywnego. Obiekt biurowy znajdujący się w Miękinii jest obiektem, który został zrewitalizowany i przebudowany w celu dostosowania go do nowej funkcji i standardu budynku pasywnego. Ma on część obiektu, w którą nie można było ingerować – nawet wymagane było zastosowanie ocieplenia od wewnątrz, aby nie przykryć kamienia, z którego wykonana jest elewacja. Pomimo to, budynek ma dobre proporcje. Najgorsze proporcje i kształt, ma budynek biurowy znajdujący się w Aleksandrowie Łódzkim. To przysadzisty prostopadłościan przekryty dwuspadowym dachem o niewielkim nachyleniu, co sprawia, że bryła wygląda nieproporcjonalnie. Dodatkowo, przypadkowo rozmieszczone okna, sprawiają wrażenie niespójnie zaprojektowanej elewacji, jakby projektowano jedynie układ funkcji na rzucie. Obiekt nie nawiązuje do kontekstu, sprawia wrażenie obcej przypadkowej formy.

5.6. Niespójności badanych budynków z określonym standardem pasywności

Oba standardy, budynku pasywnego Darmstadt oraz be2226 bazują na eliminacji konwencjonalnego ogrzewania oraz chłodzenia. Aż 68% przebadanych budynków pasywnych (piętnaście z dwudziestu) ma ogrzewanie podłogowe, lub konwencjonalne grzejniki. Samo powietrze nie jest czasem w stanie ogrzać wszystkich pomieszczeń do żądanej temperatury. Jest to po części związane z klimatem, w którym zlokalizowane są badane obiekty, jak i decyzją projektantów, aby spełnić wygórowane wymogi prawne. Aby osiągnąć niskie zapotrzebowanie na energię pierwotną potrzebną do ogrzewania i chłodzenia często stosuje się źródła odnawialne [Hayter et al 2011]. Energia pierwotna liczona jest jako iloczyn energii końcowej (określającej efektywność energetyczną rozwiązań instalacyjnych) oraz współczynnika przyjętego dla źródła ciepła (elektryczność, gaz, źródła odnawialne). Powyższe zabiegi są zabiegami stosującymi rozwiązania instalacyjno-technologiczne. Pasywne rozwiązania architektoniczne i konstrukcyjne bez użycia skomplikowanych technologii, obniżają rzeczywiste zapotrzebowanie na energię użytkową potrzebną do ogrzewania obiektu.

Budynki pasywne, które mają wysokie wewnętrzne zyski ciepła, wykazują bardzo niską wartość zapotrzebowania na energię użytkową potrzebną do ogrzewania, ale wymagają systemu chłodzenia. Dobrze zaizolowane przegrody zewnętrzne budynku są jedną z przyczyn przegrzewania się pomieszczeń. Nadmiernie pozyskane ciepło nie ma gdzie być magazynowane. Naukowcy zwracają uwagę na problem przegrzewania się budynków pasywnych w okresie letnim [Kisilewicz et al 2015], [Mlakar et al. 2011].

Przebadany budynek be2226 to obiekt modelowy, który zawiera w sobie wszystkie wymagania stawiane obiektom be2226. Niezgodności nie występują.

5.7. Porównanie architektoniczne obiektów o wybranych standardach pasywności - aspekty fizyczne.

5.7.1. Komfort użytkowania (Tabela 15.)

Tabela 15. Architektoniczne porównanie – aspekty fizyczne – komfort użytkownika (opracowanie własne).

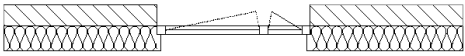
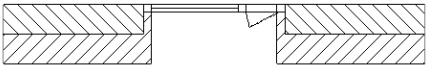
Budynki pasywne	Budynek be2226
Wysokość pomieszczeń	
Wysokość pomieszczeń w świetle zależy od funkcji, mieści się pomiędzy 2,5 m do powyżej 7,5 m w halach sportowych. Wentylacja mechaniczna jest dostosowana do ilości użytkowników przebywających w danym pomieszczeniu. Ilość użytkowników jest określana podczas sporządzania projektu budowlano-wykonawczego.	Parter jest nieznacznie wyższy od pozostałych pomieszczeń, które mają równą wysokość na poziomie 3,3 m. Dwutlenek węgla, tak jak ciepłe powietrze ma tendencję do gromadzenia się przy suficie [Massman 1998].
Zanieczyszczenie dźwiękiem i zanieczyszczenie powietrza	
W budynkach pasywnych zanieczyszczenie dźwiękiem od zewnątrz nie jest problemem, ponieważ okna są szczelne powietrznie oraz akustycznie i nie ma konieczności ich otwierania. Wentylacja mechaniczna wyposażona jest w tłumiki akustyczne, natomiast dźwięk przepływającego powietrza może być zauważalny. Jakość powietrza jest dobra, dzięki zastosowaniu filtrów. Częstotliwość ich wymiany jest istotna. W budynkach zlokalizowanych w Małopolsce obsługa zgłaszała konieczność częstszej wymiany filtrów ze względu na zanieczyszczenia powietrza zewnętrznego.	Podczas, gdy klapy wentylacyjne są otwarte, zanieczyszczenia hałasem i powietrza z zewnątrz wnikają do środka budynku. W niektórych przypadkach w zależności od środowiska zewnętrznego mogą mieć negatywny wpływ na użytkowników. W pomieszczeniach o większej objętości nie ma konieczności tak częstego przewietrzania, jak niższych pomieszczeń, o mniejszej objętości powietrza. Ilość czystego powietrza zależy od objętości pomieszczenia i ilości osób w nim przebywających, jest regulowana poprzez czujniki dwutlenku węgla. Wysokie, otwarte pomieszczenia, o twardym wykończeniu sprzyjają odbijaniu się dźwięku, potęgując go.

Przeciągi	
Komfort termiczny w budynkach pasywnych jest osiągnięty poprzez jednakową temperaturę na powierzchni ścian i okien. W budynkach nie ma przeciągów, a różnica temperatur nie może przekraczać 4°, czyli jest nie odczuwalna dla człowieka.	Podczas wentylacji mogą pojawić się przeciągi. Chłodne, zimowe powietrze penetrujące pomieszczenie może być nieprzyjemne dla użytkowników znajdujących się przy otwartych klapach wentylacyjnych. Różnica temperatur podczas wietrzenia pomieszczeń może być znacznie wyższa niż 4°, taka różnica jest odczuwana przez człowieka.

5.7.2. Temperatura (Tabela 16.)

Tabela 16. Porównanie architektoniczne – aspekty fizyczne – komfort użytkowników – temperatura (opracowanie własne).

Budynki pasywne	Budynek be2226
Struktura okien	
W badanych budynkach podwójnie i potrójnie szklone okna mają współczynnik U na poziomie pomiędzy 0.6 a 1.3 W/(m ² K). Podwyższony współczynnik U spowodowany jest zastosowaniem stolarki przeciwpożarowej. Wszystkie zbadane obiekty mają otwieralne okna.	Potrójnie szklone okna o współczynniku U równym 0.5 W/(m ² K) to okna stałe, nieotwieralne. Przy każdym oknie znajdują się niezależnie otwieralne klapy wentylacyjne. Stolarka przeciwpożarowa nie jest stosowana – brak bliskiego sąsiedztwa innych budynków.
Konstrukcja ścian	
Ściany zewnętrzne wykonane są z żelbetu, konstrukcji murowych, drewnianych lub mieszanych. Wszystkie przebadane budynki mają izolację termiczną wykonaną ze styropianu, styroduru, piru, wełny mineralnej, szkła piankowego itp. Grubość ścian zawiera się pomiędzy 48 a 65 cm.	Ściany składają się z dwóch warstw wysoko izolacyjnych bloczków ceramicznych, zapewnia to przesunięcie spoiny poziomej w pionie, dzięki temu nie tworzy się dodatni mostek termiczny. Grubość ściany wynosi 76 cm.

Umiejscowienie okien w ścianie	
Okna montowane są w warstwie izolacyjnej blisko zewnętrznej krawędzi ścian. Izolacja jest nałożona na ramę okienną od zewnątrz. Stolarka okienna p. poz. montowana jest w konstrukcji ściany, aby miała właściwości p. poz. WNĘTRZE  ZEWNĘTRZE Rysunek 48. Montaż okna w ociepleniu w budynkach pasywnych (opracowanie własne).	Okna i klapy wentylacyjne są montowane w wewnętrznej części ściany. Dzięki temu elewacje są bardziej plastyczne. Nałożenie izolacyjnego kamienia na ramę okienną sprawia, że okna zdają się składać jedynie ze szkła, jakby wyłaniały się z otworów ścian. WNĘTRZE  ZEWNĘTRZE Rysunek 49. Montaż okna w ścianie budynku be2226 (opracowanie własne).
Temperatura wewnętrzna	
Projektowana temperatura wewnętrzna $\geq 20^{\circ}\text{C}$. Podczas badań stwierdzono, że goście hotelowi oraz pracownicy biurowi zgłaszają zimą dyskomfort termiczny. Przy pracy siedzącej, dla niektórych osób temperatura ta jest niewystarczająca. Użytkownicy dogrzewają się farelkami. Temperatura, wilgotność i jakość powietrza, zależą od wentylacji mechanicznej, zaprojektowanej dla określonej podczas prac projektowych ilości osób w danym pomieszczeniu. Przy większej niż projektowana ilości użytkowników wentylacja mechaniczna nie dostarcza odpowiedniej ilości powietrza (jest również za ciepło), a przy za małej ilości użytkowników jest za zimno. Przykładem jest tutaj pomieszczenie dyrektor przedszkola, w którym sporadycznie odbywają się zebrania rodziców.	Komfort termiczny osiągnięty jest poprzez stałą temperaturę ścian utrzymującą się na poziomie pomiędzy 22 a 26°C, przy wilgotności powietrza nie niższej niż 40%. Parametry te osiągnięto poprzez zastosowanie termoizolacyjnych bloczków ceramicznych w całym przekroju ściany, które umożliwiają akumulację ciepła i wilgoci [Hugentobler 2016]. Ze względu na sytuację epidemiologiczną COVID-19 przeprowadzenie badania narracji użytkowników było niemożliwe.

5.7.3. Światło naturalne (Tabela 17.)

Tabela 17. Architektoniczne porównanie – aspekty fizyczne – komfort użytkowania – światło naturalne (opracowanie własne).

Budynki pasywne	Budynek be2226
Perforacja elewacji	
Układ ścian zewnętrznych budynków różni się w zależności od funkcji. W 59% budynków pasywnych większość perforacji zlokalizowano na elewacji południowej. Odchylenie budynku od kierunku północnego zawiera się pomiędzy 1 a 48°. W budynkach szkolnych i opieki zdrowia elewacje północne mają przeszklenia rozmieszczone w równomiernych rzędach i kolumnach tworzących rytm.	Wszystkie elewacje perforowane są jednakowo, bez względu na ich orientację względem stron świata. Wąskie, o tej samej wysokości co okna, pionowe klapy wentylacyjne umieszczone są przy każdym oknie. Jest to najlepsze rozwiązanie dla różnicy ciśnień, ułatwia sprawne i szybkie wentylowanie pomieszczeń.
Dystrybucja światła dziennego [Leskovar et al 2011]	
Dystrybucja światła naturalnego w budynku zależy od lokalizacji i orientacji elewacji, przy której znajduje się pomieszczenie. W pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi, zgodnie z przepisami warunków technicznych stosunek powierzchni przeszkleń do powierzchni podłogi powinien wynosić minimum 1:8. Procentowe ilości przeszklenia na poszczególnych elewacjach w przebadanych budynkach pasywnych wynoszą: - 0-28% na elewacjach północnych; - 0-31% na elewacjach wschodnich; - 0-42% na elewacjach zachodnich; - 5-44% na elewacjach południowych.	Równomierna dystrybucja światła naturalnego w całym budynku. Każda fasada ma przeszklenie na poziomie 16%. Duże przeszklenia sprzyjają zyskom ciepła od słońca oraz dobrze doświetlają pomieszczenia, co przekłada się na oszczędności podczas użytkowania obiektu – zmniejszenie użycia światła sztucznego. Ilość przeszkleń w stosunku do ścian pełnych została skalkulowana dla optymalnych warunków panujących w biurach. Należy podkreślić, że obiekty biurowe charakteryzują się dużymi zyskami ciepła od urządzeń elektrycznych takich jak komputery, drukarki, itp.

Lokalizacja	
Budynki pasywne zlokalizowane są w różnych miejscach – na przedmieściach lub w centrach miast, na działkach zupełnie pustych jak i częściowo zainwestowanych. Niektóre z nich to rozbudowa istniejących kompleksów, co determinuje ich lokalizację. Przebadane budynki pasywne nawiązują do istniejącego zagospodarowania i wpisują się w zastaną tkankę.	Budynek be2226 zlokalizowany jest w strefie komercyjnej otoczony nowoczesną zabudową ze szkła i metalu. Budynek be2226 różni się w stosunku do sąsiednich kształtem, użytymi materiałami i perforacją elewacji. To biały sześcian z rytmicznymi, identycznymi oknami umieszczonymi w równych kolumnach i rzędach. Budynek ten wybija się z otoczenia, stoi w kontrze do otaczającej go zabudowy.

5.8. Porównanie architektoniczne – aspekty estetyczne

5.8.1. Kształt (Tabela 18.)

Tabela 18. Porównanie architektoniczne – aspekty estetyczne - kształt (opracowanie własne).

Budynki pasywne	Budynek be2226
Kształt i przeszklenie elewacji	
Kształt elewacji różni się w zależności od lokalizacji, funkcji obiektów oraz orientacji elewacji względem północy. Elewacje o ekspozycji południowej mają najwięcej przeszkleń i są przeważnie największe powierzchniowo. Pozostałe elewacje mają zróżnicowaną ilość przeszkleń.	Wszystkie cztery elewacje mają dokładnie takie same wymiary, kształt, ilość i rozmieszczenie przeszkleń.
Rzuty budynków	
Rzuty budynków różnią się w zależności od funkcji obiektu. Pomieszczenia podstawowe zajmują większą powierzchnię i zlokalizowane są od południa, zachodu lub wschodu. Pomieszczenia pomocnicze lokalizowane są przeważnie od północy.	Otwarty plan na wszystkich kondygnacjach utworzony dzięki centralnie usytuowanemu trzonowi komunikacyjnemu w którym znajdują się również pomieszczenia pomocnicze.

Dachy	
Kształt dachów różni się. Począwszy od dachów płaskich do wielospadowych. Żaden z przebadanych budynków nie miał dachu żwirowego ani zielonego. Na niektórych dachach lokalizowane były panele fotowoltaiczne lub solarne. Na dachu jednego basenu pasywnego zlokalizowany był basen zewnętrzny.	Ponad izolowanym dachem o układzie klasycznym zastosowano warstwę żwiru. Dzięki temu dach mniej się nagrzewa.
Ilość kondygnacji	
Badane obiekty mają od jednej do czterech kondygnacji nadziemnych. Niektóre obiekty są podpiwniczone. Ilość kondygnacji w budynkach pasywnych nie jest niczym ograniczona, ze względu na dopuszczenie w standardzie każdej konstrukcji. Wysokość obiektu i ilość kondygnacji zależą jedynie od funkcji budynku oraz obostrzeń prawa miejscowego obowiązującego w obrębie budowy obiektu.	Budynek be2226 ma sześć pięter. Jest to maksymalna ilość pięter ze względu na zastosowaną w standardzie konstrukcję murowaną. Obliczenia statyczne wykazują, że jest to ograniczenie dla wysokości i ilości kondygnacji w budynku o tej konstrukcji [Aicher 2016].
Miejsce w postmodernizmie	
Badane budynki pasywne różnią się wyrazem architektonicznym. Widać dążenie do spójności i zwartości brył. Budynki są poprawne, ale nie ponadczasowe. Nie są wyrafinowane, powielają powszechne wzory, przypisane do funkcji. Niektóre mają złe proporcje i sztuczne kolorystyczne podziały elewacji. Są projektowane od wewnątrz, na zewnątrz często bazując na zamkniętym planie.	Proporcje budynku be2226 są poprawne i tworzą idealny sześcian o boku 24m. Ten elegancki budynek wykracza poza postmodernistyczny stan architektury pełnej pokrytych szkłem elewacji biur i budynków handlowych [Steiner 2016].

5.8.2. Kolor (Tabela 19.)

Tabela 19. Porównanie architektoniczne – aspekty estetyczne – kolor (opracowanie własne).

Wyraz architektoniczny	
Wyraz architektoniczny elewacji najczęściej kształtowany jest jedynie przez różnicę kolorów, co wydaje się nieszczerze. Różne kolory fragmentów elewacji charakteryzują się inną wartością albedo, co sprawia, że ten sam materiał nagrzewa się nierównomiernie. Elewacje powinny być kształtowane zabiegami architektonicznymi – kształtem bryły budynku, artykulacją okien itp. Elementy architektoniczne mogą być podkreślone kolorem lub zmianą materiału, co niesie za sobą zmianę faktury, koloru oraz akumulacji ciepła.	Kolor budynku be2226 jest jednorodny. Biały sześcian odbija światło nie nagrzewając się zbyt szybko oraz nie powodując podniesienia temperatury mikroklimatu otoczenia. Relacja pomiędzy materiałem, a geometrią budynku jest zrównoważona. Elewacje są lekko zróżnicowane, występują nieznaczne, nieregularne wysunięcia i cofnięcia fragmentów lica ścian. Minimalne odstępstwa od perfekcyjnej bryły sześciangu stosowano już w architekturze starożytnej Grecji. Technika ta, ma na celu podkreślenie wpływu budynku na widza [Feireiss 2016].

5.9. Porównanie architektoniczne – elastyczność budynku

5.9.1. Zmiana funkcji (Tabela 20.)

Tabela 20. Porównanie architektoniczne – elastyczność budynku – zmiana funkcji (opracowanie własne).

Budynki pasywne	Budynek be2226
Długość życia budynku [Till et al 2005, Schneider et al. 2005]	
Wszystkie przebadane budynki pasywne są projektowane od wewnątrz do zewnątrz. Kształt budynku zdeteminowany jest ich funkcją oraz wymaganiami standardu. Funkcja może być delikatnie modyfikowana, jednakże plan jest raczej zamknięty i przeznaczony dla danej funkcji. Dietmar Eberle zwraca	Ze względu na otwarty plan, budynek be2226 może w przyszłości zmienić swoją funkcję. Jest to istotne dla środowiska, ze względu na możliwość wydłużenia cyklu życia budynku. Zmniejsza to równocześnie emisję zanieczyszczeń [Mouton et al 2023], [Walker et al 2022].

uwagę, że w XXI w. budynki mają tendencję do bycia projektowane od wewnątrz do zewnątrz, co uważa za niepoprawne. Według niego takie budynki mają krótką żywotność, jeśli chodzi o organizację wnętrza.	Kiedy budynek użytku publicznego lub miejski jest tworzony od zewnątrz do wewnątrz jego żywotność jest znacznie wydłużona. Akceptacja społeczna wyglądu zewnętrznego gwarantuje długą żywotność budynku – wpisuje się to w założenia zrównoważonego rozwoju. [Aicher et al 2016]. Z badań Dietmara Eberle wynika, że kluczem do akceptacji budynku jest emocjonalne uznanie.
---	--

5.10. Podsumowanie – porównanie architektoniczne

Tabela 21. pokazuje zbiorcze porównanie architektoniczne przebadanych budynków. Uwzględnia ona przyznane punkty w zakresie aspektów estetyki obiektu, elastyczności oraz komfortu fizycznego. Każdemu pojedynczemu budynkowi przyznano punktację od 0 do 1. Kryteria punktacji szerzej opisano w punkcie 1.5.2. Metody przyjęte w opisie badanych obiektów istniejących. Punktacja indywidualna dla każdego obiektu znajduje się na kartach obiektów. Przedstawione porównanie ukazuje ilość oraz średnią poszczególnych budynków charakteryzujących się danym czynnikiem w podziale na budynki konwencjonalne, energooszczędne, pasywne i be2226.

Tabela 21. Zbiorcze porównanie architektoniczne w podziale na aspekty przebadanych budynków (opracowanie własne).

Czynniki w podziale na aspekty	Budynki konwencjonalne (5 obiektów)		Budynki energooszczędne (3 obiekty)		Budynki pasywne (22 obiekty)		Budynek be2226 (1 obiekt)	
Ilość / średnia	ilość	śr.	ilość	śr.	ilość	śr.	ilość	śr.
I. Estetyka obiektu								
- Zróżnicowanie fasad	5	1,00	3	1,00	20	0,91	0	0,00
- Zwartość obiektu	2	0,40	3	1,00	17	0,77	1	1,00
- Dobre proporcje	5	1,00	3	1,00	18	0,82	1	1,00
- Spójność	5	1,00	3	1,00	21	0,95	1	1,00
- Atrakcyjność kolorystyczna elewacji	2	0,40	1	0,33	7	0,32	1	1,00
II. Elastyczność obiektu								
- Otwarty plan	5	1,00	0	0,00	11	0,50	1	1,00
- Doświetlenie światłem dziennym większości pomieszczeń	0	0,00	1	0,33	4	0,18	1	1,00

- Elastyczność implementacji nowej funkcji	0	0,00	0	0,00	2	0,09	1	1,00
- Bogata oferta	3	0,60	0	0,00	5	0,23	1	1,00
III. Komfort zmysłowy								
- Pomieszczenia wyższe niż konieczne	0	0,00	1	0,33	3	0,14	1	1,00
- Brak zanieczyszczenia hałasem od wewnątrz	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	1,00
- Brak zanieczyszczenia hałasem z zewnątrz	0	0,00	3	1,00	22	1,00	0	0,00
- Brak przeciągów	0	0,00	3	1,00	22	1,00	0	0,00
IV. Światło słoneczne i temperatura								
- Równomierna perforacja wszystkich fasad	0	0,00	0	0,00	2	0,09	1	1,00
- Dobra struktura i jakość okien	0	0,00	3	1,00	22	1,00	1	1,00
- Akumulacja ciepła w całym przekroju ściany	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	1,00
- Zacienienie okien	0	0,00	3	1,00	21	0,95	0	0,00
- Brak konwencjonalnego ogrzewania	0	0,00	0	0,00	7	0,32	1	1,00
- Pasywność	0	0,00	0	0,00	22	1,00	1	1,00

5.11. Wnioski z badań (Tabela 22.)

Badania potwierdziły, że obiekty pasywne mogą mieć wiele funkcji również basenów krytych. W związku z wyższymi wymaganiami temperaturowymi oraz zastosowaną technologią baseny pasywne w standardzie Darmstadt mają indywidualnie określone zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania, podczas gdy obiekty pozostałych funkcji nie mogą przekroczyć wartości określonych w kryteriach standardu. W obiektach basenowych można nie tylko uprawiać sporty wodne, czy korzystać z basenów rekreacyjnych. Tworzą one kompleksy multifunkcyjne z halami sportowymi, ze strefami odnowy biologicznej, edukacyjnymi, pełnią funkcje usługowo-rozrywkowe obsługiwane przez część administracyjno-biurową. Z przeprowadzonych badań wynika, że na budynki pasywne gminy i miasta wybierają przeważnie obiekty hal sportowych oraz obiekty edukacyjne.

Standard budownictwa be2226 nadaje się do zastosowania w niektórych budynkach użyteczności publicznej. Jednakże nie w pełni nadaje się dla obiektów basenowych, w których można zastosować niektóre elementy tego standardu tylko

w pomieszczeniach, takich jak administracyjne, pomieszczenia edukacyjne, czy hale przeznaczone do uprawiania sportów z wykluczeniem wodnych. Pomieszczenia hali basenowej oraz zapleczy sanitarnych działają w oparciu o wentylację mechaniczną i utrzymywanie w tych pomieszczeniach dużo wyższych temperatur, niż wymagane. Wietrzenie hali basenowej powietrzem zewnętrznym podczas zimy powodowałoby duży dyskomfort użytkowników mokrych. Wentylacja mechaniczna ułatwia doprowadzenie koniecznego, ogrzanego powietrza dla użytkowników oraz pomaga utrzymać odpowiedni poziom wilgotności w obiekcie. Dobrym rozwiązaniem jest akumulacja ciepła w pełnym przekroju ścian budynków.

Należałoby wziąć pod uwagę możliwość wietrzenia naturalnego obiektów basenowych nocami w okresie letnim. Umożliwi to obniżenie temperatury wewnętrznej oraz zmniejszy konieczność pracy wentylacji w tym czasie. Ciepłe letnie powietrze pomoże też osuszyć wnętrze hali basenowej. Wietrzenie jest jednym z elementów standardu budynku be2226. Byłoby korzystnym wprowadzenie do projektowanych obiektów rozwiązań prezentowanych w standardzie budynku be2226.

Jednym z niezaprzeczalnych minusów budownictwa be2226 jest ograniczenie ilości kondygnacji i wysokości budynku, w tej konstrukcji można wybudować jedynie budynek niski, średniowysoki i wysoki maksymalnie do 24 m. Dowolność stosowanej konstrukcji budynków pasywnych umożliwia wybudowanie ich w dowolnym formacie – budynek niski, średniowysoki, wysoki i wysokościowy.

Obiekty o bogatej ofercie mają zdywersyfikowane przychody, a osoby korzystające z jednej funkcji częściej skorzystają przy okazji i z drugiej. Rzut budynku powinien być otwarty, a doświetlenie wnętrza w miarę równomierne, co ułatwia zmianę funkcji w przyszłości. Dzięki temu wydłuża się żywotność budynku i zmniejsza jego negatywny wpływ na środowisko, co obniża koszty środowiskowe. Zamiast wyburzać obiekty można je powtórnie wykorzystać nadając im nową funkcję i życie. Równomierna perforacja wszystkich fasad sprzyja mniejszej ilości koniecznych przeróbek budowlanych podczas zmiany funkcji obiektu. Budynki energooszczędne, pasywne i obiekt be2226 odnotowały porównywalną punktację w aspekcie komfortu zmysłowego realizowanego różnego rodzaju czynnikami.

Badania termowizyjne potwierdziły, że jakość wykonania budynków pasywnych była lepsza od jakości wykonania budynków tradycyjnych. Dbłość o uzyskanie szczelności powietrznej oraz ciągłości termoizolacji potwierdzona została termogramami. Płyne stąd wniosek, że detale architektoniczno-budowlane opracowane zostały z należytą starannością i wiedzą. Najwięcej dodatknych mostków termicznych zaobserwowano w okolicach stolarki okiennej p. poź. oraz klap i okien służących do oddymiania np. klatek schodowych. Są to elementy spełniające warunki pożarowe, ale nie uwzględniają one warunków izolacyjności termicznej. Należy tak projektować budynki, aby minimalizować konieczność zastosowania przeciwpożarowych komponentów budowlanych.

Na termogramach obiektów tradycyjnych widoczne są przecieki i zawilgocenia ścian, dachów i miejsc ich łączenia. W obiektach pasywnych nie stwierdzono uszkodzeń powłoki zewnętrznej skutkującej przedostawaniem się wilgoci zewnętrznej do wnętrza obiektu. Wymagana w budownictwie pasywnym szczelność budynku ogranicza przenikanie wilgoci, znajdującej się wewnątrz pomieszczenia na zewnątrz, co chroni przegrody budynku przed zawilgoceniem, a tym samym przed zniszczeniem. W miejscach nieszczelności, ciepłe i wilgotne powietrze przenika do wnętrza konstrukcji i osiągając punkt rosy wykrapla się w zimnej części przegrody zewnętrznej. Powoduje to zawilgocenie przegród, tworzenie się pleśni i niszczenie materiałów konstrukcyjnych.

Nasuwa się wniosek, że obiekty basenowe, nadają się do projektowania jako obiekty pasywne z uwzględnieniem indywidualnie określonego zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania. Standard budynków Darmstadt jest zbyt wygórowany, jeśli chodzi o wymagania stawiane zapotrzebowaniu obiektów na energię, jednak jest wiele elementów standardu, które idealnie nadają się do rozwiązań projektowych basenów krytych. Zgodnie z tym przyjęto dla tego typu budynków określenie „konwergentne budynki pasywne”, czyli zbieżne w idei i technologii, lecz ze względu na dodatkowe uwarunkowania nie spełniające wszystkich wymagań standardu. Obiekty te mają określone wewnętrzne warunki ciepłno-wilgotnościowe, które odpowiadają wymaganiom większości użytkowników. Zadana temperatura na hali basenowej i w pomieszczeniach szatniowych, wynosi pomiędzy 30° C, a 34° C. Jest to znacznie wyższa temperatura, niż zakładana dla innych funkcji, ze względu na to, że osoby korzystające z tych pomieszczeń są pozbawione odzieży i mają mokrą skórę. Aby utrzymać temperaturę wody basenowej na poziomie zadawalającym dla użytkowników, konieczne są znaczne nakłady finansowe na ogrzanie tej wody. Pozostałe strefy funkcjonalne mają niższe temperatury. Pomieszczenia w obiekcie basenowym sterowane są globalnie, w podziale na poszczególne funkcje. Dla porównania Budynki mieszkalne, biurowe czy hotelowe, gdzie użytkownikiem pomieszczenia jest zazwyczaj jedna, lub kilka osób, stają się przestrzenią, w której własny komfort cieplny osób przebywających, czy pracujących w określonych warunkach jest decydujący, a to wiąże się z chęcią indywidualnego sterowania wietrzeniem oraz temperaturą wewnętrzną pomieszczenia. Budynek pasywny wymaga świadomych użytkowników [Zhao et al. 2020], którzy akceptują fakt, że świeże powietrze dostarczane jest przez wentylację mechaniczną i nie jest konieczne otwieranie okien w celu wietrzenia pomieszczenia, w lecie w godzinach o najwyższych temperaturach, czy w zimie powodując straty ciepła.

Użytkownicy obiektów pasywnych powinni być świadomi oraz umieć nimi zarządzać. Do obsługi obiektu powinna być przypisana świadoma, wykształcona osoba potrafiąca obsłużyć i odpowiednio nastawić urządzenia wentylacji oraz ogrzewania.

Certyfikacja obiektów powinna być zunifikowana, powinny być te same zasady w opracowywaniu oraz sprawdzaniu budynków, nie tylko na podstawie projektu, również na podstawie rzeczywistego zużycia mediów.

Obiekty basenowe mają charakterystyczną, korzystną cechę budynków pasywnych, czyli zwartą bryłę. W badaniach obiekty konwencjonalne basenowe miały prawie takie same rozpiętości wskaźnika powierzchni przegród zewnętrznych do kubatury obiektu, co basenowe obiekty pasywne.

Nasuwa się wniosek, że standard budynków pasywnych w punktach dotyczących wentylacji i szczelności budynku wpisuje się idealnie w potrzeby obiektów basenowych. Wentylacja na obiektach basenowych pełni również ważną funkcję utrzymywania wilgoci na odpowiednim poziomie.

Dzięki analizie i badaniom przeprowadzonym na wybranych obiektach zrealizowanych w Polsce określono zasadność rozwiązań budownictwa pasywnego i implementacji na rynku rodzimym. Istnieje możliwość zaprojektowania i wybudowania taniego przyszkolnego basenu pasywnego w formie programu Dolnośląski Delfinek [MSiT 2020 b], co obniży koszty jego utrzymania. Żaden z przebadanych standardów nie był w stanie w pełni sprostać wymogom budynku krytego basenu. Dlatego też celem tej pracy jest zoptymalizowanie rozwiązań zaczerpniętych z różnych standardów pasywnych, które warto wprowadzić do projektu basenów, w celu otrzymania konwergentnego obiektu pasywnego o niskim zapotrzebowaniu na energię potrzebną do ogrzewania.

Rezultaty przeprowadzonych badań wnoszą wkład w porównanie obiektów użyteczności publicznej konwencjonalnych oraz pasywnych, ale także podkreślają wagę dalszych badań porównawczych, w zakresie poszerzonym o budynki w standardzie be2226. Zrozumienie specyficznych warunków panujących w halach basenowych, przebadanie różnych funkcji obiektów użyteczności publicznej oraz porównanie budynków konwencjonalnych i wybudowanych w standardzie budynku pasywnego pozwala nakierować na odpowiedni system budownictwa przyjęty dla funkcji basenowej. Przeprowadzone badania są w znacznej mierze unikatowe ze względu na tematykę zagadnień architektonicznych sprzyjających rozwiązaniom pasywnym w budynkach użyteczności publicznej z naciskiem na budynki basenów krytych.

Głównym wnioskiem z badań jest stwierdzenie, że wszystkie budynki powinny być projektowane i budowane z wykorzystaniem rozwiązań pasywnych, ze względu na przeciwdziałanie zmianom klimatu i obniżenie kosztów eksploatacji. Te zmiany tak szybko postępują, że konwencjonalne standardy nie zdają egzaminu i konieczne jest poszukiwanie rozwiązań konwergentnych. Korzystne byłoby stosowanie łączenia rozwiązań różnych standardów dla osiągnięcia lepszych efektów. Kreacja architektoniczna ma duży wpływ na zastosowane rozwiązania pasywne w budynkach. To dzięki właściwej bryle, z odpowiednio rozmieszczoną funkcją i zaprojektowanymi elewacjami osiąga się największą oszczędność. Reszta to wprowadzona do budynku technologia, którą należy minimalizować.

Tabela 22. Wnioski z badań istniejących obiektów, opracowane na podstawie rozdziału V. Zestawienie ogólnych tendencji poszczególnych komponentów mające wpływ na energooszczędność badanych obiektów, ich rola energetyczna i wnioski związane z projektowaniem (opracowanie własne).

Komponent	Wartości poszczególnych komponentów budynku be2226, budynków pasywnych i energooszczędnych	Rola energetyczna	Wnioski związane z projektowaniem
Wskaźnik zwartości bryły, stosunek A/V	Optymalny dla budynków pasywnych $\leq 0,7\text{m}^2/\text{m}^3$. Dla pasywnych budynków basenowych $\leq 0,5\text{ m}^2/\text{m}^3$	Ograniczenie strat ciepła zimą.	Budynki pasywne stanowią przeważnie zwartą bryłę. Hale, obiekty basenowe to przeważnie duże obiekty, którym łatwiej uzyskać mniejszy wskaźnik zwartości bryły.
Stopień odchylenia budynku od kierunku północy	Odchylenie budynku od kierunku północy do $0^\circ - 48^\circ$	Ograniczenie strat ciepła przy północnych ścianach z niewielką ilością perforacji, pozyskiwanie energii cieplnej od słońca przy lokalizacji fasad o dużej ilości perforacji od południa.	Często powstające budynki lokalizowane są w istniejącej tkance miejskiej, która wymusza konkretne odchylenie budynku od kierunku północy. Jeżeli jest taka możliwość, to na realizację obiektu pasywnego można wybrać inną działkę budowlaną. Inwestor może podjąć taką decyzję w momencie, gdy analizy przedprojektowe uzasadnią propozycję przeniesienia inwestycji, dlatego tak ważne jest przeprowadzanie nawet wstępnych obliczeń na etapie analiz przedprojektowych.
Procentowy udział przeszklenia na elewacji północnej	Średnio 8,6% przeszkleń w stosunku do powierzchni całej ściany	Zwiększenie strat ciepła zimą. Ograniczenie przegrzewania pomieszczeń latem	W przypadku pomieszczeń o dużych wewnętrznych zyskach ciepła korzystne jest lokalizowanie tych pomieszczeń od północy, zwłaszcza, gdy konieczne jest ograniczenie przegrzewania. Można całkowicie zrezygnować z przeszkleń na fasadzie północnej.
Procentowy udział przeszklenia na elewacji południowej	Średnio 24% przeszkleń w stosunku do powierzchni całej ściany	Zwiększenie zysków ciepła od słońca. Możliwość występowania przegrzewania.	Przeszklenia od strony południowej pozwalają na osiągnięcie zysków słonecznych, jednakże są problematyczne podczas lata. Przegrzewanie obiektów latem związane jest z nadmiernym pozyskiwaniem ciepła w tym okresie. Należy rozważyć elementy zacieniające latem w postaci rolet zewnętrznych, wysuniętych zadaszeń, wpuszczenia okien w głąb ściany albo takiego ukształtowania zagospodarowania działki, żeby istniejąca lub projektowana zielen liściasta zacieniała przeszklania.

Procentowy udział przeszklenia na elewacji wschodniej	Średnio 13,8% przeszkleń w stosunku do powierzchni całej ściany	Pozyskiwanie ciepła od słońca oraz utrata ciepła.	Przeszklenia na elewacji wschodniej pozwalają na osiągnięcie pewnego stopnia zysków, lecz równocześnie generują straty. Należy rozsądnie planować ilość tych przeszkleń, aby zarówno zyski jak i straty były zbalansowane.
Procentowy udział przeszklenia na elewacji zachodniej	Średnio 14,3% przeszkleń w stosunku do powierzchni całej ściany	Pozyskiwanie ciepła od słońca oraz utrata ciepła.	Przeszklenia na elewacji zachodniej pozwalają na osiągnięcie pewnego stopnia zysków, lecz równocześnie generują straty. Należy rozsądnie planować ilość tych przeszkleń, aby zarówno zyski jak i straty były zbalansowane.
Współczynnik przenikania ciepła dla ścian	be2226 = 0,161 W/(m ² K) Budynki pasywne ≤ 0,15 W/(m ² K) Budynki energooszczędne ≤ 0,19 W/(m ² K)	Ochrona przed nadmiernymi stratami ciepła.	Dobra izolacja termiczna obiektu to podstawa, jednakże ważny jest również materiał, z którego jest zrobiona. Korzystne jest wprowadzanie materiałów konstrukcyjnych charakteryzujących się wysoką termoizolacyjnością oraz pojemnością cieplną np. pustaki ceramiczne. Dzięki temu możliwe jest wykorzystanie ściany jako magazyn ciepła.
Szczelność budynku	Dla budynków pasywnych i energooszczędnych ≤ 0,6 h ⁻¹ Brak danych dla budynku be2226	Minimalizacja strat ciepła poprzez niekontrolowane nieszczelności	Dużym obiektom jak hale sportowe czy baseny stosunkowo łatwo osiągnąć szczelność. Jest ona istotna z powodu ograniczenia niekontrolowanego przepływu ciepła, zminimalizowania przeciągów, które są bardziej odczuwalne dla mokrej skóry oraz eliminacji zawilgocenia konstrukcji wewnątrz przegród budowlanych.
Detale architektoniczne pozbawione mostków termicznych	Minimalizacja mostków termicznych. Za detal wolny od mostków termicznych uważa się detal o wartości mostku $\Psi < 0,01$ W/(mK)	Minimalizacja dodatnich mostków termicznych zmniejsza straty ciepła. Obecność mostków termicznych zwiększa straty ciepła	Podjęcie decyzji o zastosowaniu elementu zawierającego dodatni mostek termiczny powinna być poparta obliczeniami i zastosowaniem rozwiązania rekompensującego. Dodatni mostek termiczny jest niebezpieczny z punktu widzenia wykroplenia pary wodnej w momencie osiągnięcia punktu rosy. Może to prowadzić do powstawania pleśni, zawilgocenia konstrukcji, a co za tym idzie degradacji budynku.
Stolarka p. poż. oraz systemy oddymiania klatek schodowych	Ograniczenie do koniecznego minimum wynikającego z przepisów prawa	Ograniczenie lub eliminacja zmniejsza straty ciepła. Obecność stolarki p.poż. zwiększa straty ciepła	Wymóg montażu w ścianie konstrukcyjnej powoduje, że stolarka p. poż. zwiększa straty ciepła. Należy tak kształtować budynki, aby stosować tylko konieczną ilość stolarki p. poż. wynikającą z przepisów prawa.

Otwieralne okna	W budynkach pasywnych i energooszczędnych większość pomieszczeń ma okna otwieralne. W budynku be2226 koło okien zastosowane klapy odpowiedzialne za wietrzenie, sterowane czujnikami CO ₂	Zwiększenie strat ciepła	Otwierane okna charakteryzują się gorszymi parametrami energooszczędnymi. Jednakże w perspektywie pandemii COVID-19 koniecznością okazało się wietrzenie naturalne pomieszczeń. Korzystne jest również stosowanie okien otwieralnych w lecie. Uchylenie okna w nocy wprowadza do pomieszczenia chłodne powietrze, polepszając warunki klimatyczne w pomieszczeniu i ogranicza zapotrzebowanie na energię elektryczną potrzebną do obniżenia temperatury pomieszczenia w ciągu dnia. Korzystne jest też takie usytuowanie okien, które powoduje ruch powietrza.
Układ funkcjonalny obiektu	Rozmieszczenie funkcji podstawowej od południa, czasem od zachodu i wschodu. Pomieszczenia pomocnicze lokalizowane od północy. Grupowanie pomieszczeń o zbliżonych temperaturach. W budynku be2226 pomieszczenia pomocnicze tworzą trzon wewnętrzny, a funkcja podstawowa rozlokowana jest po obwodzie budynku.	Obniżenie zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania, pozyskiwanie ciepła ze słońca, Polepszenie komfortu osób przebywających w pomieszczeniu	Układ funkcjonalny powinien odpowiadać potrzebom funkcjonalno-użytkowym, w zależności od połączenia różnych funkcji należy rozważyć wszystkie za i przeciw zastosowania danego rozwiązania układu funkcji. Należy sytuować pomieszczenia o zbliżonych parametrach cieplnych obok siebie. Decyzja o najodpowiedniejszej lokalizacji komunikacji w budynku powinna zostać podjęta biorąc pod uwagę wszystkie istniejące czynniki.
Doświetlenie światłem naturalnym	Ilość doświetlenia zależna jest od ekspozycji elewacji. W budynku be2226 równomierne doświetlenie pomieszczeń podstawowych.	Pozyskiwanie ciepła z energii słonecznej od strony południowej. Zwiększenie strat ciepła przez okna zlokalizowane od północy.	Korzystne jest doświetlenie obiektu ze wszystkich czterech stron świata, ponieważ wtedy budynek łatwo jest przekształcić na inną funkcję. Dodatkowo sytuowanie okien na przeciwległych ścianach umożliwia naturalne, nocne przewietrzanie obiektu latem, obniżające koszty eksploatacji.

Elewacje obiektów	Dominują zróżnicowane elewacje, budynek be2226 ma jednakowe elewacje	Zwiększenie strat ciepła przez perforację na ścianach północnych, wschodnich i zachodnich, pozyskiwanie ciepła ze słońca od południa, wschodu i zachodu.	Perforacja wszystkich czterech fasad przyczynia się do większej elastyczności obiektu. Możliwa jest zmiana funkcji bez kosztownych przeróbek. Bryła obiektu jest ciekawa. Architekt może poprzez perforację fasady nadać jej charakter i uatrakcyjnić wizualnie cały obiekt.
Proporcje obiektów	Przeważnie poprawne proporcje, dominuje wydłużony prostopadłościan, budynek be2226 jest idealnym sześcianiem	Ograniczenie strat ciepła zimą. W przypadku budynków o wysokich wewnętrznych zyskach ciepła możliwość przegrzewania	Budynki powinny charakteryzować się proporcjonalną bryłą, o skali przyjaznej człowiekowi. Ich proporcje muszą odzwierciedlać warunki funkcji wewnętrznej. Dzięki zachowaniu korzystnych proporcji można uzyskać zwartą bryłę. Ze względu na energooszczędność najkorzystniejsza jest bryła idealna - kula oraz zbliżający się do ideału sześciąt.
Wysokość pomieszczeń	Nie wyższa niż konieczna, wynikająca z przepisów prawa oraz jakości powietrza pomieszczeniu, w budynku be2226 pomieszczenia są wyższe niż wymagane.	Zbyt wysokie pomieszczenie tworzy dodatkową kubaturę do ogrzania, ale powietrza jest więcej, zbyt niskie powoduje dyskomfort użytkowników	Wysokość pomieszczeń należy dostosowywać indywidualnie do potrzeb i rodzaju funkcji oraz ilości użytkowników w nim przebywających. Z ilości użytkowników wynika potrzebna im ilość powietrza i wolnej przestrzeni. Trzeba brać pod uwagę proporcje pomieszczenia, ale nie przesadzać z jego wysokością, ponieważ przy wysokich pomieszczeniach ogrzewać trzeba dużą kubaturę, a jak wiadomo ciepłe powietrze unosi się do góry, a zimne opada na dół, najcieplej będzie więc przy suficie.
Umiejscowienie okien w ścianie	Ciepły montaż okien w warstwie termoizolacji	Ograniczenie strat ciepła, zmniejszenie przegrzewania	Głębokość osadzenia okien ma niebagatelne znaczenie dla wyglądu elewacji. To architekt powinien zdecydować o wyrazie elewacji również poprzez celowe zagłębienie okien lub ich wysunięcie i zrównanie z licem ściany. Należy jednak podkreślić, że zagłębienie okien sprzyja ograniczeniu przegrzewania obiektu.
Dach	Płaski lub wielospadowy, również łączony	Przy dachach spadzistych zwiększenie powierzchni powłoki zewnętrznej obiektu – zwiększenie strat ciepła.	Kształt dachu należy dobrać mając na względzie zarówno aspekty estetyczne, jak i obowiązujące prawo miejscowe. Duży spadek dachu tworzy dodatkową powierzchnię zewnętrzną do ogrzewania, ale również kubaturę, która umożliwia dołożenie powierzchni użytkowej w wyższej partii dachu.

Ilość kondygnacji	Wynikająca z zapotrzebowania i funkcji. Dla budynku be2226 ograniczona do sześciu kondygnacji.	Zyski ciepła od ścian i stropów sąsiadujących z pomieszczeniami ogrzewanymi, a nie z powietrzem zewnętrznym	Ilość kondygnacji wynika z funkcji, potrzeb, zakresu budynku oraz wielkości działki. Korzystne jest spiętrzanie obiektów, aby jak najmniej ingerować w glebę i stosunki wodne. Ważne jest zastosowanie jak największej powierzchni biologicznie czynnej na działce.
Kolor	Wielobarwne obiekty, mające przeważnie jasne kolory z elementami ciemniejszymi. Budynek be2226 jest cały biały, z elementami drewnianej stolarki	Ciemne kolory nagrzewają się, jasne kolory odbijają promieniowanie i nie nagrzewają się	Ciemne kolory powinny pojawiać się na elementach akumulujących ciepło. Jasne kolory powinny przeważać, aby uniknąć przegrzewania i zmiany mikroklimatu przy budynku. Kolory powinny podkreślać architekturę.

Badania wariantów modelu referencyjnego obiektu basenowego

VI. Badania wariantów modelu referencyjnego obiektu basenowego	136
6.1. Warianty wykonania niecki basenowej nie mające wpływu na obliczenia pasywności, ale przekładające się na atrakcyjność obiektu.	136
6.2. Warianty wykonania filtracji basenowej nie mające wpływu na obliczenia pasywności, ale przekładające się na oszczędności.	136
6.3. Warianty źródeł energii mające wpływ na pasywność	137
6.4. Warianty obliczeniowe modelu referencyjnego obiektu basenowego mające wpływ na pasywność – kalkulacje sporządzone w pakiecie PHPP	138
6.4.1. Lokalizacja	138
6.4.2. Izolacja przegród zewnętrznych	143
6.4.3. Przykładowe mostki termiczne – zacinienie okien	146
6.4.4. Wprowadzenie zieleni w otoczenie budynków – zacinienie od obiektów zewnętrznych	150
6.4.5. Szczelność powłoki budynku	165
6.4.6. Pasywne wykorzystanie energii słonecznej	166
6.4.7. Zróźnicowanie bryły obiektu	169
6.5. Wnioski z badań wariantów modelu obiektu referencyjnego basenowego	171
VII. Podsumowanie	183



Rysunek 50. Basen pasywny Bambados widok na strefę wejściową (fotografia Autorki).

VI. Badania wariantów modelu referencyjnego obiektu basenowego

6.1. Warianty wykonania niecki basenowej nie mające wpływu na obliczenia pasywności, ale przekładające się na atrakcyjność obiektu.

Niecka basenowa może być wykonana w wielu technologiach. Najpopularniejsze są niecki żelbetowe, wykładane płytkami ceramicznymi. Istnieją dużo trwalsze, mniej narażone na pojawienie się nieszczelności i bardziej higieniczne, niecki stalowe. Pozbawione są one szorstkich powierzchni, takich jak fugi, w których gromadzi się osad, glony czy pleśń. Niecki ze stali nierdzewnej są lżejsze, charakteryzują się szybszym montażem, możliwością rektyfikacji niecki w przypadku szkód górniczych. Mają trwałą konstrukcję, co przekłada się na dłuższy czas użytkowania. Powierzchnia niecki stalowej jest trwała i bezpieczna, nie uszkadza się, jak w przypadku płytek ceramicznych, które mogą pęknąć i skutkować skaleczeniem użytkowników. Cechuje się łatwym utrzymaniem czystości, co ogranicza ilość przerw technicznych związanych z opróżnianiem basenów z wody w celu czyszczenia. Pojawiają się wtedy oszczędności związane ze zużyciem wody, a obiekt jest dłużej otwarty i może na siebie zarabiać. Posadowienie niecki stalowej może być wykonane w formie płyty lub ławy żelbetowej. Możliwe jest posadowienie niecki w gruncie bez obejścia, jednakże należy wtedy zastosować izolację termiczną i obsypanie ścian kruszywem obojętnym chemicznie. Niecki ze stali są droższe od niecek żelbetowych okładzinowanych.

Aby zwiększyć funkcjonalność niecki basenowej, należy rozważyć zastosowanie ruchomego dna. Jest to platforma umożliwiająca regulację głębokości basenu z dokładnością do 1 cm. W zależności od wariantu ruchomego dna głębokość można zmieniać w obrębie całej niecki lub tylko w części. Dla basenów o dużej powierzchni lustra wody dobrym pomysłem jest zastosowanie ruchomego pomostu, który dzieli nieckę na dwie części, które w tym samym czasie, mogą mieć różne głębokości, dzięki zastosowaniu ruchomego dna. Ruchome dno umożliwia spływanie niecki np. podczas zajęć dla niemowląt, gdzie głębokość powinna wynosić zaledwie 60 cm. Zajęcia dla dzieci powinny odbywać się w nieckach o głębokości od 20 cm do 90 cm. W zajęciach rehabilitacyjnych ruchome dno pełni istotną rolę. Na noc, ruchome dno można ustawić na poziomie plaży basenowej, tworząc w ten sposób przekrycie basenu, zmniejszające straty ciepła i parowanie wody.

6.2. Warianty wykonania filtracji basenowej nie mające wpływu na obliczenia pasywności, ale przekładające się na oszczędności.

Standardowa filtracja oparta jest na złożach żwirowo-piaskowych, jednakże istnieją alternatywne formy uzdatniania wody basenowej. Jednym z nich jest zastosowanie filtrów ciśnieniowych i podciśnieniowych ze złożem namywalnym. Złoże to ma postać zawiesiny włókien celulozy lub ziemi okrzemkowej. W filtrach podciśnieniowych możliwe jest zastosowanie złóż żwirowych. Do wad takich rozwiązań można zaliczyć dodatkowe dozowanie zawiesiny filtracyjnej. Kłopotliwe

jest również zanieczyszczenie wód popłucznych. Do zalet można zaliczyć zmniejszenie ilości wody potrzebnej do płukania filtrów i zużycie środków chemicznych, co przekłada się na niższe koszty. Kolejnym rozwiązaniem jest zastosowanie złożów zeolitowych, antracytowych, z węgla aktywnego oraz na bazie szkła. Złoże szklane, aktywowane ze szkła zielonego stosowane jest do filtracji elektro-mechanicznej. Zatrzymuje ono zanieczyszczenia o wielkości do 1 mikrona, gdzie piasek wypłukuje zanieczyszczenia wielkości od 8 mikronów. Złoże na bazie piasku przepuszcza około 28% zanieczyszczeń, a szkło aktywne 3%. Zaletą stosowania złoża ze szkła aktywnego jest zmniejszenie zużycia chemii basenowej o około 70%, zmniejszenie zużycia energii elektrycznej i cieplnej przez zmniejszenie prędkości filtracji i płukania, wymiana złoża nie jest konieczna nawet do 20 lat [Mazur 2016], [Wyczarska-Kokot 2013a], [Wyczarska-Kokot 2013 b]. Zastosowanie mikro filtracji umożliwia usuwanie bakterii i częściowo wirusów. Korzystne jest zastosowanie pozyskiwania podchlorynu sodu systemem membranowym elektrolizy soli, lecz dla małych basenów jest to nieopłacalne.

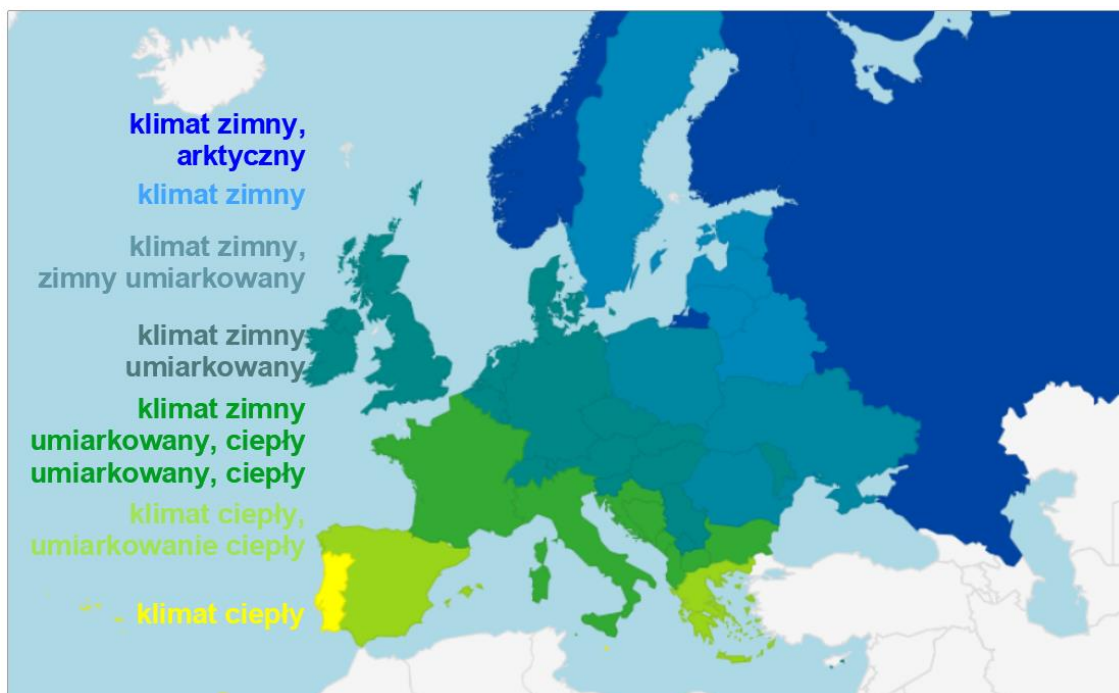
6.3. Warianty źródeł energii mające wpływ na pasywność

Aby obniżyć wartość wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną można zastosować różne rozwiązania źródeł energii, takie jak pompy ciepła, kolektory słoneczne, agregaty kogeneracyjne, ogniwa fotowoltaiczne, gruntowe wymienniki ciepła itp. Dla obiektów basenowych Autorka niniejszej pracy proponuje zastosowanie dwóch alternatywnych źródeł ciepła, przykładowo szczytowy kocioł gazowy kondensacyjny oraz pompy ciepła. Aby obiekty basenowe mogły funkcjonować, cały czas mają wysokie zapotrzebowanie na energię elektryczną. Ich dachy mają dużą powierzchnię i nadają się na instalację ogniw fotowoltaicznych. Takie rozwiązanie jest bardzo korzystne i ekonomicznie uzasadnione. Ścieki z natrysków i wód popłucznych z filtrów są bardzo dobrym źródłem ciepła odzyskanego do podgrzania ciepłej wody użytkowej. Niebagatelne znaczenie ma odzysk ciepła z powietrza wywiewanego zaprojektowany w systemie wentylacji mechanicznej. Wentylacja mechaniczna powinna być podzielona na zespoły wentylacyjne uwzględniające temperaturę, wilgotność oraz jednoczesność pracy pomieszczeń. Przyczyni się to do energooszczędnej eksploatacji obiektu. Centrale wentylacyjne powinny charakteryzować się niskimi kosztami eksploatacji oraz długim czasem użytkowania. Zgodnie z programem Delfinek odzysk ciepła dla central wentylacyjnych powinien wahać się pomiędzy 60%, a 80%. System wentylacji mechanicznej na halach basenowych jest odpowiedzialny za wentylację, filtrację, ogrzewanie powietrzne i osuszanie powietrza z nadmiaru wilgoci. Powinien też zapewniać właściwe parametry jonizacji powietrza. Autorka sugeruje, że należy stosować takie centrale wentylacyjne, które można stosować latami, np. mające polipropylenowy wymiennik ciepła, który jest całkowicie odporny na korozję [Menerga 2023]. W środowisku basenowym, powietrze ma stosunkowo dużą i stałą zawartość chloru, wilgoci, oraz innych składników wpływających na przyspieszenie korozji urządzeń (np. central wentylacyjnych) oraz stalowych elementów

konstrukcyjnych i wyposażenia wewnątrz. Takie elementy muszą być zabezpieczone antykorozyjnie w klasie minimum C4. Wymienniki wykonane z metali są wrażliwe na korozję i nie dorównują żywotnością tym wykonanym z polipropylenu. Obiekt powinien mieć system BMS. Jest to automatyka monitorowania i wizualizacji najważniejszych parametrów zużycia i wytworzenia mediów. W związku z powyższym automatyka wszystkich instalacji w obiekcie musi mieć możliwość współpracy z BMS. Dla potrzeb niniejszej pracy warianty rozwiązań branżowych zostały pominięte w obliczeniach. Skupiono się na elementach mających wpływ na architekturę obiektu. Zastosowanie rozwiązań instalacyjnych ma wpływ na energię końcową oraz pierwotną zmniejszając wskaźniki ich zużycia, jednak sama wielkość zużycia zależy przede wszystkim od rozwiązań przyjętych w projekcie architektoniczno-budowlanym.

6.4. Warianty obliczeniowe modelu referencyjnego obiektu basenowego mające wpływ na pasywność – kalkulacje sporządzone w pakiecie PHPP

6.4.1. Lokalizacja



Rysunek 51. Podział stref klimatycznych Eurazji wg Passivhaus Institut (opracowanie własne na podstawie źródła [PHI 2017])

Europa jest kontynentem o zróżnicowanym klimacie (Rys. 51.). Ponieważ niniejsza praca skupia się na implementacji rozwiązań na rynku polskim, przeanalizowano klimat Polski [Wołoszyn 2009]. Przebadane istniejące baseny pasywne, dwa wybudowane zostały w Niemczech, a jeden w Polsce. Stąd też w niniejszej pracy porównano klimat Niemiec i Polski. Zgodnie z danymi, zawartymi w dokumentacji Passivhaus Institut w Darmstadt możliwe jest określenie różnic

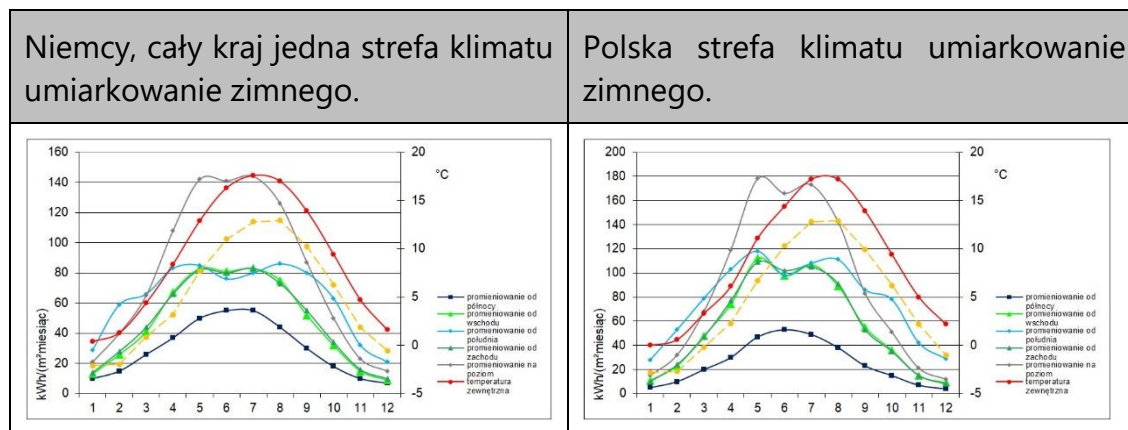
w izolacyjności względem krajów o zbliżonym położeniu [PHI 2017]. Polska zgodnie z normą [PN- N 12831:2006] podzielona jest na pięć stref klimatycznych. Poniższa Tabela 23. określa główne różnice pomiędzy Niemcami, a Polską pochodzące z danych Instytutu w Darmstadt, gdzie Polskę podzielono na dwie strefy klimatyczne – zimną oraz umiarkowanie zimną. W Niemczech funkcjonuje jedna strefa umiarkowanie zimna.

Tabela 23. Różnice klimatyczne Polski i Niemiec względem elementów budowlanych (opracowanie własne).

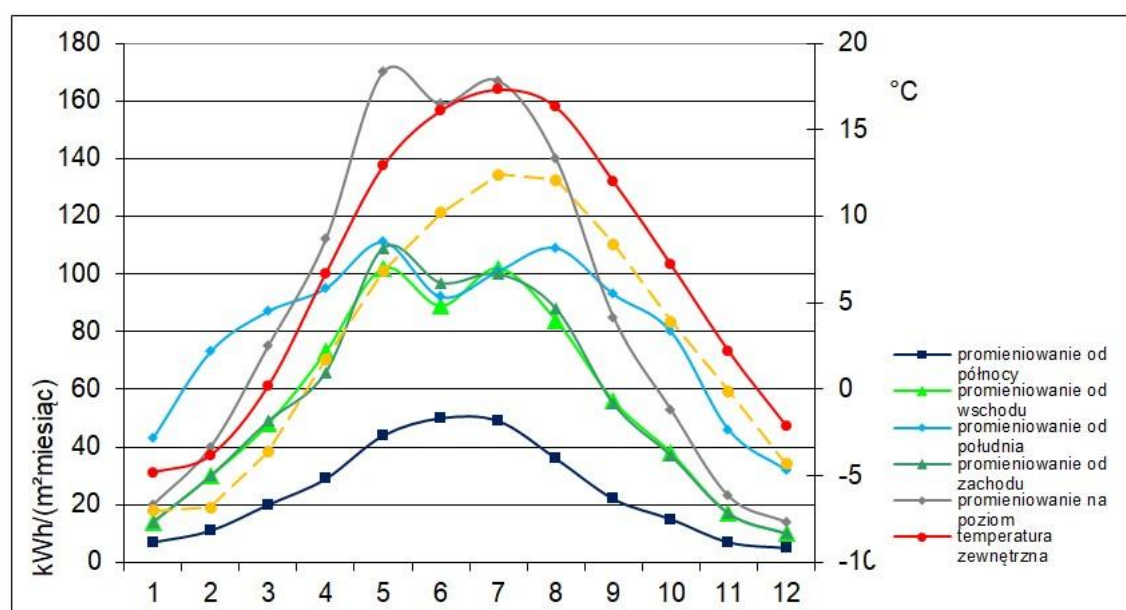
	Polska	Polska	Niemcy
	Klimat zimny	Klimat zimny umiarkowany	Klimat zimny umiarkowany
Regiony	małopolskie, mazowieckie, opolskie, łódzkie, lubelskie, podlaskie, śląskie, podkarpackie, świętokrzyskie, warmińsko-mazurskie	kujawsko-pomorskie, dolnośląskie, lubuskie, pomorskie, zachodnio-pomorskie, wielkopolskie	wszystkie
Grubość izolacji przy izolacji ściany materiałem o współczynniku lambda równym 0,035 W/(mK)	Strefa III (Warszawa) 40 cm Strefa IV (Białystok/ Mikołajki) 40 cm Strefa V Północ (Suwałki) 40 cm Strefa VS Południe (Zakopane) 40 cm	Strefa I (Koszalin/ Kołobrzeg) 25 cm Strefa II (Poznań/ Piła) 30 cm	23 cm
Przeszklenie	Potrójne, poczwórne izolowane szyby	Potrójne izolowane szyby	Potrójne izolowane szyby
Rama okienna	Znacznie izolowana, mała szerokość czołowa, klasa phA	Izolowana, klasa phB lub lepsza	Izolowana, klasa phB lub lepsza
Zacienienie	Okapy, zewnętrzne żaluzje	Okapy, zewnętrzne żaluzje	Okapy, zewnętrzne żaluzje
Strategia chłodzenia	Nocna wentylacja	Nocna wentylacja	Nocna wentylacja

Dla porównania, poniższe wykresy (Tabela 24. oraz Rys. 52.) przedstawiają ogólną charakterystykę dla poszczególnych klimatów:

Tabela 24. Ogólna charakterystyka dla klimatów umiarkowanie zimnych Polski i Niemiec (opracowanie własne na podstawie źródła [Feist et al 2016])



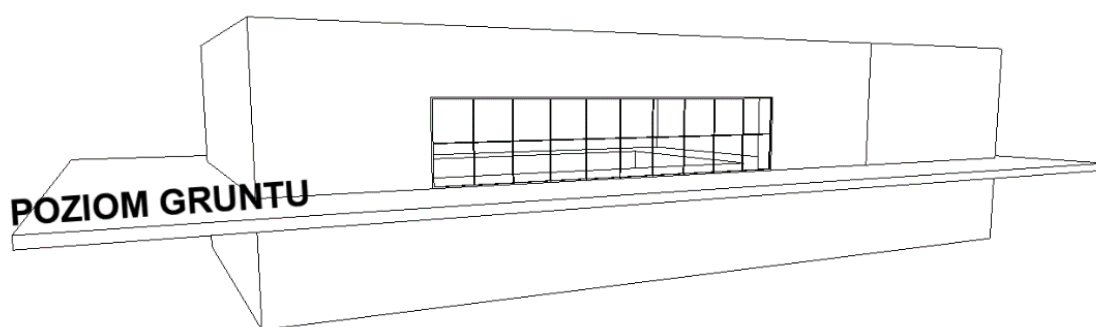
Wykresy zawarte w tabeli 24. oraz na rysunku 52 pokazują dane miesięczne promieniowania słonecznego padającego na powierzchnie poziome i pionowe różnie zorientowane względem czterech stron świata w formie sumy kWh/(m²miesiąc) oraz temperaturę zewnętrzną oznaczoną kolorem czerwonym. Klimat Polski charakteryzuje się dłuższymi, zimniejszymi okresami miesięcy zimowych i jesiennych oraz krótszym i nieznacznie cieplejszym latem. Niemcy mają bardziej umiarkowany klimat z mniejszymi wahaniami promieniowania i temperatury, sumarycznie rocznie parametry są bardziej jednorodne. Wykresy wygenerowane zostały z programu PHPP opracowane przez PHI na podstawie satelitarnych danych dostarczonych przez NASA. Uśrednione miesięczne wartości w danym miejscu są oparte na wieloletnich pomiarach.



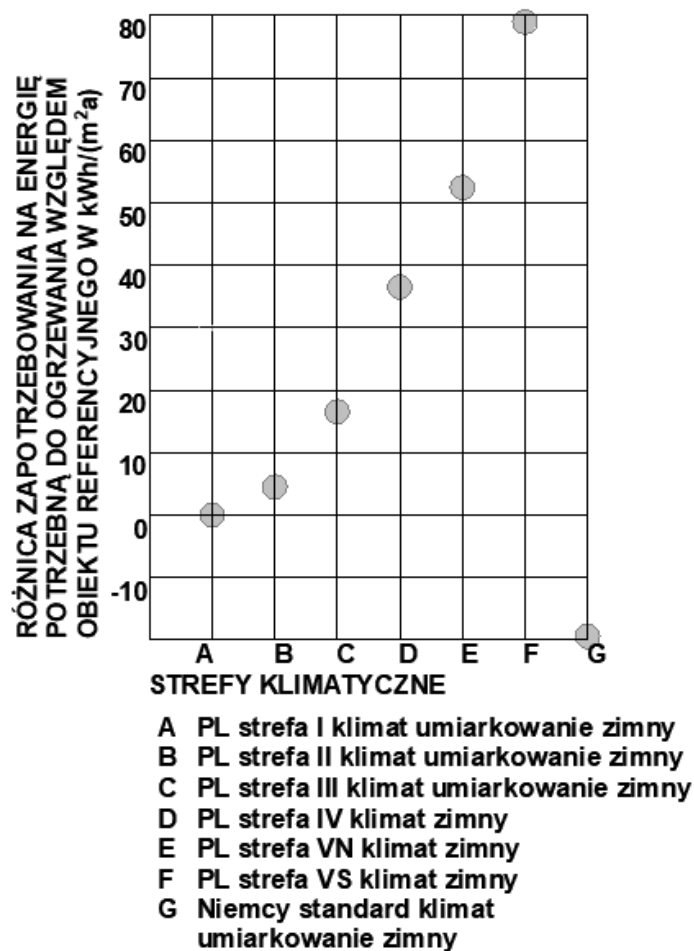
Rysunek 52. Ogólna charakterystyka klimatu zimnego Polski [Feist et al 2016]

Kopiowanie rozwiązań z innego obszaru klimatycznego jest błędem. Istnieją różne detale, rozwiązania izolacji, montażu stolarki, zacienienia. Każdy kraj, charakteryzuje się specyficznymi cechami tradycyjnej architektury wynikającymi ze specyficznych warunków klimatycznych regionu. Dlatego też rozwiązania pasywne powinny być dostosowane do potrzeb danego kraju. Między innymi należy uwzględnić warunki klimatyczne, promieniowanie słoneczne oraz kierunki i siłę wiatru, notowane miesięczne temperatury powietrza i gruntu, temperatury punktu rosy, wskaźniki dotyczące usuwania wilgoci lub jej dostarczania, występowanie i częstotliwość opadów, warunki botaniczne, temperaturę nieba, utrzymującą się mgły czy pokrywę śnieżną (zwiększone odbicia światła), występowanie wysp ciepłych w miastach oraz wysokość nad poziomem morza.

Dla zwrócenia uwagi na kwestie klimatyczne poniżej (Rys. 53.) przedstawiono model obiektu referencyjnego (który zaprojektowano w strefie I odpowiadającej klimatowi umiarkowanie zimnemu) sytuowany w różnych strefach klimatycznych polski, oraz dla porównania w Niemczech, gdzie powstał standard budynków pasywnych.



Rysunek 53. Aksonometria modelu budynku referencyjnego (opracowanie własne).



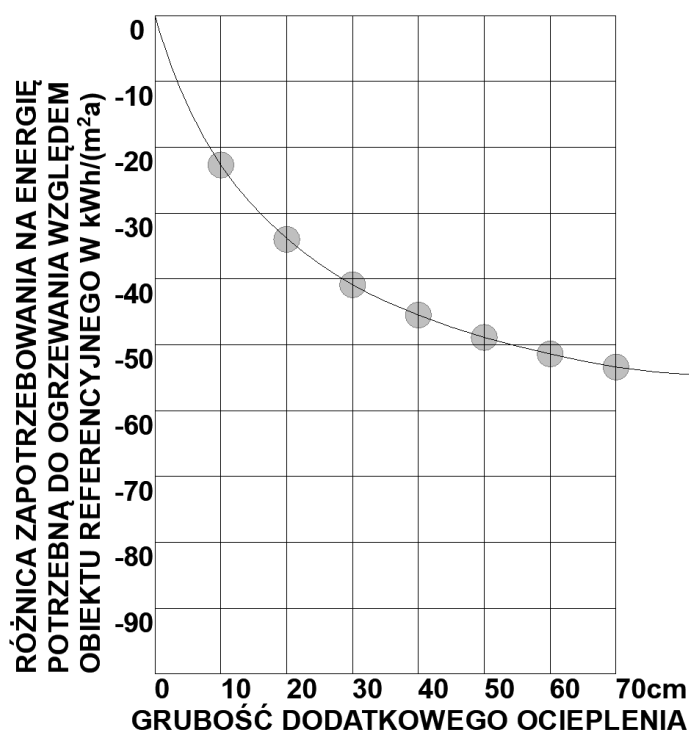
Rysunek 54. Warianty modelu budynku referencyjnego w różnych strefach klimatycznych (opracowanie własne).

Klimat standardowy Niemiec jest łagodniejszy i cieplejszy, umożliwia on stosowanie mniejszego rygoru przy projektowaniu. Najbardziej wymagająca jest strefa klimatyczna VS – klimat zimny, której różnica zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania w stosunku do modelu obiektu referencyjnego osiąga znaczne wartości (Rys. 54.). Tak samo zaprojektowany obiekt, zlokalizowany w danej strefie klimatycznej może nie spełniać wymagań danego standardu. Im bardziej wymagająca strefa klimatyczna tym większe zapotrzebowanie obiektu na energię potrzebną do ogrzewania.

Podstawowe dane dla modelu obiektu referencyjnego pozwoliły na porównanie ich z danymi modyfikacjami obiektu, które mają wpływ na odbiór architektoniczny obiektu.

6.4.2. Izolacja przegród zewnętrznych

Model budynku referencyjnego skonstruowano w taki sposób, aby spełniał wymagania warunków technicznych. W związku z powyższym przyjęto izolację ścian zewnętrznych styropianem o współczynniku $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$ o grubości 20 cm, dachu wełną mineralną o współczynniku $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$ o grubości 26 cm oraz posadzki na gruncie styrodurem o współczynniku $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$ o grubości 12 cm. Do obliczeń wariantów przyjęto dodatkową izolację w skokach co 10 cm na każdej izolacji (ściany, dachu i podłogi na gruncie) materiałem o lambdzie odpowiadającej materiałowi ocieplenia referencyjnego.

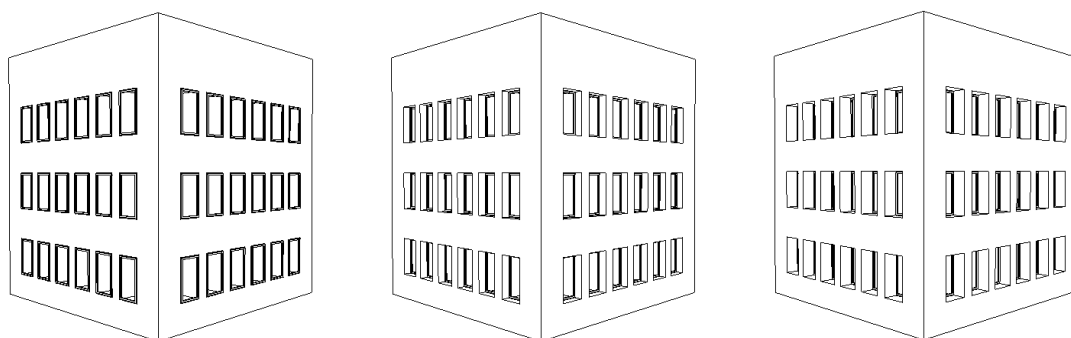


Rysunek 55. Warianty grubości ocieplenia modelu budynku referencyjnego (opracowanie własne).

Powyższy wykres (Rys 55) obrazuje, o ile zmieni się zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania względem dodania grubości ocieplenia. Wraz ze wzrostem grubości izolacji zmniejsza się zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania modelu obiektu referencyjnego. Z wykresu wynika, że istnieje granica, przy której dodawanie grubości ocieplenia przestaje być efektywne. Zmniejszenie zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania jest nieznaczne, a kwota za dodatkowe ocieplenie za wysoka w stosunku do oszczędności związanych ze zmniejszeniem tego zapotrzebowania. Zaznaczyć należy, że punkt 0,0 na wykresie obrazuje wielkość dla modelu budynku referencyjnego zgodne z obowiązującymi przepisami prawa, czyli ocieplenie o grubości 20 cm na ścianach, 26 cm na dachu

i 12 cm posadzki na gruncie. Z powyższego wykresu wynika, że zasadne jest dodanie jeszcze około 20 cm ocieplenia o tym samym współczynniku izolacyjności, jednakże większe ilości ocieplenia nie obniżają znacząco zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania. Oczywiście można zastosować izolację o lepszym współczynniku λ , jednak zawsze wykres prezentuje się w taki sam sposób, po osiągnięciu pewnej grubości zastosowanie grubszej izolacji staje się nieopłacalne.

Grubość ocieplenia ma wpływ na wizerunek budynku (Rys. 56). Grubsza ściana staje się bardziej plastyczna poprzez umożliwienie wpuszczenia okien w głąb ściany.

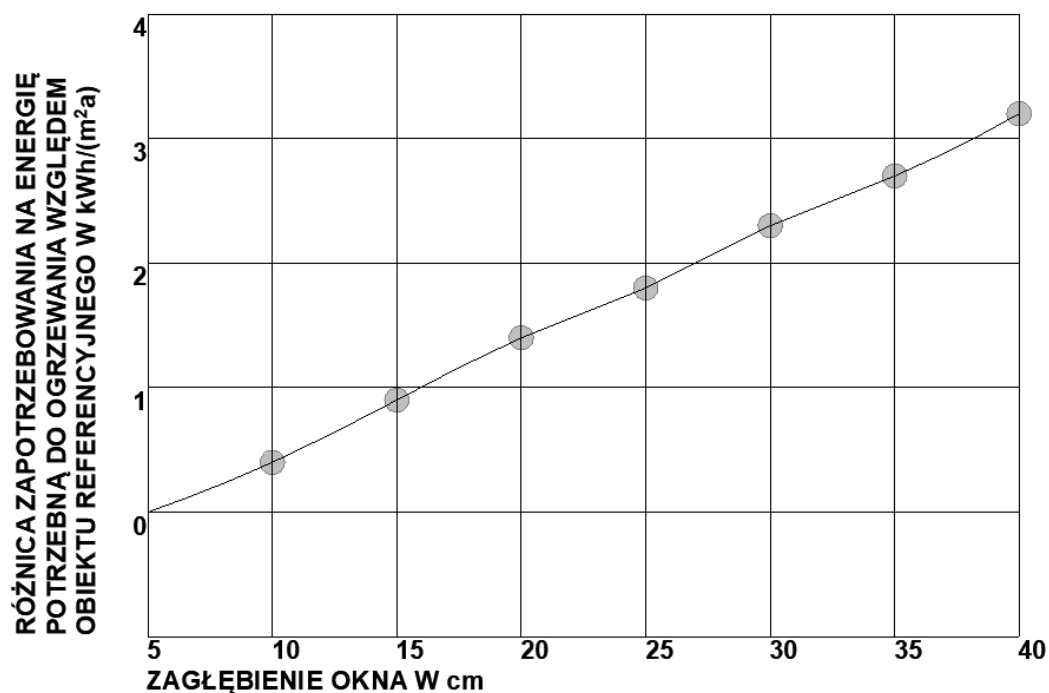


Rysunek 56. Poglądowy wygląd elewacji w zależności od głębokości montażu okien w ścianie (opracowanie własne).

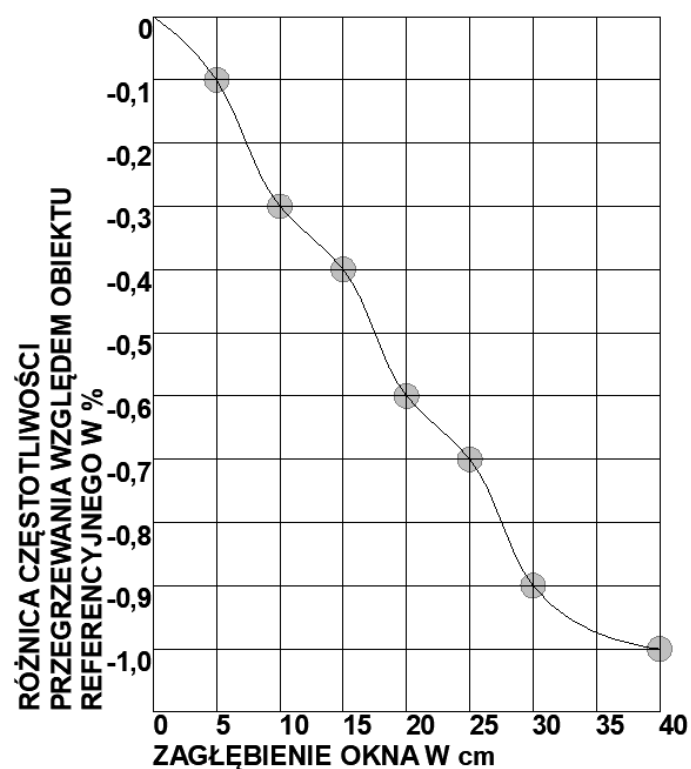
Dla modelu budynku referencyjnego przeliczono, jak wpływa głębokość montażu stolarki w elewacji na zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania oraz na kwestię przegrzewania. Im głębiej w ścianie osadzone okna, tym mniejszy dostęp promieni słonecznych do wnętrza obiektu, co zmniejsza zyski energii cieplnej z promieniowania słonecznego. Poniższe wykresy (Rys. 57. oraz 58.) obrazują te zależności.

Na ich podstawie można stwierdzić, że im głębiej osadzone okno, tym większe zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania budynku względem modelu budynku referencyjnego. Oczywiście jest to niewielki wzrost zapotrzebowania, ale przy dużej ilości rozczłonkowanych okien, może się znacznie powiększyć.

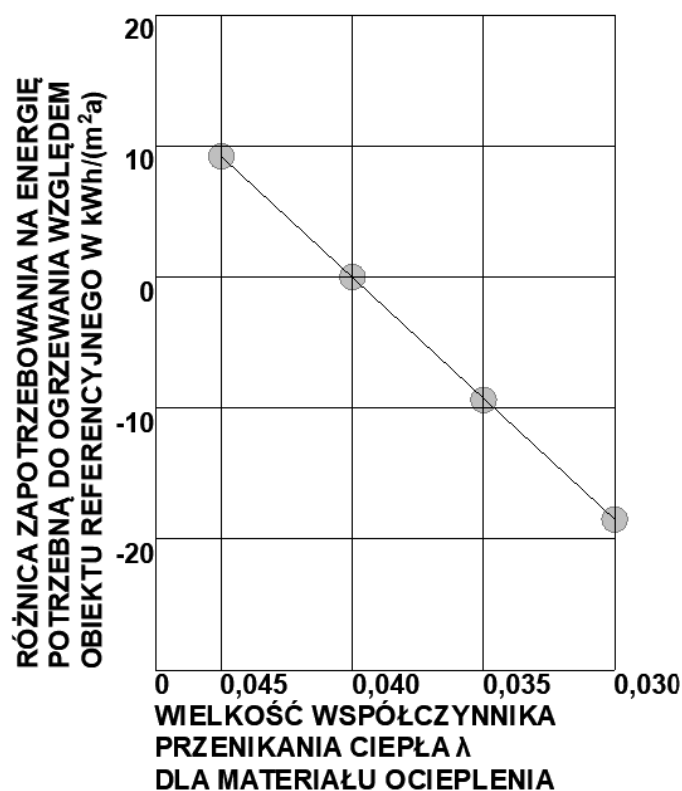
Wraz z zagłębieniem okien w fasadzie zmniejsza się ilość dni, w których występuje przegrzewanie w budynku. Częstotliwość przegrzewania budynku spada. Umożliwia to uzyskanie oszczędności na chłodzeniu budynku.



Rysunek 57. Warianty zagłębienia stolarki w lico ściany modelu budynku referencyjnego – wpływ na zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania (opracowanie własne).



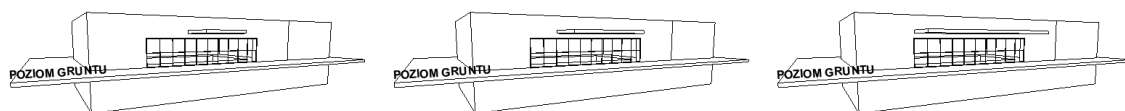
Rysunek 58. Warianty zagłębienia stolarki w lico ściany modelu budynku referencyjnego – wpływ na częstotliwość przegrzewania obiektu (opracowanie własne).



Rysunek 59. Warianty zastosowania materiałów termoizolacyjnych o różnym współczynniku λ na modelu budynku referencyjnego – wpływ na zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania (opracowanie własne).

Powyższy wykres (Rys. 59.) prezentuje, jak zastosowanie materiału izolacyjnego charakteryzującego się korzystniejszym współczynnikiem przenikania ciepła λ wpływa na zmianę zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania. Im niższy współczynnik λ materiału, tym mniejsze zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania. Im lepszej jakości ocieplenie, tym cieńszą warstwę ocieplenia można zastosować. Jednak niezależnie od jakości materiału, zawsze istnieje granica, przy której dokładanie większej grubości materiału staje się nieopłacalne. Zmiana współczynnika przenikania ciepła λ nie daje tak dużych rezultatów, jak zwiększanie grubości izolacji.

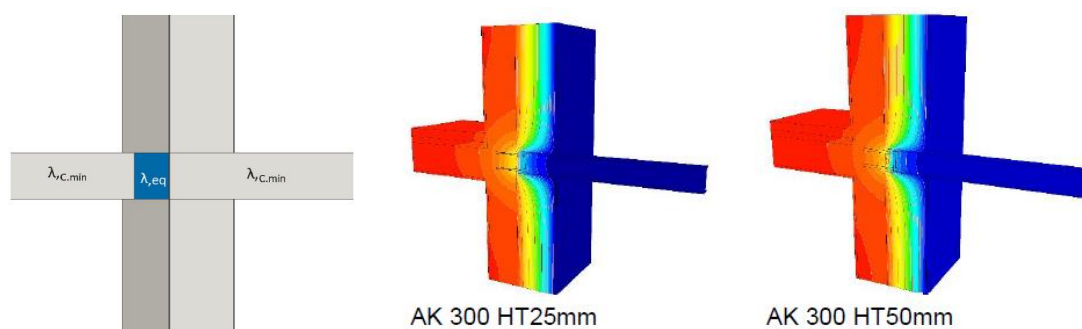
6.4.3. Przykładowe mostki termiczne – zacienienie okien



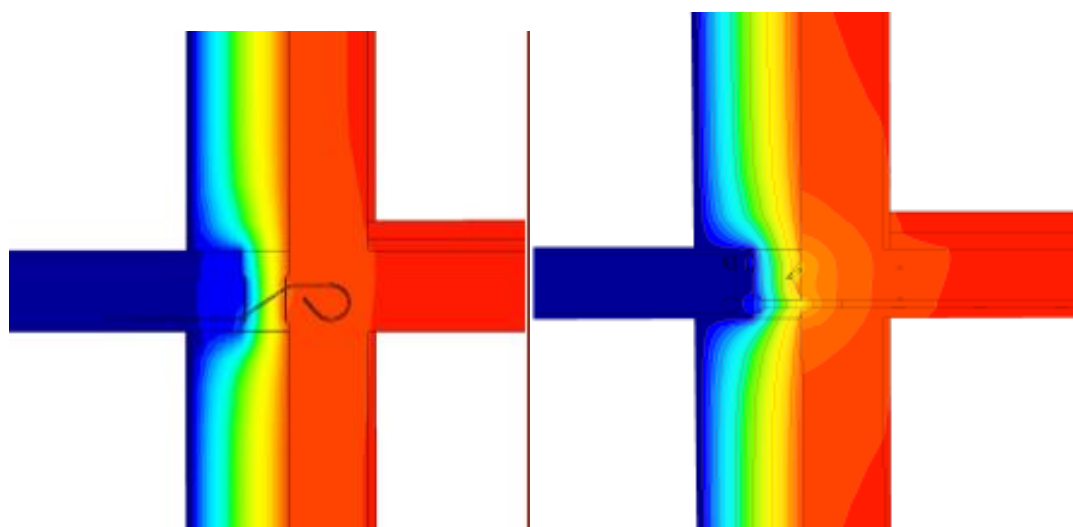
Rysunek 60. Warianty zacienienia przeszkleń (zmienna wielkość płyty) w modelu budynku referencyjnego (opracowanie własne).

Model budynku referencyjnego wyposażono w tym wariantcie w płytę zacieniającą okna o wysięgu 1 m, może ona pełnić rolę balkonu (Rys. 60.). Taki element w zależności od sposobu montażu może powodować znaczne straty ciepła

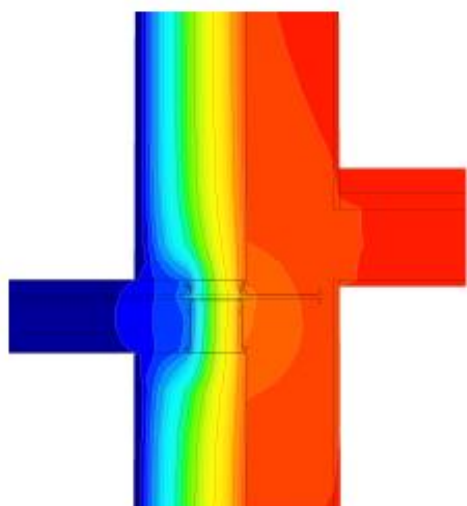
poprzez dodatni, liniowy mostek termiczny. Poniższy wykres (Rys. 64.) prezentuje zmianę zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania wraz z długością tego elementu oraz rodzajem zastosowanego rozwiązania detalu. Do obliczeń przyjęto poniższe rozwiązania: wartość domyślną liniowego współczynnika przenikania ciepła opartego na wymiarach zewnętrznych dla płyty zamocowanej w ścianie z normy [EN ISO 14683:2017], pozostałe rozwiązania zaczerpnięto z systemowych rozwiązań balkonowego łącznika TekTherm™ AK300HT firmy Thermal Breaks LTD (Rys. 61.), balkonowego łącznika Schöck Isokorb®XT Typ Q (Rys. 62.) oraz typ SK firmy Schöck Bauteile GmbH, balkonowego łącznika HIT-SP MVX-0504-18-100-35-OU/-OD firmy Leviat GmbH (Rys. 63.).



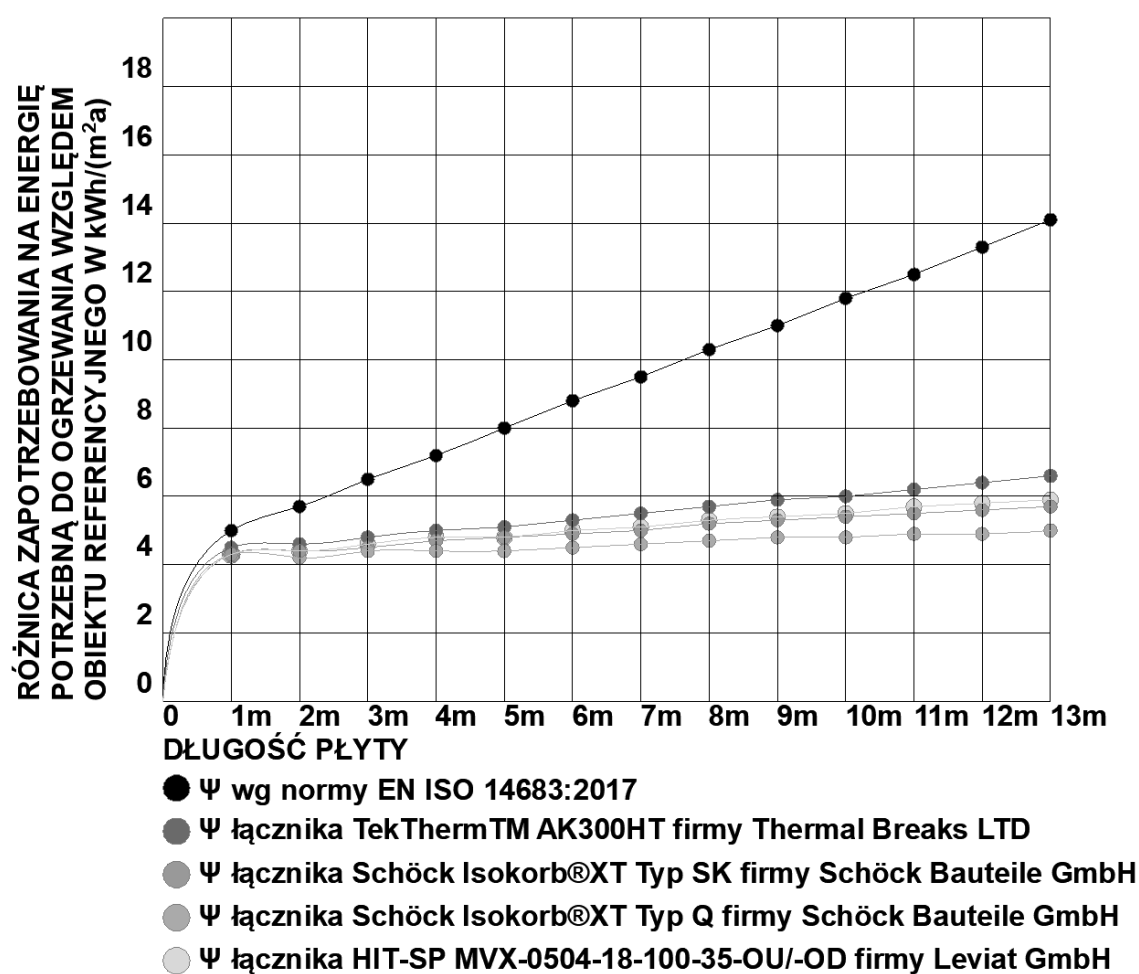
Rysunek 61. Rysunek detalu wraz z termogramami z Certyfikatu komponentu pasywnego ID: 2043bc03 uzyskanego przez produkt TekTherm™ AK300HT firmy Thermal Breaks LTD.



Rysunek 62. Rysunek termogramu łącznika balkonowego z certyfikatu komponentu pasywnego uzyskanego przez produkt Schöck Isokorb®XT Typ Q po lewej oraz Typ SK po prawej firmy Schöck Bauteile GmbH.



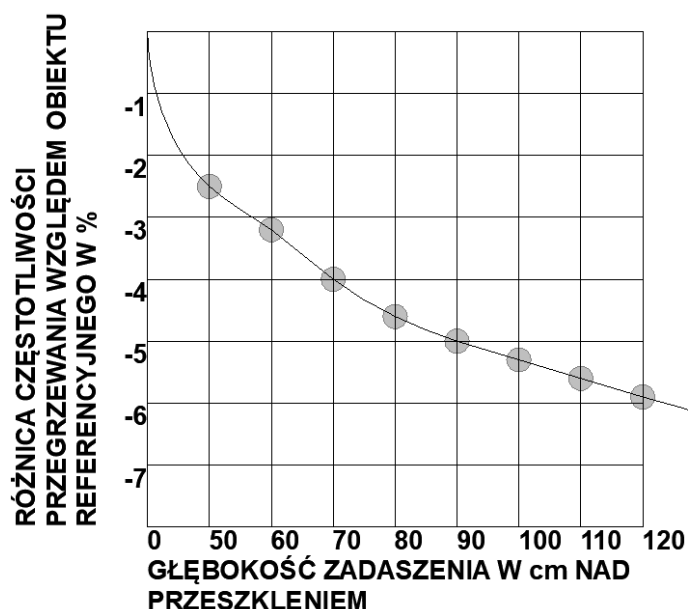
Rysunek 63. Rysunek termogramu łącznika balkonowego z certyfikatu komponentu pasywnego uzyskanego przez produkt HIT-SP MVX-0504-18-100-35-OU/-OD firmy Leviat GmbH.



Rysunek 64. Warianty długości płyty zacieniającej okna oraz sposobu jej montażu w modelu budynku referencyjnego (opracowanie własne).

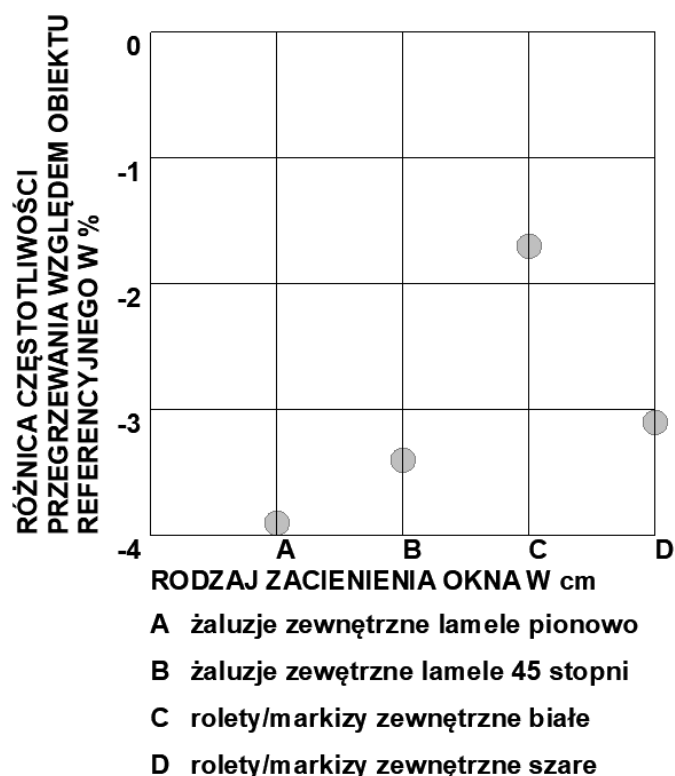
Wykres na Rysunku 64. prezentuje zwiększenie zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania wraz z długością płyty zacieniającej oraz jakością rozwiązania jej montażu. Wykonanie płyty zacieniającej lub balkonu w sposób tradycyjny niesie za sobą stratę ciepła przez dodatni, liniowy mostek – zwiększa się zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania. Przy długości 8 m elementu montowanego z wartością Ψ mostka termicznego przyjętego zgodnie z normą, strata jest porównywalna z odjęciem około 5 cm izolacji na wszystkich przegrodach budynku. Zastosowanie przekładek oraz specjalnych ciepłych kotew zmniejsza stratę ciepła. Jeśli takie zadaszenie ma swoją niezależną konstrukcję, mostek termiczny w ogóle nie występuje.

Wykres (Rys. 65) prezentuje korzyści płynące z zacinienia płytą, wpływające na zmniejszenie ilości dni przegrzewania obiektu. Najwięcej korzyści otrzymuje się przy płycie głębokości 100 cm. Przy dodatkowym zwiększaniu głębokości spadek częstotliwości przegrzewania wynikających z zadaszenia jest niewielki.



Rysunek 65. Warianty głębokości płyty zacieniającej okna w modelu budynku referencyjnego – wpływ na częstotliwość przegrzewania (opracowanie własne).

Przed przegrzewaniem mogą chronić nie tylko płyty zacieniające, lecz również różnego rodzaju żaluzje. Poniższy wykres przedstawia związane z nimi zmniejszenie częstotliwości przegrzewania obiektu. Najkorzystniejsze są żaluzje zewnętrzne w formie pionowych lameli (Rys. 66).



Rysunek 66. Warianty rodzajów zacielenia okna w modelu budynku referencyjnego – wpływ na częstotliwość przegrzewania (opracowanie własne).

6.4.4. Wprowadzenie zieleni w otoczenie budynków – zacielenie od obiektów zewnętrznych

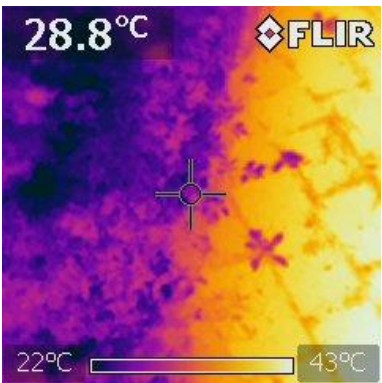
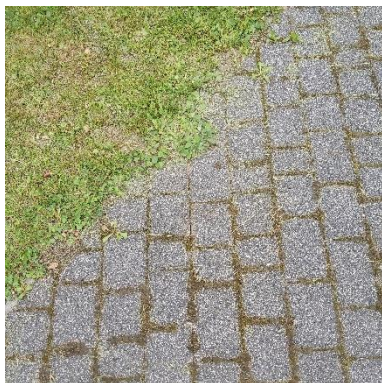
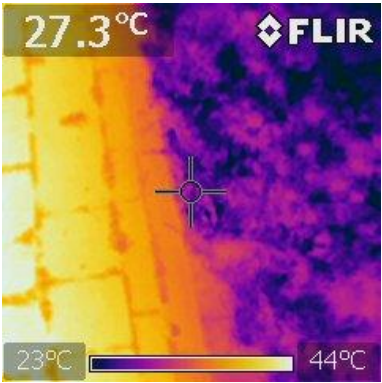
Tereny zurbanizowane wprowadziły wiele zmian do zastanego środowiska przyrodniczego. Środowisko zbudowane takich przestrzeni składa się z dużych połaci betonu, asfaltu, dachów pokrytych różnego rodzaju materiałami na przykład czarnym bitumem. Wszystkie te elementy powodują znaczne, miejscowe zmiany warunków klimatycznych. Ograniczona roślinność nie zacielenia ani nie reguluje wilgotności powietrza. Brak zbiorników wodnych odbija się na zachwianiu równowagi klimatycznej. Nad zabudową miejską powstają miejskie wyspy ciepła [Błażejczyk et al 2014], [EPA 2023], [Kalinowska 2015]. Wiąże się to również z przegrzewaniem obiektów budowlanych. W Polsce od lat 60. obserwuje się wzrost rocznej liczby dni o temperaturze przekraczającej 30° C z kilku do kilkunastu [Nauka o klimacie 2021]. W związku z powyższym w terenach zurbanizowanych należy zwiększać ilość powierzchni pokrytych zielenią. Bardzo ważne jest stosowanie rozwiązań, umożliwiających zacielenie. Najkorzystniej obniżają temperaturę i wpływają na mikroklimat wysokie drzewa, dalej trawniki, zielone dachy oraz zielone elewacje. Dużą skuteczność wykazują również jasne kolory zastosowane na budynkach, powierzchniach utwardzonych czy otwartych zadaszeniach. Obniżają one temperaturę i odbijają promieniowanie (albedo) [Gerlic 2022], [Gerlic 2014]. Lokalne obniżenie temperatury w przestrzeniach, gdzie zastosowano tego typu rozwiązania, umożliwia rzeczywiste obniżenie kosztów potrzebnych do chłodzenia.

Mniejsze zużycie energii potrzebnej do klimatyzacji sprawia, że przestrzeń i obiekty są bardziej ekologiczne i pasywne. Dlatego też konieczne jest nie tylko projektowanie samych budynków, ale również ich bezpośredniego otoczenia.

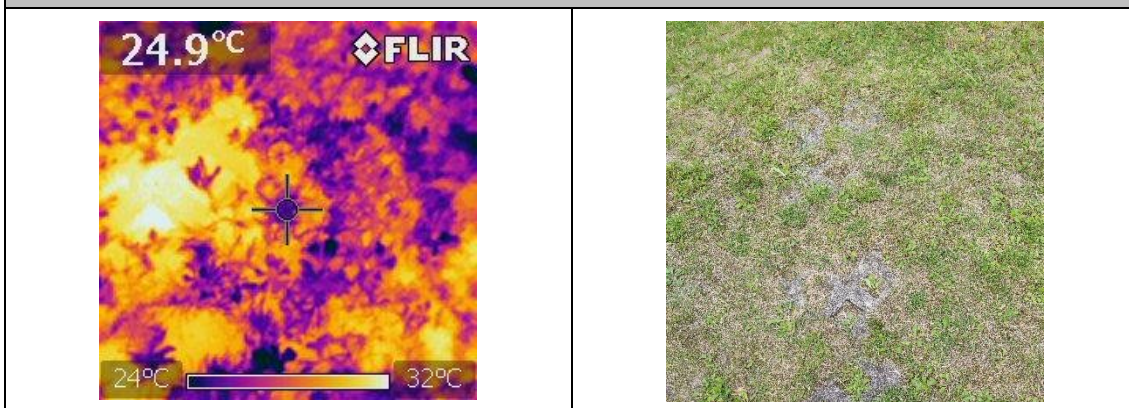
Poniżej przedstawiono termograf ukazujący różnicę temperatur pomiędzy trawą, a chodnikiem wykonanym z kostki betonowej. Przeprowadzone badania wykazały, że w słoneczny, ciepły dzień, niezależnie od temperatury zewnętrznej powietrza, temperatura utwardzenia zawsze przewyższała temperaturę trawnika znajdującego się w bezpośrednim sąsiedztwie. Niezależnie od zastosowanego materiału, z jakiego wykonana została nawierzchnia utwardzona, trawnik wykazywał niższą temperaturę. Oczywiście ani trawnik, ani powierzchnia utwardzona podczas badań nie znajdowały się w cieniu.

Poniższa Tabela 25. pokazuje przykładowe termogramy ukazujące różne nawierzchnie w tym samym dniu, o tej samej godzinie. Badania organoleptyczne potwierdziły, że kostka betonowa była cieplejsza w dotyku, niż trawa. Nagrzane ciemne powierzchnie mogą poparzyć człowieka, podczas gdy sąsiadujące z nimi powierzchnie jasne są przyjemne w dotyku, bo ich temperatura jest znacznie niższa.

Tabela 25. Przykładowe termogramy różnych nawierzchni wraz z ich fotografiami (opracowanie własne).

Termogram ukazujący trawnik oraz powierzchnię utwardzoną kostką betonową.	
	
Termogram ukazujący różnicę temperatur pomiędzy nawierzchnią utwardzoną, a nawierzchnią z ażurowych płyt betonowych obrosniętych trawą.	
	

Termogram ukazujący powierzchnię z betonowych płyt ażurowych przerośniętych trawą



Różne kolory charakteryzują się zdolnością do odbijania fal elektromagnetycznych określonej częstotliwości. Kolor biały odbija wszystkie widzialne kolory, a czerń pochłania całą energię promieniowania, czyli nie ma żadnych zdolności odbijania. Parametr fotometryczny wprowadzony przez Johanna Heinricha Lamberta, określa zdolność odbijania promieni przez daną powierzchnię zwaną albedo [Flis 1999], [Wróblewski 2020], [Hulley 2012]. Całkowite pochłanianie ma wartość 0, a całkowite odbicie promieniowania wartość 1. Trawa, drzewa liściaste i iglaste mają podobną wartość albedo 0,10-0,20. W podobnych wartościach mieści się również wartość dla betonu 0,17-0,27.

Różnica polega na tym, że zieleń transpiruje wodę, co ochładza powietrze nad nią. Takie zjawisko nie występuje przy powierzchniach z betonu, między innymi dlatego powierzchnie z betonu znacznie bardziej się nagrzewają, pomimo tego, że odbijają światło w podobnym zakresie jak trawy i drzewa. Dodatkowo trawnik pochłaniając część promieniowania wykorzystuje je do wzrostu, co zużywa energię. Nawierzchnie sztuczne, gdy są mokre, również parując ulegają schłodzeniu, dlatego korzystne jest stosowanie pod parkingi i na ścieżkach odpowiednich nawierzchni szutrowych, zatrzymujących po deszczach część wody i mających zdolność parowania przez dłuższy czas.

Na świecie powstała idea walki z ciemnymi pokryciami dachów (papą, ciemnymi dachówkami, ciemną blachą itp.). Badania wskazują możliwość obniżenia temperatury pokrycia dachowego nawet o 40° C [Kuczyńska et al 2016]. Taki zabieg zastosowano na dachu budynku be2226 zasypując czarną papę białym żwirem. Dobrym rozwiązaniem jest również zastosowanie zielonego dachu, który nie tylko obniża temperaturę pokrycia latem, lecz również podwyższa izolacyjność dachu, poprzez dodaną warstwę substratu oraz roślin.

Jak wspomniano przy omawianiu budynku be2226 bardzo istotna jest zdolność akumulowania ciepła przez poszczególne materiały budowlane. Dobrym przykładem jest ściana Trombe'a (znana już w 1881 roku, udoskonalona i opatentowana przez Felixa Trombe'a w roku 1972) wykorzystująca zarówno ciemny kolor, jak i zdolność materiału do akumulacji ciepła i wypromieniowania go do

chłodniejszej przestrzeni. Styropian ma objętościową pojemność ciepła na poziomie 29 J/m³K, gdzie mur ceglany ma już 1 584 J/m³K. Dlatego też w budynku be2226 zastosowano podwójny mur z pustaków izolacyjnych w całym przekroju ściany jako konstrukcję i ocieplenie. Woda ma najwyższą objętościową pojemność ciepła 4 190 J/m³K, dlatego też przed budynkiem be2226 zastosowano zbiornik wodny, w celu polepszenia mikroklimatu przy budynku. Dla porównania drewno sosnowe ma objętość pojemnościową ciepła na poziomie 1 380 J/m³K [PN-EN ISO 12524:2003], [PN-EN ISO 6946:1999], [PN-B-02020:1991].

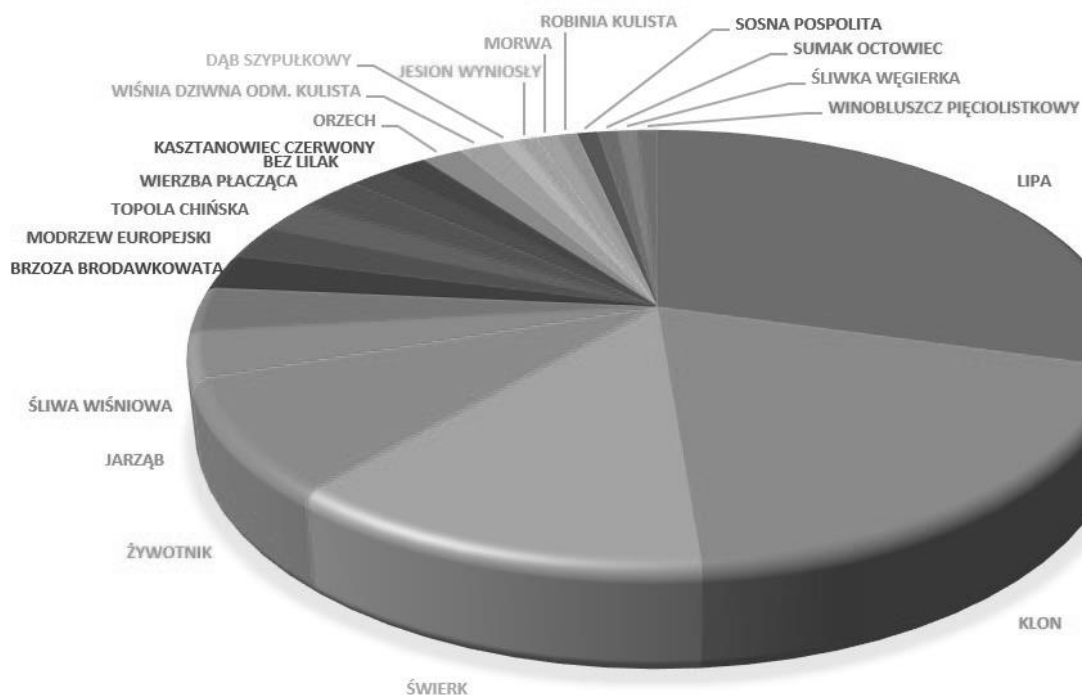
Bardzo istotne jest wprowadzanie zieleni i koloru do projektów budynków oraz zagospodarowania, ale robienie tego w sposób przemyślan i celowy. Projekt zagospodarowania wpływa na rozwiązania architektoniczne i energetyczne budynków. Poniżej przedstawiono analizę zadrzewienia znajdującego się w centrum miasta. Specjalnie podjęto się badań na istniejącej zieleni wysokiej znajdującej się w mieście, aby pokazać, jakie gatunki drzew radzą sobie w nieprzyjnym środowisku miejskim.

Do badań wybrano siedlisko typowe dla centrum miasta. Badanie przeprowadzone było na stanowisku w centrum Pruszkowa, województwo Mazowieckie. Wybrane drzewa stanowiły drzewa wieloletnie, rosnące w warunkach miejskich, pomiędzy drogami i budynkami. Nie badano roślinności występującej w parkach i na obrzeżach centrum miasta. Wszystkie przebadane drzewa wykazywały się przyrostem i zdrowiem, pomimo niesprzyjających warunków. W mieście istnieje mała ilość przestrzeni wegetatywnej. Systemy korzeniowe muszą znajdować wodę pomiędzy podbudowami chodników i ulic. Istotne jest, aby system korzeniowy nie niszczył infrastruktury. Zanieczyszczenia pochodzące od samochodów nie sprzyjają roślinom. Dodatkowo w samym centrum miasta zimą na drogach i chodnikach stosuje się sól w celu zapobiegania oblodzeniu. Pomimo tych niekorzystnych warunków przebadane gatunki drzew radziły sobie w tym zbudowanym środowisku. Celem autorki było zbadanie wpływu najczęściej występujących w centrum miasta gatunków drzew na warunki termiczne panujące w budynku. Każde miasto charakteryzuje się innym ekosystemem. Drzewa i krzewy mają wpływ na mikroklimat miejsca inwestycji projektowanych obiektów. Pełnią rolę ochrony przed wiatrem, zwiększają wilgotność powietrza i gleby [Orzeszek-Gajewska 1984]. Wytwarzają tlen, pochłaniając dwutlenek węgla równocześnie oczyszczając powietrze (w komórkach roślinnych dochodzi do rozkładu zanieczyszczeń), dają również cień i ochłodę [Woźny 2015]. Badania Aleksandra i Szymona Łukasiewiczów wykazały, że temperatura powierzchni terenu w okresie letnich upałów w przestrzeni drzew rosnących w kilkunastu rzędach tworzących pasy zieleni wynosiła 22-34° C, a w przestrzeni miejskiej 55-60° C [Łukasiewicz et al 2011]. Badanie wskazuje konieczność wykonania dalszych badań szczegółowych w tym zakresie. Uzyskane z badania informacje pozwoliły na przeprowadzenie przykładowych obliczeń – symulacji zacienienia obiektu w programie PHPP. Należy również zwrócić uwagę, że roślinność, w tym drzewa, to organizmy żywe. Zmieniają się w czasie, przyrastają, nie ma dwóch jednakowych drzew. To samo drzewo za kilka

lat będzie mieć inny kształt i inną ilość liści. Warunki panujące w czasie rozwoju drzewa mają wpływ na jego kształt i pokrój. Dlatego też do obliczeń przyjęto uśrednione wartości. Gdy projektowany obiekt sytuujemy na działce zadrzewionej, mamy do czynienia z dojrzałymi drzewami, których wpływ da się zbadać. Wpływ nasadzenia nowych drzew można jedynie przewidywać.

Tabela 26. Procentowy udział przebadanych gatunków drzew na wybranym stanowisku (opracowanie własne).

Nazwa Polska drzewa	Udział procentowy
Lipa holenderska	25,24%
Klon pospolity odm. Kulista	9,24%
Żywotnik zachodni	7,56%
Świerk pospolity	5,88%
Świerk srebrzysty	5,04%
Lipa szerokolistna	4,20%
Klon pospolity Crimson Sentry	3,36%
Śliwa wiśniowa	3,36%
Brzoza brodawkowata	2,52%
Klon jesionolistny	2,52%
Modrzew europejski	2,52%
Topola chińska	2,52%
Wierzba płacząca	2,52%
Bez lilak	1,68%
Jarząb szwedzki	1,68%
Jarząb pospolity	1,68%
Kasztanowiec czerwony	1,68%
Klon jawor	1,68%
Klon zwyczajny Drumondi	1,68%
Świerk serbski	1,68%
Wiśnia dziwna odm. kulista	1,68%
Dąb szypułkowy	0,84%
Jesion wyniosły	0,84%
Klon pospolity	0,84%
Morwa	0,84%
Orzech czarny	0,84%
Orzech włoski	0,84%
Robinia kulista	0,84%
Sosna pospolita	0,84%
Sumak octowiec	0,84%
Śliwka węgierka	0,84%
Żywotnik olbrzymi	0,84%
Winobluszcz pięciolistkowy	0,84%
Łączny udział	100,00%

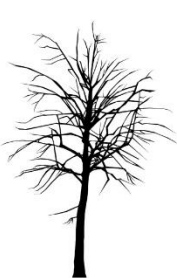
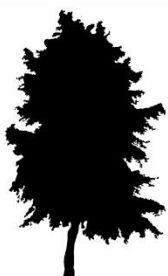


Rysunek 67. Udział przebadanych gatunków drzew w wybranym siedlisku bez podziału na odmiany (opracowanie własne).

Do dalszych badań przyjęto najczęściej występujące gatunki i odmiany (Tabela 26. oraz Rys. 67.): analizie zacienienia poddano pięć lip holenderskich, pięć klonów pospolitych odmian kulistych, pięć żywotników zachodnich oraz pięć świerków pospolitych, najczęściej występujących w wybranym siedlisku. Należy zawsze brać pod uwagę, że drzewa są organizmami żywymi i różnią się od siebie. W związku z tym, podane wielkości należy traktować jako przybliżone.

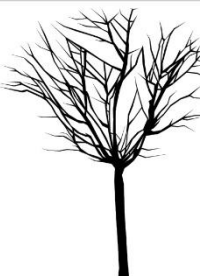
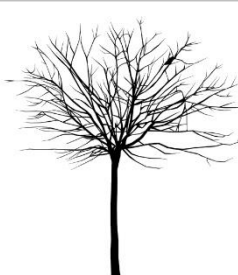
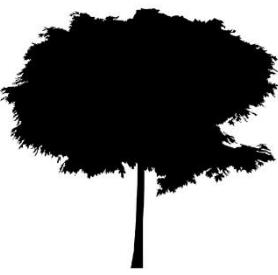
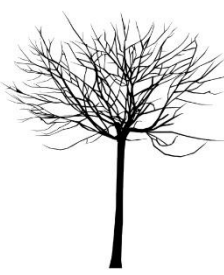
Do obliczeń przyjęto powierzchnię obrysu całości drzewa jako 100% zacienienia. Łączną powierzchnię liści jako cień rzucany w lecie oraz powierzchnię obrysu pnia i głównych konarów i gałęzi jako cień rzucany zimą.

LIPY HOLENDERSKIE

OBRYS DRZEWA	CIEŃ RZUCANY W LECIE	CIEŃ RZUCANY ZIMĄ
		
100%	93,10%	14,11%
		
100%	90,68%	15,76%
		
100%	88,24%	11,37%
		
100%	96,36%	15,22%
		
100%	95,75%	14,31%

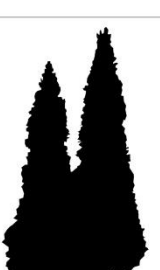
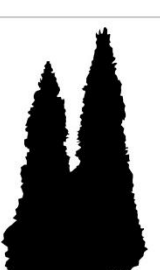
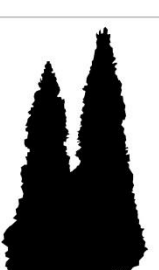
Rysunek 68. Procent zacienienia dla przebadanych lip holenderskich (opracowanie własne).

KLONY POSPOLITE

OBRYS DRZEWA	CIEŃ RZUCANY W LECIE	CIEŃ RZUCANY ZIMĄ
		
100%	97,02%	22,44%
		
100%	97,78%	23,52%
		
100%	98,03%	18,81%
		
100%	97,55%	15,80%
		
100%	97,21%	16,19%

Rysunek 69. Procent zacienienia dla przebadanych klonów pospolitych (opracowanie własne).

ŻYWOTNIKI ZACHODNIE

OBRYS DRZEWA	CIEŃ RZUCANY W LECIE	CIEŃ RZUCANY ZIMĄ
		
100%	94,27%	94,27%
		
100%	96,63%	96,63%
		
100%	98,84%	98,84%
		
100%	99,87%	99,87%
		
100%	99,80%	99,80%

Rysunek 70. Procent zacienienia dla przebadanych żywotników zachodnich (opracowanie własne).

ŚWIERKI POSPOLITE

OBRYS DRZEWA	CIEŃ RZUCANY W LECIE	CIEŃ RZUCANY ZIMĄ
		
100%	96,63%	96,63%
		
100%	94,50%	94,50%
		
100%	94,89%	94,89%
		
100%	95,02%	95,02%
		
100%	91,97%	91,97%

Rysunek 71. Procent zacienienia dla przebadanych świerków pospolitych (opracowanie własne).

Z przeprowadzonych badań wynika, że drzewa iglaste zacierniają obiekty w sposób ciągły na przestrzeni roku. Takie samo zacienienie dają zimą, jak i latem, ale zimą ich cień jest dłuższy, może przesłaniać większą powierzchnię okien. Większą powierzchnią zacienienia charakteryzują się młode, zwarte żywotniki zachodnie i okazy regularnie przycinane (Rys. 70.). Dają nawet 99,8% zacienienia. Świerki pospolite (Rys. 71.) również charakteryzują się gęstym, zwartym kształtem i zacienieniem o wielkości w zakresie 91,97% - 96,63%.

Drzewa liściaste mają inną charakterystykę. W lecie, gdy należy chronić budynek przed przegrzaniem, zacierniają go, natomiast zimą, kiedy zyski od słońca są pożądane, opadłe liście odsłaniają konary, które zacierniają obiekt jedynie w niewielkiej ilości.

Lipy holenderskie (Rys. 68.) w lecie zacierniają w przedziale od 88,24% do 96,36%, natomiast zimą, w przedziale od 11,37% do 15,76%. Różnica pomiędzy powierzchnią zacieniania zmniejsza się w zakresie od 82,62% do 87,11%.

Klony pospolite (Rys. 69.) w lecie zacierniają w przedziale od 98,03% do 97,02%, natomiast zimą, w przedziale od 15,80% do 23,52%. Różnica pomiędzy powierzchnią zacieniania zmniejsza się w zakresie od 75,95% do 83,80%.

Większą różnicą zacienienia zimą i latem charakteryzują się lipy holenderskie. Pełniejsze zacienienie latem dają klony pospolite.

Na kwestię zacieniania fasad przeszklonych drzewami należy spojrzeć szerzej. Spodziewać się można samych korzyści, jakie płyną z ograniczenia dni, w których obiekt się przegrzewa, jednak należy również wziąć pod uwagę kwestie związane z ograniczeniem pozyskiwania ciepła solarnego. Do obliczeń przyjęto kilka wariantów zacienienia modelu obiektu referencyjnego szpalerem drzew.

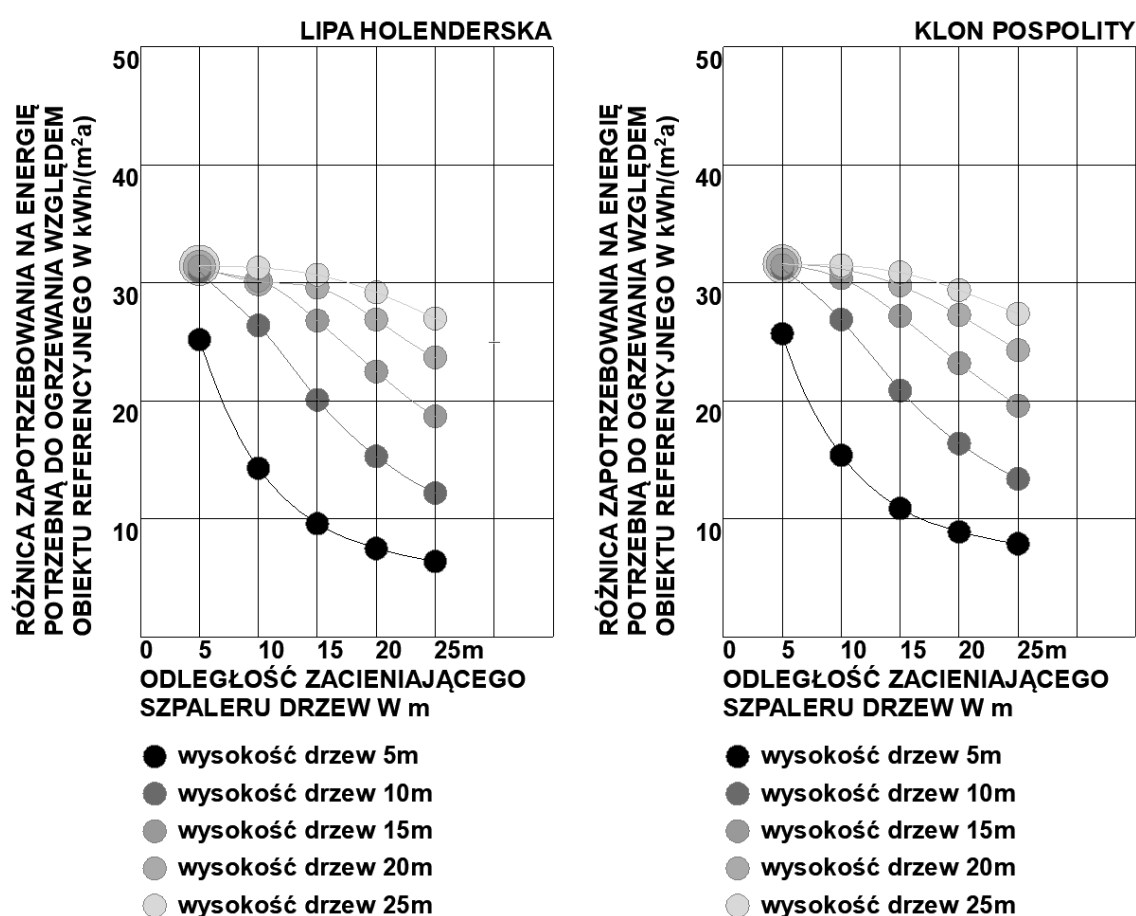
Ochrona obiektu przed przegrzaniem z wykorzystaniem drzew

Z przeprowadzonych w pakiecie PHPP obliczeń wariantów zacienienia modelu obiektu referencyjnego, lipy holenderskie wykazują ochronę przed przegrzewaniem obiektu na poziomie od 9% do 9,7%. O tyle procent wyliczono obniżenie częstotliwości przegrzewania obiektu w zależności od wielkości i lokalizacji szpaleru drzew względem przeszklonej elewacji. Klony pospolite charakteryzowały się obniżeniem częstotliwości przegrzewania na poziomie od 9,6% do 9,8%, żywotniki zachodnie od 9,6% do 9,8%, a świerki pospolite od 9,2% do 9,7%.

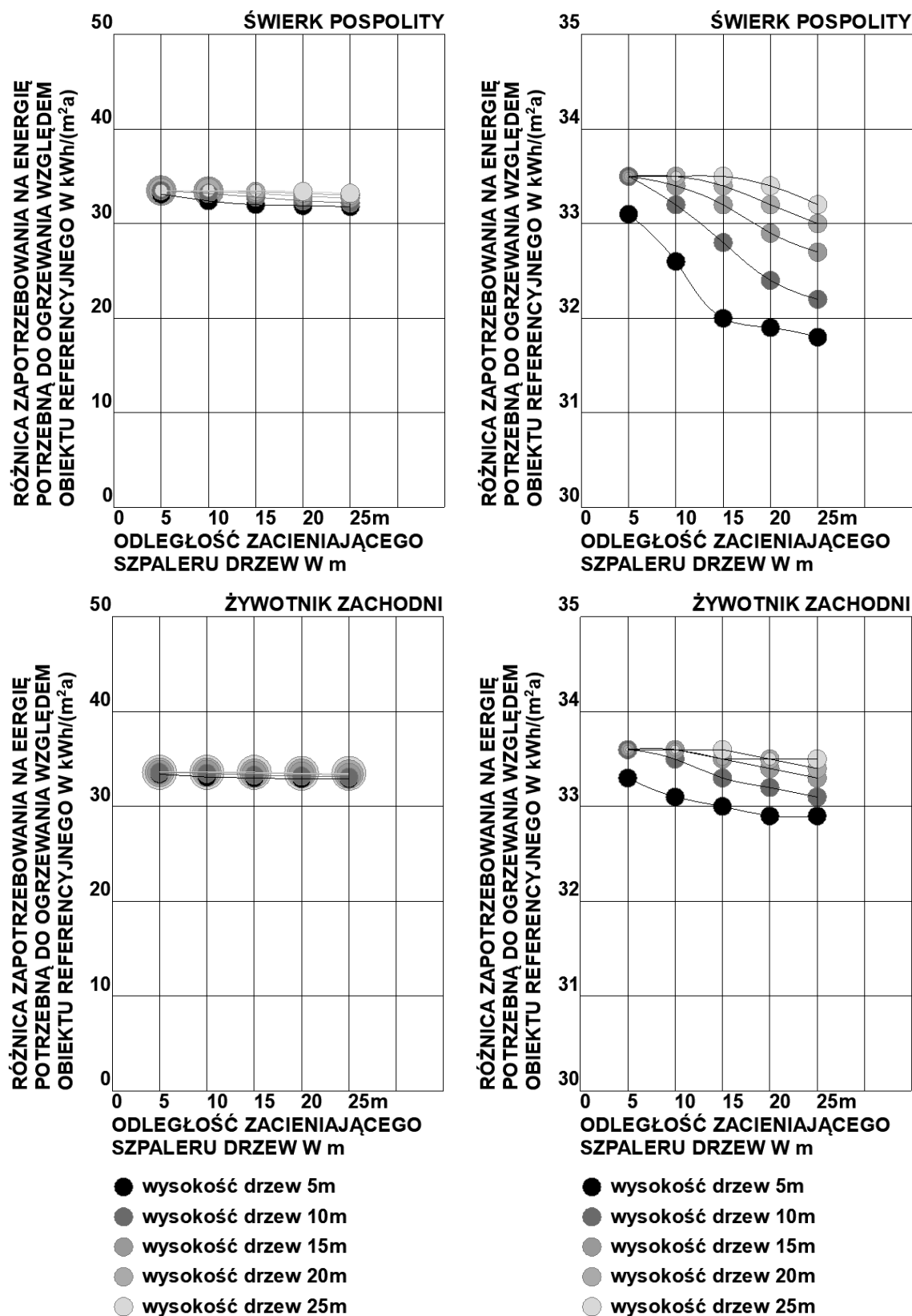
Wynika stąd, że korzyści związane z ograniczeniem przegrzewania obiektu latem w przypadku drzew liściastych i iglastych kształtują się podobnie.

Zmniejszenie zysków ciepła od słońca szpalerem drzew

Poniżej przeprowadzono obliczenia związane z wpływem rodzaju drzew na zmniejszenie zysków ciepła od słońca, a co za tym idzie zwiększeniem zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania. Poniższe wykresy (Rys. 72., 73 oraz 74.) prezentują zależność różnicy (wartość zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania obiektu przesłoniętego szpalerem drzew posadzonych przed przeszkloną elewacją hali basenowej minus wartość referencyjna zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania) w zależności od rodzaju drzewa, jego wysokości oraz odległości od elewacji.

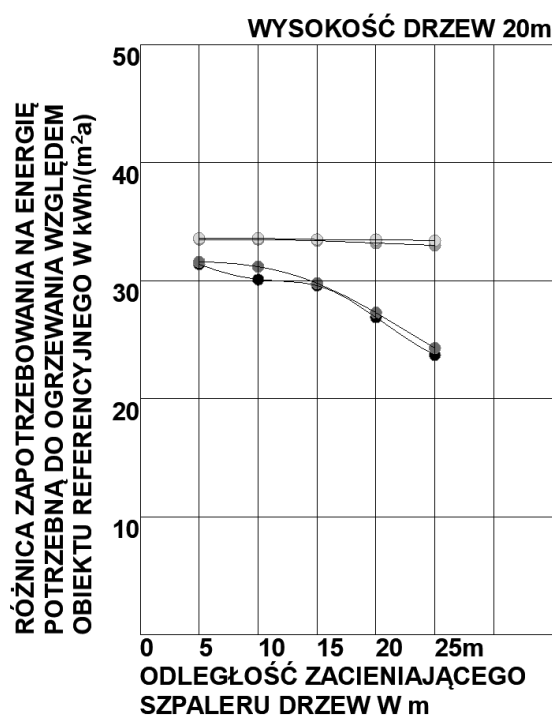
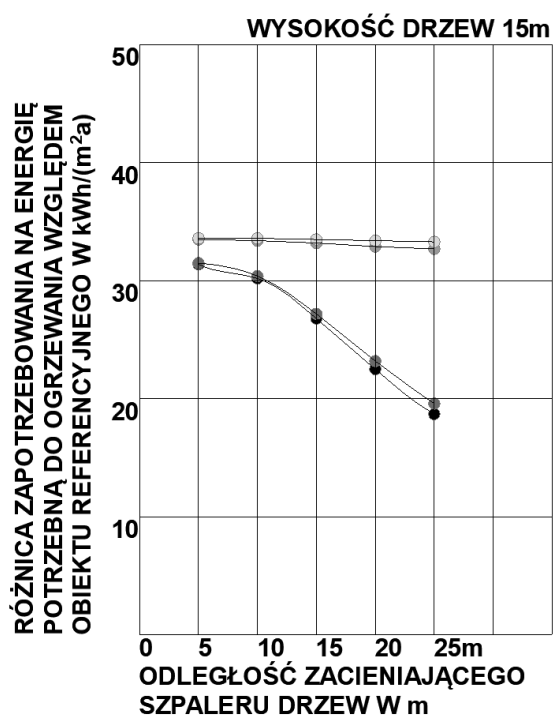
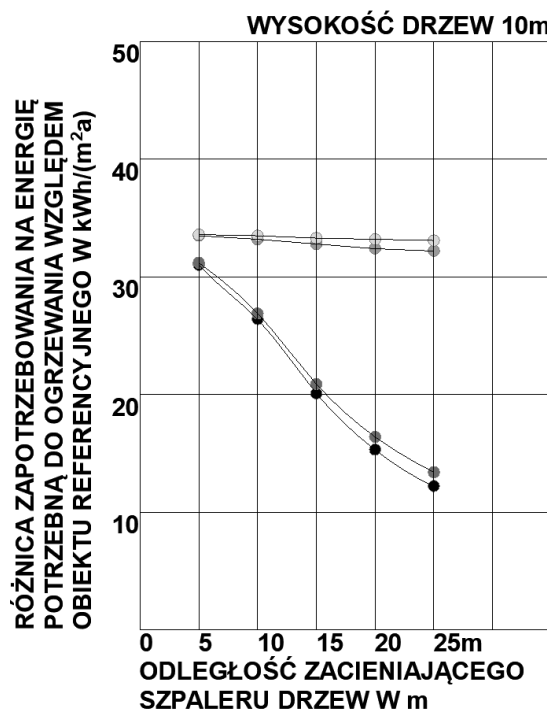
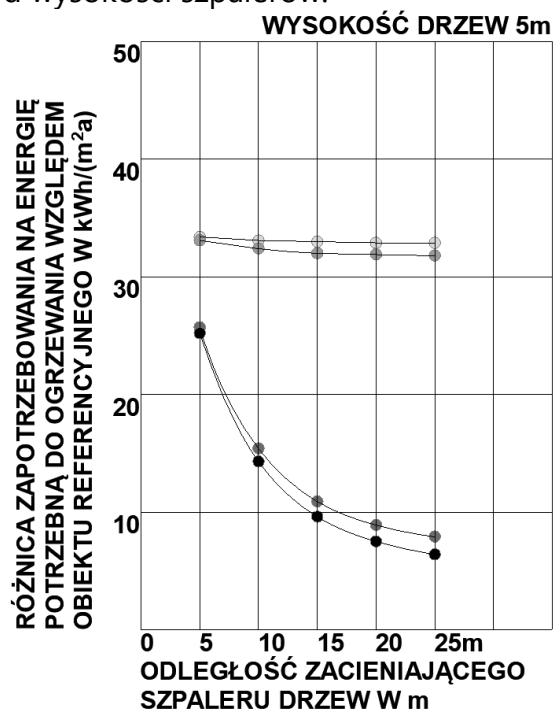


Rysunek 72. Warianty zacienienia modelu budynku referencyjnego szpalerem drzew liściastych różnych gatunków (opracowanie własne).



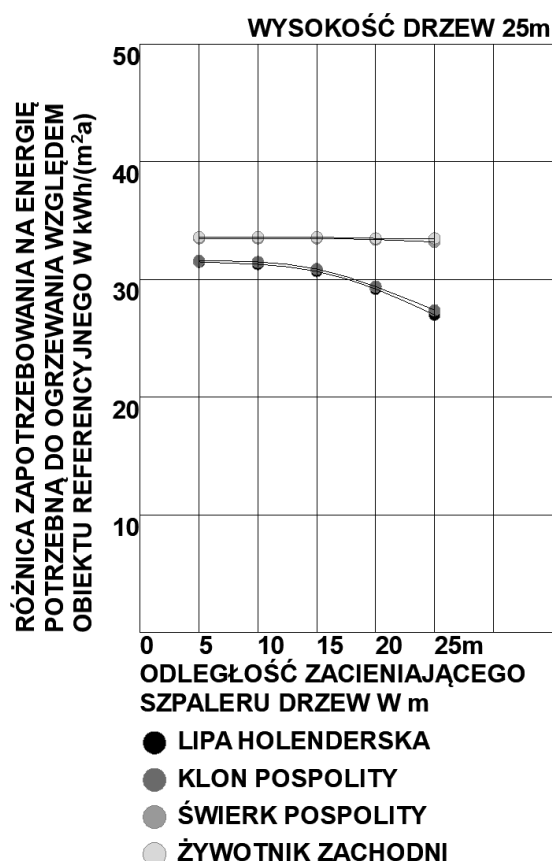
Rysunek 73. Warianty zacienienia modelu budynku referencyjnego szpalerem drzew iglastych różnych gatunków (opracowanie własne). Dla porównania z wykresami drzew liściastych przedstawiono wykresy w zakresie osi pionowej od 0 do 50 kWh/(m²a), a dla uczytelnienia wyników przedstawiono wykresy przyjmując zmniejszony zakres wartości na osi pionowej od 30 do 35 kWh/(m²a).

Obliczenia rocznego zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania dla modelu budynku referencyjnego zaciennionego szpalerem drzew różnego gatunku umieszczonym w różnej odległości od przeszklonej elewacji wykonane zostały w programie PHPP. Poniższe zestawienia wykresów umożliwiają porównanie danych dla różnych gatunków drzew zarówno iglastych, jak i liściastych w zależności od wysokości szpalerów.



- LIPA HOLENDERSKA
- KLON POSPOLITY
- ŚWIERK POSPOLITY
- ŻYWOTNIK ZACHODNI

- LIPA HOLENDERSKA
- KLON POSPOLITY
- ŚWIERK POSPOLITY
- ŻYWOTNIK ZACHODNI



Rysunek 74. Porównanie wariantów zacienienia modelu budynku referencyjnego szpalerami drzew liściastych oraz iglastych różnych gatunków (opracowanie własne). Zestawiono różne gatunki drzew w podziale na wysokość szpaleru.

Drzewa liściaste w zależności od odległości od fasady mają tendencję do różnego ograniczania zysków ciepła. Im wyższe drzewo i im bliżej fasady przeszklonej jest posadzone, tym bardziej wpływa na zwiększenie zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania hali basenowej.

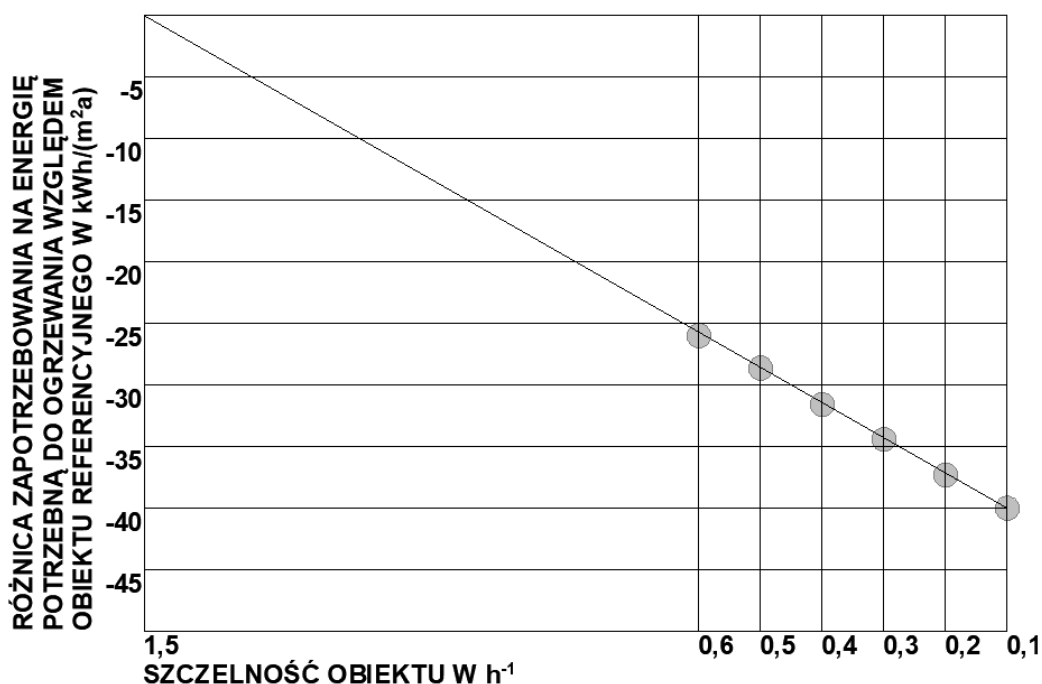
Zgodnie z obliczeniami wykonanymi w programie PHPP drzewa iglaste niezależnie od odległości od fasady wykazują podobne wartości zwiększenia zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania hali basenowej. Znacznie ograniczają zyski ciepła. Drzewa iglaste pięciometrowe powodują podobne zacienienie, co takie dwudziestopięciometrowe. Dla bardzo zwartych drzew liściastych charakteryzujących się dużą gęstością korony, a co za tym idzie prawie całkowitym zacienieniem, nawet odległość od elewacji nie zmniejsza ograniczenia zysków ciepła.

Z powyższych obliczeń wykonanych w programie PHPP wynika, że sadzenie drzew liściastych czy iglastych przed przeszkloną elewacją w podobnym zakresie wpływa korzystnie na obniżenie częstotliwości przegrzewania obiektu latem. Jednakże w okresie zimowym zacienienie przeszklonych elewacji ogranicza zyski ciepła od słońca, powodując zwiększenie zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania budynku. Drzewa iglaste posadzone przed fasadą niezależnie od odległości i wysokości zwiększają zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania. Najkorzystniej jest utrzymać korzyści obniżenia częstotliwości przegrzewania obiektu równocześnie najmniej tracąc zyski ciepła od słońca poprzez sadzenie niskich drzew liściastych do 5 m wysokości w odległości od 15 m do 20 m

od przeszklonej fasady. Hala basenowa charakteryzuje się wysoką temperaturą wewnętrzną powyżej 30° C. Korzystne jest tu pozyskiwanie ciepła, ale przegrzewanie może również wystąpić. Na halach basenowych nie stosuje się klimatyzacji, stąd wskazane jest zastosowanie rozwiązań pasywnego ograniczania częstotliwości przegrzewania. Podczas projektowania obiektów pasywnych należy zwrócić uwagę na projekt zagospodarowania terenu uwzględniający dobór nasadzeń odpowiedniej wysokości, jak również zwrócenie uwagi na istniejący drzewostan. Powyższe badania mają na celu uzmysłowienie architektom, że zastane warunki zadrzewienia również wpływają na zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania. Zacienienie przeszklonej elewacji już istniejącym drzewostanem ma niebagatelny wpływ na wartości zysków cieplnych przyjmowanych w obliczeniach. I nie tylko wpływa na obniżenie częstotliwości przegrzewania obiektu.

6.4.5. Szczelność powłoki budynku

Szczelność powłoki budynku ma wpływ na zapotrzebowanie obiektu na energię potrzebną do ogrzewania. Model budynku referencyjnego założono jako budynek zgodny z obowiązującymi przepisami prawnymi. W związku z powyższym obliczany jest dla wartości 1,5 h⁻¹ szczelności powietrznej przy funkcjonowaniu wentylacji mechanicznej. Budynki pasywne mają wymóg minimalnej szczelności powietrznej na poziomie 0,6 h⁻¹. Poniższy wykres prezentuje zmniejszenie zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania uzyskane jedynie poprzez zwiększenie szczelności budynku. Przy modelu budynku referencyjnego, jakim jest hala basenowa, szczelność powietrzna ma dodatkowe znaczenie. Przedostawanie się pary wodnej, zawierającej podwyższone stężenie chloru i innych związków chemicznych, do przegród budowlanych powoduje uszkodzenia konstrukcji.



Rysunek 75. Warianty szczelności modelu budynku referencyjnego – wpływ na zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania (opracowanie własne).

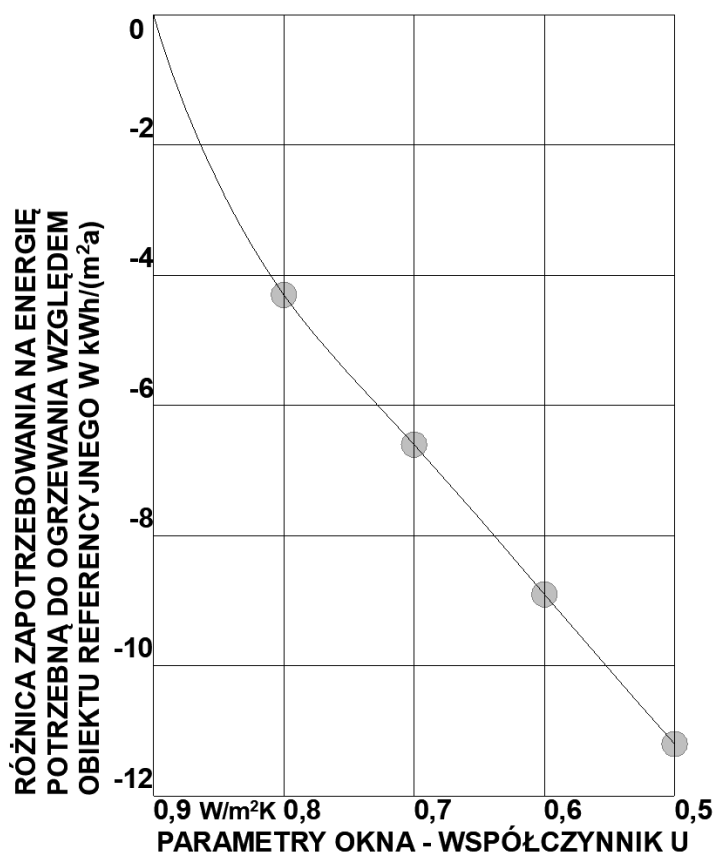
Nasuwa się wniosek, że zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania jest odwrotnie proporcjonalne do szczelności obiektu (Rys. 75.). Stosowanie przemyślanych rozwiązań detali architektonicznych oraz wymaganie najwyższej jakości wykonania na etapie nadzoru na budowie przekłada się na oszczędności podczas użytkowania obiektu.

6.4.6. Pasywne wykorzystanie energii słonecznej

Zastosowanie stolarki okiennej lepszej jakości, o korzystniejszym współczynniku przenikania ciepła U pozwala na zmniejszenie zapotrzebowania budynku na energię potrzebną do ogrzewania. Im lepsze parametry przeszkleń, tym większe oszczędności. Prezentowane dane odnoszą się do modelu budynku referencyjnego.

Na współczynnik U całego okna składa się rama oraz wkład szybowy. Na wartość parametru U dla całego okna wpływ ma wielkość okna, zastosowany system profili okiennych, pakiet szybowy, współczynnik ramki międzyszybowej. Wraz ze zmianą współczynnika przenikania ciepła przez okna U spowodowanym zmianą wkładu szybowego zmienia się również współczynnik g , który określa ilość promieniowania słonecznego, które jest w stanie przeniknąć do wnętrza poprzez szybę. Każdy producent okien posiada inne rozwiązania, które wpływają na wartości współczynników U oraz g . Aby osiągnąć lepszy współczynnik U konieczne jest zastosowanie pakietów szybowych składających się z dwóch do czterech szyb oddzielonych różnego rodzaju gazami. Taka konstrukcja wpływa na zmniejszenie przepuszczalności energii całkowitej promieniowania słonecznego okien g . Dla budynków pasywnych wskazane jest zastosowanie współczynnika g na poziomie

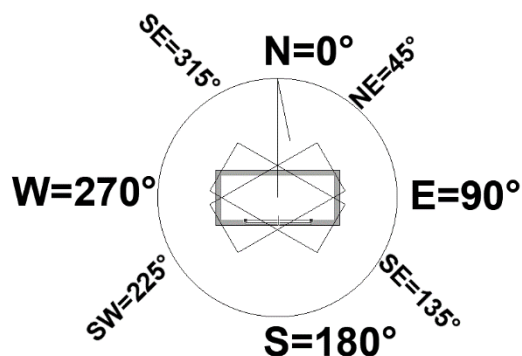
około 50%. Do obliczeń przyjęto takie rozwiązania różnych producentów, w których współczynnik g w modelu budynku referencyjnego wynosił 75% dla przeszklenia standardowego (odpowiadającego podwójnemu szkleniu), a dla pozostałych wariantów przeszkleń w zakresie od 42% do 62%.



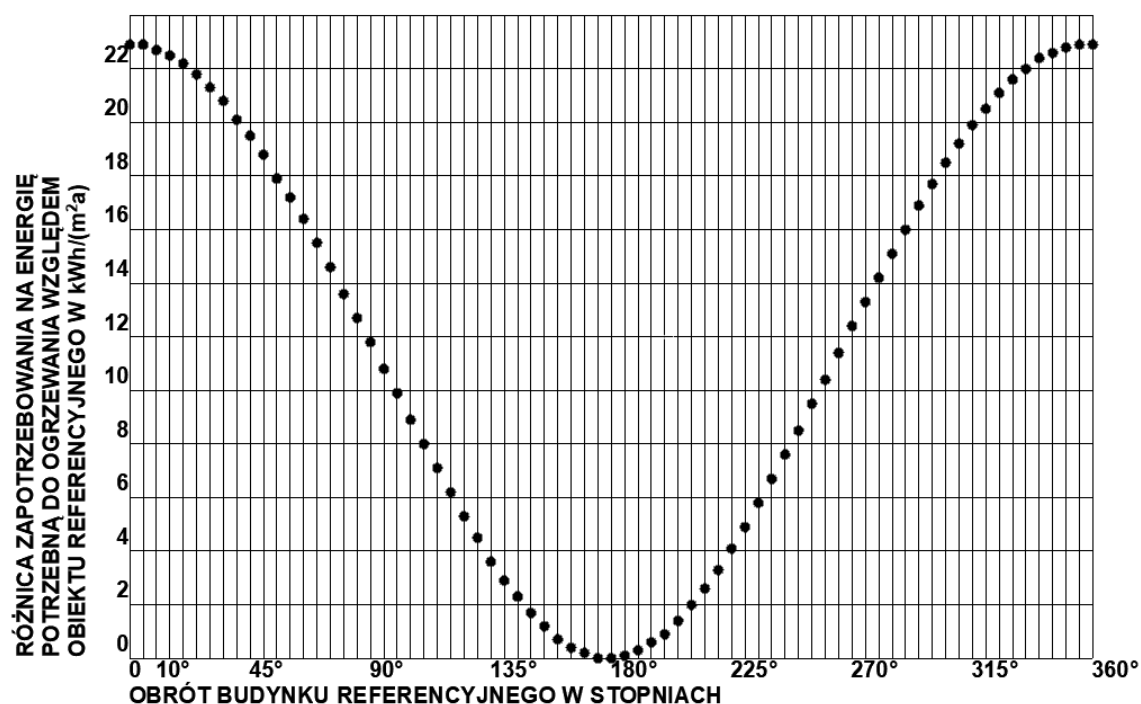
Rysunek 76. Warianty zastosowania różnego rodzaju stolarki w modelu budynku referencyjnego – wpływ na zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania (opracowanie własne).

Z powyższego wykresu (Rys. 76.) wynika, że lepszy (niższy) współczynnik przenikania ciepła U dla okna, pomimo zmniejszenia przepuszczalności słonecznej g prowadzi do zmniejszenia zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania, a co za tym idzie do oszczędności podczas użytkowania obiektu.

Poniższy wykres (Rys. 78.) prezentuje zmianę zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania zależną od obrotu obiektu wokół własnej osi. Im obiekt skierowany jest oknami bardziej w stronę północną, tym jego zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania rośnie. Model obiektu referencyjnego ma przeszklenia od strony południowej (180° Rys. 77.) w wielkości powierzchni 1:8 w stosunku do powierzchni podłogi zgodnie z minimalnymi wymaganiami warunków technicznych. Obiekt został ustawiony w najkorzystniejszym położeniu względem zysków termicznych – okna skierowane na południe. Odchylenie budynku od kierunku północnego w kierunku wschód lub zachód w przedziale od 0° do 35° wykazuje się nieznacznym wzrostem zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania.



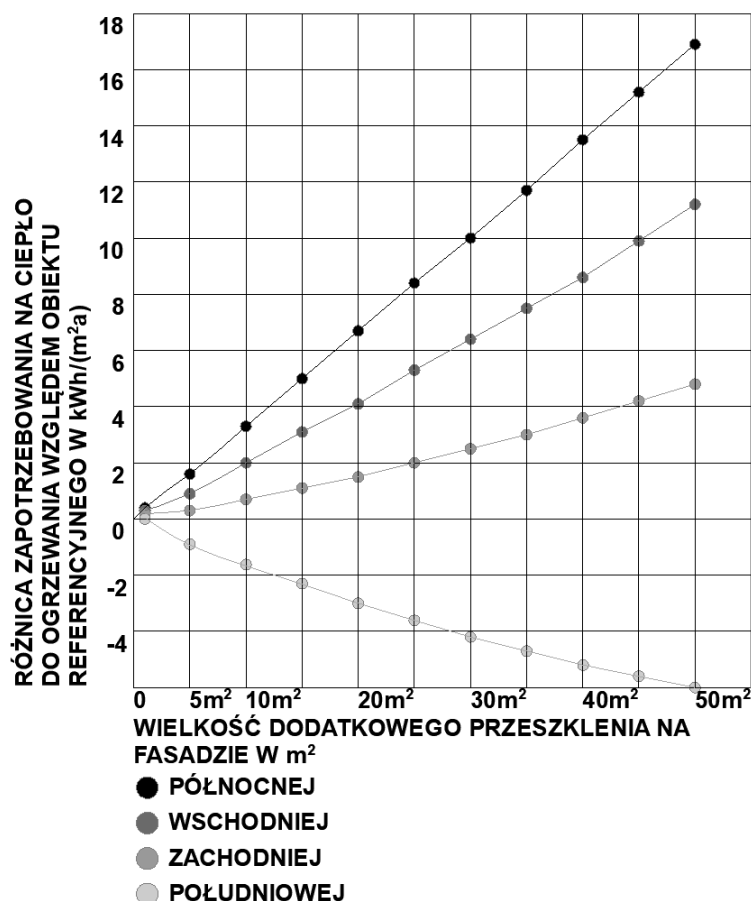
Rysunek 77. Kierunki świata i ich wartości w stopniach (opracowanie własne).



Rysunek 78. Warianty odchylenia modelu budynku referencyjnego od kierunku północnego – wpływ na zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania (opracowanie własne).



Rysunek 79. Warianty ilości przeszkleń (zmienna wielkość powierzchni przeszkleń) w modelu budynku referencyjnego (opracowanie własne).



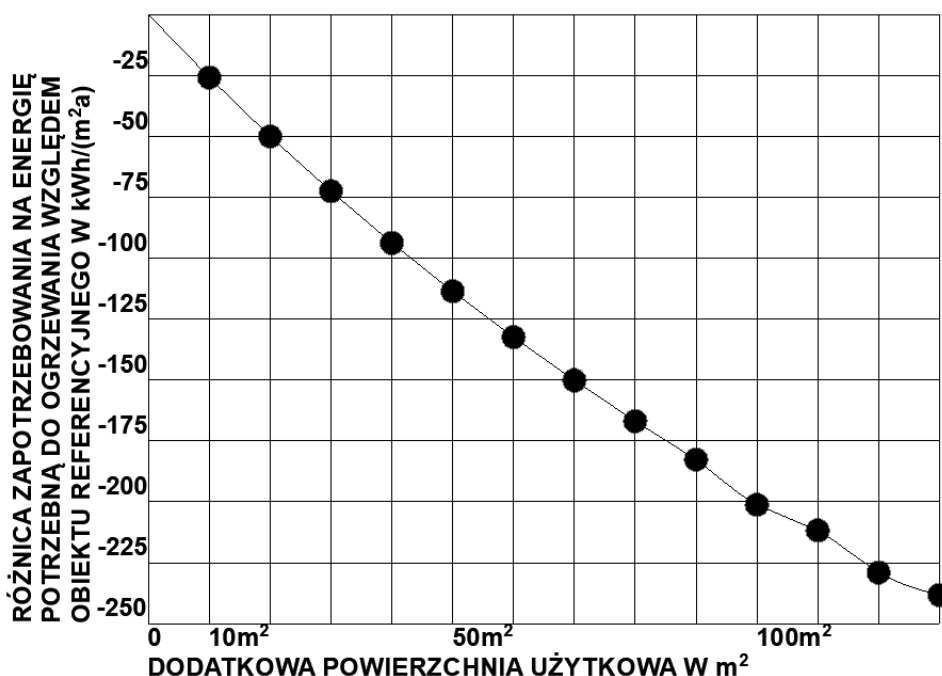
Rysunek 80. Warianty zastosowania dodatkowego przeszklenia w modelu budynku referencyjnego – wpływ na zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania (opracowanie własne).

Powyższy wykres (Rys. 80.) prezentuje zmiany zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania względem zastosowania dodatkowego przeszklenia (Rys. 79.) w hali basenowej. W modelu obiektu referencyjnego założono 20 sąsiadujących ze sobą okien o szerokości 1,36 m i wysokości 1,40 m. Obliczenia wariantów wykonano dodając kolejne okna z ramami i przeszklzeniami o założonych, w modelu obiektu referencyjnego, wymiarach. Ponieważ małe okna powodują większe straty (jest większy udział ram do przeszklenia oraz pojawiają się dodatkowe mostki termiczne) takie badanie prezentuje najmniej korzystne efekty. Zwiększając ilość przeszkleń zmniejsza się powierzchnia ścian o właściwościach akumulacyjnych – zmienia się masa termiczna budynku. Pomimo wyżej wymienionych negatywnych oddziaływań zastosowanie dodatkowego przeszklenia na fasadzie południowej powoduje zmniejszenie zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania, natomiast zastosowanie przeszkleń na fasadach północnej, wschodniej i zachodniej powoduje zwiększenie zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania.

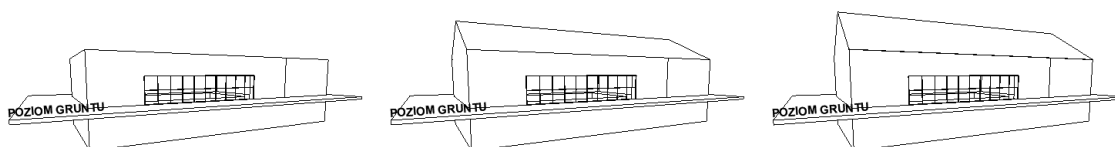
6.4.7. Zróżnicowanie bryły obiektu

Poniższy wykres (Rys. 81.) prezentuje obliczeniowe zmniejszenie wskaźnika zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania dla modelu obiektu

referencyjnego, w momencie zwiększenia powierzchni użytkowej w stałej kubaturze. Dodanie powierzchni w tej samej kubaturze nie sprawia, że zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania dla kubatury maleje, zmniejsza się jedynie wskaźnik. Dodanie powierzchni użytkowej, która przynosi zysk, pozwala lepiej wykorzystać ogrzaną kubaturę. Hale basenowe charakteryzują się dużą kubaturą, w porównaniu do niewielkiej powierzchni użytkowej. Wysokość hali basenowej jest większa niż standardowych pomieszczeń, stąd kubatura jest powiększona. Zastosowanie nawet częściowej antresoli zwiększającej powierzchnię użytkową obiektu znacznie zmniejsza jego obliczeniowe zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania (wskaźnik) względem powierzchni oraz umożliwia lepsze wykorzystanie ogrzewanej kubatury. Antresola może pełnić funkcję gastronomiczną, widowni, wejścia na wewnętrzne zjeżdżalnie czy przestrzeni wypoczynku z leżakami. Dla modelu obiektu referencyjnego zwiększenie powierzchni użytkowej o 10 m^2 pozwala obniżyć wskaźnik o $25,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, a przy 100 m^2 wskaźnik rocznego zapotrzebowania zmniejsza się o $201,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Autorce chodzi o racjonalne wykorzystanie kubatury. Należy projektować obiekty tak, aby maksymalnie wykorzystać ich potencjał zarówno w odniesieniu do kubatury, jak i powierzchni, przy zachowaniu poprawnych proporcji pomieszczeń oraz zwracając uwagę na komfort przebywania w danym pomieszczeniu. Należy jednak zwrócić uwagę, że praktyka dodawania powierzchni użytkowej w kubaturze może nieść za sobą ryzyko wykorzystania obliczeń do tworzenia obiektów, które w dokumentach będą miały wymagane parametry, a w rzeczywistości nie będą obiektami energooszczędnymi. Takiego podejścia należy się wystrzegać.

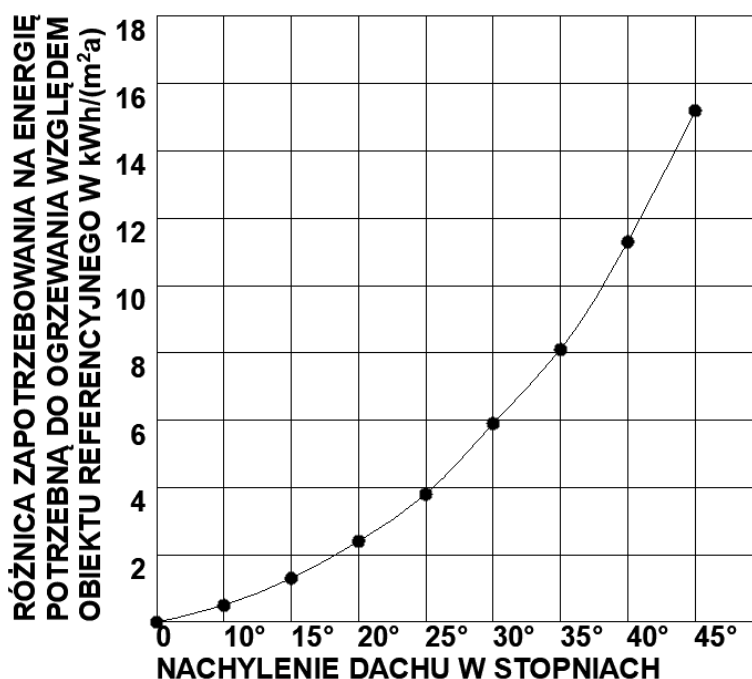


Rysunek 81. Warianty zwiększenia powierzchni użytkowej w tej samej kubaturze modelu budynku referencyjnego – wpływ na wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania (opracowanie własne).



Rysunek 82. Warianty nachylenia dachu (zmienna kubatura budynku oraz powierzchnia przegród zewnętrznych) w modelu budynku referencyjnego (opracowanie własne).

Poniższy wykres (Rys. 83.) prezentuje zależność nachylenia dachu do zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania. Przyjęto warianty obiektu z dachem dwuspadowym (Rys. 82.). Osiągnięto w ten sposób zwiększoną objętość oraz powierzchnię przegród zewnętrznych. Równocześnie zmiane ulega wartość stosunku A/V obiektu. Dodatkowa kubatura oraz powierzchnia przegród zewnętrznych, przez którą następują straty ciepła zwiększają zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania. Im większy spadek dachu, tym straty są większe. W obliczeniach uwzględniono nie tylko zwiększenie kubatury obiektu, lecz również zmianę powierzchni przegród zewnętrznych.



Rysunek 83. Warianty nachylenia dachu modelu budynku referencyjnego - wpływ na zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania (opracowanie własne).

6.5. Wnioski z badań wariantów modelu obiektu referencyjnego basenowego

Budynki należy tak projektować, aby odpowiadały warunkom klimatycznym, uwarunkowaniom działki budowlanej oraz spełniały założenia energooszczędności. Spełnienie wymagań stawianych w warunkach technicznych nie jest jednoznaczne z osiągnięciem dobrej jakości obiektu. Zastosowanie przypadkowego zestawu

rozwiązań architektoniczno-budowlanych nie sprawi, że obiekt będzie pasywny. Niezbędne jest przeprowadzanie obliczeń podczas każdego etapu projektowego, w celu optymalnego wykorzystania komponentów przy projektowaniu architektury, jaką uznamy za najlepszą. Bardzo istotna jest współpraca międzybranżowa na każdym etapie projektu, w celu wypracowania najkorzystniejszego rozwiązania. Projektowanie to złożony proces, który powinien być poparty wnikliwymi analizami, szczególnie w przypadku obiektów pasywnych, gdzie wpływ zastosowanych rozwiązań może nie wydawać się na pierwszy rzut oka oczywisty. Projektowanie obiektów pasywnych niesie za sobą wiele decyzji popartych obliczeniami, co wymaga poświęcenia większej ilości czasu i uwagi na tego typu projekty. Skupienie się na projekcie i wykonanie go poprawnie umożliwia w przyszłości osiągnięcie niebagatelnych oszczędności w okresie użytkowania obiektu.

Lokalizacja obiektu niesie za sobą duże konsekwencje związane z zapotrzebowaniem na energię potrzebną do ogrzewania. W niektórych strefach klimatycznych można przy niskich nakładach finansowych osiągnąć dużo niższe zużycie energii, co przekłada się na oszczędności, a w innych strefach klimatycznych należy mieć na uwadze konieczność zastosowania dodatkowych rozwiązań, aby osiągnąć minimalne wymagania standardów budownictwa pasywnego. Model obiektu referencyjnego sytuowany w różnych strefach klimatycznych osiągał znaczne różnice związane z zapotrzebowaniem na energię potrzebną do ogrzewania. Klimat ma niebagatelne znaczenie i należy do niego dostosowywać odpowiednie rozwiązania techniczne i architektoniczne.

Okazało się, że aby spełnić zalecane wartości współczynnika U dla przegród budowlanych budynków pasywnych niezbędne jest dodanie 20 cm warstwy izolacyjnej o wartości współczynnika $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$ do zakładanej warstwy izolacyjnej modelu budynku referencyjnego (o tym samym współczynniku λ) spełniającego wymagania warunków technicznych. Dodatkowo istnieje granica, przy której dodawanie kolejnych warstw ocieplenia staje się bezzasadne i ekonomicznie nieuzasadnione. Zastosowanie lepszej jakości materiału termoizolacyjnego o korzystniejszym współczynniku przenikania ciepła λ pozwala osiągnąć oszczędności poprzez zmniejszenie zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania zmniejszając grubość termoizolacji. Okazuje się to bardzo pomocne w miejscach, gdzie cieńsza izolacja jest niezbędna np. podczas opracowywania detali koryt dachowych, czy wpuszczania elementów instalacyjnych w lico ściany.

Grubość ocieplenia ma wpływ na wygląd budynku. Im grubsza warstwa ocieplenia, tym bardziej plastyczny efekt ściany jest możliwy do osiągnięcia. Wpущenie okien w głąb lica ściany niesie za sobą korzyści związane z ograniczeniem ilości dni, w których może wystąpić przegrzanie budynku, lecz równocześnie powoduje nieznaczne zwiększenie zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania.

Decyzja o wysunięciu zadaszenia nad oknami, czy wykonania balkonu, powinna być przemyślana. Dobry projekt może znacznie zminimalizować straty

ciepła w miejscu występowania takich elementów, dzięki wykorzystaniu odpowiednich rozwiązań technologicznych w opracowaniu detalu montażu. Nie trzeba rezygnować z tego typu elementów budowlanych, należy jednak je dokładnie zaprojektować, z dbałością o szczegóły. Dobry projekt, zawierający detal architektoniczny z eliminacją lub minimalizacją dodatniego mostku termicznego skutkuje oszczędnościami eksploatacyjnymi, równocześnie dzieje się to bez konieczności rezygnacji z przyjętej formy architektonicznej. Rozwiązania montażowe bezmostkowe (przyjmuje się, że jest to rozwiązanie, dla którego wartość mostku Ψ jest mniejsza niż $0,01 \text{ W/(mK)}$) pozwalają na montaż balkonu bez konieczności wykonywania skomplikowanej indywidualnej konstrukcji dostawianej do obiektu, która w pewnych warunkach może bardzo szpecić obiekt.

Zacienienie przeszkleń płytą wystającą z lica ściany jest najkorzystniejsze do 1 m głębokości. Dalsze wysunięcie zadaszenia sprawia, że przyrost ilości godzin przegrzewania obiektu nie zmienia się tak samo szybko. W związku z powyższym zadaszenia do 1 m najlepiej spełniają funkcję zacienienia. W celu ograniczenia częstotliwości przegrzewania obiektu korzystne jest również stosowanie żaluzji w formie lameli pionowych oraz lameli 45° .

Dla budynków pasywnych przemyślane rozmieszczenie drzew na zagospodarowaniu terenu polepszy funkcjonowanie budynku. Preferowane są drzewa zrzucające liście na zimę. Umożliwiają one ograniczenie przegrzewania obiektu poprzez zacienianie latem oraz umożliwiają penetrację słońca zimą. Działają one jak zewnętrzne rolety zacieniające. Należy jednak wziąć pod uwagę kwestię zwiększenia zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania, w momencie, gdy drzewa występują w sąsiedztwie obiektu. Jednakże zawsze należy brać pod uwagę również inne walory zieleni wysokiej. Drzewa poprawiają mikroklimat miejsca, obniżają temperaturę i utrzymują wilgotność na odpowiednim poziomie. Poprzez procesy biochemiczne oczyszczają powietrze i jonizują je korzystnie dla ludzi użytkujących przestrzeń. Należy jednak pamiętać o dobraniu takiego gatunku, który przetrwa w danych warunkach, będzie nie tylko odporny na zastane warunki atmosferyczne, ale również na warunki obszaru zurbanizowanego. Jednym z wielu czynników negatywnych dla drzew jest mniejsza powierzchnia biologicznie czynna i zmniejszenie ilości wody, którą mogą pobierać korzenie, poprzez utwardzenia terenu. Kolejnym negatywnym czynnikiem są ciągłe zanieczyszczenia powietrza, gleby i wody. Stosowanie środków chemicznych takich jak sól w przypadku opadów śniegu nie jest bez znaczenia dla zdrowia roślin. Istnieją drzewa, które są w stanie przystosować się do niekorzystnych warunków i poprawić przestrzeń życiową w zurbanizowanej przestrzeni. Korzystnym rozwiązaniem jest zastosowanie trejaży z pnączami zrzucającymi liście na zimę, które mogą pełnić rolę żaluzji zewnętrznych o stałej w czasie wielkości. Takie rozwiązanie wymaga corocznego przycinania pędów roślin.

Badania wykazały, że najkorzystniej sadzić drzewa o wysokości do 5 m, w odległości od 15 m do 20 m, które latem zacienią obiekt, a zimą umożliwią

pozyskanie energii słonecznej potrzebnej do ogrzania budynku. Sadzenie drzew zimozielonych naprzeciw fasady przeszklonej powoduje duże straty ciepła w bilansie energetycznym obiektu.

Szczelność powietrzna budynku odpowiada za znaczne oszczędności energii potrzebnej do ogrzewania. Konieczne jest budowanie obiektów szczelnych powietrznie. Nie znaczy to jednak, że obiekty te nie mają dobrych warunków wewnętrznych oraz świeżego i czystego powietrza, które dostarczane jest poprzez wentylację mechaniczną wyposażoną w filtry, jonizatory oraz rekuperację ciepła.

Pasywne pozyskiwanie energii słonecznej polega na wprowadzeniu do środka budynku energii słonecznej poprzez okna. Ich charakterystyka zakłada maksymalną możliwość pozyskiwania energii przy zastosowaniu jak najwyższego współczynnika przepuszczalności g zbilansowanego korzystnym współczynnikiem przenikania ciepła U . Zastosowanie energooszczędnych pakietów szklanych oraz ram okiennych przekłada się na oszczędności związane ze zmniejszeniem zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania. Należy również zwrócić uwagę na stosunek przeszkleń do ram, co wpływa na wielkość dodatnich mostków termicznych oraz parametry energooszczędności. Pozyskiwanie energii słonecznej zależy również od ekspozycji okien na odpowiednią stronę świata. Z obliczeń wynika, że najkorzystniejsze jest rozmieszczenie okien od strony południowej. Przy tak umieszczonych oknach, odchylenie budynku względem osi północ-południe o 0° do 35° zarówno na wschód, czy na zachód, niesie za sobą niewielkie zmiany w zapotrzebowaniu na energię potrzebną do ogrzewania.

Przy zastosowaniu dodatkowych przeszkleń na fasadzie południowej zmniejsza się zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzania. Przeszklenia na fasadzie północnej powodują zwiększenie zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania budynku. W związku z powyższym należy ograniczać ilość przeszkleń na tej fasadzie. Można je równoważyć dokładając przeszkleń na fasadzie południowej. Jednak trzeba się liczyć z tym, że 10 m^2 okien o dużym udziale ram okiennych w stosunku do przeszkleń na elewacji południowej nie zrównoważy takiej samej ilości przeszkleń na fasadzie północnej. Ale dodanie 10 m^2 okien na fasadzie zachodniej i południowej będzie już dawało zyski.

Korzystne jest projektowanie wykorzystujące kubaturę w taki sposób, aby maksymalnie wypełnić ją powierzchnią użytkową. Należy projektować pomieszczenia mające odpowiednie proporcje i wysokość. Hale basenowe mają znaczną kubaturę, którą można wykorzystać poprzez zastosowanie antresol widokowych, gastronomicznych czy pełniących rolę przestrzeni do odpoczynku. Dodatkowa powierzchnia użytkowa będzie przynosiła dochody, a dodatkowo wykorzystane zostanie już ogrzane powietrze w kubaturze.

Należy tak kształtować dachy, aby minimalizować dodatkową kubaturę. Na obiektach basenowych korzystne jest stosowanie dachów płaskich. Im bardziej skomplikowana bryła budynku, tym zwiększa się zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzania budynków.

Obiekt pasywny lub konwergentny nie musi być pozbawiony dobrego designu. Poniżej przedstawiono tabelę zawierającą wytyczne projektowe będące katalogiem optymalnych komponentów architektonicznych, technicznych i technologicznych dla budynków basenowych. Ukazują one możliwości polepszenia parametrów energetycznych kształtowanego budynku. Architekci mają szeroką gamę rozwiązań, umożliwiających tworzenie pięknej i energooszczędnej architektury. Zastosowanie komponentu równoważącego straty spowodowane zastosowaniem innego, daje możliwość nieograniczonego kształtowania przestrzeni. Należy równoważyć lub minimalizować komponenty przynoszące straty.

To od architekta zależy, jak atrakcyjna architektonicznie będzie bryła obiektu charakteryzująca się wysoką energooszczędnością. Dodanie skomplikowanych technologii i dodatkowej warstwy ocieplenia nie prowadzi do osiągnięcia dobrych parametrów energooszczędności budynku. To sam budynek powinien działać poprawnie, poprzez zastosowane pasywnych rozwiązań architektoniczno-budowlanych wykazywać się niskim zapotrzebowaniem na energię potrzebną do ogrzewania. Ewentualne zastosowanie fotowoltaiki, czy systemów odzysku ciepła, powinno jedynie kierować budynek w stronę plusenergetycznego, a nie być jedynym panaceum na osiągnięcie danej klasy energetycznej w obliczeniach niezbędnych do wykazania, że budynek jest pasywny.

Tabela 27. zawiera wytyczne projektowe opracowanie na podstawie badań rozdziału VI ujęte w formie katalogu optymalnych komponentów architektonicznych, technicznych i technologicznych dla konwergentnych budynków basenowych.

Tabela 27. Wytyczne projektowe – katalog optymalnych komponentów architektonicznych, technicznych i technologicznych dla konwergentnych budynków basenowych - opracowanie na podstawie badań rozdziału VI. (opracowanie własne).

Komponent	Optymalny komponent dla budynków basenowych	Rola energetyczna	Uwagi i wskazówki projektowe
Rodzaj niecki basenowej	Niecka stalowa	Oszczędność na podgrzaniu wody basenowej po przerwie technicznej – minimalizacja częstotliwości czyszczenia niecki	Niecka stalowa, pomimo wyższego kosztu na etapie budowy jest rozwiązaniem szczelnym. Poprzez spawanie elementów nie ma możliwości powstania przecieków. Nie popełni się błędów podczas układania izolacji pod płytkami. Płytki, którymi wykładane są niecki żelbetowe mogą popękać, a ich ostre krawędzie mogą zranić użytkowników. Dodatkowo w fugach osadzają się glony, co zwiększa częstotliwość czyszczenia niecki. Wymagane jest częstookresowe przeprowadzenie remontów okładziny z płytek. Raz zamontowana niecka stalowa służy przez dekady.
Zastosowanie dodatkowego wyposażenia niecki	Ruchome dno z ewentualnym pomostem w przypadku dużych basenów pływackich	Zmniejszenie utraty ciepła wody oraz uniemożliwienie jej parowania.	Ruchome dno w okresie nocnym można podnieść zakrywając wodę i uniemożliwiając jej parowanie oraz utratę ciepła. Zastosowanie ruchomego dna zwiększa funkcjonalność basenu. Głębokość wody jest regulowana w zależności od potrzeb użytkowników od najmniejszej dla dzieci po średnią dla aquaerobiku czy nauki pływania do najgłębszej dla doświadczonych pływaków. Większa ilość klientów przełoży się na wyższe dochody.
Filtracja	Filtracja ciśnieniowa ze złożem ze szkła zielonego	Zmniejszenie zużycia energii cieplnej przez zmniejszenie prędkości filtracji i płukania.	Oszczędności płynące z zastosowania odpowiedniej technologii odczuwa się podczas eksploatacji obiektu. Koszty inwestycyjne są wyższe, ale korzyści na etapie użytkowania są wymierne. W dużych obiektach warto rozważyć produkcję podchlorynu sodu w procesie elektrolizy.

Źródła energii	Pompy ciepła, kogeneracja ogniwa fotowoltaiczne i gruntowe wymienniki ciepła, źródło szczytowe - kocioł gazowy kondensacyjny, odzysk ciepła z wód popłucznych	Obniżenie wartości wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną. Odzysk ciepła z wód popłucznych oraz wody szarej – podgrzanie ciepłej wody użytkowej.	Poleganie jedynie na odnawialnych źródłach energii i na jednym źródle może sprawić, że podczas prac serwisowych, nieprzewidzianego wydarzenia lub awarii konieczne będzie zamknięcie obiektu. Dla basenów korzystne jest zastosowanie paneli fotowoltaicznych, ponieważ obiekty te mają ciągłe zapotrzebowanie na energię elektryczną. Korzystne jest stosownie urządzeń nieawaryjnych np. polipropylenowe wymienniki ciepła w centralach, które nie korodują w trudnych warunkach basenowych.
Lokalizacja	Klimat zimny umiarkowany	Niższe zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania niż w klimacie zimnym	Autorka zdaje sobie sprawę, że również w zimnym klimacie Polski powstają obiekty. W tym punkcie należy zwrócić jednak uwagę, że łatwiej osiągnąć budynkowi wytyczne standardu Darmstadt w klimatach umiarkowanych zimnych w Niemczech, niż umiarkowanie zimnych i zimnych w Polsce. Dodatkowo każdy obiekt basenowy, który Instytut w Darmstadt określał jako pasywny miał indywidualnie określone przez Instytut kryteria, aby mógł być określany jako pasywny. W związku z powyższym Autorka uważa, że obiekty basenowe powinny mieć łagodniejsze kryteria, aby mogły być określane jako konwergentnie pasywne. Może warto rozważyć też obniżenie wymagań dla lokalizacji o niesprzyjającym klimacie. Każdy klimat wymaga zastosowania innych rozwiązań architektonicznych. Pomiędzy strefą I, a VS obliczono, że dla modelu obiektu referencyjnego następuje zwiększenie zapotrzebowania na energię do ogrzewania o 80 kWh/(m ² a). Jest to znaczna różnica opierająca się jedynie na usytuowaniu tego samego obiektu w innym miejscu Polski.

Izolacja termiczna przegród zewnętrznych	Grubość ocieplenia ściany do 50 cm, grubość ocieplenia dachu do 60 cm, grubość ocieplenia podłogi na gruncie do 45 cm	Obniżenie zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania	Dodawanie nieskończenie grubej warstwy izolacji termicznej w pewnym momencie przestaje mieć uzasadnienie ekonomiczne. Po przekroczeniu pewnej grubości zyski z dodatkowego ocieplenia stają się mniejsze. Koszt wykonania takiego ocieplenia staje się wyższy niż oszczędności wynikające z tego rozwiązania. Należy zwrócić uwagę na rodzaj ocieplenia i możliwość stosowania materiałów takich jak pustaki ceramiczne, łączącego właściwości akumulacyjne i termoizolacyjne. Grubość izolacji zależy również od wielkości współczynnika przenikania ciepła, który przekłada się znacząco na grubość izolacji oraz na straty, lub zyski ciepła.
Głębokość montażu stolarki	Pomiędzy 10 cm, a 40 cm	Zmniejszenie przegrzewania obiektu poprzez zacienienie przeszkleń w lecie	Zagłębienie stolarki w lico ściany w obiekcie pasywnym wynika ze sposobu montażu. Aby uniknąć dodatknych mostków termicznych należy stolarkę montować na kotwach ciepłych w grubości ocieplenia. W związku z powyższym maksymalne zagłębienie determinuje grubość ocieplenia. Straty ciepła są bardzo nieznaczne, nawet biorąc pod uwagę zagłębienie na poziomie 40 cm, równocześnie widać poprawę związaną ze zmniejszeniem ilości dni o temperaturze powyżej komfortowej.
Mostki termiczne	Wykorzystanie technologii lub opracowanie detalu, którego wartość mostku termicznego będzie jak najniższa, maksymalnie 0,25 W/(mK)	Zwiększenie zapotrzebowania obiektu na energię potrzebną do ogrzewania, gdy występują dodatnie mostki termiczne	Architekt ma możliwość zastosowania różnego rodzaju technologii pasywnych – kotew ciepłego montażu płyt balkonowych, kotew montażu płyt elewacyjnych, specjalnych rozwiązań kaset żaluzji zewnętrznych z możliwością montażu w ociepleniu bez znacznego dodatniego mostku termicznego. Natomiast błędnie wykonany detal bez dbałości o zachowanie ciągłości warstwy termoizolacyjnej skutkować może znaczącymi stratami ciepła. Dodatkowo należy zaznaczyć, że w miejscu występowania dodatniego mostku termicznego następuje zawilgocenie, które w najlepszym razie może skutkować śladami na ścianie. Zastosowanie wewnętrznych zjeżdżalni wodnych jest dobrym sposobem minimalizacji dodatknych mostków, takie elementy mogą być atrakcyjnym elementem wnętrza, a obudowane szklaną konstrukcją być elementem wizualnym wnętrza widocznym z zewnątrz.
Zacienienie zadaszeniem	Głębokość zadaszenia nad przeszkleniem do około 100 cm	Zmniejszenie częstotliwości przegrzewania obiektu	Głębokość zadaszenia 100 cm sprawia, że element płyty może konstrukcyjnie być łatwo zamocowany, a dodatkowo wystarcza, aby w sposób znaczący obniżyć częstotliwość przegrzewania.

Zastosowanie żaluzji	Żaluzje zewnętrzne w formie lameli pionowych	Ograniczenie częstotliwości przegrzewania obiektu	Zastosowanie zacienienia w formie sterowalnych pionowych lameli jest korzystnym rozwiązaniem. Umożliwia zmniejszenie częstotliwości przegrzewania obiektu oraz uatrakcyjnią elewację budynku. Szary kolor lameli, zgodnie z wyliczeniami wykonanymi w programie PHPP jest najkorzystniejszy.
Zagospodarowanie - mikroklimat	Powierzchnie biologicznie czynne otaczające budynek	Obniżenie temperatury w otoczeniu budynku, zmniejszenie przegrzewania obiektu latem, zwiększenie wilgotności powietrza. Obniżenie kosztów chłodzenia obiektu.	Zastosowanie powierzchni biologicznie czynnych obniża temperaturę powietrza wokół budynku i wpływa korzystnie na retencję wód opadowych. Zastosowanie dużego, wybetonowanego placu przedwejściowego wraz z parkingiem może spowodować znaczne podwyższenie temperatury w sąsiedztwie budynku oraz zmniejszyć retencję terenu. Należy zastanowić się nad rozwiązaniem ażurowej nawierzchni parkingu, która zwiększa retencję wód opadowych. Woda zgromadzona w takiej nawierzchni odparowując będzie obniżać temperaturę sąsiedztwa budynku. Można też wykonać zadaszenie parkingu w formie zielonych dachów, jest to drogie rozwiązanie, ale wpływa korzystnie na mikroklimat miejsca, wspomaga retencję wód opadowych i służy użytkownikom pojazdów, które nie nagrzewają się tak bardzo i nie ma konieczności używania klimatyzacji spalającej dodatkową benzynę, co zwiększa emisję CO ₂ . Można wykonać zadaszenie materiałowe w formie lekkiej konstrukcji, w tym rozwiązaniu należy wybierać jasne materiały, które odbijają światło. Zacieniony w ten sposób teren wykazuje się niższą temperaturą. Korzystne jest też wprowadzenie zbiorników wodnych w otoczeniu budynku.

Zieleń wysoka w otoczeniu budynku	Drzewa liściaste stanowiące naturalne zacienienie przeszkleń. Drzewa iglaste niezacieniające przeszkleń.	Ograniczenie częstotliwości przegrzewania obiektu, zmniejszenie zysków ciepła od słońca	Naprzeciwko przeszkleń korzystne jest lokalizowanie niskich drzew liściastych. Stanowią zacienienie latem, a zimą umożliwiają pozyskiwanie energii słonecznej. Drzewa iglaste mogą chronić obiekt przed wiatrami, ale należy je sadzić w taki sposób, aby nie zacięniały okien. Szpaler drzew iglastych stanowi takie samo zacienienie, jak sąsiedni budynek. Drzewa należy sadzić w takiej odległości, aby mogły rosnąć niezakłócenie i nie powodować uciążliwości dla obiektu, a jednocześnie, aby spełniały swoją funkcję. Należy dobierać takie gatunki drzew, które poradzą sobie w zainwestowanym środowisku. Można również zastosować trejaże z pnączami zrzucającymi liście na zimę, pełniące rolę żaluzji zewnętrznych o stałej w czasie wielkości. Takie rozwiązanie wymaga corocznego przycinania pędów roślin.
Szczelność powłoki budynku	Obiektom basenowym stosunkowo łatwo osiągnąć szczelność. Dla obiektów basenowych szczelność powinna być $\leq 0,3 \text{ h}^{-1}$	Minimalizacja strat ciepła poprzez nieszczelności	Jednym z bardziej efektywnych rozwiązań pozwalających na znaczne obniżenie zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania jest zwiększenie szczelności powietrznej. Basenom oraz dużym obiektom stosunkowo łatwo jest osiągnąć pożądaną szczelność, a nawet wykazać się dużo lepszym parametrem niż zakładany.
Stolarka okienna	Na poziomie współczynnika $U \leq 0,07 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ oraz współczynnika $g \geq 50\%$	Zmniejszenie zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania	Zastosowanie dobrej jakości stolarki, zwłaszcza, jeśli jest jej dużo, pozwala na zmniejszenie zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania. Okna stałe oraz o dużym udziale szklenia w stosunku do ramy charakteryzują się lepszymi parametrami izolacyjności termicznej. W celach nocnego chłodzenia obiektu korzystne jest takie usytuowanie okien, które powoduje ruch powietrza. W halach stosowanie okien otwieralnych nisko od podłogi, a po przeciwnej stronie pomieszczenia wysoko, przy suficie, umożliwia efektywną wymianę powietrza.

Stopień odchylenia budynku od kierunku północnego	Odchylenie budynku od kierunku północnego do 35°	Ograniczenie strat ciepła przy północnych ścianach z niewielką ilością perforacji, pozyskiwanie energii cieplnej od słońca przy lokalizacji fasad o dużej ilości perforacji od południa.	Obliczenia potwierdziły obserwacje istniejących obiektów budowlanych. Odchylenie budynku od kierunku północnego do 35° nie wpływa znacząco na straty ciepła. Korzystne jest sytuowanie okien od strony południowej. Od strony północnej należy eliminować przeszklenia do wymaganych przepisami prawa. Usytuowanie przeważającej ilości okien od strony północnej powoduje znaczące straty ciepła.
Dodatkowa ilość przeszkleń ponad wymaganą przepisami prawa	Można zwiększyć ilość przeszkleń na fasadach południowej, wschodniej i zachodniej. Należy ograniczyć przeszklenia na elewacji północnej do niezbędnego minimum	Zyski lub straty energetyczne w zależności od lokalizacji przeszkleń względem stron świata wpływające na wielkość zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania	Korzystne jest dodawanie powierzchni przeszkłonych na elewacji południowej. Dostarczane są większe zyski ciepła, jednakże ilość dodatknych mostków termicznych oraz wartości jakości parametrów stolarki i jej wielkość mogą sprawić, że zastosowanie dodatkowego przeszklenia stanie się nieopłacalne. Zmieniając parametry i wielkości elementów stolarki okiennej należy wziąć pod uwagę zarówno korzyści płynące z oszczędności, jak i koszty danego rozwiązania.
Powierzchnia użytkowa	Maksymalizacja ilości powierzchni użytkowej w kubaturze	Dodatkowa powierzchnia użytkowa pozwala racjonalnie wykorzystać ciepłe powietrze znajdujące się w kubaturze, obniżając wskaźnik zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania	Wykorzystanie wysokości pomieszczeń basenowych w celu stworzenia dodatkowej powierzchni użytkowej może zwiększyć dochody obiektu. Wykorzystuje się w ten sposób ciepło zgromadzone w kubaturze dla dodatkowej powierzchni. Dodatkowe 50 m ² powierzchni użytkowej to zmniejszenie wskaźnika zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania modelu obiektu referencyjnego o 120 kWh/(m ² a). Taka dodatkowa powierzchnia użytkowa może być antresolą o funkcji widowni, strefy odpoczynku z leżakami, czy gastronomicznej. Mniejsze niecki, jak brodziki dla dzieci nie wymagają tak dużej wysokości pomieszczenia. Można nad nimi stworzyć piętro z szatniami, saunami albo antresolę z gastronomią, która może być obudowana szkłem i dostępna z holu z wglądem na halę basenową. Intencją jest racjonalne wykorzystanie kubatury.

Dach	Dach płaski o nachyleniu do 20° pokryty fotowoltaiką, zielony lub wysypany jasnym żwirkiem	Ograniczenie nadmiernych temperatur otoczenia. Zmniejszenie zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania poprzez dodatkową warstwę izolacyjną dachu zielonego w formie substratu oraz warstwy drenującej. Zwiększenie strat ciepła – przy dachach spadzistych zwiększenie powierzchni powłoki zewnętrznej obiektu i jego kubatury	Korzystne jest wykorzystanie piątej elewacji do pozyskiwania energii elektrycznej w formie paneli fotowoltaicznych. Jednak równie ważna jest możliwość wykonania zielonego dachu. Zielony dach poprawia retencję wód, mikroklimat otoczenia oraz stanowi dodatkową warstwę izolacyjną. Samo wysypanie dachu białym lekkim żwirkiem zmniejsza nagrzewanie się samego dachu oraz jego otoczenia. Kształt dachu należy dobrać mając na względzie zarówno aspekty estetyczne, jak i obowiązujące prawo miejscowe. Zazwyczaj obiekty basenowe mają dachy płaskie lub o niewielkim nachyleniu. Duży spadek dachu tworzy dodatkową kubaturę i powierzchnię zewnętrzną do ogrzewania, ale umożliwia dołożenie powierzchni użytkowej w wyższej partii dachu.
------	--	---	--

VII. Podsumowanie

Projektowanie i budowa obiektów basenowych charakteryzujących się niskim zapotrzebowaniem na energię potrzebną do ogrzewania jest uzasadnione i potrzebne. W dobie kryzysu energetycznego oraz ekonomicznego konieczne jest wykazanie się dbałością o aspekty energooszczędne. Przeanalizowane standardy pasywne Darmstadt i be2226 umożliwiły Autorce stworzenie wytycznych projektowych dla basenów krytych uwzględniających rozwiązania standardów pasywnych. Obiekty te określiła jako konwergentne, ponieważ mają obniżone wymagania względem innych budynków pasywnych. Zebrane wytyczne przekładają się na ekonomikę użytkowania konwergentnych pasywnie obiektów basenów krytych. Wiele gmin zostało zmuszonych do zamknięcia lub ograniczenia funkcjonowania basenów krytych ze względu na konieczność ograniczenia zużycia energii i wykazania oszczędności w związku z obecnym kryzysem energetycznym.

W celu odpowiedzi na pytania badawcze, osiągnięcia celu badawczego oraz potwierdzenia postawionej tezy przeprowadzono szereg badań. Bezspeczne jest stwierdzenie, że wszystkie obiekty budowlane powinny charakteryzować się niskim zapotrzebowaniem na energię potrzebną do ogrzewania oraz powinny zużywać niewiele energii elektrycznej. Zakres badań dotyczył zarówno układu funkcjonalnego obiektów jak i doświetlenia światłem naturalnym, kompozycji fasad, proporcji budynku, komfortu użytkowania, warunków temperatury wewnętrznej obiektu, jego kształtu, kolorystyki, elastyczności w możliwości zmiany funkcji. Badania pozwoliły na sporządzenie wytycznych projektowych w formie katalogu optymalnych komponentów architektonicznych. Między innymi stwierdzono, że obiekt powinien być zwarty i szczelny oraz wolny od mostków termicznych. Za element wolny od mostków termicznych uważa się detal o wartości mostku $\Psi < 0,01 \text{ W/(mK)}$. Konieczne jest takie projektowanie obiektów, aby poprzez poprawny i szczegółowy detal architektoniczny wskazać rozwiązania minimalizujące dodatnie mostki termiczne i poprawiające szczelność obiektu. Architekt może dobierać odpowiednie rozwiązania w taki sposób, aby osiągnąć zamierzony końcowy efekt wartości zapotrzebowania energii potrzebnej do ogrzewania. Daje to dużą swobodę twórczą. Podczas projektowania można tak skomponować poszczególne rozwiązania, aby odpowiadały najciekawszej architektonicznie formie. Zaproponowane wytyczne w formie katalogu optymalnych komponentów, to element wyjściowy, który ma pomóc architektowi podczas prac projektowych. Można odchylić się od wartości podanych w niniejszej pracy, ale należy zdawać sobie sprawę z konsekwencji i potrzeby zastosowania działań rekompensujących.

Przeprowadzono szereg studiów w zakresie wariantów wykonania niecki basenowej, filtracji, źródeł energii, modelu basenu referencyjnego. Dołożenie, na etapie projektowania, rozwiązań i urządzeń technologicznych umożliwia na etapie użytkowania osiągnięcie realnych korzyści ekonomicznych. Niektóre rozwiązania nie mają bezpośredniego przełożenia na architekturę, ale są z nią bardzo ściśle

powiązane. Z doświadczenia Autorki wynika, że to architekt w rozmowach z Inwestorem proponuje również rozwiązania techniczne i technologiczne, które są korzystne dla funkcjonowania obiektu. Musi on mieć wiedzę z zakresu fizyki budowli oraz technologii wynikających z funkcjonowania obiektu. Przy budynkach basenowych technologia uzdatniania wody, wentylacja i ogrzewanie mają ogromny wpływ na sposób jego kształtowania.

Z przeprowadzonych studiów kalkulacji wariantów referencyjnego modelu obiektu basenowego w zakresie lokalizacji, izolacji przegród zewnętrznych, mostków termicznych, zacienienia, szczelności powłoki, pasywnego wykorzystania energii słonecznej i zróżnicowania bryły jednoznacznie wynika, że możliwe jest takie skomponowanie poszczególnych elementów budynku, które umożliwią osiągnięcie założonego celu energetycznego bez konieczności rezygnacji z założonej koncepcji architektonicznej. Największe oszczędności można uzyskać projektując zrównoważoną powierzchnię użytkową w stosunku do kubatury. Dzięki wykorzystaniu ciepła znajdującego się wewnątrz kubatury służącego dla zwiększonej powierzchni użytkowej można zmniejszyć wskaźnik zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania. Przykładowo dla dodatkowej powierzchni użytkowej, w modelu budynku referencyjnego, wynoszącej 50 m² zmniejszenie wskaźnika zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania wynosi 112 kWh/(m²a). Zastosowanie dodatkowej warstwy ocieplenia może zmniejszyć zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania od 20 do 40 kWh/(m²a) (odpowiada to dodatkowej grubości ocieplenia o współczynniku $\lambda=0,04$ od 10 cm do 30 cm). Sama szczelność budynku, polegająca na poprawnym zaprojektowaniu detali architektonicznych i dopilnowaniu ekipy budowlanej podczas realizacji budynku, to zmniejszenie zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania nawet o 35 kWh/(m²a) (dla jej optymalnej wartości określonej w niniejszej pracy). Lepszy parametr materiału termoizolacyjnego przy tej samej jego grubości to również zmniejszenie rzędu 20 kWh/(m²a). Stolarka okienna, jej jakość i wielkość, to kolejne zmniejszenia zapotrzebowania o około 6-7 kWh/(m²a) dla każdego z komponentów. To tylko przykładowe założenia, ale pokazują na jakie elementy należy zwrócić uwagę podczas projektowania obiektu. W niniejszej pracy wzięto pod uwagę również elementy zagospodarowania terenu. Każdy element zacieniający przeszklenie, będzie powodował zmniejszenie pozyskiwania energii słonecznej. Przykładowo drzewa iglaste zacieniające elewację południową modelu obiektu referencyjnego zwiększają wskaźnik zapotrzebowania na ciepło o 35 kWh/(m²a), to tyle, co zmniejszenie wskaźnika przez zastosowanie optymalnej szczelności. Drzewa liściaste powodują zwiększenie wskaźnika zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania w zakresie od 10 do 30 kWh/(m²a). Zarówno drzewa iglaste jak i liściaste zmniejszają częstotliwość przegrzewania obiektu od 9% do 9,8%. Wynika stąd, że korzystniej jest sadzić drzewa liściaste o wysokości do 5 m w odległości od 15 m do 20 m od przeszklonej fasady południowej. Najmniejszy wpływ na wielkość zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania mają rozwiązania z minimalizacją długich, dodatnich, liniowych mostków termicznych, stosowaniem

dachów spadzistych, a w końcu zagłębieniem stolarki w lico ściany, jednakże nie należy ich bagatelizować.

Zgodnie z obliczeniami wykonanymi w programie PHPP najkorzystniejsze rozwiązanie zmniejszające częstotliwość przegrzewania obiektu, to stosowanie zadaszenia nad przeszkleniem południowym. Następnie dobrym rozwiązaniem jest stosowanie żaluzji zewnętrznych, bardzo korzystne są pionowe szare lamele. Zagłębienie stolarki w lico ściany to niewielka minimalizacja przegrzewania obiektu.

Dokonano przeglądu dostępnej literatury i przedstawiono stan badań. Ponieważ nie znaleziono pozycji zbiorczej dotyczącej basenów pasywnych w standardzie Darmstadt, w kontekście zagadnień architektonicznych, niniejsza praca uzupełnia tę lukę. Wnioski z praktyki projektowej Autorki pozwoliły stwierdzić, że założenia standardu Darmstadt budynków dla basenów krytych są zbyt wygórowane, jednak pryncypia tego standardu są najkorzystniejsze do zastosowania w praktyce projektowania basenów krytych. Standard ten wykorzystuje zagadnienia projektowania budynków pasywnych oraz wprowadza aktywny element w postaci wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła. Ponieważ obiekty basenowe wymagają wentylacji mechanicznej, chociażby z powodów konieczności osuszania powietrza, są one idealnymi obiektami do wykorzystania elementów tego standardu. To, że nawet Instytut Darmstadt obniżał wymagania dla basenów zasugerowało, że w przypadku basenów należy raczej mówić o architekturze konwergentnej pasywnie, niż budynkach pasywnych, które mają ustabilizowany standard.

Z przeprowadzonej analizy dokumentacji projektowej przebadanych obiektów, aktów prawnych i wytycznych związków pływackich do projektowania obiektów basenowych oraz aktów prawnych regulujących kwestie energooszczędności budynków obowiązujących w Polsce wynika, że korzystne jest projektowanie energooszczędnych basenów konwergentnie pasywnych. Przepisy prawne podają minimalne wartości, które są zbliżone do skatalogowanych optymalnych komponentów zaproponowanych przez Autorkę w formie wytycznych projektowych dla budynków basenowych. Minimalne wielkości zawarte w przepisach prawnych nie świadczą o sztywnym podejściu prawodawców. Tak elastyczne podejście daje możliwość zastosowania lepszych i sprawniejszych rozwiązań.

Obiekty wybrane pod kątem funkcji, funkcji towarzyszącej oraz standardu energooszczędnego przebadano na podstawie dostępnej literatury, dokumentacji projektowych oraz przeprowadzonych badań *in situ*. Wykonano badania kamerą termowizyjną, które potwierdziły staranne wykonawstwo obiektów oraz zwróciły uwagę na znaczenie stolarki przeciwpożarowej w obiekcie i jej wpływ na powstawanie dodatknych mostków termicznych. Należy być bardzo uważnym podczas projektowania obiektów równoważąc kwestie bezpieczeństwa pożarowego, energooszczędności, funkcji i formy obiektu. Badania termowizyjne uwiaryściły również wpływ zacienienia i nasłonecznienia na elementy fasady, wnętrza obiektu i obszaru zagospodarowania zewnętrznego terenu. Badania termowizyjne wykazały korzyści płynące z projektowania jasnych powierzchni oraz implementacji zieleni

w najbliższym otoczeniu budynku. Zmiana myślenia prowadząca do zaprojektowania alternatywnego rozwiązania daje możliwość zmniejszenia zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania oraz umożliwia minimalizowanie negatywnego wpływu otoczenia budynku na jego wewnętrzny mikroklimat.

Narracja użytkowników oraz ogląd własny obiektów wykazały, że na etapie projektowania podejmowane są decyzje, które w trakcie użytkowania stają się uciążliwe. Najciekawsze było dla Autorki to, że w nowych obiektach, projektowanych specjalnie pod potrzeby użytkownika dochodziło do zmian użytkowych pewnych pomieszczeń. Użytkownicy adaptowali pomieszczenia nieprzeznaczone na pobyt ludzi na takie właśnie cele. Dlatego tak ważne jest projektowanie elastyczne, umożliwiające w łatwy sposób zmianę funkcji pomieszczenia.

Podstawą do przeprowadzenia badań były sformułowane pytania badawcze:

- Jak pasywność budynku basenu wpływa na jego estetykę?
- Czy zabiegi architektoniczne mogą wpływać pozytywnie na stopień pasywności obiektów basenowych?
- W jakim zakresie jest korzystne przystosowanie założeń budownictwa pasywnego w obiektach basenowych do warunków polskich?

Istniejące obiekty basenów pasywnych firmowane przez Instytut w Darmstadt miały indywidualnie określone parametry, które musiały spełnić, aby można je było zakwalifikować jako pasywne. Budynek basenu w Siemiatyczach spełniał założenia parametryczne budynku pasywnego potwierdzone przez Małopolskie Centrum Budownictwa Energooszczędnego Politechniki Krakowskiej. Wszystkie trzy obiekty określono jako pasywne, chociaż nie spełniają one w pełni podstawowych założeń standardu Darmstadt, dlatego Autorka nazwała je konwergentnie pasywnymi. Zdefiniowane w pracy baseny konwergentne pasywnie zachowują szeroką swobodę kształtowania architektonicznego, co dowodzi, że zbieżność z budynkami pasywnymi nie ogranicza ich walorów estetycznych.

Niniejsza praca odpowiada na zadane pytania badawcze, wykazując, że architekt ma dużą elastyczność w projektowaniu konwergentnie pasywnych obiektów basenowych, a zabiegi architektoniczne mogą wpływać pozytywnie na stopień pasywności obiektów basenowych. Odpowiedź ta wynika bezpośrednio z przeprowadzonych badań zarówno istniejących obiektów oraz wariantów obliczeniowych modelu referencyjnego obiektu basenowego. Przykładowo poprzez zastosowanie specjalnie dedykowanych technologii (np. ciepłe łączniki płyt zacieniających) możliwe jest zminimalizowanie efektu strat ciepła spowodowanych dodatnimi mostkami cieplnymi. Obiekty takie nie muszą mieć dostawianej konstrukcji, lecz możliwe jest wykonanie tego detalu w sposób poprawny i zmniejszający straty ciepła. Możliwe jest również dobieranie różnego rodzaju komponentów budownictwa pasywnego w celu zrekompensowania strat wynikających z pewnych decyzji projektowych. Wystarczy świadomość projektanta

oraz przeliczanie zapotrzebowania obiektu na energię potrzebną do ogrzewania na każdym etapie projektowania, w celu weryfikacji poprawności założeń. Przedstawiono w pracy wytyczne, w formie katalogu optymalnych komponentów dla budynków basenowych konwergentnych pasywnie. Wytyczne te są wskazówką dla projektantów, jak można w łatwy sposób zbalansować pewne decyzje projektowe, sprawiając, że obiekt będzie energooszczędny. Dzięki temu można stwierdzić, że nie ma przeszkód w zaprojektowaniu atrakcyjnego budynku basenu konwergentnie pasywnego, a zakres korzyści płynących z przystosowania założeń budownictwa pasywnego w obiektach basenowych do warunków polskich ujawnia się w ekonomice takich rozwiązań, ich pozytywnym wpływie na przeciwdziałanie zmianom klimatu i zwiększeniu powszechności dostępu do obiektów basenowych.

Przeprowadzone badania umożliwiły osiągnięcie celów badawczych. Istnieje duży potencjał możliwości przystosowania założeń budownictwa pasywnego w obiektach basenowych do warunków polskich zachowując podstawowy cel – energooszczędność w cyklu życia. Zbieżność zapisów prawa z kryteriami budownictwa pasywnego sprzyja przybliżeniu się do wykonania basenów krytych jako budynków energooszczędnych. Różnice klimatyczne Polski oraz Niemiec (rodzimego kraju standardu Darmstadt) czynią nasz kraj bardziej wymagającym. Konieczne jest zastosowanie lepszych, sprawniejszych rozwiązań niż w Niemczech, jednakże wybudowanie takiego obiektu w warunkach polskich już się dokonało, a upowszechnienie takich rozwiązań jest możliwe i korzystne. Wiąże się to z indywidualnie określonymi wymaganiami bądź większymi nakładami finansowymi. W związku z powyższym w pracy zdefiniowano wytyczne projektowe w formie katalogu optymalnych komponentów z podaniem ich parametrów oraz roli energetycznej w obiekcie. Określono sposoby minimalizacji strat ciepła dzięki zabiegom architektonicznym. Z powyższego wynika, że cel główny pracy oraz cele pomocnicze zostały osiągnięte.

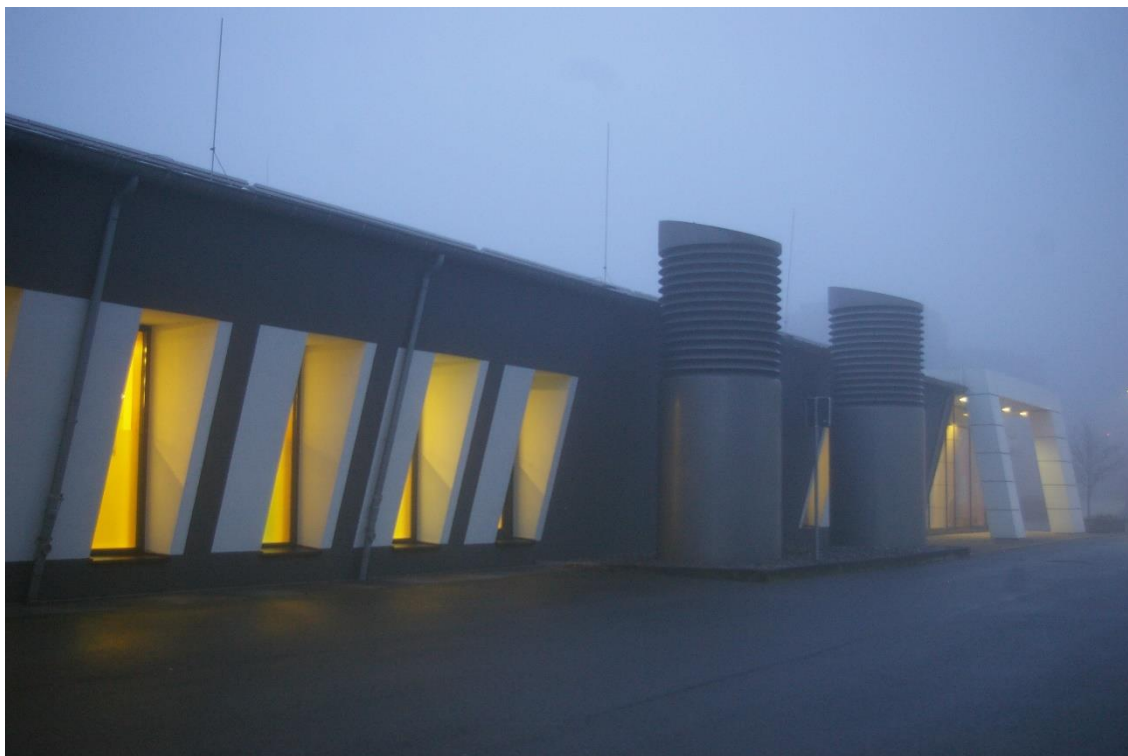
Niniejsza dysertacja i przeprowadzone w niej badania umożliwiły potwierdzenie prawidłowości postawionej tezy.

Założenia standardów pasywnych są zbyt wygórowane dla obiektów basenów krytych. Konieczne jest opracowanie wytycznych projektowych dostosowanych do charakteru obiektów basenowych w polskich warunkach klimatycznych, dla zachowania podstawowego celu, jakim jest energooszczędność i niskie emisje w cyklu życia. Dzięki odpowiedniemu kształtowaniu formy architektonicznej można uzyskać wysokie parametry pasywności. Skala korzyści eksploatacyjnych i środowiskowych w projektowaniu basenów o cechach pasywnych zależy między innymi od rozwiązań architektoniczno-urbanistycznych. Architekci mogą elastycznie projektować konwergentne pasywnie obiekty basenowe przy zachowaniu indywidualnych cech estetycznych budynków i założonym modelu atrakcyjności, w którym straty ciepła generowane przez jeden komponent mogą być zrekompensowane przez atuty innego.

Niniejsza praca wspierając się przeprowadzonymi badaniami naukowymi poszerza dostępną wiedzę na temat obiektów konwergentnie pasywnych, osiągając do tego również efekt pragmatyczny i implementacyjny. Opracowane wytyczne projektowe w formie katalogu optymalnych komponentów mogą być wskazówką dla architektów podczas podejmowania decyzji projektowych lub podczas poszukiwań rozwiązania architektonicznego związanego z osiągnięciem zakładanego poziomu zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania. Prezentowane w pracy wytyczne projektowe są przyczynkiem do uzyskania realnych oszczędności zużycia energii, a w konsekwencji obniżeniem kosztów eksploatacji krytych basenów. Stosowanie proponowanych rozwiązań przełoży się na zmniejszenie kosztów środowiskowych wynikających między innymi z zanieczyszczenia powietrza emisją dwutlenku węgla, czy długością życia budynku wynikającą z jego elastyczności zmiany funkcji, a także przyczyni się do podniesienia ekonomiki budowy i eksploatacji basenów, co przełoży się na zwiększenie dostępu do nich i w konsekwencji poprawę stanu zdrowotnego społeczeństwa.

Bibliografia, spisy, streszczenia

VIII. Bibliografia	190
8.1. Pozycje książkowe i czasopisma	190
8.2. Dokumenty prawne	201
8.3. Normy	202
8.4. Ważniejsze strony internetowe oraz inne materiały	203
IX. Spis tabel	205
X. Spis rysunków	207
XI. Spis załączników	211
XII. Streszczenie	213



Rysunek 84. Basen pasywny Lippe Bad Lünen widok na elewację północną (fotografia Autorki).

VIII. Bibliografia

8.1. Pozycje książkowe i czasopisma

- 1) Ah-Young L., Miryoung Y., Eun-Hye K., Hyun-Ah K., Myoung Ju L., Hae-Kwan C., Effects of mechanical ventilation on indoor air quality and occupant health status in energy-efficient homes: a longitudinal field study. *Science of The Total Environment*, Volume 785, 2021
- 2) Ahrens O., Beckert S., Franke T., Grove-Smith J., Hitz A., Horstmann W., Kah O., Koch G., Krick B., Ostermann U., Peper S., Pöter M., Schulz T., Bramey F. *Integrale Planung für die Realisierung eines öffentlichen Hallenbades mit Konzepten der Passivhaustechnologie*, Endbericht Lünen, Dezember 2011
- 3) Aicher F. *Material, Type, Site in be2226 The Temperature of Architecture Portrait of an Energy-Optimized House* Edited by Dietmar Eberle and Florian Archer Basel, 2016, str. 131-142
- 4) Aicher F., Eberle D., *In Defence of the User in be2226 The Temperature of Architecture Portrait of an Energy-Optimized House* Edited by Dietmar Eberle and Florian Archer Basel, 2016, str. 163-178
- 5) Alders N. Adaptive Thermal Comfort opportunities for dwellings: providing thermal comfort only when and where needed in Dwellings in The Netherlands, *A+BE Architecture and the Built Environment*, vol. 13, 2016
- 6) Almeida R.M.S.F., Pinto M., Pinho P.G., de Lemos L.T. Natural ventilation and indoor air quality in educational buildings: experimental assessment and improvement strategies. *Energy Effic* 2017 str. 10
- 7) Alzoubi, H.H., Malkawi A.T. The optimal utilization of solar energy in residential buildings in light of the Jordanian building regulations *Sustain. Cities Soc.*, 14, 2014, str. 441-448
- 8) Bać A., Nemś M., Nemś A., Kasperski J. Sustainable Integration of a Solar Heating System into a Single-Family House in the Climate of Central Europe—A Case Study. *Sustainability* 2019, 11, 4167
- 9) Bać A. redakcja naukowa Miecznikowska A. redakcja Architektura energoaktywna po 2021 Tom 1. Zagadnienia architektoniczno-budowlane, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2020
- 10) Baker N. The irritable occupant: Recent developments in thermal comfort theory. *Architectural Research Quarterly*, 2(2), 1996 str. 84-90
- 11) Beizaee A., Lomas K.J., Firth S.K. National survey of summertime temperatures and overheating risk in English homes. *Build. Environ.*, 65 (2013), str. 1-17
- 12) Ben-David T., Waring M. S. Impact of natural versus mechanical ventilation on simulated indoor air quality and energy consumption in offices in fourteen U.S. cities. *Building and Environment*, Volume 104, str. 320-336, 2016.
- 13) Błażejczyk K., Kuchcik M., Milewski P., Dudek W., Kręcisz B., Błażejczyk A., Szmyd J., Degórska B., Pałczyński C. *Miejska wyspa ciepła w Warszawie*, Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyńskiego 2014

- 14) Bujniewicz Z. Współczesna architektura akwaticzna systematyka, mowy obszar realizacji, warunki rozwoju, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2015
- 15) Carlsson B., Elmroth A., Engvall P. Airtightness and thermal insulation building design solutions, Swedish Council for Building Research, Stockholm, Sweden D37:1980.
- 16) Csáky, I., Kalmár, F. Effects of thermal mass, ventilation, and glazing orientation on indoor air temperature in buildings. *Journal of Building Physics*, 2015 39(2), str. 189-204.
- 17) Celadyn W. Architektura energooszczędna w planowaniu przestrzennym. *Czasopismo Techniczne Architektura* 2010
- 18) Ching F.D.K.: Architecture form, space, & order, a VNR Book John & sons, INC, Canada, 1996
- 19) Ciardiello A., Rosso F., Dell'Olmo J., Ciancio V., Ferrero M., Salata F. Multi-objective approach to the optimization of shape and envelope in building energy design, *Applied Energy*, Volume 280, 2020,
- 20) Cook J. The Skyscraper Bioclimatically Considered By Ken Yeang. Academy Editions, PB. *Architectural Research Quarterly*, 2(3), 1997, str. 92-94.
- 21) Dębińska A. (eds). Budownictwo energooszczędne Vademecum (Energy efficient building Vademecum, 36. Warszawa, Poland: Wydawnictwo Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa sp. z o.o. (Polish Chamber of Civil Engineers), 2015
- 22) Dholakia-Lehenbauer K., Elliott E., Cordell B. (2012). Economic rhythms, Maslow Windows and the new space frontier. *Space Policy*, vol. 28, Issue 4, 2012, str. 291-298
- 23) Ebel, W.; Großklos, M.; Knissel, J.; Loga, T., Müller, K. Wohnen in Passiv- und Niedrigenergiehäusern – Eine vergleichende Analyse der Nutzungsfaktoren am Beispiel der „Gartenhofsiedlung Lummerlund“ in Wiesbaden-Dotzheim, Endbericht / Energie; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt 2003.
- 24) Eberle D. (red.) Aicher F. (red.), Be2226 The temperature of Architecture, monograph, Birkhäuser Verlag GmbH, Basel 2016
- 25) Fanger P. O. Indoor air quality in the 21 century, *Indoor Air*, no. 10, 2000
- 26) Fedorczak-Cisak M., Furtak M. Małopolskie Laboratorium Budownictwa Pasywnego. *Czasopismo Techniczne Budownictwo* 2012
- 27) Feireiss K. a Personal Approach in be2226 The Temperature of Architecture Portrait of an Energy-Optimized House Edited by Dietmar Eberle and Florian Archer Basel, 2016, str. 25-33
- 28) Feist W. Luftqualität im Passivhaus; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1994
- 29) Feist W. Wirtschaftlichkeit ausgewählter Energiesparmaßnahmen im Gebäudebestand, Passivhaus Institut, Darmstadt 1998
- 30) Feist W. Passivhaus Projektierungs Paket, anforderungen an qualitaetsgepruefte Passivhaeuser Passivhaus Institut, Darmstadt, Germany 2002

- 31) Feist W. Heizlast in Passivhäusern – Validierung durch Messungen, Passivhaus Institut, Darmstadt Juni 2005
- 32) Feist W., Bastian Z., Ebel W., Gollwitzer E., Grove-Smith J., Kah O., Kaufmann B., Krick B., Pfluger R., Schnieders J. Steiger J. Darmstadt 2015 Pakiet do projektowania budynków pasywnych wersja 9.3 Instytut Budownictwa Pasywnego 2016
- 33) Feist W., John M., Kah O. (2003): Passivhaustechnik im Gebäudebestand – Qualitätssicherung für das Bauvorhaben, Passivhaus Institut Darmstadt in Auftrag der WBG, Nürnberg 2003
- 34) Feist W., Münzenberg U., Tumulla J., Podstawy budownictwa pasywnego 2009
- 35) Feist W., Münzenberg U., Tumulla J., Schlagowski, G. Podstawy budownictwa pasywnego, Wydawnictwo PIBP, Gdańsk 2006
- 36) Feist W., Peper S., Kah O., Von Oesen M. Climate Neutral Passive House Estate in HannoverKronsberg: Construction and Measurement Results, a combination of the CEPHEUS reports Nr 18 and Nr 19. The Stadtwerke Hannover commissioned the combination in the framework of the European PEP project. Hannover, Germany: Passive House Institute 2005
- 37) Feist W., Peper S., Kah O., von Oesen M. Climate Neutral Passive House Estate in Hannover-Kronsberg: Construction and Measurement Results. PEP Project Information No. 1. ProKlima, Hannover 2005
- 38) Feist W., Pfluger R., Kaufmann B., Schnieders J., Kah O. Passivehaus-ProjektierungspaketAnforderungen an qualitaetsgepruefte Passivhaeuser Passivhaus Institut, Darmstadt 2007
- 39) Feist W., Schnieders J., Dorer V., Haas A. Re-inventing air heating: convenient and comfortable within the frame of the passive house concept Energy Build, 37, 2005, str. 1186-1203
- 40) Feist W., Pfluger R., Kaufmann B., Schnieders J., Kah O., Pakiet do projektowania budynków pasywnych, Polski Instytut Budownictwa Pasywnego, Gdańsk 2006
- 41) Flis J: Terminy geograficzne. Wyd. V (zmienione). Warszawa: Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, 1999.
- 42) Flynn E. (Experimenting with) Living Architecture: a practice perspective. Architectural Research Quarterly, 20(1), str. 20-28. 2016
- 43) Ford B. Passive draught evaporative cooling: Principles and practice. Architectural Research Quarterly, 5(3), str. 271-280. 2001
- 44) Gerlic K. The membrane roof effect on the microclimate of open space of a mall in Katowice, [in] Lightweight structures in civil engineering. Contemporary problems. Monograph from Scientific Conference of IASS Polish Chapters. XX LSCE 2014, Micro-Publisher-Consultant-Project Jan B. Obrębski, Warsaw 2014, str. 80-86
- 45) Gerlic K., Czerń w architekturze w aspekcie zrównoważonego rozwoju – Część 1, "Builder", 3 (296) str. 18-21, 2022

- 46) Ghisellini P., Cialani C., Ulgiati S. a review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems, *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd 114 (2016) str. 11–32
- 47) Gleń P., Suchorab Z., Widomski M.K. The impact of the cubature of the building on the effectiveness of passive housing, *AIP Conference Proceedings* 2133, 020015 (2019)
- 48) Gollwitzer E., Gressier F., Peper S. Passivhaus-Hallenbad Bambados Monitoring, Passive House Institute Dr. Wolfgang Feist, Darmstadt, August 2015
- 49) Gollwitzer E., Grove-Smith J., Peper S. Passivhaus-Konzept für Hallenbäder: Datenauswertung und Empfehlungen, Darmstadt, Juni 2018
- 50) Gollwitzer E., Grove-Smith J., Peper S., Schulz T. Passivhaus-Konzept für Hallenbäder: Leitfaden, Herausgeber, PHI, AuftraggeberDBU, Darmstadt 2018
- 51) Goncalves V., Ogunjimi Y., Heo Y. Scrutinizing modeling and analysis methods for evaluating overheating risks in passive houses. *Energy and Buildings*, Volume 234, 2021.
- 52) Gourlis G., Kovacic I. Passive measures for preventing summer overheating in industrial buildings under consideration of varying manufacturing process loads. *Energy*, Volume 137, 2017, str. 1175-1185
- 53) Górecka M. Architektura energooszczędnego domu mieszkalnego polskiej wsi w aspekcie zrównoważonego rozwoju (Architecture of an energy-saving residential home in the Polish countryside in the aspect of sustainable development). Warszawa, Poland: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej (Warsaw University of Technology) 2004
- 54) Graf A., *Neue Passivhäuser*, München: Callwey, 2003
- 55) Grobe C., *Passivhäuser planen und umbauen*, 2002
- 56) Gruber P.: *Biomimetics in Architecture: Architecture of Life and Buildings*, Springer Wien, NewYork, 2011
- 57) Haber Z. *Kształtowanie terenów zieleni z elementami ekologii*. Polska: Wydaw. Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego, 2001.
- 58) Hajat S., Vardoulakis S., Heaviside C., Eggen B. Climate change effects on human health: projections of temperature-related mortality for the UK during the 2020s, 2050s and 2080s. *J. Epidemiol. Community Health*, 68 (7) (2014), pp. 641-648
- 59) Harvey J., Heidrich O., Cairns K.: Psychological factors to motivate sustainable behaviours, *Proc. Inst. Civ. Eng.: Urban Design and Planning* vol. 167 (4), 2014 pp. 165–174
- 60) Hausladen G., Saldanha M., Leidl P., *Climate Skin, Building-skin Concepts that Can Do More with Less Energy*, Birkhäuser, Basel–Boston–Berlin 2006.
- 61) Hayter SJ., Kandt A. Renewable energy applications for existing buildings – preprint. *Proceedings of the 48th AiCARR international conference* 2011; str. 1–15.

- 62) Heyman J. Developments in Structural Form by Rowland Mainstone 2nd edition Architectural Press, Oxford Architectural Research Quarterly, 3(3), 1999 str. 285-286.
- 63) Hrivnak J., Is relative sustainability relevant? Architectural Research Quarterly, 11(2), 167-176. 2007
- 64) Huang Y., Niu J., Optimal building envelope design based on simulated performance: history, current status and new potentials. Energy Build, 117, pp. 387-398, 2016
- 65) Hugentobler W. Health Aspects in be2226 The Temperature of Architecture Portrait of an Energy-Optimized House Edited by Dietmar Eberle and Florian Archer Basel 2016 str. 143-153\
- 66) Hui P.S., Wong L.T., Mui P.S. Using carbon dioxide concentration to assess indoor air quality in offices. Indoor Built Environment, 2008, 17: str. 213-219
- 67) Hulley M. E. The urban heat island effect: Caused and potential solutions, Metropolitan Sustainability, 2012
- 68) Jagielak M. "BE2226: TYLKO ARCHITEKTURA", Zawód: Architekt Ogólnopolski Magazyn Architektów RP Z:A nr 72 nr marzec – kwiecień 2020
- 69) Junghans L. The Energy Concept in be2226 The Temperature of Architecture Portrait of an Energy-Optimized House Edited by Dietmar Eberle and Florian Archer Basel 2016, str. 45-54
- 70) Kaczowska, A. Dom pasywny. Krosno: Wydawnictwo KaBe 2009
- 71) Kaczmarzyk M. Wpływ współczynnika kształtu A/V na wielkość strat ciepła w budynku w świetle rosnących wymogów dotyczących izolacyjności termicznej przegród budowlanych. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture JCEEA, t. XXXIV, z. 64 (2/II/17), kwiecień-czerwiec 2017, s. 45-54, DOI: 10.7862/rb.2017.80
- 72) Kah O., Bräunlich K., Schulz T., Grill A., Ottinger O., Schumacher R. Umsetzung des Passivhaus-Konzepts in Krankenhäusern, Passive House Institute Dr. Wolfgang Feist, Darmstadt, Oktober 2013
- 73) Kaiser K. Wentylacja hal basenowych, Rynek Instalacyjny 3/2020
- 74) Kalinowska A., Miasto idealne – miasto zrównoważone. Planowanie przestrzenne terenów zurbanizowanych i jego wpływ na ograniczenie skutków zmian klimatu, Uniwersyteckie Centrum Badań nad Środowiskiem Przyrodniczym i Zrównoważonym Rozwojem, Uniwersytet Warszawski, Warszawa 2015
- 75) Kasperkiewicz, K. Wybrane zagadnienia oceny i projektowania energooszczędnych budynków mieszkalnych. Warszawa: Instytut Techniki Budowlanej. Konsultacje programu dopłat do kredytów na domy energooszczędne, Materiały prasowe NFOŚiGW, 18 maja 2012 r., Warszawa 2005
- 76) Kaufmann B., Feist W. Pfluger R., Passivhäuser erfolgreich planen und bauen, 2004

- 77) Keller B., Magyari E. a universally valid strategy for low energy houses. *Renewable Energy*, 15, 1998, str. 401-406
- 78) Kheiri F. a review on optimization methods applied in energy-efficient building geometry and envelope design, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 92, 2018, str. 897-920
- 79) Kisilewicz T., Dudzińska A., Summer overheating of a passive sports hall building. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, Volume 15, Issue 4, 2015, str. 1193-1201
- 80) Kołodziejczyk-Kęsoń A. Selected analysis of Energy-saving kindergartens in Złoty Potok – commune od Janów, along with its usage evaluation. a case study, *Architecture, Civil Engineering, Environment*, Volume 1, 2019, str. 19-32
- 81) Kołodziejczyk-Kęsoń A., Grebski M. Cost effectiveness of the zero-net energy passive house, *Management Systems in Production Engineering*, Vol 31, no1, 2023 str. 43-52
- 82) Krajowy Ruch Ekologiczno-Społeczny. Budownictwo pasywne na Mazowszu aspekty ekologiczne, ekonomiczne i techniczne, seria Budynki pasywne – mistrzowie oszczędzania energii. Warszawa, Poland: Krajowy Ruch Ekologiczno-Społeczny (Polish Association for Ecology and Society) 2007
- 83) Krause M. „4.5. Termoregulacja organizmu człowieka i obciążenie termiczne. Pakiet edukacyjny dla szkół wyższych Nauka o pracy – bezpieczeństwo, higiena, ergonomia. Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy 2022
- 84) Kuczyńska H., Bortel K., Kamińska-Tarnawska E., Langer E., Romaniuk W., Majchrzak M., Borek K., Mazur K., Wardal W. Zimne dachy – ekonomiczne i ekologiczne rozwiązanie doboru pokryć dachowych, Farby i lakiery, 1/2016, str. 3-10
- 85) Laskowski L., Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008
- 86) Lefort J-P., Monnier J-L., Renouf J., Danukalova G., Impact of katabatic winds on the environment of Neanderthals during the Middle Palaeolithic in westernmost Europe. Special Issue: Pleistocene geoarchaeology and palaeoenvironments in European loess, Volume 36, Issue 8, November 2021, str. 1311-1321
- 87) Leskovaar V.Ž., Premrov M. An approach in architectural design of energy-efficient timber buildings with a focus on the optimal glazing size in the south-oriented façade. *Energy Build*, 2011, 43, str. 3410-3418
- 88) Liang X., Wang Y., Royapoor M., Wu Q., Roskilly T., Comparison of building performance between Conventional House and Passive House in the UK, *Energy Procedia*, Volume 142, 2017, str. 1823-1828
- 89) Lin Y.-H., Lin M.-D., Tsai K.-T., Deng M.-J., Ishii H., Multi-objective optimization design of green building envelopes and air conditioning systems for energy conservation and CO2 emission reduction, *Sustainable Cities and Society*, Volume 64, 2021

- 90) Lisik, A.(red.). Odnawialne źródła energii w architekturze (Renewable energy sources in architecture). Gliwice, Poland: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej (Silesian University of Technology in Gliwice) 2002
- 91) Lomas K.J., Porritt S. M. Overheating in buildings: lessons from research. Build. Res. Inf., 45 (1–2) (2017), str. 1-18,
- 92) Łukasiewicz, A., Łukasiewicz, Sz. Rola i kształtowanie zieleni miejskiej Skrypt dla studentów ochrony środowiska. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 2011.
- 93) Mall T., Muring T., Henry A. Energy balance calculation of window glazings in the northern latitudes using long-term measured climatic data, Energy Convers. Manag., 89, 2015, str. 896-906
- 94) Massman W.J. a review of the molecular diffusivities of H₂O, CO₂, CH₄, CO, O₃, SO₂, NH₃, N₂O, NO and NO₂, in air, O₂ and N₂ near STP. Atmospheric Environment, 1998, 32 (6) str. 1111-1127
- 95) Mazur D. Złoża filtracyjne, czym dysponujemy na rynku. Basenprof portal branży basenowej 2016
- 96) Mietła M.: Wieloaspektowe porównanie wybranych koncepcji jednorodzinnego budynku „normowego” i pasywnego, Praca dyplomowa KOW i TO, Politechnika Śląska, Gliwice 2006
- 97) Mikoś J. Budownictwo ekologiczne (Ecological building). Gliwice, Poland: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej (Silesian University of Technology) 1996.
- 98) Mlakar J., Štrancar J. Overheating in residential passive house: Solution strategies revealed and confirmed through data analysis and simulations. Energy and Buildings 2011, Volume 43, Issue 6, str. 1443-1451
- 99) Monsen W.A., Klein S. A., Beckman W. A., Prediction of direct gain solar heating system performance. Sol Energy, 27, 1981 str. 143-147
- 100) Morgan C., Foster J. A., Poston A., Sharpe T. R. Overheating in Scotland: contributing factors in occupied homes. Build. Res. Inf. (1–2) (2017), str. 143-156
- 101) Mouton L., Trigaux D., Allacker K., Röck M. Low-tech passive solar design concepts and bio-based material solutions for reducing life cycle GHG emissions of buildings – Life cycle assessment of regenerative design strategies (2/2), Energy and Buildings, Volume 282, 2023
- 102) Nansen F. (1893) „Wśród nocy i lodów” 1897, wydanie polskie 1898, materiały z kursu CEPH (kurs Certyfikowanego Europejskiego Projektanta Doradcy Budownictwa Pasywnego)
- 103) Nantka, M. B.: Renewable Energy Sources and their Co-operation with Heat Systems, Proceedings of X International Symposium Polish Academy of Science, Szczecin, Poland 2004
- 104) Nemś M., Kasperski J., Nemś A., Bać A. Validation of a new concept of a solar air heating system with a long-term granite storage bed for a single-family house. Applied Energy, Volume 215, 2018, str. 384-395

- 105) Niezabitowska, E. D. Metody i techniki badawcze w architekturze (Research methods and techniques in architecture). Gliwice, Poland: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej (Silesian University of Technology in Gliwice) 2014
- 106) Nowak B. Wentylacja w budynkach niemieszkalnych wg PN-EN 15251, Rynek Instalacyjny 4/2008
- 107) Obrecht T. P., Premrov M., Leskovar V. Ž. Influence of the orientation on the optimal glazing size for passive houses in different European climates (for non-cardinal directions), Solar Energy, Volume 189, 2019, str. 15-25,
- 108) Oliveira A.C., de Oliveira, Fernandes E., a new simplified method for evaluating the thermal behaviour of direct gain passive solar buildings. Sol Energy, 48 1992 str. 227-233
- 109) Olgyay V. Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. Princeton University Press, Princeton, 1963.
- 110) Orzeszek-Gajewska, B. Kształtowanie terenów zieleni w miastach. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1984.
- 111) Ouarghi R., Krarti M. Building shape optimization using neural network and genetic algorithm approach. ASHRAE Trans, 112 (PART 1), str. 484-491, 2006
- 112) Pacheco R., Ordóñez J., Martínez G. Energy efficient design of building: a review Renew. Sustain. Energy Rev., 16, 2012, str. 3559-3573
- 113) Parasonis J., Keizikas A., Kalibatiene D. The elationship between the shape of a building and its energy performance. Architectural Engineering and Design Management, 8:4, str. 246-256, 2012
- 114) Peper S., Kah O., Pfluger R., Schnieders J. Passive house school in frankfurt riedberg – metrological survey and analysis (first ed.), Passive House Institute, Darmstadt, 2007
- 115) Peper S., Hasper W., Ottinger O. Passive House Construction Pilot Project, Scientific Monitoring of the New Office Building with Garages for the Nordhessen Police Headquarters in Baunatal. Passive House Institute Dr. Wolfgang Feist, Darmstadt, July 2017
- 116) Peper S., Grove-Smith J., Monitoring Passivhaus-Hallenbad Lippe-Bad Lünen, Passive House Institute Dr. Wolfgang Feist, Darmstadt, August 2013
- 117) Perez V, Alexander D. D, Bailey W. H. Air ions and mood outcomes: a review and meta-analysis. BMC Psychiatry. 2013
- 118) Pettenkofer M. J., Ueber den Unterschied zwischen Luftheizung und Ofenheizung in ihrer Entwicklung auf die Zusammensetzung der Luft der beheizten Räume, Polytechnic J. 1851, str. 119, 40-51, 282-290.
- 119) Pettenkofer M.J., Ueber den Luftwechsel in Wohngebäuden, München 1858.
- 120) PIBP 2016 Praca zbiorowa. Materiały do kursu CEPHD– Europejski, Certyfikowany Projektant (Course materials for Certified European Passive House Designer), Passive House Institute 2016
- 121) Piccardo C., Dadoo A., Gustavsson L., Retrofitting a building to passive house level: a life cycle carbon balance, Energy and Buildings, Volume 223, 2020

- 122) Piotrowski, R. Eksperymentalny dom pasywny. Technologie zastosowane w pasywnych budynkach pokazowych zrealizowanych w Warszawie (Experimental passive house. Technologies used in passive demonstration buildings completed in Warsaw). Przewodnik Budowlany, 2012
- 123) Piotrowski, R., Dominiak, P. Budowa domu pasywnego krok po kroku. Warszawa: Wydawnictwo Przewodnik Budowlany 2012
- 124) Pitts A., Passive House and Low Energy Buildings: Barriers and Opportunities for Future Development within UK Practice, Sustainability 2017, 9(2), 272
- 125) Pregizer D., Grundlagen und Bau eines Passivhauses, wyd. 1. Aufl, Heidelberg: Müller, 2002
- 126) Purvis B., Mao Y., Robinson D. Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins, Sustainability Science 14 (3) (2019) str. 681–695, Springer Japan
- 127) Pylsy P., Lylykangas K., Kurnitski J., Buildings' energy efficiency measures effect on CO2 emissions in combined heating, cooling and electricity production, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 134, 2020
- 128) Ramirez-Figueroa C., Beckett R. Living with buildings, living with microbes: Probiosis and architecture. Architectural Research Quarterly, 24(2), 2020 str. 155-168.
- 129) Reiß J., Erhorn H. Messtechnische Validierung des Energiekonzeptes einer großtechnisch umgesetzten Passivhausentwicklung in Stuttgart-Feuerbach, IBP-Bericht WB 117/2003, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart 2003
- 130) Repelewicz, M. Styropian jako materiał konstrukcyjny. Czasopismo Techniczne. Architektura, 11, str. 225–232, 2011
- 131) Rylewski E., Energia własna (dotyczy standardu budownictwa solarno-pasywnego) 2003
- 132) Ryńska E.D., Bioklimatyka a forma architektoniczna, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2001
- 133) Spataru C., Gauthier S. How to monitor people 'smartly' to help reducing energy consumption in buildings?, Architectural Engineering and Design Management, 10:1-2, str. 60-78, 2014
- 134) Schiano-Phan R. (2010). Environmental retrofit: Building integrated passive cooling in housing. Architectural Research Quarterly, 14(2), str. 139-151. 2010
- 135) Schlagowski G. (red.). Budownictwo pasywne materiały konferencyjne IX Międzynarodowe forum wiedzy życie bez troski energetycznej – poprzez 2 równe filary Najwyższa Efektywność Energetyczna i Energia Odnawialna – Regionalna; (Passive building conference materials IXth International knowledge forum – life without energy care – due to two equal pillars – Highest Energy Efficiency and Renewable Energy – Regional) [printed handouts]. Gdańsk, Poland: Wyd. Polski Instytut Budownictwa Pasywnego (Polish Passive House Institute) Dipl. -Ing. Günter Schlagowski sp. z o.o. 2018
- 136) Schneider T., Till J. Flexible housing: Opportunities and limits. Architectural Research Quarterly, 2005 9(2), str. 157-166.

- 137) Schnieders J., Feist W., Pfluger R., Kah O. CEPHEUS–Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung, Endbericht, CEPHEUS-Projektinformation Nr 22, Fachinformation PHI 2001/9 Passivhaus Institut, Darmstadt, July 2001
- 138) Schnieders, J., Feist, W., Pfluger, R. Kah, O. (2001/2(2007)) CEPHEUS 2001 CEPHEUS Naukowa analiza i ocena. Raport końcowy (CEPHEUS 2001 CEPHEUS Scientific analysis and evaluation. Final report). Darmstadt, Germany: Passive House Institute 2007
- 139) Schnieders J., Hermelink A. CEPHEUS results: measurements and occupants' satisfaction provide evidence for Passive House being an option for sustainable building Energy Policy, 34, 2006, str. 151-171
- 140) Schnieders J. Passive-On. a First-Guess Passive Home in Southern France. The Passive-On Project, June 2005
- 141) Schulz, T.; Pfluger, R.; Grove-Smith, J.; Kah, K.; Krick, B. Grundlagenuntersuchung der bauphysikalischen und technischen Bedingungen zur Umsetzung des Passivhauskonzepts im öffentlichen Hallenbad. Veröffentlicht: Passivhaus Institut, Darmstadt 2009.
- 142) Sepúlveda A., De Luca F., Thalfeldt M., Kurnitski J., Analyzing the fulfillment of daylight and overheating requirements in residential and office buildings in Estonia. Building and Environment, Volume 180, 2020
- 143) Sokołowski C. Wymagania sanitarno-higieniczne dla krytych pływalni – Ministerstwo Zdrowia i Opieki Społecznej, Warszawa 1998
- 144) Sokołowski C. Poradnik projektowania i eksploatacji krytych pływalni, Warszawa 1990
- 145) Stachowicz A., Fedorczak-Cisak M. Niskoenergetyczne budynki – analiza zużycia energii w całym cyklu istnienia budynku. Czasopismo Techniczne. Budownictwo, 4 (1–B), str. 133–141, 2007
- 146) Steiner D. Back to Architecture in be2226 The Temperature of Architecture Portrait of an Energy-Optimized House Edited by Dietmar Eberle and Florian Archer Basel, 2016, str. 35-43
- 147) Sun K., Specian M., Hong T., Nexus of thermal resilience and energy efficiency in buildings: a case study of a nursing home, Building and Environment, Volume 177, 2020
- 148) Szczechowiak, E. Parametry budynków niemal zero-energetycznych w warunkach polskich (Parameters of almost zero-energy buildings in Polish conditions), [in.] Wesołowska, M., Podhorecki, A. (red.) Budownictwo energooszczędne w Polsce: stan i perspektywy (Energy-saving construction in Poland: condition and prospects). Bydgoszcz, Poland: Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy (University of Science and Technology in Bydgoszcz) 2015
- 149) Taleghani M., Tenpierik M., Kurvers S. van den Dobbelsteen A. a review into thermal comfort in buildings, Renew. Sustain. Energy Rev. vol. 26, 2013, str. 201–215

- 150) Till J., Schneider T. Flexible housing: The means to the end. *Architectural Research Quarterly*, 2005 9(3-4), str. 287-296.
- 151) van Ellen L.A.: Hybrid habitat for Mars: creating comfort with light, in: *Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC*, 2019-Octob (June), 2019.
- 152) Voelcker A., *Handbook of Sustainable Building* by David Anink, Chiel Boonstra and John Mak James and James, London, 1996 176 pp. ISBN 1873936 389 (pb). *Architectural Research Quarterly*, 3(3), str. 286-286. 1999
- 153) Walker L., Hischier I., Schlueter A. Scenario-based robustness assessment of building system life cycle performance, *Applied Energy*, Volume 311, 2022
- 154) Wang W., Zmeureanu R., Rivard H. Applying multi-objective genetic algorithms in green building design optimization. *Build Environ*, 40 (2005), str. 1512-1525,
- 155) Wang Y., Du J., Kuckelkorn J.M., Kirschbaum A., Gu X., Li D. Identifying the feasibility of establishing a passive house school in central Europe: An energy performance and carbon emissions monitoring study in Germany, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 113, 2019
- 156) Wang Y., Zhao F.Y., Kuckelkorn J., Liu D., Liu J., Zhang J.L. Classroom energy efficiency and air environment with displacement natural ventilation in a passive public school building, *Energy and Buildings*, Volume 70, 2014, str. 258-270
- 157) Węglarz A., Stępień R. (red.) Sulejczak E., Grzegorzółka A. z energetyką przyjazną za pan brat, dom pasywny (To be on friendly terms with friendly energetic, passive house). Warszawa, Poland: Instytut na rzecz ekorozwoju przy współpracy Krajowej Agencji Poszanowania Energii S.A. (Institute for Sustainable Development in collaboration with Polish National Energy Conservation Agency Inc.) 2011
- 158) Węglarz, A., Stępień, R. Dom Pasywny. Warszawa: Instytut na Rzecz Ekorozwoju, przy współpracy Krajowej Agencji Poszanowania Energii S.A. 2011
- 159) Wines J., red. Jodid P. Zielona architektura. Taschen/TMC Art, 2008 Köln str. 64-68
- 160) Wiszniewski A. Naturalne tło aerofonów", *Medycyna Pracy* 1997, 48, 4, str. 427-440
- 161) Wnuk, R. Budowa domu pasywnego w praktyce. Warszawa: Wydawnictwo Przewodnik Budowlany 2012
- 162) Wnuk, R. Instalacje w domu pasywnym i energooszczędnym. Warszawa: Wydawnictwo Przewodnik Budowlany 2007
- 163) Wöhl V. Der überforderte Alleskönner, *Süddeutsche Zeitung* Nr 86/2002, München Instytut für Klima, Umwelt und Energie, Wuppertal
- 164) Wołoszyn, M.A. Wykorzystanie energii słonecznej w budownictwie jednorodzinnych (The use of solar energy in one family houses). Warszawa, Poland: Centralny Ośrodek Informacji Budownictwa (Central Construction Information Center) 1991

- 165) Wołoszyn E. Meteorologia i klimatologia w zarysie, Skrypt dla studentów Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska, Gdańsk 2009
- 166) Woźny A. Wpływ warunków siedliskowych na stan zieleni przyulicznej, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, Nr III/1/2015, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, s. 557–567 Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi
- 167) Wróbel A. Termografia w budownictwie – cz. I, Inżynier budownictwa, Volume 03(71), 2010, str. 57-63
- 168) Wróblewski A.K. Dziwak wśród akademików. Wiedza i Życie, czerwiec 2020 nr 6 (1026), str. 71. Warszawa: Prószyński Media.
- 169) Wyczarska-Kokot J. Nowoczesne i innowacyjne technologie oczyszczania wody basenowej (cz.3) Rynek Instalacyjny 4/2013
- 170) Wyczarska-Kokot J. Nowoczesne i innowacyjne technologie oczyszczania wody basenowej (cz.1) Rynek Instalacyjny 1-2/2013
- 171) Zemella G., De March D., Borrotti M., Poli I., Optimised design of energy efficient building façades via evolutionary neural networks. Energy Build, 43, str. 3297-3302, 2011
- 172) Zhao J., Carter K. Do passive houses need passive people? Evaluating the active occupancy of Passivhaus homes in the United Kingdom, Energy Research & Social Science, Volume 64, 2020,

8.2. Dokumenty prawne

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 roku w sprawie charakterystyki energetycznej budynków [Dz.U. L 153 z 18.6.2010.]
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. W sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych [Dz.U. L 140 z 5.6.2009]
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 r. w sprawie efektywności energetycznej, zmiany dyrektyw 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylenia dyrektyw 2004/8/WE i 2006/32/WE, [Dz.U. L 315/1 z 25.10.2012]
- Protokół z Kioto do Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, sporządzony w Kioto dnia 11 grudnia 1997 r. [Dz. U. 05.203.1684]
- Ramowa konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu UNFCCC z 1992 r., Dz. U. 96.53.238.
- Komisja Europejska, komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów, Ambitniejszy cel klimatyczny Europy do 2030 r. Inwestowanie w przyszłość neutralną dla klimatu z korzyścią dla obywateli, Bruksela, dnia 17.9.2020, COM(2020) 562 final
- Rozporządzenie Ministra finansów z dnia 18 maja 2004 r. w sprawie określania metod i podstaw sporządzania kosztorysu inwestorskiego, obliczania

planowanych kosztów prac projektowych oraz planowanych kosztów robót budowlanych określonych w programie funkcjonalno-użytkowym [Dz. U. 2004 nr 130 poz. 1389]

- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. W sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, tekst jednolity z dnia 18 września 2015 r. Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015 r. W sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. [Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późn. zm.]
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. W sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej. [Dz.U. 2015 poz. 376 z późn. zm.]
- Ustawa Prawo Budowlane z dnia 7 lipca 1994 r. [Dz. U. 1994 Nr 89 poz. 414 z późn. zm]
- Ustawa o charakterystyce energetycznej budynku z dnia 29 sierpnia 2014 r. [Dz.U. 2014 poz. 1200]
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki przestrzennej i budownictwa z dnia 27 stycznia 1994 r. W sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy stosowaniu środków chemicznych do uzdatniania wody i oczyszczania ścieków [Dz. U. Nr 21 poz. 73]

8.3. Normy

- [PN-EN 15288-2] Baseny pływackie – Część 2: Wymagania bezpieczeństwa dotyczące obsługi
- [PN-EN 15288-1] Baseny pływackie – Część 1: Wymagania bezpieczeństwa dotyczące projektowani
- [PN-EN 13451-10] Wyposażenie basenów pływackich – Część 10: Dodatkowe szczegółowe wymagania bezpieczeństwa i metody badań podestów do skoków do wody, trampolin do skoków do wody i wyposażenia dodatkowego.
- [PN-EN 13788:2013-05] Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku -- Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji między warstwowej -- Metody obliczania
- [PN-EN 1026:2016-04] Okna i drzwi -- Przepuszczalność powietrza -- Metoda badania
- [PN-EN ISO 9972:2015-10] Ciepłne właściwości użytkowe budynków -- Określanie przepuszczalności powietrznej budynków -- Metoda pomiaru ciśnieniowego z użyciem wentylatora

- [PN-EN ISO 10077-1:2017-10] Ciepłne właściwości użytkowe okien, drzwi i żaluzji -- Obliczanie współczynnika przenikania ciepła -- Część 1: Postanowienia ogólne
- [PN-EN ISO 10077-2:2017-10] Ciepłne właściwości użytkowe okien, drzwi i żaluzji -- Obliczanie współczynnika przenikania ciepła -- Część 2: Metoda komputerowa dla ram.
- [PN-EN 16798-1:2019-06] Charakterystyka energetyczna budynków -- Wentylacja budynków -- Część 1: Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego do projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków w odniesieniu do jakości powietrza wewnętrznego, środowiska cieplnego, oświetlenia i akustyki -- Moduł M1-6
- [VDI 2089.] Blatt 1. Wärme-, Raumlufttechnik, Wasserversorgung und -entsorgung in Hallen- und Freibädern. Hallenbäder; VDI 2089. Blatt 1:2010-01 Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern. Hallenbäder.
- [PN-83/B-03430] Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania.
- [PN-82/B-02402] Ogrzewnictwo -- Temperatury ogrzewanych pomieszczeń w budynkach
- [PN-EN ISO 12524:2003] Materiały i wyroby budowlane -- Właściwości cieplno-wilgotnościowe -- Tabelaryczne wartości obliczeniowe
- [PN-EN ISO 6946:1999] Komponenty budowlane i elementy budynku -- Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła -- Metoda obliczania
- [PN-B-02020:1991] Ochrona cieplna budynków -- Wymagania i obliczenia
- [EN ISO 14683:2017] Mostki cieplne w budynkach -- Liniowy współczynnik przenikania ciepła -- Metody uproszczone i wartości domyślne
- [PN-EN 12831:2006] Instalacje ogrzewcze w budynkach Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego
- [PN-B-01025:2004] Rysunek budowlany Oznaczenia Graficzne na rysunkach architektoniczno-budowlanych
- [PN-EN ISO 52016-1] Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i chłodzenia, wewnętrzne temperatury oraz jawne i utajone obciążenie cieplne Część 1: Procedury obliczania.

8.4. Ważniejsze strony internetowe oraz inne materiały

Strony internetowe

- [architekciPL 2020] architekciPL, dostęp 2020 kwiecień 08
www.architekcipl.pl/index.php?strona=projekty&sub1=objekty-sportowe&sub2=ba_siem
- [Budownictwo Energooszczędne i pasywne] dostęp 2019 kwiecień 04
<https://www.pasywny-budynek.pl/technologie/historia-i-definicje/historia-budownictwa-pasywnego/>

- [CBPPP 2017] dostęp 2017 maj 06
<http://ee.put.poznan.pl/index.php/instytut/centrum-budownictwa-pasywnego-pp>
- [EPA 2023] EPA United States Environmental Protection Agency dostęp 2023 kwiecień 29 <https://www.epa.gov/heatislands/climate-change-and-heat-islands>
- [EUSA 2017] European Union of Swimmingpool and SPA Associations, dostęp 2017 maj 06 <http://www.eusaswim.eu/wp-content/uploads/2016/02/EUSA-sector-volume-and-market-characteristics.pdf>
- [FLIR 2020] dostęp 2020 grudzień 01 www.flir.eu
- [IARP 2017] dostęp 2017 maj 06 http://www.zawod-architekt.pl/rocznik_iarp/rocznik/Rocznik_IARP_0809_5.pdf
- [International Energy Agency 2021] International Energy Agency, dostęp 2021 maj 28 www.iea.org/topics/buildings
- [Menerga 2023] Menerga dostęp 2023 lipiec 16
<https://www.menerga.com/pl/zastosowania/rodzaje-pomieszczen/baseny-publiczne/>
- [MSiT 2017] Ministerstwo Sportu i Turystyki, dostęp 2017 maj 06
<https://en.msport.gov.pl/article/analiza-funkcjonalno-uzytkowa-dla-pilotazowego-programu-dolnoslaski-delfinek>
- [MSiT 2020 a] Ministerstwo Sportu i Turystyki, dostęp 2020 listopad 28
<https://www.gov.pl/web/sport/pilotazowy-program-dolnoslaski-delfinek>
- [MSiT 2020 b] Ministerstwo Sportu i Turystyki, dostęp 2020 grudzień 08
<https://www.gov.pl/web/sport/analiza-funkcjonalno-uzytkowa-dla-pilotazowego-programu-dolnoslaski-delfinek>
- [Nauka o klimacie 2021] Nauka o klimacie dla sceptycznych dostęp 2023 kwiecień 29 <https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/zmiana-klimatu-w-polsce-na-mapkach-468/>
- [PHI 2017] dostęp 2022 październik 19
https://passipedia.org/planning/component_guidelines_for_cost-optimal_passive_houses_and_enerphit_retrofits
- [PHI 2015] dostęp 2022 kwiecień 26 https://passivehouse-international.org/upload/2015_12_15_Passive-House-Swimming-Pool_Bamberg_Press-Release.pdf
- [PIBP 2018] Polski Instytut Budownictwa Pasywnego dostęp 2018 maj 13
http://www.pibp.pl/?page_id=99
- [pbr 2022] pbr Planungsbüro Rohling AG Architekten Ingenieure, dostęp 2022 maj <https://pbr.de/en/projekte/>
- [SPW 2010] Stowarzyszenie Polska Wentylacja dostęp 2017 maj 06
<http://www.wentylacja.org.pl/pages-68.html>
- [Tchoban Voss architekten 2017] Tchoban Voss architekten, dostęp 2017 maj 02 <http://www.tchobanvoss.de/projekt.php?r=289>

- [Wentylacja.com.pl 2010] dostęp 2018 maj 28
<http://wentylacja.com.pl/news/wdrozenie-ustalen-dyrektywy-200291we-w-polsce-33031.html>

Materiały różne

- [ASHRAE Standard 62-2001] Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.
- [CEPHEUS 1998/3] CEPHEUS – Projektinformation Nr. 3 „Elektrische Geräte für passivhäuser und Projektierung des Stromverbrauchs“, CEPHEUS 1998/3
- [FINA 2021-2025] FINA Facilities Rules Part X, Federation Internationale De Natation 2021-2025, FINA Facilities Rules, Polski Związek Pływacki, Przepisy FINA dotyczące obiektów sportowych 2021-2025
- [GUS 2019] Analizy statystyczne GUS Kultura fizyczna w latach 2017 i 2018 Warszawa, Rzeszów 2019
- [GUS 2015] Informacje i opracowania statystyczne GUS Kultura fizyczna w Polsce w latach 2013 i 2014, Warszawa, Rzeszów 2015
- [KAPE 2022] Zmiana regulacji w zakresie wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej, Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A., Warszawa 2022
- [Hnat 2011] Hnat J. Basen pasywny – możliwości realizacji. Prezentacja Klubu Sportowa Polska 2011
- [Proclima DBZ] na podstawie Institut für Bauphysik, Stuttgart; DBZ 12/89 s. 1639ff
- [architekciPL 2016] architekciPL, dokumentacja projektowa „Budowa krytej pływalni sportowo-rekreacyjnej przy Gimnazjum Publicznym nr 1 im. Ignacego Gilewskiego w Siemiatyczach, ul. Świętojańska 25”

IX. Spis tabel

Tabela 1. Metody i techniki badawcze (opracowanie własne na podstawie [Niezabitowska 2014]).....	23
Tabela 2. Przebadane obiekty użyteczności publicznej w podziale na ich funkcje (opracowanie własne).....	25
Tabela 3. Mieszana metoda badawcza (opracowanie własne).....	29
Tabela 4. Tabela punktacji branej pod uwagę podczas oceny budynków (opracowanie własne).....	30
Tabela 5. Grubości ścian w zależności od przyjętego materiału termoizolacyjnego (opracowanie własne).....	44
Tabela 6. Temperatury w obiekcie basenowym (opracowanie własne na podstawie normy VDI 2089).	50
Tabela 7. Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej (źródło: [Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późn. zm.]).....	62
Tabela 8. Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP na potrzeby chłodzenia (źródło: [Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późn. zm.])	63

Tabela 9. Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP na potrzeby oświetlenia (źródło: [Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późn. zm.])	63
Tabela 10. Parametry przegród zewnętrznych (opracowanie własne na podstawie źródła [Ahrens et al 2011]).....	74
Tabela 11. Parametry przegród zewnętrznych (opracowanie własne na podstawie źródła [Gollwitzer et al 2015]).....	79
Tabela 12. Parametry przegród zewnętrznych (opracowanie własne na podstawie źródła [architekciPL 2016]).....	87
Tabela 13. Wytyczne projektowe – katalog optymalnych rozwiązań architektonicznych dla budynków basenowych - opracowanie na podstawie badań z rozdziału III. oraz IV. (opracowanie własne).....	91
Tabela 14. Porównanie założeń poszczególnych standardów – idealne założenia (opracowanie własne).	104
Tabela 15. Architektoniczne porównanie – aspekty fizyczne – komfort użytkownika (opracowanie własne).	118
Tabela 16. Porównanie architektoniczne – aspekty fizyczne – komfort użytkowników – temperatura (opracowanie własne).....	119
Tabela 17. Architektoniczne porównanie – aspekty fizyczne – komfort użytkownika – światło naturalne (opracowanie własne).	121
Tabela 18. Porównanie architektoniczne – aspekty estetyczne - kształt (opracowanie własne).	122
Tabela 19. Porównanie architektoniczne – aspekty estetyczne – kolor (opracowanie własne).	124
Tabela 20. Porównanie architektoniczne – elastyczność budynku – zmiana funkcji (opracowanie własne).	124
Tabela 21. Zbiorcze porównanie architektoniczne w podziale na aspekty przebadanych budynków (opracowanie własne).....	125
Tabela 22. Wnioski z badań istniejących obiektów, opracowane na podstawie rozdziału V. Zestawienie ogólnych tendencji poszczególnych komponentów mające wpływ na energooszczędność badanych obiektów, ich rola energetyczna i wnioski związane z projektowaniem (opracowanie własne).	130
Tabela 23. Różnice klimatyczne Polski i Niemiec względem elementów budowlanych (opracowanie własne).	139
Tabela 24. Ogólna charakterystyka dla klimatów umiarkowanie zimnych Polski i Niemiec (opracowanie własne na podstawie źródła [Feist et al 2016])	140
Tabela 25. Przykładowe termogramy różnych nawierzchni wraz z ich fotografiami (opracowanie własne).	151
Tabela 26. Procentowy udział przebadanych gatunków drzew na wybranym stanowisku (opracowanie własne).....	154
Tabela 27. Wytyczne projektowe – katalog optymalnych komponentów architektonicznych, technicznych i technologicznych dla konwergentnych	

budynków basenowych - opracowanie na podstawie badań rozdziału VI. (opracowanie własne).....	176
---	-----

X. Spis rysunków

Rysunek 1. Wnętrze basenu pasywnego w Siemiatyczach (fotografia Autorki).	6
Rysunek 2. Symbol orientacji budynku względem kierunku północy zgodnie z normą [PN-B-01025:2004].....	13
Rysunek 3. Lokalizacja badanych obiektów budowlanych (opracowanie własne)....	17
Rysunek 4. Diagram kroków badawczych użytych w badaniach (opracowanie własne).	23
Rysunek 5. Trzeci krok badawczy – cechy architektoniczne pozwalające na osiągnięcie pasywności w budynku (opracowanie własne).	24
Rysunek 6. Wybrane do badań aspekty budynków (opracowanie własne).	30
Rysunek 7. Przyporządkowanie czynników do wybranych aspektów budynków (opracowanie własne).	30
Rysunek 8. Schemat układu pracy (opracowanie własne)	37
Rysunek 9. Wnętrze strefy saunowej basenu pasywnego w Siemiatyczach (fotografia Autorki).	38
Rysunek 10. Zasada odczuwalnego komfortu termicznego (opracowanie własne na podstawie źródła [Feist et al 2006 b]).....	41
Rysunek 11. Wykroplenie wody w szczelinie, przez którą przenika powietrze (opracowanie własne, na podstawie źródła [PIBP 2016]).	47
Rysunek 12. Przykładowe wymiary podane w oficjalnych przepisach FINA dotyczących obiektów dla basenów 50 x 25 m 8-torowego (opracowanie własne na podstawie źródła [FINA 2021-2025]).	67
Rysunek 13. Przykładowe wymiary podane w oficjalnych przepisach FINA dotyczących obiektów dla basenów 25 x 21 m 8-torowego (opracowanie własne na podstawie źródła [FINA 2021-2025]).	67
Rysunek 14. Basen pasywny w Lippe Bad Lünen widok na elewację zachodnią (fotografia Autorki).	69
Rysunek 15. Sytuacja. Basenu Lippe Bad Lünen (opracowanie własne).	70
Rysunek 16. Zdjęcie wejścia basenu Lippe Bad Lünen (fotografia Autorki).	70
Rysunek 17. Schemat rozwiązania pryszniców i szafek (opracowanie własne).	72
Rysunek 18. Program obiektu Lippe Bad Lünen (opracowanie własne).	73
Rysunek 19. Sytuacja. Basen Bambados (opracowanie własne).	76
Rysunek 20. Zdjęcie strefy wejściowej basenu Bambados (fotografia Autorki)	76
Rysunek 21. Program basenu Bambados - podbasenie (opracowanie własne).	78
Rysunek 22. Program basenu Bambados – parter: plaża basenowa (opracowanie własne).	78

Rysunek 23. Program basenu Bambados - piętro (opracowanie własne).....	79
Rysunek 24. Zależności pomiędzy założeniami budownictwa pasywnego, a oszczędnościami (opracowanie własne na podstawie źródła [Gollwitzer et al 2015]).....	81
Rysunek 25. Wentylacja warstwowa (opracowanie własne na podstawie źródła [Gollwitzer et al 2015]).....	82
Rysunek 26. Sytuacja. Basen w Siemiatyczach (opracowanie własne).....	83
Rysunek 27. Basen Wodne Tarasy w Siemiatyczach (fotografia autorki).....	83
Rysunek 28. Program basenu w Siemiatyczach - podbasenie (opracowanie własne).	85
Rysunek 29. Program basenu w Siemiatyczach – parter: plaża basenowa (opracowanie własne).....	86
Rysunek 30. Program basenu w Siemiatyczach - piętro (opracowanie własne).....	86
Rysunek 31. Basen pasywny w Lippe Bad Lünen widok na elewację zachodnią (fotografia Autorki).....	94
Rysunek 32. Wykres wartości wskaźnika zwartości bryły A/V w podziale na standardy przebadanych budynków (opracowanie własne).....	95
Rysunek 33. Wykres wartości kąta odchylenia osi badanych budynków od kierunku północnego (opracowanie własne).....	97
Rysunek 34. Procent szklenia fasad badanych obiektów na elewacji północnej i południowej (opracowanie własne).....	97
Rysunek 35. Procent szklenia fasad badanych obiektów na elewacji wschodniej i zachodniej (opracowanie własne).....	98
Rysunek 36. Porównanie procentowego zestawienia szklenia fasad badanych obiektów na elewacjach północnej i południowej oraz wschodniej i zachodniej (opracowanie własne).....	98
Rysunek 37. Schemat funkcji, z których może składać się obiekt basenowy (opracowanie własne).....	106
Rysunek 38. Schemat przenikania funkcji w obiekcie uwidaczniający ich preferowane sąsiedztwo (opracowanie własne).....	107
Rysunek 39. Przykładowe możliwości piętrowego układu funkcji w obiekcie z basenem (opracowanie własne).....	108
Rysunek 40. Kategorie i typy układów funkcjonalnych przebadanych obiektów w podziale na poszczególne kategorie (opracowanie własne).....	109
Rysunek 41. Przyporządkowanie funkcji do danej kategorii i typu budynku (opracowanie własne).....	111
Rysunek 42. Kategorie i typy doświetlenia światłem dziennym badanych budynków (opracowanie własne).....	112
Rysunek 43. Przyporządkowanie badanych budynków pod kątem doświetlenia światłem dziennym do danej kategorii i typu (opracowanie własne)....	112
Rysunek 44. Kategorie i typy przeszkleń fasad badanych budynków (opracowanie własne).....	113

Rysunek 45. Przyporządkowanie badanych budynków pod kątem perforacji fasad do danej kategorii i typu (opracowanie własne).....	114
Rysunek 46. Kategorie i typy brył badanych budynków (opracowanie własne)....	115
Rysunek 47. Przyporządkowanie badanych budynków pod kątem brył budynków do danej kategorii i typu (opracowanie własne).....	116
Rysunek 48. Montaż okna w ociepleniu w budynkach pasywnych (opracowanie własne).	120
Rysunek 49. Montaż okna w ścianie budynku be2226 (opracowanie własne).....	120
Rysunek 50. Basen pasywny Bambados widok na strefę wejściową (fotografia Autorki).	135
Rysunek 51. Podział stref klimatycznych Eurazji wg Passivhaus Institut (opracowanie własne na podstawie źródła [PHI 2017])	138
Rysunek 52. Ogólna charakterystyka klimatu zimnego Polski [Feist et al 2016]	140
Rysunek 53. Aksonometria modelu budynku referencyjnego (opracowanie własne).	141
Rysunek 54. Warianty modelu budynku referencyjnego w różnych strefach klimatycznych (opracowanie własne).....	142
Rysunek 55. Warianty grubości ocieplenia modelu budynku referencyjnego (opracowanie własne).....	143
Rysunek 56. Poglądowy wygląd elewacji w zależności od głębokości montażu okien w ścianie (opracowanie własne).....	144
Rysunek 57. Warianty zagłębienia stolarki w lico ściany modelu budynku referencyjnego – wpływ na zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania (opracowanie własne).....	145
Rysunek 58. Warianty zagłębienia stolarki w lico ściany modelu budynku referencyjnego – wpływ na częstotliwość przegrzewania obiektu (opracowanie własne).....	145
Rysunek 59. Warianty zastosowania materiałów termoizolacyjnych o różnym współczynniku lambda na modelu budynku referencyjnego – wpływ na zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania (opracowanie własne).	146
Rysunek 60. Warianty zacienienia przeszklenia (zmienna wielkość płyty) w modelu budynku referencyjnego (opracowanie własne).....	146
Rysunek 61. Rysunek detalu wraz z termogramami z Certyfikatu komponentu pasywnego ID: 2043bc03 uzyskanego przez produkt TekTherm™ AK300HT firmy Thermal Breaks LTD.	147
Rysunek 62. Rysunek termogramu łącznika balkonowego z certyfikatu komponentu pasywnego uzyskanego przez produkt Schöck Isokorb® XT Typ Q po lewej oraz Typ SK po prawej firmy Schöck Bauteile GmbH.....	147
Rysunek 63. Rysunek termogramu łącznika balkonowego z certyfikatu komponentu pasywnego uzyskanego przez produkt HIT-SP MVX-0504-18-100-35-OU/-OD firmy Leviat GmbH.....	148

Rysunek 64. Warianty długości pyty zacieniającej okna oraz sposobu jej montażu w modelu budynku referencyjnego (opracowanie własne).	148
Rysunek 65. Warianty głębokości pyty zacieniającej okna w modelu budynku referencyjnego – wpływ na częstotliwość przegrzewania (opracowanie własne).	149
Rysunek 66. Warianty rodzajów zacieniania okna w modelu budynku referencyjnego – wpływ na częstotliwość przegrzewania (opracowanie własne).	150
Rysunek 67. Udział przebadanych gatunków drzew w wybranym siedlisku bez podziału na odmiany (opracowanie własne).	155
Rysunek 68. Procent zacienienia dla przebadanych lip holenderskich (opracowanie własne).	156
Rysunek 69. Procent zacienienia dla przebadanych klonów pospolitych (opracowanie własne).	157
Rysunek 70. Procent zacienienia dla przebadanych żywotników zachodnich (opracowanie własne).	158
Rysunek 71. Procent zacienienia dla przebadanych świerków pospolitych (opracowanie własne).	159
Rysunek 72. Warianty zacienienia modelu budynku referencyjnego szpalerem drzew liściastych różnych gatunków (opracowanie własne).	161
Rysunek 73. Warianty zacienienia modelu budynku referencyjnego szpalerem drzew iglastych różnych gatunków (opracowanie własne). Dla porównania z wykresami drzew liściastych przedstawiono wykresy w zakresie osi pionowej od 0 do 50 kWh/(m ² a), a dla ucytelnienia wyników przedstawiono wykresy przyjmując zmniejszony zakres wartości na osi pionowej od 30 do 35 kWh/(m ² a).	162
Rysunek 74. Porównanie wariantów zacienienia modelu budynku referencyjnego szpalerami drzew liściastych oraz iglastych różnych gatunków (opracowanie własne). Zestawiono różne gatunki drzew w podziale na wysokość szpaleru.	164
Rysunek 75. Warianty szczelności modelu budynku referencyjnego – wpływ na zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania (opracowanie własne).	166
Rysunek 76. Warianty zastosowania różnego rodzaju stolarki w modelu budynku referencyjnego – wpływ na zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania (opracowanie własne).	167
Rysunek 77. Kierunki świata i ich wartości w stopniach (opracowanie własne).	168
Rysunek 78. Warianty odchylenia modelu budynku referencyjnego od kierunku północnego – wpływ na zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania (opracowanie własne).	168
Rysunek 79. Warianty ilości przeszklenia (zmienna wielkość powierzchni przeszkleń) w modelu budynku referencyjnego (opracowanie własne).	168

Rysunek 80. Warianty zastosowania dodatkowego przeszklenia w modelu budynku referencyjnego – wpływ na zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania (opracowanie własne).....	169
Rysunek 81. Warianty zwiększenia powierzchni użytkowej w tej samej kubaturze modelu budynku referencyjnego – wpływ na wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię potrzebną do ogrzewania (opracowanie własne).	170
Rysunek 82. Warianty nachylenia dachu (zmienna kubatura budynku oraz powierzchnia przegród zewnętrznych) w modelu budynku referencyjnego (opracowanie własne).....	171
Rysunek 83. Warianty nachylenia dachu modelu budynku referencyjnego - wpływ na zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania (opracowanie własne).	171
Rysunek 84. Basen pasywny Lippe Bad Lünen widok na elewację północną (fotografia Autorki).....	189

XI. Spis załączników

Załącznik Karta obiektu 001 Basen w Lippe Bad Lünen
Załącznik Karta obiektu 002 Basen Bambados w Bamberg
Załącznik Karta obiektu 003 Basen kryty w Siemiatyczach
Załącznik Karta obiektu 004 Basen w Głuszyca – „Delfinek”
Załącznik Karta obiektu 005 Basen w Strzegomiu – „Delfinek”
Załącznik Karta obiektu 006 Basen Chocianowie – „Delfinek”
Załącznik Karta obiektu 007 Basen w Górze – „Delfinek”
Załącznik Karta obiektu 008 Basen w Twardogórze – „Delfinek”
Załącznik Karta obiektu 009 Hala sportowa w Waganowicach
Załącznik Karta obiektu 010 Hala sportowa w Słomnikach
Załącznik Karta obiektu 011 Hala sportowa w Brwinowie
Załącznik Karta obiektu 012 Hala sportowa przy liceum ogólnokształcącym nr II w Krakowie
Załącznik Karta obiektu 013 Hala sportowa Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie
Załącznik Karta obiektu 014 Hala sportowa w Bełdowie
Załącznik Karta obiektu 015 Przedszkole w Rogowie
Załącznik Karta obiektu 016 Przedszkole w Bełdowie
Załącznik Karta obiektu 017 Przedszkole w Słomnikach
Załącznik Karta obiektu 018 Przedszkole w Złotym Potoku
Załącznik Karta obiektu 019 Przedszkole w Strzegomiu
Załącznik Karta obiektu 020 Biurowiec w Kokotowie – Instytut Doradztwa
Załącznik Karta obiektu 021 Biurowiec w Miękinia - Centrum Zrównoważonego Rozwoju i Poszanowania Energii WGGiOŚ AGH

Załącznik Karta obiektu 022 Biurowiec w Aleksandrowie Łódzkim - Centrum zarządzania kryzysowego

Załącznik Karta obiektu 023 budynek be2226

Załącznik Karta obiektu 024 Centrum Rehabilitacyjne w Szczercowie

Załącznik Karta obiektu 025 Ośrodek opiekuńczo-leczniczy w Krakowie

Załącznik Karta obiektu 026 Centrum Zdrowia w Słomnikach

Załącznik Karta obiektu 027 Szkoła Podstawowa w Budzowie

Załącznik Karta obiektu 028 Szkoła Podstawowa w Podgórzynie

Załącznik Karta obiektu 029 Hotel Bardo

Załącznik Karta obiektu 030 Klub Zakole Nowa Huta w Krakowie

Załącznik Karta obiektu 031 Hala produkcyjna w Kokotowie

XII. Streszczenie

Tytuł dysertacji: „Nurt architektury pasywnej w realizacji obiektów basenowych, optymalizacja rozwiązań projektowych na tle implementacji na rynku polskim.”

Autor: mgr inż. arch. Ada Kołodziejczyk-Kęsoń

Promotor: dr hab. inż. arch. Krzysztof M. Rostański, Prof. PŚ

Słowa kluczowe: architektura pasywna, obiekty basenowe, pływalnie, obiekty sportowe, energooszczędność, ekonomiczne budownictwo, oszczędność eksploatacji, tania eksploatacja

Streszczenie

Celem niniejszej pracy jest podjęcie tematyki budownictwa pasywnego budynków użyteczności publicznej z naciskiem na baseny pasywne. Ciągła dążność do zdrowego trybu życia oraz poprawy jakości życia wpływa na gminy i miasta, które wychodząc naprzeciw potrzebom swoich mieszkańców decydują się na wykonanie obiektów sportowych całorocznych, takich jak hale basenowe. Koszt budowy takich obiektów jest znaczny. Architekci prześcigają się w znajdowaniu rozwiązań najbardziej ekonomicznych. Niestety koszty eksploatacji takich obiektów są bardzo wysokie i wymagają ciągłych dotacji z budżetu gminy czy miasta. Duża ilość tego typu obiektów jest nierentowna. Wydajnym sposobem na obniżenie kosztów eksploatacji budynków w okresie eksploatacji, czyli przez około 95,38% długości cyklu życia budynku, jest technologia pasywna. Ze względu na pionierski charakter takich obiektów, zwłaszcza w Polsce, niniejsza praca ma za zadanie wykazanie skuteczności działań architektonicznych w tym względzie.

Celem badań jest określenie potencjału możliwości przystosowania założeń budownictwa pasywnego w obiektach basenowych do warunków polskich, zachowując podstawowy cel – energooszczędność w cyklu życia. Posiłkowano się przykładami dwóch pierwszych basenów pasywnych wykonanych w standardzie Darmstadt poza granicami naszego kraju. Pierwszego, wybudowanego w 2011 r. W Niemczech, zwanego Lippe Bad Lünen (zaprojektowanego przez pracownię architektoniczną Tchoban Voss Architekten). Drugiego, wybudowanego również w 2011 r. W Niemczech, zwanego Bambados (projekt biura pbr, Osnabrück). Trzecim, istniejącym przykładem, który został przebadany w niniejszej pracy jest obiekt basenu, wybudowanego w 2020 r. W Polsce, zwanego Wodne Tarasy (zaprojektowanego przez biuro projektowe architektkiPL). Obiekt ten ma certyfikat budynku pasywnego, jednak nie został on wydany przez instytut w Darmstadt, ale został zaprojektowany według wzorców i standardów Darmstadt.

Przebadano również wybudowane na terenie Polski pasywne budynki użyteczności publicznej, w celu wykazania możliwości funkcjonowania tych budynków w naszym klimacie. W celu uatrakcyjnienia, obiekty basenowe składają się również z funkcji towarzyszących, które reprezentowały przebadane obiekty

użyteczności publicznej. Autorka stworzyła karty obiektów opisując ich istotne aspekty architektoniczne. Zastosowano metody opisowe, porównawcze, eksperymentalne, badania *in situ*, studia i analizy dokumentów, danych i inne. Obiekty istniejące przebadano kamerą termowizyjną FLIR i7. Obliczenia przeprowadzono w pakiecie do obliczania budynków pasywnych PHPP.

W pracy wykazano, że architektura ma znaczący wpływ na osiągnięte przez obiekt zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania oraz wskazano architektoniczne możliwości obniżenia tego zapotrzebowania. Popularyzacja pasywnej metody budownictwa może zmienić podejście inwestorów i przyczynić się do rozwoju zaplecza sportowego w formie większej ilości obiektów basenowych w Polsce.

Thesis title: „Passive architecture trend in the realisation of swimming pool facilities, optimisation of design solutions against the implementation on the Polish market.”

Author: mgr inż. arch. Ada Kołodziejczyk-Kęsoń

Promoter: dr hab. inż. arch. Krzysztof M. Rostański, Prof. PŚ

Keywords: passive architecture, swimming pool facilities, swimming pools, sports facilities, energy efficiency, cost-effective construction, operating economy, low-cost operation

Abstract

The aim of this study is to address the topic of passive construction of public buildings with an emphasis on passive swimming pools. The continuous drive for a healthy lifestyle and improved quality of life is influencing municipalities and cities to build year-round sports facilities such as swimming pool halls to meet the needs of their residents. The cost of building such facilities is considerable. Architects race to find the most economical solutions. Unfortunately, the operating costs of such facilities are very high and require constant subsidies from the municipal or city budget. A large number of such facilities are unprofitable. An efficient way to reduce the lifetime costs of buildings, i.e. over about 95.38% of the building's life cycle, is passive technology. Due to the pioneering nature of such buildings, especially in Poland, this paper aims to demonstrate the effectiveness of architectural measures in this respect.

The aim of the research is to determine the potential for adapting passive building principles in swimming pool facilities to Polish conditions, while maintaining the primary goal of life-cycle energy efficiency. The examples used are the first two passive pools built in Darmstadt standard outside Poland. The first, built in 2011 in Germany, called Lippe Bad Lünen (designed by the architectural firm Tchoban Voss Architekten). A second, also built in 2011 in Germany, called Bambados (designed by pbr office, Osnabrück). The third existing example studied in this thesis is a swimming pool facility, built in 2020 in Poland, called Wodne Tarasy (designed by architekciPL design office). This facility is certified as a passive building, but this was not issued by the Darmstadt institute, but was designed according to Darmstadt models and standards.

Passive public buildings built in Poland were also surveyed to demonstrate the viability of these buildings in our climate. In order to make it more attractive, the swimming pool facilities also consisted of accompanying functions, which were represented by the surveyed public buildings. The author created object charts describing the relevant architectural aspects. Descriptive, comparative, experimental, *in situ* research, studies and analyses of documents, data and other methods were used. Existing buildings were examined with a FLIR i7 thermal imaging camera. Calculations were carried out in the passive building calculation package PHPP.

The paper demonstrates that architecture has a significant impact on the heating energy demand achieved by a facility and identifies architectural opportunities to reduce this demand. The popularisation of the passive construction method may change the approach of investors and contribute to the development of sports facilities in the form of more swimming pool facilities in Poland.